JOSÉ CARLOS MIERZWA

**O USO RACIONAL E O REÚSO COMO FERRAMENTAS PARA O
GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES NA INDÚSTRIA
ESTUDO DE CASO DA KODAK BRASILEIRA**

(Volume 1 e 2)

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a
obtenção do Título de Doutor em
Engenharia.

Área de Concentração:

Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador:

Prof. Doutor Ivanildo Hespanhol

São Paulo

2002

Mierzwa, José Carlos.

O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak Brasileira / José Carlos Mierzwa. -- São Paulo, 2002.

367p

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1.Água (Uso racional; Reúso) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.

Aos meus pais, *Marjanna e Kazimierz*, por toda a dedicação para a minha formação e a minha esposa *Marli* e ao meu filho *Guilherme* pela compreensão nos momentos de ausência e pelo carinho recebido.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ivanildo Hespanhol pela amizade resultante do nosso convívio, pela confiança depositada e pelos valiosos ensinamentos.

Ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo pela oportunidade para o meu desenvolvimento profissional.

A KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda, em nome do Sr. Edmundo Pacheco, por possibilitar o desenvolvimento do estudo de caso apresentado.

A todos que , direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho os conceitos de uso racional e reúso, como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria são propostos e avaliados. São apresentadas e discutidas algumas considerações sobre a necessidade do desenvolvimento e implantação de programas que objetivam o gerenciamento da água e sobre a importância da aplicação desses programas na indústria. A avaliação e validação das ferramentas propostas foram efetuadas por meio de um Estudo de Caso desenvolvido na Empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda. Nesse estudo foi feita uma análise dos principais processos produtivos, para a identificação da demanda de água e, conseqüentemente, das áreas com maior potencial para a aplicação de alternativas para o uso racional e para o reúso da água. Os resultados obtidos, dentro desses conceitos, foram bastante satisfatórios em relação à redução do consumo de água e melhoria da produtividade. O potencial de redução no consumo global de água, considerando-se apenas as áreas avaliadas, foi estimado em 14,5%, enquanto o ganho de produtividade foi estimado em 76 horas por mês. Também foi verificado que a prática de reúso, principalmente de efluentes tratados, apresenta limitações. Os dados obtidos por meio do desenvolvimento deste trabalho permitem concluir que o uso racional e reúso são ferramentas básicas para os programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, mas que as mesmas devem ser cuidadosamente avaliadas, pois podem apresentar limitações de ordem técnica ou econômica.

ABSTRACT

The rational use and reuse concepts as tools for water and wastewater management programs in industry are proposed and evaluated. It is presented and discussed the basic issues related to the needs of developing and implementing a water and wastewater management program and its importance to industry. The evaluation and validation of the proposed tools were based on a Case Study developed at KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda. The main industrial processes were analyzed, in order to identify water demand and major areas for water optimization and reuse opportunities. The results associated with water optimization and reuse, were very satisfactory, both in terms of water consumption reduction as well as productivity increase. The global water reduction potential was estimated at 14,5 %, and the gain on productivity at about 76 hours per month. On the other hand it was verified that wastewater reuse has its own limitations. The results obtained allows for the conclusion that rational use and reuse are basic tools on developing any water and wastewater management program for industry. However the technical and economical limitation should be carefully evaluated.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ABORDAGEM GLOBAL	1
1.2. OBJETIVO	7
2. NECESSIDADE DE UM NOVO MODELO DE GERENCIAMENTO DE	
ÁGUAS E EFLUENTES NAS INDÚSTRIAS	9
2.1. ESCASSEZ DE RECURSOS HÍDRICOS E GERAÇÃO DE CONFLITOS POTENCIAIS	10
2.1.1. <i>Adaptação da escala de tendência do surgimento de conflitos pelo uso</i>	
<i>da água</i>	12
2.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	16
2.2.1. <i>Situação brasileira referente à disponibilidade hídrica</i>	19
2.2.2. <i>Recursos hídricos e demandas de água no estado de São Paulo</i>	22
2.3. AS INDÚSTRIAS E A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	28
2.4. A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA REFERENTE AOS RECURSOS HÍDRICOS	30
2.4.1. <i>Legislação federal</i>	31
2.4.2. <i>Legislação estadual</i>	36
2.5. A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A AGENDA 21	38
2.6. JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS PARA O	
GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES PARA A INDÚSTRIA	40
3. MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES NAS	
INDÚSTRIAS.....	43
3.1. PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O GERENCIAMENTO, EFICIENTE, DE ÁGUAS E	
EFLUENTES	44
3.2. DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE ÁGUAS	
E EFLUENTES	48

3.2.1. Disponibilidade hídrica.....	48
3.2.2 Aspectos legais e institucionais relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos e controle da poluição.....	52
3.2.2.1. Legislação federal.....	53
3.2.2.2. Legislação do estado de São Paulo.....	63
3.3. ATIVIDADES INDUSTRIAIS DESENVOLVIDAS.....	72
3.3.1. Avaliação dos processos industriais com base nos dados apresentados em literatura.....	76
3.3.2. Análise dos processos industriais com base nos documentos disponíveis na indústria.....	77
3.3.3. Avaliação das atividades industriais com base em visitas de campo....	78
3.4. NECESSIDADE DE ÁGUA PARA A INDÚSTRIA.....	79
3.4.1. Principais usos da água na indústria e requisitos de qualidade.....	80
3.4.2. Consumo de água na indústria.....	93
3.4.3. Associação das informações sobre qualidade e quantidade.....	110
3.5. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL.....	110
3.5.1. Obtenção de água para uso industrial.....	115
3.6. IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES PARA A MAXIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA E MINIMIZAÇÃO DOS EFLUENTES (PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO).....	118
3.6.1. Prevenção da poluição na indústria.....	120
3.6.1.1. Benefícios potenciais relacionados à implantação dos programas de prevenção da poluição.....	121
3.6.1.2. Barreiras associadas à implantação dos programas de prevenção da poluição.....	123
3.7. IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA.....	127
3.7.1. Tratamento de efluentes.....	130
3.7.1.1. Conceitos básicos sobre as técnicas de tratamento de efluentes.....	131
3.7.1.2. Considerações sobre as técnicas de tratamento.....	133
3.8 - REÚSO DE ÁGUA.....	135
3.9. PROCEDIMENTO PARA MONITORAÇÃO E CONTROLE.....	139

3.10. ASPECTOS ECONÔMICOS	141
3.11. OS CONCEITOS DE USO RACIONAL E REÚSO PARA O GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES NA INDÚSTRIA	146
4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO USO RACIONAL E DO REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO - ESTUDO DE CASO DA KODAK BRASILEIRA	148
4.1. APRESENTAÇÃO DA ‘EMPRESA	149
4.2. METODOLOGIA DE TRABALHO E RESULTADOS ESPERADOS	150
4.3 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS DESENVOLVIDAS	152
4.3.1. <i>Produção de nitrato de prata</i>	152
4.3.2. <i>Preparação das dispersões e emulsões fotográficas e produção de chapas de raios-x e papel fotográfico (Sensibilização)</i>	152
4.3.3. <i>Produção de fotoquímicos</i>	153
4.3.4. <i>Área de utilidades</i>	154
4.4. PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO	156
4.4.1. <i>Água potável</i>	158
4.4.2. <i>Água destilada</i>	158
4.4.3. <i>Água deionizada</i>	159
4.4.3.1. Processo por troca iônica	159
4.4.3.2. Processo por osmose reversa	160
4.5. COLETA, TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS EFLUENTES	161
4.5.1. <i>Sistema de tratamento de esgotos e efluentes industriais</i>	162
4.5.2. <i>Sistema de recuperação de prata</i>	164
4.5.2.1. Recuperação da prata das correntes líquidas	165
4.6. DEMANDA DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES	167
4.7. OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA NOS PROCESSOS DE LAVAGENS DE EQUIPAMENTOS	175
4.7.1. <i>Principais características do sistema de produção de fotoquímicos</i> ...	175
4.7.2. <i>Avaliação inicial da operação de lavagem de tanques e reatores</i>	178
4.7.3. <i>Estudo para a otimização da operação da lavagem de reatores e tanques</i>	186

4.7.4. Resultados potenciais da aplicação da proposta de otimização da operação de lavagem de reatores e tanques	193
4.8. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA	194
4.8.1 – Avaliação do potencial de reúso em cascata	195
4.8.1.1 – Avaliação da área de fotoquímicos	196
4.8.1.1.1 – Operação de lavagem de reatores e tanques em duas etapas	199
4.8.1.1.2 – Aproveitamento do efluente segregado nas operações de lavagem de reatores e tanques, como água de reposição em torres de resfriamento	204
4.8.1.2. Avaliação da área de utilidades	206
4.8.3 – Redução da demanda de água com a utilização do reúso em cascata	210
4.8.4. Avaliação do reúso do efluente tratado	211
4.8.4.1. Determinação do potencial de reúso de efluentes na KODAK	217
5. DISCUSSÃO.....	230
6. CONCLUSÕES.....	236
ANEXO A - TÉCNICAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL.....	239
ANEXO B – GERAÇÃO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA	290
ANEXO C - TÉCNICAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES	320
ANEXO D – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE VAPOR E DE RESFRIAMENTO DA KODAK	352
7. LISTA DE REFERÊNCIAS	354

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Distribuição das reservas de água no planeta (obtida a partir dos dados apresentados em Mays - 1996)	2
Figura 2.1 – Escala para relacionar a tendência do surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos, em função da disponibilidade hídrica e o aumento da população.	11
Figura 2.2 – Relação entre ICRH e DEA	14
Figura 2.3 – Classificação mundial dos continentes em função do índice de comprometimento dos recursos hídricos	17
Figura 2.4 – Distribuição do consumo de água por atividade	26
Figura 2.5 – Variação do índice de comprometimento dos recursos hídricos em função da disponibilidade específica de água para o estado de São Paulo.....	27
Figura 3.1 - Utilização da roda d'água para movimentação de dispositivos mecânicos.....	73
Figura 3.2 - Problemas associados à qualidade da água para uso industrial – (1) Corrosão alveolar em tubulação do sistema de refrigeração; (2) Incrustação em tubulação de sistema de refrigeração; (3) Corrosão devido a presença de gás carbônico em caldeira; (4) Depósito de lama orgânica em trocador de calor e (5) Depósito de partículas de ferro em resinas de troca iônica.....	112
Figura 3.3 – Principais técnicas de tratamento de água em função dos contaminantes que se deseja remover	114
Figura 3.4 – Principais técnicas de tratamento em função da concentração de sais dissolvidos.....	115
Figura 3.5 - Princípios básicos relacionados à prevenção da poluição	120
Figura 3.6 - Relação entre as ferramentas de avaliação econômica	144
Figura 4.1 - Processo de tratamento do efluente líquido da KODAK.....	163
Figura 4.2 - Processo de recuperação de prata das correntes líquidas.....	167

Figura 4.3 - Inter-relação entre as áreas produtivas da KODAK Brasileira e fluxos de água e efluentes (1999)	170
Figura 4.4 - Inter-Relação entre as áreas produtivas da KODAK Brasileira e Fluxos de Água e Efluentes (Atualizado - 2000/2001)	173
Figura 4.5 – Distribuição do consumo de água na KODAK.....	174
Figura 4.6 – Representação esquemática da produção de fotoquímicos	177
Figura 4.7 – Representação esquemática do procedimento de lavagem de reatores e tanques	180
Figura 4.8 – Dados teóricos sobre a variação da condutividade elétrica no interior de um reator ou tanque em função do tempo de lavagem, para diferentes tempos de detenção hidráulico.....	182
Figura 4.9 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 1	183
Figura 4.10 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 2.....	183
Figura 4.11 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 3.....	184
Figura 4.13 - Linearização dos dados do ensaio 2.....	185
Figura 4.14 - Linearização dos dados do ensaio 3.....	186
Figura 4.15 – Variação da condutividade elétrica do efluente da lavagem de reator 40	198
Figura 4.16 – Linearização dos dados referentes à variação da condutividade elétrica em função do tempo, do ensaio de lavagem no reator 40.....	198
Figura 4.17 – Proposta para a realização da lavagem de reatores e tanques em duas etapas e reúso do efluente da segunda etapa de lavagem.	200
Figura 4.18 – Modelo para determinação da variação da concentração de contaminantes no reator e no tanque de água para reúso.....	201
Figura 4.19 - Fluxos de água e efluentes após o processo de otimização do uso da água e do reúso em cascata	213
Figura 4.20 – Diagrama esquemático para a obtenção da carga de SDT incorporada em um sistema produtivo	216

Figura 4.21– Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso, com a recirculação de efluente	217
Figura 4.22 – Diagrama para a determinação da carga de sais e concentração de SDT no efluente da KODAK	220
Figura 4.23 – Diagrama para a determinação da variação da concentração de SDT no efluente da KODAK em função da taxa de reúso.....	222
Figura A.1 - Representação dos possíveis arranjos para os sistemas de tratamento de água	252
Figura A.2 - Representação esquemática do fenômeno de osmose reversa.	274
Figura A.3 - Sistema contínuo de osmose reversa.....	276
Figura A.4 - Representação dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa	283
Figura A.5 - Representação de um módulo de osmose reversa.....	286
Figura B.1 - Variação da concentração de sais no concentrado da unidade de osmose reversa em função da taxa de recuperação de água	300
Figura B.2 - Representação de um sistema semi-aberto de resfriamento.....	305
Figura B.3 - Variação da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração.....	308
Figura B.4 - : Representação esquemática de um sistema para produção de vapor..	314
Figura C.1 - Representação esquemática do processo de tratamento de esgotos por lodos ativados.....	336
Figura C.2 - Representação do processo de eletrodíálise	344
Figura C.3 - Representação esquemática do processo de evaporação/cristalização com um evaporador de filme fino agitado	349

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Consumo médio de água no planeta.....	3
Tabela 1.2 – Relatos de problemas de poluição das águas no estado de São Paulo.....	4
Tabela 2.1 – Classificação dos problemas associados à competição pela água	12
Tabela 2.2 – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água	13
Tabela 2.3 – Relação entre nível de receitas das nações e DEA	15
Tabela 2.4 – Distribuição de recursos hídricos por continente.....	18
Tabela 2.5 – Tipologia climática do Brasil.....	20
Tabela 2.6 - Disponibilidade hídrica potencial no Brasil	21
Tabela 2.7 – Disponibilidade e demanda de água no Estado de São Paulo, dados por bacia hidrográfica.....	24
Tabela 2.8 – Evolução na demanda de água no período de 1990 a 2010	25
Tabela 2.9 – Variação do consumo médio de água por habitante no período de 1990 a 2010.....	25
Tabela 3.1 - Demandas de água da bacia do Alto Tietê	49
Tabela 3.2 - Principais atividades industriais por categoria	74
Tabela 3.3 - Categorias de água em função do seu grau de qualidade	84
Tabela 3.4 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento e geração de vapor.....	84
Tabela 3.5 - Requisitos de qualidade para água de uso industrial.....	86
Tabela 3.6 - Requisitos de qualidade para água de uso industrial.....	87
Tabela 3.7 - Tolerância da qualidade da água para algumas aplicações industriais...	89
Tabela 3.8 - Recomendações para qualidade da água na indústria do ferro e aço	90
Tabela 3.9 - Recomendações para qualidade da água na indústria do petróleo	90
Tabela 3.10 - Recomendações para qualidade da água em centrais de geração de energia.....	91
Tabela 3.11 - Problemas causados aos processos industriais devido às impurezas presentes na água	92
Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo	94

Tabela 3.13 - Distribuição do consumo de água na indústria por atividade.....	108
Tabela 3.14 - Qualidade da água de alguns recursos superficiais	113
Tabela 3.15 - Principais opções para o reúso de água na indústria	137
Tabela 4.1 – Características da água proveniente dos poços artesianos.....	156
Tabela 4.2 – Características do efluente tratado pelo sistema biológico e lançado para o meio ambiente.....	164
Tabela 4.3 – Demanda de água e geração de efluentes pelas unidades industriais da empresa KODAK (1999).....	169
Tabela 4.4 – Demandas de água para uso industrial.....	171
Tabela 4.5 – Demanda de água e geração de efluentes pelas unidades industriais da Empresa KODAK – dados atualizados para os anos 2000 / 2001	172
Tabela 4.6 – Distribuição do consumo de água na KODAK por categoria de uso ..	174
Tabela 4.7 – Características dos equipamentos da área de fotoquímicos.....	176
Tabela 4.8 – Consumo médio de água para as operações de lavagem de reatores, tanques e envasadoras, no ano 2000	178
Tabela 4.9 – Tempo total de lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42, no período de janeiro a junho.....	188
Tabela 4.10 – Volume total de água utilizado para a lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42, no período de janeiro a junho.....	188
Tabela 4.11 – Tempo total de lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52, no período de janeiro a junho.....	189
Tabela 4.12 – Volume total de água utilizado para a lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52, no período de janeiro a junho.....	189
Tabela 4.13 – Eficiência na redução do consumo de água e do tempo, utilizados na lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42.....	190
Tabela 4.14 – Eficiência na redução do consumo de água e do tempo, utilizados na lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52.....	190
Tabela 4.15 – Comparação entre as vazões de água de lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42.....	191
Tabela 4.16 – Comparação entre as vazões de água de lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52.....	191

Tabela 4.17 – Resultados obtidos para a avaliação do tipo de solução produzida sobre o tempo de lavagem do reator 40, antes e após a implantação do condutivímetro	192
Tabela 4.18 – Planilha do ensaio da operação de lavagem do reator 40	196
Tabela 4.19 - Resultados da simulação da lavagem de reatores e tanques em duas etapas.....	202
Tabela 4.20 – Resultados da simulação da operação de lavagem de reatores e tanques para avaliação do potencial de reúso na torre de resfriamento	205
Tabela 4.21 – Características do concentrado da unidade de osmose reversa utilizada para produção de água deionizada na KODAK.....	208
Tabela 4.22 – Resultados da caracterização das amostras das unidades de osmose reversa da KODAK.....	209
Tabela 4.23 – Demanda de água e geração de efluentes na KODAK após o possesso de otimização e reúso em cascata	212
Tabela 4.24 – Valores máximos recomendados para a concentração de SDT em função do uso e concentração de SDT no efluente da KODAK.....	218
Tabela 4.25 – Demandas de água nas aplicações onde o reúso do efluente da KODAK é viável.....	219
Tabela 4.26 – Demanda de água de reúso por aplicação.....	220
Tabela 4.27 – Resultados da avaliação do potencial de reúso do efluente tratado da ETE da KODAK	224
Tabela 4.28 – Resultados da avaliação do potencial de reúso do efluente tratado da ETE da KODAK, considerado-se a reposição de água no sistema de resfriamento	225
Tabela 4.29 – Características da unidade piloto de osmose reversa.....	227
Tabela 4.30 – Parâmetros operacionais da unidade piloto de osmose reversa, para tratamento do efluente da unidade de ultrafiltração da KODAK	228
Tabela 4.31 – Resultados da caracterização das amostras da alimentação, do permeado e do concentrado, resultantes do ensaio na unidade de osmose reversa	228
Tabela A.1 - Características de sedimentação de algumas partículas de sílica	244
Tabela A.2 - Condição de operação dos floculadores	246

Tabela A.3 - Afinidade relativa dos íons pelas resinas de troca iônica	262
Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica	264
Tabela A.5 - Principais arranjos para os sistemas de produção de água desmineralizada.....	271
Tabela A.6 - Taxa de rejeição de algumas substâncias para as membranas FT30 da FILMTEC®	274
Tabela A.7 - Recomendações para uso das membranas de osmose reversa.	277
Tabela A.8 - Opções de pré-tratamento para reduzir possíveis riscos de incrustação, deposição e degradação em sistemas de osmose reversa.....	280
Tabela A.9 - Comparação entre os processo de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado.....	284
Tabela A.10 - Campo de aplicação das membranas FT30 da FilmTec	284
Tabela B.1 - Efluentes gerados em um sistema convencional de tratamento de água	294
Tabela B.2 - Efluentes gerados no processo de regeneração dos leitos de resina de troca iônica.....	297
Tabela B.3 - Volume de água para a lavagem dos leitos de resina, após a operação de regeneração.	298
Tabela B.4 - Composição do efluente gerado na operação de lavagem dos leitos de resinas.....	299
Tabela B.5 - Principais compostos químicos utilizados para limpeza das membranas de osmose reversa.	301
Tabela B.6 - Recomendações para a vazão de circulação da solução de limpeza química e água de enxágüe para sistemas de osmose reversa	303
Tabela B.7 - Volume de água utilizada para o enxágüe das membranas de osmose reversa após a limpeza química.	303
Tabela B.8 - Variação da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração.....	308
Tabela B.9 - Ciclos, máximos, de concentração para cada intervalo de variação de temperatura.....	309
Tabela B.10 - Compostos utilizados para o tratamento da água nos sistemas de resfriamento semi-abertos	311

Tabela B.11 - Taxa de purga dos sistemas de geração de vapor em relação à vazão da água de reposição	315
Tabela B.12 - Tolerâncias para os compostos químicos utilizados em caldeiras.....	315
Tabela B.13 - Concentrações típicas para alguns compostos utilizados nas operações de limpeza química de caldeiras.	317
Tabela C.1 - Agrupamento por classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes	320
Tabela C.2 - Processos usuais de precipitação química	326
Tabela C.3 - Principais agentes oxidantes utilizados para o tratamento de efluentes.	329
Tabela C.4 - Aplicação dos agentes de oxidação para o tratamento de efluentes	330
Tabela C.5 - Principais agentes redutores e suas aplicações	331
Tabela C.6 - Principais processos biológicos para tratamento de esgotos sanitários.	334

SUMÁRIO EXECUTIVO

Os problemas de escassez de água vivenciados na atualidade conduzem a necessidade do desenvolvimento de estratégias que possibilitem aprimorar o estágio de desenvolvimento em que nos encontramos atualmente.

Dentre os diversos segmentos da sociedade, o setor industrial é um dos que desperta grande preocupação com relação ao problema de escassez de água, seja pela demanda excessiva ou pela poluição resultante do lançamento de efluentes nos corpos d'água.

Uma das formas de contribuir para minimização dos problemas de escassez de água envolve a utilização do conceito de desenvolvimento sustentável, que consiste na otimização dos recursos naturais para o desenvolvimento das diversas atividades humanas.

Com base no conceito de desenvolvimento sustentável, este trabalho apresenta uma proposta de uso racional e de reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria, principalmente para o Estado de São Paulo, que se encontra em situação mais crítica que os demais estados do País.

Para a avaliação e consolidação da proposta deste trabalho houve a necessidade do desenvolvimento de uma pesquisa sistemática, na qual foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Demonstrar que os conceitos de uso racional e de reúso de água devem ser utilizados como ferramentas básicas em programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria;
- Avaliar e apresentar estratégias que visem a otimização do uso da água e possibilitem a adoção da prática do reúso;
- Identificar e apresentar as limitações associadas à prática de reúso de efluentes tratados.

Para que fosse possível atender a estes objetivos todo o trabalho foi estruturado de uma maneira lógica e racional, onde são abordados os fatores determinantes para o

desenvolvimento de alternativas para os problemas relacionados aos recursos hídricos, principalmente aqueles resultantes de atividades industriais.

Também são discutidos os principais elementos de um programa de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, o que é feito por meio da descrição e análise crítica dos diversos conceitos envolvidos no desenvolvimento e na aplicação do mesmo.

Para verificar a validade das hipóteses formuladas foi desenvolvido um estudo de caso junto a Empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda, com ênfase nas propostas de otimização do uso da água em processos industriais e de reúso de água em cascata e efluentes tratados.

Com base nos resultados obtidos no estudo de caso proposto foi possível fazer uma avaliação mais pormenorizada dos fatores associados à utilização dos conceitos de uso racional e reúso de água em programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, com a identificação dos méritos e das limitações destes conceitos.

Nas seções iniciais foram apresentados os principais fatores que conduziram à necessidade do desenvolvimento de um estudo mais detalhado com relação a aplicação dos conceitos de uso racional e reúso da água na indústria, mais especificamente naquelas instaladas no estado de São Paulo.

A seção na qual o estudo de caso é apresentado apresenta uma descrição geral da empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda e os procedimentos utilizados para a avaliação dos conceitos de uso racional e reúso da água.

Nas seções finais é feita, com base nos objetivos definidos e hipóteses formuladas, a discussão dos resultados obtidos na prática, assim como são apresentadas as conclusões que conduzem a validação

Uma descrição resumida de cada uma das seções que compõem este trabalho é apresentada a seguir.

1. Introdução

Nesta seção é apresentado um panorama geral sobre a importância da água para o desenvolvimento das atividades humanas e sobre os principais problemas resultantes do modelo, até agora empregado, para a exploração dos recursos hídricos, seja pela demanda excessiva de água ou pela poluição da mesma.

Também são feitas algumas considerações sobre as novas tendências para os modelos de gerenciamento de águas e efluentes.

O encerramento da seção de introdução é feito com o estabelecimento dos objetivos a serem atingidos com o desenvolvimento do trabalho proposto.

2. Necessidade de um novo modelo de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria

Esta seção trata, com um maior nível de detalhamento, das questões que conduzem a necessidade do desenvolvimento de um novo modelo de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria, discutindo aspectos como escassez de recursos hídricos e geração de conflitos potenciais, disponibilidade hídrica, relação entre atividades industriais e degradação da qualidade das águas, legislação e a gestão de recursos hídricos na Agenda 21.

Esta abordagem conduz a elaboração de uma justificativa para o desenvolvimento de uma nova estratégia para o gerenciamento de águas e efluentes para a indústria.

3. Modelo para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria

O principal enfoque desta seção está direcionado para a apresentação dos elementos básicos de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, que são:

- Disponibilidade hídrica;
- Legislação referente ao controle ambiental e ao gerenciamento de recursos naturais;
- Atividades industriais desenvolvidas;
- Necessidade de água para o desenvolvimento das atividades industriais;
- Identificação e conhecimento das técnicas e procedimentos existentes para tratamento de água para uso industrial;
- Identificação de oportunidades para a maximização do uso da água e minimização dos efluentes (prevenção da poluição);
- Identificação, quantificação e caracterização dos efluentes gerados;
- Reúso da água;

- Procedimentos de monitoração e controle dos efluentes a serem descartados para o meio ambiente;
- Aspectos econômicos.

Esta seção é finalizada com uma discussão geral sobre a utilização dos conceitos de uso racional e reúso no modelo de gerenciamento apresentado.

4. Avaliação do potencial do uso racional e do reúso da água como ferramentas de gerenciamento – Estudo de caso da KODAK Brasileira

Para que fosse possível avaliar e validar a proposta deste trabalho, foi desenvolvido um estudo de caso na empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda, o qual é apresentado nesta seção.

O estudo de caso foi desenvolvido com base no modelo de gerenciamento de águas e efluentes descrito anteriormente, sem que no entanto fossem contemplados todos os elementos necessários para a sua implantação, uma que a empresa já adotava procedimentos compatíveis com os mesmos, resultantes da sua Política de Gestão Ambiental, certificada com base na norma ISO-14.001.

Inicialmente foi feita uma descrição das principais atividades industriais desenvolvidas na KODAK, para que, posteriormente, fosse possível obter os dados referentes às demandas de água e geração de efluentes por atividade.

Por meio do levantamento dos dados sobre demanda de água e geração de efluentes foi possível identificar as áreas mais críticas com relação ao consumo de água e geração de efluentes e que, por sua vez, apresentavam o maior potencial para a aplicação dos conceitos de uso racional e reúso da água.

Pelo levantamento efetuado foi possível constatar que as áreas mais críticas com relação ao consumo de água, 60,8 % do consumo total, eram as de Fotoquímicos e de Sensibilização, principalmente nas operações de lavagem de equipamentos.

Dentre as áreas identificadas optou-se pela implantação do conceito de uso racional na área de Fotoquímicos, principalmente por questões de facilidade operacional.

Além da avaliação do uso racional da água, também foi avaliado na área de fotoquímicos o conceito de reúso, neste caso o reúso em cascata.

Outra área na qual foram avaliados os conceitos de uso racional e reúso foi a de utilidades, dando-se uma maior ênfase para a questão do reúso em cascata e de efluentes tratados.

Os resultados obtidos nestas avaliações foram bastante satisfatórios, mostrando que os conceitos propostos apresentam grande potencial para serem utilizados como ferramentas básicas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria.

Apenas nas áreas avaliadas, foi possível identificar um potencial de redução no consumo de água e geração de efluentes de 14,53 % e 23 %, respectivamente.

Com relação à prática de reúso de água, a opção mais eficiente foi a do reúso em cascata, já que o reúso de efluentes tratados não se mostrou viável do ponto de vista técnico e econômico.

5. Discussão dos resultados

Nesta seção é apresentada uma discussão geral sobre os principais resultados obtidos com a realização do estudo de caso na KODAK, a qual deu os subsídios necessários para a elaboração das conclusões finais sobre a proposta apresentada no trabalho.

6. Conclusões

Esta seção finaliza o trabalho proposto, por meio da apresentação das principais conclusões que foram obtidas pelo desenvolvimento do mesmo e que em síntese são:

- O uso racional e o reúso devem ser considerados ferramentas básicas em qualquer programa de gerenciamento de águas e efluentes na indústria;
- A otimização do uso da água e a prática do reúso podem ser avaliadas com base em modelos matemáticos e simulações dos processos ou dos sistemas nos quais a água é utilizada.
- A prática de reúso de efluentes tratados apresenta limitações, técnicas, operacionais e econômicas. E, em certos casos, só é viável por meio da utilização de técnicas avançadas de tratamento.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Abordagem global

A água, essencial para o surgimento e manutenção da vida em nosso Planeta, na vida moderna, é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano, apresentando, por esta razão, valores econômicos, sociais e culturais (MORAN, MORGAN e WIERSMA, 1985) e (BEECKMAN, 1998), pois além da sua utilização para suporte à vida, a água pode ser utilizada para transporte de pessoas e mercadorias, geração de energia, produção e processamento de alimentos, processos industriais diversos e recreação e paisagismo, além de ser amplamente utilizada para transporte e assimilação de efluentes, sendo esta, talvez, uma das aplicações menos nobres que poderia ser dada para este recurso tão essencial.

Muito embora o nosso Planeta tenha três quartos de sua superfície coberta pela água, deve-se levar em consideração que apenas uma pequena parcela, referente à água doce, pode ser utilizada para o desenvolvimento da maior parte das atividades humanas, sem a necessidade de se fazer grandes investimentos para a adequação das suas características, físicas, químicas e/ou biológicas, aos padrões de qualidade exigidos para cada tipo de aplicação. Na figura 1.1 é apresentada a distribuição das reservas de água em nosso Planeta (MAYS, 1996).

Aliada à questão da disponibilidade hídrica, também se deve levar em consideração os problemas relacionados ao aumento da população mundial o que acaba exercendo uma grande pressão sobre o consumo de água, não apenas para satisfazer as suas necessidades vitais, mas também para a produção de alimentos e produtos industrializados (BIO, 1998).

De acordo com a Agenda 21, documento desenvolvido a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (São Paulo - SMA, 1997a), o consumo de água para fins domésticos, representa apenas 6% do volume total de água consumido, o consumo de água para irrigação pode chegar a 80%, enquanto que

o consumo de água para uso industrial é próximo de 14%, muito embora esses valores sejam bastante variados, quando se considera cada país isoladamente.

Figura 1.1 - Distribuição das reservas de água no planeta (obtida a partir dos dados apresentados em Mays - 1996)

Considerando-se a projeção do aumento da população mundial para um valor próximo de 8,3 bilhões de pessoas até o ano 2025, mantendo-se os atuais padrões de consumo de água, conforme apresentado no levantamento efetuado pelo Banco Mundial (ver Tabela 1.1), a demanda total de água doce será próxima de 614,2 Km³/ano para abastecimento doméstico e 3.884,4 Km³/ano para usos diversos, resultando em um consumo total de 4.498,6 Km³/ano.

Tabela 1.1 - Consumo médio de água no planeta

Países	Consumo Anual (m ³ /capta)	
	Uso Doméstico	Outros Usos
Países com Baixa Renda	24,0	315,0
Países com Média Renda	67,5	529,0
Países com Alta Renda	136,0	499,0
Brasil	54,0	191,0
Média Mundial	74,0	468,0

Fonte – World Resources Institute, 1997

Embora este valor represente apenas 4,42 % do volume total dos recursos superficiais de água doce disponível no Planeta, não se pode afirmar que o atendimento da demanda a ser exigida para o desenvolvimento das atividades humanas estará garantido a médio e longo prazo. Além da disponibilidade variar no tempo e no espaço, a água, durante a sua utilização, acaba tendo a sua qualidade degradada, ocorrendo a contaminação pelos mais diversos tipos de substâncias desenvolvidas e utilizadas pelo homem, o que dá origem aos processos de poluição dos recursos hídricos e contribui para a redução na disponibilidade da água.

Atualmente, os problemas mais sérios de poluição referem-se aos efluentes industriais, os quais, devido à grande variedade de atividades desenvolvidas pelas indústrias, podem apresentar em sua composição os mais variados tipos de substâncias, das quais muitas são extremamente tóxicas e podem ter efeitos adversos sobre todos os seres vivos, caso as mesmas atinjam qualquer recurso hídrico.

Por muito tempo o homem só se preocupou com o problema da poluição das águas relacionado à presença de organismos causadores de doenças. Contudo, com o aumento das atividades industriais, o homem também passou a se preocupar com os efeitos, sobre a sua saúde, das águas contaminadas com substâncias nutrientes, pesticidas, metais pesados, óleos, sedimentos, substâncias radioativas e calor, que também podem ter efeitos diretos e indiretos sobre o meio ambiente, colocando em risco a sua própria existência no Planeta (HESPANHOL, 1999) e (MEYBECK, CHAPMAN e HELMER, 1990).

Devido aos problemas que começaram a surgir em função da contaminação das águas pelos mais variados tipos de substâncias criadas e utilizadas pelo Homem, a partir do final da década de 60 nos Estados Unidos e meados da década de 70 no Brasil, começaram a ser editadas normas referentes ao controle da poluição das águas (CETESB, 1992-a) e (KINDSCHY, KRAFT e CARPENTER, 1997), sendo que estas normas vêm se tornando cada vez mais restritivas, principalmente no que diz respeito ao controle de efluentes industriais, visando a proteção da saúde e bem estar do ser humano e a proteção do meio ambiente.

Mesmo com a imposição das normas de proteção e controle da qualidade dos recursos hídricos, no caso específico do Estado de São Paulo, uma pesquisa realizada pela Secretaria do Meio Ambiente, junto a diversos municípios do estado, mostra que as questões relacionadas à poluição das águas e a falta de saneamento básico ainda são preocupantes. Estas questões ocupam, respectivamente, o primeiro e terceiro lugares na classificação obtida com a pesquisa (São Paulo – SMA, 1998), sendo a poluição dos rios apontada como o problema mais grave, conforme pode ser verificado na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Relatos de problemas de poluição das águas no estado de São Paulo

Número de Habitantes (Milhares)	Amostra (Municípios)	Dos Rios			Dos Mananciais de Abastecimento Público			De Lagos			De Praias			De Águas Subterrâneas		
		G	M	SP	G	M	SP	G	M	SP	G	M	SP	G	M	SP
Até 5	117	17	41	59	3	9	105	3	15	99	2	8	107	4	7	106
de 5 a 20.	151	45	55	51	2	20	129	3	18	130	1	4	146	3	14	134
de 20 a 40	72	24	37	11	4	16	52	5	15	52	2	3	67	2	8	62
de 40 a 100	64	30	25	9	7	21	36	3	14	47	4	1	59	3	16	45
de 100 a 250	27	14	7	6	3	8	16	2	6	19	1	2	24	1	3	23
de 250 a 500	14	9	5	0	5	3	6	3	2	9	1	3	10	1	4	9
acima de 500	5	5	0	0	3	0	2	3	1	1	1	1	3	0	3	2
Total	450	144	170	136	27	77	346	22	71	357	12	22	416	14	55	381

G – Grande; M – Médio; SP – Sem Problemas

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (São Paulo - SMA, 1998).

Por meio de uma análise da situação apresentada anteriormente, verifica-se que as indústrias exercem uma grande pressão sobre os recursos hídricos, tanto com relação à captação de água (14% do volume total consumido), quanto pela contaminação

destes recursos pelos mais variados tipos de substâncias. Para que esta pressão sobre os recursos hídricos seja minimizada, é necessário que sejam adotadas estratégias que visem minimizar os impactos, negativos, associados à captação de água e geração e lançamento de efluentes industriais para os corpos d'água.

A atual filosofia utilizada nas indústrias considera sistemas independentes para o gerenciamento de água para consumo industrial e para o gerenciamento dos efluentes a serem tratados e lançados para o meio ambiente.

No que se refere ao tratamento de água, para consumo industrial, a estratégia adotada consiste na utilização de sistemas de tratamento compostos por unidades nas quais são desenvolvidos processos físicos e químicos, visando adequar as características da água às necessidades de processo.

Já para os efluentes, o procedimento adotado consiste na coleta de todas as correntes geradas nos diversos processos industriais e encaminhamento das mesmas, por meio de tubulação, a um determinado local da indústria, denominado de sistema de tratamento de efluentes, no qual são utilizadas técnicas de tratamento que visem adequar as características desses efluentes aos padrões de lançamento estabelecidos em normas, sendo este conceito denominado de tratamento de fim de tubo, ou mais conhecido como “*end of pipe treatment*”.

Esta filosofia foi herdada dos primórdios do desenvolvimento industrial, mostrando-se adequada para as condições da época, em função do número reduzido de instalações industriais, além dos padrões de controle ambiental serem bastante brandos, ou em muitos casos até inexistentes.

Atualmente, é facilmente constatado que a estratégia, até então, utilizada pela indústria para o gerenciamento de águas e efluentes, não é adequada. A complexidade dos processos industriais, o aumento do número de indústrias, o aumento da demanda de água para abastecimento público e a maior conscientização da população com relação às questões ambientais, além do desenvolvimento e aplicação de normas cada vez mais restritivas, são os principais argumentos para justificar esta afirmação.

O atendimento às diretrizes de maximização do uso dos recursos hídricos e minimização dos impactos ambientais negativos, relativos à geração e ao lançamento de efluentes, exige o desenvolvimento de estratégias que possam conduzir a um melhor gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias. Nestas estratégias, ao contrário da filosofia anterior, deve-se considerar a água para consumo industrial e os efluentes em um sistema único, o qual deverá ter interface direta com os processos industriais.

Além disto, para que qualquer iniciativa possa ser efetiva, é importante a observância dos objetivos estabelecidos no *Capítulo 18 da Agenda 21* (São Paulo – SMA, 1997a), ou seja, o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias deve ser compatível com o conceito de manejo integrado dos recursos hídricos, apresentado no item 18.9, onde se pode destacar os seguintes objetivos:

(a) – Promover uma abordagem dinâmica, interativa, iterativa e multissetorial do manejo dos recursos hídricos, incluindo a identificação e proteção de fontes potenciais de abastecimento de água doce que abarquem considerações tecnológicas, sócio-econômicas, ambientais e sanitárias;

(b) – Fazer planos para a utilização, proteção, conservação e manejo sustentável e racional de recursos hídricos baseados nas necessidades e prioridades da comunidade, dentro do quadro da política nacional de desenvolvimento econômico.

Além destes objetivos, um programa de gerenciamento de recursos hídricos deve priorizar as atividades que melhorem o manejo integrado dos recursos disponíveis, conforme apresentado no item 18.12 da Agenda 21, devendo-se destacar as seguintes premissas:

(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;

(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;

(m) – Apoiar os grupos de usuários de água para otimizar o manejo dos recursos hídricos locais.

Considerando-se a abordagem dada pela *Agenda 21*, o gerenciamento de águas e efluentes, para que possa ser efetivo, deve levar em consideração aspectos legais, institucionais, técnicos e econômicos relativos ao consumo de água e lançamento de efluentes para o meio ambiente, além dos aspectos relacionados ao tratamento de efluentes e à reutilização da água e dos efluentes tratados.

1.2. Objetivo

Com base no panorama exposto anteriormente, assim como nos problemas vivenciados no Estado de São Paulo, com relação aos problemas associados à escassez de recursos hídricos, este trabalho tem os seguintes objetivos:

- Demonstrar que os conceitos de uso racional e de reúso de água devem ser utilizados como ferramentas básicas em programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria;
- Avaliar e apresentar estratégias que visem a otimização do uso da água e possibilitem a adoção da prática do reúso;
- Identificar e apresentar as limitações associadas à prática de Reúso de efluentes tratados.

O desenvolvimento de qualquer procedimento ou ferramenta que possibilite o aprimoramento da relação entre indústria e recursos hídricos deverá levar em consideração os aspectos legais, institucionais, técnicos e econômicos, relativos ao consumo de água para fins industriais e aos efluentes gerados pela indústria, bem como as técnicas de tratamento disponíveis, além dos aspectos relacionados ao Reúso da água e dos efluentes buscando-se, em última análise, contribuir para a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável.

Para que os objetivos estabelecidos possam ser cumpridos, neste trabalho, serão abordadas, individualmente, as atividades industriais que apresentam uma relação direta ou indireta com os aspectos apresentados anteriormente, no sentido de

desenvolver um modelo que possa servir de suporte para as indústrias, na implementação de rotinas e sistemas que visem promover a maximização dos recursos hídricos e a minimização dos impactos ambientais negativos, relacionados com a geração e lançamento de efluentes para o meio ambiente.

Esta abordagem, por sua vez, irá contribuir para a proteção da saúde e segurança dos seres humanos e do meio ambiente, bem como para a preservação dos recursos naturais, condições estas que estão entre as principais metas estabelecidas durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - ECO 92, realizada na cidade do Rio de Janeiro - RJ, de 03 a 14 de junho de 1992.

2. NECESSIDADE DE UM NOVO MODELO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES NAS INDÚSTRIAS

Dentre os diversos recursos naturais utilizados pelo ser humano, a água é, sem dúvida nenhuma, um dos mais importantes, pois o surgimento de vida em nosso Planeta só foi possível, devido à sua presença. Além de ser fundamental para o desenvolvimento de várias funções metabólicas dos seres vivos, nos dias atuais, a água é muito importante para o desenvolvimento das diversas atividades humanas, principalmente na agricultura e na indústria, sem as quais não seria possível atingir o atual estágio de desenvolvimento.

Com o aumento da população mundial ocorre, inevitavelmente, uma maior demanda por alimentos e produtos industrializados intensificando a utilização dos recursos naturais como um todo, mas principalmente da água, podendo resultar no surgimento de conflitos entre os diversos segmentos da sociedade, devido aos múltiplos usos que podem ser dados a este recurso, o que implica numa disputa por uma quantidade cada vez mais limitada do mesmo.

É evidente que a possibilidade de ocorrência de conflitos relacionados ao uso da água está diretamente vinculada à disponibilidade de recursos hídricos e ao modelo de gerenciamento hídrico adotado. Por esta razão é de fundamental importância o conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos existentes em uma determinada região, além da demanda de água, presente e futura, desta mesma região, com o objetivo de identificar a possibilidade de ocorrência de conflitos relacionados à utilização destes recursos, podendo-se, em tempo hábil, desenvolver programas ou adotar estratégias que visem eliminar a possibilidade de ocorrência de conflitos potenciais, ou então, minimizá-los.

Com este enfoque, neste capítulo, serão apresentados, inicialmente, alguns conceitos referentes à escassez de recursos hídricos, os quais podem gerar conflitos potenciais, além dos dados referentes à disponibilidade hídrica e consumo de água nas diversas regiões do Planeta, dando-se ênfase à situação brasileira, buscando-se identificar as possíveis áreas susceptíveis ao surgimento de conflitos relacionados ao uso da água.

Também deverão ser abordadas as questões referentes à degradação da qualidade da água devido às atividades industriais, questões referentes à legislação brasileira para o controle do uso e qualidade dos recursos hídricos e os conceitos defendidos na Agenda 21, de forma que se possa verificar a real necessidade do desenvolvimento de estratégias para o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, que é o objetivo deste trabalho.

2.1. Escassez de recursos hídricos e geração de conflitos potenciais

Como já mencionado, na vida moderna, a água é de grande importância para os seres humanos pois, além da sua função básica, que é a manutenção de vida no Planeta, ela apresenta um grande número de aplicações como, por exemplo, transporte de mercadorias e pessoas, geração de energia, produção e processamento de alimentos, processos industriais diversos e transporte e assimilação de efluentes. Além destas aplicações a água é fundamental para a preservação da fauna e da flora (MORAN, MORGAN & WIERZMA, 1985).

O desenvolvimento harmônico de todas estas atividades só é possível quando a disponibilidade dos recursos hídricos excede, significativamente, as demandas exigidas. À medida que a relação entre disponibilidade hídrica e demanda vai diminuindo, a probabilidade do surgimento de conflitos entre os diversos usuários dos recursos hídricos, bem como o surgimento de estresse ambiental, vai se tornando mais acentuada.

De uma maneira geral, existem duas razões pelas quais a alteração da relação entre disponibilidade hídrica e demanda de água pode ocorrer. A primeira delas se deve aos fenômenos naturais, associados às condições climáticas de cada região, o que pode ser um fator predominante em determinados países do globo. A Segunda razão está diretamente associada ao crescimento populacional, que acaba exercendo uma pressão cada vez mais intensa sobre os recursos hídricos, seja pelo aumento da demanda, ou então, pelos problemas relacionados à poluição destes recursos, devido ao desenvolvimento de suas atividades.

Considerando-se estas duas causas para a redução da relação entre disponibilidade hídrica e demanda, pode-se definir uma escala que indique a tendência para o surgimento de conflitos relacionados à utilização dos recursos hídricos. Nesta escala deve-se levar em consideração as condições climáticas de cada região (diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica) e o número de habitantes desta região (relacionado à demanda dos recursos hídricos), conforme apresentado na figura 2.1.

Figura 2.1 – Escala para relacionar a tendência do surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos, em função da disponibilidade hídrica e o aumento da população.

É importante observar que a disponibilidade dos recursos hídricos pode variar sazonalmente, em função das condições climáticas, ou então, esta disponibilidade pode ser reduzida devido aos processos de degradação da qualidade dos recursos hídricos, causados principalmente pelos processos de poluição. Assim sendo, com o aumento da população pode ocorrer uma diminuição global na disponibilidade hídrica, caso não sejam adotadas estratégias de gerenciamento que visem proteger estes recursos dos processos de poluição.

Considerando-se o problema de disponibilidade hídrica e a necessidade de água para o desenvolvimento das diversas atividades humanas, Falkenmark (1992), estabeleceu uma classificação dos problemas relacionados ao gerenciamento dos recursos hídricos, associados à competição pelo uso da água. Para esta classificação Falkenmark definiu a unidade anual de fluxo, que equivale a um volume de um

milhão de metros cúbicos de água por ano. Com base nesta unidade, foi estabelecida uma relação entre o número de pessoas ou consumidores, fazendo uso de uma unidade de fluxo e os problemas relacionados ao gerenciamento hídrico, conforme apresentado na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação dos problemas associados à competição pela água

Código	Relação entre Nº de Consumidores por Unidade de Fluxo	Problemas Associados ao Gerenciamento Hídrico
1	< 100	Sem problemas ou problemas limitados.
2	100 – 600	Problemas gerais de gerenciamento.
3	600 – 1.000	Grande pressão sobre os recursos hídricos.
4	1.000 – 2.000	Escassez crônica de água.
5	> 2.000	Além do limite de disponibilidade.

Fonte: Falkenmark, 1992

A classificação da tabela 2.1 pode ser adaptada à escala proposta para relacionar a tendência do surgimento de conflitos pelo uso da água, com a disponibilidade hídrica e o aumento da população, conforme apresentado a seguir.

2.1.1. Adaptação da escala de tendência do surgimento de conflitos pelo uso da água

Para que se possa fazer uma adaptação da classificação de Falkenmark são definidas as seguintes grandezas:

Demanda Específica de Água (DEA) – relaciona a disponibilidade anual de água por habitante, expressa em metros cúbicos por ano, por habitante (m³/ano.habitante);

Índice de Comprometimento dos Recursos Hídricos (ICRH) – associado à tendência do surgimento de conflitos potenciais e outros problemas ambientais em uma determinada região, número adimensional que pode variar de 1 a 5.

Tomando-se como base a proposta de Falkenmark e implementando-se uma alteração nas faixas referentes aos códigos 2 e 3 de sua classificação, pode ser

estabelecida uma associação entre as grandezas DEA e ICRH com os problemas potenciais associados à disputa pela água. Na tabela 2.2 é apresentada esta relação.

Tabela 2.2 – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água

Índice de Comprometimento dos Recursos Hídricos (ICRH)	Disponibilidade Específica de Água DEA ($\text{m}^3/\text{ano.habitante}$)	Tendência para o Surgimento de Estresse Ambiental e Geração de Conflitos	Problemas Associados ao Gerenciamento Hídrico
1	$\text{DEA} \geq 10.000$	Sem tendências para o surgimento de estresse ambiental ou conflitos. Quantidade da água suficiente para o atendimento das necessidades humanas e do meio ambiente.	Sem problemas ou problemas limitados.
2	$10.000 > \text{DEA} \geq 2.000$	Tendência ao surgimento de pequenas disputas com relação ao uso da água devido, principalmente, a processos isolados de poluição, que podem causar efeitos adversos ao meio ambiente.	Problemas gerais de gerenciamento.
3	$2.000 > \text{DEA} \geq 1.000$	Tendência ao surgimento de estresse ambiental devido ao comprometimento da capacidade natural de autodepuração e contaminação do ambiente aquático e surgimento de conflitos relacionados ao uso da água, causados por problemas generalizados de poluição, podendo contribuir para a redução da disponibilidade dos recursos hídricos e necessidade de redução na intensidade, ou interrupção de algumas atividades humanas.	Grande pressão sobre os recursos hídricos.
4	$1.000 > \text{DEA} \geq 500$	Probabilidade de ocorrência de graves problemas ambientais, podendo comprometer a qualidade de vida da população em geral, intensificando-se ainda mais os conflitos relacionados ao uso da água.	Escassez crônica de água.
5	$\text{DEA} < 500$	Condição crítica com relação ao estresse ambiental e a geração de conflitos com relação ao uso da água, devendo-se priorizar o abastecimento doméstico, a produção de alimentos básicos e a proteção do meio ambiente, restringindo-se as atividades industriais àquelas extremamente necessárias.	Além do limite de disponibilidade de água.

A alteração dos valores referentes aos códigos 2 e 3 da escala de Falkenmark é devida ao ajuste de uma expressão que possa relacionar a DEA com o ICRH, grandezas definidas anteriormente.

Elaborando-se um gráfico que relaciona o índice de comprometimento dos recursos hídricos (ICRH), em função da disponibilidade específica de água (DEA), pode ser constatado um crescimento exponencial do ICRH em função da redução da DEA, conforme pode ser verificado na figura 2.2. Isto, por sua vez, reforça o conceito de que a redução dos recursos hídricos pode ocorrer em função dos processos de poluição, contribuindo para o aumento do ICRH.

Figura 2.2 – Relação entre ICRH e DEA

Uma outra correlação que pode ser desenvolvida com a utilização da DEA refere-se ao nível de receita (riqueza), de uma determinada região, já que o desenvolvimento econômico também está associado à disponibilidade dos recursos naturais, principalmente água.

Com base no levantamento dos dados referentes ao nível de riqueza das diversas nações do Planeta e da disponibilidade hídrica por habitante destas nações, os quais são apresentados no relatório anual do Banco Mundial (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1997), obteve-se a tabela 2.3, onde foi feita uma relação entre o nível de receita das nações com a disponibilidade específica de água.

Tabela 2.3 – Relação entre nível de receitas das nações e DEA

Tipo de Economia	DEA (m³/ano.habitante)
Economias com baixo nível de receita	4.119,63
Economias com nível médio-baixo de receita	11.452,37
Economias com nível médio-alto de receita	22.381,93
Economias com nível alto de receita	9.354,91
Brasil ⁽¹⁾	30.184,58

(1) – Valor referente ao ano de 2025. Os demais valores referem-se ao ano de 1995.

Fonte: World Resources Institute, 1998-99

Com base nos dados apresentados na tabela acima se pode concluir que as nações com o menor nível de receita econômica, também apresentam a menor disponibilidade específica de água, ressaltando-se que este não é o único fator responsável por esta situação. Outra conclusão que pode ser obtida pela análise destes dados é que as nações com maior potencial para o aumento de suas receitas são as economias que estão dentro da categoria de Economias com Nível Médio-Alto de Receita, entre elas o Brasil, enquanto as economias com nível alto de receita devem estabilizar o seu crescimento, ou então, encontrar alternativas que possibilitem um suprimento adicional de água, incorrendo no risco de atingirem um valor do ICRH crítico, caso nenhuma ação seja tomada.

Pela associação do ICRH e da DEA, obtida a partir dos dados referentes à disponibilidade hídrica em cada região do Planeta e na projeção do aumento da população nestas regiões, pode-se identificar as possíveis áreas que poderão estar sujeitas à ocorrência de conflitos relacionados ao uso da água, podendo-se, desta forma, adotar medidas que visem eliminar os problemas relacionados à escassez, ou então, minimizar os seus efeitos.

Para que uma determinada região do Planeta possa ser caracterizada em relação à tendência para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos, é necessário que se tenha, à mão, os dados referentes à disponibilidade hídrica desta região, além da projeção do crescimento populacional para a mesma os quais, por meio de um cálculo simples, resultarão no valor referente à Demanda Específica de Água e, conseqüentemente, na classificação desta região em uma das categorias apresentadas na tabela 2.2. Com isto pode-se identificar, em tempo hábil, as possíveis áreas sujeitas ao surgimento de conflitos associados ao uso da água e desenvolver programas que visem minimizar os possíveis efeitos adversos aos seres humanos e ao meio ambiente.

2.2. Disponibilidade hídrica

Para que se possa identificar as regiões com possíveis problemas relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos, inicialmente, deve-se verificar qual é a disponibilidade hídrica da região que se tem interesse, bem como se deve quantificar a população a ser atendida por estes recursos, podendo-se trabalhar com os valores presentes ou projeções para o futuro, verificando-se a possibilidade de ampliação das atividades existentes ou a implantação de novas atividades na região, visando a melhoria da qualidade de vida da população.

Embora o objetivo principal deste trabalho seja o levantamento dos dados relacionados ao Brasil e mais especificamente ao Estado de São Paulo, inicialmente será feita uma abordagem a nível mundial com relação aos recursos hídricos disponíveis e a Disponibilidade Específica de Água, para uma situação presente (1995) e uma projeção para o ano 2025.

Os dados utilizados para a determinação dos valores referentes a DEA, foram obtidos a partir dos dados apresentados por Mays (1996) e em World Resources (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1997 e 1998). Na tabela 2.4 são apresentados os dados referentes à Disponibilidade Específica de Água no mundo.

Relacionando-se os valores apresentados na tabela 2.4 com a escala do ICRH, verifica-se que os países localizados nos continentes africano e asiático estão em uma situação mais crítica, seguidos pelos países da Europa, América do Norte e Central, que se encontram no limite entre o ICRH 1 e 2. Já os países localizados América do Sul, Austrália e Oceania, são os que estão em melhores condições com relação à disponibilidade de recursos hídricos. Na figura 2.3 é apresentada a classificação dos continentes, na escala do ICRH proposta (foram utilizados os menores valores da DEA).

Figura 2.3 – Classificação mundial dos continentes em função do índice de comprometimento dos recursos hídricos

Tabela 2.4 – Distribuição de recursos hídricos por continente

Local	Disponibilidade Hídrica (m³/ano)		População (Milhões)		DEA (m³/ano.Habitante)				Variação (%) Mays e World Bank
					Larry W. Mays		World Bank		
	Larry W. Mays	World Bank	1995	2025	1995	2025	1995	2025	
África	4,57e12	3,95e12	728,074	1.495,772	6.276,83	3.055,28	5.425,27	2.640,78	- 51,32
América do Norte e Central	8,20e12	6,40e12	454,229	615,549	18.052,57	13.321,44	14.089,81	10.397,22	- 26,21
América do Sul	1,18e13	1,19e13	319,790	462,664	36.899,22	25.504,47	37.211,92	25.720,61	- 30,88
Ásia	1,44e13	1,38e13	3.457,957	4.959,987	4.164,31	2.903,23	3.990,80	2.782,27	- 30,28
Austrália e Oceania	2,39e12	1,47e12	28,549	41,027	83.715,72	58.254,32	51.490,42	35.830,06	- 30,41
Europa	3,21e12	7,03e12	726,999	718,203	4.415,41	4.469,49	9.669,89	9.788,32	+ 1,23
Brasil	6,15e12	6,95e12	161,790	230,250	38.012,24	26.710,10	42.956,92	30.184,58	- 29,73
Mundo	4,46e13	4,46e13	5.715,598	8.293,202	7.803,21	5.377,90	7.803,21	5.377,90	- 31,08

Fontes: Mays, 1996; World Resources Institute, 1997-1998

Analisando-se os dados apresentados, a primeira vista, pode-se dizer que nenhum dos continentes apresenta graves problemas relacionados ao gerenciamento de seus recursos hídricos, visto que o menor valor obtido para o ICRH equivale a 1,84, projeção feita para o ano 2025 que, pela escala proposta na tabela 2.2, irá resultar no surgimento de pequenas disputas com relação ao uso da água devido, principalmente, a processos isolados de poluição, com pequenas implicações sobre o meio ambiente.

Pela média do Brasil, poderia ser afirmado que o país apresenta uma situação muito confortável com relação à disponibilidade de recursos hídricos e que a probabilidade do surgimento de qualquer conflito com relação ao uso da água seria muito remota. No entanto, no Brasil, como em qualquer outra região do Planeta, existem regiões críticas onde o problema de escassez hídrica é bastante acentuado, seja esta escassez relacionada às condições climáticas desfavoráveis, ou então, devido à grande concentração populacional em áreas urbanas, onde são desenvolvidos os mais variados tipos de atividades.

Como o objetivo deste trabalho é abordar as questões relacionadas à disponibilidade hídrica e modelos de gerenciamento dos recursos hídricos para as indústrias, utilizando-se como plano de referência a situação brasileira, a seguir será apresentada a situação relacionada à disponibilidade de recursos hídricos para a nossa situação, direcionando o foco de atenção, das análises a serem efetuadas, para o Estado de São Paulo, que é o estado que apresenta o maior índice de atividade industrial no país (IBGE, 1998).

2.2.1. Situação brasileira referente à disponibilidade hídrica

De uma maneira geral, o Brasil é um país privilegiado com relação à disponibilidade de recursos hídricos, principalmente de recursos superficiais, que são, segundo o Banco Mundial, de $6,95 \times 10^{+12}$ m³/ano (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1998) e de $8,13 \times 10^{+12}$ m³/ano (RAMIRO, 1997). Caso estes recursos fossem distribuídos uniformemente por toda a superfície do país, com absoluta certeza, não teríamos nenhum problema relacionado à escassez de água, principalmente aqueles referentes ao surgimento de conflitos relacionados ao seu uso.

No entanto, a idéia de uma distribuição equânime de água em todo o território nacional é completamente utópica devido às dimensões continentais do nosso país, possibilitando a ocorrência de condições climáticas bastante variadas, as quais afetam, diretamente, as características hidrológicas de cada região e, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica nestas regiões, como pode ser verificado pela análise dos dados apresentados nas tabelas 2.5 e 2.6.

Tabela 2.5 – Tipologia climática do Brasil

Tipo de Clima	Áreas ou Estados Abrangidos	Temperatura Média Anual (°C)	Índice Pluviométrico (mm/ano)
Equatorial	Acre, Amapá, Amazonas, Norte de Mato Grosso, Parte de Roraima e Rondônia	24 a 26	> 3.500 nas áreas superúmidas < 2.000 nas áreas úmidas
Tropical (Zona Equatorial)	Parte da região nordeste (Maranhão, Pernambuco, parte da Bahia, leste de Roraima, Ceará, Piauí, Norte de Tocantins).	Superior a 26	1500 a 750 no semi-úmido 750 no semi-árido < 500 nos núcleos mais secos (Raso da Catarina – Bahia e Pernambuco – Depressão de Patos da Paraíba)
Tropical (Nordeste Oriental)	Litoral e a encosta oriental do Planalto do Rio Grande do Norte ao Recôncavo Bahiano.	24 – 26	> 1250 no setor mais úmido do Nordeste > 2000 no sul de Pernambuco e da Bahia.
Tropical Brasil Central	Região Sudeste e quase toda a Região Centro-Oeste e parte da Região Nordeste.	Depende da Região, podendo variar de temperaturas inferiores a 18 °C nas serras e chapadas, até temperaturas superiores a 24 °C nas regiões localizadas mais a oeste.	São observadas grandes variações no índice pluviométrico, podendo-se ter valores equivalentes aos observados nas regiões superúmidas (> 3500 mm), até valores típicos do semi-árido (750 mm).
Temperado	Quase toda a Região Sul	20	1.250 a 2.000

Fonte: IBGE, 1998

Tabela 2.6 - Disponibilidade hídrica potencial no Brasil

Estado	População (habitantes)	Demanda Total (m ³ /ano.Habitante)	Disponibilidade Específica de Água (m ³ /ano.Habitante)
Acre	483.374	144	351.977
Amapá	361.831	148	318.994
Amazonas	2.506.044	177	1.673.669
Pará	6.264.869	161	159.465
Rondônia	1.649.353	151	427.108
Roraima	340.734	194	500.989
Tocantins	1.016.879	673	120.887
Região Norte	12.623.084	204	513.102
Alagoas	2.796.375	227	1.579
Bahia	13.114.736	308	2.748
Ceará	6.915.342	363	2.239
Maranhão	5.418.080	153	15.622
Paraíba	3.415.886	288	1.348
Pernambuco	7.616.477	332	1.234
Piauí	2.810.968	404	8.818
Rio Grande do Norte	2.691.619	326	1.593
Sergipe	1.684.620	307	1.535
Região Nordeste	46.464.103	302	4.009
Espírito Santo	2.911.399	613	5.979
Minas Gerais	16.931.099	418	11.483
Rio de Janeiro	13.522.553	461	2.169
São Paulo	35.035.219	421	2.621
Região Sudeste	68.400.270	436	4.868

Tabela 2.6 - Disponibilidade hídrica potencial no Brasil (continuação)

Estado	População (habitantes)	Demanda Total (m ³ /ano.Habitante)	Disponibilidade Específica de Água (m ³ /ano.Habitante)
Paraná	8.838.903	288	13.247
Santa Catarina	5.022.885	492	12.720
Rio Grande do Sul	9.826.970	1.216	19.929
Região Sul	23.688.758	716	15.907
Distrito Federal	1.836.866	204	1.528
Goiás	4.428.021	293	36.308
Mato Grosso	2.623.374	373	198.938
Mato Grosso do Sul	2.002.684	499	34.769
Região Centro-Oeste	10.890.945	355	69.477
Brasil	162.067.160	414	50.162

Fonte: Ramiro, 1997

Como pode ser observado pelos dados apresentados acima, existe uma grande variação na disponibilidade específica de água entre os diversos estados que compõem o território brasileiro, constatando-se que a região mais crítica é a região nordeste, seguida pela região sudeste. Deve-se observar que, o que leva estas duas regiões a apresentarem a menor disponibilidade específica de água são distintas. Na região nordeste o fator preponderante refere-se ao próprio potencial hídrico, principalmente em função das condições climáticas da região, enquanto na região sudeste o principal fator refere-se ao número de pessoas que devem ser atendidas, ou seja, demanda excessiva.

2.2.2. Recursos hídricos e demandas de água no estado de São Paulo

No estado de São Paulo, em 1991, foi sancionada a Lei nº 7.663, de 30 de Dezembro de 1.991, que *Estabelece as normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos* (São Paulo – CRH, 1992), sendo um dos principais objetivos desta lei, “assegurar

que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras em todo o território do Estado de São Paulo”.

Com base nesta lei foram criados os Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado, atingindo-se um total de 22 comitês que abrangem todo o território estadual. Em 1997, a Secretaria do Meio Ambiente Estadual (São Paulo – SMA, 1997 b), elaborou uma publicação que trata da gestão das águas no Estado. Nesta publicação são apresentados os dados referentes às disponibilidades de água por bacia hidrográfica, bem como são apresentadas as demandas de água para cada tipo de uso (urbano, industrial e agrícola), para os 22 comitês de bacias existentes, com base no ano de 1990 e com base em uma projeção para o ano de 2010. Um resumo dos dados referentes à disponibilidade hídrica e demanda de água por comitê de bacia são apresentados na tabela 2.7.

A partir dos dados apresentados na tabela 2.7, pode-se obter a variação na demanda de água para cada tipo de uso, no período compreendido entre o ano de 1990 e 2010 e a variação do consumo médio de água por habitante neste mesmo período, conforme mostrado nas tabelas 2.8 e 2.9. Um panorama com relação à distribuição do Consumo de Água por Atividade é apresentado na figura 2.4.

Tabela 2.7 – Disponibilidade e demanda de água no Estado de São Paulo, dados por bacia hidrográfica

UGRHI	Disponibilidade Superficial (m³/s)		Disponibilidade Subterrânea (m³/h)	População (1000 hab)		Demandas (m³/s)						Relação Demanda/Disponibilidade Superficial (%)		Disponibilidade Específica de Água (m³/hab.ano) - 2010	
	Doméstico					Industrial		Irrigação		1990	2010	Q _{ref}	Q _{7,10}		
	Q _{ref}	Q _{7,10}		1990	2010	1990	2010	1990	2010					1990	2010
1	8.00	7.00	5 - 40	50	64	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	3.75	5.00	3942.0	3449.3
2	140.00	71.00	15 - 290	1503	2277	3.50	7.20	8.30	12.90	8.20	30.90	14.29	36.43	1939.0	983.3
3 ^(a)	36.00	27.00	10 - 40	137	253	0.50	0.90	0.00	0.00	0.30	1.80	2.22	7.50	4487.3	3365.5
4	67.00	37.00	72 - 300	819	1111	3.60	3.10	8.30	22.40	15.70	30.90	41.19	84.18	1901.8	1050.3
5 ^(b)	49.00	38.00	32 - 120	3882	5541	13.30	18.30	12.50	19.90	7.60	7.00	68.16	92.24	278.9	216.3
6	113.00	18.00	10 - 70	16119	19871	62.30	68.80	4.60	4.80	4.20	3.60	62.92	68.32	179.3	28.6
7 ^(b e c)	61.00	38.00	10 - 30	1328	1746	7.60	10.90	11.20	12.10	0.00	0.00	30.82	37.70	1101.8	686.4
8	35.00	28.00	5 - 50	476	627	1.80	1.80	0.30	0.30	8.80	17.40	31.14	55.71	1760.4	1408.3
9	59.00	47.00	72 - 280	1056	1510	3.50	4.90	16.60	11.40	16.70	32.40	62.37	82.54	1232.2	981.6
10	222.00	24.00	72 - 270	1301	2883	3.70	7.50	6.80	13.50	10.90	24.30	9.64	20.41	2428.4	262.5
11	180.00	153.00	9 - 60	305	492	0.60	0.90	1.30	2.10	2.30	4.20	2.33	4.00	11537.6	9806.9
12	151.00	20.00	13 - 70	247	293	1.00	1.10	1.40	3.90	10.10	15.00	8.28	13.25	16252.3	2152.6
13	286.00	39.00	63 - 270	1125	1759	3.10	6.70	8.00	9.40	3.30	8.70	5.03	8.67	5127.5	699.2
14	244.00	80.00	62 - 150	595	787	1.30	1.60	1.70	4.60	18.30	36.60	8.73	17.54	9777.4	3205.7
15	32.00	26.00	13 - 80	906	1269	4.20	5.30	2.00	5.10	11.40	19.50	55.00	93.44	795.2	646.1
16	382.00	24.00	8 - 50	399	468	0.90	1.30	1.40	4.20	6.50	15.30	2.30	5.45	25740.9	1617.2
17	360.00	68.00	13 - 80	480	595	1.40	2.00	3.00	7.60	4.50	9.00	2.47	5.17	19080.6	3604.1
18	15.00	12.00	5 - 20	160	146	0.60	0.60	0.20	0.60	2.60	5.10	22.67	42.00	3240.0	2592.0
19	426.00	26.00	8 - 50	598	735	1.60	2.40	1.80	5.30	9.80	17.40	3.10	5.89	18278.0	1115.6
20	35.00	28.00	8 - 50	347	422	0.80	1.00	0.80	2.30	3.90	9.90	15.71	37.71	2615.5	2092.4
21	40.00	34.00	8 - 60	370	505	1.00	1.40	0.30	1.60	2.00	3.60	8.25	16.50	2497.9	2123.2
22	507.00	35.00	38 - 260	408	580	0.90	1.60	1.20	1.80	6.30	5.10	1.66	1.68	27566.8	1903.0
Total	3448.00	880.00	551 - 2690	32611	43934	117.30	149.50	91.80	145.90	153.50	297.80	10.52	17.20	2475.0	631.7

(a) O valor 0,0 representa uma demanda inexpressiva; (b) As Demandas indicadas no ano de 1990 são na realidade referentes a 1995; (c) Os valores de Demanda referem-se ao período do verão

Fonte: São Paulo – SMA, 1997 b

Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), referentes à tabela 2.7:

1 – Rio Paraíba do Sul	12 – Baixo Pardo / Grande
2 – Serra da Mantiqueira	13 – Tietê / Jacaré
3 – Litoral Norte	14 – Alto Paranapanema
4 – Rio Pardo	15 – Turvo / Grande
5 – Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí	16 – Tietê / Batalha
6 – Alto Tietê	17 – Médio Paranapanema
7 – Baixada Santista	18 – Rio São José dos Dourados
8 – Sapucaí Mirim / Grande	19 – Baixo Tietê
9 – Rio Mogi Guaçu	20 – Rio Aguapeí
10 – Rios Sorocaba e Médio Tietê	21 – Rio Peixe
11 – Ribeira do Iguape e Litoral Sul	22 – Pontal do Paranapanema

Tabela 2.8 – Evolução na demanda de água no período de 1990 a 2010

Uso da Água	Demanda (m ³ /s)		Variação (%)
	1990	2010	
Doméstico	117,30	149,50	27,45
Industrial	91,80	145,90	58,93
Irrigação	153,50	297,80	94,01
Total	362,60	593,20	63,60

Tabela 2.9 – Variação do consumo médio de água por habitante no período de 1990 a 2010

Uso da Água	Demanda (m ³ /ano.hab)		Variação (%)
	1990	2010	
Doméstico	113,43	107,31	- 5,40
Industrial	88,77	104,73	17,98
Irrigação	148,44	213,76	44,00
Total	350,65	425,80	21,43

Figura 2.4 – Distribuição do consumo de água por atividade

Pelos dados apresentados anteriormente é possível constatar que deverá haver um aumento na demanda de água para consumo industrial e para irrigação nos próximos anos, enquanto que a demanda para consumo humano deverá sofrer uma redução.

Ainda com base nos dados apresentados, também é possível obter a classificação de cada uma das bacias hidrográficas, de acordo com a DEA e do ICRH, conforme apresentado na figura 2.5.

A despeito do extraordinário potencial hidrológico de que o Brasil dispõe, os dados apresentados demonstram que a distribuição destes recursos não é uniforme e que, mesmo em uma única região, podem ocorrer problemas relacionados à escassez de água, principalmente, pela distribuição da população nesta região, o que conduz a um maior consumo dos recursos hídricos.

No Estado de São Paulo observa-se que muitas áreas apresentam uma situação crítica com relação à disponibilidade hídrica estando associados os dois fatores que conduzem aos problemas de escassez hídrica. Atenção especial deve ser dada às regiões que fazem parte das UGRHI's do Alto Tietê (DEA = 179,3 m³/ano.Habitante) e dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (DEA = 278,9 m³/ano.Habitante), que podem ser consideradas críticas com relação ao surgimento de conflitos pelo uso da água.

Figura 2.5 – Variação do índice de comprometimento dos recursos hídricos em função da disponibilidade específica de água para o estado de São Paulo

Muito embora as duas regiões mencionadas anteriormente sejam as mais críticas em relação à disponibilidade hídrica, existem outras que merecem atenção, pois já se encontram em uma condição de alerta, uma vez que a Disponibilidade Específica de Água destas regiões já está se aproximando do valor crítico, exemplo da UGRHI Turvo / Grande (DEA = 795,2 m³/ano.Habitante), UGRHI da Baixada Santista (DEA = 1102 m³/ano.Habitante) e UGRHI do Rio Mogi Guaçu (DEA = 1232 m³/ano.Habitante).

Pelo exposto anteriormente, verifica-se que o desenvolvimento de novas estratégias relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, não só nas indústrias, é uma realidade, fato este que dá subsídios, mais do que suficientes, para a elaboração deste trabalho.

2.3. As indústrias e a degradação da qualidade das águas

Os problemas relacionados à degradação da qualidade da água não são uma característica exclusiva dos tempos modernos, pois se sabe que, logo após a queda do Império Romano, as questões relacionadas ao abastecimento de água e ao saneamento foram deixadas de lado, resultando em péssimas condições sanitárias, fazendo com que a Europa fosse varrida por várias epidemias, relacionadas à poluição das águas e pelos dejetos, humanos e animais, lançados nas ruas e nos corpos d'água (MAYS, 1996).

A primeira vez que se teve uma relação clara entre a má qualidade da água e os efeitos desta sobre a saúde humana foi, em 1854, quando John Snow investigou o surgimento de uma epidemia de cólera em Londres, relacionada às águas do rio Thames, altamente poluídas por esgotos (MEYBECK, CHAPMAN & HELMER, 1990). Os problemas identificados estavam associados aos organismos patogênicos, de origem fecal, presentes nestas águas. Estes casos de degradação da qualidade dos corpos d'água não estavam relacionados às atividades industriais, já que nesta época, as mesmas não eram tão intensas.

Em função do acelerado crescimento industrial, a partir da metade do século XX outros problemas de poluição das águas começaram a se manifestar em várias partes do mundo. Durante a década de 50 do século passado, vários casos sazonais de depleção dos níveis de oxigênio nos rios causavam uma degradação da sua qualidade, além de dificultar o tratamento da água para fins potáveis. Esta depleção do oxigênio dos corpos d'água era devida, principalmente, a alta carga de compostos orgânicos biodegradáveis provenientes das cidades riparianas e das indústrias.

A década de 70 do século XX foi marcada pelos problemas relacionados ao aumento da concentração de metais pesados nos sedimentos e águas dos rios e lagos, além da produção e uso de milhares de compostos químicos sintéticos, que eram lançados no meio ambiente inadvertidamente (MEYBECK, CHAPMAN & HELMER, 1990). Muitas destas substâncias sintéticas, produzidas e utilizadas pelo Homem, apresentam efeitos tóxicos para os seres humanos, bem como para os demais seres vivos, quando as mesmas estão disponíveis no meio ambiente (HESPANHOL, 1992).

Por muito tempo, em função do desconhecimento dos efeitos adversos dos vários compostos químicos produzidos e comercializados pelas indústrias, além da inexistência de estratégias e mecanismos de controle da qualidade ambiental, muitos destes compostos foram descartados para os cursos d'água, o que resultou na degradação da qualidade dos recursos hídricos, comprometendo a utilização dos mesmos para o desenvolvimento das diversas atividades humanas.

Atualmente, os seres humanos, bem como os demais seres vivos se defrontam com vários problemas de poluição das águas, sendo alguns destes bastante antigos como é o caso da contaminação da água por organismos patogênicos, substâncias consumidoras de oxigênio e nutrientes, além dos problemas mais recentes, que se referem à poluição por defensivos agrícolas, metais pesados, óleos, sedimentos, substâncias radioativas e calor (poluição térmica). A isto, deve ser associada a infinidade de novos compostos químicos produzidos e utilizados nos dias atuais, para a maioria dos quais não se tem idéia dos problemas ambientais que podem ser

causados devido à interação entre duas ou mais destas substâncias, quando as mesmas estão presentes no meio ambiente (HESPANHOL, 1999).

Os fatos apresentados anteriormente demonstram que as indústrias têm grande responsabilidade pelos processos de degradação da qualidade das águas, não apenas devido à utilização deste recurso para o desenvolvimento das diversas atividades industriais, mas também devido à contaminação dos recursos hídricos, causada pelas substâncias tóxicas presentes nos seus efluentes, bem como pela utilização dos produtos que esta desenvolve (BUCHLER, 1992), o que reforça, ainda mais, a necessidade do desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas nas indústrias.

2.4. A legislação brasileira referente aos recursos hídricos

Dada a grande importância da água para o desenvolvimento das diversas atividades humanas, tornou-se necessário o estabelecimento de normas que disciplinassem a utilização dos recursos hídricos pelos diversos segmentos da sociedade, principalmente pelas indústrias.

A nossa legislação, desde a sua implantação, tem como principal objetivo minimizar os problemas de poluição, causados ao meio ambiente, devido à emissão de efluentes para os corpos receptores.

As normas desenvolvidas incorporam o conceito conhecido como Comando e Controle, ou seja, órgãos federais e estaduais estabelecem padrões de qualidade para os recursos hídricos, bem como os padrões para a emissão de efluentes, os quais devem ser seguidos pelas indústrias e demais ramos de atividade, quando aplicáveis, sendo posteriormente feita uma fiscalização para verificar se as regras estabelecidas estão sendo cumpridas.

No Brasil, existem normas que estabelecem a classificação dos recursos hídricos de todo o território nacional, de acordo com as suas características físicas, químicas e biológicas e ao uso a que se destinam, bem como estabelecem os padrões para o

lançamento de efluentes de qualquer natureza nestes recursos, tanto a nível Federal, quanto a nível Estadual.

Além das normas de controle foi aprovada a nível federal, recentemente, a norma que dispõem sobre a Política Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, na qual são estabelecidos os procedimentos para a implantação de sistemas integrados de gerenciamento dos recursos hídricos, sendo que no estado de São Paulo já existe uma norma semelhante, aprovada em dezembro de 1991.

2.4.1. Legislação federal

Na esfera Federal, dentre as diversas normas que tratam da questão referente aos recursos hídricos, todas elas amparadas na Constituição Federal de 1988, ou então, na Constituição vigente na época, uma norma que deve ser destacada, é a Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de Julho de 1986, que trata da classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, de acordo com a utilização que deve ser dada às mesmas, com os respectivos padrões de qualidade para cada classe (CETESB, 1992b).

De acordo com esta resolução, as águas deverão ser enquadradas na seguinte classificação:

Águas Doces

Classe	Principais Usos
<i>Classe Especial</i>	a) abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas

Águas Doces (continuação)

Classe	Principais Usos
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado b) proteção das comunidades aquáticas c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas e) criação natural e/ou intensiva (aquicultura), de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> a) abastecimento doméstico após tratamento convencional b) proteção das comunidades aquáticas c) recreação de contato primário d) irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e) criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> a) abastecimento doméstico após tratamento convencional b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras c) à dessedentação de animais
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> a) navegação b) harmonia paisagística c) usos menos exigentes

Águas Salinas

Classe	Principais Usos
Classe 5	<ul style="list-style-type: none"> a) recreação de contato primário b) proteção das comunidades aquáticas c) criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana

Águas Salinas (continuação)

Classe	Principais Usos
Classe 6	a) navegação comercial b) harmonia paisagística c) recreação de contato secundário

Águas Salobras

Classe	Principais Usos
Classe 7	a) recreação de contato primário b) proteção das comunidades aquáticas c) criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana
Classe 8	a) navegação comercial b) harmonia paisagística c) recreação de contato secundário

Além dos padrões de qualidade estabelecidos para cada classe de água, também são estabelecidos, na resolução CONAMA nº 20, os procedimentos a serem adotados para o lançamento de efluentes nos corpos d'água, bem como são definidas as concentrações máximas para o lançamento de algumas substâncias, devendo-se observar que o lançamento de qualquer efluente para um corpo receptor, não deverá alterar os padrões de qualidade estabelecidos, fazendo com que ocorra uma mudança de classe do mesmo. Na Resolução CONAMA nº 20, podem ser encontrados os requisitos estabelecidos para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora para os corpos d'água.

Por um longo período de tempo, a nível federal, a resolução CONAMA nº 20 foi um dos principais instrumentos para o controle dos processos de degradação da qualidade dos nossos recursos hídricos, até que em 08 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei federal nº 9.433, que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e altera o artigo 1º da

Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 (ABRH, 1997).

Considerando-se que o principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um programa para o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, devem ser destacadas as seções III e IV desta Lei, que tratam das questões relacionadas à outorga de direitos de uso dos recursos hídricos (seção III) e à cobrança do uso dos recursos hídricos (seção IV), onde é estabelecido o conceito do usuário pagador.

Na seção III, da outorga de direitos de uso de recursos hídricos, merecem destaque os artigos 12 e 15, transcritos, parcialmente, a seguir:

Art. 12 – Estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

I – derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III – lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

Art. 15 – A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensa parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias:

IV – necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental;

V – necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas;

Na seção IV, da cobrança do uso dos recursos hídricos, devendo-se destacar:

Art. 19 – A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva:

I – reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;

II – incentivar a racionalização do uso da água;

Art. 21 – Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:

I – nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

II – nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

É importante observar que na Lei nº 9.433 já foram integrados alguns conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável, amplamente defendido na Agenda 21, que se referem ao uso racional dos recursos hídricos e ao reconhecimento dos recursos naturais como bens econômicos.

Outra Lei que deve ser considerada, muito embora não seja específica para o gerenciamento dos recursos hídricos, é a Lei de Crimes Ambientais, nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências (Lei nº 9.605, 1998). Nesta lei atenção especial deve ser dada ao Capítulo V – Dos Crimes contra o Meio Ambiente, especificamente à seção III, que trata da Poluição e outros Crimes Ambientais, definindo como crime, os processos que causam poluição de qualquer natureza, que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora, estando sujeitos a penas de reclusão, que podem variar de um a cinco anos, os responsáveis pelos crimes de poluição hídrica que:

- torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade;
- dificultem ou impeçam o uso público das praias; ou
- ocorrerem por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

2.4.2. Legislação estadual

Em função da sua vocação industrial, pode-se dizer que o Estado de São Paulo foi o precursor do estabelecimento de normas específicas para o controle da poluição do meio ambiente, devendo-se destacar a Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, regulamentada pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, onde é atribuída à CETESB a responsabilidade pela elaboração de normas, especificações e instruções técnicas relativas ao controle da poluição, fiscalização das emissões de poluentes feitas por entidades públicas e particulares, entre outras (CETESB, 1992a).

Além das atribuições da CETESB, o Decreto nº 8.468 também trata da classificação das águas do Estado de São Paulo, apresentando os respectivos padrões de qualidade para cada classe, bem como os padrões de emissão de efluentes.

De acordo com o Decreto nº 8.468, as águas interiores, situadas no território do Estado de São Paulo são classificadas de acordo com os seguintes usos preponderantes:

I – Classe 1: águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção;

II – Classe 2: águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho);

III – **Classe 3:** águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e a dessedentação de animais;

IV – **Classe 4:** águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou a navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes.

Também são estabelecidos, neste decreto, os critérios a serem obedecidos para o lançamento de efluentes em coleções de água (artigo 18) e para os sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários (artigo 19a), os quais podem ser obtidos no respectivo decreto.

Deve-se observar que a legislação do Estado de São Paulo, além de abordar o lançamento de efluentes para os corpos d'água, também aborda a questão do lançamento de efluentes para os sistemas de coleta e tratamento de esgotos, o que não é verificado na legislação federal equivalente.

Outra Lei que tem grande destaque no cenário referente ao gerenciamento hídrico é a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (São Paulo – CRH, 1992), onde, pela primeira vez no país, foi introduzido o conceito de usuário pagador, tratado na Seção III desta lei, a qual é intitulada “Da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos”, ressaltando-se que a questão da cobrança é apresentada de uma maneira mais clara e precisa, quando comparada com a lei Federal de recursos hídricos.

A seguir é feita uma transcrição dos artigos referentes à questão da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, apresentados na Lei nº 7.663.

Art. 14 – a utilização dos recursos hídricos será cobrada na forma estabelecida nesta lei e em regulamento, obedecidos os seguintes critérios:

I – Cobrança pelo uso ou derivação, considerará a classe de uso preponderante em que for enquadrado o corpo de água onde se localiza o uso ou derivação, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada em seu regime de variação, o consumo efetivo a que se destina; e

II – A cobrança pela diluição, transporte e assimilação de efluentes de sistemas de esgotos e outros líquidos de qualquer natureza, considerará a classe de uso em que for enquadrado o corpo d'água receptor, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se, dentre outros, os parâmetros orgânicos, físico-químicos dos efluentes e a natureza da atividade responsável pelos mesmos.

Parágrafo 1º – No caso do inciso II, os responsáveis pelo lançamento não ficam desobrigados do cumprimento das normas e padrões legalmente estabelecidos, relativos ao controle de poluição das águas.

Deve-se ressaltar que a questão referente à cobrança pelo uso dos recursos hídricos ainda não foi regulamentada, muito embora havia uma previsão para que esta cobrança entrasse em vigor a partir do ano 1995. Considerando-se a complexidade desta questão, principalmente com relação à aplicação dos recursos financeiros obtidos por meio da cobrança pelo uso da água, vários estudos foram realizados e em meados de 1997, o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI), criou um grupo de trabalho que elaborou uma proposta prevendo a implementação gradual da cobrança (São Paulo – SMA, 1997b).

2.5. A gestão dos recursos hídricos e a Agenda 21

A Agenda 21, documento desenvolvido durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foi elaborada a partir de um esforço de várias Nações do Planeta, com o objetivo de integrar a proteção do meio ambiente ao desenvolvimento econômico visando, principalmente, a melhoria

da qualidade de vida dos seres humanos reforçando, desta forma, o conceito de desenvolvimento sustentável, que pode ser definido na seguinte frase:

“Satisfazer as necessidades presentes sem, no entanto, comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazerem as suas próprias necessidades”.

Com esta abordagem, o significado prático do conceito de desenvolvimento sustentável recai sobre o uso racional dos recursos naturais e sobre a proteção do meio ambiente, o que conduz à necessidade da adoção de novas estratégias com relação ao gerenciamento de todos os recursos naturais utilizados pelos seres humanos, bem como com relação às questões ambientais.

Para que o conceito de desenvolvimento sustentável possa ser viabilizado, na Agenda 21, são apresentados vários programas e planos de ação, abordando os seguintes aspectos (São Paulo – SMA, 1997a):

- I- Dimensões Econômicas e Sociais;
- II- Conservação e gerenciamento de recursos para o desenvolvimento;
- III- Fortalecimento do papel dos grupos principais;
- IV- Meios de Implementação

Considerando-se o objetivo deste trabalho, deve-se destacar o item que trata da Conservação e Gerenciamento de Recursos para o Desenvolvimento, cujas bases para ação, entre outras, refere-se à Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos – Aplicação de critérios Integrados no desenvolvimento, manejo e Uso dos Recursos Hídricos (Capítulo – 18 da Agenda 21).

O item 18.3 da Agenda 21 expressa:

“A escassez generalizada, a destruição gradual e o agravamento da poluição dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo, ao lado da implantação progressiva

de atividades incompatíveis, exigem o planejamento e manejo integrados desses recursos. Essa integração deve cobrir todos os tipos de massas inter-relacionadas de água doce, incluindo tanto águas de superfície como subterrâneas, e levar devidamente em consideração os aspectos quantitativos e qualitativos. Deve-se reconhecer o caráter multissetorial do desenvolvimento dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento sócio-econômico, bem como interesses múltiplos na utilização desses recursos para o abastecimento de água potável e saneamento, agricultura, indústria, desenvolvimento urbano, geração de energia hidroelétrica, pesqueiros de águas interiores, transporte, recreação, manejo de terras baixas e planícies e outras atividades. Os planos racionais de utilização da água para o desenvolvimento de fontes de suprimento de águas subterrâneas ou de superfície e de outras fontes potenciais têm de contar com o apoio de medidas concomitantes de conservação e minimização do desperdício. No entanto, deve-se dar prioridade às medidas de prevenção e controle de enchentes, bem como ao controle de sedimentação, onde necessário”.

Além deste item, existem vários outros que apontam para a necessidade do desenvolvimento de novas estratégias com relação ao gerenciamento dos recursos hídricos o que, sem dúvida nenhuma, dá subsídios mais do que suficientes para o desenvolvimento deste trabalho.

2.6. Justificativa para o desenvolvimento de estratégias para o gerenciamento de águas e efluentes para a indústria

Pelo exposto até o presente momento, é possível constatar que vários fatores ou condições podem influenciar na decisão pelo desenvolvimento de qualquer atividade relacionada ao gerenciamento de águas ou efluente, sendo que esta iniciativa pode ser aplicada a praticamente todas as atividades humanas, ou seja, abastecimento doméstico, uso industrial, ou agrícola. Contudo, este gerenciamento estará vinculado à disponibilidade hídrica da região, problemas de poluição existentes, legislação ambiental e, mais recentemente, ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Com relação à disponibilidade hídrica, verifica-se que o Brasil é um país privilegiado em comparação a outros países do Planeta. No entanto, a distribuição de água não é uniforme em todas as regiões, o que acaba conduzindo a problemas de escassez de água, atingindo-se condições onde a demanda de água está acima do limite de disponibilidade, condição encontrada em diversas áreas do Estado de São Paulo.

Soma-se ao problema de escassez de água, os problemas de poluição dos recursos hídricos pelos mais diversos tipos de substâncias, agravados pelas substâncias tóxicas amplamente produzidas e utilizadas pelas indústrias, as quais acabam sendo lançadas nos corpos hídricos juntamente com os efluentes industriais acentuando, ainda mais, o problema de escassez. Neste sentido, é importante observar que o Estado de São Paulo, um dos mais industrializados do país, pode ser considerado como uma área crítica em termos de poluição dos recursos hídricos por efluentes.

Devido aos processos de degradação da qualidade dos corpos d'água, principalmente em função lançamento de efluentes pelas indústrias, tornou-se necessário de desenvolvimento de normas que visassem proteger os seres humanos dos efeitos adversos da poluição. Isto acabou resultando na classificação dos corpos d'água em função do uso preponderante e o estabelecimento dos respectivos padrões de qualidade para o corpo d'água, além dos padrões de emissão de efluentes.

Mesmo com a entrada em vigor das normas referentes ao controle da poluição hídrica, a situação de degradação da qualidade da água não foi interrompida, sendo necessário o desenvolvimento da Política Nacional e Estadual de Gerenciamento dos recursos hídricos o que, sem dúvida alguma, foi um avanço. Isto é verdade pois, nestas políticas, é introduzido o conceito de usuário pagador, ou seja, a cobrança pela utilização dos recursos hídricos deverá também deverá ser feita pela carga de poluentes lançada e não apenas em função da quantidade de água captada, obrigando os diversos setores, que utilizam os recursos hídricos a adotarem novas estratégias, tanto para captação de água, quanto para o lançamento de efluentes ao meio ambiente.

O setor industrial, em função da sua responsabilidade pelos processos de poluição dos recursos hídricos, associados ao lançamento, para o meio ambiente, de efluentes contendo substâncias tóxicas, é o que mais deverá se empenhar para se adequar a este novo instrumento de gerenciamento.

Para reforçar a necessidade do desenvolvimento de novas estratégias com relação ao gerenciamento de todos os recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, deve-se considerar, ainda, as recomendações apresentadas na Agenda 21, enfatizando-se o conceito de desenvolvimento sustentável.

Pela associação de todos os fatores apresentados acima, verifica-se que o desenvolvimento e a aplicação de um Modelo de Gerenciamento de Águas e Efluentes nas Indústrias é imprescindível para que, mais uma vez, as indústrias possam dar a sua contribuição na busca pela melhoria na qualidade de vida dos seres humanos e na proteção do meio ambiente.

Este modelo de gerenciamento deverá abordar as questões relacionadas ao consumo de água e geração de efluentes nas indústrias, visando aprimorar os conceitos de minimização de perdas, uso racional, melhoria e alteração dos processos produtivos, utilização de água em cascata, minimização da quantidade e da toxicidade dos efluentes, alternativas de tratamento, Reúso de efluentes tratados, além dos aspectos relacionados ao lançamento de efluentes para o meio ambiente.

3. MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES NAS INDÚSTRIAS

O termo gerenciamento pode ser entendido como um conjunto de princípios, normas e funções que têm por fim ordenar os fatores de produção e controlar a sua produtividade e eficiência, de forma a otimizar a utilização de todos os recursos disponíveis, enquanto modelo pode ser entendido como aquilo que serve de referência (FERREIRA, 2001).

Considerando-se a definição apresentada acima, bem como a importância que a água apresenta para os seres humanos e, ainda, os problemas associados ao potencial de degradação da qualidade ambiental, devido à disposição inadequada dos efluentes industriais, a seguir serão apresentados os princípios, normas, funções e procedimentos, relacionados ao uso de recursos hídricos na indústria, enfatizando-se o uso racional e o Reúso de efluentes tratados como principais ferramentas de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes, o qual poderá ser utilizado como referência por indústrias de qualquer ramo de atividade.

Para o sucesso de um novo modelo de gerenciamento é necessário que as indústrias, assim como os profissionais que, direta ou indiretamente, sejam responsáveis pelos processos ou sistemas industriais onde a água é utilizada, se conscientizem de que a água é um insumo de grande importância para as diversas atividades desenvolvidas, além de ser reconhecida como um bem público que apresenta valor econômico, devendo-se priorizar o uso das águas de melhor qualidade para o abastecimento humano.

Além da preocupação que deve existir com relação à utilização da água nos processos industriais, a questão dos efluentes gerados nestes processos também é de grande importância.

Isto é justificado em razão dos efluentes incorporarem diversas substâncias que são prejudiciais ao Homem e ao meio ambiente, as quais, quando descartadas dos processos de origem, sem os cuidados necessários, podem comprometer a operação do sistema destinado ao seu tratamento, ou então, afetar a qualidade do corpo

receptor deste efluente, podendo resultar em sérios problemas ambientais, neste caso, impondo-se à indústria e aos responsáveis pelas atividades que deram origem a estes problemas, as sanções legais pertinentes.

Desta forma, verifica-se que a proposta para um modelo de gerenciamento de águas e efluentes para as indústrias deve levar em consideração os aspectos legais, técnicos e econômicos, referentes ao uso da água, bem como aqueles relacionados ao tratamento e descarte de efluentes para o meio ambiente considerando-se, sempre que possível, a alternativa de Reúso, o que será apresentado a seguir.

3.1. Parâmetros necessários para o gerenciamento, eficiente, de águas e efluentes

O desenvolvimento de qualquer modelo de gerenciamento requer um conhecimento básico dos principais parâmetros que podem ter influência sobre o mesmo, sem o qual seria impossível o desenvolvimento e a apresentação de qualquer proposta para a definição deste modelo.

No caso do gerenciamento de águas e efluentes para as indústrias, o modelo a ser desenvolvido deve considerar os seguintes parâmetros básicos:

- disponibilidade hídrica
- legislação referente ao Controle Ambiental e ao Gerenciamento dos Recursos Naturais;
- atividades industriais desenvolvidas
- necessidade de água para o desenvolvimento das atividades industriais (Quantidade e Qualidade);
- identificação e conhecimento das técnicas e procedimentos existentes para o tratamento de água para uso industrial;
- a identificação de oportunidades para a maximização do uso da água e minimização dos efluentes (Prevenção da Poluição);

- A identificação, quantificação e caracterização dos efluentes gerados;
- reúso de água;
- procedimentos de monitoração e controle dos efluentes a serem descartados para o meio ambiente.
- aspectos econômicos

A partir da compreensão da função e importância de cada um desses parâmetros, que deverão ser organizados de uma forma lógica e racional, torna-se possível o desenvolvimento de um modelo genérico para o gerenciamento de águas e efluentes aplicável a qualquer segmento industrial. Também é importante ressaltar que neste modelo de gerenciamento devem estar incorporados os conceitos de Prevenção a Poluição e Desenvolvimento Sustentável, os quais fazem parte dos Programas de Gestão Ambiental, aplicados atualmente nas indústrias (DUNCAN, 1994); (PHIPPS, 1995) e (HBI, 1997). Isto, por sua vez, fará com que o gerenciamento seja efetivo a médio e longo, prazos.

Cada um dos parâmetros mencionados, com maior ou menor grau de intensidade, irá influenciar no desenvolvimento do modelo de gerenciamento de águas e efluentes, devendo-se considerar, também, o nível de comprometimento que a indústria apresenta com as questões ambientais e não apenas com o desenvolvimento econômico, o que caracteriza uma visão de longo prazo, associada à manutenção do nível de competitividade da indústria ou, até mesmo, com a sua sobrevivência no futuro (MIERZWA e HESPANHOL, 2000).

Em função do comprometimento da alta administração da indústria, com relação às questões ambientais, esta pode se situar em um dos cinco graus de maturidade dos programas de gerenciamento ambiental, conforme definido por Hunt e. Auster (1990), os quais são apresentados a seguir:

ESTÁGIO 1: O iniciante

Neste estágio de desenvolvimento, o iniciante tende a lidar com as preocupações ambientais dando as costas ao problema, ou então, atribuindo à sua ocorrência as condições de momento, ou seja, o fato ocorrido foi um acaso do destino. Não existe planejamento de longo prazo e todas as ações da empresa estão direcionadas para valores econômicos, visando um retorno em curtíssimo prazo, enquanto a possibilidade dos danos ambientais resultarem em perda de receita e responsabilidade legal para a empresa é completamente desconsiderada.

ESTÁGIO 2: O apagador de incêndios

Este estágio é caracterizado pela atuação nos problemas ambientais à medida que estes vão surgindo e aplicando os recursos humanos, técnicos e financeiros para a solução dos mesmos, de forma a assegurar que estes não venham a ocorrer novamente e, desta forma, dar continuidade às atividades industriais. Comparado com o iniciante, o apagador de incêndio demonstra uma maior preocupação com relação às questões ambientais, mas que ainda não é suficiente para evitar as perdas econômicas e a responsabilidade legal, decorrentes do modelo de atuação desenvolvido.

ESTÁGIO 3: O cidadão preocupado

A despeito das suas boas intenções, muitos "cidadãos preocupados" somente expressão comprometimento com um bom programa de gerenciamento ambiental, que ainda não foi efetivamente implementado e do qual participam exclusivamente especialistas da área ambiental. Estes especialistas, enquanto tecnicamente competentes, apresentam dificuldades com relação a outros elementos do programa de gerenciamento, como por exemplo, gestão dos negócios, relações públicas e aspectos legais.

ESTÁGIO 4: O pragmático

Após uma série de problemas de poluição ambiental terem ocorrido e uma grande quantidade de dinheiro ter sido gasta para solucioná-los, os pragmáticos passaram a gerenciar ativamente os seus problemas, muito embora o seu programa de gerenciamento ambiental ainda não tenha se tornado um item prioritário da política administrativa da indústria o que limita a sua influência nas tomadas de decisão da alta administração.

ESTÁGIO 5: O pró-ativo

Neste estágio, o programa de gerenciamento ambiental é prioritário para a alta administração da indústria, onde a busca por soluções e alternativas que venham a minimizar os impactos ambientais negativos é uma constante, dando-se preferência às medidas preventivas para o contingenciamento desses impactos. A indústria é caracterizada por apresentar uma visão de médio e longo, prazos.

De acordo com as definições apresentadas acima, um modelo de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria poderá se restringir a simples obediência às normas, vigentes, de controle ambiental, onde o maior enfoque será dado ao controle dos efluentes gerados, de forma a garantir o atendimento aos padrões de emissão estabelecidos. A água vista como um recurso natural inesgotável, pelo menos até o presente momento, bem como os investimentos na área ambiental são encarados como despesas. No outro extremo pode-se imaginar um modelo de gerenciamento de águas e efluentes que incorpore os conceitos de desenvolvimento sustentável e prevenção a poluição.

Para esta última condição a água é considerada um insumo, tão importante quanto outro qualquer, enquanto os efluentes são computados como perdas de processo já que, em sua composição, estão presentes várias substâncias que foram adquiridas como matéria-prima, ou então, como um insumo. Estas substâncias devem ser devidamente controladas, de forma a não causarem impactos negativos ao meio ambiente, quando do descarte dos efluentes para os cursos d'água. A aplicação de

recursos financeiros na proteção do meio ambiente é vista como um investimento que trará retornos positivos para a indústria.

Embora a idéia de descarte de efluentes para o meio ambiente pareça se contrapor ao conceito de desenvolvimento sustentável e prevenção da poluição, ressaltando-se que, tecnologicamente, o conceito de descarga zero de efluentes já tenha sido demonstrado (MIERZWA, 1996) e (REBOUÇAS, 1998), ela é aceitável pois, para algumas indústrias, o conceito de descarga zero seria impraticável do ponto de vista econômico.

Assim sendo, verifica-se que, acima de tudo, um modelo de gerenciamento de águas e efluentes para as indústrias deve ser suficientemente flexível, substituindo-se a meta do ideal pelo praticável, para que este modelo venha a contribuir para a solução dos problemas associados à escassez de recursos hídricos, que já é uma realidade nos dias atuais.

Com base no exposto anteriormente, a seguir serão descritos os principais elementos a serem considerados em um programa de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria, considerando-se a possibilidade de aplicação, deste programa, em novos empreendimentos, ou então, naqueles que já foram implantados e estão em operação.

3.2. Discussão dos parâmetros do modelo para o gerenciamento de águas e efluentes

3.2.1. Disponibilidade hídrica

Um dos primeiros passos a ser seguido no desenvolvimento de um modelo para o gerenciamento de águas e efluentes está relacionado com a definição, correta, do local onde a indústria está instalada, ou então, aonde a mesma irá se instalar.

A definição do local de instalação da indústria é de grande importância pois, é a partir desta etapa que se começa a delinear a estratégia que será adotada com relação à captação de água para consumo industrial, bem como para o manejo dos efluentes que serão gerados, além de serem identificadas as principais normas que irão dar as

orientações necessárias ao desenvolvimento do modelo de gerenciamento de águas e efluentes como um todo.

A seleção do local, mais adequado, para a implantação de uma indústria depende de vários fatores mas, principalmente, da disponibilidade hídrica, pois este é um aspecto que tem grande importância no desenvolvimento de qualquer atividade humana. Deve-se considerar, ainda, que a disponibilidade hídrica é variável no tempo e no espaço, dependendo das condições climáticas da região, bem como da forma de ocupação e utilização do solo desta mesma região, conforme pode ser verificado pelos dados apresentados por MAYS (1996), RAMIRO (RAMIRO, 1997) e pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (São Paulo - SMA, 1997b).

Isto implica no fato de uma indústria instalada em uma região com elevado potencial hídrico, com o decorrer do tempo, poder ser afetada pelos problemas relacionados à escassez de água e, caso a mesma não tenha uma visão de longo prazo, poderá se ver obrigada a reduzir ou até mesmo interromper as suas atividades, em razão da incapacidade de se adequação às novas condições estabelecidas.

Um exemplo típico desta situação pode ser encontrado no Estado de São Paulo, onde se encontra o maior parque industrial do país (IBGE, 1998) e que, por esta razão, atraiu um grande número de pessoas e deu origem à maior Região Metropolitana do país, ou seja, a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, que hoje conta com uma população de aproximadamente 18,5 milhões de habitantes, resultando nas demandas de água apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Demandas de água da bacia do Alto Tietê

Ano	População (habitantes)	Cenário Tendencial (m ³ /s)			Cenário Dirigido (m ³ /s)		
		Urbano	Industrial	Agrícola	Urbano	Industrial	Agrícola
1995	17.286.777	62,3	4,87	4,15	62,3	4,63	4,15
2000	18.464.956	67,5	5,06	4,12	66,3	4,60	4,12
2010	19.870.510	73,5	5,33	4,00	68,6	4,84	3,60
2020	20.629.525	76,1	5,50	3,80	69,1	5,00	3,23

Fonte: MAKIBARA, 1998

Esta situação resultou em um déficit de água para abastecimento urbano, em 1996, de aproximadamente 10 m³/s, implicando na necessidade de importação de água de

outras localidades (DAEE, 1998), além da utilização de mananciais que, por um longo período de tempo, foram utilizados como receptores de efluentes industriais e domésticos, visando reduzir esse déficit de abastecimento (KUSSAMA et al., 1997) e (MAKIBARA, 1998).

Outro exemplo refere-se ao Pólo Petroquímico do Grande ABC, o qual, devido aos problemas de disponibilidade hídrica, encontra dificuldades para ampliação da capacidade produtiva das indústrias ali instaladas, além de captar água do rio Tamanduateí, o qual, de acordo com dados da Secretaria do Meio Ambiente do Estado (São Paulo – SMA, 1997b), se encontra altamente poluído por esgotos sanitários, para atender a demanda de água para os processos industriais, compra água da Companhia Estadual de Abastecimento de Água de São Paulo - SABESP, a um custo que varia de US\$ 4,00 a US\$ 4,50 por metro cúbico (RMAI, 1998) e (ALTO TIETÊ, 1999).

Para que se possa ter uma idéia da dimensão do problema referente à escassez de água na RMSP e do interesse pela busca de soluções para o mesmo, deve-se destacar a participação da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo nos debates referentes ao tema Recursos Hídricos (LIBOS, 1999) e a realização de dois seminários sobre Reúso da água na RMSP, sendo um internacional, promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES/SP (ABES, 1998) e um regional, promovido pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e Câmara Técnica de Qualidade de Água e Racionalização dos Usos (ALTO DO TIETÊ, 1999).

De um modo geral, no local onde a indústria pretende se instalar, ou então, no local onde esta já se encontra instalada, a água poderá estar disponível por uma ou mais das seguintes fontes:

- água superficial → Rios, lagos, represas e oceanos;
- água subterrânea → Poços;
- água do Sistema de Abastecimento Público, no caso de regiões urbanas.

A partir destas opções para a captação de água, a indústria deverá seguir alguns procedimentos para a obtenção do direito para o uso da mesma.

Em alguns casos, no local selecionado para a implantação da indústria, pode haver disponibilidade de duas ou mais das fontes citadas anteriormente, devendo-se, nestes casos, efetuar uma análise técnica e econômica, a fim de optar por uma determinada fonte, ou então, trabalhar com todas as fontes disponíveis, de forma a garantir o suprimento de água necessário para o desenvolvimento de todas as suas atividades. Esta análise deverá levar em consideração um planejamento de longo prazo, onde são avaliados os seguintes fatores:

- aumento da demanda de água dos recursos disponíveis, por outros consumidores;
- capacidade de atendimento da demanda no caso de expansões;
- disponibilidade de tecnologias para a obtenção de água com as características que atendam aos requisitos mínimos de qualidade, a um custo compatível com as demais alternativas;
- garantia do atendimento da demanda a um custo compatível, caso a água seja obtida de uma concessionária.

Feita a opção pela fonte de abastecimento de água a ser utilizada, o próximo passo a ser seguido refere-se à verificação das alternativas para o descarte dos efluentes líquidos originados nos processos a serem desenvolvidos pela indústria. Isto poderá ser desconsiderado, caso a indústria se comprometa e tenha capacidade de adotar o conceito de descarga zero de efluentes, o qual será, melhor, apresentado posteriormente.

Desconsiderando-se a opção pelo conceito de descarga zero de efluentes, a indústria terá como opção, para o descarte de seus efluentes, os cursos d'água superficiais ou o sistema de coleta e tratamento de águas residuárias destinadas ao tratamento dos esgotos sanitários, existentes nas localidades onde a indústria pretende se instalar ou já se encontra instalada.

Definida a localização da indústria, a fonte de captação de água e as alternativas para o descarte dos efluentes, deve-se iniciar a etapa de levantamento da legislação aplicável, no que se refere à captação de água, controle da qualidade dos recursos hídricos e descarte de efluentes para os corpos d'água ou sistemas de coleta e tratamento de esgotos, caso estes existam.

3.2.2 Aspectos legais e institucionais relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos e controle da poluição

O objetivo deste item não é exaurir o tema relacionado à legislação referente ao Controle da Poluição e Gerenciamento dos Recursos Hídricos, visto que esta área é bastante ampla, com uma infindável quantidade de nuances e sutilezas, que só seriam abordadas de uma forma lógica, correta e sensata, por um especialista da área do direito. Por esta razão, a seguir será feita uma apresentação resumida das principais normas relacionadas a estes temas, as quais têm influência direta sobre o desenvolvimento do modelo de gerenciamento de águas e efluentes que está sendo proposto neste trabalho.

Basicamente, a indústria deverá se preocupar com as normas que tratam da gestão dos recursos hídricos, da outorga de direito de uso da água, do controle da qualidade dos recursos hídricos e das normas que tratam do controle da poluição do meio ambiente e, em casos específicos, com as normas e procedimentos estabelecidos pelas empresas responsáveis pelo abastecimento de água e pela coleta e tratamento de efluentes, caso tenha sido optado pela utilização dos serviços prestados pelas mesmas.

Considerando-se a hierarquia de poderes existente no Brasil, a seguir são apresentadas as normas aplicáveis ao gerenciamento de águas e efluentes, sendo apresentadas, inicialmente, as normas federais e posteriormente as normas específicas do Estado de São Paulo.

3.2.2.1. Legislação federal

a) *Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980.*

A lei nº 6.803, dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, classificando as áreas de uso industrial em zonas, conforme as categorias apresentadas a seguir (Lei nº 6.803):

- a) Zonas de uso estritamente industrial;
- b) Zonas de uso predominantemente industrial;
- c) Zonas de usos diversificados.

Cada uma destas zonas industriais destina-se à localização de estabelecimentos industriais, de acordo com o seu potencial de poluição, devendo-se obedecer aos seguintes critérios:

Art. 2º – Zonas de uso estritamente industrial destinam-se preferencialmente, à localização de estabelecimentos industriais cujos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, ruídos, vibrações, emanações e radiações possam causar perigo à saúde, ao bem estar e à segurança das populações, mesmo depois da aplicação de métodos adequados de controle e tratamento de efluentes, nos termos da legislação vigente.

Art. 3º – As zonas de uso predominantemente industrial destina-se preferencialmente, à instalação de indústrias cujos processos, submetidos a métodos adequados de controle e tratamento de efluentes, não causem incômodos sensíveis às demais atividades urbanas e nem perturbem o repouso noturno das populações.

Art. 4º – As zonas de uso diversificado destina-se à localização de estabelecimentos industriais cujo processo produtivo seja complementar das atividades do meio urbano ou rural em que se situem e com elas se compatibilizem, independentemente do uso de métodos especiais de controle da poluição, não ocasionando em qualquer caso, inconvenientes à saúde, ao bem estar e à segurança das populações vizinhas.

Além destas restrições, a lei nº 6.803 estabelece os critérios a serem obedecidos para a instalação de estabelecimentos industriais nas zonas definidas atribuindo, aos governos estaduais, a responsabilidade pela:

- Aprovação, delimitação, classificação, e implantação de zonas de uso estritamente industrial e predominantemente industrial;
- Definição dos tipos de estabelecimentos industriais que poderão ser implantados em cada uma das categorias de zonas industriais;
- Instalar e manter, nestas zonas, serviços permanentes de segurança e prevenção de acidentes ao meio ambiente;
- Fiscalizar o aprimoramento dos padrões e normas de proteção ambiental; e
- Administrar as zonas industriais de sua responsabilidade direta ou quando esta responsabilidade decorrer de convênio com a União.

b) Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981

A lei nº 6.938, alterada pelas leis nº 7.804, de 18 de junho de 1989 e nº 8.028, de 12 de abril de 1990, foi regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, destacando-se que um dos objetivos da mesma é o de promover a compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, devendo ser atendidos os seguintes princípios (Lei nº 6.938):

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas (Regulamentado pelo Decreto no 97.632, 10/04/89);

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental a todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para a participação ativa na defesa do meio ambiente.

Com a aprovação da lei nº 6.938, foi constituído o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que compreende os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e as Fundações instituídas pelo poder Público, que são responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, sendo estruturado da seguinte forma:

Órgão superior: Conselho de Governo, com a função de assessorar o Presidente da República na Formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente e os recursos ambientais;

Órgão consultivo e deliberativo: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre as normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida;

Órgão central: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República (SEMAM/PR), com a finalidade de planejar, coordenar, supervisionar e controlar,

como órgão federal, a política nacional e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente;

Órgão executor: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com a finalidade de executar e fazer executar, como órgão federal, a política e diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente;

Órgãos seccionais: Os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental;

Órgãos locais: Os órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições.

Também é importante destacar que, pela lei nº 6.938, os estados e municípios, na esfera de suas competências e jurisdições, elaborarão normas supletivas e complementares, além de padrões relacionados com o meio ambiente, observados aqueles que forem estabelecidos pelo CONAMA e pelos estados, no caso dos municípios.

c) Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997

A lei nº 9.433, Instituí a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 (ABRH, 1997), é uma das primeiras normas a ser consultada, quando do desenvolvimento de qualquer atividade onde se pretende fazer o uso da água, ou então, dos recursos hídricos, em qualquer parte do Território Nacional.

De acordo com o artigo 1º desta lei, a Política Nacional de Recursos Hídricos é baseada nos seguintes fundamentos:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade.

Pode-se concluir, a partir destes fundamentos, que todas as indústrias deverão adotar uma nova postura com relação aos recursos hídricos, pois a água passa a ser reconhecida como um bem dotado de valor econômico, devendo a sua utilização ser priorizada para o consumo humano.

Além dos fundamentos apresentados anteriormente, a Lei nº 9.433 aborda outras questões de grande importância, não apenas para as indústrias, as quais se referem à Outorga de Direitos de Uso de Recursos Hídricos (artigos 11º ao 18º) e a Cobrança do Uso de Recursos Hídricos (artigos 19º ao 23º).

A outorga de direitos de uso dos recursos hídricos tem por objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água, além de garantir o direito ao seu acesso água, estando sujeitos à outorga, de acordo com a Lei nº 9.433, os seguintes usos:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

- Lançamento em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Já a cobrança pelo uso dos recursos hídricos tem por objetivo reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação do seu valor, incentivar a racionalização dos uso da água, além de obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contempladas nos planos de recursos hídricos.

Estão sujeitos à cobrança, os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga, observando-se os seguintes critérios:

- Nas derivações, captações e extração da água, o volume retirado e o seu regime de variação;
- Nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do efluente.

É importante observar que a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso ainda não foram regulamentadas estando em votação, no Congresso Federal, a minuta de um Decreto, referente a estes assuntos (SRH, 1999). Nesta minuta, a questão referente à cobrança pelo uso dos recursos hídricos para o lançamento de esgotos e efluentes é abordada no artigo 10, apresentado abaixo.

Art. 10. Para cada lançamento de efluentes no corpo hídrico, a outorga de captação, derivação ou extração de água será efetuada simultaneamente com a outorga de lançamento de efluentes, sem prejuízo da exigência da licença ambiental.

§ 1º - A outorga de lançamento de efluentes será dada em quantidade de água necessária para a diluição da carga poluente, podendo variar ao longo do prazo de

validade da outorga em função da concentração limite de cada indicador de poluição, ou em função de parâmetros definidos no correspondente Plano de Recursos Hídricos.

§ 2º - No caso previsto no caput deste artigo, implementar-se-á o disposto no § 4º e 5º, do art. 8º, deste Decreto, separadamente para o uso consuntivo e para cada indicador de poluente.

Também é importante destacar que pela Lei nº 9.433 foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os seguintes objetivos:

I - coordenar a gestão integrada das águas;

II - arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;

III - implementar a política Nacional de Recursos Hídricos;

IV - planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;

V - promover a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é integrado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, Comitês de Bacia Hidrográfica, órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos, além das Agências de Água, cada qual responsável pelo atendimento dos objetivos apresentados acima.

d) Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998

A lei nº 9.605, que passou a ser conhecida como Lei de Crimes Ambientais, embora não aborde especificamente as questões relacionadas à utilização dos recursos hídricos, em seu Capítulo V define os crimes contra o meio ambiente, sendo que na Seção III deste capítulo, são definidos os crimes relacionados à poluição ambiental (Lei nº 9.605, 1998).

Pelo artigo 54 desta lei, é crime:

“Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”

Também merecem destaque, os incisos III e V do parágrafo segundo deste artigo.

Se o crime:

Inciso III – causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade.

Inciso V – ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

Pena: reclusão de um a cinco anos.

A lei nº 9.605 foi regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, que especifica as sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (Decreto nº 3.179, 1999). As multas relacionadas ao crime definido no artigo 54 da lei nº 9.605, podem variar de mil Reais a cinquenta milhões de Reais, ou então, esta multa será diária.

Com esta abordagem, verifica-se que a lei nº 9.605, também, deve ser considerada no desenvolvimento de qualquer atividade que faça a utilização de recursos hídricos, principalmente quando estas atividades estejam associadas aos processos desenvolvidos pela indústria.

e) Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996

Embora a lei nº 9.427, refira-se à criação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e as concessões de serviços públicos de energia elétrica, a mesma deve ser considerada no desenvolvimento de um programa para gerenciamento de água, uma vez que muitas das atribuições do Departamento Nacional de Águas e Energia

Elétrica – DNAEE, o qual foi extinto por esta lei, passaram a ser da ANEEL, conforme especificado no artigo 31 (Lei nº 9.427, 1996), o qual é transcrito abaixo.

Art. 31. Serão transferidos para a ANEEL o acervo técnico e patrimonial, as obrigações, os direitos e receitas do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE.

§ 3º Os órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos e a ANEEL devem se articular para a outorga de concessão de uso de águas em bacias hidrográficas, de que possa resultar a redução da potência firme de potenciais hidráulicos, especialmente os que se encontrem em operação, com obras iniciadas ou por iniciar, mas já concedidas.

f) Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986

Anterior a Lei nº 9.433, a resolução CONAMA nº 20/86 foi, por muito tempo, a principal norma que tratava das questões relacionadas ao gerenciamento dos recursos hídricos a nível federal, principalmente naquilo que se refere aos padrões de qualidade dos corpos d'água.

Esta resolução trata da classificação das águas de todo o Território Nacional, de acordo com o uso à que estas se destinam, além de apresentar os padrões de qualidade para cada classe, bem como estabelece os limites máximos para a emissão de efluentes para os corpos d'água, devendo-se ressaltar que, em hipótese alguma, os padrões de qualidade do corpo d'água receptor deverão ser ultrapassados (CONAMA, 1986a)

A classificação dos corpos d'água, em função do uso preponderante, já foi apresentada no capítulo 2 deste trabalho (item 2.3.1).

g) Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986

A resolução CONAMA nº 01/86 determina a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e elaboração de Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, que direta ou indiretamente afetem:

- A saúde, a segurança e o bem estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e
- A qualidade dos recursos ambientais.

Dentre os diversos aspectos pertinentes à elaboração do EIA, deverá ser apresentado o diagnóstico ambiental da área de influência do empreendimento, considerando o meio físico, biológico e sócio-econômico, onde devem ser abordadas todas as questões relacionadas ao uso da água (CONAMA, 1986b). Deve ser observado que a resolução CONAMA nº 01/86, sofreu alterações pelas resoluções CONAMA nº 11/86, de 18/03/1986 e CONAMA nº 237, de 19/12/1997.

h) Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1988

Além da exigência de elaboração de EIA e RIMA ou licenciamento para as atividades modificadoras do meio ambiente, pela resolução CONAMA nº 01/88, as obras de sistema de abastecimento de água, sistemas de esgotos sanitários, sistemas de drenagem e sistemas de limpeza urbana, também, ficam sujeitas ao licenciamento no órgão ambiental competente,.

No caso de obras relacionadas a sistemas de abastecimento de água, devem ser submetidas ao licenciamento ambiental as obras de captação cuja vazão seja superior a 20% da vazão mínima da fonte de abastecimento, no ponto de captação e que modifiquem as condições físicas e/ou bióticas dos corpos d'água (CONAMA, 1988).

i) Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000

A lei nº 9.984, dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, a qual está vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, sendo a entidade federal de coordenação e apoio do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O artigo 3º desta lei estabelece as competências da ANA, destacando-se, conforme redação da mesma, as seguintes (Lei nº 9.984, 2000):

I – supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;

II – disciplinar em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos;

III - vetado

IV – outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União, observado o disposto nos artigos. 5º, 6º, 7º e 8º;

V – fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água da União;

VI – elaborar estudos técnicos para subsidiar a definição pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, com base nos mecanismos e quantitativos sugeridos na forma do inciso VI do art. 38 da Lei nº 9.433, de 1997.

3.2.2.2. Legislação do estado de São Paulo

a) Lei nº 5.597, de 06 de fevereiro de 1987

A lei nº 5.597, estabelece as normas e diretrizes para o zoneamento industrial no Estado de São Paulo, que segue as diretrizes estabelecidas pela lei Federal nº 6.803, de 02 de julho de 1980.

Por esta lei, para o Estado de São Paulo, as zonas industriais são classificadas em (Lei nº 5.597, 1987):

- Zonas de uso estritamente industrial do tipo I (ZEI – I);
- Zonas de uso estritamente industrial do tipo II (ZEI – II);
- Zonas de uso predominantemente industrial do tipo I (ZUPI – I);

- Zonas de uso predominantemente industrial do tipo II (ZUPI – II);
- Zonas de uso diversificado do tipo I (ZUD – I); e
- Zonas de uso diversificado do tipo II (ZUD – II).

As zonas de uso estritamente industrial dos tipos I e II (ZEI – I e II), são destinadas à localização de estabelecimentos industriais cujos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, ruídos, vibrações e radiações possam causar perigo à saúde, ao bem estar e à segurança das populações, mesmo depois da aplicação de métodos adequados de controle e tratamento de efluentes, nos termos da legislação vigente. Nestas zonas não é vetada a instalação de indústrias de menor potencial poluidor.

As zonas de uso predominantemente industrial (ZUPI – I e II), são destinadas à instalação de estabelecimentos industriais cujos processos, submetidos a métodos adequados de controle e tratamento de efluentes, ainda contenham fatores nocivos, em relação às demais atividades urbanas. Também não é vedada a instalação de estabelecimentos industriais de menor potencial poluidor nestas zonas.

Já as zonas de uso diversificado (ZUD – I e II), são destinadas à localização de estabelecimentos industriais cujo processo produtivo seja complementar das atividades do meio urbano ou rural em que se situem e com elas se compatibilizem, independentemente de métodos especiais de controle de poluição, não causando inconvenientes à saúde, ao bem estar e a segurança das populações vizinhas.

Para cada uma destas zonas industriais, são estabelecidos os critérios relacionados à capacidade de assimilação de efluentes, possibilidade de implantação de infraestrutura e serviços básicos necessários ao funcionamento e segurança, além de indicar a necessidade de manter áreas verdes, de isolamento, para proteger as áreas circunvizinhas contra possíveis efeitos residuais e acidentes.

b) Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991

A lei nº 7.663, estabelece as normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cujo principal objetivo é (CRH, 1992):

“... assegurar que a água, recurso essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo território do Estado de São Paulo”

No artigo 3º são apresentados os princípios que a Política Estadual de Recursos Hídricos deverá atender, devendo-se destacar, entre estes princípios, o reconhecimento do recurso hídrico como um bem público, de valor econômico e cuja utilização deve ser cobrada.

Da mesma forma que a lei Federal equivalente, Lei nº 9.433, pela lei nº 7.663, a utilização dos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, só poderá ser efetivada mediante a concessão da outorga do direito de uso, devendo-se observar os artigos 9º e 10º da mesma (CRH, 1992).

Artigo 9º – A implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade dependerá de prévia manifestação, autorização ou licença dos órgãos e entidades competentes.

Artigo 10º – Dependerá de cadastramento e da outorga do direito de uso, a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo para fins de utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros, bem como o lançamento de efluentes nos corpos d’água, obedecida a legislação federal e estadual pertinentes e atendidos os critérios e normas estabelecidos no regulamento.

Os artigos apresentados acima, além dos artigos 11º a 13º, foram regulamentados pelo Decreto Estadual nº 41.258, de 31/10/99, onde é atribuída ao DAEE a responsabilidade pela concessão de outorga para o uso dos recursos hídricos no Estado de São Paulo (Decreto nº 41.258, 1996)

Com relação à cobrança pelo uso dos recursos hídricos, deverão ser obedecidos os critérios estabelecidos no artigo 14º da lei em questão.

Artigo 14º – A utilização dos recursos hídricos será cobrada na forma estabelecida nesta lei e em seu regulamento, obedecendo aos seguintes critérios:

I – A cobrança pelo uso ou derivação, considerará a classe de uso preponderante em que for enquadrado o corpo de água onde se localiza o uso ou derivação, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada em seu regime de variação, o consumo efetivo e a finalidade a que se destina; e

II – Cobrança pela diluição, transporte e assimilação de efluentes de sistemas de esgoto e de outros líquidos de qualquer natureza, considerará a classe de uso em que for enquadrado o corpo d'água receptor, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se, dentre outros, os parâmetros orgânicos, físico-químicos dos efluentes e a natureza da atividade responsável pelos mesmos.

Com a criação do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIRGH, o Estado assegurará meios financeiros e institucionais para o atendimento dos artigos 205 a 213 da Constituição Estadual, visando a execução da Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como a formulação, atualização e fiscalização do Plano Estadual de Recursos Hídricos, congregando órgãos estaduais e municipais e a sociedade civil.

Foram criados pela Lei nº 7.663, como órgãos colegiados, consultivos e deliberativos, O Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH, de nível central e os Comitês de Bacias Hidrográficas, com atuação em unidades hidrográficas estabelecidas pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos, sendo a composição e competências desses órgãos, definidas nos artigos 23, 24, 25 e 26 desta lei.

c) Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988 e Decreto nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991

A Lei nº 6.134, regulamentada pelo Decreto nº 32.955, dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, onde é estabelecido que as águas subterrâneas deverão ter programa permanente de

preservação e conservação, visando um aproveitamento otimizado (Lei nº 6.134, 1988).

O artigo 4º desta lei estabelece que as águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando o seu melhor aproveitamento e pelo parágrafo primeiro deste artigo tem-se que:

“A preservação e conservação dessas águas implicam em uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.”

É importante observar que por esta lei, o transporte e lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos de qualquer natureza, só poderão ser efetuados, de forma a não poluírem as águas subterrâneas (artigo 5º).

No artigo 6º desta lei é estabelecido que:

“A implantação de distritos industriais e de grandes projetos de irrigação, colonização e outros, que dependam da utilização de águas subterrâneas, deverá ser precedida de estudos hidrogeológicos para a avaliação das reservas e do potencial dos recursos hídricos e para o correto dimensionamento do abastecimento, sujeitos à aprovação pelos órgãos competentes, na forma a ser estabelecida em regulamento.”

No Decreto nº 32.955, são estabelecidas as competências para administração, prevenção e controle da poluição, fiscalização da qualidade para consumo e desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos recursos hídricos subterrâneos, sendo os órgãos responsáveis pelo desempenho destas atividades, o DAEE, a CETESB, A Secretaria da Saúde e o Instituto Geológico (Decreto nº 32.955, 1991). Além do estabelecimento dessas competências, também são abordadas, nesse decreto, as questões relacionadas à defesa da qualidade, outorga de direito de uso, definição das áreas de proteção, medidas preventivas e fiscalização dos recursos hídricos.

d) Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 e Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976

A lei nº 997 dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente, sendo a mesma regulamentada pelo decreto nº 8.468.

No decreto nº 8.468, é estabelecido que o sistema de prevenção e controle da poluição passa a ser regido na forma prevista no mesmo, sendo estabelecido à Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), a competência para aplicação da lei nº 997, do próprio decreto nº 8.468 e das normas dele decorrentes. Também são abordados no decreto nº 8.468, assuntos relacionados ao controle da poluição da água, do ar e do solo.

No que se refere ao controle da poluição das águas, inicialmente é apresentada a classificação dos corpos d'água do Estado de São Paulo, com os respectivos padrões de qualidade para cada classe e indicação do uso preponderante.

Com relação ao lançamento de efluentes para o meio ambiente, além de serem definidos os critérios e limites de emissão de efluentes para os corpos d'água (artigo 18), são estabelecidos os critérios e limites para emissão de efluentes em sistemas públicos de esgotos (artigo 19), sendo que para os efluentes de origem industrial deve-se observar os seguintes critérios:

Artigo 19.c – Os efluentes líquidos provenientes de indústrias deverão ser coletados separadamente, através de sistemas próprios independentes, conforme a sua origem e natureza, assim destinados:

I – à coleta e disposição final de águas pluviais;

II – à coleta de despejos sanitários e industriais, conjunta ou separadamente;

III – às águas de refrigeração.

§ 1º - Os despejos referidos no inciso II deste artigo, deverão ser lançados à rede pública através de ligação única, cabendo à entidade responsável pelo sistema

público admitir, em casos excepcionais, o recebimento dos efluentes por mais de uma ligação.

§ 2º – A incorporação de águas de refrigeração dos despejos industriais só poderá ser feita mediante autorização expressa da entidade responsável pelo sistema público de esgotos, após verificação da possibilidade técnica do recebimento daquelas águas e o estabelecimento das condições para tal, vetada a utilização de água de qualquer origem, com a finalidade de diluir efluentes líquidos industriais.

Artigo 19.e – O lançamento de despejos industriais à rede pública de esgotos será provido de dispositivo de amostragem e/ou medição na forma estabelecida em normas editadas pela entidade responsável pelo sistema.

e) Portaria DAEE nº 717/96

A portaria nº 717, baseada na Lei nº 6.134, regulamentada pelo Decreto nº 32.955, e na Lei nº 7.663, regulamentada pelo Decreto nº 41.258, dispõe sobre a outorga de concessões, autorizações e permissões para uso e derivação de águas, bem como lançamento de efluentes líquidos em casos de águas públicas de domínio do Estado de São Paulo, pelo Departamento de Água e Energia Elétrica – DAEE, onde são estabelecidos os critérios gerais relacionados à outorga do direito de uso de águas (DAEE, 1996).

f) Portaria DAEE nº 12, de 14 de março de 1991

A portaria DAEE nº 12 fixa as normas para a emissão da Licença de Execução e da Licença de Operação de poços tubulares profundos, assim como para a outorga final para a exploração de águas subterrâneas, no Estado de São Paulo (DAEE, 1991).

Nesta portaria são apresentados os modelos de requerimentos, relatório técnico, relatório de construção, entre outros, necessários à obtenção do direito de exploração e uso das águas subterrâneas.

g) Projeto de Lei nº 20, de 1998

O projeto de lei nº 20 trata da regulamentação do artigo 14º da lei nº 7.663, relacionado à cobrança pela utilização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo (Projeto de Lei nº 20, 1998).

Neste projeto de lei são abordados todos os aspectos relacionados à implementação da cobrança pela utilização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, devendo-se destacar que a previsão para a implementação da, no caso de usuários urbanos e industriais, é para o início do ano 2.000, o que não ocorreu.

Também está previsto neste projeto de lei que a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (artigo 6º), será efetuada pelas Agências de Bacias, ou então, pela entidade responsável pela outorga de direito de uso, nas Bacias Hidrográficas que não dispõem de agências.

Os critérios a serem utilizados para a cobrança são apresentados no artigo 8º, que é apresentado a seguir.

Artigo 8º – A fixação dos valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos considerará:

I – Na captação, extração e derivação:

- a) a natureza do corpo d'água - superficial e subterrâneo;*
- b) a classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo d'água no local do uso ou da derivação;*
- c) a disponibilidade hídrica local;*
- d) o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;*
- e) o volume captado, extraído ou derivado e seu regime de variação;*
- f) o consumo segundo o tipo de utilização da água;*

- g) a finalidade a que se destinam;*
- h) a sazonalidade;*
- I) as características dos aquíferos;*
- j) as características físico-químicas e biológicas da água no local;*
- l) a localização do usuário na Bacia; e*
- m) as práticas de conservação e manejo do solo e da água.*

II - Na diluição, transporte e assimilação de efluentes:

- a) a classe de uso preponderante em que estiver enquadrado o corpo d'água receptor no local;*
- b) o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;*
- c) a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se os parâmetros orgânicos e físico-químicos dos efluentes;*
- d) a natureza da atividade;*
- e) a sazonalidade;*
- f) a vulnerabilidade dos aquíferos;*
- g) as características físico-químicas e biológicas do corpo receptor no local do lançamento;*
- h) a localização do usuário na Bacia; e*
- i) as práticas de conservação e manejo do solo e da água.*

III - Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

§ 1º _ A fixação dos valores a serem cobrados, de que tratam os incisos I, II e III, terá por base o volume captado, extraído, derivado, consumido, e a carga dos efluentes lançados nos corpos d'água.

§ 2º _ Os Comitês de Bacia poderão propor diferenciação dos valores a serem cobrados, em função de créditos e parâmetros definidos em regulamento, que abranjam a qualidade e disponibilidade de recursos hídricos, de acordo com as peculiaridades das respectivas unidades hidrográficas.

As bases para o cálculo para a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado de São Paulo estão apresentadas nos artigos 9º, 10º, 11º, 12º, 13º, 14º e 15º, que em resumo, especificam que a cobrança irá considerar:

- Atividade do usuário;
- Volume de água consumido;
- Utilização dada ao recurso hídrico; e
- Composição dos efluentes lançados.

Deve-se observar que o valor a ser cobrado pela utilização dos recursos hídricos para diluição, transporte ou assimilação de efluentes, irá resultar da soma das parcelas referentes a cada parâmetro controlado.

3.3. Atividades industriais desenvolvidas

Com a crescente demanda de produtos industrializados, por parte da população, aliada ao acelerado desenvolvimento tecnológico observado a partir do século XVIII (MILLARD, 1995), os recursos naturais disponíveis no Planeta passaram a ser transformados, com maior intensidade, em produtos úteis e lucrativos, considerando-se o contexto de cada época, já que os conceitos de utilidade e de lucratividade são variáveis e influenciados por uma série de outros fatores, como por exemplo, mudanças de valores, evolução tecnológica e ampliação do conhecimento humano.

A figura 3.1 ilustra uma das evoluções que contribuíram para a revolução industrial (MILLARD, 1995). Nesta figura a força da água é utilizada para a movimentação de dispositivos mecânicos, o que facilitou, significativamente, a realização de muitas atividades humanas, isto conduziu ao aumento da capacidade de produção e desenvolvimento de novas aplicações para os recursos hídricos.

Figura 3.1 - Utilização da roda d'água para movimentação de dispositivos mecânicos

À medida que o consumo de produtos considerados úteis e lucrativos aumentava, os métodos de produção sofriam modificações significativas, visando a sua otimização, no sentido de se produzir cada vez mais com cada vez menos, resultando no surgimento de indústrias especializadas, dedicadas à produção de materiais específicos, tanto de uso final como intermediário, utilizados como matéria-prima ou produtos auxiliares, por indústrias de outros ramos de atividade.

Atualmente, existe um grande número de indústrias que se dedicam à produção de uma enorme variedade de produtos, podendo as mesmas ser enquadradas nas categorias de extrativa ou de transformação, conforme apresentado na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Principais atividades industriais por categoria

Categoria	Indústria
Extrativa	Mineração de Materiais Metálicos Mineração de Materiais Não Metálicos Extração de Petróleo, Carvão e Gás Natural Extração de Borracha Natural
Transformação	Produtos de Minerais Não Metálicos Metalúrgica Mecânica Material Elétrico, de Comunicações e Componentes Eletrônicos Material de Transporte Derivados Químicos da Madeira Mobiliário Polpa de Celulose e Papel Produtos de Borracha Couros, Peles e Produtos Similares Química Produtos Farmacêuticos e Veterinários Perfumaria, Sabões e Velas Produtos de Materiais Plásticos Têxtil
	Alimentícia Fermentação Gráfica Petroquímica Nuclear Produtos Fotográficos Tintas e Correlatos Óleos, Gorduras e Ceras Açúcar e Amido

Fontes: IBGE, 1998 e SHREVE e BRINK, Jr., 1980

Em cada uma dessas indústrias são desenvolvidas diversas atividades, algumas delas específicas a um determinado segmento industrial, enquanto outras são bastante rotineiras em muitas indústrias.

O conhecimento, mesmo que superficial, das atividades desenvolvidas na indústria é de fundamental importância para o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes para a mesma, pois é com base nesse conhecimento que se desenvolverá a habilidade necessária para a identificação dos principais pontos de consumo de água, quantidade e qualidade exigida para cada aplicação, bem como os pontos de geração de efluentes.

Além desse conhecimento geral, que pode ser obtido por meio de literatura especializada, deve-se considerar, ainda, que a forma pela qual as indústrias desenvolvem as suas atividades é diretamente influenciada pelas condições locais resultando em significativas alterações nos métodos de produção, quando em comparação com os dados disponíveis em literatura. Isto ocorre uma vez que os dados de literatura não são atualizados na mesma velocidade com que estas alterações ocorrem. Assim sendo, o método mais efetivo para uma avaliação eficaz das atividades industriais, deve ser baseado nos seguintes procedimentos:

- Avaliação dos processos industriais com base nos dados disponíveis em literatura;
- Análise dos processos industriais com base no estudo dos documentos disponíveis na própria indústria como, por exemplo, fluxogramas de processo, documentos descritivos, rotinas operacionais, entre outros;
- Visitas de campo, com o objetivo de constatar se os dados apresentados nos documentos analisados continuam consistentes, além de identificar as possíveis alterações ocorridas e que não foram contempladas nos documentos analisados.

A associação das informações obtidas por meio desses três procedimentos conduzirá a um melhor entendimento das atividades industriais desenvolvidas, o que, por sua

vez, possibilitará uma avaliação mais efetiva dos aspectos relacionados ao consumo de água e geração de efluentes, contribuindo, significativamente, para o desenvolvimento e implementação das estratégias para o gerenciamento de águas e efluentes.

Uma melhor compreensão da importância de cada um dos procedimentos citados acima, para o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes, pode ser obtida nos itens a seguir.

3.3.1. Avaliação dos processos industriais com base nos dados apresentados em literatura.

Considerando-se que as atividades industriais, ao mesmo tempo em que exercem influência sobre os seres humanos e sobre o meio ambiente, são influenciadas pelos mesmos, diversos profissionais, cientistas e pesquisadores, se dedicaram a descrever e analisar os processos desenvolvidos pelas indústrias, no sentido de colocar a disposição do público interessado informações que dificilmente seriam obtidas por outros meios, já que muitas atividades se restringem a algumas regiões, além das próprias indústrias não apresentarem interesse na divulgação de informações referentes aos seus processos produtivos.

Atualmente, o número de publicações referentes às atividades industriais é bastante extenso, podendo-se encontrar livros que abordam os processos industriais de uma maneira genérica, contendo informações referentes a diversos segmentos, bem como livros, revistas e outras publicações especializadas, que tratam com um maior nível de detalhes, todos os processos desenvolvidos em uma única atividade industrial.

Neste tipo de material, as informações disponíveis referem-se à descrição dos processos envolvidos na obtenção de um determinado produto, além da apresentação dos fluxogramas de processo, com os quantitativos dos principais insumos utilizados, podendo-se citar, por exemplo, o livro *Chemical Process Industries* de autoria de R. Norris Shreve e Joseph A. Brink Jr., traduzido para o português com o título *Indústrias de Processos Químicos*, onde são abordados trinta e sete segmentos industriais (SHREVE e BRINK, Jr., 1980) e o livro *Industrial Processes and Waste*

Stream Management, de autoria de Howard H. Guyer (1998). Também podem ser utilizadas informações referentes a um único processo, visando a otimização do uso dos recursos naturais e prevenção da poluição, que são apresentados em artigos técnicos publicados em periódicos que não são específicos da área de processos industriais (EPA, 1993) e (DAHAB, MONTAG e PARR, 1994).

Embora as informações disponíveis, em literatura, sejam bastante úteis, é importante ressaltar que, na maioria dos casos, elas se referem aos processos industriais desenvolvidos em outros países, cujas condições operacionais e nível de desenvolvimento são completamente diferentes daquelas encontradas no Brasil, além de poderem estar se referindo a um processo industrial que já esteja ultrapassado, principalmente em função dos grandes avanços tecnológicos ocorridos, bem como por restrições de ordem legal e econômica, ou ainda, em razão da escassez dos recursos naturais, necessários às atividades industriais.

3.3.2. Análise dos processos industriais com base nos documentos disponíveis na indústria

A avaliação das atividades industriais com base nos documentos disponíveis na indústria, como por exemplo, descrição de sistemas, fluxogramas de processo, manuais de operação e rotinas operacionais, quando disponíveis, pode ser uma das formas mais eficiente para obtenção dos dados referentes ao consumo de água (quantidade e qualidade) e geração de efluentes, já que nestes documentos estas informações devem estar disponíveis, direta ou indiretamente.

É importante destacar que, além da qualidade dos documentos disponíveis, ou seja, abrangência dos mesmos, nível de detalhamento e clareza na apresentação das informações, o conhecimento técnico e experiência das pessoas envolvidas na análise destes documentos também são de grande importância. Em muitos casos, as informações apresentadas referem-se, especificamente, aos processos principais, não sendo detalhadas as operações consideradas secundárias como, por exemplo fornecimento de vapor para aquecimento ou água de resfriamento, operações de partida e parada das unidades industriais, paradas para manutenção e outras atividades que podem estar diretamente associadas ao consumo de água ou a geração

de efluentes podendo, estas, passarem despercebidas, quando da análise destes documentos.

Com este procedimento tem-se uma melhor compreensão das atividades industriais desenvolvidas, pois com o nível de detalhamento apresentado pode-se estabelecer uma relação lógica entre todas as etapas associadas ao processo de produção, possibilitando vincular, a esse processo, o consumo de água em cada etapa, grau de qualidade exigido para a mesma, além da geração e composição dos efluentes.

Muitas vezes, pela análise dos documentos relacionados aos processos produtivos é possível identificar algumas oportunidades associadas à otimização do uso dos recursos naturais e outros insumos, devendo-se, desta forma, manter um registro destas oportunidades, com o objetivo de analisá-las, detalhadamente, quando do desenvolvimento das estratégias de gerenciamento de águas e efluentes, ou então, para a implantação de um programa de prevenção a poluição.

3.3.3. Avaliação das atividades industriais com base em visitas de campo

Após a avaliação das atividades industriais desenvolvidas em um determinado segmento industrial, realizada com base nos dados disponíveis em literatura, bem como nos documentos disponíveis na própria indústria, caso estes sejam disponíveis, é de fundamental importância que sejam realizadas algumas visitas às instalações industriais, visando confrontar as informações "teóricas", com a realidade e a rotina vivenciada na prática.

Este procedimento é importante uma vez que, na implantação de um processo industrial, muitos aspectos que não foram considerados no projeto original e que poderiam interferir no desempenho global da unidade devem ser implementados e, na maioria das vezes, estas alterações não são incorporadas nos respectivos documentos de engenharia.

Outra situação que justifica esta visita de campo refere-se às alterações e otimizações de processo, as quais vão ocorrendo ao longo do tempo, seja em função dos avanços tecnológicos, restrições legais, diminuição ou aumento da capacidade de produção, incorporação de novos produtos à linha de produção, entre outros.

É aconselhável que a visita de campo seja acompanhada pelos profissionais responsáveis pelas respectivas áreas a serem visitadas, para que os mesmos possam apresentar, com um maior nível de detalhamento, uma descrição das atividades desenvolvidas, além de esclarecer quaisquer dúvidas que possam surgir.

Além dos dados referentes às atividades industriais, durante a realização desta visita de campo também poderá ser obtida uma série de informações úteis para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de águas e efluentes, tais como:

- Operações de limpeza e lavagem;
- Procedimentos de manutenção;
- Condições dos equipamentos, tubulações e componentes associados ao processo produtivo, ou não;
- Captação, tratamento, armazenamento e distribuição de água;
- Coleta, transferência e tratamento dos efluentes gerados;
- Procedimentos adotados para o descarte dos efluentes tratados.

Deve-se ressaltar que todas as informações coletadas devem ser compiladas e documentadas de uma forma adequada para que, juntamente com os dados obtidos com os procedimentos anteriores, seja possível obter-se um documento que reflita a realidade vivenciada na indústria.

3.4. Necessidade de água para a indústria

De um modo geral, a quantidade de água necessária ao desenvolvimento das atividades industriais, bem como a qualidade da mesma, dependem dos seguintes fatores:

- Ramo de Atividade da Indústria; e
- Capacidade de Produção;

O ramo de atividade da indústria, o qual define as atividades desenvolvidas na mesma, determina o grau de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que em uma mesma indústria podem ser utilizados vários tipos de água, com diferentes níveis de qualidade. Estes níveis de qualidade são definidos em função das características físicas, químicas e biológicas que a água apresenta. Por outro lado, o porte da indústria, que está relacionado com a sua capacidade de produção, irá definir qual a necessidade de água para cada uso.

Já em 1961, Nordell (1961), afirmava que a água para abastecimento industrial deveria:

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

Com base nesses fundamentos são apresentados, a seguir, os principais tipos de uso que se pode fazer da água na indústria, padrões de qualidade da água para algumas aplicações específicas, além do consumo médio de água em alguns segmentos industriais.

3.4.1. Principais usos da água na indústria e requisitos de qualidade

Na indústria, de uma maneira genérica, pode-se dizer que a água encontra as seguintes aplicações (NORDELL, 1961); (SHEREVE e BRINK Jr., 1980); (NALCO, 1988) e (SILVA e SIMÕES, 1999):

a) Matéria-prima

Como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, indústrias de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica,

indústria de cosméticos, indústrias de alimentos e conservas e indústria farmacêutica, ou então, ela é utilizada para a obtenção de outros produtos como, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água.

Para esse tipo de aplicação, o grau de qualidade da água pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com característica equivalente ou superior à da água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo, proteger a saúde dos consumidores finais e/ou garantir a qualidade final do produto. Em outros casos a água deve apresentar um alto grau de pureza.

b) Uso como fluido auxiliar

A água, como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem.

Da mesma forma que a água utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água para uso como um fluido auxiliar irá depender do processo à que esta se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, o grau de qualidade será mais ou menos restritivo, em função do tipo de produto que se deseja obter. Não havendo contato da água com o produto final, esta poderá apresentar um grau de qualidade menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes.

c) Uso para geração de energia

Para este tipo de aplicação existem, basicamente, duas formas de se utilizar a água, podendo-se envolver a transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia

mecânica e posteriormente em energia elétrica. Dependendo do processo de transformação utilizado para a geração de energia, a água deverá apresentar um maior ou menor grau de qualidade.

No aproveitamento da energia potencial ou cinética da água, a mesma é utilizada no seu estado natural, fazendo com que ocorra a movimentação de um dispositivo que gira em torno de um eixo central, quando da sua passagem pelo interior desse dispositivo, como no caso das turbinas a água, ou então, quando esse dispositivo está parcialmente submerso em um curso d'água, como no caso das rodas d'água. A energia de rotação pode ser utilizada para acionar outros dispositivos mecânicos ou um gerador elétrico. Nestes casos o grau de qualidade da água não é muito restritivo, podendo-se utilizar a água bruta de um rio, lago, ou outro sistema de acúmulo, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia, além de outros materiais e substâncias que possam causar uma deterioração dos equipamentos com os quais a água entrará em contato.

O processo de geração de energia mecânica ou elétrica, a partir da energia térmica acumulada na água, consiste em se promover o aquecimento da água, por meio do fornecimento de energia térmica, que é obtida pela queima de combustíveis fósseis ou biomassa, até que esta seja convertida em vapor a alta pressão. Este vapor sofre expansão em um conjunto mecânico contendo um êmbolo ou uma turbina, que são colocados em movimento, obtendo-se, desta forma, a transformação da energia térmica acumulada na água em energia mecânica. Neste tipo de aplicação a água deve apresentar um elevado grau de qualidade, para que não venham ocorrer problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia.

d) Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento

Nestes casos, a água é utilizada como fonte de energia para aquecimento, principalmente na forma de vapor, ou então, para remover o calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor ou então devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento.

Para a utilização da água na forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante elevado, conforme comentado anteriormente, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade bem menos restritivo, devendo-se levar em consideração a proteção dos equipamentos com os quais esta água irá entrar em contato.

e) Transporte e assimilação de efluentes

Embora esta não seja uma das aplicações mais nobres que se possa dar a água, inevitavelmente, a maioria das indústrias utiliza a água para essa finalidade seja para lavagem de equipamentos e instalações ou incorporação de diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa, bem como em suas instalações sanitárias.

Dependendo da função a ser desempenhada, a água deve apresentar características físicas, químicas e biológicas, que possibilitem a obtenção dos melhores resultados possíveis, já que estas funções poderão comprometer o desempenho global do processo que está sendo ou virá a ser desenvolvido. Assim sendo, quando a água é utilizada para a limpeza dos equipamentos de processo, pode ser necessário utilizar uma água com elevado grau de pureza, principalmente quando os processos a serem desenvolvidos não

tolerem a presença de outras substâncias químicas e/ou microrganismos como, por exemplo, nas indústrias farmacêuticas, eletrônicas, de química fina e fotográfica, entre outras.

Em função da aplicação à que se destina e do seu grau de qualidade, a água pode ser enquadrada em uma das quatro categorias obtidas a partir de uma adaptação da classificação de Higgins (1989), tomando como base as características das águas superficiais de alguns rios da Região Sudeste (ANEEL, 2000), conforme apresentado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Categorias de água em função do seu grau de qualidade

Grau de Qualidade	Parâmetros			
	SDT (mg/L) ^a	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Dureza (mg/L) ^b
TIPO - I: Água Ultra Pura	< 10	< 1	0	0
TIPO - II: Água de Processo de Alta Qualidade	10 - 60	0 - 10	0	< 30
TIPO - III: Água Tratada	20 - 60	0 - 10	0 - 10	30 - 75
TIPO - IV: Água Bruta ou Reciclada	60 - 800	10 - 150	10 - 100	--x--

a – Valores baseados nos dados fornecidos pela ANEEL

b – Valores baseados nos dados fornecidos pela ANEEL e pela classificação da água em função da dureza

Nas tabelas 3.4, 3.5 e 3.6, são apresentados os padrões de qualidade de água para algumas indústrias e aplicações específicas.

Tabela 3.4 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento e geração de vapor

Parâmetro*	Água de Resfriamento	Geração de Vapor		
		Caldeira de Baixa Pressão (< 10 bar)	Caldeira de Média Pressão (10 a 50 bar)	Caldeira de Alta Pressão (> 50 bar)
Cloretos	500	+	+	+
Sólidos Dissolvidos Totais	500	700	500	200
Dureza	650	350	1,0	0,07
Alcalinidade	350	350	100	40

Tabela 3.4 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento e geração de vapor (continuação)

Parâmetro*	Água de Resfriamento	Geração de Vapor		
		Caldeira de Baixa Pressão (< 10 bar)	Caldeira de Média Pressão (10 a 50 bar)	Caldeira de Alta Pressão (> 50 bar)
pH	6,9 a 9,0	7,0 a 10,0	8,2 a 10,0	8,2 a 9,0
DQO	75	5,0	5,0	1,0
Sólidos Suspensos Totais	100	10	5	0,5
Turbidez	50	--x--	--x--	--x--
DBO	25	--x--	--x--	--x--
Compostos Orgânicos ⁺⁺	1,0	1,0	1,0	0,5
Nitrogênio Amoniacal	1,0	0,1	0,1	0,1
Fosfato	4,0	--x--	--x--	--x--
Sílica	50	30	10	0,7
Alumínio	0,1	5,0	0,1	0,01
Ferro	0,5	1,0	0,3	0,05
Manganês	0,5	0,3	0,1	0,01
Cálcio	50	+	0,4	0,01
Magnésio	0,5	+	0,25	0,01
Bicarbonato	24	170	120	48
Sulfato	200	+	+	+
Cobre	--x--	0,5	0,05	0,05
Zinco	--x--	+	0,01	0,01
Substâncias Extraídas em Tetracloreto de Carbono	--x--	1	1	0,5
Sulfeto de Hidrogênio	--x--	+	+	+
Oxigênio Dissolvido	--x--	2,5	0,007	0,0007

* Limites recomendados em mg/L, exceto para pH, que é expresso em unidades

+ Aceito como recebido, caso sejam atendidos outros valores limites

++ Substâncias ativas ao azul de metileno

Fonte: CROOK, 1996

Tabela 3.5 - Requisitos de qualidade para água de uso industrial

Parâmetro*	Tipo de Indústria						
	Papel e Celulose			Química	Carvão e Petróleo	Têxtil	Cimento
	Polpa Mecânica	Polpa Química Parda	Polpa Química Branqueada				
Cobre					0,05	0,01	
Ferro	0,3	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1	2,5
Manganês	0,1	0,5	0,05	0,1		0,01	0,5
Cálcio		20	20	68	75		
Magnésio		12	12	19	30		
Cloreto	1000	200	200	500	300		250
Bicarbonato				128			
Nitrato				5			
Sulfato				100			250
Sílica		50	50	50			
Dureza		100	100	250	350	25	35
Alcalinidade					125		400
SDT				1000	1000	100	600
SST		10	10	5	10	5	500
Cor	30	30	10	20		5	
pH	6 – 10	6 – 10	6 – 10	6,2 – 8,3	6 – 9		6,5 – 8,5

* Limites recomendados em mg/L, exceto para pH e cor, que são expressos em unidades
 Fonte: CROOK, 1996

Tabela 3.6 - Requisitos de qualidade para água de uso industrial

Indústria e Processo	Parâmetros (mg/L, exceto quando especificado o valor)														
	Cor	Alcalinidade (CaCO ₃)	Cloreto	Dureza (CaCO ₃)	Ferro	Manganês	Nitrato	pH (unidades)	Sulfato	SDT	Sólidos Suspensos	Silica	Cálcio	Magnésio	Bicarbonato
Têxtil:															
Engomagem	5			25	0,3	0,05		6,5 - 10,0		100	5,0				
Lavagem	5			25	0,1	0,01		3,0 - 10,5		100	5,0				
Branqueamento	5			25	0,1	0,01		2,0 - 10,5		100	5,0				
Tingimento	5			25	0,1	0,01		3,5 - 10,0		100	5,0				
Papel e Celulose:															
Processo Mecânico	30		1000		0,3	0,1		6 - 10							
Processo Químico															
<i>Não Branqueado</i>	30		200	100	1,0	0,5		6 - 10			10	50	20	12	
<i>Branqueado</i>	10		200	100	0,1	0,05		6 - 10			10	50	20	12	
Produtos Químicos:															
Cloro e Alkali	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	0,1	0,1		6,5 - 8,7	75	250	5		50	12	128
Compostos inorgânicos	5	70	30	250	0,1	0,1		6,5 - 7,5	90	425	5		60	25	210
Plásticos e resinas	2	1,0	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	1,0	2,0	0,02	0	0	0,1
Borracha sintética	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,05	0	0	0,5
Produtos Farmacêuticos	2	2	0	0	0,005	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			150	300	10,0		30	12	60
Tintas	5	100	30	150	0,1	0,1		6,5	125	270	10		37	15	125
Madeira e resinas	200	200	500	900	0,3	0,2	5	6,5 - 8,0	100	1000	30	50	100	50	250
Fertilizantes	10	175	50	250	0,2	0,2	5	6,5 - 8,5	150	300	10	25	40	20	210
Explosivos	8	100	30	150	0,1	0,1	2	6,8	150	200	5	20	20	10	120
Petróleo			300	350	1,0			6,0 - 9,0		1000	10		75	30	
Ferro e Aço:															
Laminação a quente								5 - 9							
Laminação a frio								5 - 9			10				
Diversas:															
Frutas e vegetais enlatados	5	250	250	250	0,2	0,2	10	6,5 - 8,5	250	500	10	50	100		
Refrigerantes	10	85			0,3	0,05									
Curtimento de couro	5		250	150	50			6,0 - 8,0					60		
Cimento		400	250		25	0,5	0	6,5 - 8,5	250	600	500	35			

Fonte: NEMEROW and DASGUPTA, 1991

Em um estudo mais detalhado, apresentado em The Water Encyclopedia (VAN DER LEEDEN; TROISE and TODD, 1990), são apresentados os dados referentes ao grau de qualidade da água para diversas atividades, inclusive algumas da que já foram apresentadas anteriormente, os quais, a título de comparação, são apresentados nas tabelas 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10.

É importante ser observado que o grau de qualidade da água requerido para a um determinado uso hoje, pode ser muito diferente do grau de qualidade da água que tenha sido utilizada por muitos anos no passado (NORDELL, 1961), ou que venha a ser utilizado no futuro, pois com o desenvolvimento tecnológico, problemas associados à escassez de recursos naturais e poluição, podem surgir restrições com relação ao uso da água com o grau de qualidade até então considerado adequado.

Definições e abreviaturas referentes à tabela 3.7:

a) OD – Oxigênio Dissolvido	g) Doces duros requerem pH igual a 7,0 ou superior, em função dos baixos valores de pH favorecerem a inversão da sucrose.
ppm – partes por milhão	
pH – potencial hidrogeniônico	h) O controle da corrosividade e dos microrganismos é necessário.
b) A – Não ser corrosiva	i) O Bicarbonato de cálcio é particularmente problemático. Bicarbonato de Magnésio tende a desenvolver uma coloração esverdeada. Sulfatos e cloretos de cálcio, magnésio e sódio, não devem, cada um deles, estar em concentração inferior a 300 ppm.
B – Não deve ocorrer a formação de limo	j) Uniformidade na composição e temperatura é desejável. O ferro é objetável, uma vez que a celulose absorve o ferro de soluções diluídas. O manganês é muito objetável, obstrui as tubulações e é oxidado a permanganatos pelo cloro, causando uma cor avermelhada.
C – Conformidade com os padrões necessários para água potável	k) Ferro, manganês ou turbidez em excesso criam manchas e descoloração nas peles ou artefatos de couro.
D – NaCl, 275 ppm	l) Composição constante e alumina residual menor que 0,5 ppm.
E – Concentração de CO ₂ livre menor que 10 mg/L	m) Cálcio, magnésio, ferro, manganês, material em suspensão e matéria orgânica dissolvida são objetáveis.
F – Concentração de Cobre menor que 5 mg/L	
G – Cálcio 100 – 200 mg/L	
H – Cálcio 200 – 500 mg/L	
c) Águas com algas, ou odores de sulfeto de hidrogênio são inadequadas para uso em ar condicionado	
d) Alguma dureza é desejável	
e) Águas para destilação devem atender os mesmos requisitos gerais como para a fermentação.	
f) Água límpida, inodora e estéril para o xarope e carbonatação. Água com características consistentes. Muitas águas municipais filtradas, de alta qualidade, não são adequadas para a fabricação de bebidas.	

Tabela 3.7 - Tolerância da qualidade da água para algumas aplicações industriais

Indústria ou Aplicação	Turbi- dez	Cor	Cor e O ₂ consu- mido	OD ^a (mL/L)	Odor	Dure- za	Alcali- nidade	pH (unidades)	Sólidos Totais	Fe	Mn	Fe + Mn	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl	F	CO ₃	HCO ₃	OH	Na ₂ SO ₄ / Na ₂ SO ₃ Relação	Geral ^b
Ar Condicionado ^c	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,5	0,5	0,5	...	...	...	...	...	...	...	...	A, B
Biscoitos, Bolachas, etc.	10	10	...	...	Baixo	^d	...	...	...	0,2	0,2	0,2	...	...	...	...	...	...	...	...	C
Alimentação de Caldeiras																					
Pressão (bar)																					
0 a 10	20	80	100	2,0	...	80	...	> 8,0	3000 a 1000	...	...	...	5	40	...	...	200	50	50	1 / 1	...
10 a 20	10	40	50	0,2	...	40	...	> 8,5	2500 a 500	...	...	...	0,5	20	...	...	100	30	40	2 / 1	...
20 a 30	5	5	10	0,0	...	10	...	> 9,0	1500 a 100	...	...	...	0,05	5	...	...	40	5	30	3 / 1	...
Acima de 30	1	2	...	0,0	...	2	...	> 9,6	50	...	...	...	0,01	1	...	...	20	0	15	3 / 1	...
Fermentação de Bebidas ^e																					
Clara (transparente)	10	10	...	...	Baixo	...	75	6,5 – 7,0	500	0,1	0,1	0,1	...	50	100	1,0	50	...	...	...	C,D,G
Escura	10	10	...	...	Baixo	...	150	> 7,0	1000	0,1	0,1	0,1	...	50	100	1,0	50	...	...	...	C,D,H
Enlatados																					
Legumes	10	...	...	...	Baixo	25 – 75	...	> 7,5	850	0,2	0,2	0,3	...	...	...	1,0	...	...	...	...	C
Geral	10	...	...	...	Baixo	50-400	...	> 7,5	850	0,2	0,2	0,3	...	...	...	1,0	...	...	...	...	C
Bebidas Carbonatadas ^f	2	10	10	...	Baixo	250	125	...	850	0,2	0,2	0,3	...	...	250	0,2-1,0	...	...	...	...	C
Confeitos	...	...	...	...	Baixo	...	...	g	100	0,2	0,2	0,2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Refrigeração ^h	50	...	...	...	...	50	...	...	...	0,5	0,5	0,5	...	...	...	...	...	...	...	...	A, B
Alimentos em Geral	10	5 – 10	...	...	Baixo	10-250	30-250	...	850	0,2	0,2	0,2	...	...	...	1,0	...	...	...	...	C
Gelo (Água Bruta) ⁱ	1 – 5	5	...	...	...	...	30-50	...	300	0,2	0,2	0,2	...	10	...	...	...	...	...	...	C
Lavagem de Roupas	...	...	...	...	...	50	60	6,0 – 6,8	...	0,2	0,2	0,2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Plásticos transparentes	2	2	...	...	...	...	...	...	200	0,02	0,02	0,02	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Celulose e Papel ^j																					
Polpa mecânica	50	30	...	...	...	200	150	...	500	0,3	0,1	0,3	...	50	75	...	...	...	...	...	E
Papel Kraft branqueado	40	25	...	...	...	100	75	...	300	0,2	0,1	0,2	...	50	200	...	...	...	...	...	E
Polpa ao Sulfito e Soda	25	5	...	...	...	100	75	...	250	0,01	0,05	0,1	...	20	75	...	...	...	...	...	E
Papel Fino (especial)	10	5	...	...	...	100	75	...	200	0,01	0,05	0,1	...	20	...	...	...	...	...	...	E
Rayon (viscose)																					
Produção da polpa	5	5	...	...	...	8	50	...	100	0,05	0,03	0,05	8,0	25	5	...	...	...	...	...	F
Fabricação	0,3	...	...	...	...	55	...	7,8 – 8,3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Tratamento de Peles ^k	20	10-100	...	...	...	50-135	135	6,0 – 8,0	...	0,2	0,2	0,2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Têxteis																					
Geral	5	20	...	...	...	20	...	...	...	0,25	0,25	...	...	...	100	...	...	...	...	...	...
Tingimento ^l	5	5-20	...	...	...	20	...	...	...	0,25	0,25	0,25	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Lanifício ^m	...	70	...	...	...	20	...	...	...	1,0	1,0	1,0	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Fiação de Algodão ^m	5	5	...	...	Baixo	20	...	...	...	0,2	0,2	0,2	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990

Tabela 3.8 - Recomendações para qualidade da água na indústria do ferro e aço

Parâmetros	Concentração (mg/L)				
	Laminação a Quente, Resfriamento e Limpeza a Gás	Laminação a Frio	Água de Enxágüe		Produção do Aço
			Abrandada	Desmineralizada	
pH	5 – 9	5 – 9	6 – 9	...	6,8 – 7,0
Sólidos Suspensos	< 25	< 10	ND	ND	...
Sólidos Dissolvidos Totais	< 1000	< 1000	ND	ND	...
Sólidos Sedimentáveis	< 100	< 5	ND	ND	...
Oxigênio Dissolvido	Concentração mínima para manter condições aeróbias				
Temperatura (°C)	< 38	< 38	< 38	< 38	< 38
Dureza	NE ^a	NE ^b	< 100	< 0,1	< 50
Alcalinidade	NE	NE	NE	< 0,5	...
Sulfato	< 200	< 200	< 200	...	< 175
Cloreto	< 150	< 150	< 150	ND	< 150
Óleos	NE	ND	ND	ND	ND
Materiais Flutuantes	NE	ND	ND	ND	ND

ND – Não Detectável; NE – Não Especificado; b – Controlado por outros tratamentos
 Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990.

Tabela 3.9 - Recomendações para qualidade da água na indústria do petróleo

Parâmetros	Concentração (mg/L) ^a
pH (unidades)	6,0 – 9,0
Cor	NE
Cálcio	< 75
Magnésio	< 25
Ferro	< 1
Bicarbonato	NE
Sulfato	NE
Cloreto	< 200
Nitrato	NE
Fluoreto	NE
Sílica	NE
Dureza (como CaCO ₃)	< 350
Sólidos Dissolvidos Totais	< 750
Sólidos Suspensos	< 10

a) A menos que seja indicada a unidade; NE – Não Especificado
 Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990.

Tabela 3.10 - Recomendações para qualidade da água em centrais de geração de energia

Parâmetros	Concentração (mg/L)			
	Sistema de Refrigeração Aberto		Alimentação da Caldeira (10,35 a 34,48 Mpa)	Água para Usos Diversos
	Água Doce	Água Salobra ^a		
Sílica	< 50	< 25	< 0,01	...
Alumínio	NE	NE	< 0,01	...
Ferro	NE	NE	< 0,01	< 1,0
Manganês	NE	NE	< 0,01	...
Cálcio	< 200	< 420	< 0,01	...
Magnésio	NE	NE	< 0,01	...
Amônia	NE	NE	< 0,07	...
Bicarbonato	< 600	< 140	< 0,5	...
Sulfato	< 680	< 2.700	NE ^b	...
Cloreto	< 600	< 19.000	NE ^b	...
Sólidos Dissolvidos Totais	< 1.000	< 35.000	< 0,5	< 1000
Cobre	NE	NE	< 0,01	...
Dureza	< 850	< 6.250	< 0,07	...
Zinco	NE	NE	< 0,01	...
Alcalinidade (como CaCO ₃)	< 500	< 115	< 1	...
pH (unidades)	5,0 – 8,3	6,0 – 8,3	8,8 – 9,4	5,0 – 9,0
Compostos Orgânicos:				
Substâncias Ativas ao Azul de Metileno	NE	NE	< 0,1	< 10
Extraídas pelo Tetracloreto de Carbono	NE ^c	NE ^c	NE	< 10
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	< 75	< 75	< 1,0	...
Oxigênio Dissolvido	...	...	< 0,007	...
Sólidos Suspensos	< 5.000	< 2.500	< 0,05	< 5

a) Água Salobra – Sólidos Dissolvidos Totais acima de 1.000 mg/L; b) Controlado pelo Tratamento de outros constituintes; c) Ausência de Óleo flutuante; NE – Não Especificado

Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990.

Pelos dados apresentados anteriormente, verifica-se que o grau de qualidade de água requerido para o desenvolvimento das diversas atividades industriais é bastante variado, devendo ser observado que estes valores servem apenas como referência, já que, em uma mesma indústria, a água pode apresentar diversas aplicações, impondo-

se à mesma a necessidade do atendimento de padrões específicos, diferentes daqueles apresentados anteriormente.

Também é importante destacar que, embora os valores apresentados nas tabelas acima indiquem uma tolerância para o uso de águas com graus de qualidade pouco restritivos, como é o caso dos valores apresentados para água utilizada em sistemas de resfriamento, atualmente tem-se buscado utilizar água com um melhor grau de qualidade para as aplicações industriais. Isto irá resultar na otimização do uso desse recurso, minimizar o uso de produtos químicos para a proteção dos componentes com os quais a água irá entrar em contato e reduzir o grau de toxicidade dos efluentes gerados, possibilitando a reutilização da água em outras atividades industriais menos exigentes e a simplificação do sistema de tratamento dos efluentes, contribuindo para a proteção do meio ambiente.

Como ilustração, na tabela 3.11 são apresentados os principais problemas associados à qualidade da água, os quais têm efeitos diretos sobre as atividades industriais.

Tabela 3.11 - Problemas causados aos processos industriais devido às impurezas presentes na água

Impureza	Problemas							
	Água de Processo		Água para Caldeiras			Água de Resfriamento		
	Indústrias Afetadas	Forma pela qual são afetadas	Depósitos	Corrosão	Outros	Depósitos	Corrosão	Outros
Dureza (Ca e Mg)	Todas	Incrustação e Depósitos	P (1)	...	...	P	...	...
	Papel e Têxtil	Depósitos sobre as fibras						
	Lavanderias	Formação de espuma sobre os tecidos						
Alcalinidade	Papel, têxtil e bebidas	Destroe reagentes ácidos, corantes, floculantes e aromatizantes	...	.P	...	P	...	...
Sólidos Dissolvidos	Eletrônica, farmacêutica, alimentícia, bebidas, utilidades	Aumenta o custo para produção de água com alto grau de pureza e pode degradar a qualidade do produto final	...	...	Purgas elevadas	...	C	Purgas elevadas
Sólidos Suspensos	Todas	Depósitos e Desgaste de equipamentos	P	...	...	.P	P	...
Oxigênio Dissolvido	Todas	Principal causa de corrosão	...	P	...	...	P	...

Tabela 3.11 - Problemas causados aos processos industriais devido às impurezas presentes na água (continuação)

Impureza	Problemas								
	Água de Processo		Água para Caldeiras			Água de Resfriamento			
	Indústrias Afetadas	Forma pela qual são afetadas	Depósitos	Corrosão	Outros	Depósitos	Corrosão	Outros	
Dióxido de Carbono	de Todas (3)	Pode passar para fase vapor, na sucção da bomba do poço de extração, elevando o pH da água o que resulta em problemas de incrustação.	...	P	...	...	...	Afeta o pH	
Ferro e Manganês	e Todas	Depósitos e manchas	P	...	...	P	...	...	
Matéria Orgânica	Alimentos e Bebidas	Sabor e odor	...	...	Pode ocorrer formação de espumas e crescimento biológico*	...	...	Pode ocorrer formação de espuma e crescimento biológico*	
	Todas	Alimento para bactérias e contamina as resinas de troca iônica							
Sílica	...	...	C	...	P (2)	C	...	...	
Microorganismos	Todas	Produção de limo e odores	...	...	...	P	...	...	

P - Principal fator responsável pelo problema; C - Contribui para o problema; ... - Não apresenta efeito significativo; (1) no sistema de condensação de vapor; (2) na turbina; (3) abastecimento de água por poço profundo.

* Acrescentado pelo autor.

Fonte: NALCO, 1988

3.4.2. Consumo de água na indústria

O consumo de água na indústria, ou seja, quantidade necessária para o atendimento das diversas atividades industriais, é influenciada por vários fatores como:

- Ramo de Atividade;
- Capacidade de Produção;
- Condições climáticas da região;
- Disponibilidade de água;
- Método de Produção;
- “Idade” da Instalação;
- Práticas Operacionais;

- Cultura da Empresa e da Comunidade Local.

Por essas razões, se considerarmos indústrias que são do mesmo ramo de atividade e tenham a mesma capacidade de produção, porém instaladas em diferentes regiões, ou que tenham “idades” diferentes, a probabilidade do volume de água consumido em cada instalação não ser equivalente é muito grande.

Isto pode ser explicado quando da análise dos fatores que podem ter influência sobre o consumo de água como, por exemplo, as condições climáticas, pois se considerarmos duas indústrias localizadas em regiões frias e quentes respectivamente, o consumo de água para os processos de troca térmica, no caso de resfriamento, será menor na indústria que se localiza na região com clima frio, uma vez que o processo de resfriamento é influenciado pela temperatura ambiente.

Com relação à “idade” da indústria, o consumo pode ser diferente em função da tecnologia adotada para a produção, ou seja, nas indústrias mais modernas com a utilização de novas tecnologias e métodos de produção obtém-se um melhor aproveitamento dos recursos naturais, entre eles a água, enquanto em uma instalação mais antiga, além das tecnologias ultrapassadas, podem ocorrer, ainda, problemas associados ao desgaste dos componentes e equipamentos, resultando em perdas devido a vazamentos e paradas constantes para manutenção.

As afirmações apresentadas acima podem ser constatadas pela análise dos dados apresentados na tabela 3.12, onde é apresentado o consumo de água por diversos segmentos industriais em várias partes do mundo.

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
PRODUTOS ALIMENTÍCIOS		
Pães ou Massas, Bélgica		1.100
Pães, Estados Unidos		2.100 – 4.200
Pães, Chipre		600

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
COMIDA ENLATADA		
<i>Bélgica:</i>		
Peixe, enlatado		400
Peixe, em conserva		1.500
Frutas		15.000
Vegetais		8.000 – 80.000
<i>Chipre:</i>		
Suco de tomate e cítricos		2.800
Grapefruit, pedaços		16.000
Pêssegos e pêras		10.000
Uvas		30.000
Tomates inteiros		2.000
Extrato de tomate		21.000
Ervilhas		10.000
Cenouras		16.000
Espinafre		30.000
<i>Israel:</i>		
	tonelada de cítricos no estado	
Frutas cítricas	natural	4.000
Vegetais		10.000 – 15.000
<i>Estados Unidos</i>		
Damasco		21.200
Aspargos		20.500
Beterrabas, milho e ervilhas		7.000
Suco de grapefruit		2.800
Grapefruit, pedaços		15.600
Pêssegos e pêras		18.100
Abóboras		7.000
Espinafre		49.400
Derivados do tomate		20.500
Tomates inteiros		2.200

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
CARNE		
Carne congelada, Chipre	tonelada de carcaça	500
Carne congelada, Nova Zelândia		3.000 – 8.600
Carne embalada, Estados Unidos	tonelada de carne preparada	23.000
Carne embalada, Canadá	tonelada de carcaça	8.800 – 34.000
Derivados de carne, Bélgica	tonelada de carne preparada	200
Fábrica de salsicha, Finlândia		20.000 – 35.000
Fábrica de salsicha, Chipre		25.000
Matadouro, Finlândia	tonelada do animal vivo	4.000 – 9.000
Matadouro, Chipre	tonelada de carcaça	10.000
Carne conservada, Israel	tonelada de carne preparada	10.000
PEIXE		
Peixe fresco e congelado, Canadá		30.000 – 300.000
Peixe enlatado, Canadá		58.000
Conserva e preservação de peixes, Israel		16.000 – 20.000
AVES		
Aves, Canadá		6.000 – 43.000
Frangos, Israel	tonelada de frango depenado	33.000
Frangos, Estados Unidos	por ave	25
Perus, Estados Unidos	por ave	75
LEITE E DERIVADOS		
<i>Manteiga:</i>		
Nova Zelândia		20.000
<i>Queijo:</i>		
Chipre		10.000
Nova Zelândia		2.000
Estados Unidos		27.500

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
<i>Leite:</i>		
Bélgica	1.000 litros	7.000
Finlândia		2.000 – 5.000
Israel		2.700
Suécia		2.000 – 4.000
Estados Unidos		3.000
<i>Leite em Pó:</i>		
Nova Zelândia		45.000
África do Sul		200.000
<i>Coalhada, Estados Unidos</i>		10.000
<i>Laticínios em geral, Canadá</i>		12.200
<i>Sorvetes, Estados Unidos</i>		10.000
<i>Iogurte, Chipre</i>		20.000
AÇÚCAR		
Dinamarca	tonelada de beterrabas	4.800 – 15.800
Finlândia	tonelada de beterrabas	10.000 – 20.000
França	tonelada de beterrabas	10.900
Alemanha	tonelada de beterrabas	10.400 – 14.000
Grã Bretanha	tonelada de beterrabas	14.900
Israel	tonelada de beterrabas	1.800
Itália	tonelada de beterrabas	10.500 – 12.500
China	tonelada de cana-de-açúcar	15.000
Estados Unidos	tonelada de beterrabas	3.200 – 8.300
BEBIDAS		
<i>Cerveja:</i>		
Bélgica	1.000 litros	7.000 – 20.000
Canadá	1.000 litros	10.000 – 20.000
	1.000 litros, incluindo lavagens	
Chipre	de garrafas	22.000 – 30.000
Finlândia	1.000 litros	10.000 – 20.000
França	1.000 litros	14.500

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
BEBIDAS		
<i>Cerveja:</i>		
Israel	1.000 litros	13.500
Reino Unido	1.000 litros	6.000 – 10.000
Estados Unidos	1.000 litros	15.200
<i>Whisky, Estados Unidos</i>	1.000 litros	2.600 – 76.000
<i>Destilados Alcoólicos, Israel</i>	1.000 litros	30.000
<i>Vinho, França</i>	1.000 litros	2.900
<i>Vinho, Israel</i>	1.000 litros	500
PRODUTOS ALIMENTÍCIOS		
DIVERSOS		
Chocolates e confeitos, Bélgica		15.000 – 17.000
Gelatina Comestível, Estados Unidos		55.100 – 83.500
Farinha de trigo, Chipre		2.000
Farinha de trigo, Israel		700 – 1.300
Farinha de Batata, Finlândia	tonelada de batatas	10.000 – 20.000
Amido de Batata, Canadá	tonelada de amido	80.000 – 150.000
Macarrão, Chipre		1.200
Melado, Bélgica	hectolitro de material bruto	1.000 – 12.200
Melado, Estados Unidos	hectalitro de produto	840
PAPEL E CELULOSE		
<i>Poupa Mecânica:</i>		
Finlândia	tonelada de polpa de madeira	30.000 – 40.000
<i>Polpa ao Sulfato:</i>		
China	tonelada de polpa branqueada	340.000
China	tonelada de polpa parda	230.000
Finlândia	por tonelada de polpa	250.000 – 350.000
Suécia	tonelada de polpa parda	75.000 – 300.000
Suécia	tonelada de polpa branqueada	170.000 – 500.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
<i>Polpa ao Sulfito:</i>		
Finlândia	tonelada de polpa branqueada	450.000 – 500.000
Finlândia	tonelada de polpa parda	250.000 – 300.000
Suécia	tonelada de polpa branqueada	300.000 – 700.000
Suécia	tonelada de polpa parda	140.000 – 500.000
<i>Mata borrão, Suécia</i>		350.000 – 400.000
<i>Papel Craft para impressão e fino, Finlândia</i>		375.000
<i>Papel para impressão, China</i>		340.000
<i>Papel jornal, China</i>		190.000
<i>Papel jornal, Canadá</i>		165.000 – 200.000
<i>Papel fino, China</i>		800.000
<i>Papel fino, Suécia</i>		900.000 – 1.000.000
<i>Papel Jornal, Suécia</i>		200.000
<i>Embalagens e cartuchos de papel cartão, Suécia</i>		125.000
<i>Papel para impressão, Suécia</i>		500.000
<i>Papel cartão, Finlândia</i>		125.000
<i>Papel e papel cartão, Bélgica</i>		180.000
PETRÓLEO E COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS		
Gasolina para aviação, Estados Unidos	1.000 litros	25.000
Gasolina para aviação, China	1.000 litros	25.000
Gasolina, Estados Unidos	1.000 litros	7.000 – 10.000
Gasolina, China	1.000 litros	8.000
Gasolina e polimerização, Estados Unidos	1.000 litros	34.000
Querosene, Bélgica		40.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
Gasolina sintética, Estados Unidos	1.000 litros	377.000
Extração de petróleo, Estados Unidos	1.000 litros de petróleo cru	4.000
<i>Refinarias de Petróleo:</i>		
China	tonelada de petróleo cru	30.500
Suécia	tonelada de petróleo cru	10.000
<i>Combustível Sintético:</i>		
A partir do Carvão		
África do Sul		50.100
Estados Unidos	1.000 litros	265.500
A partir de Gás Natural, Estados Unidos		
	1.000 litros	88.900
A partir do Xisto, Estados Unidos		
	1.000 litros	20.800
INDÚSTRIA QUÍMICA		
Ácido Acético, Estados Unidos		417.000 - 1.000.000
Álcool, Estados Unidos	litro	138
Alumina (Processo Bayer), Estados Unidos		26.300
Amônia Sintética, Estados Unidos	tonelada de amônia líquida	129.000
Amônia a parti de Nafta, Japão		255.000
Nitrato de Amônio, Bélgica		52.000
Sulfato de Amônio, Estados Unidos		835.000
Carbeto de Cálcio, Estados Unidos		125.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
Metafosfato de Cálcio, Estados Unidos		16.700
Dióxido de Carbono		83.500
Soda Cáustica e Cloro, Canadá		125.000
Soda Cáustica (Solvey), Estados Unidos		60.500
Soda Cáustica, processo Dual, Alemanha		160.000
Soda Cáustica, processo Dual, China		200.000
Soda Cáustica (Solvey), China		150.000
Nitrato de Celulose, Estados Unidos		41.700
Carvão e derivados da tonelada de Acetato de Cálcio		
Madeira, Estados Unidos	Bruto	271.000
Cloro, Alemanha		12.600
Etileno, Israel		16.000
Gases, comprimidos e liquefeitos, Canadá	metro cúbico	60 a 70
Glicerina, Estados Unidos		4.600
Pólvora, Estados Unidos		401.000 - 835.000
Ácido Clorídrico (processo do sal), Estados Unidos	tonelada de ácido a 20 Be	12.100
Ácido Clorídrico (processo sintético), Estados Unidos	tonelada de ácido a 20 Be	2.000 - 4.200
Hidrogênio, Estados Unidos		2.750.000
Lactose, Estados Unidos		835.000 - 918.000
Carbonato de magnésio, básico, Estados Unidos	tonelada de $MgCO_3$	163.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
Oxigênio, Estados Unidos	metro cúbico de oxigênio	243
		231.000
Polietileno, Alemanha		(225.000 para água de resfriamento)
Polietileno, Israel		8.400
Cloreto de Potássio, Estados Unidos		167.000 - 209.000
Pólvora sem fumaça, Estados Unidos		209.000
Sabão, Bélgica		37.000
Sabão, Chipre		4.500
Sabão (Lavanderia), Estados Unidos		960 - 2.100
Barrilha (processo amônia/soda), 58 %, Estados Unidos		62.600 - 75.100
Clorato de Sódio		250.000
Silicato de Sódio	tonelada de solução a 40 Be	670
Estearina, sabão e agentes de lavagem, Suécia	tonelada de gordura	70.000 - 200.000
Ácido Sulfúrico, Bélgica		20.000 - 25.000
Ácido Sulfúrico (Câmaras de Chumbo), Estados Unidos	tonelada de ácido a 100%	10.400
Ácido Sulfúrico (Processo de Contato), Estados Unidos	tonelada de ácido a 100%	2.700 - 20.300
Ácido Sulfúrico, Alemanha	tonelada de SO ₃	83.500
INDÚSTRIA TÊXTIL		
<i>Maceração, tratamento, lavagem e branqueamento:</i>		
Maceração de linho, Bélgica		30.000 - 40.000
Tratamento de linho, Suécia		30.000 - 40.000
Tratamento de lã, Bélgica		240.000 - 250.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
Lavagem de lã, Suécia		10.000
Branqueamento de tecidos, Bélgica		180.000
<i>Tingimento:</i>		
Tecidos, Bélgica		200.000
Tecidos, França		52.000 - 560.000
<i>Acabamento:</i>		
Acabamento a úmido de tecidos, Bélgica		100.000 - 150.000
<i>Tingimento e Acabamento:</i>		
Fios de algodão, Israel		60.000 - 180.000
Fios sintéticos, Israel		90.000 - 180.000
Fios de lã, Israel		70.000 - 140.000
Tecido, Israel		60.000 - 100.000
<i>Tecelagens:</i>		
Algodão		
Finlândia		50.000 - 150.000
Suécia		10.000 - 250.000
Canadá	0,835 m ²	1,0
Lã		
Finlândia	tonelada de roupa ou fio	150.000 - 350.000
Suécia	tonelada de lã	400.000
Fibras Sintéticas		
Seda artificial, Suécia		2.000.000
Rayon		
Bélgica		2.000.000
Finlândia		1.000.000 - 2.000.000
Carpets, Canadá	0,835 m ²	20
MINERAÇÃO E EXTRAÇÃO A		
CÉU ABERTO		
Ouro, África do Sul	tonelada de minério	1.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
Minério de ferro, Estados Unidos		4.200
Bauxita, Estados Unidos	tonelada de minério	300
Enxofre, Estados Unidos		12.500
Cobre, Finlândia		3.750
Cobre, Israel		3.100
Brita, Israel		400
Cal e subprodutos, Bélgica		200 - 6.500
FERRO E PRODUTOS DE AÇO		
<i>Bélgica:</i>		
Alto forno, sem reciclagem		58.000 - 73.000
Alto forno, com reciclagem		50.000
Aço acabado e semi-acabado, sem reciclagem		61.000
Aço acabado e semi-acabado, com reciclagem		27.000
<i>Canadá:</i>		
Ferro gusa		130.000
Aço Básico		22.000
<i>França:</i>		
Fundição		46.000
Processo Martin (Aço Básico)		15.000
Processo Thomas (Conversor Bessemer)		10.000
Aço por forno elétrico		40.000
Laminação		30.000
<i>Alemanha:</i>		
Aciaria		8.000 - 12.000
<i>África do Sul:</i>		
Aço		12.500

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
<i>Suécia:</i>		
Fundição de ferro e aço		10.000 -30.000
<i>Estados Unidos:</i>		
Fábricas integradas		86.000
Laminação e trefilação		14.700
Fundição em alto forno		103.000
Ferro ligas por processos eletrometalúrgicos		72.000
Uso consuntivo da indústria		3.800
PRODUTOS DIVERSOS		
Indústria automobilística,		
Estados Unidos	veículo produzido	38.000
Caldeiras e vapor, Estados Unidos	746 w.h	15
Caseína, Nova Zelândia		55.000
<i>Cimento Portland:</i>		
Bélgica		1.900
Chipre (processo a seco)		550
Finlândia		2.500
Estados Unidos (processo a úmido)		900
<i>Cerâmicas e ladrilhos, Bélgica</i>		1.800 - 2.000
<i>Carvão (incluindo geração de energia):</i>		
Vale do Ruhr, Alemanha		1000 (min) - 1750 (média)
Grã Bretanha		menos que 3.000
Holanda		2.650
<i>Carvão, Bélgica</i>		5.000 - 6.000
<i>Carvão, coque e co-produtos, Estados Unidos</i>		6.300 - 15.000

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção (Tonelada, exceto quando especificado)	Necessidade de Água por Unidade de Produção (Litros)
<i>Lavagem do carvão, Estados Unidos</i>		840
<i>Destilação de Grãos:</i>		
Bélgica	100 litros de grãos tratados	6.000 - 7.000
Estados Unidos	10 litros de grãos tratados	6.450
<i>Destilarias, Suécia</i>	1.000 litros de álcool a 100%	15.000 - 100.000
<i>Geração de energia</i> <i>(Termoelétrica):</i>		
Suécia	tonelada de carvão	200.000 - 400.000
África do Sul	quilowatt hora (uso consuntivo)	5
Estados Unidos	quilowatt hora	200
China	quilowatt hora	230
<i>Explosivos:</i>		
Suécia		800.000
Estados Unidos		835.000
<i>Produção de fertilizante,</i> <i>Finlândia</i>	tonelada de nitrato de potássio	270.000
<i>Vidros, Bélgica</i>		68.000
<i>Lavanderias:</i>		
Chipre	tonelada de peças lavadas	45.000
Finlândia	tonelada de peças lavadas	20.000
Suécia	tonelada de peças lavada	30.000 - 50.000
<i>Couro, África do Sul</i>		50.100
<i>Beneficiamento de couro,</i> <i>Finlândia</i>	tonelada de peles	50.000 - 125.000
<i>Curtimento do couro, Estados Unidos</i>		
Unidos	m ² de pele	20 - 2.550
<i>Curtimento do couro, Chipre</i>	m ² de pele de pequenos animais	110
<i>Metais não ferrosos, bruto e</i> <i>semi-acabados, Bélgica</i>		80.000
<i>Lã mineral, Estados Unidos</i>		16.700 - 20.900

Tabela 3.12 - Necessidade de água por algumas indústrias no mundo
(continuação)

Indústria, Produto e País	Unidade de Produção	Necessidade de Água por
	(Tonelada, exceto quando especificado)	Unidade de Produção (Litros)
<i>Borracha sintética, Estados Unidos:</i>		
Butadieno		83.500 - 2.750.000
Buna S		125.000 - 2.630.000
Grau GR-S		117.000 - 2.800.000
<i>Amido:</i>		
Bélgica	tonelada de milho	13.000 - 18.000
Suécia	tonelada de batatas	10.000

Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990.

Os dados apresentados na tabela acima se referem ao consumo de água para o desenvolvimento de todas as atividades industriais, inclusive aquelas referentes às necessidades dos funcionários para fins sanitários e outros usos. Embora estes dados sejam de grande importância, o conhecimento da distribuição do consumo de água por atividade industrial é um parâmetro essencial para o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas na indústria, já que é a partir deste parâmetro, associado ao grau de qualidade necessário para a água, que será possível desenvolver-se a melhor estratégia para o desenvolvimento de um sistema de tratamento de água para uso industrial, selecionando-se as técnicas mais adequadas para a obtenção de água na qualidade e quantidade necessárias.

Obviamente, conforme já mencionado, o consumo global de água para indústrias do mesmo ramo de atividade pode variar de região para região, assim como o consumo de água por atividade industrial desenvolvida, o que só poderá ser obtido, com um maior nível de precisão, a partir de um estudo específico, seja na fase de projeto, analisando-se documentos disponíveis, ou então, na própria indústria, após a mesma já ter sido implantada e estar operando.

Por outro lado, considerando-se que o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de água e efluentes para a indústria e o conhecimento

das informações relativas ao consumo de água por atividade industrial é de fundamental importância, mesmo que estas informações só possam ser obtidas por meio de um estudo específico. Na tabela 3.13 são apresentados os valores referentes à distribuição do consumo de água por atividade industrial, ressaltando-se que os mesmos referem-se às indústrias localizadas nos Estados Unidos da América, mas que podem ser úteis para o balizamento do trabalho a ser desenvolvido para as indústrias brasileiras.

Tabela 3.13 - Distribuição do consumo de água na indústria por atividade

Indústria	Distribuição do Consumo de Água (%)		
	Resfriamento sem Contato	Processos e Atividades Afins	Uso Sanitário e Outros
Carne enlatada	42	46	12
Abatimento e limpeza de aves	12	77	12
Laticínios	53	27	19
Frutas e vegetais enlatados	19	67	13
Frutas e vegetais congelados	19	72	8
Moagem de milho a úmido	36	63	1
Açúcar de cana-de-açúcar	30	69	1
Açúcar de beterraba	31	67	2
Bebidas maltadas	72	13	15
Indústria têxtil	57	37	6
Serrarias	58	36	6
Fábricas de celulose e papel	18	80	1
Cloro e Alcalis	85	14	1
Gases Industriais	86	13	1
Pigmentos inorgânicos	41	58	1
Produtos químicos inorgânicos	83	16	1
Materiais plásticos e resinas	93	7	+

**Tabela 3.13 – Distribuição do consumo de água na indústria por atividade
(continuação)**

Indústria	Distribuição do Consumo de Água (%)		
	Resfriamento sem Contato	Processos e Atividades Afins	Uso Sanitário e Outros
Borracha sintética	83	17	+
Fibras de celulose sintéticas	69	30	1
Fibras orgânicas não celulósicas	94	6	+
Tintas e pigmentos	79	17	4
Produtos químicos orgânicos	91	9	1
Fertilizantes nitrogenados	92	8	+
Fertilizantes fosfatados	71	28	1
Negro de fumo	57	38	6
Refinaria de petróleo	95	5	+
Pneus	81	16	3
Cimento	82	17	1
Aço	56	43	1
Fundição de ferro e aço	34	58	8
Cobre primário	52	46	2
Alumínio primário	72	26	2
Automóveis	28	69	3

+ Valor inferior a 0,5% do volume total de água consumido

Fonte: VAN Der LEEDEN; TROISE and TODD, 1990

Os dados apresentados acima mostram que o maior consumo de água nas indústrias está associado aos processos de resfriamento, que na maioria dos casos, representa uma parcela superior a 70% de todo o volume de água consumido. Contudo, estes dados devem ser avaliados com cautela, pois na amostragem feita só são considerados alguns setores industriais, os quais utilizam grande quantidade de energia para a transformação das matérias-primas em produtos acabados. Isto resulta na necessidade de utilização de dispositivos que possibilitem retirar do sistema a

energia residual, normalmente na forma de calor, que não foi utilizada no processo, além do fato dos produtos finais obtidos, na maior parte dessas indústrias, não incorporarem água, ao contrário dos produtos obtidos por indústrias de outros ramos de atividade, como o de bebidas e refrigerantes, o de produtos farmacêuticos e o de sabão e detergentes, entre outros.

3.4.3. Associação das informações sobre qualidade e quantidade

Avaliadas as necessidades referentes ao grau ou graus de qualidade de água, bem como da quantidade requerida para o desenvolvimento das atividades industriais, deve-se, então, associar estas informações, de forma lógica e racional, para que seja possível identificar as possíveis estratégias para a obtenção de água na quantidade e com a qualidade desejada. Neste sentido é necessário considerar as técnicas de tratamento disponíveis, além da possibilidade de utilização de medidas administrativas que visem reduzir a necessidade de captação e tratamento de água, as quais devem ser baseadas no conceito de prevenção à poluição, ou seja, o uso racional e o Reúso.

É importante salientar que as medidas de prevenção de poluição não se restringem, unicamente, aos processos industriais, podendo ser aplicadas ao sistema de produção de água para uso nesses processos, já que este pode ser considerado um sistema de produção, onde a matéria-prima é a água bruta e o produto final é a água tratada, a qual deve apresentar os padrões de qualidade para cada uso a que se destina, sendo utilizados para este fim, recursos materiais, humanos e energéticos, de forma idêntica ao que ocorre em qualquer outro processo industrial.

3.5. Técnicas de tratamento de água para uso industrial

Em uma indústria, em função das atividades desenvolvidas, a água é utilizada para vários fins, o que exige a utilização de vários tipos de água. A utilização da água em sistemas de resfriamento, geração de vapor, produção de alimentos, de bebidas e de medicamentos, são alguns exemplos nos quais as características físicas, químicas e biológicas exigidas para a água são marcadamente distintas. Além da preocupação

com o seu grau de qualidade, também, deve ser levada em consideração, a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das diversas atividades industriais, uma vez que, para cada aplicação, são necessários diferentes volumes de água.

De um modo geral, os principais tipos de água, necessários para o desenvolvimento das atividades industriais, podem ser enquadrados em uma das quatro categorias apresentadas na tabela 3.2 (item 3.4.1). O procedimento, geralmente, adotado pelas indústrias consiste na captação e tratamento da água disponível, de forma a adequar as suas características aos padrões de qualidade necessários para o atendimento das maiores demandas. A partir desta água, por meio da utilização de processos específicos, obtêm-se os demais tipos de água, cujos padrões de qualidade são mais restritivos.

Independente da possibilidade de utilização de água com padrões de qualidade pouco restritivos, como é o caso da água para sistemas de resfriamento, atualmente, com o objetivo de proteger os equipamentos e economizar recursos, as indústrias estão procurando trabalhar com uma água que apresente, no mínimo, um grau de qualidade equivalente a categoria III da tabela 3.2, ou seja, água tratada. A justificativa para isto está diretamente associada aos problemas que podem ocorrer devido à utilização de águas com um grau de qualidade inadequado, conforme ilustra a figura 3.2 (KURITA do Brasil Ltda; DEGRÉMONT Water and Waste Treatment, 1986).

Em alguns casos, dependendo da fonte de abastecimento de água que a indústria tem a sua disposição, o grau de qualidade desta água possibilita o seu enquadramento em uma categoria mais nobre, como é o caso da utilização de águas subterrâneas, águas de alguns cursos superficiais que se encontram protegidos, ou então, a água obtida do sistema público de abastecimento, onde o teor de sais dissolvidos é da ordem de 60 mg/L e a dureza da água inferior a 50 mg/L, como pode ser verificado pelos dados apresentados na tabela 3.14 (ANEEL, 2000).

Figura 3.2 - Problemas associados à qualidade da água para uso industrial – (1) Corrosão alveolar em tubulação do sistema de refrigeração; (2) Incrustação em tubulação de sistema de refrigeração; (3) Corrosão devido a presença de gás carbônico em caldeira; (4) Depósito de lama orgânica em trocador de calor e (5) Depósito de partículas de ferro em resinas de troca iônica.

É importante observar que a técnica ou técnicas de tratamento a serem utilizadas para a obtenção de água com um determinado grau de qualidade depende dos compostos que se deseja remover da água sendo que, quanto maior o grau de pureza desejado para a água, mais complexo se torna o sistema de tratamento. Na figura 3.3, são apresentadas as principais técnicas de tratamento de água em função das substâncias que se deseja remover, enquanto na figura 3.4 são apresentadas as técnicas de tratamento em função da concentração de sais dissolvidos.

Tabela 3.14 - Qualidade da água de alguns recursos superficiais

Parâmetro	Rios																	
	Paraná MS	Verde MS	Itapetininga SP	Paranapanema / SP	Jaguariava PR	Das Cinzas PR	Das Cinzas PR	Laranjinha PR	Tibaji PR	Capivari PR	Sapucaí MG	Verde MG	Pardo SP	Mogi Guaçu SP	Jaguari SP	Jaguari SP	Atibaia SP	Tietê SP
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	20,02		15,61	15,73	16,08						13,83	11,50	19,48	21,36	21,45	20,52	15,92	31,05
Condutividade (µS/cm a 20°C)	63,56	34,04	46,55	45,77	46,07	30,63	66,77	79,57	25,70	26,93	40,63	33,72	61,88	72,47	80,81	87,56	57,17	108,91
Sólidos Dissolvidos Totais (mg NaCl/L)*	32,87	17,61	24,08	23,67	23,83	15,84	34,53	41,15	13,29	13,93	21,01	17,44	32,00	37,48	41,80	45,29	29,57	56,33
DBO (mg O ₂ /L)	3,44		4,22	2,28	1,92	1,77	1,73	2,34	1,33	1,00	3,24	3,32	3,51	3,57	4,04	2,93	2,89	3,13
DQO (mg O ₂ /L)	13,50		22,10	17,59	8,42	4,90	9,33	11,09	6,67	7,43	10,46	5,26	17,26	15,11	15,64	20,40	13,26	14,53
Dureza (mg/L CaCO ₃)	20,00		14,72	21,29	12,08						15,60	13,21	17,57	22,36	19,04	19,62	12,87	32,14
Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	9,40	7,34	8,26	7,82	9,60	8,11	8,00	8,55	7,17	9,23	7,11	7,90	9,03	9,01	6,69	8,66	7,22	8,72
pH (unidades)	6,81	6,48	6,85	7,02	7,17	7,13	7,30	7,25	6,73	7,47	7,01	7,03	6,58	6,78	6,94	6,91	6,77	6,74
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	7,00		35,71	31,38	23,33	85,67	135,07	169,28	58,50	57,85	30,50	22,80	23,14	32,33	16,98	33,58	42,11	10,93
Turbidez (FTU)	6,16		26,67	23,38	12,13	9,60	29,80	67,92	18,50	15,85	15,87	11,25	22,16	22,36	17,04	23,46	15,88	16,39
Período das Análises	1990/98	1978/82	1989/96	1989/96	1997/99	1997/99	1997/99	1990/99	1997/99	1997/99	1990/99	1990/99	1990/96	1990/96	1990/96	1990/96	1990/96	1990/97

* Valor obtido com base na relação entre a condutividade elétrica e concentração de sais (NaCl)

Dados obtidos dos Relatórios de Qualidade de Água de Rios, elaborados pela ANEEL.

Figura 3.3 – Principais técnicas de tratamento de água em função dos contaminantes que se deseja remover

Figura 3.4 – Principais técnicas de tratamento em função da concentração de sais dissolvidos

Pelo exposto anteriormente, considerando-se como fonte de abastecimento de água os recursos superficiais ou subterrâneos, no *Anexo A* são apresentadas as principais técnicas de tratamento de água para uso industrial. É importante ressaltar que o conhecimento dessas técnicas de tratamento é de grande importância para o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes que seja efetivo

3.5.1. Obtenção de água para uso industrial

Conforme já apresentado, a água encontra diversas aplicações nas industriais e, em função de cada uso, deve apresentar características físicas, químicas e biológicas compatíveis com a aplicação que se pretende dar a mesma.

Em muitos casos, a obtenção de água industrial de alto grau de qualidade não é obtida utilizando-se um único processo de tratamento, sendo necessária a combinação entre duas ou mais técnicas de tratamento até que se possa obter uma água com as características desejadas.

Até bem pouco tempo, atrás, muitas indústrias utilizavam, para o desenvolvimento de alguns processos menos exigentes, a água captada dos mananciais sem que fosse adotado qualquer tipo de tratamento, principalmente em sistemas abertos de resfriamento (AQUATEC, _____).

Com a redução da disponibilidade hídrica, principalmente em função da utilização da água para outras atividades que não as industriais, poluição térmica dos corpos d'água e danos causados aos equipamentos de processo, as indústrias passaram a adotar técnicas de tratamento visando obter uma água com características mínimas de qualidade, de forma a otimizar os seus processos e minimizar os danos causados aos equipamentos e ao meio ambiente. Um exemplo deste procedimento refere-se a substituição dos sistemas abertos de resfriamento, pelos sistemas semi-abertos ou sistemas fechados.

Seguindo-se esta tendência, atualmente, para a maioria dos processos industriais o nível mínimo de tratamento de água é aquele utilizado para a produção de água para consumo humano (potável), a partir do qual, adotando-se técnicas complementares de tratamento, obtém-se água nos mais diversos graus de qualidade.

A combinação adequada das técnicas de tratamento de água, descritas no **Anexo A**, possibilitam a obtenção de água com qualidade para atender os usos mais exigentes como, por exemplo, na indústria eletrônica, de alimentos e bebidas e farmacêutica. Contudo, o arranjo a ser utilizado deve considerar a otimização do uso dos recursos disponíveis e a minimização de efluentes e resíduos gerados. Isto se justifica em razão da maioria dos processos de tratamento, apenas, transferirem as substâncias inicialmente presentes na água para uma fase mais concentrada, sendo necessário, em algumas situações, a utilização de outras substâncias químicas para restaurar a

capacidade de tratamento dos processos utilizados, ou então, manter os mesmos operando de forma adequada.

O desenvolvimento de um arranjo eficiente irá depender de vários fatores, tais como:

- Experiência profissional da equipe de projeto;
- Conhecimento dos processos industriais a serem desenvolvidos;
- Qualidade da água disponível;
- Qualificação dos operadores;
- Procedimentos de operação e manutenção dos sistemas;
- Custo dos equipamentos e de operação;

Todos estes fatores, em maior ou menor grau de importância, contribuem para o desenvolvimento de um sistema de tratamento de água para uso industrial eficiente, satisfatório ou inadequado pois, do ponto de vista tecnológico, é possível se obter água de alto grau de qualidade a partir de, praticamente, qualquer recurso hídrico disponível, bastando para isto, selecionar as técnicas de tratamento apropriadas e associar as mesmas em uma ordem crescente de complexidade e restrições com relação aos parâmetros operacionais.

Embora tecnicamente viável, do ponto de vista econômico, pelo menos até o presente momento, a obtenção de água para uso industrial a partir de qualquer fonte de abastecimento ainda não é vista como uma alternativa pelas indústrias. À medida que a água vai se tornando escassa, as normas referentes ao gerenciamento de recursos hídricos mais restritivas e o custo das novas tecnologias de tratamento vai sendo reduzido, a utilização de sistemas sofisticados para a obtenção de água para uso industrial tenderá a se tornar uma prática comum.

Se por um lado ocorre o aumento do custo de produção industrial quando da utilização de sistemas complexos para a obtenção de água, deve-se considerar,

também, que a utilização de uma água com um melhor grau de qualidade pode reduzir estes custos, principalmente devido à redução da possibilidade de danos aos equipamentos, da necessidade de paradas constantes para manutenção e limpeza, da utilização de produtos químicos para ajuste das condições operacionais de sistemas de resfriamento, ou ainda, devido a possibilidade de utilização da água em cascata e conseqüentemente de redução da geração de efluentes.

Pelo exposto anteriormente, verifica-se que o desenvolvimento de uma estratégia para obtenção de água para uso industrial não pode apenas considerar o uso à que esta água se destina, mas também todos os fatores associados à sua produção, distribuição, acondicionamento, reutilização e tratamento após o uso.

3.6. Identificação de oportunidades para a maximização do uso da água e minimização dos efluentes (prevenção da poluição)

A partir do momento que os seres humanos passaram a ter consciência dos problemas causados pela exploração indiscriminada dos recursos naturais e pelo lançamento de poluentes para o meio ambiente, houve a necessidade de se desenvolver novas estratégias com relação à exploração dos recursos naturais e controle da poluição.

No início, estas estratégias restringiram-se à elaboração de normas, que se tornavam cada vez mais restritivas, para o controle da poluição ambiental, impondo às indústrias padrões relacionados à emissão de poluentes para o meio ambiente, fazendo com que o ritmo de degradação da qualidade ambiental fosse reduzido.

Com o aumento das atividades industriais e a complexidade envolvida nas inter-relações entre os diversos poluentes, lançados pelas indústrias, e o meio ambiente, estas estratégias mostraram-se ineficazes, indicando a necessidade de reformulação das mesmas e da busca por novas alternativas. Ao invés de ser dada ênfase para a busca de soluções para os problemas de poluição após os mesmos já terem sido criados, deve-se buscar alternativas que vissem evitar que a poluição seja gerada, eliminando-se a necessidade de adoção de métodos para o seu controle, bem como a

possibilidade de ocorrência de qualquer efeito adverso aos seres humanos e ao meio ambiente.

A busca por um modelo mais eficiente para solucionar os problemas relacionados à degradação do meio ambiente, principalmente em função do desenvolvimento das atividades industriais, deu origem ao conceito de PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO, que é definido da seguinte forma (DUNCAN, 1994).

"Qualquer prática que reduz a quantidade ou impacto ambiental e na saúde, de qualquer poluente antes da sua reciclagem, tratamento ou disposição final, incluindo modificação de equipamentos ou tecnologias, reformulação ou reconfiguração de produtos, substituição de matérias-primas, melhoria organizacional, treinamento e/ou controle de inventário."

O principal objetivo de qualquer iniciativa de Prevenção da Poluição é reduzir os impactos ambientais agregados à todo o ciclo de vida do produto e, desta forma, a conservação de recursos e de energia são formas de prevenção da poluição.

Com base neste conceito, verifica-se que as questões relacionadas ao consumo de água e gerenciamento de efluentes também devem ser avaliadas com base nos princípios da Prevenção da Poluição que é, sem sombra de dúvida, a maneira mais lógica e racional de se trabalhar em qualquer atividade, já que são incorporados, em um único conceito, todos os princípios de um programa saudável de gerenciamento ambiental.

Os princípios básicos da prevenção da poluição conduzem a procedimentos de gerenciamento que consideram a hierarquia de atuação apresentada na figura 3.5.

Figura 3.5 - Princípios básicos relacionados à prevenção da poluição

Em muitos casos, a identificação de oportunidades para a aplicação dos conceitos de Prevenção da Poluição é bastante simples, bastando fazer uma análise superficial dos processos que estão sendo desenvolvidos, ou então, dos procedimentos operacionais adotados. Em algumas situações a identificação de oportunidades para a aplicação do conceito de prevenção da poluição requer a utilização de procedimentos mais complexos, os quais exigem uma análise mais minuciosa dos sistemas de produção, utilizando-se como ferramenta adicional, a análise do ciclo de vida do produto.

3.6.1. Prevenção da poluição na indústria

O foco da maior parte das pesquisas, atenção pública e ações governamentais relacionadas às atividades de prevenção da poluição recai sobre as indústrias já que estas são as principais responsáveis pela extração e utilização dos recursos naturais, além de todos os problemas de degradação da qualidade ambiental (PHIPPS, 1995).

Neste caso, a Prevenção da Poluição pode ser vista como uma forma economicamente vantajosa e estrategicamente sensata para as empresas protegerem o

meio ambiente, protegendo a si mesmas de possíveis responsabilidades, infrações legais e despesas desnecessárias ou não previstas. Contudo, a implantação de programas de prevenção da poluição também pode encontrar algumas barreiras, as quais devem ser cuidadosamente analisadas.

3.6.1.1. Benefícios potenciais relacionados à implantação dos programas de prevenção da poluição

Dentre os principais benefícios associados aos programas de prevenção da poluição, conforme já mencionado anteriormente, pode-se destacar (PHIPPS, 1995):

- redução de custos;
- redução da responsabilidade legal;
- melhoria da imagem corporativa; e
- melhoria da segurança dos trabalhadores.

a) Redução de custos

O potencial para a redução de custos e economia de dinheiro é, talvez, um dos benefícios mais atrativos de qualquer programa de prevenção da poluição para as indústrias. A redução na fonte, reciclagem no processo e melhoria na eficiência da utilização de energia e outros insumos, podem reduzir as quantidades necessárias ao desenvolvimento dos processos industriais, o que por sua vez irá resultar na redução das despesas da indústria.

Com a substituição de compostos químicos tóxicos, por substâncias menos perigosas, pode-se reduzir os custos relacionados à obtenção e manipulação destas substâncias e reduzir os gastos com os sistemas de controle da poluição, gerados por essas substâncias. A redução da quantidade de resíduos perigosos, também reduz custos, principalmente associados à manipulação, transporte e disposição final destes resíduos.

Além do exposto acima, as atividades de prevenção da poluição também podem reduzir os custos associados com a obtenção de licenças de implantação e operação das indústrias.

b) Redução da responsabilidade legal

Evitar a geração de poluentes sólidos, líquidos ou gasosos, os quais poderiam afetar, de forma negativa, o meio ambiente e a saúde dos seres humanos, é uma das maneiras mais eficientes e sensatas para uma empresa se proteger contra possíveis responsabilidades legais, já que, não existindo o poluente, não existe a possibilidade de ocorrência de qualquer dano ambiental, ou problema de poluição.

Com o desenvolvimento de uma legislação cada vez mais restritiva e punitiva, caso específico da Lei de Crimes Ambientais, a adoção de estratégias de prevenção da poluição passa a figurar entre as opções mais racionais disponíveis para a indústria.

c) Melhoria da imagem corporativa

A adoção de programas de prevenção da poluição, também, pode ser considerada uma excelente ferramenta de relações públicas, pois uma empresa que demonstra um comprometimento para reduzir os impactos negativos sobre o meio ambiente, devido às suas atividades, poderá desenvolver um relacionamento mais amigável com a comunidade local e com os seus consumidores.

Isto é importante, pois os consumidores e a comunidade em geral estão, a cada dia que passa, se conscientizando dos problemas ambientais associados aos produtos que consomem, dando às empresas a oportunidade de utilizar o seu desempenho ambiental e a sua preocupação com o meio ambiente e com a saúde das pessoas, para melhorar a sua participação no mercado, além de se estabelecer como um membro respeitável na comunidade.

d) Melhorar a segurança dos trabalhadores

A prevenção da poluição também pode ser um importante componente dos esforços para a melhoria da saúde e segurança dos trabalhadores, já que a substituição de

substâncias tóxicas por compostos químicos menos prejudiciais, a redução na emissão fugitiva de solventes orgânicos dos processos produtivos e a minimização da geração de resíduos e efluentes a serem manipulados e dispostos, irão reduzir o risco de exposição dos trabalhadores à materiais tóxicos o, que por sua vez, resulta em uma melhor condição de saúde ocupacional.

3.6.1.2. Barreiras associadas à implantação dos programas de prevenção da poluição

Em alguns casos, independentemente dos benefícios que podem ser obtidos com a implantação de um programa de prevenção da poluição, podem existir algumas barreiras associadas à implantação deste tipo de programa em algumas empresas, devendo-se destacar os seguintes (PHIPPS, 1995):

- cultura corporativa e normas institucionais;
- dificuldades para identificação de oportunidades de prevenção da poluição;
- custo;
- falta de ferramentas e metodologias de avaliação;
- externalidades;
- falta de planejamento à longo prazo e tomada de decisão; e
- expectativa dos consumidores.

a) Cultura corporativa e normas institucionais

A cultura corporativa e as normas institucionais de uma empresa podem ser difíceis obstáculos a serem transpostos para que se possa iniciar as atividades de prevenção da poluição. O comprometimento e a forte liderança dos executivos do alto escalão de uma empresa são fundamentais, da mesma forma que o envolvimento dos trabalhadores dos demais níveis hierárquicos também é importante. Isto se justifica em razão das muitas idéias para a redução da geração de resíduos e poluentes surgirem dos trabalhadores do chão de fábrica, os quais vivenciam, diariamente, a realidade dos sistemas de produção.

Neste sentido, há a necessidade de quebra de barreiras hierárquicas, o que pode ser bastante difícil em algumas empresas.

Além do mais, muitas empresas não tem autonomia sobre os procedimentos e processos que desenvolvem seguindo, na maioria das vezes, as recomendações da matriz, o que também dificulta a implementação dos programas de prevenção da poluição.

b) Dificuldades para a identificação de oportunidades de prevenção da poluição

A proteção ambiental do ponto de vista de uma indústria, normalmente, refere-se à obediência e concordância com a legislação de controle da poluição ambiental e gerenciamento de resíduos. A idéia de evitar a geração de resíduos e poluentes, embora não seja inovadora, ainda não se tornou uma segunda opção para muitas indústrias, sendo vista como uma atividade opcional, caso existam recursos disponíveis.

Enquanto muitas empresas estão acostumadas a gastar muito dinheiro para adequar as suas emissões aos padrões estabelecidos em normas, a maior parte destas empresas não investe tempo e nem recursos para a identificação de oportunidades de prevenção, que muitas vezes necessitam de um estudo mais aprofundado para viabiliza-las.

Tem-se ainda que, tradicionalmente, os engenheiros ambientais ou o pessoal responsável pela área de saúde e segurança, são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos e efluentes, além de serem responsáveis pelo atendimento às normas de controle ambiental, desenvolvendo habilidades específicas com relação às tecnologias de controle da poluição, onde o principal foco está relacionado aos subprodutos originados nos processos de produção, após todas as decisões relacionadas ao produto e processo já terem sido tomadas.

Assim sendo, pode ocorrer desse grupo de gerenciamento ambiental não estar familiarizado com os conceitos de prevenção da poluição, o que acaba dificultando a identificação de oportunidades.

c) Custo

Os programas de prevenção da poluição são sempre apresentados como uma alternativa para a redução de despesas e economia de dinheiro, no entanto, esta redução e economia só poderão ser efetivadas e contabilizadas após o investimento de capital e implementação das mudanças nos processos produtivos.

A substituição de uma substância tóxica por um composto menos prejudicial, a melhoria da eficiência energética e a redução de vazamentos nos processos e emissão de poluentes, são todas atividades que requerem o investimento de capital o que, para muitas empresas, principalmente aquelas de pequeno porte, não é visto como prioritário.

d) Falta de ferramentas e metodologia de avaliação

As dificuldades associadas com a monitoração do desempenho ambiental de uma empresa podem ser um impedimento para justificar e implementar as atividades de prevenção da poluição, podendo até atrapalhar na avaliação da sua efetividade na redução dos impactos ambientais.

Diferente dos critérios tradicionais de avaliação de desempenho, tais como custos, lucratividade, vendas, ou níveis de produção, o desempenho ambiental não é medido,

sendo que a quantificação da redução de resíduos e nível de poluentes emitidos pode ser um ponto de partida. Contudo, tais medidas podem não ser efetivas para identificar e quantificar os impactos associados com a extração de recursos naturais não renováveis e uso ineficiente das fontes de energia.

Além do mais, a medida das quantidades de resíduos ou poluentes produzidos não refletem a sua toxicidade ou o impacto relativo de diferentes tipos de materiais. Talvez, muito mais significativos, sejam os impactos ambientais associados a um produto que, uma vez distribuído e comercializado, raramente é considerado como parte do desempenho ambiental de uma empresa.

Pode-se mencionar, ainda, a falta de procedimentos analíticos padronizados, que facilitem a comparação entre impactos ambientais incomensuráveis, como por exemplo, emissão de CO₂, degradação de habitat, substâncias químicas susceptíveis ao processo de bioacumulação e o risco de câncer, o que torna muito difícil priorizar as estratégias de prevenção da poluição e de proteção ambiental.

e) Externalidades

Externalidades são considerados os custos (ou benefícios), resultantes da ação de consumidores ou produtores, que não se refletem em valores de mercado. A poluição é um exemplo clássico de uma externalidade negativa, pois na ausência do controle governamental, ou de uma resposta dos consumidores, que forcem uma empresa a considerar os custos sociais associados às suas atividades lesivas ao meio ambiente, os custos associados aos danos causados permaneceriam externos à empresa e não refletiriam no preço do produto.

Resumindo, a menos que uma empresa seja obrigada a responsabilizar-se pela poluição gerada, esta poluição é gratuita.

f) Falta de planejamento de longo prazo e tomada de decisão

Os processos de tomada de decisão podem ser uma barreira às atividades de prevenção da poluição pois, freqüentemente, existe um intervalo de tempo e um

investimento de capital nas mudanças associadas à prevenção da poluição, até que ocorra a amortização e retorno do investimento efetuado. Assim sendo, implementar práticas de prevenção de poluição e medidas de otimização da eficiência, podem não parecer economicamente vantajosas para uma empresa que não tem uma visão ou planejamento de longo prazo.

g) Expectativa dos consumidores

Enquanto existem algumas evidências de que os consumidores estão começando a levar em consideração alguns critérios ambientais relacionados ao produto na sua opção de compra, um produto que possa apresentar características ambientais melhoradas, mas que não atenda outras necessidades deste mesmo consumidor, acabarão sendo esquecidos nas prateleiras.

Assim sendo, também se deve considerar como uma barreira à aplicação das práticas de prevenção da poluição algumas expectativas dos consumidores, que muitas vezes estão associadas aos níveis de qualidade esperados para o produto, conveniência, confiabilidade e a aparência dos produtos que estão sendo adquiridos, o que por sua vez podem resultar em uma maior produção de efluentes e resíduos.

3.7. Identificação, quantificação e caracterização de efluentes gerados na indústria

Após a utilização da água, caso esta não seja incorporada ao produto final, ou mesmo durante os processos de tratamento para a obtenção da água no grau de qualidade desejada para as aplicações industriais, esta água torna-se um efluente e, dependendo da sua utilização, poderá conter em sua composição várias substâncias com as quais a mesma entrou em contato.

Visando atender aos objetivos deste trabalho, a identificação, quantificação e caracterização dos efluentes gerados em uma indústria são de fundamental importância, principalmente para a identificação de oportunidades de Prevenção da Poluição, bem como para a definição das estratégias a serem utilizadas com relação à

captação, encaminhamento e tratamento das diversas correntes de efluentes geradas nesta indústria.

Mais uma vez, o conhecimento e a análise de todos os processos desenvolvidos na indústria são de fundamental importância, contudo, o enfoque deve ser direcionado aos processos e operações onde a água é produzida e utilizada, visando a identificação das possíveis atividades onde possam ser gerados efluentes.

Para a identificação dos efluentes, uma análise mais detalhada dos processos industriais deve ser desenvolvida, lançando-se mão dos recursos já mencionados anteriormente, como a análise dos documentos de engenharia, disponíveis, e visitas de campo devendo-se aliar às mesmas as ferramentas desenvolvidas para os programas de Prevenção de Poluição e Gestão Ambiental (HBI, 1995 e 1997).

Um fator importante a ser considerado refere-se à forma pela qual os efluentes gerados são coletados já que, em muitas empresas, várias correntes de efluentes, oriundas de processos distintos, são coletadas por um mesmo sistema de drenagem, o que acaba por dificultar os procedimentos de identificação dos efluentes, bem como a definição das técnicas de tratamento dos mesmos.

Nesta etapa do trabalho a habilidade técnica e experiência profissional das pessoas envolvidas no levantamento dos dados referentes aos efluentes são de grande importância uma vez que deverão ser analisados todos os processos e operações desenvolvidas e onde a água é utilizada, seja como matéria-prima ou fluido auxiliar. Além disso, devem ser identificados, ainda, os principais compostos químicos com os quais a água irá entrar em contato ou que fazem parte das soluções ou produtos que estão sendo utilizados em qualquer etapa do processo.

Em algumas situações, principalmente em indústrias que já se encontram em operação, além da avaliação dos documentos de engenharia e do processo produtivo, pode ser necessário realizar uma caracterização física, química e biológica dos efluentes que estão sendo gerados, de forma a se obter informações mais precisas

com relação à composição desses efluentes, o que implica em ter disponíveis os meios que possibilitem esta caracterização, seja interna ou externamente.

Devido a grande variedade de indústrias, diferenças de tecnologias utilizadas para o desenvolvimento dos processos produtivos e modo de operação da instalação, a composição e quantidade dos efluentes gerados são bastante variadas, inclusive em indústrias do mesmo ramo de atividade. Isto torna pouco confiáveis os dados obtidos em literatura, muito embora a utilização deste recurso possa ser bastante útil, já que muitos textos abordam os processos de transformação utilizados em várias indústrias e nos quais podem ser obtidas as informações iniciais sobre o consumo de água e geração de efluentes líquidos.

Nesta etapa do programa, a participação dos profissionais da área de produção e de meio ambiente é de fundamental importância, sendo que para a composição da equipe que será responsável pelo levantamento dos dados referentes à identificação dos efluentes gerados devem estar presentes, mesmo que temporariamente, os operadores dos processos que serão avaliados.

Um fator de grande importância para a elaboração de uma caracterização eficiente refere-se ao registro de todos os dados coletados, devendo-se, sempre que possível, associar as informações obtidas aos documentos de engenharia disponíveis, ou então, na ausência destes, devem ser elaborados fluxogramas simplificados para futuras verificações.

A identificação e caracterização de todos os efluentes produzidos em uma indústria, principalmente quando são desenvolvidas atividades de transformação, por meio de processos físicos, químicos e/ou biológicos, é bastante complexa pois exige, necessariamente, a análise do processo produtivo como um todo. Contudo, alguns sistemas e operações desenvolvidas na indústria, independem do ramo de atividade da mesma e podem ser consideradas básicas como, por exemplo, tratamento convencional de água, tratamento por troca iônica, geração de vapor e operações de troca térmica em sistemas de resfriamento, entre outras.

Uma melhor compreensão sobre a geração de efluentes industriais pode ser obtida no Anexo B, o qual trata especificamente desta questão.

3.7.1. Tratamento de efluentes

Considerando-se que a geração de efluentes industriais seja inevitável, já que nenhum processo produtivo pode ser considerado 100% eficiente. Mesmo que fosse, sempre existiria uma corrente residual ou secundária que, por questões técnicas e ou econômicas, não poderia ser utilizada. Além disso, estes efluentes podem apresentar em sua composição substâncias capazes de afetar adversamente o meio ambiente e o próprio Homem, sendo necessária à adoção de procedimentos capazes de eliminar, ou então, minimizar o potencial de risco desses efluentes, o que é normalmente obtido pelo uso de técnicas adequadas de tratamento.

Na maioria dos casos, até bem pouco tempo atrás a principal preocupação das indústrias com relação aos seus efluentes referia-se, apenas, ao atendimento aos padrões estabelecidos nas normas de controle ambiental. Atualmente, devido ao crescente risco de escassez de água e incorporação, por parte das indústrias, dos Sistemas de Gestão Ambiental começam a surgir algumas iniciativas relacionadas ao Reúso da água, que ao contrário do conceito de tratamento para lançamento, leva em consideração os requisitos mínimos de qualidade da água para utilização nos processos industriais. Por exemplo, enquanto para o lançamento de uma determinada corrente de efluente para o meio ambiente um simples ajuste do pH poderia ser suficiente, para o Reúso desta corrente em uma aplicação industrial, além do ajuste do pH deve-se considerar, ainda, a presença de microrganismos, substâncias incrustantes, compostos voláteis e concentração de sais dissolvidos, entre outros.

O quadro que se configura para um futuro próximo, com relação ao gerenciamento de efluentes industriais, indica uma forte tendência para o uso racional e para o Reúso da água. Isto se justifica, principalmente para as regiões altamente urbanizadas e industrializadas, pelo fato das normas de controle ambiental estarem se tornando cada vez mais restritivas, o que pode ser verificado ao se analisar a lei nº 9.605 de 12/02/98, que define como crime, as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente

(Lei nº 9.605, 12/02/98), incluindo-se neste contexto o lançamento de efluentes, e a lei nº 9.433, de 08/01/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo, ainda, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, introduzindo o conceito de poluidor pagador (Lei nº 9.433, 08/01/97).

Outros aspectos que estimulam as industriais à prática do uso racional e do Reúso referem-se à avalanche de certificações de sistemas de gestão ambiental, com base na norma ISO-14.001. As certificações cresceram, em 1999, 87,5% no Brasil e 78,9% em todo o mundo (HOJADA, 2000), motivadas, também, pelos problemas associados à escassez de água, questão que vem sendo amplamente discutida em diversas reuniões técnicas e seminários por todo o país.

Com este cenário torna-se imprescindível o conhecimento das alternativas disponíveis para gerenciamento de efluentes industriais, incluindo as técnicas para o tratamento de efluentes, principal tema a ser explorado a seguir.

3.7.1.1. Conceitos básicos sobre as técnicas de tratamento de efluentes.

Antes de ser iniciada uma discussão com relação às técnicas de tratamento disponíveis, é importante salientar que, na maioria dos casos, os contaminantes presentes em uma determinada corrente de efluente não são destruídos, ocorrendo apenas a transferência de um meio para outro. Os contaminantes que normalmente ocorrem na fase líquida podem passar para uma fase sólida, gasosa, ou ainda, para uma fase líquida mais concentrada que, geralmente, necessita de cuidados especiais para ser convenientemente disposta.

O conhecimento deste fato é muito importante pois, muitas vezes, na tentativa de solucionar um problema podem ser criados outros que irão apresentar um maior grau de complexidade, frustrar qualquer iniciativa relacionada ao gerenciamento dos efluentes industriais, ou ainda, fazer com que as atividades industriais sejam interrompidas devido a atuação dos órgãos de controle ambiental, resultante de infrações às normas.

Outra questão a ser considerada refere-se à forma pela qual os efluentes são coletados e submetidos ao tratamento. No passado, prevaleceu, o conceito de "tratamento no fim da linha", no qual todos os efluentes gerados na indústria, inclusive os de origem sanitária, eram coletados e encaminhados, em conjunto, ao sistema central de tratamento de efluentes (MIERZWA e HESPANHOL, 2000).

Embora o tratamento de fim de linha pareça ser o mais simples, muitas vezes, devido a características específicas de determinadas correntes de efluentes, o tratamento pode se tornar substancialmente antieconômico podendo, ainda, gerar efeitos cinegéticos entre poluentes que podem causar diversos problemas ambientais ou afetar a saúde dos operadores. Um exemplo comum é a mistura de efluentes que contém cianetos com efluentes ácidos oriundos das operações de decapagem. Esta mistura gera ácido cianídrico que pode causar problemas de grande monta.

Por outro lado, seguindo as tendências atuais associadas aos conceitos de produção limpa, prevenção da poluição e desenvolvimento sustentável, a prática do "tratamento de fim de linha" não encontra mais espaço. Assim sendo, antes da etapa de identificação e da definição das possíveis técnicas de tratamentos para os efluentes industriais, deve-se fazer uma avaliação de todo o processo produtivo de forma a identificar oportunidades para a redução da quantidade de efluentes gerados e de Reúso da água para que, posteriormente, sejam identificadas as correntes de efluentes remanescentes, promovendo-se a segregação daquelas que apresentam uma elevada concentração de contaminantes, das correntes mais diluídas, o que pode conduzir ao desenvolvimento de oportunidades para a recuperação de matérias-primas e insumos e de Reúso de efluentes.

Somente após esta etapa de avaliação é que devem ser analisadas as técnicas de tratamento disponíveis, selecionando-se as mais adequadas para cada caso específico. Determinando-se assim, o conjunto de operações e processos unitários que deverão compor o sistema adequado para o tratamento de efluentes.

Com o objetivo de proporcionar subsídios para uma escolha adequada das técnicas de tratamento disponíveis são apresentadas, no Anexo C, as metodologias mais

relevantes para o tratamento de efluentes, relacionando-as com as aplicações de maior eficiência, assim como as respectivas vantagens e desvantagens operacionais.

3.7.1.2. Considerações sobre as técnicas de tratamento

O atual estágio de desenvolvimento tecnológico permite que qualquer corrente de efluente seja tratada a níveis que atendam às normas de controle ambiental, assim como se pode obter um efluente tratado com características compatíveis àquelas requeridas pelos diversos tipos de águas utilizadas para uso industrial. Contudo, mesmo que estas técnicas apresentem este potencial, não existe uma regra prática que diga qual delas é a mais adequada para o tratamento de uma determinada corrente de efluente, muito menos qual a combinação de técnicas que devem ser adotadas para se obter o melhor desempenho do sistema de tratamento.

Outro fator importante a ser considerado refere-se ao fato de que nas indústrias, em função de vários fatores que podem influenciar na característica dos efluentes que estão sendo gerados, não há qualquer garantia que o desempenho de sistemas de tratamento de indústrias do mesmo ramo de atividade, que utilizam as mesmas técnicas de tratamento, será o mesmo. Isto se deve a várias razões como, por exemplo:

- comprometimento da empresa com as questões ambientais;
- sistemas de produção e equipamentos utilizados;
- qualificação da mão-de-obra utilizada;
- procedimentos de operação e manutenção;
- metodologia para a coleta, segregação e encaminhamento dos efluentes.

Além destes, pode haver, ainda, outros fatores que contribuam para que isto ocorra pois, na verdade, o que acaba tendo maior influência sobre o desempenho, não

apenas dos sistemas de tratamento de efluentes, mas também de todo processo produtivo, é a cultura administrativa adotada para a empresa.

A busca por soluções para os problemas associados aos efluentes industriais não deve restringir-se, apenas, a identificação de técnicas de tratamento com potencial para atender às necessidades da indústria, pois o conceito de desenvolvimento tecnológico desvinculado da proteção ambiental não tem mais espaço na nova ordem mundial. As indústrias devem incorporar em seus sistemas administrativos, o conceito de desenvolvimento sustentável, do qual fazem parte a prevenção da poluição, uso racional dos recursos naturais, proteção ambiental e desenvolvimento social o que, por sua vez, resultará no desenvolvimento econômico tão almejado.

Para muitos empreendedores esta parece ser uma tarefa impossível, pois vivendo em um mundo globalizado, como se deter em questões que podem desviar recursos de atividades tão prioritárias como a produção, para dar atenção às questões ambientais.

A resposta é simples, uma vez que, busca incessante por uma maior produção, deixa-se em segundo plano um dos recursos que mais deveria ser utilizado, ou seja, a criatividade humana. Cada grama de contaminante presente no efluente ou nos resíduos gerados nos processos industriais, é um insumo ou matéria-prima que foi paga pela indústria, assim como todo o capital investido para a remoção de qualquer contaminante presente no efluente, visando atender aos requisitos estabelecidos em normas ambientais, com o risco de não se atingir o objetivo desejado, também é parte da receita tão almejada pelas indústrias.

No caso específico do uso da água e geração de efluentes nas indústrias, o caminho a ser seguido passa, necessariamente, pelo desenvolvimento de estratégias para o uso racional e Reúso, onde devem ser adotados procedimentos que visem identificar oportunidades de minimização do consumo e para o Reúso da água. Nas situações onde a geração de efluentes seja inevitável deve-se avaliar qual o melhor procedimento a ser adotado com relação à coleta e transporte para que, finalmente, identifique-se a melhor alternativa para o tratamento dos efluentes gerados o que,

com certeza, irá apresentar resultados muito melhores do que aqueles obtidos quando se trabalha com o conceito de tratamento de fim de tubo.

3.8 - Reúso de água

Considerando-se que a escassez dos recursos hídricos em algumas regiões do Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, poderá ser, ou em alguns casos já é, uma realidade, a adoção de estratégias relacionadas ao Reúso da água vem, a cada dia, ganhando destaque entre os diversos setores que se utilizam deste recurso tão imprescindível.

A opção pelo Reúso da água visa, principalmente, garantir o atendimento às demandas exigidas para o desenvolvimento das diversas atividades humanas, possibilitando, desta forma, que as aspirações por uma melhor qualidade de vida possam ser atingidas.

O conceito de Reúso da água não é novo e são vários os trabalhos que abordam esta questão e apresentam as opções relacionadas a esta prática, com a indicação das possíveis categorias de Reúso. Dentre estes trabalhos podem ser destacados os de Takashi Asano (ASANO e MILLS, 1990); (ASANO, 1991) e (ASANO e LEVINE, 1995) os de Ivanildo Hespanhol (HESPANHOL, 1990 e 1997) e o trabalho de Menahem Rebhun (REBHUN e ENGEL, 1988), onde são apresentadas e discutidas, de uma forma abrangente, as principais categorias de Reúso da água, além dos elementos necessários ao planejamento para este conceito.

Segundo Takashi Asano (1991), as tendências e fatores que motivam a recuperação e Reúso da água podem ser:

- redução da poluição dos cursos d'água;
- disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade;
- promover, à longo prazo, uma fonte confiável de abastecimento de água;

- gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, no planejamento global dos recursos hídricos;
- encorajar a população para conservar a água e adotar práticas de Reúso.

Dentro da proposta deste trabalho, a opção pelo Reúso deve ser avaliada após a aplicação de medidas relacionadas à otimização do uso da água, visando a minimização dos desperdícios.

Embora já tenha sido abordado anteriormente, como no caso da utilização da água em cascata, que é uma forma de Reúso, a definição mais aceita mundialmente para o termo Reúso é:

"Uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis".

Com base na definição acima se considera como Reúso, em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamento, em substituição à fonte de água normalmente utilizada. A adoção deste procedimento irá contribuir para a redução do volume de água captado pela indústria.

Diferente do que ocorre com os efluentes tratados em estações convencionais de tratamento de esgotos domésticos, nas indústrias, devido às técnicas de tratamento utilizadas, pode-se obter um efluente tratado com características físicas químicas e biológicas equivalentes ou, em certos casos, melhores que aquelas da água bruta utilizada. Nesta condição, a opção pelo Reúso torna-se mais atrativa devido à possibilidade de redução da carga poluidora dos efluentes a serem gerados nos diversos sistemas produtivos e no consumo de insumos para adequação das características da água aos requisitos de qualidade estabelecidos e para a operação dos sistemas envolvidos. (MIERZWA, 1996).

De um modo geral, em uma indústria, as principais opções indicadas para o Reúso da água, segundo diversos especialistas da área, são aquelas apresentadas na tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Principais opções para o reúso de água na indústria

Referência	Indicação de Uso
ASANO, 1991	<ul style="list-style-type: none">• Refrigeração;• Alimentação de caldeiras;• Água de Processo;• Construção pesada.
CROOK, 1996	<ul style="list-style-type: none">• Todas citadas em ASANO, 1991• Lavador de gases.
HESPANHOL, 1997	<ul style="list-style-type: none">• Todas citadas em ASANO, 1991;• Lavagem de pisos e peças;• Irrigação de áreas verdes.
BEECKMAN, 1998	<ul style="list-style-type: none">• Todas citadas em ASANO, 1991.
MUJERIEGO e ASANO, 1999	<ul style="list-style-type: none">• Todas citadas em ASANO, 1991

Os usos apresentados na tabela 3.45 referem-se às atividades que mais consomem água em uma indústria e onde os padrões de qualidade exigidos para uso não são muito restritivos, o que não impede que o Reúso possa ser feito em qualquer outra atividade, desde que as características da água a ser utilizada atendam aos requisitos de qualidade exigidos para a aplicação que se pretende.

É importante que o conceito de reúso de efluentes tratados não seja considerado, como vem sendo amplamente difundido, a principal meta em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes, o que, de certa forma, não atende aos princípios defendidos na AGENDA 21. Isto também se justifica em razão dos investimentos necessários para adequar as características dos efluentes, aos requisitos de qualidade exigidos para uso, assim como da vazão a ser tratada.

Outra questão a ser considerada é que a prática de Reúso não é tão imediata como se imagina. De acordo com o que foi apresentado no item 3.4 “*Necessidade de Água para a Indústria*”, verifica-se que a água para fins industriais deve apresentar características físicas, químicas e biológicas adequadas ao uso que se pretende dar à mesma.

À medida que a água é utilizada nos processos industriais ela vai incorporando várias substâncias, fazendo com que suas características sejam alteradas significativamente, de modo a torna-la um efluente. Este efluente é posteriormente submetido a um processo de tratamento, visando a adequar o mesmo aos padrões de emissão estabelecidos em normas.

Na maioria dos casos, os padrões de emissão de efluentes são menos restritivos que os requisitos de qualidade da água, exigidos para as aplicações industriais, principalmente com relação à concentração de sais dissolvidos.

Caso isto não seja levado em consideração e a prática de Reúso seja adotada, todas as atividades, nas quais a água de reúso seja aplicada, poderão ser comprometidas. O mesmo podendo ocorrer com o sistema de tratamento de efluentes.

Por esta razão, antes da implantação da prática de Reúso ser aplicada é necessário que seja feita uma avaliação do seu potencial. Esta avaliação deve ser feita com base nas qualidades da água disponível para captação, do efluente gerado e da água para as aplicações em que se pretende fazer o reúso, além dos padrões de emissão de efluentes.

A partir destas informações, por meio de um balanço material, pode ser possível fazer a determinação da fração de efluente a ser reutilizado. A utilização de técnicas adicionais de tratamento também deverá ser considerada neste balanço.

No balanço material a ser realizado é imprescindível ter a disposição os dados associados à qualidade e quantidade da água captada e do efluente lançado para o meio ambiente. Com estas informações pode-se determinar, de uma forma bastante

simples, o volume de água perdido ou incorporado aos produtos e a quantidade de substâncias químicas adicionadas à água durante a sua utilização.

Na determinação da quantidade de produtos adicionados pode-se fazer uma avaliação individualizada de cada parâmetro, físico, químico e/ou biológico, ou, então, pode-se utilizar um único parâmetro que possa representar um conjunto de substâncias, o que simplifica a elaboração do balanço material.

De acordo com o exposto até o presente momento verifica-se que a prática de Reúso é uma das componentes para o gerenciamento de águas e efluentes, assim como para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental, mas que deve estar vinculada a outras medidas que visem a racionalização do uso da água e demais recursos naturais. Não fosse assim, pouco seria mudado em relação ao conceito de tratamento de fim de tubo, o qual prevaleceu por muitas décadas e resultou nos problemas de poluição e escassez de água que estamos vivendo hoje e, provavelmente, iriam se agravar ao longo do tempo.

3.9. Procedimento para monitoração e controle

A adoção de estratégias de Gerenciamento de Águas e Efluentes visa, em última análise, minimizar os possíveis impactos sobre o meio ambiente, sejam estes devido à captação de água ou lançamento de efluentes o que, por sua vez, irá resultar em benefícios econômicos para a indústria.

Neste sentido é necessário o desenvolvimento de procedimentos que possibilitem quantificar e registrar os avanços obtidos com a implantação de um programa deste tipo.

Com relação ao uso da água, é de fundamental importância que se tenha ou elabore, antes do início da implantação de qualquer medida relacionada à otimização do uso, um levantamento sobre o consumo. Isto é necessário, pois é a partir deste levantamento que a eficácia das alternativas propostas poderá ser avaliada.

Por outro lado, considerando-se que o objetivo de um modelo de gerenciamento de águas não é desenvolver ferramentas especiais para a monitoração e controle do uso da água, pode-se lançar mão dos conceitos já desenvolvidos pelas normas de gestão ambiental (HBI, 1997), ou aqueles desenvolvidos para os programas de prevenção da poluição (CETESB, 1998) e (FURTADO et. al., 1998).

Nos casos em que a empresa já tenha implantado um Sistema de Gestão Ambiental com base na norma ISO-14.001, deve-se buscar a integração entre os requisitos da norma e as necessidades do Modelo de Gerenciamento de Águas e Efluentes.

Já para os efluentes, mesmo que se opte pela aplicação do conceito de descarga zero ou por qualquer iniciativa de Reúso, haverá, inevitavelmente, a necessidade de promover o tratamento dos efluentes e, caso necessário, o lançamento destes para o meio ambiente.

Conforme já abordado, o lançamento de efluentes para o meio ambiente poderá ser efetuado de forma direta, ou seja, os efluentes tratados são lançados diretamente em um corpo receptor (rio), ou então, de forma indireta, onde o lançamento é feito no sistema público de coleta e tratamento de esgotos.

Em ambos os casos o lançamento dos efluentes é regulado por normas específicas, tanto a nível Federal, como Estadual, nas quais estão estabelecidos os critérios a serem obedecidos para o lançamento dos mesmos. Assim sendo, a monitoração e o controle do lançamento dos efluentes deverão ser feitos com base nestas normas.

Associada à legislação tradicional para o controle do lançamento de efluentes para o meio ambiente, principalmente para os casos onde o lançamento é feito de forma direta, deve-se levar em consideração as Políticas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, Federal e Estadual, nas quais é introduzido o conceito de "Poluidor Pagador", o qual, embora não esteja regulamentado, já começa a despertar o interesse de vários setores envolvidos com os recursos hídricos.

Com este panorama legal, associado aos aspectos econômicos e maior conscientização por parte da sociedade, com relação às questões ambientais, deve-se

estabelecer, na indústria, procedimentos adequados para a monitoração e controle dos possíveis lançamentos de efluentes para o meio ambiente.

Este procedimento, com base em uma análise bastante simplificada, poderá fazer com que a indústria evite vários problemas com os órgãos de controle ambiental e com a sociedade como um todo, além de se prevenir contra a possibilidade de interrupção das suas atividades e custos associados às multas, indenizações e demais encargos jurídicos.

Pelo que foi apresentado até o presente momento verifica-se que o êxito de um Modelo de Gerenciamento de Águas e Efluentes para a Indústria só poderá ser atingido se os seus resultados, com relação ao consumo de água e lançamento de efluentes, puderem ser medidos e comparados com um valor de referência. Isto implica, necessariamente, no desenvolvimento e na implantação de procedimentos adequados para a monitoração dos procedimentos adotados.

3.10. Aspectos econômicos

Atualmente, principalmente no setor industrial, é praticamente impossível se imaginar o desenvolvimento de qualquer atividade sem que se leve em consideração os aspectos econômicos associados à mesma.

Por esta razão, mesmo para o desenvolvimento e aplicação de um modelo que vise a otimização do uso da água e redução dos efluentes, os aspectos econômicos devem ser considerados.

Muito embora os objetivos da otimização do uso da água e redução de efluentes estejam diretamente associados ao melhor aproveitamento dos recursos naturais e conseqüentemente à redução de custos, para que estes benefícios possam ser atingidos é necessário que seja feito um investimento inicial.

A demanda por recursos financeiros está associada às etapas de diagnóstico da situação presente em relação ao consumo de água e geração de efluentes, avaliação

de alternativas, potenciais, implantação da alternativa mais viável e monitoração dos resultados obtidos.

De um modo geral, as atividades associadas à implantação de estratégias de Gerenciamento de Águas e Efluentes irão demandar os seguintes recursos:

- mão de obra para a avaliação inicial das atividades desenvolvidas na indústria;
- recursos humanos materiais e financeiros para a elaboração do diagnóstico referente ao uso da água e geração de efluentes;
- realização de ensaios de laboratório e testes de campo para a verificação da eficiência das alternativas propostas;
- recursos financeiros para a implantação de alterações de projeto e procedimentos.

Quando se aborda a questão financeira em qualquer atividade industrial, a decisão final a ser tomada depende de um balanço entre custos associados à atividade em análise e os benefícios resultantes. Na maioria dos casos, a implantação de uma determinada medida só é efetuada quando os benefícios resultantes superam, ou no mínimo, se equivalem aos custos relacionados à implantação.

Numa avaliação econômica convencional a tomada de decisão sobre a implantação, ou não, de qualquer atividade ou projeto depende, basicamente, do montante de recursos, em geral financeiros, a ser investido e do retorno que se espera obter após a implantação desta mesma atividade ou projeto. Nesta situação a decisão depende de uma análise comparativa entre os custos e benefícios, diretamente, relacionados à implantação da atividade ou projeto. Por outro lado, quando as questões ambientais estão envolvidas no processo de tomada de decisão, os conceitos de custo e benefício adquirem uma outra dimensão.

Isto é justificado pois, em uma avaliação econômica clássica, na maioria dos casos, são considerados apenas os custos e benefícios diretamente associados às atividades

em estudo podendo-se, em alguns casos, serem considerados os custos e benefícios indiretos. Já no caso de uma avaliação onde as questões ambientais estão envolvidas, além dos custos mencionados, também devem ser considerados os custos e benefícios intangíveis, os quais são difíceis de avaliar em termos financeiros, muito embora seja facilmente verificado que estes existem (NEMEROW and DASGUPTA, 1991).

Com a crescente disseminação de conceitos sobre a prevenção da poluição, a gestão ambiental e a eco-eficiência, novas ferramentas visando incorporar à avaliação econômica tradicional os custos e benefícios menos prontamente quantificáveis foram desenvolvidas. A figura 3.6 apresenta a relação entre essas novas ferramentas de avaliação e aquelas tradicionalmente utilizadas em avaliações econômicas (COMPASS RESOURCE MANAGEMENT, 1997).

A importância de levar em consideração, na análise econômica, os fatores menos prontamente identificáveis é que estes, freqüentemente, produzem custos e/ou benefícios que poderiam ser omitidos na análise convencional. Alguns custos são, durante a realização de uma avaliação econômica, perdidos ou incluídos nas contas de despesas gerais, enquanto outros são completamente ignorados, devido às incertezas envolvidas, dificuldade em se quantificar ou ocorrem muito tempo depois do investimento inicial ter sido efetuado.

Assim sendo, para a obtenção de resultados mais precisos na avaliação econômica de alternativas relacionadas à otimização do uso da água e minimização da geração de efluentes, deve-se considerar os seguintes custos (COMPASS RESOURCE MANAGEMENT, 1997):

Figura 3.6 - Relação entre as ferramentas de avaliação econômica

- **custos diretos**: incluem os custos que são identificados em uma análise financeira convencional como, por exemplo, capital investido, matéria-prima, mão de obra e custos de operação, entre outros;
- **custos indiretos**: são os custos que não podem ser diretamente associados aos produtos, processos, ou instalações como um todo, são custos alocados como despesas gerais. Estão incluídos nesta categoria os custos de projeto, custos de monitoração e de descomissionamento;
- **custos duvidosos**: são os custos que podem, ou não, tornarem-se reais no futuro. Esses podem ser descritos qualitativamente ou quantificados em termos da expectativa de sua magnitude, frequência e duração. Como exemplo pode-se incluir os custos originados em função do pagamento de indenizações e/ou multas resultantes de atividades que possam comprometer o meio ambiente e a saúde da população;
- **custos intangíveis**: são os custos que requerem alguma interpretação subjetiva para a sua avaliação e quantificação. Esses incluem uma ampla gama de considerações estratégicas e são imaginados como alterações na rentabilidade. Os exemplos mais comuns referem-se aos custos originados em função da mudança da imagem corporativa da empresa, relação com os consumidores, moral dos empregados e relação com os órgãos de controle ambiental.

Na prática, para o Gerenciamento de Águas e Efluentes nas Indústrias, ou em qualquer outra iniciativa de melhoria de desempenho ambiental, nem todas as alternativas para a otimização do uso da água e redução de efluentes irão requerer uma avaliação completa, onde sejam considerados todos os aspectos abordados anteriormente. Isto se justifica pois, em muitos casos, essas alternativas poderão estar

associadas, apenas, a mudanças de procedimentos, ou então, os custos e benefícios diretamente envolvidos são suficientes para que seja verificada a viabilidade de implantação de uma determinada alternativa.

Por esta razão, de acordo com as recomendações dos manuais de prevenção da poluição deve-se, inicialmente, dar prioridade às ações e procedimentos que demandem a menor quantidade de recursos e que são mais facilmente identificadas, o que dará maior credibilidade ao programa de gerenciamento e irá economizar recursos para a implantação de alternativas que apresentem um maior grau de complexidade exigindo, por esta razão, uma maior demanda por recursos, humanos, financeiros e materiais.

Com isto em mente, um programa de gerenciamento de águas e efluentes deverá priorizar as ações que busquem a otimização do uso da água de maneira mais econômica e racional, sem a necessidade da elaboração de avaliações econômicas complexas, o que, princípio, poderia desestimular qualquer iniciativa deste tipo.

3.11. Os conceitos de uso racional e reúso para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria

Pelo exposto até o momento, verifica-se que o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria é uma atividade bastante complexa e envolve a associação de conhecimentos técnicos, administrativos, legais, gerenciais e econômicos.

Isto, por sua vez, implica no desenvolvimento de ações integradas, as quais devem ser iniciadas somente após o comprometimento, explícito, da alta administração da empresa com um modelo de gerenciamento que seja abrangente.

A despeito das questões legais associadas ao uso da água e geração e lançamento de efluentes para o meio ambiente, as quais independem do desenvolvimento de qualquer iniciativa para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos ou para a redução dos problemas de poluição dos mesmos, todos os esforços devem ser direcionados para as atividades que busquem um melhor aproveitamento dos

recursos hídricos disponíveis e a minimização do potencial de poluição por efluentes líquidos.

Esta abordagem conduz, inevitavelmente, a aplicação dos conceitos de uso racional e reúso como ferramentas básicas de programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria. Contudo, o sucesso deste programa de gerenciamento depende, diretamente, do conhecimento que se detém sobre os conceitos de uso racional e reúso e da forma com que os mesmos são utilizados.

Esta interdependência pode ser demonstrada, na prática, por meio do desenvolvimento de um estudo de caso em uma indústria.

4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO USO RACIONAL E DO REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO - ESTUDO DE CASO DA KODAK BRASILEIRA

Conforme apresentado nos capítulos precedentes, a aplicação de um Programa de Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria exige um esforço significativo, exigindo que haja, em primeiro lugar, um comprometimento da indústria com as questões relacionadas ao uso racional dos recursos naturais e com a proteção do meio ambiente. Neste sentido, a aplicação e verificação da eficiência de estratégias associadas com a otimização do uso e do reúso da água, proposta neste trabalho, deverão ser feitas em uma indústria que, comprovadamente, demonstre este comprometimento.

Com base neste critério e por meio de um convênio, para o desenvolvimento de um projeto piloto, firmado entre a Universidade de São Paulo, representada pelo Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e KODAK Brasileira - Indústria e Comércio Ltda, foi viabilizada a oportunidade para o desenvolvimento de um estudo de caso para a avaliação da proposta deste trabalho.

O projeto piloto, “Política de Compras Verdes”, desenvolve-se no âmbito da proposta do Governo do Estado de São Paulo, como segundo maior comprador do país, de utilizar este potencial para favorecer processos, produtos, atividades e serviços gerados sob o enfoque da Prevenção à Poluição (ALVES e PALOMBO, 1999).

A opção pelo desenvolvimento de um Estudo de Caso com a Empresa KODAK Brasileira é justificada em razão da mesma demonstrar uma preocupação com as questões ambientais, o que facilita a implantação de alternativas associadas à melhoria do seu desempenho ambiental, além de seu interesse em otimizar o uso da água nos diversos processos industriais desenvolvidos.

As atividades associadas ao estudo de caso em questão foram iniciadas em agosto de 1999, simultaneamente ao programa piloto resultante do convênio entre a KODAK, CETESB e USP.

A partir desta data, através de visitas de campo e reuniões técnicas, foram propostas alternativas para a otimização do uso da água, de redução da geração de efluentes e do potencial para a aplicação da prática do reúso. A viabilidade das alternativas propostas foi avaliada por meio de ensaios *in loco* e de simulações matemáticas, enquanto a consolidação dos resultados foi efetivada em dezembro de 2001, com implantação de algumas das propostas apresentadas.

4.1. Apresentação da ‘empresa

A KODAK Brasileira - Comércio e Indústria Ltda é uma das empresas da Eastman KODAK Company, cuja sede situa-se em Rochester, NY – EUA. No Brasil a KODAK possui uma unidade situada na cidade de São José dos Campos – SP, localizada à margem da Rodovia Presidente Dutra, Km 158, numa área de aproximadamente 832.000 m², com 2 km de frente, considerado o maior complexo industrial, da América Latina, de produtos fotossensíveis, com 24 edifícios que incluem: prédios de produção, suporte, administração e estação de tratamento de efluentes.

Em São José dos Campos a KODAK realiza o processo completo de industrialização de papel e filme de raios-X, chamado de sensibilização. Este é o verdadeiro coração do processo produtivo desta indústria e que exige os maiores investimentos em tecnologia, recursos e desenvolvimento de mão de obra altamente especializada. São equipes treinadas em transformar a matéria-prima básica (prata pura, gelatina e químicos) em nitrato de prata e soluções orgânicas e inorgânicas que se tornam a emulsão responsável pela sensibilização do papel e filme de raios-X.

Em 03 de fevereiro de 1999 a KODAK Brasileira recebeu a certificação do seu Sistema de Gestão Ambiental, desenvolvido com base na Norma ISO-14.001, o que

demonstra o seu interesse pelo desenvolvimento econômico vinculado às questões ambientais.

Para que toda a sua linha de produtos possa ser obtida, a KODAK conta com as seguintes áreas de produção e de apoio:

- Produção de Nitrato de Prata;
- Produção de Dispersão e Emulsão;
- Produção de Chapas de Raios-x e Papel Fotográfico;
- Produção de Fotoquímicos; e
- Área de Utilidades.

Estas áreas podem, ou não, estarem interligadas umas com as outras, recebendo ou fornecendo insumos, de forma a garantir a obtenção dos que serão comercializados, tanto no Brasil, como também no exterior.

Deve ser observado que a autonomia da KODAK Brasileira para a obtenção dos seus produtos é limitada uma vez que a mesma deve seguir as diretrizes estabelecidas pela matriz localizada em Rochester - USA, a qual é responsável pela pesquisa e desenvolvimento de todos os produtos e processos que fazem parte da linha de produção de todas as empresas do grupo. Isto, por sua vez, implica na inviabilidade da adoção de alternativas que alterem os métodos de produção desenvolvidos.

4.2. Metodologia de trabalho e resultados esperados

Com base nos conceitos apresentados nos capítulos anteriores, a metodologia para o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de águas e efluentes na indústria envolve a integração de disciplinas técnicas e administrativas, as quais devem estar amparadas pelas normas de controle ambiental e nos conceitos básicos do desenvolvimento sustentável.

Como a empresa na qual foi desenvolvido o estudo de caso já se encontra em operação e possui um programa de gestão ambiental certificado com base na norma ISO – 14.001, os aspectos legais associados ao uso da água e emissão de efluentes não serão abordados, de forma que, neste estudo, foi dada maior ênfase às questões associadas ao consumo de água pelos processos industriais desenvolvidos, assim como para a geração de efluentes.

Para a obtenção um panorama global com relação ao consumo de água e geração de efluentes, inicialmente foi feita uma avaliação global de todos os processos industriais desenvolvidos.

Após esta avaliação global, dentre os processos apresentados, foi selecionado aquele que se encontra em condição mais crítica em relação ao consumo de água e geração de efluentes, no sentido de identificar as alternativas mais adequadas para a otimização do uso da água e redução da geração de efluentes.

Finalizada a etapa de otimização do processo selecionado, foi feita a avaliação do potencial de reúso dos efluentes remanescentes no processo, considerando-se as suas características e os requisitos de qualidade de água para as aplicações potenciais.

Encerrados os trabalhos relativos à otimização do processo industrial e avaliação do potencial de reúso de efluentes no próprio processo, reúso em cascata, foi feita a avaliação do potencial de reúso global, ou seja, o reúso do efluente tratado na Estação de Tratamento existente, considerando-se a opção pelo reúso direto e o emprego de técnicas complementares de tratamento de efluentes, para posterior reúso do efluente tratado.

Por meio destas avaliações pretende-se demonstrar a viabilidade da aplicação dos conceitos de uso racional e do reúso, propostos neste trabalho, assim como identificar as limitações as limitações relativas à prática do reúso de efluentes tratados e definir uma metodologia para a avaliação do potencial de aplicação da prática do reúso na indústria.

4.3 – Descrição das atividades industriais desenvolvidas

Como o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de águas e efluentes requer um conhecimento básico dos processos nos quais água é utilizada, neste item serão apresentados com base em dados de literatura e nas visitas de campo realizadas à empresa, uma descrição resumida dos processos produtivos da KODAK brasileira.

4.3.1. Produção de nitrato de prata

Em se tratando de produtos fotográficos pode-se afirmar, com toda a certeza, que a prata é, atualmente, o principal constituinte de qualquer produto destinado à obtenção de imagens por meio de exposição à luz ou outro tipo de radiação, já que os halogenetos de prata que se encontram dispersos nos filmes fotográficos, são sais sensíveis à luz (SHREVE E BRINK Jr., 1980).

Por esta razão, uma das atividades de maior importância para a fabricação de papéis e filmes fotográficos, refere-se ao processo de obtenção do nitrato de prata, o qual será um dos constituintes da preparação das dispersões e emulsões que serão impregnadas em papel ou em um suporte polimérico.

A obtenção do nitrato de prata é feita por meio da dissolução de prata metálica em ácido nítrico. Caso seja necessário, a concentração da solução de nitrato de prata obtida é ajustada para atender os requisitos do processo de preparação das dispersões e emulsões, utilizando-se água deionizada como solvente.

4.3.2. Preparação das dispersões e emulsões fotográficas e produção de chapas de raios-x e papel fotográfico (Sensibilização)

As dispersões e emulsões sensíveis à luz, utilizadas para a obtenção de papéis e filmes fotográficos, são preparadas misturando-se, em proporções adequadas, o nitrato de prata com compostos halogenados (iodeto de potássio e brometo de potássio), gelatina e outros aditivos, em reatores providos de dispositivos de agitação e aquecimento. Após a etapa de preparação os produtos obtidos são armazenados em

câmaras frigoríficas, sendo mantidos a uma temperatura que varia entre 5 °C e 7 °C, até o momento em que serão utilizados na etapa de emulsionagem.

No momento da preparação dos filmes ou papéis fotossensíveis as emulsões e dispersões, previamente preparadas, são submetidas a um processo de aquecimento, visando a fluidificação das mesmas, após o que seguem para o equipamento de emulsionagem, no qual também é alimentado o papel ou filme polimérico, sobre o qual será depositada a emulsão ou dispersão.

É importante observar que, para a produção do papel ou filme fotográfico, são necessários vários tipos de emulsões e dispersões, as quais são aplicadas separadamente.

Após a aplicação e secagem das emulsões e dispersões, o rolo de papel ou polímero emulsionado é encaminhado para a unidade de corte e acabamento, obtendo-se nesta etapa os produtos acabados.

Devido ao fato dos produtos manipulados, nesta área, serem sensíveis a luz, todo o processo descrito anteriormente é realizado em câmaras escuras.

4.3.3. Produção de fotoquímicos

A área de produção de fotoquímicos é responsável pela fabricação dos produtos químicos que são utilizados nos processos de revelação e fixação de imagens de filmes e papéis fotográficos e chapas de raios-x.

Para desempenhar esta função esta área conta com um conjunto de reatores de mistura, tanques de espera e equipamentos para o envase dos materiais produzidos, para posterior distribuição no mercado interno e externo.

As principais operações desenvolvidas na área de fotoquímicos estão relacionadas à dosagem e mistura dos diversos componentes químicos que irão resultar no produto final. Para garantir que os produtos atendam às especificações de processo, existe um laboratório responsável pelo controle de qualidade da matéria-prima e do produto acabado, além do controle do processo produtivo.

O processo produtivo na área de fotoquímicos ocorre de forma intermitente (bateladas), onde são preparadas quantidades pré-definidas de cada um dos produtos de sua linha de negócio, de acordo com uma programação prévia. Após a dosagem dos diversos constituintes que irão resultar no produto final, o que é feito em um reator de mistura, provido de agitador mecânico, o produto é encaminhado para um tanque de espera, do qual se retira uma amostra para o controle de qualidade. Uma vez dentro dos padrões de qualidade especificados, o produto é bombeado para os equipamentos de dosagem e envase, para serem posteriormente distribuídos.

A cada campanha de produção os reatores, tanques de espera, linhas de transferência e equipamentos de dosagem, são submetidos a um procedimento de lavagem, visando adequar o sistema para a próxima campanha de produção, que poderá ser de um produto completamente diferente.

Como alguns produtos são armazenados à baixa temperatura, existe uma câmara de refrigeração instalada no local, e para possibilitar a remoção do calor residual resultante do sistema de resfriamento, também existe uma torre de resfriamento instalada nas proximidades.

4.3.4. Área de utilidades

A área de utilidades de uma indústria tem por objetivo fornecer os insumos básicos e serviços, necessários ao desenvolvimento de todas as atividades industriais produtivas ou não, desta indústria.

De um modo geral, além das matérias-primas utilizadas para a obtenção de um determinado produto, também são necessários outros insumos ou serviços, os quais são utilizados para viabilizar o sistema de produção, sendo atribuídos a estes insumos e serviços, a denominação de utilidades.

No caso específico da empresa KODAK, existe uma área central, denominada de Área de Utilidades, que é responsável pelo suprimento dos insumos e serviços básicos para as diversas unidades industriais existentes, a qual dispõe dos seguintes sistemas:

- **sistema de produção de água** – responsável pela captação e tratamento da água a ser utilizada em toda a empresa, incluindo-se a água potável, água de processo, água desmineralizada e água destilada.
- **sistema de geração de vapor** – responsável pela geração de vapor de aquecimento para os processos que necessitam.
- **sistema de água de resfriamento** – responsável pelo fornecimento de água de resfriamento para utilização nos processos de troca térmica.
- **sistema de ar comprimido** – responsável pelo fornecimento de ar comprimido de processo e para instrumentação.
- **sistema de ar condicionado** – responsável pela climatização dos ambientes, tanto para atender os requisitos de processo como de conforto.
- **sistema de recuperação de prata** - responsável pelo tratamento dos efluentes contendo alto teor de prata, visando a recuperação da mesma para reutilização nos processos.
- **estação de tratamento de efluentes** – responsável pela coleta e tratamento de todos os efluentes, sanitários e industriais, para adequação das características dos mesmos aos padrões de lançamento para o meio ambiente.
- **área de manutenção** – responsável pela execução de manutenção preventiva e corretiva de equipamentos e instalações, visando garantir a continuidade das atividades desenvolvidas na empresa.

Sem estes sistemas, seria impossível o desenvolvimento de qualquer uma das atividades produtivas descritas anteriormente, o que mostra que um complexo

industrial funciona de uma forma integrada, com cada uma de suas partes constituintes contribuindo com uma parcela para se atingir um objetivo comum.

4.4. Produção de água para consumo

De acordo com o que foi apresentado anteriormente verifica-se que todas as atividades desenvolvidas na KODAK, unidade de São José dos Campos, fazem uso da água, seja de maneira direta, incorporando a mesma aos seus produtos, ou indireta, nos processos de geração de vapor, resfriamento e lavagem de equipamentos.

Para atender a demanda de água exigida por estas atividades a KODAK utiliza como fonte de abastecimento, a água subterrânea que é extraída do subsolo por meio de dois poços artesianos. A capacidade de produção de cada poço é de 90 m³/h, sendo estabelecido na outorga de direito de uso, que a extração restringe-se a um período de 20 horas diárias, o que resulta em uma disponibilidade máxima de 3.600 m³/dia.

A caracterização da água proveniente dos poços, utilizada para atender as demandas dos diversos processos industriais, é apresentada na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características da água proveniente dos poços artesianos

Parâmetros	Unidades	Padrões de Qualidade	Resultados
Aspecto		limpido	limpido
Odor		nenhum	nenhum
Cor	UH	Até 30,0	30,00
Turbidez	NTU	Até 5,0	3,77
pH		entre 5 e 10	6,72
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	Até 1000	42,00
Alcalinidade de Hidróxidos	mg CaCO ₃ /L	0,0	0,00
Alcalinidade de Carbonatos	mg CaCO ₃ /L	Até 125	0,00
Alcalinidade Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /L	Até 250	32,64
Dureza de Carbonatos	mg CaCO ₃ /L		15,84
Dureza de não Carbonatos	mg CaCO ₃ /L		0,00

**Tabela 4.1 – Características da água proveniente dos poços artesianos
(continuação)**

Parâmetros	Unidades	Padrões de Qualidade	Resultados
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	Até 500	15,84
DBO	mg O ₂ /L	Até 3,5	0,90
Nitrogênio Amoniacal	mg N/L	Até 0,08	0,00
Nitrogênio Albuminóide	mg N/L	Até 0,15	0,00
Nitrogênio Nitroso	mg N/L	ausente	0,00
Nitrogênio Nítrico	mg N/L	Até 2,0	0,07
Ferro	mg Fe/L	0,30	0,22
Cloretos	mg Cl/L	Até 250	5,97
Gás Carbônico	mg CO ₂ /L		12,41
Cloro Residual	mg Cl ₂ /L		-----
Sílica	mg SiO ₂ /L		-----
Condutividade	μS/cm a 25°C		64,00
Sulfato	mg SO ₄ /L		-----
Sódio (Balanço de Cargas) ¹			15,13
Resultados dos Ensaio Bacteriológicos			
Bactérias Pesquisadas	Unidades	Limite de Quantificação	Resultados
Coliformes Totais	UFC/mL	ausência	ausência
Coliformes Fecais	UFC/mL	ausência	ausência
Bactérias Heterotróficas (24 h)	UFC/mL		-----
Bactérias Heterotróficas (48 h)	UFC/mL		-----
Bactérias isoladas: Ausentes			

1 – Valor inserido pelo autor, com base em um balanço de cargas dos íons presentes

Fonte: HIDROLABOR, 1999.

Data da Entrega: 01/03/1999-12-03

Local da Coleta: Saída do Poço

Origem: Poço Tubular Profundo

Após a sua captação, a água é submetida a um processo de tratamento pelos processos de decantação e filtração, sendo posteriormente distribuída para os diversos pontos de consumo e para os sistemas de produção de água com características específicas, em função do uso à que esta água se destina. Os principais tipos de água utilizados na KODAK são:

- Água de Processo;
- Água Potável;
- Água Destilada; e
- Água Deionizada.

Para que se possa obter a água com os requisitos de qualidade para cada uma das aplicações mencionadas, são utilizados os procedimentos descritos abaixo.

4.4.1. Água potável

A água potável ou de consumo doméstico, é utilizada basicamente para ser consumida nos bebedouros, preparação de alimentos, higiene pessoal e descarga em sanitários, a qual é produzida a partir da água de processo, que é submetida à desinfecção com hipoclorito de sódio, mantendo-se um teor de cloro residual entre 1 e 1,5 mg/l, como cloro livre.

Após a sua utilização, a maior parte da água potável é convertida em esgoto sanitário, sendo coletada e encaminhada para a Estação de Tratamento de Efluentes.

4.4.2 - Água destilada

O sistema de produção de água destilada conta com três destiladores elétricos, cuja capacidade de produção é de 100 m³/dia.

No processo de destilação, uma parcela da água é utilizada para condensação e resfriamento do vapor gerado no destilador, sendo esta parcela encaminhada para a Estação de Tratamento de Esgotos.

Atualmente, a produção de água pelos destiladores é de 40 m³/dia, que deve apresentar como característica uma condutividade elétrica de 3,0 µS/cm, que são consumidos na Área de Preparação de Emulsões e Dispersões.

Em razão do desenvolvimento de um programa para a redução do consumo de energia, estão sendo envidados esforços para o desenvolvimento de alternativas que possam substituir os sistema de água destilada, por um sistema que produza água com características compatíveis, mas que seja mais econômico do ponto de vista energético.

4.4.3. Água deionizada

A água deionizada é assim denominada, em função da baixa concentração de íons em sua composição, sendo principalmente obtida a partir da água tratada pelos processos de decantação e filtração, que é submetida a um processo adicional de tratamento, que tem por objetivo remover os íons presentes.

Na KODAK são utilizados dois processos para a obtenção de água deionizada, ou seja, o processo por troca iônica e o processo por osmose reversa.

4.4.3.1. Processo por troca iônica

No processo por troca iônica, utilizam-se compostos orgânicos sintéticos, conhecidos como resinas, que são capazes de adsorver cátions e ânions da água, sendo que os cátions e ânions (Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.), são substituídos pelos íons hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-), que irão reagir entre si para formar uma molécula de água. Em função da quantidade de resina, o sistema apresenta uma capacidade de retenção de íons, que quando atingida, exige que seja efetuada a regeneração das resinas.

O processo de regeneração das resinas é obtido, através da passagem de soluções específicas de ácidos (no caso das resinas catiônicas), e bases (no caso das resinas aniônicas), que terão a função de substituir os íons removidos da água, pelos íons de hidrogênio e hidroxila, adequando o sistema para uma nova campanha.

O sistema de água desmineralizada da KODAK apresenta as seguintes características:

- capacidade de Produção de Água ➔ 9,0 m³/h

- ciclo de Operação → 90 m³
- tempo de Campanha → 10 horas (Intervalo entre regenerações)
- consumo de água para expansão dos leitos → 57 m³/semana (Água Desmineralizada)
- volume das soluções de regeneração:

leito catiônico → 42 litros de Ácido Clorídrico (30%)/semana

leito aniônico → 64 litros de Hidróxido de Sódio (25%)/semana

leito misto → 33 litros de Ácido Clorídrico (30%)/semana

32 litros de Hidróxido de Sódio (25%)/semana

- volume de água de lavagem → 57 m³/semana (Água Desmineralizada).

Os efluentes gerados no processo de produção de água deionizada, água de lavagem e soluções de regeneração, são encaminhados para a Estação de Tratamento de Esgotos.

4.4.3.2. Processo por osmose reversa

A tecnologia de osmose reversa é uma das mais avançadas para a separação de substâncias dissolvidas de uma corrente líquida.

Na empresa KODAK é utilizado um sistema de osmose reversa para a obtenção de água deionizada, cujas principais características são apresentadas a seguir:

- vazão de Alimentação → 8 m³/h
- vazão de Água Produzida → 4,8 m³/h
- taxa de Recuperação de Água → 60 %

- vazão de Concentrado → 3,2 m³/h
- destino do Concentrado → Estação de Tratamento de Esgotos.

4.5. Coleta, tratamento e destinação final dos efluentes

Os efluentes gerados na KODAK podem ser agrupados em duas categorias, os seja, esgotos domésticos e efluentes industriais.

No caso específico dos efluentes domésticos, oriundos do refeitório central, copas e sanitários das áreas de processo, em função dos mesmos não apresetarem em sua composição qualquer contaminante da área de processo, os mesmos são lançados em no sistema de coleta e encaminhados diretamente para a Estação de Tratamento de Esgotos.

Os efluentes de processo são coletados de forma segregada, sendo utilizado como requisito para esta segregação, a presença de prata.

Efluentes das áreas onde não ocorre a manipulação de prata são coletados em uma tubulação de efluentes industriais, que é direcionada para um dos valos de oxidação da Estação de Tratamento de Esgotos, o qual funciona como tanque de equalização. Deste valo os efluentes são, posteriormente, misturados aos esgotos domésticos e submetidos ao processo de tratamento.

Para os efluentes que apresentam prata em sua composição existe um sistema específico para coleta e tratamento, onde o principal objetivo é promover a recuperação de prata, tanto do efluentes líquidos, como dos resíduos sólidos e produtos fora de especificação.

As purgas da torre de resfriamento, caldeira e do destilador são misturados com os efluentes tratados pela unidade de ultrafiltração.

4.5.1. Sistema de tratamento de esgotos e efluentes industriais

O processo de tratamento é desenvolvido em um valo de oxidação, sendo que, na realidade, existem dois valos, um dos quais utilizado como tanque de equalização.

Após passagem pelo valo de oxidação, o efluente, juntamente com o lodo produzido, é encaminhado para os decantadores, onde se obtém a separação da fração de sólidos (lodo), do líquido. Parte do lodo retorna para o valo de oxidação e outra parte segue para secagem em um separador centrífugo e deste para disposição final.

O efluente tratado na ETE é submetido a um tratamento adicional, em uma unidade de Ultrafiltração, a qual foi instalada em 2001. Na unidade de ultrafiltração são obtidas duas correntes, o concentrado, que retorna para o valo de oxidação, e o permeado que é lançado ao meio ambiente, juntamente com as purgas da torre de resfriamento, da caldeira e do destilador.

A estação de tratamento de esgotos da KODAK apresenta as seguintes características:

- número de valos de oxidação → 2
- volume dos valos → 1500 m³
- vazão de alimentação → 40 a 50 m³/h
- idade do Lodo → 40 dias
- tempo de detenção hidráulico → 30 horas
- quantidade de lodo gerada → 500 Kg/dia
- disposição final do lodo → Aterro classe-2
- eficiência do Processo → 99,7 % (material orgânico)
- **Unidade de Ultrafiltração (Implantada em 2001):**

- vazão de alimentação ➔ 34,1 m³/h
- vazão de Permeado ➔ 33,4 m³/h
- taxa de Recuperação de Água ➔ 98 %
- pressão de Alimentação do Sistema ➔ 1,4 a 2,8 bar
- número de Membranas ➔ 10
- tipo de Membrana ➔ Fibra Oca
- dimensões da Membrana:
 - diâmetro ➔ 20,32cm (8")
 - comprimento ➔ 182,9 cm (72")

Na figura 4.1 encontra-se uma representação esquemática da Estação de Tratamento de Esgotos da KODAK.

Figura 4.1 - Processo de tratamento do efluente líquido da KODAK

As características dos efluentes tratado pelo sistema biológico e lançado para o meio ambiente são apresentadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características do efluente tratado pelo sistema biológico e lançado para o meio ambiente

Parâmetro	Concentração (mg/L) ¹	
	Efluente do Sistema Biológico	Permeado da Ultrafiltração
Alumínio	1,23	< 0,25
Cloretos	30	40
Cobre	0,34	0,26
Carbonatos Totais (CO ₃ ²⁻)	65	81
DQO	43	21
DBO	19	7,5
Ferro Solúvel (Fe ²⁺)	0,26	0,19
Fósforo Total	0,22	0,14
N-NH ₄ ⁺	< 0,10	< 0,10
N-NO ₃ ⁻	4,30	4,60
Óleos e graxas	< 20	< 20
Prata	0,16	< 0,02
Resíduo Sedimentável	< 1 mL/L	< 1 mL/L
Sólidos Dissolvidos Totais	870	530
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	55	40
Surfactantes	< 0,4	< 0,4
pH	6,6 unidades	6,5 unidades

1 – A menos que seja especificada a unidade

Fonte: Laudo de Análises nº 1641, de 18/06/2002 – QUIMLAB, Química & Metrologia

4.5.2. Sistema de recuperação de prata

O sistema de recuperação de prata, como o próprio nome sugere, tem por objetivo recuperar a prata presente nos produtos fora de especificação, águas de processo e aparas de papel e filme fotográficos.

A recuperação da prata presente nos materiais a serem processados é efetuada em duas etapas a saber:

- Recuperação de Prata de Correntes Líquidas;
- Recuperação de Prata de Materiais Sólidos.

Em função do enfoque este trabalho, apenas o processo de recuperação de prata das correntes líquidas será apresentado.

4.5.2.1. Recuperação da prata das correntes líquidas

As correntes ricas em prata, oriundas dos processos produtivos, lavagem de gases e da digestão do filme de raios-x, são submetidas ao processo de coagulação floculação e sedimentação, que utiliza o sulfato de alumínio como coagulante, sendo o processo realizado em bateladas. Neste processo, a maior parte da prata presente é precipitada e é separada da fase líquida por sedimentação e, posteriormente, por centrifugação.

Antes da entrada em operação da unidade de ultrafiltração da ETE, após a sedimentação dos sólidos, o decantado era removido e processado em uma unidade de osmose reversa, obtendo-se o permeado, que era utilizado como água de reposição na torre de resfriamento, enquanto o concentrado retornava para o processo de coagulação e floculação.

Atualmente a unidade de osmose reversa não esta sendo mais utilizada neste processo, de forma que o decantado resultante do processo de separação de sólidos é encaminhado diretamente para a ETE.

Os sólidos que haviam sedimentado são submetidos ao processo de centrifugação para remoção do excesso de água e encaminhados para a unidade de calcinação, cujo objetivo é obter a prata metálica.

O material obtido no processo de calcinação é coletado e submetido ao processo de purificação por fusão em forno do tipo cadinho, a uma temperatura de 1200 °C.

No caso dos filmes de raios-x, a gelatina que se encontra impregnada de prata, depositada sobre uma película de poliéster, é removida pela ação de um álcali. A solução resultante deste processo é submetida a um tratamento enzimático, no qual ocorre a digestão da gelatina e a liberação da prata na forma coloidal. O filme de poliéster, sem qualquer traço de prata ou outras substâncias, é fragmentado e comercializado.

Características do processo:

Modo de Operação → Intermitente

Tratamento → Coagulação/Floculação e Separação de Sólidos

Coagulação/floculação:

Coagulante → Sulfato de Alumínio

Separação de sólidos:

Sedimentação e Centrifugação

Unidade de osmose reversa (Atualmente fora de operação):

Alimentação = 18,0 m³/h

Recuperação de Água = 50%

Vazão de Permeado = 9,0 m³/h

Vazão de Concentrado = 9,0 m³/h

Tratamento dos filmes de raios-x

A recuperação de prata dos filmes de raios-x é feita utilizando-se, inicialmente, o processo de digestão alcalina e enzimática, de modo a transferir a prata do suporte polimérico para a fase líquida, que é submetida ao processo de coagulação e

floculação, conforme descrito anteriormente. O filme plástico resultante é fragmentado e comercializado.

Na figura 4.2 encontra-se uma representação esquemática do processo de recuperação de prata das correntes líquidas.

Figura 4.2 - Processo de recuperação de prata das correntes líquidas

4.6. Demanda de água e geração de efluentes

Considerando-se que o objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um programa de gerenciamento de água e efluentes, é de fundamental importância que sejam obtidos os dados referentes ao consumo de água em cada processo industrial, assim como sobre os efluentes gerados.

Estes dados, associados com as informações referentes processos produtivos irão dar subsídios para a identificação das áreas mais críticas com relação ao consumo de água e geração de efluentes, assim como servirão de base para determinara a

eficiência das alternativas propostas para a otimização do uso da água e para a redução da geração de efluentes.

Como a KODAK apresenta um programa de gestão ambiental certificado com base na norma ISO-14.001, a área responsável pelas questões de saúde, segurança e meio ambiente já dispunha de algumas informações referentes à demanda de água e geração de efluentes das unidades industriais instaladas.

Os dados disponíveis sobre o consumo de água na KODAK, para o ano de 1999, são apresentados na tabela 4.3, enquanto na figura 4.3 são apresentadas, de forma esquemática, as inter-relações entre os diversos processos produtivos da KODAK, assim como as principais demandas de água e geração de efluentes.

Devido ao fato dos dados referentes à demanda de água poderem estar desatualizados, principalmente em decorrência de alterações de processos e no regime de produção, durante a realização das visitas técnicas, quando possível, foi efetuado um levantamento com relação à demanda de água atual.

Por meio do levantamento realizado durante as visitas técnicas foram obtidos os valores apresentados na tabela 4.4.

Os valores da tabela 4.4, associados com os dados apresentados por Pacheco et al. (2001), e com as informações extraídas da figura 4.3, resultaram na demanda atual de água e geração de efluentes na KODAK, a qual é apresentada na tabela 4.5 e figura 4.4.

Tabela 4.3 – Demanda de água e geração de efluentes pelas unidades industriais da empresa KODAK (1999)

Unidade Industrial	Demanda de Água (m³/d)^a	Usos	Geração de Efluentes (m³/d)
Produção de Fotoquímicos	Água Tratada (730)	Lavagem de Equipamentos (365 m ³ /d) Incorporado ao Produto (365 m ³ /d)	Efluente (365)
Produção de Nitrato de Prata, Dispersões e Emulsões	Água Tratada (715) Água Destilada (60)	Produção de Gelatina (30 m ³ /d) Lavagem de Equipamentos (715 m ³ /d) Evaporada (30 m ³ /d)	Efluente (480) Água Rica (235)
Produção de Água Destilada	Água Tratada (90)	Produção de Água Destilada (75 m ³ /d)	Purga (15)
Produção de Chapas de Raios-X e Papel Fotográfico	Água Destilada (15)	Lavagem de equipamento (15 m ³ /d) Perda por evaporação (30 m ³ /d) ^b	Água Rica (15)
Recuperação de Prata	--x--	--x--	250
Torre de Resfriamento ^c	Água Tratada (450)	Processos de troca térmica, evaporação (400 m ³ /d)	Purga (50)
Geração de Vapor	Água Tratada (100)	Evaporação (94 m ³ /d)	Purga (6)
Uso Doméstico	Água Tratada (200)	Usos diversos (200 m ³ /d)	Efluente (200) ^d
Estação de Tratamento de Esgotos	--x--	--x--	Efluente Tratado (1.366)

a – Os valores apresentados para as demandas de água são valores médios e podem variar em função do regime de operação das unidades.

b – Esta parcela é resultante da água incorporada nas emulsões e dispersões fotossensíveis.

c – Torres das Áreas de Utilidades e Fotoquímicos.

d – Foi considerado, de forma conservativa, que não ocorrem perdas de água.

Figura 4.3 - Inter-relação entre as áreas produtivas da KODAK Brasileira e fluxos de água e efluentes (1999)

Tabela 4.4 – Demandas de água para uso industrial

Área/Sistema	Demanda (m³/d)	Incorporada ao Produto (m³/d)	Evaporação (m³/d)	Purga ou Efluente (m³/d)
Fotoquímicos – Água de Lavagem	256	--x--	--x--	256
Sensibilização	Industrial – 407 Destilada – 40 Osmose – 70 Deionizada - 25	0	--x--	Industrial (400) Água Rica (150)
Geração de Vapor [#]	60	--x--	56	4
Sistema de Resfriamento [#]	322	--x--	250	72
Sistema de Produção de Água Destilada [#]	48	--x--	--x--	8

[#] - As principais características deste sistema encontram-se no Anexo D.

Tabela 4.5 – Demanda de água e geração de efluentes pelas unidades industriais da Empresa KODAK – dados atualizados para os anos 2000 / 2001

Unidade Industrial	Demanda de Água (m ³ /d) ^a	Usos	Geração de Efluentes (m ³ /d)
Produção de Fotoquímicos	Água Tratada (471)	Lavagem de Equipamentos (256 m ³ /d) Incorporado ao Produto (215 m ³ /d)	Efluente (256)
Produção de Nitrato de Prata, Dispersões e Emulsões	Água Tratada (542) Água Destilada (32)	Produção de Gelatina (16 m ³ /d) Lavagem de Equipamentos (542 m ³ /d) Evaporada (16 m ³ /d)	Efluente (400) Água Rica (142)*
Produção de Água Destilada	Água Tratada (48)	Produção de Água Destilada (40 m ³ /d)	Purga (8)
Produção de Chapas de Raios-X e Papel Fotográfico	Água Destilada (8)	Lavagem de equipamento (8 m ³ /d) Perda por evaporação (16 m ³ /d) ^b	Água Rica (8)*
Recuperação de Prata	--x--	--x--	150
Torre de Resfriamento ^c	Água Tratada (322)	Processos de troca térmica, evaporação (250 m ³ /d)	Purga (72)
Geração de Vapor	Água Tratada (60)	Evaporação (56 m ³ /d)	Purga (4)
Uso Doméstico	Água Tratada (288)	Usos diversos (288 m ³ /d)	Efluente (288) ^d
Estação de Tratamento de Esgotos	--x--	--x--	Efluente Tratado (1.178)

a – Os valores apresentados para as demandas de água são valores médios e podem variar em função do regime de operação das unidades.

b – Esta parcela é resultante da água incorporada nas emulsões e dispersões fotossensíveis.

c – Torres das Áreas de Utilidades e Fotoquímicos.

d – Foi considerado, de forma conservativa, que não ocorrem perdas de água.

* - Este efluente é considerado na Unidade de Recuperação de Prata

Figura 4.4 - Inter-Relação entre as áreas produtivas da KODAK Brasileira e Fluxos de Água e Efluentes (Atualizado - 2000/2001)

O agrupamento, por categoria de uso, das demandas de água apresentadas pelas unidades industriais resulta nos dados apresentados na tabela 4.6 e na distribuição percentual da figura 4.5.

Tabela 4.6 – Distribuição do consumo de água na KODAK por categoria de uso

Categoria de Uso	Demanda (m ³ /d)
Lavagem de Equipamentos	798
Resfriamento	322
Incorporada ao Produto	215
Uso Doméstico	288
Geração de Vapor	60
Produção de Água Destilada	40
Total	1731

Figura 4.5 – Distribuição do consumo de água na KODAK

Com base nos dados apresentados anteriormente, verifica-se que as áreas mais críticas com relação ao consumo de água são as Áreas de Produção de Fotoquímicos e de Emulsões e Dispersões, onde o consumo total de água é de 1.053 m³/dia, aproximadamente 60,8 % do volume total de água consumido pela empresa. Deste volume, aproximadamente 798 m³/d (75,8 %), são utilizados para operações de lavagens de equipamentos.

Desta forma, verifica-se que as áreas com maior potencial para a otimização do uso da água são, respectivamente, a área de Produção de Dispersões e Emulsões e a área de Produção de Fotoquímicos.

4.7. Otimização do uso de água nos processos de lavagens de equipamentos

Dentre as duas unidades industriais que realizam operações de lavagens de equipamentos, a que consome uma maior quantidade de água é a de Produção de Emulsões e Dispersões Fotossensíveis, a qual seria a mais recomendada para o estudo de alternativas para a otimização do uso da água. Contudo, em razão de dificuldades operacionais, ou seja, todas as operações nesta área são realizadas na ausência de luz, conforme já descrito. Assim sendo, foi optado em se desenvolver o estudo de alternativas para a otimização do uso da água na área de Fotoquímicos.

A avaliação de alternativas para a otimização do uso da água exigiu, inicialmente, um melhor conhecimento com relação aos tipos de equipamentos envolvidos na produção, assim como dos procedimentos operacionais utilizados, principalmente com relação às operações de lavagem.

4.7.1. Principais características do sistema de produção de fotoquímicos

Com base na descrição, já apresentada, sobre a área de fotoquímicos, assim como nas visitas de campo realizadas, foi verificado que o sistema de produção é constituído, basicamente, por reatores de mistura, tanques de espera, bombas de transferência e equipamentos para envase dos produtos obtidos.

No total, nesta área existem 5 reatores, 11 tanques de espera e 7 tanques móveis, além de 3 equipamentos de envase, de 8, 4 e dois bicos de dosagem. Cada equipamento de dosagem dispõe de um tanque de alimentação, cuja finalidade é manter constante a vazão de saída em cada bico de dosagem, o que é obtido pela manutenção do nível líquido neste tanque. Na tabela 4.5 é apresentada a relação dos reatores e tanques de espera utilizados para a produção de fotoquímicos e que estão associados ao consumo de água no setor.

Tabela 4.7 – Características dos equipamentos da área de fotoquímicos

Componente	Quantidade
Tanques móveis de 235 litros	1
Tanques móveis de 500 litros	6
Reatores de 1.050 litros	1
Tanques de espera de 1.050 litros	2
Reatores de 4.000 litros	1
Tanques de espera de 4.000 litros	2
Reatores de 4.200 litros	1
Tanques de espera de 4.200 litros	2
Reatores de 10.000 litros	1
Tanques de espera de 10.000 litros	3
Reatores de 10.600 litros	1
Tanques de espera de 10.600 litros	2

Após a preparação e envase de um determinado produto, todos os equipamentos envolvidos são submetidos ao processo de lavagem, ou seja, reator, tanques de espera, tanque de dosagem, equipamento de envase, bombas e linhas. O processo de lavagem é realizado, basicamente, com água tratada, por meio da circulação desta pelos equipamentos e linhas. Em alguns casos específicos, além da água são utilizadas substâncias indicadoras, para o acompanhamento da operação de lavagem.

Para a lavagem dos reatores e tanques de espera, em razão de suas características, são utilizados difusores de água (*spray balls*), que tem a finalidade de distribuir a água de lavagem por toda a superfície interna dos mesmos.

O acompanhamento da eficiência da operação de lavagem é realizado manualmente, por meio da análise de amostras de água coletadas na saída de reatores e tanques, descarga de bombas, tomadas de amostras, bicos das máquinas de envase e trechos de linhas.

Na figura 4.6 é apresentado o arranjo esquemático dos equipamentos utilizados na área de fotoquímicos, com a indicação dos dispositivos utilizados para a lavagem dos reatores e tanques.

Figura 4.6 – Representação esquemática da produção de fotoquímicos

Em média, no ano de 2000, o volume de água necessário para as operações de lavagem de reatores, tanques e máquinas de envase foi de 5.631 m³/mês, conforme dados apresentados na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Consumo médio de água para as operações de lavagem de reatores, tanques e envasadoras, no ano 2000

Mês / 2000	Volume de Água (m³)^a
Janeiro	5.710
Fevereiro	4.987
Março	5.484
Abril	4.473
Maio	6.117
Junho	7.392
Julho	4.249
Agosto	6.569
Setembro	6.099
Outubro	6.062
Novembro	5.328
Dezembro	5.098
Total	67.568

Fonte: KODAK

Do ponto de vista de avaliação de potencial para a otimização do uso da água nas operações de lavagem de equipamentos, por razões operacionais, optou-se pela avaliação da lavagem de tanques e reatores, principalmente pelo maior número de componentes existentes, o que resultaria em um menor impacto na produção, assim como possibilitaria uma avaliação mais rápida.

4.7.2. Avaliação inicial da operação de lavagem de tanques e reatores

Uma análise dos dados disponíveis sobre o consumo de água e tempo necessário para a realização da operação de lavagem de tanques e reatores, a priori, sugeriu duas possibilidades para o consumo excessivo de água:

- procedimentos operacionais inadequadas;
- utilização de parâmetros operacionais inadequados.

Com relação às práticas operacionais, o consumo excessivo de água poderia estar associado aos procedimentos de monitoração e controle da eficiência da lavagem, ou então, no método de execução da mesma. Estas condições poderiam estar diretamente associadas ao grande intervalo de tempo para a operação de lavagem.

Já com relação aos parâmetros operacionais, a vazão de água de lavagem, pressão de descarga e as características geométricas do difusor de água, além do posicionamento do mesmo dentro do reator ou tanque, poderiam estar contribuindo para o consumo excessivo de água.

A combinação entre práticas e parâmetros operacionais inadequados pode resultar em um efeito adverso, com relação ao consumo de água, muito superior àquele que seria observado para cada condição, individualmente.

Em uma das visitas realizadas à Unidade de Fotoquímicos, durante a etapa de avaliação inicial do processo, foi verificado que, para a lavagem da régua de nível e da saída para amostragem, antes do acionamento do *spray ball*, os reatores e tanques eram preenchidos com água até que o nível destes dispositivos fosse atingido, de modo que a água pudesse escoar de dentro para fora do tanque. No caso da régua de nível (tubo flexível transparente), a extremidade superior era desconectada, de modo a fazer com que esta extremidade permitisse o escoamento de água.

Este procedimento, em função das dimensões dos reatores e tanques, resultava na utilização de um volume de até 2,0 m³ de água, até que os bocais de saída da régua de nível e de amostragem fossem atingidos. Isto, por sua vez, caracterizou um procedimento operacional inadequado, o qual deveria ser eliminado.

A verificação da existência de outros procedimentos operacionais inadequados, bem como de parâmetros operacionais inadequados necessitaria de uma abordagem técnica, com uma avaliação mais pormenorizada do processo de lavagem.

Inicialmente, com base no arranjo apresentado na figura 4.7, foi elaborada uma fundamentação para justificar o consumo excessivo de água nas operações de lavagem de tanques e reatores.

Figura 4.7 – Representação esquemática do procedimento de lavagem de reatores e tanques

Pela análise da figura 4.7, pode-se fazer as seguintes considerações:

- a alimentação da água e produtos de lavagem é efetuada por bomba, ou então por gravidade desde que a carga estática no ponto de origem seja suficiente para compensar as perdas de carga envolvidas, além de garantir a aspersão do fluído, sobre as paredes do tanque e demais componentes;
- a descarga da água e demais soluções de lavagem é efetuada por gravidade para o sistema de drenagem;
- caso a vazão de alimentação seja elevada pode ocorrer o acúmulo de solução no interior do tanque, de forma a compensar a perda de carga criada na linha de drenagem, caso esta tubulação fique completamente preenchida;

- na ocorrência deste acúmulo, o sistema criado irá se aproximar, ou poderá ser representado como sendo um reator de mistura completa;

Considerando-se a possibilidade do acúmulo de líquido no interior do reator ou tanque durante a operação de lavagem e com o sistema em equilíbrio, ou seja, é acumulado, no reator, o volume de água ou solução capaz de atribuir uma carga de pressão equivalente às perdas de carga na linha de drenagem, o sistema resultante pode ser representado da seguinte forma:

$$\blacksquare \frac{dV}{dt} = 0 \quad (4.1)$$

$$\blacksquare Q_e = Q_s \quad (4.2)$$

Utilizando-se a condutividade elétrica como o parâmetro indicador da eficiência do processo de lavagem, e que este parâmetro, é diretamente proporcional à concentração, equivalente, dos contaminantes, pode-se efetuar um balanço de massa no sistema, de forma que:

$$\bullet \quad V * \frac{dC}{dt} = Q_e * C_e - Q_e * C \quad (4.3)$$

$$\bullet \quad \frac{V}{Q_e} = \theta \text{ (Tempo de detenção hidráulico)} \quad (4.4)$$

Rearranjando-se as expressões apresentadas acima e fazendo-se a integração para o tempo variando de 0 a t, obtém-se:

$$\bullet \quad C(t) = C_e + (C_0 - C_e) * e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)} \quad (4.5)$$

Por meio da expressão 4.5 pode-se demonstrar que, quanto maior o volume de líquido acumulado no interior do reator ou tanque, maior será o tempo necessário para que a condutividade da água na saída do reator seja igual à da entrada, conforme pode ser constatado pelo gráfico apresentado na figura 4.8.

Figura 4.8 – Dados teóricos sobre a variação da condutividade elétrica no interior de um reator ou tanque em função do tempo de lavagem, para diferentes tempos de detenção hidráulico

Para a validação ou não da hipótese formulada, o que daria subsídios maiores subsídios para o desenvolvimento de alternativas para a redução do consumo de água de lavagem, foram realizados alguns ensaios para a avaliação da variação na condutividade elétrica do efluente de alguns reatores e tanques. Os resultados destes ensaios estão apresentados nas figuras 4.9, 4.10 e 4.11.

Figura 4.9 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 1

Figura 4.10 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 2

Figura 4.11 – Resultado da variação da condutividade em função do tempo de lavagem – ensaio 3

Avaliando-se os resultados dos ensaios preliminares de lavagem, verifica-se que estes estão em concordância com os dados teóricos apresentados na figura 4.8, o que indica que a hipótese formulada está correta.

Por meio da linearização da curva de variação da condutividade em função do tempo, pode-se obter uma estimativa do tempo de detenção hidráulico resultante do acúmulo de líquido no interior dos reatores e tanques (figuras 4.12, 4.13 e 4.14).

Figura 4.12 – Linearização dos dados do ensaio 1

Figura 4.13 - Linearização dos dados do ensaio 2

Figura 4.14 - Linearização dos dados do ensaio 3

Embora estes resultados sejam preliminares, eles já são suficientes para concluir que os procedimentos utilizados para a lavagem dos reatores e tanques da área de Fotoquímicos necessitam ser reavaliados e podem ser otimizados, para que seja possível obter uma redução no consumo de água.

4.7.3. Estudo para a otimização da operação da lavagem de reatores e tanques

Com base nos resultados, positivos, obtidos na avaliação preliminar, foi iniciado um estudo mais detalhado com relação às operações de lavagem de reatores e tanques da área de Fotoquímicos, de forma a possibilitar a otimização do uso da água sem, no entanto, comprometer a eficiência do processo.

Neste estudo foram adotados os seguintes procedimentos:

- Avaliação de um único reator de produção, ou seja, aquele considerado mais crítico em termos de consumo de água e complexidade;

- Instalação de um sistema de monitoração para medir, em linha, a condutividade da água de lavagem e do efluente;
- Interrupção automática da alimentação da água de lavagem quando a diferença entre a condutividade da do efluente e da água de lavagem fosse inferior a 5 %.

Os ensaios referentes a este estudo foram desenvolvidos no período de janeiro a julho de 2001, tempo suficiente para testar o processo de lavagem para os diversos tipos de soluções químicas produzidas, bem como para a consolidação dos resultados obtidos.

Os conjuntos de reatores e tanques selecionados para o desenvolvimento do estudo de otimização foram os de maior volume, ou seja, reatores 40 (10.600 L) e 50 (10.000L) e tanques 41 e 42 (10.600 L) e tanques 51 e 52 (10.000 L).

A verificação da eficiência do procedimento de otimização foi efetuada por meio da comparação entre os resultados, mensais, relativos ao tempo volume de água gastos para as operações de lavagem dos reatores e tanques, entre os meses de janeiro a julho dos anos de 2000 e 2001. Deve ser ressaltado que neste estudo foi utilizado o *spray ball* com vazão de 270 L/minuto.

Nas tabelas 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 são apresentados os resultados obtidos durante o estudo de otimização da operação de lavagem de reatores e tanques, entre os meses de janeiro a junho.

Tabela 4.9 – Tempo total de lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42, no período de janeiro a junho

Mês	Tempo Total Gasto para a Lavagem do Reator e dos Tanques (minutos)					
	Reator 40		Tanque 41		Tanque 42	
	2000 ^a	2001 ^b	2000 ^a	2001 ^b	2000	2001
Janeiro	916	126	625	66	704	84
Fevereiro	588	108	290	48	230	48
Março	578	129	317	66	275	66
Abril	872	132	568	96	1361	90
Maio	730	114	580	93	453	93
Junho	231	ND	235	ND	--x--	ND
Média do Período	652,5	121,8	435,8	73,8	604,6	76,2

a – Resultados obtidos sem o uso dos condutivímetros**b** – Resultados obtidos com o uso dos condutivímetros**ND** – Não disponibilizado**Tabela 4.10 – Volume total de água utilizado para a lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42, no período de janeiro a junho**

Mês	Volume de Água para a Lavagem do Reator e dos Tanques (m ³)					
	Reator 40		Tanque 41		Tanque 42	
	2000 ^a	2001 ^b	2000 ^a	2001 ^b	2000	2001
Janeiro	286	74	180	29	206	38
Fevereiro	195	73	87	22	71	22
Março	194	74	97	29	86	29
Abril	275	84	168	42	379	40
Maio	238	81	169	39	136	39
Junho	109	ND	75	ND	--x--	ND
Média do Período	217,8	77,2	129,3	32,2	175,6	33,6

a – Resultados obtidos sem o uso dos condutivímetros**b** – Resultados obtidos com o uso dos condutivímetros**ND** – Não disponibilizado

Tabela 4.11 – Tempo total de lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52, no período de janeiro a junho

Mês	Tempo Total Gasto para a Lavagem do Reator e dos Tanques (minutos)					
	Reator 50		Tanque 51		Tanque 52	
	2000 ^a	2001 ^b	2000 ^a	2001 ^b	2000	2001
Janeiro	935	96	517	60	390	42
Fevereiro	468	90	415	72	370	60
Março	493	72	442	72	377	60
Abril	620	102	676	102	374	69
Maio	588	84	397	60	485	90
Junho	335	ND	365	ND	288	48
Média do Período	573,2	88,8	468,7	73,2	380,7	61,5

a – Resultados obtidos sem o uso dos condutivímetros**b** – Resultados obtidos com o uso dos condutivímetros**ND** – Não disponibilizado**Tabela 4.12 – Volume total de água utilizado para a lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52, no período de janeiro a junho**

Mês	Volume de Água para a Lavagem do Reator e dos Tanques (m ³)					
	Reator 50		Tanque 51		Tanque 52	
	2000 ^a	2001 ^b	2000 ^a	2001 ^b	2000	2001
Janeiro	285	58	136	26	113	18
Fevereiro	156	54	124	32	110	26
Março	125	38	104	28	89	23
Abril	161	54	157	38	88	25
Maio	149	45	89	22	117	34
Junho	89	ND	87	ND	48	ND
Média do Período	160,8	49,8	116,2	29,2	94,2	25,2

a – Resultados obtidos sem o uso dos condutivímetros**b** – Resultados obtidos com o uso dos condutivímetros**ND** – Não disponibilizado

Estes dados possibilitam obter a eficiência de redução no consumo de água e do tempo, utilizados para a realização das operações de lavagens dos reatores e tanques, conforme apresentado nas tabelas 4.13 e 4.14.

Tabela 4.13 – Eficiência na redução do consumo de água e do tempo, utilizados na lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42

Mês	Eficiência de Redução (%)					
	Reator 40		Tanque 41		Tanque 42	
	Consumo de Água	Tempo	Consumo de Água	Tempo	Consumo de Água	Tempo
Janeiro	74,1	86,2	83,9	89,4	81,6	88,1
Fevereiro	62,6	81,6	74,7	83,4	69,0	79,1
Março	61,9	77,7	70,1	79,2	66,3	76,0
Abril	69,4	84,9	75,0	83,1	89,4	93,4
Maio	66,0	84,4	76,9	84,0	71,3	79,5
Média	66,8	83,0	76,1	83,8	75,5	83,2

Tabela 4.14 – Eficiência na redução do consumo de água e do tempo, utilizados na lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52

Mês	Eficiência de Redução (%)					
	Reator 50		Tanque 51		Tanque 52	
	Consumo de Água	Tempo	Consumo de Água	Tempo	Consumo de Água	Tempo
Janeiro	79,6	89,7	80,0	88,4	84,1	89,2
Fevereiro	65,4	80,8	74,2	82,7	76,4	83,8
Março	69,6	85,4	73,1	83,7	74,2	84,1
Abril	66,5	83,5	75,8	84,9	71,6	81,6
Maio	69,8	85,7	75,3	84,9	70,9	81,4
Média	70,2	85,0	75,9	84,9	75,4	84,0

É importante observar que, pelos resultados apresentados, a redução percentual do tempo de lavagem foi ligeiramente superior que o percentual de redução no consumo

de água, resultando em uma maior vazão da água de lavagem no ano de 2001, em comparação com o ano de 2000, como pode ser constatado pelos dados das tabelas 4.15 e 4.16.

Tabela 4.15 – Comparação entre as vazões de água de lavagem do reator 40 e tanques 41 e 42

Mês	Vazão (L/minuto) ^a					
	Reator 40		Tanque 41		Tanque 42	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Janeiro	312,2	587,3	288,0	439,4	292,6	452,4
Fevereiro	331,6	675,9	300,0	458,3	308,7	458,3
Março	335,6	573,6	306,0	439,4	312,7	439,4
Abril	315,4	636,4	295,8	437,5	278,5	444,4
Maio	326,0	710,5	291,4	419,4	300,2	419,4
Junho	471,9	--x--	319,1	--x--	--x--	--x--
Média	348,8	636,7	300,0	438,8	298,5	442,8

a – Valor obtido pela divisão entre o volume de água consumido e o tempo gasto para a lavagem.

Tabela 4.16 – Comparação entre as vazões de água de lavagem do reator 50 e tanques 51 e 52

Mês	Vazão (L/minuto) ^a					
	Reator 50		Tanque 51		Tanque 52	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Janeiro	304,8	604,2	263,1	433,3	289,7	428,6
Fevereiro	333,3	600,0	298,8	444,4	297,3	433,3
Março	253,5	527,8	235,3	388,9	236,1	383,3
Abril	259,7	529,4	232,2	372,5	235,3	362,3
Maio	253,4	535,7	224,4	366,7	241,2	377,8
Junho	265,7	--x--	238,4	--x--	166,7	--x--
Média	278,4	559,4	248,7	401,2	244,4	397,1

a – Valor obtido pela divisão entre o volume de água consumido e o tempo gasto para a lavagem.

Este aumento na vazão da água de lavagem em relação ao ano de 2000, pode ter contribuído para uma menor eficiência na redução do consumo nas operações de lavagem, em decorrência de um maior acúmulo de água no interior dos reatores e tanques, com conseqüente aumento no tempo necessário para que a condutividade do efluente atingisse o mesmo valor que aquele da água de lavagem.

Por outro lado, os resultados obtidos para o ano de 2001 representam, genericamente, o menor consumo de água para as operações de lavagem de reatores e tanques, para os parâmetros operacionais utilizados. Estes resultados também servem para confirmar que os procedimentos operacionais, até então, utilizados nas operações de lavagem estavam contribuindo para o consumo excessivo de água.

Além dos ensaios para determinação do tempo ótimo de lavagem para os reatores e tanques, também foi desenvolvida uma série de ensaios para verificar a influência dos diversos tipos de soluções produzidas na Área de Fotoquímicos sobre o tempo de lavagem e o volume de água consumido. Estes ensaios foram realizados, apenas, no reator 40.

No total, o novo procedimento de lavagem foi testado para 17 tipos diferentes de soluções, obtendo-se bons resultados para todas as soluções avaliadas. Em média, o tempo de lavagem do reator 40 caiu de 52 para 11 minutos, o que representa uma redução percentual de 78,8 %. Na tabela 4.17 estão apresentados os resultados para o tempo de lavagem do reator 40 antes e depois da implantação do condutivímetro.

Tabela 4.17 – Resultados obtidos para a avaliação do tipo de solução produzida sobre o tempo de lavagem do reator 40, antes e após a implantação do condutivímetro

Tipo de Solução ⁽¹⁾	Tempo de Lavagem (minutos)	
	<i>Sem Condutivímetro</i>	<i>Com Condutivímetro</i>
6166	40	6
5961	40	15
4861	45	6
6368	50	9

Tabela 4.17 – Resultados obtidos para a avaliação do tipo de solução produzida sobre o tempo de lavagem do reator 40, antes e após a implantação do condutivímetro (continuação)

Tipo de Solução ⁽¹⁾	Tempo de Lavagem (minutos)	
	<i>Sem Condutivímetro</i>	<i>Com Condutivímetro</i>
6080	50	15
5237	70	15
5874	49	6
4614	30	15
6159	95	6
4607	35	6
6317	55	10
6380	50	15
6300	40	15
5758	35	6
5237	50	15
6412	95	13
5777	55	12
Média	52	11

1 – Por questões de sigilo industrial são apresentados, apenas, os códigos para a identificação da solução.

4.7.4. Resultados potenciais da aplicação da proposta de otimização da operação de lavagem de reatores e tanques

Uma estimativa feita pela equipe responsável pela execução do estudo de otimização da operação da lavagem de reatores e tanques na Área de Fotoquímicos, indica que, com a implantação de condutivímetros, nos principais tanques e reatores existentes na área, para o controle da operação de lavagem, podem ser obtidos os seguintes benefícios:

- Ganho na Produtividade ➔ 76 horas/mês;

- Potencial de Redução no Consumo de Água de Lavagem → 63 %
(valor conservativo);

Com base nos dados apresentados na tabela 4.5, os resultados referentes à redução do consumo de água seriam:

- Na Área de Fotoquímicos → 34,2 %
- Na captação de Água → 9,3 %

Além dos benefícios apontados deve-se considerar ainda os ganhos resultantes da redução nos custos de tratamento e de energia.

Cabe ressaltar, no entanto, que todos os benefícios apontados, ainda, apresentam um potencial para serem intensificados, uma vez que, no estudo em questão, não foram avaliados os parâmetros operacionais da lavagem como, por exemplo, vazão de água de lavagem e demais características do *spray ball* utilizado.

4.8. Avaliação do potencial de reúso de água

A aplicação do reúso de água pode se dar de duas formas distintas, conforme já apresentado, o reúso em cascata e o reúso após tratamento.

No reúso em cascata, o efluente resultante determinada atividade pode ser reutilizado diretamente em uma outra atividade, uma vez que o efluente atende aos requisitos de qualidade para uso. Neste caso deve-se avaliar cuidadosamente as características do efluente disponível e os requisitos de qualidade da água no processo onde se pretende utilizar o efluente.

O reúso após tratamento consiste em se utilizar o efluente resultante da estação de tratamento de efluentes existente, em aplicações onde os padrões de qualidade para uso são atendidos pelo efluente, ou então, pode-se lançar mão de processos complementares de tratamento, de forma a possibilitar o reúso.

Dentro da filosofia de minimização da demanda de água e da geração de efluentes, é importante que seja priorizado o reúso em cascata pois ao mesmo tempo em que o consumo de água é minimizado o volume de efluente a ser tratado é reduzido.

Cabe observar que, à medida que a demanda de água e a geração de efluentes são reduzidas, ocorre uma elevação na concentração de contaminantes no efluente remanescente, uma vez que a carga de contaminantes não muda. Isto resulta no fato da opção pelo reúso do efluente tratado ser avaliada somente após a avaliação e implantação de todas as alternativas para a otimização do uso da água e minimização de efluentes por meio do reúso em cascata.

Em razão das considerações apresentadas, a avaliação do potencial de reúso da empresa KODAK considerou, inicialmente a opção pelo reúso em cascata, avaliando-se as áreas de Fotoquímicos e de Utilidades.

4.8.1 – Avaliação do potencial de reúso em cascata

Para que seja avaliado o potencial de reúso de água em cascata é necessário que se disponha dos dados referentes às características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade de água no processo que se pretende fazer o reúso.

Em uma estimativa inicial, a caracterização completa do efluente seria muito onerosa, de modo que a estratégia a ser utilizada deve considerar, inicialmente, algum parâmetro crítico, ou então, parâmetros gerais que possam representar com segurança um determinado grupo de substâncias.

Como parâmetros indicadores, pode-se lançar mão da condutividade elétrica ou da concentração de sais dissolvidos totais, que representam, com segurança, os compostos inorgânicos e a medida da demanda química de oxigênio, que pode ser utilizada para representar as substâncias orgânicas. Além destes dois parâmetros, a medida do pH, turbidez e cor também podem ser úteis no estágio inicial para a avaliação do potencial de reúso.

4.8.1.1 – Avaliação da área de fotoquímicos

De acordo com a descrição já apresentada, o principal uso da água na área de Fotoquímicos se refere às operações de lavagens de equipamentos, de modo que o principal efluente resultante é proveniente das lavagens de reatores, tanques e máquinas de envase.

Uma vez que o controle da operação de lavagem é efetuado por meio da medida da condutividade elétrica, da água de entrada e saída do sistema, pode-se considerar que os principais contaminantes presentes no efluente são compostos inorgânicos dissolvidos. Assim sendo, a avaliação do potencial para Reúso do efluente gerado deverá ser feito, inicialmente, com base na medida da condutividade elétrica.

Com a implantação do condutivímetro para a monitoração do processo de lavagem, é possível avaliar a variação da condutividade elétrica do efluente da lavagem em função do tempo.

Na tabela 4.18 são apresentados os resultados obtidos na operação de lavagem do reator 40, realizada em 12/08/2002. A figura 4.15 mostra na forma gráfica a variação da condutividade do efluente da lavagem em função do tempo, enquanto a figura 4.16 apresenta o gráfico resultante da linearização dos dados da tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Planilha do ensaio da operação de lavagem do reator 40

Data: 12/08/2002	Início: 13:00 h	Término: 13:15 h	Reator: 40
Tipo de Lavagem	Comum	Solução de Lavagem	Água
Vazão do Spray Ball	200 L/minuito	Condutividade da Água de Lavagem (µS/cm)	45,30

Tabela 4.18 – Planilha do ensaio da operação de lavagem do reator 40
(continuação)

Resultados do Ensaio	
Tempo (minutos)	Condutividade (mS/cm)
0,0	1860,00
0,5	187,00
1,0	88,00
1,5	63,80
2,0	52,00
3,0	47,30
3,5	46,60
4,0	46,10
4,5	45,90
<u>Observações:</u>	
<ul style="list-style-type: none">- Lavagem do tanque, bomba, filtro e tubulações.- Antes de ser iniciada a lavagem do reator com a utilização do Spray Ball, foi feita uma pré-lavagem do alimentador de matérias-primas e do filtro.- Em seguida foi realizada a pré-lavagem do reator e bomba, com o uso do Spray Ball. Esta operação teve a duração de, aproximadamente, 1,0 minuto. A condutividade elétrica do efluente no início desta operação era de 6.600 μS/cm.- Encerrada esta etapa o filtro foi desmontado e o elemento filtrante removido, quando então foi iniciada a operação final de lavagem do reator, cujos resultados são apresentados.- Durante a operação de lavagem, a bomba de descarga do reator foi acionada, com o objetivo de reduzir o volume de líquido acumulado no seu interior.- O uso de água não foi contínuo durante a realização de todo o procedimento de lavagem. Aproximadamente, o tempo total de utilização de água para lavagem do reator foi 8 minutos, o que resulta em um volume total de água igual a 1.600 litros.-- O controle automatizado da operação de lavagem foi feito apenas no final da operação e teve duração de 4,5 minutos.

Figura 4.15 – Variação da condutividade elétrica do efluente da lavagem de reator 40

Figura 4.16 – Linearização dos dados referentes à variação da condutividade elétrica em função do tempo, do ensaio de lavagem no reator 40

É importante observar que as condições utilizadas para o desenvolvimento do ensaio de lavagem são bastante distintas daquelas inicialmente utilizadas, principalmente com relação à utilização da bomba de descarga do reator para a redução do volume de líquido acumulado no interior do reator, com conseqüente redução no tempo de lavagem.

Mesmo com a mudança de procedimento, pode-se verificar pelo gráfico apresentado na figura 4.15 que no início da operação de lavagem a condutividade elétrica do efluente é bastante alta, sofrendo uma redução brusca nos primeiros minutos da lavagem e depois esta redução é gradual, até que o valor da condutividade do efluente atinja um valor próximo ao da água de alimentação.

Este perfil de variação de condutividade ao longo do tempo permite a adoção de um procedimento que possibilite a segregação do efluente da lavagem de tanques e reatores quando a condutividade elétrica, ou o tempo de lavagem, atingir um valor pré-determinado. Este procedimento faria com que uma parcela do efluente da lavagem fosse desviada para um tanque de armazenagem, para posterior reutilização.

Uma das alternativas para o reaproveitamento do efluente que foi segregado consiste na sua utilização nos estágios iniciais da lavagem de reatores e tanques, quando o nível de contaminação é maior. Além desta alternativa poderia ser avaliada a possibilidade de utilização do efluente segregado como água de reposição em torres de resfriamento. A avaliação do potencial de aplicação destas alternativas é apresentada a seguir.

4.8.1.1.1 – Operação de lavagem de reatores e tanques em duas etapas

A alternativa de reaproveitamento do efluente resultante da lavagem de reatores e tanques em duas etapas consiste em utilizar, na primeira etapa de lavagem, o efluente que foi segregado na segunda etapa de lavagem de uma operação anterior, enquanto o efluente gerado é descartado para o sistema de tratamento e para a segunda etapa é utilizada a água proveniente do sistema de distribuição, enquanto o efluente gerado é encaminhado para o tanque de armazenagem, para utilização na próxima operação de lavagem. Um esquema da proposta descrita é apresentado na figura 4.17.

Figura 4.17 – Proposta para a realização da lavagem de reatores e tanques em duas etapas e reúso do efluente da segunda etapa de lavagem.

Nesta proposta o direcionamento do fluxo e o controle da operação da bomba de lavagem, seriam realizados por um temporizador e pelos condutivímetros, enquanto o direcionamento do efluente do reator seria controlado apenas pelo temporizador.

Para a avaliação da alternativa proposta, pode-se efetuar a modelagem matemática do sistema apresentado na figura 4.17, resultando nas seguintes expressões:

No reator:

- $V_A = \text{constante (hipótese)}$
- $$\frac{dC_R}{dt} = -\frac{1}{\theta} * (C_R - C_{LAV}) \quad (4.6)$$

No tanque de Água para Reúso:

$$\bullet \quad \frac{dV_2}{dt} = Q_{LAV} \quad (4.7)$$

$$\bullet \quad \frac{d(V_2 * C_F)}{dt} = Q_{LAV} * C_R \quad (4.8)$$

Desenvolvendo-se a expressão 4.8, obtém-se:

$$\bullet \quad \frac{dC_F}{dt} = \frac{Q_{LAV}}{V_2} * (C_R - C_F) \quad (4.9)$$

Para que se possa obter a variação da concentração do contaminante na água de reúso, deve-se utilizar as expressões (4.6), (4.7) e (4.8), o tempo de detenção hidráulico do reator, a concentração inicial do contaminante no reator, a vazão de água de lavagem e a concentração do contaminante na água de lavagem, de acordo com o modelo apresentado na figura 4.18.

Figura 4.18 – Modelo para determinação da variação da concentração de contaminantes no reator e no tanque de água para reúso

Por meio do modelo apresentado na figura 4.18 é possível determinar a variação da concentração do efluente do reator e do efluente acumulado no tanque para reúso, bem como do efluente encaminhado para a estação de tratamento.

Para a simulação da operação de lavagem de reatores e tanques foi desenvolvido um programa computacional, simplificado, em Turbo Basic, no qual é utilizado o método de Runge-Kutta para a resolução das equações diferenciais. A listagem do programa desenvolvido está apresentada no Apêndice I.

Por meio do programa desenvolvido pode-se fazer uma avaliação do processo de lavagem, de forma a determinar as condições operacionais, teóricas, que possibilitem a operação de lavagem dos reatores e tanques em duas etapas de mesma duração. Nesta avaliação adotam-se os parâmetros de operação utilizados no ensaio de lavagem do reator 40 e o tempo de detenção hidráulico obtido na figura 4.16. Os resultados obtidos na simulação da operação de lavagem do reator em duas etapas estão apresentados na tabela 4.19. Deve-se observar que o tempo de duração para cada etapa de lavagem foi obtido pelo método iterativo, com o uso do programa desenvolvido para a simulação.

Tabela 4.19 - Resultados da simulação da lavagem de reatores e tanques em duas etapas

Lavagem	Etapas de Lavagem	Volume de Efluente (L)	Condutividade no Reator ($\mu\text{S/cm}$)	Volume de Água de Reúso (L)	Condutividade na Água de Reúso ($\mu\text{S/cm}$)
1	Primeira	500	75,41	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	52,52
2	Primeira	500	82,51	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,23
3	Primeira	500	84,19	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,63
4	Primeira	500	84,59	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,73
5	Primeira	500	84,69	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75

Tabela 4.19 - Resultados da simulação da lavagem de reatores e tanques em duas etapas (continuação)

Lavagem	Etapa de Lavagem	Volume de Efluente (L)	Condutividade no Reator ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Volume de Água de Reúso (L)	Condutividade na Água de Reúso ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
6	Primeira	500	84,70	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75
7	Primeira	500	84,70	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75
8	Primeira	500	84,70	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75
9	Primeira	500	84,70	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75
10	Primeira	500	84,70	--x--	--x--
	Segunda	--x--	--x--	500	54,75

Tempo total de lavagem = 5,0 minutos

Tempo de lavagem por etapa = 2,5 minutos

Tempo de detenção hidráulico no reator = 0,61 minuto

Vazão de água de lavagem = 200 L/minuto

Condutividade da água de lavagem = 45,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Condutividade estabelecida no reator no início da operação de lavagem = 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Os dados obtidos por meio da simulação do processo de lavagem de reatores e tanques demonstram, pelo menos na teoria, que o processo de lavagem pode ser efetuado em duas etapas, o que conduz à redução na demanda de água industrial. Contudo, a redução na demanda de água estará restrita ao volume de água utilizado durante a operação automatizada de lavagem que corresponde a, aproximadamente, 62 % do volume total de água utilizado.

Desta forma, com a adoção do procedimento de lavagem dividido em duas etapas, é possível obter uma redução adicional na demanda de água da ordem de 31 %, o que equivale a um volume de 29,45 m^3/d , já que, após o procedimento de otimização da

operação de lavagem de reatores e tanques, o volume total de água consumido foi reduzido de 256 m³/d para 95 m³/d.

4.8.1.1.2 – Aproveitamento do efluente segregado nas operações de lavagem de reatores e tanques, como água de reposição em torres de resfriamento

Outra opção para o efluente resultante da operação de lavagem de reatores e tanques se refere a utilização de toda a água segregada no processo, para a reposição das perdas nas torres de resfriamento. Neste caso pode-se fazer uma avaliação no sentido de aproveitar um maior volume de efluente, em comparação à opção pelo reúso na lavagem de reatores e tanques em duas etapas.

Tomando-se como referência os parâmetros operacionais característicos para sistemas de resfriamento, os quais são apresentados a seguir, e utilizando-se os dados disponíveis sobre o processo de lavagem de reatores e tanques, pode-se fazer a simulação para determinar o volume de água, resultante da operação de lavagem, que estaria disponível para ser utilizado na reposição das perdas no sistema de resfriamento.

Parâmetros operacionais característicos para sistemas de resfriamento:

- concentração de sais dissolvidos totais (SDT), na água de circulação → 1000 mg/L
- ciclos de Concentração → 5 ($SDT_{circulação}/SDT_{reposição}$)
- concentração Máxima de Sais Dissolvidos na Água de Reposição → 200 mg/L

Dados referentes ao processo de lavagem de reatores e tanques:

- vazão de Lavagem → 200 L/minutos
- condutividade da Água de Lavagem → 45,3 µS/cm (23,45 mg NaCl/L)[§]

[§] - $SDT = 0,5172 * \text{Condutividade}$, expressão válida para o intervalo de 0 a 5000 µS/cm (DOW, 1994)

- condutividade do Efluente Acumulado no Reator → 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (962 mg NaCl/L)[§]
- tempo de detenção hidráulico → 0,61 minuto

Para a avaliação do potencial de reúso da água de lavagem de reatores e tanques será feita uma simulação para verificar a concentração final do efluente obtido em função da concentração inicial de contaminante estabelecida nos reatores e tanques. Para estas simulações foi considerado o tempo de detenção hidráulico obtido pela linearização da curva apresentada na figura 4.15. Os resultados obtidos na simulação da lavagem são apresentados na tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Resultados da simulação da operação de lavagem de reatores e tanques para avaliação do potencial de reúso na torre de resfriamento

Tempo a Partir do Início da Lavagem para desvio do Efluente para o Tanque de Reúso (minutos)	Volume de Efluente Lançado para a ETE (Litros)	Concentração Final de Sais no Efluente Encaminhado para a ETE (mg/L)	Volume de Água para Reúso na Torre (Litros)	Concentração Final de Sais no Efluente no Tanque de Reúso (mg/L)
0,0	0	0	961	142,6
0,5	100	663,9	861	82,0
1,0	200	484,8	761	52,6
1,5	300	372,4	661	38,2
2,0	400	310,6	561	32,1
2,5	500	248,6	461	27,5
3,0	600	212,9	361	25,6

Por meio da simulação do processo de lavagem de reatores e tanques, tomando-se como base os dados obtidos por meio de uma avaliação de campo, verifica-se que no processo de lavagem com controle automático, todo o efluente originado na operação

poderia ser utilizado como água de reposição na torre de resfriamento, considerando-se somente a concentração de SDT como parâmetro de controle. Isto representa um valor de aproximadamente 56,25 % do volume de água utilizado na operação de lavagem, já que a lavagem automática corresponde a 4,5 minutos do tempo em que a água é utilizada.

Assim sendo, após o procedimento de otimização da lavagem pelo uso de condutivímetros, o volume de água disponível para reposição na torre de resfriamento seria de 53,44 m³/dia e, com isto, a redução global no consumo de água na empresa passaria a ser de 12,4 %.

4.8.1.2. Avaliação da área de utilidades

Na área de Utilidades, os principais processos que possibilitam a aplicação da prática de reúso em cascata referem-se àqueles adotados para a produção de água com alto grau de qualidade como, por exemplo, os processos de troca iônica e de osmose reversa, os quais são utilizados em muitas indústrias, inclusive na KODAK.

Em relação ao potencial da prática do reúso em cascata, os processos de tratamento devem ser considerados como sistemas produtivos, onde a água é um insumo utilizado para a obtenção de um produto, a água purificada, com conseqüente geração de um subproduto, que é o efluente. Para esta condição considera-se que o efluente que está deixando o processo é a uma parcela de água foi utilizada para a assimilação do contaminantes indesejáveis, o que permite a utilização do termo reúso em cascata.

Como os principais conceitos sobre os processos de troca iônica e osmose reversa já foram apresentados e detalhados nos anexos 1 e 2, será feita, apenas, uma avaliação do potencial de reúso dos efluentes gerados nestes processos, dando-se ênfase àquele que apresenta a maior geração de efluentes e, conseqüentemente, o maior potencial para a redução do consumo de água.

De acordo com os dados apresentados nos itens 4.4.3.1 e 4.4.3.2, os efluentes com potencial para reúso em cascata são:

Sistema de Troca Iônica:

- Água Industrial da Expansão dos Leitos de Resinas de Troca Iônica ➔ 57 m³/semana

Sistema de Osmose Reversa:

- Concentrado da Unidade de Osmose Reversa ➔ 3,2 m³/h

A avaliação do potencial de reúso destes efluentes deve considerar a composição físico-química de cada um, o que possibilitará identificar a aplicação mais adequada para os mesmos, assim como as medidas a serem adotada para viabilizar esta aplicação.

Com relação ao processo de troca iônica, de acordo com as informações apresentadas no Anexo B, verifica-se que a água utilizada para a expansão dos leitos de resinas apresenta, basicamente, a mesma composição da água industrial distribuída para as diversas aplicações industriais, com exceção da presença de materiais em suspensão. Assim sendo, o potencial para o reúso deste efluente é elevado.

No caso do concentrado da unidade de osmose reversa, com base nas características de operação do sistema e da qualidade da água disponível, é possível obter, utilizando-se programas específicos, a sua composição.

Utilizando-se o programa empresa Osmonics (1999), e os dados de qualidade de água apresentados na Tabela 4.1, após as devidas conversões, obtém-se os dados apresentados na tabela 4.21. Os resultados obtidos no programa de cálculo estão apresentados no Apêndice II.

Tabela 4.21 – Características do concentrado da unidade de osmose reversa utilizada para produção de água deionizada na KODAK.

Parâmetro	Concentração (mg/L) ^a	
	<i>Alimentação da Osmose^b</i>	<i>Concentrado da Osmose^c</i>
Sólidos Dissolvidos Totais	64,21 ^c	159
HCO ₃ ⁻	39,82	98,4
CO ₃ ²⁻	0	0,1
Cálcio	6,30	15,7
Nitratos	0,31	0,8
Cloretos	5,97	14,9
Sódio	11,79 ^c	29,1
pH (unidades)	6,72	7,10

a – A menos que a unidade seja especificada

b – Características da água disponível na KODAK, após as devidas conversões

c – Calculado pelo programa

Tomando-se como base, apenas, a concentração de sais dissolvidos, verifica-se que o concentrado produzido na unidade de osmose reversa apresenta potencial para ser utilizado, sem qualquer tipo de tratamento adicional, no sistema de água de resfriamento, o que também poderia ser feito com o efluente proveniente da operação de expansão dos leitos de resinas. A utilização do efluente da expansão dos leitos de resina, no sistema de resfriamento, pode ser justificada pelo fato de sua geração ser intermitente, assim como por questões de simplicidade.

Antes da implantação da unidade de ultrafiltração, na Unidade de Recuperação de Prata, utilizava-se o permeado produzido, na unidade de osmose reversa existente, como água de reposição na torre de resfriamento. Devido às características das correntes processadas na Unidade de Recuperação de Prata, o permeado poderia apresentar características equivalentes ao concentrado da unidade de osmose reversa utilizada para produção de água deionizada.

Então, para que fosse possível comprovar o potencial de utilização do concentrado da unidade de osmose reversa utilizada para produção de água deionizada, foi efetuada a

coleta e caracterização de amostras das duas unidades, sendo uma amostra do concentrado da unidade de osmose reversa que produz água deionizada e uma amostra do permeado da unidade utilizada na recuperação de prata.

As análises destas amostras foram efetuadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária de Escola Politécnica da USP, em 28/06/2000, sendo obtidos os resultados apresentados na tabela 4.22.

Tabela 4.22 – Resultados da caracterização das amostras das unidades de osmose reversa da KODAK

Parâmetro	Resultados	
	<i>Concentrado da Unidade de Água Deionizada</i>	<i>Concentrado da Unidade de Recuperação de Prata</i>
pH (unidades)	7,1	6,9
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	120	144
DQO (mg/L)	8	12
Turbidez (UNT)	0,2	4,0
SDT (mg/L)	180	160

Os dados obtidos na caracterização das amostras demonstram que a qualidade do concentrado da unidade de osmose reversa utilizada para a produção de água deionizada é equivalente à do permeado da unidade de recuperação de prata. Estes resultados, associados com os dados relativos aos requisitos de qualidade de água para uso em sistemas de resfriamento, demonstram a viabilidade da prática de reúso proposta.

Considerando-se o volume de água resultante da expansão dos leitos de resinas de troca iônica, assim como àquele gerado na unidade de osmose reversa, obtém-se que o potencial para reúso é de 37 m³/dia, sendo 25,6 m³/dia referentes à unidade de osmose reversa (considerando-se a operação de 8 horas diárias), e 11,4 m³/d referentes ao sistema de troca iônica. Cabe ressaltar que a combinação entre os efluentes originados na Área de Utilidades irá resultar em uma corrente com melhores características do que aquelas apresentadas nas tabelas 4.20 e 4.21, já que o

efluente da unidade de troca iônica apresenta uma composição similar à da água de processo, com exceção da concentração de sólidos em suspensão.

4.8.3 – Redução da demanda de água com a utilização do reúso em cascata

Para as unidades avaliadas foi possível verificar que a prática de reúso em cascata é potencialmente viável, ressaltando-se que na Área de Fotoquímicos existem duas alternativas distintas, ou seja, o reúso no próprio processo de origem, ou então, o reúso do efluente gerado nas operações de lavagem para reposição das perdas no sistema de resfriamento de água, mesma aplicação identificada para os efluentes dos sistemas de produção de água deionizada da Área de Utilidades.

Pelos dados apresentados, tanto na Área de Fotoquímicos, como na Área de Utilidades, o potencial de reúso em cascata pode resultar em uma redução significativa na demanda de água pela KODAK, que é o principal objetivo de qualquer modelo de gerenciamento de águas e efluentes.

Antes do processo de otimização da lavagem o consumo de água para esta finalidade era de 256 m³/dia (ver tabela 4.5). Pela implantação do controle automático do processo de lavagem, por meio do uso de condutivímetros, esse valor passaria para 95 m³/dia.

Promovendo-se a implantação do processo de lavagem de reatores e tanques em duas etapas, o consumo de água para a lavagem de reatores passaria a ser de apenas 65,55 m³/d, o que representa uma redução do consumo de água na Área de Fotoquímicos da ordem de 74,4 %, enquanto a redução global passaria a ser de 11,0 %.

No caso da utilização do efluente segregado na operação de lavagem de reatores e tanques como água de reposição em torres de resfriamento, poder-se-ia aproveitar um volume de 53,44 m³/dia, resultando em uma redução global no consumo de água igual a 12,4 %.

Com a aplicação do conceito do reúso em cascata na Área de Utilidades da KODAK, é possível disponibilizar um volume de 37 m³/d de água, que pode ser utilizado para

a reposição de perdas em torres de resfriamento. Isto por sua vez possibilita uma redução adicional de 2,14 % na demanda de água pela empresa.

Por meio da otimização do processo de lavagem de reatores e tanques na Área de Fotoquímicos e aplicação do conceito do reúso em cascata, considerando-se a aplicação do efluente segregado apenas para a reposição de perdas em torres de resfriamento, é possível reduzir a captação de água em 251,44 m³/d, o que equivale a 14,53 % do volume atualmente captado. Como consequência da redução do volume de água captado, irá ocorrer uma redução no volume de efluente a ser tratado na ETE, o qual passará de 1.094 m³/d para 842,6 m³/d, uma redução de, aproximadamente, 23 %.

Na tabela 4.23 e figura 4.19 são apresentados os novos fluxos de água e efluentes resultantes do processo de otimização na área de fotoquímicos e do reúso em cascata.

4.8.4. Avaliação do reúso do efluente tratado

A prática de reúso de efluentes tratados pode contemplar duas alternativas distintas, quais sejam, o reúso direto ou o reúso após a adoção de técnicas complementares de tratamento.

Para o reúso direto, após a avaliação das características do efluente disponível e dos requisitos de qualidade exigidos para a aplicação que se pretende, o efluente é encaminhado, nas condições em que se encontra, da estação de tratamento até o ponto em que será utilizado. No caso do reúso após a utilização de técnicas complementares, o efluente disponível pode apresentar, ainda, algum contaminante que comprometa ou inviabilize o reúso direto, assim sendo, é necessária a utilização de técnicas de tratamento que possam adequar as suas características aos requisitos exigidos para uso.

Tabela 4.23 – Demanda de água e geração de efluentes na KODAK após o processo de otimização e reúso em cascata

Unidade Industrial	Demanda de Água (m³/d)	Usos	Geração de Efluentes (m³/d)
Produção de Fotoquímicos	Água Tratada (310)	Lavagem de Equipamentos (95 m ³ /d) Incorporado ao Produto (215 m ³ /d)	Efluente (41,6) Água de Reúso (53,4)
Produção de Nitrato de Prata, Dispersões e Emulsões	Água Tratada (542) Água Destilada (32)	Produção de Gelatina (16 m ³ /d) Uso no Processo e Lavagens (542 m ³ /d) Evaporada (16 m ³ /d)	Efluente (363) Água Rica (142) Água de Reúso (37)
Produção de Água Destilada	Água Tratada (48)	Produção de Água Destilada (40 m ³ /d)	Purga (8)
Produção de Chapas de Raios-X e Papel Fotográfico	Água Destilada (8)	Lavagem de equipamentos (8 m ³ /d) Perda por evaporação (16 m ³ /d)	Água Rica (8)
Recuperação de Prata	--x--	--x--	150
Torre de Resfriamento	Água Tratada (231,6) Água de Reúso (90,4)	Processos de troca térmica, evaporação (250 m ³ /d)	Purga (72)
Geração de Vapor	Água Tratada (60)	Evaporação (56 m ³ /d)	Purga (4)
Uso Doméstico	Água Tratada (288)	Usos diversos (288 m ³ /d)	Efluente (288)
Estação de Tratamento de Esgotos	--x--	--x--	Efluente Tratado (926,6)

Figura 4.19 - Fluxos de água e efluentes após o processo de otimização do uso da água e do reúso em cascata

Qualquer que seja a estratégia adotada, é de fundamental importância que a prática de reúso seja devidamente planejada, a fim de que sejam obtidos os máximos benefícios que podem advir da mesma e para que ela possa ser sustentável ao longo do tempo.

Assim sendo, antes que a avaliação do potencial de reúso do efluente disponível na indústria seja iniciada, é necessário que todos os fatores que possam influenciar na quantidade e composição do mesmo sejam devidamente contemplados.

Isto implica dizer que, necessariamente, a avaliação do potencial de reúso de efluentes deve ser posterior a qualquer alternativa de racionalização do uso da água, já que estas irão afetar, de forma significativa, tanto a quantidade como a qualidade do efluente.

Muito embora, neste trabalho não tenha sido feita a avaliação completa do potencial de racionalização do uso da água e que ainda existe potencial para isto, a título de demonstração, será feita a avaliação do potencial de reúso do efluente originado na estação de tratamento da empresa. Esta avaliação tem por objetivo, apresentar uma metodologia para o desenvolvimento a implantação da prática do reúso de efluentes, assim como as principais limitações que podem estar associadas a este conceito.

Considerando-se que, inicialmente, deve-se priorizar o reúso de efluentes sem qualquer tipo de tratamento adicional, ou então, após a utilização de procedimentos simplificados para o ajuste de alguns parâmetros de qualidade como, por exemplo, o valor do pH e a concentração de microrganismos, caso o efluente seja proveniente de um sistema biológico.

De uma maneira geral, a prática do reúso só poderá ser aplicada caso as características do efluente disponível atenda aos requisitos de qualidade exigidos pela aplicação na qual se pretende reusar o efluente. Isto implica na necessidade de identificar as demandas potenciais para o efluente disponível.

A identificação das possíveis aplicações para o efluente pode ser feita por meio da comparação entre parâmetros genéricos de qualidade, exigidos pela aplicação na qual se pretende fazer o reúso, assim como do próprio efluente.

Dentre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de Sais Dissolvidos Totais (SDT), pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de SDT ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante.

Outro fator que justifica o uso da concentração de SDT, na avaliação do potencial de reúso de efluentes, está associado ao seu aumento pois, à medida que o efluente vai sendo reutilizado, uma carga adicional de sais vai sendo incorporada ao mesmo, seja devido ao processo de evaporação da água, ou então, pela adição ou incorporação de compostos químicos.

Desta forma, para que a prática do reúso seja sustentável, é de fundamental importância que a evolução da concentração SDT, no sistema, seja devidamente avaliada. Isto irá permitir a determinação do máximo potencial de reúso de efluentes, sem que os padrões de qualidade requeridos para uso e os limites máximos para lançamento de efluentes, sejam ultrapassados.

A evolução da concentração de SDT em um sistema onde a prática de reúso é utilizada pode ser obtida por meio de um balanço de massa. Por meio deste balanço de massa, inicialmente, a partir dos dados disponíveis sobre demanda de água, perdas por evaporação e efluentes lançados para o meio ambiente, pode-se obter a carga SDT que é incorporada à água, nos diversos processos produtivos desenvolvidos. Na figura 4.20 é apresentado um diagrama genérico para a obtenção da carga de SDT incorporada em um sistema.

Figura 4.20 – Diagrama esquemático para a obtenção da carga de SDT incorporada em um sistema produtivo

Uma vez obtida a carga de SDT incorporada no sistema, deve-se avaliar a variação da concentração de SDT, no efluente e na água de reúso, em função da fração de efluente recirculada, o que também é feito por meio de um balanço de massa, onde é feita a distinção entre os processos que utilizam água industrial ou potável, daqueles que irão utilizar a água de reúso, além de ter sido incorporada uma linha de reciclo de efluente, conforme diagrama apresentado na figura 4.21.

Figura 4.21– Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso, com a recirculação de efluente

A resolução do conjunto de equações resultantes do balanço de massa elaborado com base na figura 4.21 pode feita por meio da ferramenta SOLVER, disponível no programa EXCEL.

Cabe ressaltar, apenas, que para cada caso específico devem ser desenvolvidos diagramas específicos para a obtenção das equações que serão utilizadas no balanço de massa, mas que estes serão uma variante dos diagramas apresentados.

4.8.4.1. Determinação do potencial de reúso de efluentes na KODAK

Conforme mencionado, a obtenção do potencial de reúso de efluentes deve considerar, inicialmente, as atividades nas quais pode-se utilizar o efluente disponível, a demanda de água exigida e os requisitos de qualidade para a água.

Dentre as atividades com potencial para a aplicação da prática de reúso de efluentes, as quais são desenvolvidas na KODAK, pode-se considerar as seguintes:

- reposição de Perdas no Sistema de Resfriamento;
- lavagem de Veículos;
- descargas em Sanitários;
- irrigação de Áreas Verdes.

A viabilidade de utilização do efluente disponível na KODAK, nas aplicações indicadas acima, considerando-se como contaminante limitante a concentração de SDT, deve ser feita por meio da comparação da concentração máxima de SDT recomenda para cada aplicação e a concentração de SDT no efluente disponível.

Na tabela 4.24 são apresentados os valores recomendados para a concentração máxima de SDT na água a ser utilizada para cada uma das aplicações citadas anteriormente e a concentração de SDT no efluente da KODAK.

Tabela 4.24 – Valores máximos recomendados para a concentração de SDT em função do uso e concentração de SDT no efluente da KODAK

Uso	Valor Recomendado para a Concentração de SDT (mg/L)
Reposição em Sistemas de Resfriamento	500
Lavagem de veículos, descarga em sanitários e irrigação de áreas verdes	1.000 ^a
Concentração de SDT no Efluente da KODAK	800 ^b

a – Valor máximo recomendado para água potável, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469, de 29/12/2000.

b – Resultado da caracterização do permeado da Unidade de Ultrafiltração, realizada no Laboratório do Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP, em 17/05/2002.

Comparando-se os dados apresentados na tabela 4.23, verifica-se que o efluente da KODAK só não apresenta potencial para ser utilizado como água de reposição no sistema de resfriamento.

As demandas de água para as aplicações onde o reúso do efluente é, a princípio, viável são apresentadas na tabela 4.25.

Tabela 4.25 – Demandas de água nas aplicações onde o reúso do efluente da KODAK é viável

Aplicação	Demanda
Lavagem de veículos	209 a 250 L/veículo
Descarga em sanitários	6 a 10 L/descarga ^a
Irrigação de áreas verdes	2 L/m ² .dia
Torre de Resfriamento	231,6 m ³ /d

a – Considerando-se o uso de caixa acoplada.

Fonte: Tomaz, 2000

O consumo diário de água para cada aplicação é obtido por meio das informações referentes à frequência de uso e ao valor da grandeza pela qual o consumo de água é expresso, conforme apresentado na tabela 4.26.

Como o estudo será feito com base na concentração de SDT, deve-se fazer a determinação da carga de sais incorporada ao sistema como um todo, por meio de um balanço de massa no diagrama apresentado na figura 4.22, antes da implementação dos procedimentos de otimização do uso da água. Após a determinação da carga de sais efetua-se um novo balanço para a determinação da nova concentração SDT no efluente lançado para o meio, após a implementação dos procedimentos de otimização. O diagrama da figura 4.23 é resultante da simplificação da figura 4.4.

Tabela 4.26 – Demanda de água de reúso por aplicação

Aplicação	Demanda Específica	Unidades ^a	Frequência de Uso ^b	Demanda Diária (m ³)
Lavagem de veículos	250 L/veículo ^c	82 veículos	0,20 vezes/dia ^d	4,1
Descarga em sanitários	10 L/descarga ^c	910 funcionários	3 vezes/dia.funcionário	27,3
Irrigação de áreas verdes	2 L/m ² .dia	9.000 m ² ^e	Diária	18,0
Torre de Resfriamento	--X--	--X--	--X--	231,6
Total				281

a – Fonte: Lemos, 2002 (e-mail)

b – Valor obtido em TOMAZ, 2000

c – Adotou-se o maior dos valores recomendados

d – Valor adotado pelo autor

e – Valor equivalente a 2% do total da área de gramado, que é de 450.000 m²

Figura 4.22 – Diagrama para a determinação da carga de sais e concentração de SDT no efluente da KODAK

Balanço de Massa:

$$Q_a * C_a + \text{Carga de Sais} =$$

$$Q_{\text{Evap}} * C_{\text{Evap}} + Q_{\text{Inc}} * C_{\text{Inc}} + Q_{\text{Perda}} * C_{\text{Perda}} + Q_{\text{Efluente}} * C_{\text{Efluente}} \quad (4.10)$$

Dados:

$Q_A = 1.731 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_A = 64,21 \text{ mg/L}^a$	$Q_{\text{Evap}} = 338 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_{\text{Evap}} = 0$
$Q_{\text{Inc}} = 215 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_{\text{Inc}} = 0$	$Q_{\text{Perda}} = 0$	$C_{\text{Perda}} = 64,21 \text{ mg/L}$
$Q_{\text{Efluente}} = 1.178 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_{\text{Efluente}} = 800 \text{ mg/L}$		

a – Valor da tabela 4.20

1 mg/L = 1 g/m³

Substituindo-se os valores apresentados acima, na expressão 4.10, obtém-se:

$$\text{Carga de Sais} = 831.252,5 \text{ gramas/dia.}$$

Com a carga de sais determinada, pode-se determinar a concentração de SDT no efluente da KODAK após o processo de otimização do uso da água e da aplicação do reúso em cascata, utilizando-se os dados apresentados a seguir.

$Q_A = 1.479,6 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_A = 64,21 \text{ mg/L}^a$	$Q_{\text{Evap}} = 338 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_{\text{Evap}} = 0$
$Q_{\text{Inc}} = 215 \text{ m}^3/\text{d}$	$C_{\text{Inc}} = 0$	$Q_{\text{Perda}} = 0$	$C_{\text{Perda}} = 64,21 \text{ mg/L}$
$Q_{\text{Efluente}} = 926,6 \text{ m}^3/\text{d}$	Carga de Sais 831.252,5 gramas/d	$C_{\text{Efluente}} = A$ determinar	

a – Valor da tabela 4.20

Substituindo-se os valores apresentados acima, na expressão 4.10, obtém-se:

$$C_{\text{Efluente}} = 999,63 \text{ mg/L}$$

Para a avaliação do potencial de reúso, com base no diagrama da figura 4.23, deve-se elaborar as equações do balanço de massa para a determinar a variação da concentração de SDT no efluente em função da relação percentual entre a quantidade de efluente recirculado e a demanda de água de reúso.

Figura 4.23 – Diagrama para a determinação da variação da concentração de SDT no efluente da KODAK em função da taxa de reúso

Equações e Dados para o Balanço de Massa

Equações

$$Q_A * C_A + \text{Carga de Sais} =$$

$$Q_{\text{perda1}} * C_{\text{perda1}} + Q_{\text{MA}} * C_{\text{MA}} + Q_{\text{perda}} * C_{\text{perda}} + Q_{\text{Evap}} * C_{\text{Evap}} + Q_{\text{INC}} * C_{\text{INC}} \quad (4.11)$$

$$Q_{\text{MA}} = Q_{\text{Efluente}} - Q_{\text{Reciclo}} \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{Reciclo}} = X * Q_{\text{Reuso}} \quad (4.13)$$

$$C_{\text{Reuso}} = (Q_{\text{A1}} * C_A + Q_{\text{Reciclo}} * C_{\text{Efluente}}) / Q_{\text{Reuso}} \quad (4.14)$$

$$Q_{A1} = Q_{\text{Reúso}} - Q_{\text{Reciclo}} \quad (4.15)$$

$$Q_A = Q_{A0} - Q_{\text{Reciclo}} \quad (4.16)$$

$$Q_{\text{Efluente}} = Q_{\text{Efluente0}} - Q_{\text{perda1}} \quad (4.17)$$

Dados

$Q_{\text{Reúso}} = 281 \text{ m}^3/\text{d}$	$Q_{\text{INC}} = 212 \text{ m}^3/\text{d}$	$Q_{\text{perda}} = 0$
$Q_{\text{perda1}} = Q_{\text{IRRIG}} = 18 \text{ m}^3/\text{d}$	$Q_{A0} = 1.479,6 \text{ m}^3/\text{d}$	$Q_{\text{Efluente0}} = 926,6 \text{ m}^3/\text{d}$
$X = Q_{\text{Reciclo}}/Q_{\text{Reúso}}$	$C_A = C_{\text{perda}} = 64,21 \text{ mg/L}$	$C_{\text{INC}} = 0$
$C_{\text{Evap}} = 0$	$C_{\text{perda1}} = C_{\text{Reúso}} = ?$	$C_{\text{MA}} = C_{\text{Reciclo}} = C_{\text{Efluente}} = ?$

Rearranjando-se as expressões apresentadas anteriormente (4.11 a 4.17), obtém-se:

$$C_{\text{Reúso}} = C_A * (1-X) + X * C_{\text{Efluente}} \quad (4.18)$$

$$(Q_{A0} - X * Q_{\text{Reúso}}) * C_A + \text{Sais} = Q_{\text{IRRIG}} * (C_A * (1-X) + X * C_{\text{Efluente}}) + [(Q_{\text{Efluente0}} - Q_{\text{IRRIG}}) - X * Q_{\text{Reúso}}] * C_{\text{Efluente}} \quad (4.19)$$

Embora a concentração máxima de SDT recomendada para sistemas de resfriamento seja 500 mg/L, a avaliação do potencial de reúso será feita considerando-se uma concentração de 200 mg/L, para que as características de operação da torre de resfriamento não sejam alteradas.

Por meio do uso do Programa Microsoft EXCEL, obtém-se os valores apresentados na tabela 4.27.

Tabela 4.27 – Resultados da avaliação do potencial de reúso do efluente tratado da ETE da KODAK

Taxa de Reciclo^a	Q_A (m³/d)	Q_{A1} (m³/d)	Q_{Reciclo} (m³/d)	Q_{MA} (m³/d)	C_{Efluente} (mg/L)	C_{Reúso} (mg/L)
0,00	1479,6	281,00	0,00	908,60	1018,16	64,21
0,10	1451,5	252,90	28,10	880,50	1048,64	162,65
0,15	1437,5	238,85	42,15	866,45	1064,57	214,26
0,20	1423,4	224,80	56,20	852,40	1081,00	267,57
0,30	1395,3	196,70	84,30	824,30	1115,40	379,57
0,40	1367,2	168,60	112,40	796,20	1152,06	499,35
0,50	1339,1	140,50	140,50	768,10	1191,20	627,70
0,60	1311,0	112,40	168,60	740,00	1233,08	765,53
0,70	1282,9	84,30	196,70	711,90	1278,00	913,86
0,80	1254,8	56,20	224,80	683,80	1326,31	1073,89
0,90	1226,7	28,10	252,90	655,70	1378,39	1246,97
1,00	1198,6	0,00	281,00	627,60	1434,72	1434,72

a – Valor relativo à máxima demanda de água de reúso, que é de 281,0 m³/d.

Pelos resultados obtidos verifica-se que o potencial de reúso de efluente da KODAK restringe-se a um volume de aproximadamente 40 m³/d, o que representa menos de 15% da demanda máxima de água de reúso, quando é considerada a limitação de SDT para reposição na torre de resfriamento. Isto porque acima deste valor, a concentração de SDT supera o limite máximo estabelecido para a reposição de perdas no sistema de resfriamento.

Apenas como ilustração, na tabela 4.28 são apresentados os resultados referentes à evolução da concentração de SDT, caso não fosse considerada a opção do reúso para a reposição das perdas no sistema de resfriamento.

Tabela 4.28 – Resultados da avaliação do potencial de reúso do efluente tratado da ETE da KODAK, considerado-se a reposição de água no sistema de resfriamento

Taxa de Reciclo ^a	Q _A (m ³ /d)	Q _{A1} (m ³ /d)	Q _{Reciclo} (m ³ /d)	Q _{MA} (m ³ /d)	C _{Efluente} (mg/L)	C _{Reúso} (mg/L)
0,0	1479,6	49,40	0,00	908,60	1018,16	64,21
0,1	1474,7	44,46	4,94	903,66	1021,82	159,97
0,2	1469,7	39,52	9,88	898,72	1025,50	256,47
0,3	1464,8	34,58	14,82	893,78	1029,21	353,71
0,4	1459,8	29,64	19,76	888,84	1032,95	451,71
0,5	1454,9	24,70	24,70	883,90	1036,71	550,46
0,6	1450,0	19,76	29,64	878,96	1040,50	649,98
0,7	1445,0	14,82	34,58	874,02	1044,32	750,28
0,8	1440,1	9,88	39,52	869,08	1048,16	851,37
0,9	1435,1	4,94	44,46	864,14	1052,03	953,25
1,0	1430,2	0,00	49,40	859,20	1055,93	1055,93

a – Valor relativo à máxima demanda de água de reúso, que é de 49,4 m³/d.

Quando se exclui a opção de reúso de água no sistema de resfriamento, o volume máximo de efluente que pode ser aproveitado equivale a 44,46 m³/d, valor bastante próximo ao obtido no caso onde o reúso para a reposição de perdas no sistema de resfriamento é considerado.

Com a aplicação da prática de reúso do efluente tratado seria possível, pelo menos na teoria e sem considerar a opção de reúso no sistema de resfriamento, obter uma redução adicional de 3% na captação de água. Contudo, se forem considerados os investimentos adicionais que deveriam ser efetuados para viabilizar o reúso desta parcela de efluente nas aplicações identificadas, pode-se chegar à conclusão que esta alternativa não é viável, pelos seguintes motivos:

- A maior demanda de água de reúso é para descargas em sanitários, o que exige a construção de um sistema de distribuição independente do que já existe;

- O sistema de distribuição e armazenagem pode resultar em um investimento bastante significativo uma vez que as distâncias envolvidas são relativamente elevadas, da ordem de quilômetros;
- Os resultados obtidos com o procedimento de otimização do uso da água e do reúso em cascata, aplicados parcialmente, resultaram em uma economia de água muito mais significativa;
- Como apenas as Áreas de Fotoquímicos e Utilidades foram consideradas para o procedimento de otimização do uso da água, ainda existe um grande potencial para a redução no consumo em outras áreas;
- Qualquer redução adicional no consumo de água, considerando-se a otimização do uso e o reúso em cascata, irá conduzir a uma elevação na concentração de SDT no efluente da ETE, reduzindo, ainda mais, o potencial de reúso do efluente tratado.

Caso tivesse sido optado em aplicar somente o conceito de reúso de efluentes, tomando-se como base os dados apresentados na tabela 4.5, a redução máxima no consumo de água seria da ordem de 50 m³/dia, que é muito inferior àquele obtido com a aplicação do uso racional.

A viabilização, em maior escala, do reúso do efluente da ETE da KODAK só poderia ser feita mediante a utilização de processos complementares de tratamento de efluentes como, por exemplo, um sistema de osmose reversa, o que também resultaria em um investimento adicional para o tratamento do efluente. Em razão de existir esta possibilidade, foi feito, em laboratório, um ensaio de tratamento do efluente da Unidade de Ultrafiltração em uma unidade piloto de Osmose Reversa.

Este ensaio teve como principal objetivo demonstrar o potencial de um sistema de osmose reversa para a viabilização do reúso de efluentes com elevada concentração salina.

A unidade piloto de osmose reversa utilizada foi obtida junto à empresa Perenne Equipamentos e Sistemas de Água Ltda. As principais características desta unidade estão apresentadas na tabela 4.29.

Tabela 4.29 – Características da unidade piloto de osmose reversa

Componentes	Quantidade e Características
Membrana	Quantidade: Uma Configuração: Enrolada em espiral Modelo: RE – 1,8” x 12” Rejeição de Sais: 96 %
Bomba de Alta Pressão	Quantidade: Uma Tensão de alimentação: 240 V Vazão de Descarga: 1,6 GPM (~ 6,0 L/min) Pressão de Descarga: 140 PSI (~ 10 bar)
Medidor de Vazão	Quantidade: Um na linha de permeado Tipo: Rotâmetro Escala: 0 a 250 mL/min
Medidores de Pressão	Quantidade: Dois, um na linha de alimentação e um na linha de saída de concentrado. Escala: 0 a 10 bar

Fonte: BALADI (2002)

O ensaio de tratamento consistiu na passagem direta do efluente resultante da Unidade de Ultrafiltração da KODAK na unidade piloto de osmose reversa e foi realizado em 17/05/2002. Os parâmetros operacionais utilizados no ensaio são apresentados na tabela 4.30.

Após a realização do ensaio de tratamento, amostras da alimentação, do permeado e do concentrado foram caracterizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, com o objetivo de verificar a eficiência do sistema. Os resultados obtidos na caracterização das amostras estão apresentados na tabela 4.31.

Tabela 4.30 – Parâmetros operacionais da unidade piloto de osmose reversa, para tratamento do efluente da unidade de ultrafiltração da KODAK

Parâmetro Operacional	Valor Utilizado
Pressão	8 bar
Taxa de Recuperação de Água	50 %
Vazão de Permeado	9,9 a 9,0 L/h
Operação do Sistema	Com Recirculação
Volume de Efluente Processado	4 L
Volume de Permeado	2 L
Volume de Concentrado	2 L

Tabela 4.31 – Resultados da caracterização das amostras da alimentação, do permeado e do concentrado, resultantes do ensaio na unidade de osmose reversa

Parâmetro	Alimentação	Permeado	Concentrado
SDT (mg/L)	800	60 ^a	1.350
Condutividade (µS/cm)	975	18,3	1.745
Cor Aparente (mg Pt-Co/L)	199	5	407
Cor Real (mg Pt-Co/L)	194	5	340
Turbidez (UNT)	1,2	0,3	3,5
DQO (mg/L)	69	3,6	138
pH (unidades)	6	6,7	6,5

a – Comparando-se a relação entre SDT e condutividade elétrica obtidas nas demais amostras, verifica-se que este resultado pode não estar correto, o que pode ser perfeitamente justificado pelo tipo de método utilizado para a análise, que foi de secagem em estufa e pesagem.

Os resultados obtidos no ensaio de tratamento na unidade piloto de osmose reversa demonstram que por meio deste processo de tratamento é possível obter um efluente com elevado grau de qualidade, o que viabilizaria a utilização do mesmo em qualquer aplicação, não potável, desenvolvida na KODAK.

Muito embora o permeado produzido apresente elevado grau de qualidade, o mesmo representa apenas 50 % do volume total de efluente inicialmente disponível. Isto significa dizer que nos 50 % do volume restante estarão presentes todos os

contaminantes do efluente original, o que poderia resultar em problemas para o seu lançamento no meio ambiente.

Apenas considerando-se o potencial de redução do consumo de água a partir da utilização de processos avançados de tratamento de efluentes e sem considerar, a priori, as possíveis limitações com relação ao descarte do efluente, verifica-se que o processo de osmose reversa, nas condições utilizadas, é bastante eficiente, pois possibilitaria uma redução na demanda de água da ordem de 463,3 m³/dia, equivalentes a 31,31 % do total de água captado após os processos de otimização.

Pelo uso de uma unidade de osmose reversa para a recuperação de uma parcela do efluente atualmente lançado para o meio ambiente, a demanda de água na KODAK passaria a ser de 1.016,3 m³/dia e o percentual global de redução na captação de água seria de 41,28 %.

Mesmo com esses resultados bastante promissores, a opção pela implantação, em um programa de reúso, de um sistema avançado de tratamento deve ser cuidadosamente avaliada, principalmente com relação à disposição da indústria de internalizar, em seu sistema produtivo, o conceito de desenvolvimento sustentável. Isto se justifica pelo fato de, simultaneamente à implantação do sistema avançado de tratamento de efluentes, ser necessária a implantação de técnicas complementares para o tratamento do efluente remanescente.. Isto, por sua vez, acaba conduzindo ao conceito de Descarga Zero de efluentes, uma realidade que está cada vez mais próxima das indústrias, mas que implica em maior investimento de capital.

Por outro lado, considerando-se as novas tendências com relação ao gerenciamento de recursos hídricos, assim como a redução nos custos das novas tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes, a questão econômica não será, por muito mais tempo, um fator limitante.

5. DISCUSSÃO

O panorama atual com relação aos recursos hídricos, principalmente devido aos problemas de escassez de água, faz com que os diversos segmentos da sociedade se mobilizem, no sentido de encontrar alternativas que garantam ao ser humano a disponibilidade de um recurso tão imprescindível como este.

Dentre as principais iniciativas que vem sendo difundidas, não apenas com enfoque nos recursos hídricos, podem ser destacados os programas de gestão ambiental, de prevenção da poluição e do uso racional dos recursos naturais, os quais, por sua vez, conduzem ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Embora sejam teoricamente simples, esses conceitos podem ser muito difíceis de atingir na prática, principalmente quando não se têm uma compreensão muito clara dos esforços envolvidos para a sua obtenção, os quais compreendem a aplicação de recursos técnicos, administrativos e, principalmente, financeiros.

O problema torna-se, ainda, mais complexo quando os objetivos de curto prazo se sobrepõem aos de longo prazo, ou seja, a busca por resultados imediatos pode, muitas vezes, conduzir a adoção de procedimentos que dificultam ou, até, impossibilitam que os preceitos básicos de qualquer iniciativa de integração entre desenvolvimento tecnológico e proteção ambiental sejam atingidos.

O uso de ferramentas técnicas, administrativas ou gerenciais, desenvolvidas dentro de um contexto de integração, quando utilizadas de forma individualizada, ou seja, fora deste contexto, muitas vezes resultam em um efeito contrário daquele para o qual as mesmas foram desenvolvidas. Isto, por sua vez, pode fazer com que instrumentos com grande potencial para a redução da pressão sobre os recursos naturais e sobre o meio ambiente caiam em descrédito.

Por estes motivos, todas as iniciativas que venham a ser desenvolvidas, principalmente, com relação aos recursos hídricos, devem ser devidamente avaliadas para que não se incorra no risco de, na falácia de um modelo sustentável de

desenvolvimento, continuar mantendo padrões de produção e consumo tão insustentáveis quanto àqueles que vem sendo combatidos por muito tempo.

A disputa, pelos vários segmentos da sociedade, por uma quantidade limitada de água acaba resultando em conflitos e agravando os problemas de escassez, seja pelo aumento da demanda para consumo ou pela poluição da água, o que acaba inviabilizando a sua utilização.

Em geral, a responsabilidade, de cada segmento da sociedade, sobre os problemas relacionados à exploração dos recursos hídricos e o tipo de problema causado, variam de região para região, mais são mais intensos em grandes centros urbanos e regiões industrializadas. Neste caso esses problemas referem-se à demanda excessiva de água e a contaminação dos recursos hídricos por esgotos domésticos e efluentes industriais, muitas vezes lançados no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento.

No Estado de São Paulo verifica-se que a participação da indústria e da população em geral sobre os problemas relacionados aos recursos hídricos é bastante expressiva e distinta das demais regiões do país. Contudo, os problemas resultantes das atividades industriais são os que requerem maior atenção, principalmente pela grande variedade de atividades desenvolvidas, distribuição espacial destas indústrias e pelo amplo espectro de substâncias que são manipuladas e acabam sendo lançadas para o meio ambiente quando são incorporadas aos efluentes.

A aplicação, nas indústrias, de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes torna-se, portanto, uma premissa básica para que os impactos resultantes das atividades desenvolvidas possam ser minimizados.

Para que um modelo de gerenciamento de águas e efluentes possa ser efetivo, ele deve contemplar, de um modo abrangente e integrado, aspectos técnicos, legais, administrativos, gerenciais, econômicos e ambientais.

Neste contexto, o uso racional e o reúso podem ser ferramentas de fundamental importância em qualquer modelo de gerenciamento de águas e efluentes,

independente da atividade industrial desenvolvida, do estágio tecnológico que a indústria se encontra e da região onde esteja instalada.

Contudo, conforme já mencionado, estas ferramentas apresentam limitações de ordem técnica e econômica e se não forem avaliadas segundo os princípios básicos da sustentabilidade e de forma desvinculada, uma da outra, incorre-se no risco de obter resultados insatisfatórios ou mesmo indesejáveis.

A prática de reúso de água, embora contribua de forma significativa para a redução do consumo de água e volume de efluente a ser lançado no meio ambiente, apresenta limitação e, se não for planejada de forma adequada, pode por em risco os processos nos quais esta prática esteja sendo aplicada ou inviabilizar o lançamento do efluente remanescente para o meio ambiente.

Já com relação às iniciativas para o uso racional da água, é importante que haja uma integração bastante grande entre as áreas a serem avaliadas e os responsáveis pela avaliação das oportunidades potenciais. Muitas vezes, conflitos de interesse também podem dificultar o desenvolvimento e implantação de propostas para a otimização do uso da água, principalmente, quando estas propostas interferem no processo produtivo.

Com base na proposta deste trabalho, os principais aspectos associados à proposta de uso racional da água e reúso de efluentes, foram avaliados em um caso prático, por meio de um estudo de caso na Empresa KODAK Brasileira – Indústria e Comércio Ltda.

Com base nas considerações sobre os elementos básicos de um programa de gerenciamento de águas e efluentes para a indústria, foi feita, inicialmente, a avaliação do potencial para a aplicação do uso racional e do reúso como ferramentas para este programa.

Pelos dados obtidos nas avaliações de campo, foi possível identificar áreas com elevado potencial para a aplicação do conceito de uso racional da água, o que, de acordo com os conceitos apresentados, já era esperado.

Entre a identificação das áreas potenciais para a racionalização do uso da água e a efetivação das propostas identificadas, foi necessário um período de aproximadamente 2 anos, tendo sido temporariamente interrompido, em razão de conflitos entre a área de produção e a equipe responsável pelo desenvolvimento das atividades de otimização. Este fato claramente demonstra, como já mencionado, os conflitos existentes entre os objetivos ambientais e econômicos.

Por outro lado, após a superação das divergências e contornados os problemas que haviam surgido, resultado de um esforço conjunto das partes envolvidas e dos resultados satisfatórios previamente obtidos, foi possível dar continuidade ao estudo de otimização do uso da água.

Deve ser ressaltado que a avaliação do potencial para a otimização do uso da água, mesmo em aplicações consideradas corriqueiras, muitas vezes exige um embasamento teórico e científico bastante aprofundados, a ponto de conduzir a uma modelagem do sistema no qual a água está sendo utilizada, para que possa ser demonstrado o potencial para a redução do seu consumo.

Estas ferramentas, aliadas ao conhecimento técnico das pessoas envolvidas no trabalho de otimização do uso da água podem conduzir a resultados bastante satisfatórios, como os que foram obtidos na avaliação da operação da lavagem de reatores e tanques da Área de Fotoquímicos da KODAK.

Por meio de um trabalho integrado e conduzido de maneira sistemática, ao término da etapa de avaliação da proposta apresentada para a otimização do uso da água, foi possível constatar que com a proposta do uso racional da água era possível obter uma redução significativa na demanda deste recurso e, conseqüentemente, na geração de efluentes encaminhados para tratamento.

Como efeito secundário, pela proposta de otimização do uso da água também é possível obter uma melhora da produtividade do sistema, o que foi constatado durante o desenvolvimento do estudo de caso na KODAK.

Simultaneamente ao processo de otimização do uso da água em um sistema produtivo, foram feitas avaliações para a identificação de oportunidades para o reúso da água, considerando o reúso em cascata e o reúso de efluentes tratados.

Os resultados obtidos nestas avaliações, principalmente com relação à proposta de reúso em cascata, se mostram eficientes, além de demonstrar que a opção pelo reúso de efluentes tratados é limitada.

De modo geral, a aplicação de qualquer prática de reúso de água, ou efluente, deve considerar as limitações de ordem técnica, operacional e econômica.

Em termos de limitações técnicas, o principal fator limitante para a implantação das iniciativas de reúso recai sobre os requisitos de qualidade da água para a aplicação na qual se pretende reutilizar o efluente. Vários parâmetros podem ser utilizados para avaliar a viabilidade para a prática de reúso. Contudo, um dos parâmetros que poderia conduzir a uma tomada de decisão mais sólida é a concentração de Sais Dissolvidos Totais. Isto pode ser justificado em razão das técnicas, amplamente, utilizadas para o tratamento de efluentes não serem capazes de remover este tipo de contaminante dos efluentes. Além disso, em um esquema de reúso, à medida que o efluente é recirculado pelos processos industriais, a concentração de sais dissolvidos aumenta e se não forem tomadas medidas que possibilitem eliminar uma parcela desses sais, o esquema de reúso não será sustentável.

Uma das formas de manter a concentração de sais dissolvidos na água de reúso dentro de limites pré-estabelecidos é promover o descarte de uma parcela do efluente, de modo que, juntamente com esta parcela, toda a carga de sais incorporada ao sistema é descartada. Outra opção consiste na utilização de técnicas avançadas de tratamento, principalmente os processos de separação por membranas, que são eficientes para promover a separação dos sais que se encontram dissolvidos no efluente.

Por estas razões, a aplicação do conceito de reúso de efluentes tratados, principalmente na indústria, deve ser cuidadosamente avaliada, uma vez que esta

pode se demonstrar pouco eficiente para contribuir com o objetivo de redução no consumo de água e impactos negativos sobre o meio ambiente ou, até mesmo, contribuir para que os problemas de degradação dos recursos hídricos sejam acentuados.

O uso de técnicas avançadas de tratamento de efluentes para a viabilização da prática de reúso pode conduzir a resultados satisfatórios com relação ao volume e a qualidade do efluente que poderá ser reutilizado. Por outro lado, essas técnicas avançadas podem resultar na geração de um efluente com características que impeçam o seu lançamento para o meio ambiente. Portanto, a incorporação de técnicas avançadas em sistemas de tratamento de efluentes, quando se objetiva a prática do reúso, pode conduzir à necessidade da implantação de um sistema de tratamento baseado no conceito de descarga zero de efluentes.

Em resumo, com base nas hipóteses formuladas e nos objetivos estabelecidos neste trabalho, assim como nos resultados alcançados com o desenvolvimento de um estudo de caso, pode-se afirmar com bastante segurança que uso racional e do reúso são ferramentas muito eficientes para a redução da pressão sobre os recursos hídricos e apresentam grande potencial para aplicação em qualquer programa de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, desde que esta indústria tenha internalizado em sua cultura corporativa o conceito de desenvolvimento econômico e proteção ambiental.

Este comprometimento implica, necessariamente, na alocação de recursos humanos, técnicos e financeiros, totalmente direcionados para a avaliação e implantação das oportunidades para a redução no consumo de água e geração de efluentes. A água, para qualquer processo, produtivo ou não, deve ser tão importante quanto qualquer matéria-prima utilizada.

6. CONCLUSÕES

Com base nas hipóteses formuladas, nos objetivos propostos e nos resultados obtidos no desenvolvimento do estudo de caso apresentado pode-se obter as seguintes conclusões:

A escassez de recursos hídricos é uma realidade nos dias atuais, principalmente em grandes centros urbanos e industrializados, em razão da demanda excessiva de água e pelo lançamento de efluentes para os corpos d'água.

Por meio do uso de indicadores adequados, como a Disponibilidade Específica de Água (DEA) e o Índice do Comprometimento de Recursos Hídricos (ICRH), é possível identificar, com bastante antecedência, as áreas com potencial para surgimento de problemas ambientais.

Com a aplicação do DEA e do ICRH para a avaliação da situação sobre os recursos hídricos no estado de São Paulo foram identificadas regiões que se encontram em estado crítico com relação aos recursos hídricos.

O setor industrial tem grande participação nos problemas associados aos recursos hídricos, já que é responsável, no estado, por aproximadamente 25% da demanda total de água.

A busca por soluções para minimizar os problemas criados por modelos insustentáveis de produção e consumo conduziu ao desenvolvimento de novos instrumentos e ferramentas para o gerenciamento ambiental.

O uso racional e o reúso podem ser considerados como ferramentas básicas em programas de gerenciamento de águas e efluentes na indústria e podem contribuir de forma significativa para a atenuação dos problemas relacionados à escassez de água.

Propostas que visam o uso racional da água devem ser cuidadosamente analisadas. E para que esta análise conduza a resultados positivos, é imprescindível o

envolvimento entre os diversos setores industriais onde se faz o uso da água ou onde são gerados efluentes.

O conhecimento técnico e científico sobre os processos desenvolvidos na indústria podem revelar condições que passariam despercebidas por qualquer profissional, durante o desenvolvimento de propostas para o uso racional da água.

Desenvolver e implantar propostas para a otimização do uso da água implica na necessidade da realização e acompanhamento de ensaios específicos, além da avaliação detalhada dos resultados obtidos.

As iniciativas de otimização do uso da água, quando bem estruturadas, podem conduzir a uma redução significativa na demanda de água e na geração de efluentes.

O conceito de reúso de água deve contemplar, pelo menos, dois tipos de reúso, ou seja, o reúso em cascata e o reúso de efluentes tratados. O reúso em cascata deve sempre prevalecer sobre qualquer outra forma de reúso, principalmente em razão de não requerer grandes investimentos para a sua viabilização.

Qualquer iniciativa de redução do consumo e de reúso de água conduzem a elevação da concentração de contaminantes nos efluentes, principalmente dos inorgânicos, o que limita o potencial para a aplicação da prática de reúso, além de poder resultar em problemas de maior magnitude do que aqueles que existiam anteriormente..

As alternativas de reúso somente devem ser avaliadas quando todas as alternativas para o uso racional da água forem exauridas, priorizando-se sempre a opção pelo reúso em cascata.

Comparativamente, os benefícios obtidos somente pela prática do reúso de efluentes tratados, podem representar, apenas, 23 % do potencial para a redução do consumo de água resultante dos procedimentos de otimização do uso da água..

Também se pode concluir que, pelos resultados obtidos no estudo de caso desenvolvido na KODAK, os objetivos propostos neste trabalho foram plenamente atendidos, o que significa dizer:

- O uso racional e o reúso devem ser considerados ferramentas básicas em qualquer programa de gerenciamento de águas e efluentes na indústria;
- A otimização do uso da água e a prática do reúso podem ser avaliadas com base em modelos matemáticos e simulações dos processos ou dos sistemas nos quais a água é utilizada.
- A prática de reúso de efluentes tratados apresenta limitações, técnicas, operacionais e econômicas. E, em certos casos, só é viável por meio da utilização de técnicas avançadas de tratamento.

Anexo A - Técnicas para tratamento de água para uso industrial

A obtenção de água no grau de qualidade necessário para as aplicações industriais só pode ser feita mediante a utilização de técnicas de tratamento específicas, as quais apresentam campo limitado de aplicação. Por esta razão a obtenção de água com diferentes graus de qualidade implica, necessariamente, na utilização de mais de uma técnica de tratamento.

Para que seja possível desenvolver um sistema de tratamento que atenda as necessidades exigidas para cada aplicação é necessário um conhecimento sobre as capacidades e limitação de cada técnica de tratamento, no sentido de desenvolver um sistema de tratamento de água adequado.

Enfatizando-se a proposta deste trabalho, que é o desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de águas e efluentes na indústria, a seguir são apresentadas as principais técnicas de tratamento disponíveis atualmente.

A.1 Sistema convencional de tratamento

O sistema convencional para tratamento de água, que é o mesmo utilizado para tratamento de água para abastecimento público, tem por objetivo adequar às características físicas, químicas e biológicas da água a determinados padrões higiênicos, estéticos e econômicos (AZEVEDO NETTO et al., 1987), sendo este, grosseiramente, o primeiro procedimento adotado para o tratamento de água para uso industrial.

Dependendo da fonte de abastecimento de água, superficial ou subterrânea, podem ocorrer variações no arranjo utilizado para o tratamento já que as características da água bruta têm influência sobre as técnicas de tratamento (WESTERHOFF and CHOWDHURY, 1996).

As águas superficiais têm como principal característica uma maior concentração de sólidos em suspensão, além do fato de sua composição ser imediatamente afetada pelas condições climáticas e pelas características geológicas da região por onde essa água escoa, enquanto as águas subterrâneas apresentam como principais

contaminantes, substâncias dissolvidas, tais como íons metálicos, responsáveis pela dureza das águas, ou complexos orgânicos naturais, sendo que a sua composição varia de região para região e as condições climáticas afetam as suas características gradualmente.

Considerando-se que o estabelecimento de um arranjo genérico para o tratamento de água subterrânea seja muito difícil, uma vez que este deve ser desenvolvido com o objetivo de remover contaminantes específicos da região onde se pretende fazer a extração e uso desta água, muitas vezes sendo necessário utilizar-se técnicas específicas para o tratamento, neste item será feita apenas a apresentação do sistema para o tratamento de água superficial, ressaltando-se que para o caso de água subterrânea, poderão ser utilizadas algumas das técnicas descritas neste item, ou então, as técnicas que serão apresentadas nos itens subseqüentes.

Devido ao fato da qualidade das águas superficiais ser afetada pelas condições climáticas e geológicas, apresentando variações nas suas características ao longo do ano, o sistema de tratamento para esta água deve ser projetado de forma a acomodar essas variações temporais e sazonais, devendo o mesmo, para uma fonte que apresente grandes variações nas suas características, ser composto pelas seguintes unidades de tratamento:

- Aeração ou Pré cloração;
- Coagulação e Floculação;
- Decantação;
- Filtração;
- Desinfecção;
- Controle da Corrosão.

A.1.1. Aeração ou pré-cloração

O processo de aeração tem por objetivo remover substâncias orgânicas voláteis causadoras de odor e sabor na água, bem como promover a oxidação de compostos ferrosos e manganosos que se encontram solubilizados e poderiam precipitar ou serem oxidados após o processo de filtração da água, causando problemas relacionados ao desenvolvimento de cor, sabor e odor, desagradáveis, na água, além de manchas em tecidos e louças sanitárias e ser um problema sério para algumas indústrias (KAWAMURA, 1991). As reações envolvidas no processo de aeração, para a oxidação do ferro e manganês, são apresentadas abaixo.

Um dos métodos mais efetivos para promover a oxidação do ferro e manganês é pelo uso de um aerador de contato do tipo bandeja, que consiste em uma série de bandejas empilhadas, com uma profundidade de 0,3 a 0,45 m cada e com o fundo perfurado, sendo a mesma preenchida por coque, calcário ou algum material plástico, devendo ser operada com uma taxa de aplicação entre 25 a 50 m/h (KAWAMURA, 1991 e MONTGOMERY, 1985).

Com base na equação das reações químicas apresentadas anteriormente, 1 mg de oxigênio é suficiente para oxidar 7 mg de ferro bivalente e 3,4 mg de manganês bivalente, ressaltando-se que o ferro ligado a compostos orgânicos não é oxidado. Deve-se observar, no entanto, que a taxa de oxidação é função do pH da água a ser submetida ao processo de tratamento, sendo que quanto maior o pH, melhor é o resultado obtido (KAWAMURA, 1991).

De forma a completar o processo de oxidação em um período de 15 minutos, o pH da água deve ser superior a 7,5 preferivelmente 8,0 para o caso do ferro, enquanto o manganês é oxidado muito lentamente, e não é efetivamente oxidado em valores de

pH abaixo de 9,5, na verdade, pode ser necessário o período de uma hora para oxidar o manganês em pH 9,5.

Outra alternativa para a oxidação de ferro e manganês, bivalentes, é o processo de pré-cloração, devido ao fato, ao contrário do processo de aeração, apresentar uma taxa de oxidação mais rápida e ser capaz de oxidar ferro ligado a compostos orgânicos (KAWAMURA, 1991, MONTGOMERY, 1985). As reações químicas envolvidas na oxidação do ferro e do manganês com o cloro são apresentadas abaixo.

Pelas equações apresentadas acima, 1 mg/L de cloro é suficiente para oxidar 1,58 mg/L de ferro e 0,78 mg/L de manganês, ressaltando-se que a taxa de oxidação é função do pH, de modo que o ferro bivalente é oxidado dentro de um período de 15 a 30 minutos, numa faixa de pH variando de 8,0 a 8,3 (KAWAMURA, 1991) e um pH mínimo igual a 8,5 (NALCO, 1988), enquanto que para a mesma faixa de pH, o manganês será oxidado em um período de tempo variando entre 2 e 3 horas (KAWAMURA, 1991).

Um dos inconvenientes associados ao processo de pré-cloração refere-se à formação de Trihalometanos (THM's), devido à reação do cloro com a matéria orgânica presente na água (substâncias húmicas e ácidos fúlvicos), originada pelos processos de composição natural.

Além do cloro, para o processo de oxidação de ferro e manganês, bivalentes, pode-se lançar mão do Dióxido de Cloro (ClO_2), que é um oxidante enérgico e efetivo, assim como o permanganato de potássio, que apresenta a vantagem de atuar em uma ampla faixa de pH e uma alta velocidade de reação, sendo necessário um período de tempo entre 5 e 10 minutos, para a oxidação de íons ferro e manganês, em um pH próximo de 7 (KAWAMURA, 1991).

A.1.2. Coagulação e floculação

O processo de coagulação floculação é utilizado para promover a separação dos sólidos suspensos, presentes na água, sempre que a taxa de subsidência for muito baixa para promover uma clarificação efetiva da água (NALCO, 1988).

Este é o caso das partículas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, as quais permanecem em suspensão devido ao fato de apresentarem cargas elétricas em suas superfícies, o que impede a aproximação e colisão entre as mesmas e conseqüentemente a formação de flocos, resultado da força de repulsão criada pelas cargas elétricas de mesmo sinal.

O processo de coagulação tem como principal objetivo promover a neutralização das cargas elétricas das partículas que se encontram em suspensão, pela adição de compostos químicos que apresentam cargas positivas como, por exemplo, sais de ferro, sais de alumínio e polímeros (NALCO, 1988), já que o processo de floculação, realizado na seqüência do processo de coagulação, tem por objetivo promover o contato entre as partículas desestabilizadas, de forma a possibilitar a agregação das mesmas, em flocos maiores e mais pesados, os quais serão posteriormente removidos pelo processo de sedimentação.

As principais espécies coloidais encontradas nas águas naturais, principalmente superficiais, incluem argilas, sílica, ferro e outros metais pesados, cor e outros compostos orgânicos, como por exemplo, detritos e organismos mortos, além de bactérias e protozoários (NALCO, 1988; AZEVEDO NETO, 1987 e AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990). Os colóides também podem ser formados nos processos de precipitação química, como no caso do processo de abrandamento com cal.

As partículas coloidais podem apresentar, segundo dados disponíveis em literatura, dimensões desde 10^{-3} μm até 10 μm , sendo apresentados na tabela A.1 as características de sedimentação de algumas partículas coloidais.

Tabela A.1 - Características de sedimentação de algumas partículas de sílica

Tipo	Dimensão		Área Superficial (m ²)	Tempo de Sedimentação para o percurso de 1 metro
	mm	μm		
Silte	0,01	10	0,314	108 minutos
Bactérias	0,001	1	3,14	180 horas
Material Coloidal	0,0001	0,1	31,4	755 dias

Fonte: NALCO, 1988.

Todos os mecanismos envolvidos no processo de coagulação podem ser mais bem analisados em literatura específica (AZEVEDO NETO, 1987); (NALCO, 1988) e (AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990), e por esta razão não serão abordados neste trabalho, uma vez que este não é o objetivo deste item.

Em termos práticos, o que realmente apresenta interesse no processo de coagulação floculação são a dosagem e condições ótimas para a aplicação do coagulante, etapa que apresenta uma grande importância no processo de tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem da mesma. Isto é justificado pois as reações químicas envolvidas no processo de coagulação são muito rápidas e dependem da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água, além da energia de agitação, ocorrendo em um espaço de tempo bastante reduzido, caso estas condições estejam corretas (AZEVEDO NETO, 1987) e (AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990), sendo necessário na maioria dos casos, o desenvolvimento de ensaios específicos "JAR-TEST", para que as condições ideais do processo de coagulação sejam obtidas.

Os dados obtidos no ensaio de coagulação são então aplicados para as condições reais, o que pode ser feito em dispositivos específicos, como por exemplo:

- Misturadores mecânicos;
- Misturadores hidráulicos; ou
- Difusores.

Após o processo de coagulação, a água, agora com as partículas desestabilizadas, é submetida ao processo de floculação, o qual tem por objetivo fazer com que as partículas sólidas colidam entre si, para que formem agregados maiores e mais pesados, os quais serão separados posteriormente pelo processo de sedimentação.

A agregação das partículas é resultado da ação das forças de Van der Waals, da gravidade e da agitação aplicada ao líquido, este último fator contribuindo para o aumento da probabilidade de colisões entre partículas.

Outro fator importante no processo de floculação, além daqueles citados anteriormente, refere-se ao tempo de agitação, conforme pode ser verificado na equação que representa a cinética de remoção das partículas da água (formação de flocos), onde são consideradas duas constantes, uma de agregação e outra de desagregação (AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990).

$$\boxed{\frac{dN_1}{dt} = -k_A * \bar{G} * N_1 + k_B * \bar{G}^l} \quad (A5)$$

N_1 = Número de partículas na água

k_A = Constante de agregação

k_B = Constante de desagregação

$\bar{G}$ = Gradiente médio de velocidade

l = Constante que depende do tamanho do floco (4 para flocos grandes e 2 para flocos menores)

O processo de floculação pode ser realizado em sistemas hidráulicos ou mecânicos, os quais são operados nas condições apresentadas na tabela A.2.

Tabela A.2 - Condição de operação dos floculadores

Parâmetro	Valor
Tempo de Agitação	≤ 30 minutos
Gradiente de Velocidade	10 s^{-1} até 100 s^{-1} a 20 s^{-1} até 60 s^{-1} b
Dosagem de Coagulante	10 a 50 mg/L (Sulfato de Alumínio)

Fontes: a – AZEVEDO NETO 1987

b - AMIRTHARAJAH e O'MELIA, 1990

Na prática, os floculadores são operados com gradientes variados, sendo utilizados gradientes mais elevados no início, diminuindo-se o mesmo gradativamente, até o menor valor adotado. Deve ser observado que gradientes de velocidade elevados podem causar o rompimento dos flocos formados, enquanto baixos gradientes podem permitir que ocorra a sedimentação dos flocos no próprio floculador, o que não é recomendado. Estes requisitos de projeto acabam conduzindo ao desenvolvimento de floculadores compartimentados.

Considerando-se que os processos de coagulação e floculação tenham sido desenvolvidos de forma adequada, a próxima etapa do tratamento refere-se à separação dos flocos formados, o que é obtido pelo processo de sedimentação.

A.1.3. Sedimentação ou decantação

O processo de sedimentação ou decantação é a etapa subsequente aos processos de coagulação e floculação e tem por objetivo separar os flocos, formados na etapa de floculação, da água. Esta separação é resultado da ação da gravidade e inércia sobre os flocos formados e sobre a água (KIANG e METRY, 1982).

Em função das características das partículas que se deseja remover, o processo de sedimentação pode ser classificado em um dos quatro tipos apresentados abaixo (GREGORY e ZABEL, 1990):

TIPO 1 - Sedimentação de partículas discretas, as quais se encontram em baixa concentração na água, onde a floculação e a ação entre as partículas são desprezíveis.

TIPO 2 - Sedimentação de partículas em baixa concentração ou floculenta, na qual as partículas continuam a se agregar à medida que o processo de sedimentação ocorre, fazendo com que a velocidade de sedimentação também aumente.

TIPO 3 - Sedimentação obstruída ou por zona, na qual a concentração de partículas é bastante elevada, o que favorece os efeitos de interação entre as mesmas, havendo a formação de uma interface bem definida entre o líquido clarificado e os sólidos que sedimentam.

TIPO 4 - Sedimentação por compressão, onde a concentração de partículas é bastante elevada, ocorrendo a sedimentação por camadas.

Do ponto de vista de tratamento de água para abastecimento industrial, o tipo de sedimentação que prevalece nos decantadores é a do TIPO 2, pois a concentração de partículas não é elevada e ocorre interação entre as partículas a medida que estas sedimentam.

A separação dos sólidos formados no processo de floculação é obtida mantendo-se a água, que contém estes sólidos, por um período de tempo suficientemente adequado (tempo de detenção hidráulico), em um dispositivo denominado de decantador.

Os decantadores podem apresentar formato retangular ou circular, devendo apresentar dispositivos de alimentação, de coleta de água decantada e de acúmulo e descarga de lodo, devendo os mesmos ser projetados de forma a evitar a quebra dos flocos formados no processo de floculação, bem como correntes preferenciais, as quais poderiam conduzir ao arraste de partículas para a água efluente do decantador, reduzindo assim a eficiência do processo (GREGORY e ZABEL, 1990).

Uma alternativa aos decantadores convencionais, que são grandes tanques, é o decantador de alta taxa, o qual apresenta em seu interior placas ou tubos inclinados, que possibilitam operar o decantador com um tempo de detenção hidráulico de até quinze minutos, obtendo-se uma eficiência de remoção de sólidos equivalente a um decantador retangular convencional, que opera com um tempo de detenção de aproximadamente duas horas (YAO, 1973).

Após a passagem pelo decantador, a água ainda apresenta partículas em suspensão, as quais não foram removidas devido à sua baixa velocidade de sedimentação devendo-se, desta forma, adotar um processo complementar de separação, que para este caso é a filtração.

A.1.4. Filtração

O processo de filtração tem por objetivo remover da água, efluente dos decantadores, as partículas que ainda se encontram presentes.

Especificamente para o tratamento de água, os sistemas de filtração mais amplamente utilizados são os que utilizam filtros de areia, areia antracito ou areia, antracito e granada ou ilmenita (AZEVEDO NETO, 1987) e (CLEASBY, 1990). 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 contra-lavagem do filtro, já que este apresenta uma capacidade limitada de retenção das partículas.

Em linhas gerais, o processo de filtração consiste em se fazer passar através do meio filtrante a água efluente do sistema de decantação, a qual ainda apresenta partículas em suspensão. Durante a passagem da água pelo leito filtrante as partículas vão sendo retidas, sendo coletada no fundo do filtro, uma água com turbidez inferior a duas Unidades de Turbidez (AZEVEDO NETO, 1987).

Em função da relação entre a vazão de alimentação e a área superficial dos filtros, estes são classificados como filtros lentos ($Q/A = 0,07$ a $0,40 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$) e filtros rápidos ($Q/A = 5$ a $25 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$) (CLEASBY, 1990).

Outra característica importante dos sistemas de filtração refere-se à operação dos mesmos, que é cíclica, já que à medida que as partículas presentes na água, que flui através do leito de filtração, vão sendo retidas o leito vai sendo obstruído, resultando em uma elevação da perda de carga no seu interior e a redução da sua eficiência devendo-se, neste estágio, interromper o processo de filtração para iniciar o processo de lavagem.

O processo de lavagem dos filtros consiste na passagem de água limpa, no sentido inverso ao da operação de filtração e com uma vazão superior, podendo-se utilizar ar para melhorar a eficiência da operação de lavagem. Após a etapa de lavagem o filtro estará apto para uma nova campanha de filtração.

Deve ser observado que durante o processo de lavagem é gerado um efluente contendo uma elevada concentração de partículas em suspensão, o qual deverá ser devidamente gerenciado, de forma a não causar impactos negativos ao meio ambiente.

A.1.5. Desinfecção

Após o processo de remoção dos sólidos presentes na água bruta, devido à presença de organismos patogênicos na água, é necessário que esta água seja submetida ao processo de desinfecção, uma vez que muitos dos organismos presentes podem afetar de forma negativa os processos nos quais a água será utilizada, ou então, podem causar problemas à saúde dos seres humanos, caso esta água venha a ser ingerida (DREW, 1979) e (HAAS, 1990).

O processo de desinfecção pode ser realizado, economicamente, para grandes vazões de água, pela utilização de produtos químicos e pela utilização de radiação ultravioleta, podendo ser destacados os seguintes agentes de desinfecção:

- Compostos de Cloro;
- Ozônio;
- Radiação Ultravioleta.

Cada um destes agentes apresenta vantagens e desvantagens com relação a sua utilização, as quais devem ser consideradas quando da escolha do agente a ser utilizado.

Com relação à utilização de compostos de cloro, tem-se como vantagem a possibilidade de ser mantida uma ação residual, pela utilização de uma quantidade em excesso destes compostos, o que é benéfico em alguns casos como, por exemplo,

evitar a proliferação de microrganismos durante o armazenamento e transporte da água tratada. Em algumas situações a presença de cloro na água pode ser prejudicial, como no caso de sistemas complementares de tratamento, entre eles o de troca iônica e o de osmose reversa, para os quais o cloro apresenta um efeito deletério, além de haver a possibilidade de formação de compostos organoclorados. Com relação ao ozônio e à radiação ultravioleta a situação é inversa, já que os mesmos não apresentam ação residual.

Selecionado o agente de mais adequado, o processo de desinfecção é realizado promovendo-se o contato entre o agente de desinfecção selecionado e a água a ser desinfetada, por um período de tempo suficientemente longo, para garantir a máxima eficiência do processo de desinfecção, sendo que informações mais detalhadas com relação ao processo de desinfecção podem ser obtidas em literatura específica (SANKS, 1982); (AZEVEDO NETO, 1987) e (HAAS, 1990).

A.1.6. Controle da corrosão e depósitos

A última etapa do sistema convencional de tratamento de água para uso industrial refere-se ao ajuste químico final, de forma que esta não venha apresentar característica corrosiva e nem incrustante, as quais estão diretamente associadas ao pH da água e a sua alcalinidade.

Uma das maneiras de verificar a tendência que a água apresenta, ou seja, corrosiva ou incrustante, é pela medida do Índice de Langelier, calculado com base na seguinte expressão (DOW, 1993).

$$I.L. = pH - pH_s \quad (A6)$$

$$pH_s = pCa + pAlcalinidade + C$$

$$pCa = -\log[Ca];$$

$$pAlcalinidade = -\log[Alcalinidade]$$

C = Constante que depende da concentração de sais dissolvidos presentes na água.

$I.L. \leq 0 \Rightarrow$ Água com característica corrosiva

$I.L. > 0 \Rightarrow$ Água com característica incrustante

Com base no Índice de Langelier, efetua-se o ajuste químico da água, de forma a se obter um valor ligeiramente superior a zero, para que não ocorram problemas de corrosão, bem como seja formada uma fina camada de carbonato de cálcio, a qual protege a tubulação contra ataques (AZEVEDO NETO, 1987).

A.1.7. Considerações finais sobre o sistema de tratamento convencional

É importante observar que o sistema apresentado anteriormente refere-se ao sistema mais completo de tratamento convencional observando-se que, dependendo da fonte de abastecimento e conseqüentemente das características da água, alguns dos processos apresentados podem ser suprimidos, resultando em duas novas modalidades de tratamento, ou seja, filtração direta e coagulação em linha.

Na filtração direta, devido à baixa concentração de sólidos em suspensão na água a ser tratada, após o processo de floculação utiliza-se o processo de filtração (WESTERHOFF e CHOWDHURY, 1996), ou seja, o sistema de sedimentação é suprimido.

Já no processo de coagulação em linha, que também é utilizado para águas com baixa concentração de sólidos em suspensão o sistema de floculação e o de sedimentação são eliminados, ou seja, após a dosagem do coagulante a água é submetida ao processo de filtração.

A figura A1. apresenta os possíveis arranjos para um sistema de tratamento de água subterrânea ou superficial, considerando-se as alternativas apresentadas anteriormente.

Figura A.1 - Representação dos possíveis arranjos para os sistemas de tratamento de água

A.2. Abrandamento

A técnica de abrandamento tem por objetivo remover, da água, as substâncias responsáveis pela dureza, ou seja, as substâncias capazes de reagir com o sabão e formar sabões insolúveis, caso específico dos íons cálcio e magnésio (DAVIS e CORNWELL, 1998).

Além do problema relacionado ao consumo de sabão, as substâncias responsáveis pela dureza da água podem precipitar nas paredes de tubos e equipamentos, principalmente se estes forem aquecidos, podendo resultar na obstrução da tubulação ou equipamento, ou em algum problema mais grave, como no caso de caldeiras para a geração de vapor.

De um modo geral, pode-se dizer que existem, basicamente, três técnicas para o abrandamento da água, ou seja, o processo de Abrandamento pela Cal - Carbonato de Sódio, o processo por Troca Iônica e os processo de separação por membranas, sendo cada um destes indicados para uma determinada faixa de dureza.

No caso específico do processo da Cal - Carbonato de Sódio, é possível obter-se uma redução na concentração de íons cálcio e magnésio de modo a resultar em uma água com dureza final próxima de 80,0 mg/L (como CaCO_3) (AZEVEDO NETO, 1987) e (KAWAMURA, 1991), limitando, desta forma, a utilização deste processo ao tratamento de água com uma dureza superior a este valor.

Já os processos de troca iônica e separação por membranas possibilitam reduzir em até 100% a dureza da água, devendo-se observar que estes processos são os mais adequados para o abrandamento de água com uma dureza relativamente baixa, como por exemplo, menor ou igual a 80 mg/L, que é o limite do processo de abrandamento com Cal - Carbonato de Sódio. Isto se justifica devido ao fato das resinas de troca iônica terem uma capacidade limitada para a troca de íons, o que pode resultar na necessidade de utilização de uma grande quantidade de resinas, ou então, em regenerações bastante freqüentes, ou no caso do processo de separação por membrana, na possibilidade de incrustação das membranas.

De forma que se possa ter uma melhor compreensão dos processos de abrandamento, a seguir é feita uma descrição, mais detalhada, dos processos com Cal- Carbonato de Sódio e Troca Iônica.

A.2.1. Processo de abrandamento com cal - carbonato de sódio

O processo de abrandamento com Cal - Carbonato de Sódio nada mais é do que uma reação de precipitação química, a qual visa transformar as espécies solúveis, de cálcio e magnésio, em espécies insolúveis, estando as principais reações químicas envolvidas no processo de precipitação apresentadas abaixo (SANKS, 1982); (KAWAMURA, 1991) e (DAVIS e CORNWELL, 1998):

Após o processo de precipitação, devido à formação de partículas insolúveis de carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio, é necessário que seja adotado um processo de separação dos sólidos formados, podendo-se utilizar, para este fim, os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, os quais já foram apresentados no item referente ao processo convencional de tratamento de água.

Além do processo de separação dos sólidos, a água abrandada também deve ser submetida a um processo de estabilização já que o seu pH, após o tratamento, estará

próximo de 11 devido, principalmente, à presença de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que é utilizado em excesso (DAVIS e CORNWELL, 1998). O processo de estabilização pode ser feito pela utilização de ácidos ou pela recarbonatação da água (KAWAMURA, 1991).

No processo de recarbonatação, onde se utiliza o gás carbônico (CO_2), ocorre a formação de carbonato e bicarbonato de cálcio, devendo o carbonato de cálcio ser posteriormente removido por um processo adicional de separação, ou então, o processo de recarbonatação deve ocorrer antes da etapa de filtração, referente ao processo de separação dos sólidos formados durante o processo de abrandamento.

Já no processo de estabilização pela utilização de ácidos, onde se utiliza o ácido sulfúrico ou clorídrico, não ocorre a formação de carbonato de sódio, eliminando-se a necessidade de um tratamento adicional tendo-se como inconveniente o aumento da concentração dos íons sulfato ou cloreto, dependendo do ácido utilizado (KAWAMURA, 1991). A seguir são apresentadas as principais reações envolvidas no processo de estabilização da água abrandada.

A.2.2. Processo de abrandamento pelo processo de troca iônica

O processo de troca iônica pode ser definido como um intercâmbio reversível de íons entre uma fase sólida, geralmente estacionária, em um líquido.

Geralmente, no processo de abrandamento por troca iônica, a água passa através das resinas, as quais são mantidas no interior de um vaso sendo que, durante esta passagem, os íons responsáveis pela dureza (cálcio e magnésio), são substituídos pelos íons da resina de troca iônica, sendo geralmente utilizada uma resina na forma

sódica. O processo descrito anteriormente pode ser representado pela equação abaixo (DAVIS e CORNWELL, 1998):

R - Representa a resina de troca Iônica

Pela equação da reação apresentada acima os íons de cálcio ou magnésio são substituídos por uma quantidade equivalente de íons sódio, ou seja, são deslocados dois íons de sódio para cada íon de cálcio ou magnésio, o que resulta em uma elevação na concentração salina da água abrandada, devendo este fato ser observado em função da aplicação que se deseja dar para a água após o seu abrandamento.

A operação de abrandamento pode ser mantida até que toda a capacidade de troca da resina seja exaurida, quando então se deve interromper o processo de abrandamento e promover a regeneração da resina.

Na etapa de regeneração os íons cálcio e magnésio serão removidos das resinas, fazendo-se passar através das mesmas, uma solução concentrada de cloreto de sódio que, devido à ação da concentração mássica, promove a substituição dos íons cálcio e magnésio pelo íon sódio, conforme representado pela equação abaixo:

Após o processo de regeneração as resinas estão aptas para iniciar um novo ciclo de operação.

Deve-se observar que durante o processo de regeneração ocorre a geração de um efluente com elevada concentração salina, o qual deverá ser adequadamente gerenciado, de modo a não ocasionar problemas para a sua disposição.

Também cabe ressaltar que o procedimento de regeneração envolve outras etapas, além da regeneração propriamente dita, as quais serão apresentadas quando da apresentação do processo de tratamento de água por troca iônica para obtenção de água com elevado grau de pureza.

A.2.2.1 - Considerações sobre os processos de abrandamento para a situação brasileira

Pela análise dos dados referentes à qualidade das águas brasileiras (ANEEL, 2000), principalmente da região onde se pretende aplicar o modelo de gerenciamento de águas e efluentes que está sendo proposto verifica-se que a concentração de íons cálcio e magnésio, responsáveis pela dureza das águas, é relativamente baixa, resultando em uma dureza que varia de 12,10 mg/L a 32,14 mg/L (como CaCO_3), o que se justifica devido ao fato das principais fontes hídricas utilizadas no Brasil serem superficiais.

Em muitos casos, estes valores podem ser elevados, durante o processo de tratamento convencional da água, em função da adição de hidróxido de cálcio nas etapas de coagulação/floculação e controle da corrosão e depósitos, mas que, de qualquer forma, não fará com que a dureza da água seja elevada para valores superiores ao limite de classificação de uma água branda (**75 mg/L de CaCO_3**).

Por esta razão verifica-se que, na necessidade de utilização de água abrandada pela indústria e caso os requisitos de processos exijam uma água com dureza inferior aos valores encontrados naturalmente, o processo mais indicado para a obtenção da água com esta qualidade, é o de troca iônica.

A.3. Processo de troca iônica

O processo de troca iônica visa remover, da água, as substâncias que se encontram dissolvidas, principalmente os compostos iônicos, os quais são transferidos para uma

fase sólida insolúvel, denominada de resina de troca iônica a qual, ao reter os íons indesejáveis, presentes na água, libera uma quantidade equivalente de outras espécies iônicas que estavam armazenadas na estrutura da resina, sendo que estes íons não irão comprometer a qualidade da água tratada (NALCO, 1988).

As resinas de troca iônica apresentam capacidade limitada para reter os íons em sua estrutura, sendo esta característica definida como capacidade de troca. Em função desta capacidade de troca, durante a sua utilização, as resinas acabam sendo saturadas com os íons inicialmente presentes na água que está sendo processada devendo-se, nesta condição, interromper o processo de tratamento para que seja realizada a regeneração das resinas, o que é feito com uma solução contendo os íons com os quais as resinas estavam inicialmente saturadas.

Devido ao fato da existência de íons positivos e negativos, existem resinas específicas para cada espécie de íons, ou seja, resinas catiônicas, as quais apresentam capacidade para retenção de cátions (íons positivos) e as resinas aniônicas, as quais são específicas para a retenção de ânions (íons negativos).

Dentro destes dois grupos de resinas existe, ainda, uma subdivisão, conforme apresentado abaixo (ALVES da CUNHA, 1989):

Resinas Catiônicas:

- Fortemente Ácida (CFA);
- Fracamente Ácida (CfA).

Resinas Aniônicas:

- Fortemente Básica (AFB);
- Fracamente Básica (AfB).

Cada uma destas resinas é adequada para a remoção de íons específicos, bem como existem algumas peculiaridades em relação ao processo de regeneração das mesmas, sendo apresentados a seguir as principais características de cada tipo de resina.

A.3.1.- Características das resinas de troca iônica

Resina catiônica fortemente ácida (CFA)

As resinas catiônicas fortemente ácidas, utilizadas no tratamento de água para uso industrial, apresentam uma estrutura química formada pelo Estireno e Divinilbenzeno, apresentando como grupos funcionais, ou seja, pontos ativos para a troca de íons, os radicais de ácido sulfônico ($R-SO_3^-H^+$), podendo operar em uma ampla faixa de pH, além de apresentar a possibilidade de estar condicionadas para operar no ciclo sódico ou de hidrogênio, dependendo da aplicação que se deseja fazer das resinas, isto é, abrandamento da água ou desmineralização (ALVES da CUNHA, 1989) e (CLIFFORD, 1990).

Resina catiônica fracamente ácida (CfA)

Estas resinas somente são utilizadas nas aplicações relacionadas ao tratamento de águas industriais contendo elevada dureza, devido, exclusivamente, ao bicarbonato e carbonato de cálcio e para valores de pH variando do neutro para o alcalino (ALVES da CUNHA, 1989) e (CLIFFORD, 1990). Isto ocorre em razão do grupo funcional carboxilato ($R-COOH$), da resina, não ser ionizado em baixos valores de pH (CLIFFORD, 1990). Por esta razão as resinas catiônicas fracamente ácidas não são capazes de remover cátions dos sais derivados de ácidos fortes, conforme apresentado na equação da reação de troca iônica apresentada abaixo.

Caso a reação acima ocorresse no sentido indicado pela seta, seria produzido o ácido clorídrico, o qual estaria completamente ionizado, fazendo com que os íons H^+ fossem adicionados ao grupo funcional carboxilato, impedindo a trocas dos íons H^+ pelos íons Ca^{2+} (CLIFFORD, 1990). Uma outra forma expressar que as resinas fracamente ácidas não irão remover dureza diferente de carbonato e bicarbonato de cálcio, é dizer que elas não são capazes de "*dividir sais neutros*".

Embora as resinas catiônicas fracamente ácidas apresentem esta limitação, elas podem apresentar vantagens para o abrandamento de água pois não há um acréscimo no teor de sais dissolvidos totais, na água tratada, o que não ocorre quando da utilização das resinas fortemente ácidas (CLIFFORD, 1990).

Resina aniônica fortemente básica (AFB)

As resinas aniônicas fortemente básicas podem ser divididas em dois subgrupos, denominados de TIPO I e TIPO II (ALVES da CUNHA, 1989).

O que diferencia um tipo de resina do outro é a basicidade que estas apresentam, sendo que as resinas do TIPO I apresentam uma basicidade mais forte que as resinas do TIPO II e, por esta razão, irão produzir uma água efluente de melhor qualidade, apresentando uma menor fuga de ânions, principalmente de sílica (ALVES da CUNHA, 1989).

As resinas do TIPO II também são consideradas base forte e também são capazes de remover todos os ânions presentes na água, apresentando restrições apenas com relação à sílica mas que, por serem uma base menos forte que as do TIPO I, irão requerer uma menor quantidade de produtos químicos durante a etapa de regeneração. Estas resinas são amplamente utilizadas para o tratamento de águas que contenham baixo teor de sílica em relação à quantidade total de ânions, ou então, nos processos onde a fuga de sílica não seja crítica, ou ainda, nos casos onde os teores de cloretos e sulfatos apresentam-se em alto percentual em relação ao total de ânions (ALVES da CUNHA, 1989).

As resinas aniônicas fortemente básicas apresentam como pontos ativos, para a troca de íons, o grupo funcional de amina quaternária ($R-N(CH_3)_3^+$), que é tão básico que é ionizado e pode ser útil como um trocador de íons para uma faixa de pH variando de 1 a 13 (CLIFFORD, 1990). Estas resinas podem ser condicionadas na forma *OH* (hidroxila), ou então, na forma *Cl* (cloreto), sendo estes os ânions que serão liberados pela resina durante a etapa de tratamento.

Novamente, a opção por uma ou outra das formas disponíveis irá depender da qualidade da água que se deseja obter.

Resina aniônica fracamente básica (AfB)

Estas resinas são empregadas em sistemas de tratamento de água onde se deseja remover primeiramente os ânions de ácido forte, entre eles o cloreto, o sulfato e o nitrato, sendo que as mesmas não têm capacidade para remover os ânions fracamente ionizáveis, entre eles o bicarbonato e a sílica (ALVES da CUNHA, 1989).

A vantagem destas resinas é que elas podem ser perfeitamente regeneradas com a quantidade estequiométrica de regenerante, sendo por esta razão mais eficiente que as resinas fortemente básicas, tanto do ponto de vista de processo, quanto ambiental e econômico, pois há um menor consumo de reagente e a geração de um efluente com uma menor carga poluidora.

Por outro lado, estas resinas são úteis apenas na faixa de pH ácido, onde os grupos funcionais de aminas primárias, secundárias ou terciárias são protonadas e assim podem atuar como sítios positivamente carregados, o que possibilita a troca de ânions (CLIFFORD, 1990).

A.3.2. Seletividade das resinas

Uma informação de grande importância para a seleção, dimensionamento e operação dos sistemas de tratamento de água para uso industrial pelo processo de troca iônica refere-se à seletividade das mesmas, isto é, a ordem de preferência das resinas pelos íons envolvidos no processo de tratamento.

De um modo geral, as resinas catiônicas e aniônicas, disponíveis no mercado, apresentam uma seqüência de seletividade entre os íons, sendo apresentada na tabela A.3, a seqüência de seletividade de íons pelas resinas fortemente ácidas e fortemente básicas, onde os valores são expressos em relação aos fatores de separação, definidos com base nas concentrações em equivalentes por litro de um íon qualquer e um íon de referência.

Tabela A.3 - Afinidade relativa dos íons pelas resinas de troca iônica

Resina Catiônica Fortemente Ácida [¶]		Resina Aniônica Fortemente Básica [§]	
Cátion	α_{i/Na^+}	Ânion	α_{i/Cl^-}
Ra ²⁺	13,0	CrO ₄ ²⁻	100,00
Ba ²⁺	5,8	SeO ₄ ²⁻	17,00
Pb ²⁺	5,00	SO ₄ ²⁻	9,10
Sr ²⁺	4,80	HSO ₄ ⁻	4,10
Cu ²⁺	2,60	NO ₃ ⁻	3,20
Ca ²⁺	1,90	Br ⁻	2,30
Zn ²⁺	1,80	HAsO ₄ ²⁻	1,50
Fe ²⁺	1,70	SeO ₃ ²⁻	1,30
Mg ²⁺	1,67	HSO ₃ ³⁻	1,20
K ⁺	1,67	NO ₂ ⁻	1,10
Mn ²⁺	1,60	Cl ⁻	1,00
NH ₄ ⁺	1,30	HCO ₃ ⁻	0,27
Na ⁺	1,00	CH ₃ COO ⁻	0,14
H ⁺	0,67	F ⁻	0,07

¶ - Os valores apresentados acima são aproximados e foram obtidos para uma solução de 0,01N (SDT = 500 mg/L com CaCO₃).

§ - A resina aniônica fortemente básica é feita com uma matriz de poliestireno e divinilbenzeno, tendo como grupo funcional ativo o radical $-N^+(CH_3)_3$.

Fonte: CLIFFORD, 1990

Conforme mencionado anteriormente, os valores de alfa ($\alpha_{i/j}$), referem-se à distribuição dos íons entre as fases sólidas (resina) e líquida (solução), sendo obtidos pela relação de equilíbrio da reação de troca, conforme apresentado a seguir (CLIFFORD, 1990).

$$R-j + i \rightleftharpoons R-i + j \quad K = \frac{\overline{\{R-i\}}\{j\}}{\overline{\{R-j\}}\{i\}} \quad (A22)$$

Os valores entre chaves representam a atividade iônica da solução. Para soluções diluídas a atividade pode ser substituída pela concentração molar (MAHAN, 1985), caso específico da água a ser submetida ao processo de tratamento por troca iônica.

Com base na definição para o fator de separação, o mesmo pode ser representado pela expressão a seguir.

$$\alpha_{i/j} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j} \quad (\text{A23})$$

onde: x e y representam as frações equivalentes dos íons i e j , na solução e na resina respectivamente.

$$x_{i/j} = \frac{[\text{íons } i \text{ ou } j]}{\text{Concentração Total de íons}} \quad (\text{A24})$$

$$y_{i/j} = \frac{[\overline{R-i} \text{ ou } \overline{R-j}]}{\text{Capacidade da Resina}} \quad (\text{A25})$$

Reorganizando as expressões acima, obtém-se a seguinte relação:

$$\alpha_{i/j} = \frac{[\overline{R-i}][j]}{[\overline{R-j}][i]} \quad (\text{A26})$$

Além das relações apresentadas acima, algumas regras gerais governam a sequência de seletividade. Por exemplo, em soluções diluídas, com uma concentração de sólidos dissolvidos na faixa encontrada nas águas naturais, as resinas têm maior afinidade pelos íons que apresentam carga mais elevada e com menor grau de hidratação (CLIFFORD, 1990).

As resinas aniônicas fracamente básicas apresentam a mesma sequência de seletividade que as resinas fortemente básicas, com exceção do íon hidroxila, mais preferido pelas resinas fracamente básicas e os valores do fator de separação serem diferentes daqueles apresentados na tabela A.3.

A.3.3 - Capacidade de troca das resinas

Conforme mencionado anteriormente, as resinas de troca iônica possuem uma capacidade limitada para troca de íons, propriedade que está associada à quantidade limitada de sítios ativos que a resina apresenta, sendo esta propriedade, em conjunto com as características da água a ser tratada e a da água a ser produzida, são os fatores que irão determinar o porte do sistema de troca iônica.

Para facilitar o processo de seleção e dimensionamento dos sistemas de produção de água desmineralizada, os fabricantes de resinas colocam a disposição, dos projetistas, as principais características referentes às resinas produzidas, inclusive a capacidade de troca, as quais são, normalmente, disponibilizadas na forma de folha de dados.

A título de ilustração são apresentadas na tabela A.4, as principais características de algumas resinas de troca iônica comercializadas pela Empresa ROHM and HAAS Brasil Ltda⁺.

Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica

Resinas Macroreticulares e Macroporosas						
<i>Resinas Catiônicas Fortemente Ácidas - Grupo Sulfônico</i>						
Designação	Formas Iônicas Disponíveis	Densidade Úmida (g/cm³)	Tamanho Efetivo (mm)	Faixa de pH	Capacidade de Troca (meq/mL úmida)	Aplicação
Amberlite 200 Estireno-DVB	Sódio	1,26	0,52	0 - 14	1,7	Condicionamento de água (abrandamento, desmineralização)
Amberlite 200C Estireno-DVB	Sódio Hidrogênio	1,26	0,56	0 - 14	1,7	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.
Amberlite 252 Estireno-DVB	Sódio	1,27	0,48	0 - 14	1,8	Condicionamento de águas industriais onde se deseja altas capacidade e vida útil.

⁺ Os dados apresentados servem apenas para ilustrar as características das resinas de troca iônica, o que por si só não garantem o desempenho das mesmas em condições reais de serviço, bem como a simples citação do nome da empresa fornecedora, não implica na recomendação dos seus produtos para uso.

**Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica
(continuação)**

<i>Resinas Catiônicas Fortemente Ácidas - Grupo Sulfônico</i>						
Amberlite 252C Estireno-DVB	Sódio Hidrogênio	1,27	0,56	0 - 14	1,8	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.
<i>Resinas Catiônicas Fracamente Ácidas - Grupo Carboxílico</i>						
Amberlite DP- 1 Ácido Metacrílico- DVB	Sódio	1,17	0,48	5 - 14	2,5	Abrandamento de água industrial e doméstica.
Duolite C-464 Acrílico-DVB	Hidrogênio	1,13	0,45	5 - 14	3,0	Abrandamento de água com alta salinidade e desmineralização.
<i>Resinas Aniônicas Fortemente Básicas - Grupo Amônia Quaternária</i>						
Amberlite IRA-900 Estireno-DVB	Cloreto	1,07	0,46	0 - 14	1,0	Condicionamento de água (desmineralização, remoção de sílica e oxigênio) de correntes contendo compostos orgânicos com alto peso molecular.
Amberlite IRA-900c Estireno-DVB	Bicarbonato Cloreto Hidróxido	1,07	0,50	0 - 14	1,0	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.
Amberlite IRA-910 Estireno-DVB	Cloreto	1,09	0,46	0 - 14	1,1	Condicionamento de água e desmineralização.
Amberlite IRA-938 Estireno-DVB	Cloreto Hidróxido	1,20	0,43	0 - 14	0,5	Produção de água de alto grau de pureza, onde a remoção de colóides e a baixa condutividade elétrica são mandatórias.

**Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica
(continuação)**

Resinas Aniônicas Fortemente Básicas - Grupo Amônia Quaternária						
Amberlite IRA-958	Cloreto	--x--	0,52	0 - 14	0,8	Remoção de cor e compostos orgânicos.
Resinas Aniônicas Fracamente Básicas - Grupo Poliestireno Poliamina						
Amberlite IRA-93 Estireno-DVB	Base livre	1,04	0,41	0 - 9	1,3	Deacidificação, desmineralização de água, onde a remoção de ácidos orgânicos e minerais fortes é desejada.
STRATABED 93 Estireno-DVB	Base livre	1,04	Especificado para a obtenção do melhor resultado	0 - 9	1,2	Desmineralização de água, incluindo a remoção de sílica.
Amberlite IRA-94 Estireno-DVB	Base livre	1,05	0,41	0 - 9	1,2	Desmineralização de águas superficiais e efluentes com alto teor de sólidos dissolvidos.
Resinas Tipo GEL						
Resinas Catiônicas Fortemente Ácidas - Grupo Sulfônico						
Amberlite IR-120 Estireno-DVB	Sódio Hidrogênio	1,26	0,50	0 - 14	1,9	Condicionamento de água, abrandamento, desmineralização e dealcalinização.
Amberlite IR-122 Estireno-DVB	Sódio	1,32	0,54	0 - 14	2,1	Condicionamento de água, abrandamento, desmineralização e dealcalinização.
STRATABED 122 Estireno-DVB	Sódio	1,32	Especificado para obtenção do melhor desempenho	0 - 14	2,1	Condicionamento de água, abrandamento, desmineralização e dealcalinização.
Amberlite IR-132C	Sódio Hidrogênio	1,32	0,55	0 - 14	2,2	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.

**Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica
(continuação)**

<i>Resinas Catiônicas Fracamente Ácidas - Grupo Caboxílico</i>						
Amberlite IRC-84 Acrílico-DVB	Hidrogênio	1,19	0,42	4 - 14	4,0	Condicionamento de água, desmineralização e dealcalinização.
STRATABED 84 Acrílico-DVB	Hidrogênio	1,19	Especificado para obtenção do melhor desempenho	4 - 14	4,0	Condicionamento de água, abrandamento, desmineralização e dealcalinização.
DUOLITE C-433 Acrílico-DVB	Hidrogênio	1,19	0,45	4 - 14	4,5	Desmineralização, abrandamento e dealcalinização.
<i>Resinas Aniônicas Fortemente Básicas - Grupo Amônia Quaternária</i>						
Amberlite IRA-400 Estireno-DVB	Cloreto Hidrogênio	1,11	0,48	0 - 14	1,4	Condicionamento de água, desmineralização incluindo a redução de sílica e oxigênio.
Amberlite IRA-402 Estireno-DVB	Cloreto	1,07	0,50	0 - 14	1,3	Condicionamento de água, desmineralização incluindo redução de sílica, remoção de contaminantes fracamente ácidos.
STRATABED 402 Estireno-DVB	Cloreto	1,07	Especificado para obtenção do melhor desempenho	0 - 14	1,3	Condicionamento de água, desmineralização incluindo redução de sílica.
Amberlite IRA-410 Estireno-DVB	Cloreto	1,12	0,48	0 - 14	1,4	Condicionamento de água, desmineralização e dealcalinização.
Amberlite IRA-420C Estireno-DVB	Bicarbonato Cloreto Hidróxido	1,07	0,50	0 - 14	1,4	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.

**Tabela A.4 - Propriedades e aplicações de algumas resinas de troca iônica
(continuação)**

<i>Resinas Aniônicas Fortemente Básicas - Grupo Amônia Quaternária</i>						
Amberlite IRA-440C Estireno-DVB	Bicarbonato Cloreto Hidróxido	1,11	0,50	0 – 14	1,4	Desmineralização de água a altas taxas de fluxo.
Amberlite IRA-458 Acrílico-DVB	Cloreto	1,08	0,47	0 – 14	1,2	Condicionamento de água, desmineralização, dealcalinização, remoção de cor, remoção ou recuperação de compostos ácidos.
<i>Resinas Aniônicas Fracamente Básicas - Grupo Poliamina</i>						
Amberlite IRA-68 Acrílico-DVB	Base Livre	1,06	0,43	0 – 7	1,6	Deacidificação, desmineralização e dessalinização de água, onde a remoção de ácidos minerais fortes e adsorção de compostos orgânicos.
DUOLITE A-340 Epoi-Amina	Base livre	1,15	0,47	0 - 7	2,4	Desmineralização com leitos múltiplos.

Fonte: ROHM and HAAS, 1986 e 2000

Além das resinas apresentadas acima, encontram-se disponíveis no mercado outros tipos de resinas, utilizadas em aplicações especiais como, por exemplo, instalações nucleares.

A.3.4. Sistemas de produção de água desmineralizada

A água desmineralizada é a mais adequada para utilização em processos químicos industriais e qualquer outra aplicação onde não se deseja introduzir elementos químicos adicionais àqueles necessários ao desenvolvimento do processo, como por exemplo, a utilização de água de alto grau de pureza em indústrias farmacêuticas, fotográfica, alimentícias, eletrônica e de bebidas, muito embora a maior utilização de

água desmineralizada seja feita em sistemas de geração de vapor à média e alta pressão.

O processo de desmineralização consiste na remoção de todos os cátions e ânions presentes na água a ser tratada, destacando-se, dentre esses, o cálcio, o magnésio, o sódio, o potássio (como cátions), o sulfato, o cloreto, o nitrato o bicarbonato, o dióxido de carbono e a sílica (como ânions).

Normalmente, dependendo da concentração de íons presentes, utilizam-se pelo menos dois leitos de resinas, um catiônico e um aniônico, ligados em série, o que completa o ciclo de desmineralização, conforme representado pelas equações abaixo (ALVES da CUNHA).

Leito catiônico (na forma hidrogênio):

Leito aniônico (na forma hidróxido):

Devido a sua capacidade limitada, após um determinado período de operação, as resinas ficam saturadas, devendo-se então interromper o processo de tratamento e proceder a regeneração dos leitos de resina, procedimento que envolve as seguintes etapas:

- a) **Descompactação dos leitos:** em função da maior parte dos sistemas de troca iônica operarem com o fluxo de água no sentido descendente, ocorre a compactação do leito, resultando na necessidade de promover a expansão do mesmo antes da etapa de regeneração. Esta expansão é realizada circulando-se água e ar através do leito de resina, em sentido contrário ao do fluxo normal de operação.
- b) **Regeneração das resinas:** consiste na passagem de uma solução adequada, ácida ou básica, com uma concentração suficientemente elevada, para deslocar os cátions e ânions retidos nas resinas. Em geral, costuma-se utilizar o ácido sulfúrico ou clorídrico para a regeneração do leito catiônico e o hidróxido de sódio para regeneração do leito aniônico.
- c) **Lavagem do leito:** após o processo de regeneração ter sido concluído, o excesso das soluções utilizadas deve ser removido, utilizando-se para este fim água desmineralizada, para que não sejam introduzidos outros íons no sistema. Considerando-se que após o processo de lavagem os leitos de resinas podem estar compactados, é necessária uma nova descompactação utilizando-se, neste caso, água desmineralizada e ar.

As reações envolvidas no processo de regeneração das resinas de troca iônica são apresentadas a seguir:

Leito catiônico (na forma hidrogênio):

Leito aniônico (na forma hidróxido):

Dependendo do uso que se pretende fazer com a água desmineralizada e/ou da qualidade da água alimentada ao sistema, pode-se utilizar diferentes tipos de arranjos e combinações entre as resinas disponíveis, sendo apresentados na tabela A.5, os principais arranjos disponíveis.

Tabela A.5 - Principais arranjos para os sistemas de produção de água desmineralizada

Arranjo	Aplicação	Qualidade da Água	Vantagens e Desvantagens
	Quando não há necessidade de remover CO ₂ e nem Sílica.	> Condutividade elétrica: 10 a 30 µS/cm > Sílica não removida	Baixo custo de equipamentos e de regeneração.
	Quando não há necessidade de remover sílica.	> Condutividade elétrica: 10 a 20 µS/cm > Sílica não removida	Baixo custo de equipamentos e de regeneração, porém requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
	Água bruta com baixa alcalinidade, com necessidade de remoção de sílica.	> Condutividade elétrica: 5 a 15 µS/cm > Sílica: 0,02 a 0,10 mg/L	Baixo custo de equipamentos.

Tabela A.5 - Principais arranjos para os sistemas de produção de água desmineralizada (continuação)

Arranjo	Aplicação	Qualidade da Água	Vantagens e Desvantagens
	Água bruta com alta alcalinidade, com necessidade de remoção de sílica.	> Condutividade elétrica: 5 a 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,02 a 0,10 mg/L	Baixo custo de equipamentos, porém requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
	Água bruta com alta alcalinidade, sulfatos e cloretos, com necessidade de remoção de sílica.	> Condutividade elétrica: 5 a 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,02 a 0,10 mg/L	Médio custo de equipamentos e requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
	Água bruta com alta dureza, alcalinidade, sulfatos e cloretos, com necessidade de remoção de sílica.	> Condutividade elétrica: 5 a 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,02 a 0,10 mg/L	Alto custo de equipamentos e baixo custo de regeneração. Requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
	Água bruta com alta alcalinidade e alto teor de sódio. Água desmineralizada de alta pureza.	> Condutividade elétrica: 1 a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,01 a 0,05 mg/L	Alto custo de equipamentos e baixo custo de regeneração. Requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
	Água bruta com baixa salinidade. Água desmineralizada de alta pureza.	> Condutividade elétrica: menor que 1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,01 a 0,05 mg/L	Baixo custo de equipamentos e médio custo de regeneração.
	Água bruta de alta alcalinidade e alto teor de salinidade. Água desmineralizada de alta pureza.	> Condutividade elétrica: menor que 1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ > Sílica: 0,01 a 0,05 mg/L	Alto custo de equipamentos e baixo custo de regeneração. Requer bombeamento após a torre de decarbonatação.
1 - Leito catiônico de resinas fortemente ácidas 2 - Leito catiônico de resinas fracamente ácidas 3 - Leito aniônico de resinas fortemente básicas		4 - Leito aniônico de resinas fracamente básicas 5 - Leito misto (Resinas catiônicas e aniônicas) 6 - Torre de decarbonatação.	

Fontes: NALCO, 1988 e ALVES da CUNHA, 1989

Além destes arranjos, podem ser desenvolvidos outros que venham atender as necessidades da indústria com relação à qualidade da água bruta e qualidade da água que se pretende obter, sendo que nestes casos deve-se avaliar todas as alternativas possíveis, com o apoio dos fornecedores das resinas de troca iônica, os quais também poderão contribuir para a obtenção do melhor arranjo possível.

A.3.5. Considerações finais sobre o processo de troca iônica

Pelo exposto anteriormente verifica-se que, no tratamento de água pelo processo de troca iônica e para a obtenção de água com alto grau de pureza, são gerados efluentes líquidos, que consistem da água utilizada para a expansão e lavagem dos leitos de resinas e solução de regeneração. Estes efluentes devem ser gerenciados de forma a não causarem impactos negativos ao meio ambiente ou aos sistemas de controle de efluentes existentes, devendo ser adotadas estratégias que visem minimizar a geração dos mesmos.

A.4. Osmose reversa

A tecnologia de osmose reversa teve aplicação prática, como operação unitária, no final da década de 50 e início da década de 60, sendo inicialmente aplicada nas indústrias para reduzir o consumo de água e energia, controle da poluição e recuperação de materiais úteis de efluentes (DOW EUROPE, 1994).

Esta tecnologia baseia-se no fenômeno natural de osmose, que consiste na passagem de água pura através de uma membrana semipermeável, de uma solução salina diluída para uma mais concentrada, até que seja atingido um equilíbrio, resultando na elevação do nível de líquido da solução mais concentrada. A diferença de nível entre as duas soluções é conhecida como pressão osmótica de equilíbrio. Caso seja aplicada uma pressão hidráulica, superior a pressão osmótica de equilíbrio, do lado da solução mais concentrada, irá ocorrer o fluxo de água através da membrana, da solução concentrada para a diluída, fenômeno conhecido como osmose reversa (PAREKH, 1988) e (CONLON, 1990). A figura A.2 é uma representação esquemática do fenômeno de osmose e osmose reversa.

O processo de osmose reversa é uma alternativa aos processos disponíveis de dessalinização, entre eles, a troca iônica e a destilação, sendo o mais econômico dentro do seu campo de aplicação.

Como no caso da troca iônica e destilação, o processo de osmose reversa é utilizado para a obtenção de água com alto grau de qualidade, atuando como uma barreira para a maioria dos sais dissolvidos ou moléculas inorgânicas, bem como moléculas

orgânicas, com massa molecular superior a cem. A taxa de rejeição de sais pode variar de 95% a mais de 99%, dependendo do tipo de membrana utilizada, concentração salina da corrente processada, tipo de substâncias envolvidas e condições operacionais do sistema (CONLON, 1990).

Figura A.2 - Representação esquemática do fenômeno de osmose reversa.

Na tabela A.6 são apresentadas as taxas de rejeição de algumas substâncias para as membranas FT30 da FILMTEC®.

Tabela A.6 - Taxa de rejeição de algumas substâncias para as membranas FT30 da FILMTEC®.

Solute	Peso Molecular	Rejeição (%)		
		BW	SW	SW HR
Fluoreto de Sódio (NaF)	42	98	> 99	> 99
Cianeto de Sódio (NaCN) – pH 11	49	97	98	99
Cloreto de Sódio (NaCl)	58	98	> 99	> 99
Sílica (SiO ₂) – Até 50 ppm	60	98	99	> 99

Tabela A.6 - Taxa de rejeição de algumas substâncias para as membranas FT30 da FILMTEC® (continuação)

Soluto	Peso Molecular	Rejeição (%)		
		BW	SW	SW HR
Bicarbonato de Sódio (NaHCO ₃)	84	98	98	99
Nitrato de Sódio (NaNO ₃)	85	93	96	98
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	95	98	> 99	> 99
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂)	111	99	> 99	> 99
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	120	99	> 99	> 99
Sulfato de Níquel (NiSO ₄)	155	99	> 99	> 99
Sulfato de Cobre (CuSO ₄)	160	99	> 99	> 99
Formaldeído	30	35	50	60
Metanol	32	25	35	40
Etanol	46	70	80	85
Isopropanol	60	90	95	97
Urea	60	70	80	85
Ácido Lático (pH 2)	90	94	97	98
Ácido Lático (pH 5)	90	99	> 99	> 99
Glucose	180	98	99	> 99
Sucrose	342	99	> 99	> 99
Pesticidas (Traços)	--	99	> 99	> 99
Condições Padrões:				
2.000 ppm do soluto - Pressão de Alimentação = 15,5 bar – Temperatura da Alimentação = 25°C				
pH da alimentação = 7,0 (a menos que seja apresentado o valor)				
BW – Brackish Water (Água Salobra)				
SW – Sea Water (Água do Mar)				
SW-HR – Sea Water High Rejection (Água do Mar e Alta Rejeição)				

Fonte: DOW EUROPE, 1994

Além da taxa de rejeição de sais, um parâmetro que apresenta bastante interesse refere-se à taxa de recuperação de água do sistema já que, na prática, quando uma determinada corrente é processada em uma unidade de osmose reversa, esta será dividida em duas correntes, ou seja, o permeado, que apresenta uma baixa concentração salina e o concentrado, no qual deverão estar presentes as substâncias

inicialmente presentes na solução de alimentação, conforme apresentado na figura A.3.

Figura A.3 - Sistema contínuo de osmose reversa.

No sistema apresentado acima, a membrana é colocada em um vaso de pressão, o qual apresenta uma entrada e duas saídas. Utilizando-se uma bomba de alta pressão, a água a ser purificada é continuamente alimentada ao vaso, ocorrendo no interior deste a divisão do fluxo. Dependendo da composição química da água de alimentação e arranjo utilizado, pode-se obter uma recuperação de água próxima de 90%, na forma de água tratada.

Além das características referentes à qualidade da água de alimentação, o desempenho dos sistemas de tratamento por osmose reversa é influenciado pelos seguintes fatores:

- tipo de módulo e material das membranas;
- pressão e temperatura da corrente de alimentação;
- taxa de recuperação de água;
- concentração de sais na alimentação.

A.3.5 - Materiais das membranas e tipos de módulos

Basicamente, as membranas de osmose reversa podem ser fabricadas em três tipos de materiais distintos, ou seja, acetato de celulose, poliamida e filme fino composto (poliamida-polissulfona), os quais influenciam na definição dos parâmetros operacionais do sistema de tratamento como um todo, em função de algumas restrições referentes à resistência destes materiais, sendo apresentadas na tabela A.7 as recomendações para utilização dos tipos de membranas disponíveis.

Tabela A.7 - Recomendações para uso das membranas de osmose reversa.

Material da Membrana	Limite de pH	Limite de Temperatura	Outras Limitações
Acetato de Celulose	1,5 – 7,0	0 – 50 °C	Pode ser degradada por processos biológicos
Poliamida	4 – 11	0 – 46 °C	Não tolera cloro livre
Filme Fino Composto (Poliamida/Polisulfona)	< 1 – 13	0 – 79 °C	Pode tolerar níveis moderados de cloro livre (100 ppm)

Fonte: IDAHO NATIONAL ENGINEERING LABORATORY, 1992

Com relação aos tipos de módulos de osmose reversa existem disponíveis no mercado quatro configurações básicas: a tubular, a do tipo placa, o módulo enrolado em espiral e a do tipo fibra oca (PAREKH, 1988).

Os módulos tubulares e em placa foram os primeiros a serem utilizados no início do desenvolvimento da tecnologia de osmose reversa, sendo que os sistemas que fazem uso destes tipos de módulos envolvem um alto investimento inicial e apresentam uma baixa densidade de empacotamento da membrana, quer dizer, a relação entre a área superficial da membrana por unidade de volume do sistema, sendo aplicados em sistemas que operam com águas ou soluções com alta concentração de material em suspensão, como por exemplo, em indústrias alimentícias.

Os módulos enrolados em espiral, mais utilizados atualmente, são constituídos por duas camadas de membranas que são coladas nos lados opostos de um tecido espaçador, conhecido como espaçador do canal de permeado. O envelope formado é enrolado ao redor de um tubo perfurado, colocado no interior do canal de permeado,

colocando-se uma tela plástica externamente ao envelope, de forma a obter um canal para a corrente de alimentação.

Já nos módulos em fibra oca, as membranas são processadas de forma a serem obtidos tubos capilares muito finos, os quais são montados no interior dos vasos de pressão.

Tanto os módulos enrolados em espiral, como os de fibra oca, apresentam uma elevada densidade de empacotamento, tendo como desvantagem a possibilidade da ocorrência de entupimentos, que dificilmente são revertidos pelos métodos convencionais de limpeza.

A.3.6. Influência da pressão e da temperatura

No caso da pressão, o processo de osmose reversa é influenciado tanto na quantidade, como na qualidade da água produzida, ou seja, com o aumento da pressão na alimentação do sistema, ocorre um aumento no fluxo de água através da membrana e uma redução na concentração de sólidos totais dissolvidos no permeado, o que significa dizer que ocorre um aumento na taxa de rejeição de sais.

Com relação à temperatura da água de alimentação do sistema, também se observa uma variação na taxa de produção de permeado, bem como na taxa de rejeição de sais só que, neste caso, ao contrário do que ocorre com o aumento da pressão, a taxa de rejeição de sais do sistema de osmose reversa é reduzida, ocorrendo uma piora da qualidade do permeado.

A.3.7. Influência da recuperação de água no sistema

A recuperação de água em um sistema de osmose reversa é definida pela relação entre o fluxo de permeado e o fluxo de água alimentado ao sistema.

Com o aumento da recuperação de água o fluxo de permeado através da membrana vai diminuindo e finalmente é interrompido, quando a concentração salina atinge um valor onde a pressão osmótica do concentrado é superior à pressão aplicada na corrente de alimentação. A taxa de rejeição de sais também é reduzida com o aumento da recuperação de água.

A.3.8 - Influência da concentração salina da alimentação

Considerando-se a variação da concentração salina da corrente de alimentação, no processo de osmose reversa, mantendo-se constante a pressão de alimentação, haverá uma redução no fluxo de permeado, bem como na taxa de rejeição de sais, com o aumento da concentração salina da alimentação.

A.3.9 - O Processo de osmose reversa na prática

Em aplicações práticas, um sistema de osmose reversa é constituído, não apenas pelo subsistema de osmose reversa (bomba de alta pressão, vasos de pressão, membranas, válvulas e instrumentos), mas também pelo subsistema de pré-tratamento, subsistema de pós-tratamento e subsistema de limpeza química, os quais irão exercer grande influência no desempenho do sistema de purificação de água como um todo, bem como na qualidade final da água obtida.

Subsistema de pré-tratamento

O pré-tratamento da água a ser processada pela unidade de osmose reversa tem como principal objetivo melhorar a eficiência e aumentar o tempo de vida útil das membranas utilizadas, uma vez que diversas substâncias podem apresentar efeitos deletérios sobre as mesmas (DOW EUROPE, 1994).

Os principais problemas relacionados à perda de eficiência e redução da vida útil das membranas de osmose reversa estão associados à deposição de material em suspensão, incrustação e/ou degradação por agentes oxidantes ou microrganismos.

Para que sejam evitados os problemas de deposição e incrustação, que irão causar perda na eficiência do sistema pelo entupimento ou colmatação da membrana, pode-se lançar mão dos diversos processos de tratamento de água existentes, como por exemplo, abrandamento, precipitação química, coagulação floculação e filtração.

Com relação ao processo de degradação das membranas, por estas serem fabricadas a partir de materiais orgânicos deve-se evitar, ao máximo, operar a unidade de osmose reversa na presença de substâncias oxidantes na corrente de alimentação, bem como evitar o crescimento de microrganismos nas membranas.

Com relação ao crescimento de microrganismos na superfície das membranas, deve-se fazer uso dos processos de desinfecção, os quais já se encontram com tecnologia bastante desenvolvida, ou seja, processo de cloração, ozonização e desinfecção por radiação ultravioleta, ou ainda, por meio da utilização de agentes biocidas.

No caso dos compostos oxidantes, pode-se fazer uso dos processos de adsorção em carvão ativado, no caso específico de eliminação de cloro livre, ou então, utilizar-se compostos redutores, como por exemplo, o metabissulfito de sódio.

O tipo de pré-tratamento a ser adotado é função das características da corrente a ser submetida ao processo de osmose reversa, podendo ser necessário utilizar-se uma combinação entre os diversos processos citados anteriormente.

Na tabela A.8 são apresentadas algumas opções de pré-tratamento para reduzir possíveis riscos de incrustação, deposição e degradação em sistemas de osmose reversa.

Tabela A.8 - Opções de pré-tratamento para reduzir possíveis riscos de incrustação, deposição e degradação em sistemas de osmose reversa

Pré Tratamento	Contaminante										
	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe	Al	Bactéria	Agentes Oxidantes	Matéria Orgânica
Acidificação	E						P				
Inibidor de Incrustação	P	E	E	E	E	P					
Abrandamento por Troca Iônica	E	E	E	E	E						
Dealcalinização por Troca Iônica	P	P	P	P	P						
Abrandamento com Cal	P	P	P	P	P	P	P				
Limpeza Preventiva	P					P	P	P	P		P
Ajuste dos Parâmetros de Operação		P	P	P	P	E					
Filtro de Areia						P	P	P			
Oxidação / Filtração							E				
Coagulação em linha							P	P			

**Tabela A.8 - Opções de pré-tratamento para reduzir possíveis riscos de
incrustação, deposição e degradação em sistemas de osmose reversa
(continuação)**

Pré Tratamento	Contaminante										
	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe	Al	Bactéria	Agentes Oxidantes	Matéria Orgânica
Coagulação / Floculação						P	P	P			
Microfiltração ou Ultrafiltração						E	P	P	P		
Filtro Cartucho						P	P	P	P		
Cloração									E		
Remoção de Cloro										E	
Tratamento de choque									P		
Desinfecção Preventiva									P		
Adsorção em Carvão Ativo Granular									P	E	E

P – Possível

E – Efetivo

Fonte: DOW EUROPE, 1994

Subsistema de osmose reversa

Os subsistemas de osmose reversa são projetados com o objetivo principal de obter uma determinada vazão de permeado, minimizando-se a pressão de operação do sistema e custo das membranas, enquanto a recuperação de água e a rejeição de sais devem ser maximizadas.

Assim sendo, o subsistema de osmose reversa deverá ser projetado levando-se em consideração a quantidade e qualidade da água a ser produzida, características da corrente de alimentação e taxa de recuperação de água requerida. O grau de importância de cada um destes parâmetros será função do tipo de aplicação que pretende dar ao processo. No caso de tratamento de água para consumo, a qualidade da água a ser produzida é um fator importante, já no caso de tratamento de efluentes ou recuperação de algum composto de interesse, a taxa de rejeição de sais e a taxa de recuperação de água têm maior importância.

Os projetos das unidades de osmose reversa são bastante complexos, pois além de considerarem as características das correntes a serem processadas e parâmetros operacionais, levam em consideração as características das membranas e dos possíveis arranjos disponíveis.

Por esta razão o procedimento mais utilizado para a implantação de uma unidade de osmose reversa consiste na elaboração de uma especificação técnica, na qual são apresentados os requisitos básicos para o sistema, como por exemplo, características da corrente a ser processada e da água a ser produzida, taxa de recuperação de água e taxa de rejeição de sais.

Esta especificação técnica é submetida a vários fornecedores de sistemas de osmose reversa, os quais irão projetar o sistema mais adequado para atender aos requisitos de processo, com base nas características dos seus materiais e equipamentos. Os projetos fornecidos são analisados para que se possa fazer uma opção pelo mais adequado às necessidades do usuário.

Para que os responsáveis pela implantação de sistemas de osmose reversa possam elaborar um pré-dimensionamento das suas unidades, alguns fornecedores desenvolveram catálogos específicos para os seus sistemas. Nesses catálogos são apresentadas informações referentes aos possíveis arranjos disponíveis, tipos de membrana existentes, campo de aplicação, taxa de recuperação de água por membrana, taxa de rejeição de sais e máxima pressão de operação.

A seguir são apresentados alguns dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa (figura A.4).

Figura A.4 - Representação dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa

Na tabela A.9 encontra-se uma comparação entre os processos de osmose reversa, considerando-se o processo contínuo de tratamento sem recirculação de concentrado e com recirculação de concentrado.

Tabela A.9 - Comparação entre os processo de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado

	Processo sem Recirculação	Processo com Recirculação
Composição da Alimentação	Deve ser Constante	Pode Variar
Recuperação de Água do Sistema	Deve ser constante	Pode variar
Circuito de Limpeza	Mais Complicado	Simples
Compensação da Deposição	Mais Difícil	Fácil
Variação de Pressão na Membrana (Entrada/Saída)	Diminui	Não Há
Consumo de Energia	Baixo	15-20% superior
Número de Bombas	Baixo	Alto
(Investimento/Manutenção)	Mais Difícil	Fácil
Ampliação, Variando a área da membrana	Baixa	Superior
Passagem de Sal pela Membrana		

Fonte: DOW EUROPE, 1994

Na tabela A.10 encontra-se o campo de aplicação das membranas de osmose reversa **FilmTec FT30**, da Empresa DOW.

Tabela A.10 - Campo de aplicação das membranas FT30 da FilmTec

Membrana	Parâmetro			
	Recuperação de Água por Membrana Módulo de 1 m	STD na Alimentação (mg/l)	Taxa de Rejeição de Sais	Pressão de Alimentação Requerida
TW30 (Tap Water)	15% / 10 %	< 1.000	> 90 %	< 21 bar
BW30 (Brackish Water)	15% / 10 %	< 5.000	> 95 %	< 41 bar
SW30 (Sea Water)	15% / 10 %	5.000 – 15.000	> 98 %	> 41 bar
SW30HR (Sea Water High Rejection)	15% / 10 %	15.500 – 50.000	> 99 %	> 41 bar

Fonte: DOW EUROPE, 1994

As equações básicas para o pré-dimensionamento de um sistema de osmose reversa são apresentadas abaixo.

Fórmulas Gerais
Para n Módulos em Série:

$$QR_n = QA * (1 - \%R/100)^n$$
$$QPT_n = QA * (1 - (1-\%R/100)^n)$$

Onde :

QA = Vazão de Alimentação do Sistema
QR_n = Vazão de Concentrado no Módulo n
QPT = Vazão Total de Permeado
%R = Taxa de Recuperação de Água em Cada Módulo

Além das equações básicas, apresentadas acima, para o pré-dimensionamento de um sistema de osmose reversa deve-se utilizar as equações de balanço de massa, as quais são desenvolvidas com base no arranjo utilizado, bem como nos dados relativos à taxa de rejeição de sais pelas membranas e, ainda, nas recomendações do fornecedor com relação às características do equipamento disponível.

Na figura A.5 encontra-se uma representação de um módulo do sistema de osmose reversa, constituído do vaso de pressão, membranas e acessórios para montagem do vaso.

Subsistema de limpeza química e desinfecção

Em função das membranas de osmose serem susceptíveis aos processos de deposição, incrustação e degradação, causados pelas substâncias presentes na corrente de alimentação, pode ser necessário realizar o processo de limpeza química das membranas.

Mesmo que os sistemas de osmose reversa apresentem subsistemas de pré-tratamento da corrente de alimentação, os processos de deposição, incrustação e degradação podem ocorrer por um dos seguintes fatores:

- Subsistema de Pré-tratamento Inadequado;
- Perturbações nas Condições de Operação do Subsistema de Pré-Tratamento;
- Seleção Inadequada de Materiais (Bombas, tubulações, etc.);
- Falha nos Sistemas de Dosagem Química;
- Controle Operacional Inadequado;
- Mudança nas Características da Corrente de Alimentação;
- Contaminação Biológica da Corrente de Alimentação.

Figura A.5 - Representação de um módulo de osmose reversa

A necessidade de realização da etapa de limpeza química é verificada em função de alguns parâmetros operacionais do sistema, parâmetros estes que são informados pelo fornecedor do equipamento, podendo ser indicada a necessidade de limpeza química pelas seguintes condições:

- A vazão normalizada de permeado sofre uma redução de 10%;
- A concentração de sal normalizada da água produzida aumenta em 10%;
- A pressão diferencial (pressão da corrente de alimentação – pressão do concentrado), aumenta 15% em relação as condições de referência.

O tipo de produto químico, bem como os procedimentos a serem utilizados durante o processo de limpeza química são estabelecidos pelo fornecedor do equipamento, devendo ser seguidas todas as recomendações apresentadas pelo mesmo.

Subsistema de pós-tratamento

Os processos de pós-tratamento são, normalmente, empregados com o objetivo de adequar as características do produto obtido na unidade de osmose reversa, aos requisitos estabelecidos para o seu uso final.

Dependendo das exigências, os processos necessários podem consistir em um simples ajuste do pH e desinfecção da corrente produzida na unidade de osmose reversa, ou então, a utilização de um processo de troca iônica para obtenção de água ultrapura, o que deverá ser especificado pelo responsável pela implantação do sistema.

A.3.10. Considerações finais sobre o processo de osmose reversa

A tecnologia de osmose reversa é uma alternativa aos processos de dessalinização existentes, principalmente aos processos de troca iônica e destilação.

O seu campo de aplicação é limitado em função da concentração de substâncias dissolvidas na corrente a ser processada, que varia entre 50 mg/L até 35.000 mg/L, expressos em sólidos totais dissolvidos.

A performance do processo de osmose reversa depende muito das características da água de alimentação e da água a ser produzida, características específicas das membranas, taxa de recuperação de água e, ainda, do arranjo utilizado para o sistema.

Da mesma forma que na maior parte das tecnologias disponíveis para tratamento de água e efluentes, no processo de osmose reversa, os contaminantes presentes na corrente de alimentação do sistema não são destruídos, sendo apenas concentrados em uma pequena fração desta corrente de alimentação, que é denominada de concentrado. A maior fração da corrente de alimentação é purificada e deve estar praticamente isenta dos contaminantes inicialmente presentes, recebendo o nome de permeado.

Na maior parte dos casos, o concentrado da unidade de osmose reversa, quando não puder ser recuperado em função da presença de algum composto de interesse, apresentará problemas com relação a sua disposição final ou descarte para o meio ambiente devendo-se, desta forma, prever com antecedência os possíveis impactos a serem causados pela aplicação desta tecnologia, principalmente com relação à utilização de processos complementares, com o objetivo de possibilitar um gerenciamento adequado do concentrado produzido.

Os sistemas de osmose reversa são projetados pelos fornecedores do sistema, a partir de uma especificação técnica, na qual devem ser apresentadas as principais características da corrente de alimentação e do produto a ser obtido, de forma a poder-se adquirir um sistema que atenda às necessidades de processo.

Alguns fornecedores de sistemas de osmose reversa colocam a disposição, dos usuários, programas computacionais utilizados para o pré-dimensionamento de sistemas completos de osmose reversa, os quais, além das informações referentes à

configuração do sistema, também apresentam os dados referentes ao consumo de energia e custo de produção da água por este processo (HYDRANAUTICS, 1998 e OSMONICS, 1999).

Anexo B – Geração de efluentes na indústria

Qualquer atividade que envolva a utilização ou tratamento de água é potencialmente capaz de gerar efluentes, os quais são, na maioria dos casos, são lançados para o meio ambiente.

Nas indústrias pode-se considerar que as principais fontes de geração de efluentes são os processos de tratamento de água e demais atividades onde a água é utilizada. Para que seja possível obter uma melhor compreensão com relação à geração de efluentes, a seguir é feita uma avaliação das principais atividades industriais responsáveis pela geração de efluentes.

De um modo geral, todas as atividades, onde se trata ou utiliza água, desenvolvidas na indústria geram efluentes líquidos, os quais devem ser gerenciados de forma adequada para que estes não venham causar problemas ao meio ambiente.

No caso específico dos processos de tratamento de água para uso industrial (produção de água para consumo), considerando-se os processos descritos no ***Anexo A - Técnicas para Tratamento de Água***, em diversas etapas do tratamento são gerados efluentes, tendo sido, os mesmos, mencionados quando da descrição de cada uma das técnicas de tratamento. Já com relação aos efluentes originados no desenvolvimento das atividades industriais, deve-se fazer uma identificação, com base em uma análise dos processos e operações onde a água é utilizada, seja como matéria-prima ou como produto auxiliar.

B.1. Geração de efluentes nos processos de tratamento de água

Os principais processos de tratamento de água para uso industrial são os processos de tratamento convencional, o processo de abrandamento, o processo de troca iônica e o processo de osmose reversa, os quais já foram discutidos no ***Anexo A***, assim sendo será dada ênfase às etapas e operações nas quais possam ser gerados efluentes.

B.1.1. Sistema convencional de tratamento de água

Nas operações e processos de tratamento de água pelo sistema convencional os principais pontos de geração de efluentes são:

- Decantadores;
- Filtros

Com relação aos decantadores, o que ocorre, na verdade, é a geração de um lodo constituído, basicamente, pelos sólidos em suspensão, inicialmente, presentes na água bruta e pelos compostos químicos utilizados no processo de coagulação e floculação de água. O teor de sólidos no lodo produzido nos decantadores depende do processo utilizado para promover a descarga desse lodo dos decantadores, sendo esta concentração maior nos processos de descarga em bateladas do que no processo semicontínuo (FERREIRA FILHO e SOBRINHO, 1998).

Nos filtros, onde ocorre a remoção das partículas que ainda se encontram presentes na água decantada, a etapa responsável pela geração de efluentes refere-se à operação de lavagem, que tem por objetivo remover, do meio filtrante, as partículas que foram retidas durante o procedimento de filtração e, desta forma, possibilitar que o filtro retorne a sua operação normal.

De acordo com o exposto anteriormente, verifica-se que os principais contaminantes presentes nos efluentes gerados por um sistema convencional de tratamento de água são os sólidos em suspensão, incluindo-se as partículas coloidais, produtos químicos utilizados no processo de coagulação e floculação e microrganismos, sendo o volume destes efluentes é função da capacidade de tratamento da instalação.

Considerando-se as características das águas superficiais da Região Sudeste do Brasil (ANEEL, 2000) e as relações disponíveis para a estimativa da produção de lodo em sistemas de tratamento de água (FERREIRA FILHO e SOBRINHO, 1998), além dos dados referentes ao projeto de sistemas de tratamento de água e gerenciamento de resíduos desses sistemas (SANKS, 1982) e (AZEVEDO NETO, 1987), a seguir é apresentada uma estimativa da geração de efluentes nos sistemas convencionais de tratamento de água.

a) **Efluentes dos decantadores:**

Considerando-se o tratamento de uma água contendo um teor médio de 48 mg/L de Sólidos em Suspensão Totais (ANEEL, 2000), utilizando-se o Sulfato de Alumínio, na dosagem de 20 mg/L, como coagulante e um polímero, na dosagem de 1,0 mg/L, como auxiliar de floculação, a produção de sólidos por metro cúbico de água tratada será:

$$PL = (4,89 * D_{Al} + SS + O_a) * 10^{-3} \quad (A31)$$

onde:

PL = Produção de sólidos secos, em Kg/m³/h

D_{Al} = Dosagem de Sulfato de Alumínio, em mg/L

SS = Concentração de Sólidos Suspensos Totais na água bruta, em mg/L

O_A = Dosagem de outros aditivos, em mg/L

Substituindo-se os valores dos parâmetros, geralmente utilizados para o tratamento de água, na equação apresentada anteriormente, obtém-se que a produção de lodo será igual a 0,147 Kg, por metro cúbico de água tratada..

Sabendo-se que a concentração de sólidos no lodo produzido nos decantadores é de 1,4% em peso (FERREIRA FILHO e SOBRINHO, 1998), o volume de lodo produzido será:

$$V_{Lodo} = \frac{PL}{\%_{sólidos}} * 100 \quad (A32)$$

onde:

V_{Lodo} = Volume de Lodo por metro cúbico de água tratada, em L/m³/h

$\%_{\text{sólidos}}$ = Concentração de sólidos no lodo, em porcentagem em peso

Substituindo-se os valores na expressão acima, obtém-se que o volume de lodo produzido em um decantador será igual a 10,5 litros por metro cúbico de água tratada.

b) Efluentes dos filtros:

Após o período de campanha do filtro, ou seja, quando este atinge a perda de carga máxima permitida, o mesmo deve ser submetido a um processo de limpeza, que é conhecido como contra-lavagem. A operação de contra-lavagem tem por objetivo remover, do meio filtrante, os sólidos que foram retidos durante a operação de filtração.

O consumo de água para a realização desta operação depende de vários fatores, como por exemplo, altura do meio filtrante e distância que os sólidos penetraram neste meio filtrante (CLEASBY, 1990).

A lavagem dos filtros é realizada injetando-se água pelo fundo do filtro, em sentido contrário ao fluxo normal de filtração, com uma taxa de aplicação (velocidade ascensional da água), variando entre 37 e 49 m/h, por um período de aproximadamente 6,5 minutos (AZEVEDO NETO, 1987) e (CLEASBY, 1990).

A concentração de sólidos na água de lavagem dos filtros depende de vários fatores como, por exemplo, eficiência do decantador e do modo de operação e lavagem dos filtros, sendo o teor de sólidos expresso em Unidades de Turbidez (UT), podendo-se encontrar valores médios variando entre 200 a 800 Unidades de Turbidez (SANKS, 1982).

Pelos dados apresentados acima, considerando-se uma taxa de aplicação, para a água de lavagem, igual a 43 m/h e um tempo de lavagem igual a 6,5 minutos, o volume de efluentes produzido na lavagem de um filtro será:

$$V_{\text{efluente}} = \dot{q} * t \quad (\text{A33})$$

onde:

V_{efluente} = Volume de água de lavagem por área de filtração (m^3/m^2)

$\dot{q}$ = Taxa de aplicação da água de lavagem (m/h)

t = tempo de lavagem do filtro (h)

Substituindo-se os valores apresentados na expressão acima, obtém-se que o volume de efluentes gerado na operação de lavagem do filtro será igual a $4,66 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Na tabela B.1 são apresentadas as principais características dos efluentes gerados em sistema convencional de tratamento de água.

Tabela B.1 - Efluentes gerados em um sistema convencional de tratamento de água

Origem	Volume	Contaminantes	
		Parâmetro	Concentração
Decantadores	10,5 L/m ³ /h	Sólidos Suspensos	1,4 % em peso
Filtros	4,7 m ³ /m ² .Lavagem	Sólidos Suspensos	200 a 800 UT

Deve-se observar que os valores apresentados acima são estimados, com base nos dados disponíveis em literatura e que são valores médios, além do fato dos mesmos dependerem da capacidade da estação de tratamento já que estes valores estão associados à vazão de água tratada e à área dos filtros.

B.1.2. Sistema de abrandamento de água

Considerando-se que o processo de abrandamento consiste na remoção dos íons responsáveis pela dureza de uma água, principalmente o cálcio e magnésio, pelo processo de precipitação química ou de troca iônica e, ainda, que as águas da região considerada neste trabalho não apresentam uma dureza que justificasse a utilização do processo de abrandamento por precipitação química, pois o valor médio de dureza está na faixa de 18,40 mg/L em CaCO_3 (ANEEL, 2000), será considerada apenas a geração de efluentes pelos processos de abrandamento por troca iônica e osmose reversa.

Para que se possa simplificar a apresentação dos dados relacionados à geração de efluentes e devido à similaridade de operações com o processo de obtenção de água desmineralizada, tanto por troca iônica como por osmose reversa, os efluentes do processo de abrandamento serão apresentados juntamente com os efluentes gerados nos respectivos processos de tratamento de água.

B.1.3. Sistema de troca iônica (deionização ou desmineralização)

A operação dos sistemas de troca iônica envolve as etapas de deionização, expansão, regeneração e lavagem dos leitos de resinas, as quais são desenvolvidas na sequência apresentada.

A etapa de deionização, ou seja, remoção dos íons indesejáveis, é realizada até que seja atingida a capacidade de troca das resinas, ou então, quando a qualidade da água efluente dos leitos não atende as especificações para uso, não sendo gerados efluentes líquidos até que se inicie o processo de regeneração.

O processo de regeneração é iniciado com a expansão do leito de resinas, ou na linguagem técnica, com a contra-lavagem, onde o principal objetivo é descompactar as resinas e remover qualquer material que tenha sido depositado sobre a superfície das resinas.

A operação de contra-lavagem é efetuada utilizando-se água de processo a uma vazão que possibilite uma expansão do leito de aproximadamente cinquenta por cento, por um período de, aproximadamente, dez minutos, resultando em uma taxa de aplicação igual a 13,70 m/h e 5,20 m/h, para os leitos catiônico e aniônico respectivamente (ROHM AND HAAS, _____), considerando-se que os leitos de resinas devem apresentar uma profundidade de no mínimo 61 cm, para cada litro de resina o volume de água para a expansão do leito será de - 3,74 e 1,42 L/L_{resina} - para os leitos catiônico e aniônico. O principal contaminante presente na água de contra-lavagem dos leitos serão os sólidos em suspensão.

Após a operação de contra-lavagem, as resinas de troca iônica são regeneradas, fazendo-se passar através dos leitos uma solução regenerante na composição e concentração adequadas para cada tipo de resina e respectiva aplicação.

De um modo geral, os principais compostos utilizados para a regeneração das resinas de troca iônica são (ROHM AND HAAS, _____):

Resinas catiônicas

- Ácido Clorídrico (solução de 5 a 10 % em peso);
- Ácido Sulfúrico (solução de 5 a 8 % em peso);
- Cloreto de Sódio (solução a 10 % em peso).

Resinas Aniônicas

- Hidróxido de Sódio (solução de 2 a 4 % em peso);
- Hidróxido de Amônio (solução a 4 % em peso);
- Carbonato de Sódio (solução a 4 % em peso);
- Cloreto de Sódio (solução a 4 % em peso).

A quantidade de regenerante utilizado depende do tipo de resina que está sendo regenerada, sendo comum utilizar-se um excesso de 10 a 200 % de regenerante em relação à quantidade estequiométrica (ROHM AND HAAS, _____).

Tomando-se como base a capacidade média de troca das resinas, bem como os valores médios para a concentração das soluções de regeneração e do excesso de regenerante a ser utilizado durante o processo de regeneração das resinas (ROHM AND HAAS, _____ e 1986), a quantidade e composição média dos efluentes gerados são aquelas apresentadas na tabela B.2.

Tabela B.2 - Efluentes gerados no processo de regeneração dos leitos de resina de troca iônica

Tipo de Resina	Capacidade de Troca (eq./L _{resina})	Regenerante*	Concentração da Solução de Regeneração (% em peso)	Quantidade de Regenerante - 100% de excesso (eq./L _{resina})	Volume de Efluente (L/L _{resina})	Composição do Efluente (SDT como CaCO ₃ - g)
CFA	1,9	HCl	5	3,8	2,7	106
		H ₂ SO ₄	4		4,7	61
		NaCl	10		2,2	130
CfA	3,6	HCl	5	7,2	5,3	102
		H ₂ SO ₄	4		8,8	61
		NaCl	10		4,2	129
AFB	1,2	NaOH	4	2,4	2,4	75
		NH ₄ OH			2,1	86
		Na ₂ CO ₃			3,2	56
		NaCl			3,5	51
AfB	1,5	NaOH	4	3,0	3,0	75
		NH ₄ OH			2,6	87
		Na ₂ CO ₃			4,0	56
		NaCl			4,4	51

* - Somente um dos regenerantes é utilizado

Como em um sistema de produção de água desmineralizada são utilizados, na maioria dos casos, dois leitos ou tipos de resinas, ou seja, resinas catiônicas e resinas aniônicas, o volume total de efluente a ser produzido deverá ser a soma dos volumes de efluentes produzidos em cada leito e caso seja utilizado um leito misto, deve-se obter a quantidade de efluentes com base na proporção de resinas utilizada. No caso do processo de abrandamento de água, considerara-se apenas o volume de efluente gerado no leito catiônico.

Terminada a operação de regeneração, os leitos de resina devem ser submetidos a uma lavagem, cujo objetivo é remover o excesso da solução regenerante que ainda

permanece no interior dos mesmos, para que a operação de desmineralização ou abrandamento possa ser reiniciada.

A operação de lavagem é feita utilizando-se água desmineralizada, sendo recomendado pelo fabricante das resinas a quantidade de água a ser utilizada, bem como a vazão de aplicação da água de lavagem. Em geral, o volume de água de lavagem a ser utilizado pode variar de acordo com os valores apresentados na tabela B.3.

Tabela B.3 - Volume de água para a lavagem dos leitos de resina, após a operação de regeneração.

Tipo de Resina	Volume de Água Desmineralizada (L/L_{resina})
Catiônica Fortemente Ácida	3,4 a 10,0
Catiônica Fracamente Ácida	6,7 a 10,0
Aniônica Fortemente Básica	5,4 a 10,0
Aniônica Fracamente Básica	6,7 a 10,0

Fonte: ROHM AND HAAS, _____

Esta água de lavagem será utilizada para remover o volume residual de regenerante que permanece no leito de resinas, podendo-se considerar que o volume de regenerante equivale, aproximadamente, ao volume de resinas. Desta forma, a composição do efluente produzido na operação de lavagem dos leitos, considerando-se os dados apresentados anteriormente, será aquela apresentada na tabela B.4.

Nas instalações onde são utilizados leitos mistos de resinas, ou seja, uma mistura de resinas catiônicas e aniônicas em um mesmo leito, após a operação de lavagem, as resinas devem ser misturadas, o que é feito com água desmineralizada e ar, sendo que, neste caso, a água utilizada, na operação de mistura, pode retornar para o tanque de alimentação do sistema, não sendo considerada como efluente.

Tabela B.4 - Composição do efluente gerado na operação de lavagem dos leitos de resinas

Tipo de Resina	Volume de Efluente	Contaminante*	Concentração (g/L)
CFA	3,4 a 10,0	HCl	15,11 a 5,11
		H ₂ SO ₄	11,65 a 3,96
		NaCl	29,72 a 10,10
CfA	6,7 a 10,0	HCl	7,40 a 4,96
		H ₂ SO ₄	5,98 a 4,00
		NaCl	14,97 a 10,00
AFB	5,4 a 10,0	NaOH	7,40 a 4,00
		NH ₄ OH	
		Na ₂ CO ₃	
		NaCl	
AfB	6,7 a 10,0	NaOH	5,97 a 4,00
		NH ₄ OH	
		Na ₂ CO ₃	
		NaCl	

- Apenas um dos contaminantes deverá estar presente, já que a regeneração é feita com um único composto.

Muito embora a geração de efluentes, no processo de regeneração das resinas de troca iônica, ocorra em etapas distintas e, conseqüentemente, apresentam características que também são distintas, na maioria das indústrias costuma-se direcionar estes efluentes para um ponto único, conduzindo os mesmos para a unidade de tratamento existente.

B.1.4. Sistema de osmose reversa

Nos sistemas de tratamento de água por osmose reversa o principal efluente gerado é a corrente de concentrado, na qual se encontram presentes os contaminantes inicialmente presentes na corrente de alimentação.

O volume de concentrado e a respectiva concentração dos contaminantes nesta corrente irão depender de dois fatores básicos, ou seja, taxa de recuperação de água do sistema e taxa de rejeição de sais dada pelo tipo de membrana utilizada.

Admitindo-se a utilização de membranas que apresentam uma alta taxa de rejeição de sais, pode-se considerar, para uma estimativa da composição do concentrado, que a passagem de sais para o permeado é praticamente nula, resultando em uma variação da concentração de sais conforme apresentado na figura B.1.

Pelo gráfico apresentado na figura B.1 se verifica que a composição do efluente produzido pela unidade de osmose reversa, durante a operação normal, é função das características da água de alimentação, pois são estas características que determinam a taxa máxima de recuperação de água na unidade de osmose reversa. Normalmente, não se opera um sistema de osmose reversa para tratamento de água com uma taxa de recuperação inferior a 50 %, quando se utiliza como alimentação do sistema uma água que tenha sido tratada pelo processo convencional de tratamento.

Figura B.1 - Variação da concentração de sais no concentrado da unidade de osmose reversa em função da taxa de recuperação de água

Como o processo de osmose reversa é um processo físico, os principais contaminantes presentes no efluente deste sistema serão os sais inicialmente presentes na corrente de alimentação, porém em uma concentração superior.

Além deste efluente, que será gerado em maior quantidade, devido ao fato dos sistemas de osmose reversa necessitarem de um subsistema de limpeza química, cujo principal objetivo é manter as membranas de osmose reversa e, conseqüentemente o sistema como um todo, operando nas condições ótimas, conforme especificadas no projeto da unidade.

A limpeza química deve ser efetuada utilizando-se compostos químicos específicos e nas concentrações recomendadas pelo fornecedor do sistema de osmose reversa. Assim sendo, para cada tipo de contaminação ou problema que se observa no sistema de osmose reversa, existe um composto químico específico que deve ser utilizado. Na tabela B.5 são apresentados os principais compostos utilizados para a limpeza das membranas de osmose reversa e os respectivos usos.

Tabela B.5 - Principais compostos químicos utilizados para limpeza das membranas de osmose reversa.

Composto	Concentração Recomendada* (% em peso)	Principais Usos
Hidróxido de Sódio	0,1	Incrustação por sulfatos, sílica biofilmes e filmes orgânicos.
Sal do Ácido Etilenodiaminotetracético	0,1 pH 12	
Hidróxido de Sódio	0,1	
Dodecilsulfonato de Sódio	0,05	Colóides inorgânicos, biofilmes e filmes orgânicos adsorvidos.
Trifosfato de Sódio	1,0	Biofilmes orgânicos adsorvidos.
Fosfato Trisódico	1,0	
Sal do Ácido Etilenodiaminotetracético	1,0	
Ácido Clorídrico	0,2	Depósitos de carbonatos.
Ácido Fosfórico	0,5	Depósitos de carbonatos e óxidos metálicos.

Tabela B.5 - Principais compostos químicos utilizados para limpeza das membranas de osmose reversa (continuação)

Composto	Concentração Recomendada* (% em peso)	Principais Usos
Ácido Cítrico	2,0	Depósitos de carbonatos e óxidos metálicos.
Ácido Sulfâmico	0,2	Depósitos de carbonatos e óxidos metálicos.
Bissulfito de Sódio	1,0	Óxidos metálicos.
Metanol ou etanol ou propanol	50	Filmes orgânicos adsorvidos.

* - As soluções são preparadas utilizando-se o permeado da osmose reversa.

Fonte: DOW, 1994

O volume de solução a ser utilizado depende do porte do sistema de osmose reversa uma vez que se deve considerar, no processo de limpeza química, o volume dos vasos de pressão, tubulações e demais componentes pertencentes ao sistema (DOW, 1994) e (HYDRANAUTICS, 1998).

Após o processo de limpeza química deve-se promover o enxágüe do sistema, utilizando-se água de processo ou o permeado da unidade de osmose reversa, por um período que varia entre 10 a 15 minutos, na vazão da bomba de limpeza química, sendo que esta água é considerada um efluente. Na tabela B.6 são apresentados os valores recomendados, por dois fornecedores de membranas de osmose reversa, para a vazão de circulação da solução de limpeza química e água de enxágüe.

Tabela B.6 - Recomendações para a vazão de circulação da solução de limpeza química e água de enxágüe para sistemas de osmose reversa

Diâmetro do Elemento (polegadas)	Pressão (bar)		Vazão por Vaso (m ³ /h)	
	HYDRANAUTICS	DOW	HYDRANAUTICS	DOW
2,5	1,4 a 4,1	Não especificado	0,70 a 1,20	0,70 a 1,10
4,0			1,80 a 2,40	1,80 a 2,30
6,0			3,60 a 4,50	Não especificado
8,0			6,90 a 9,00	7,00 a 9,00

Fontes: DOW, 1994 e HYDRANAUTICS, 1998.

Pelos dados apresentados acima se verifica que os volumes de água utilizados para o enxágüe das membranas de osmose reversa, após o processo de limpeza química, considerando-se um período de enxágüe igual a 15 minutos, são aqueles apresentados na tabela B.7.

Tabela B.7 - Volume de água utilizada para o enxágüe das membranas de osmose reversa após a limpeza química.

Diâmetro do Elemento (polegadas)	Volume (L/vaso)	
	HYDRANAUTICS	DOW
2,5	175 a 300	175 a 275
4,0	450 a 600	450 a 575
6,0	900 a 1125	Não especificado
8,0	1725 a 2250	1750 a 2250

Em resumo, os principais efluentes gerados em um sistema de osmose reversa, que deverão ser gerenciados de forma adequada são:

- Concentrado da Osmose Reversa (10 a 50 % da vazão de alimentação);
- Solução de limpeza química (volume equivalente ao volume dos vasos e demais componentes do sistema);

- Água de enxágüe das membranas, após a operação de limpeza química (tabela B.7).

B.2. Efluente gerado em sistemas de resfriamento semi-abertos

Em um grande número de indústrias são desenvolvidas operações associadas aos processos de troca térmica, ou seja, aquecimento e resfriamento, onde, na maioria dos casos, utiliza-se a água como fluido de troca térmica, seja na forma de vapor para as operações de aquecimento, ou então, no estado líquido para as de resfriamento.

No caso específico das operações de resfriamento, onde são utilizados sistemas semi-abertos, que são utilizados em situações onde se necessita de vazões elevadas de água e a disponibilidade seja pequena, a água, a uma temperatura relativamente baixa, ao passar pelos equipamentos de troca térmica sofre aquecimento que pode variar entre 5 °C e 10 °C em relação à sua temperatura inicial. Após sua passagem pelo equipamento de troca térmica, a água é encaminhada para uma torre de resfriamento, onde a sua temperatura será reduzida devido à evaporação de uma pequena fração do volume de água circulante pelo sistema. Na figura B.2 encontra-se uma representação esquemática de um sistema de resfriamento e os fluxos de água que ocorrem.

Durante o processo de resfriamento, como ocorre a evaporação de água, para que seja mantida a capacidade de troca térmica do sistema é necessário que a água evaporada, assim como a fração de água que é removida por arraste e quaisquer outras perdas, sejam repostas.

É importante observar que a perda de água por evaporação e a reposição da água perdida conduz a um aumento na concentração das substâncias presentes na água que circula pelo sistema de resfriamento, sendo que o aumento excessivo da concentração de determinados compostos pode trazer problemas para o sistema de resfriamento e demais dispositivos com os quais a água entra em contato, principalmente naqueles onde ocorre a troca térmica.

Figura B.2 - Representação de um sistema semi-aberto de resfriamento

Para evitar o problema mencionado, procura-se limitar o aumento da concentração de sais na água que circula no sistema de resfriamento, o que é feito por meio do descarte de uma pequena fração da água que circula pelo sistema, sendo este descarte denominado de "*purga*", o qual constitui o principal efluente gerado em um sistema de resfriamento semi-aberto.

A quantidade de efluente a ser gerado, ou seja, a quantidade de água que deve ser purgada do sistema, depende da qualidade da água de reposição e da concentração máxima permitida de sais na água de resfriamento, devendo-se destacar o cálcio e a sílica e os parâmetros operacionais do sistema (DREW, 1979). Deve-se ressaltar, no entanto, que os fatores predominantes na determinação da purga dos sistemas de resfriamento são a qualidade da água de reposição e a concentração máxima de sais na água de resfriamento.

Uma associação entre os dois fatores apresentados anteriormente define o parâmetro "Ciclos de Concentração", que é o quociente entre a concentração máxima, permitida, de sais na água de resfriamento e a concentração de sais na água de reposição, sendo este parâmetro utilizado para determinar a quantidade de água que deve ser removida do sistema de resfriamento, para que a concentração de sais fique próxima à concentração máxima permitida.

Para que se possa determinar a vazão da purga do sistema de resfriamento, além dos ciclos de concentração, deve-se considerar a quantidade de água evaporada no sistema e aquela perdida por arraste. Tomando-se por base o arranjo apresentado na figura B.2 e, ainda, sabendo-se que a perda de água por evaporação equivale a 0,185% da água que circula no sistema, para cada grau Celsius de variação de temperatura e que a perda por arraste equivale a, no máximo, 0,2 % da vazão de circulação, obtém-se, por meio de um balanço de massa no sistema, que a vazão de purga será dada pela seguinte relação:

$$P + A = \frac{E}{N - 1} \quad (A34)$$

onde:

P = purga do sistema, em % da vazão de circulação

A = Arraste, em % da vazão de circulação

E = Evaporação, em % da vazão de circulação

N = Ciclos de concentração, em % da vazão de circulação

Substituindo-se os valores referentes à evaporação e ao arraste, 0,2 % e 0,185 %/°C respectivamente, pode-se reorganizar a expressão para obter uma relação entre os ciclos de concentração e a purga do sistema, conforme apresentado abaixo.

$$N = \frac{0,185 * \Delta t}{P + 0,2} + 1 \quad (A35)$$

A expressão acima permite verificar que, para cada valor adotado para a variação de temperatura da água de resfriamento, existirá um ciclo de concentração máximo, tendo-se nesta condição a mínima geração de efluentes, ou seja, a purga do sistema tende a zero.

Construindo-se um gráfico da variação da purga de um sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração, para alguns valores da variação de temperatura da água de resfriamento (figura B.3), a partir dos dados apresentados na tabela B.8, é possível identificar a condição ideal, teórica, para a operação de um sistema de resfriamento, devendo-se observar que o ciclo máximo de concentração também depende da composição da água de reposição e da concentração máxima permitida de sais na água de resfriamento.

Tabela B.8 - Variação da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração

Ciclo de Concentração	Reposição (%)*				Purga (%)*			
	Variação de Temperatura da Água (°C)				Variação de Temperatura da Água (°C)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
2	1,85	3,70	5,55	7,40	0,73	1,65	2,58	3,50
3	1,39	2,78	4,16	5,55	0,26	0,73	1,19	1,65
4	1,23	2,47	3,70	4,93	0,11	0,42	0,73	1,03
5	1,16	2,31	3,47	4,63	0,03	0,26	0,49	0,73
6	1,13	2,22	3,33	4,44	0,00	0,17	0,36	0,54
7	1,13	2,16	3,24	4,32	0,00	0,11	0,26	0,42
8	1,13	2,11	3,17	4,23	0,00	0,06	0,20	0,33
9	1,13	2,08	3,12	4,16	0,00	0,03	0,15	0,26
10	1,13	2,06	3,08	4,11	0,00	0,01	0,11	0,21
11	1,13	2,05	3,05	4,07	0,00	0,00	0,08	0,17
12	1,13	2,05	3,03	4,04	0,00	0,00	0,05	0,14
13	1,13	2,05	3,01	4,01	0,00	0,00	0,03	0,11
14	1,13	2,05	2,99	3,98	0,00	0,00	0,01	0,08
15	1,13	2,05	2,98	3,96	0,00	0,00	0,00	0,06
16	1,13	2,05	2,98	3,95	0,00	0,00	0,00	0,05
17	1,13	2,05	2,98	3,93	0,00	0,00	0,00	0,03
18	1,13	2,05	2,98	3,92	0,00	0,00	0,00	0,02
19	1,13	2,05	2,98	3,91	0,00	0,00	0,00	0,01
20	1,13	2,05	2,98	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00

* Valores expressos em percentagem da vazão de recirculação de água no sistema

$$\text{Reposição (\%)} = 0,185 \cdot \Delta t \cdot (1/(N-1) + 1) \quad (\text{A36})$$

$$\text{Purga (\%)} = 0,185 \cdot \Delta t / (N-1) - 0,2 \quad (\text{A37})$$

Figura B.3 - Variação da purga do sistema de resfriamento em função dos ciclos de concentração

Os Ciclos de Concentração, para cada intervalo de variação de temperatura, são apresentados na tabela B.9.

Tabela B.9 - Ciclos, máximos, de concentração para cada intervalo de variação de temperatura

Variação de Temperatura (°C)	Ciclos de Concentração Máximos
5	5,6
10	10,3
15	14,9
20	19,5

Pela análise do gráfico apresentado na figura B.3 pode ser constatado que o ciclo de concentração apresenta grande influência sobre a purga do sistema de resfriamento até um valor próximo de seis e que a redução na purga é menos acentuada a partir deste valor.

Também é importante observar que o ciclo de concentração deve, obrigatoriamente, ser calculado com base na composição química da água de reposição e de resfriamento, devido à relação existente com os problemas de corrosão e incrustação, que estão associados à presença de determinados compostos químicos. Uma atenção especial deve ser dada aos problemas de incrustação, principalmente devido à presença de íons cálcio, magnésio, sílica, carbonatos, bicarbonatos e sulfatos, que são constituintes típicos da água (DREW, 1979).

De um modo geral, quando se considera a utilização de água superficial, como fonte para a água de reposição em sistemas de resfriamento, o cálcio e a sílica são os compostos que acabam limitando os ciclos de concentração máximos, observando-se que as concentrações máximas recomendadas para o cálcio e para a sílica, na água de refrigeração, são de 1800 mg/L e 150 mg/L respectivamente (DREW, 1979), devendo-se adotar para a determinação do ciclo máximo de concentração o valor mais restritivo, caso este não ultrapasse o ciclo máximo de concentração referente à

operação da torre de resfriamento e que é determinado por meio do balanço de massa no sistema.

Com base no ciclo de concentração definido para a operação do sistema de resfriamento e nas características da água de reposição, pode-se determinar a composição do efluente a ser gerado, bastando-se multiplicar a concentração de cada composto presente na água de reposição, pelo valor do ciclo de concentração utilizado.

Devido ao fato da água utilizada nos sistemas de resfriamento poder apresentar problemas de corrosão dos materiais do circuito de refrigeração, depósitos nas tubulações e equipamentos, além de problemas relacionados ao crescimento biológico, o que pode reduzir a eficiência operacional e aumentar os custos de manutenção, deve-se adotar um programa de tratamento químico da água que circula no sistema, com o objetivo de minimizar a ocorrência e efeitos dos problemas apresentados (DREW, 1979).

O controle da corrosão, formação de depósitos e crescimento biológico nos sistemas de resfriamento é, na maioria das vezes, efetuado com a utilização de produtos químicos, sendo que mais recentemente têm sido desenvolvidos métodos físico-químicos de tratamento, os quais não incorporam, à água de resfriamento, nenhum composto químico tendo-se, como exemplo, os sistemas de ultra-som, utilizados para controle de depósitos e crescimento biológico (SPIRAX SARCO a, _____) e dos sistemas de células eletrolíticas, utilizadas, principalmente, para o controle de depósitos (SPIRAX SARCO b, _____).

Contudo, mesmo com o avanço no desenvolvimento de processos físico-químicos, as técnicas convencionais de tratamento de água por adição química nos sistemas de resfriamento ainda são bastante utilizadas, seja pelas limitações dos processos físico-químicos ou pelo desconhecimento, por parte dos operadores dos sistemas de resfriamento, das técnicas alternativas de tratamento da água.

O tratamento convencional de tratamento de água de sistemas de resfriamento consiste na adição de produtos químicos adequados, ou seja, inibidores de corrosão, de formação de depósitos (floculantes ou dispersantes) e de crescimento biológico (microbiocidas), sendo que a concentração a ser utilizada depende das características da água de alimentação e da composição dos produtos comerciais disponíveis no mercado (DREW, 1979). Na tabela B.10 são apresentados os principais compostos utilizados para o tratamento da água de sistemas de resfriamento, os quais estarão presentes no efluente gerado por sistemas deste tipo.

É importante observar que muitos dos compostos relacionados acima são tóxicos e o seu uso têm sido restringido como, por exemplo, os compostos que contenham cromo e compostos fenólicos clorados, devido aos problemas ambientais que podem ser causados.

Tabela B.10 - Compostos utilizados para o tratamento da água nos sistemas de resfriamento semi-abertos

Inibidores de Corrosão	Inibidores de Depósitos	Microbiocidas
Cromato-Zinco	Quelantes (EDTA)	Cloro
Zinco-Lignina	Lignossulfonatos	Hipocloritos
Zinco-Fosfonato	Polifosfato	Cloroisocianatos
Polifosfato-fosfonato-polímero	Poliacrilatos	Dióxido de Cloro
Polifosfato-Zinco	Polimetacrilatos	Ozônio
Azol aromático-fosfonato-lignina	Copolímeros de Anidrido Malêico	Compostos fenólicos clorados
	Anidrido Polimalêico	Compostos organo-estanosos
	Ésteres Fosfáticos	Sais de Amônio Quaternário
	Fosfonatos	Compostos Organossulfurosos
		Acroleína
		Sais de Cobre
		Aminas

Fonte: DREW, 1979.

B.3 - Efluentes gerados em sistemas de produção de vapor

Assim como os sistemas de resfriamento, os sistemas de produção de vapor são bastante comuns aos diversos setores industriais, seja para a geração de energia, como fonte de aquecimento ou para o desenvolvimento de operações auxiliares, limpeza e higienização de materiais e equipamentos, na indústria farmacêutica e de alimentos.

O processo de produção de vapor consiste em promover o aquecimento e a vaporização da água utilizando, como fonte de energia, os combustíveis fósseis, biomassa ou energia elétrica, dependendo da capacidade da instalação, assim como das alternativas disponíveis em cada região. O vapor produzido é posteriormente utilizado na aplicação à que se destina, onde, devido à perda de energia pelo vapor, ocorre a condensação da água, a qual pode ou não retornar para o sistema de produção de vapor. É importante observar que, durante o transporte do vapor até o ponto de consumo, ocorrem perdas no sistema seja pela condensação do vapor nas linhas de distribuição, ou por vazamentos.

Como ocorrem perdas de água no sistema de produção de vapor, seja durante a sua distribuição ou pelo descarte da água condensada, sempre haverá necessidade de promover a reposição, no sistema, da água que foi perdida.

Mesmo quando se utiliza uma água com características de qualidade bastante restritivas (ver Tabela 3.4), a qual é, normalmente, obtida pelo processo de troca iônica, devido à necessidade de reposição de água no sistema e a adição de produtos químicos na caldeira de produção de vapor, ocorre um aumento na concentração de sais na água que permanece no interior da caldeira já que, ao evaporar, a água deixa para trás os sais que se encontram dissolvidos, uma vez que estes são menos voláteis.

O aumento na concentração de sais na água da caldeira, da mesma forma que nos sistema de resfriamento, poderá resultar em sérios problemas, como corrosão e formação de depósitos, resultando na redução da eficiência de produção de vapor ou até provocar o rompimento dos tubos do gerador de vapor (DREW, 1979).

Para que isto seja evitado, além da adição de produtos químicos na água da caldeira, deve-se promover a purga de uma pequena fração da água do gerador de vapor, o que mantém a concentração de sais dentro dos limites aceitáveis. Esta purga e demais perdas que ocorrem durante a distribuição e uso do vapor é que irão constituir o efluente principal dos sistemas de produção de vapor.

A perda de água pelo sistema de distribuição de vapor é bastante variável e depende das características dos equipamentos utilizados e procedimentos operacionais, como também é variável a quantidade de água condensada após a utilização do vapor e que não retorna para o sistema de produção (caldeira).

Devido as suas características, ou seja, água destilada, os efluentes gerados no sistema de distribuição e uso de vapor não deverão apresentar problemas com relação a sua destinação final, caso os mesmos não venham a incorporar outros contaminantes durante o uso do vapor ou transporte do condensado.

Na figura B.4 é apresentado um arranjo esquemático de um sistema de produção de vapor para a geração de energia e outros usos.

A purga dos sistemas de produção de vapor está associada aos ciclos de concentração, os quais são limitados, nos geradores de vapor, pela concentração de sólidos em suspensão ou sólidos totais dissolvidos, ou ainda, pela alcalinidade ou pela concentração de sílica (DREW, 1979).

Uma alternativa para se determinar os ciclos de concentração refere-se à medida da concentração de cloretos na água de reposição e na água da caldeira, podendo-se também, mediante a aplicação de fatores de conversão adequados, utilizar a medida da condutividade elétrica.

Figura B.4 -: Representação esquemática de um sistema para produção de vapor

Considerando-se que a saída de sólidos do sistema de geração de vapor se dá apenas pela purga, com um balanço de massa da quantidade de sais no sistema obtém-se a expressão para a determinação dos ciclos de concentração, a qual é apresentada abaixo.

$$[SDT]_{reposição} * \dot{M}_{reposição} = [SDT]_{purga} * \dot{M}_{purga} \quad (A36)$$

[SDT] = Concentração de Sólidos Dissolvidos totais (mg/L)

$\dot{M}$ = Vazão mássica de água (Kg/h)

Reorganizando-se a expressão acima se obtém os ciclos de concentração (C) do sistema de produção de vapor.

$$C = \frac{M_{\text{reposição}}}{M_{\text{purga}}} = \frac{[SDT]_{\text{purga}}}{[SDT]_{\text{reposição}}} \quad (\text{A37})$$

Com base nos dados apresentados nas tabelas 3.4 "Padrão de Qualidade Recomendado para Água de Resfriamento e Geração de Vapor" e 3.10 "Recomendações para Qualidade da Água em Centrais de Geração de Energia", obtém-se que, as taxas mínimas de purga, com base na concentração de Sólidos Dissolvidos Totais, serão aquelas apresentadas na tabela B.11.

Tabela B.11 - Taxa de purga dos sistemas de geração de vapor em relação à vazão da água de reposição

Tipo de Sistema	SDT na Água de Reposição (mg/L)	SDT permitidos (mg/L)	Taxa de Purga* (% da Água de Reposição)
Baixa Pressão (< 10 bar)	0,5	700	0,07
Média Pressão (10 a 50 bar)		500	0,10
Alta Pressão (> 50 bar)		200	0,25

* Valores mínimos, uma vez que não foi considerada a dosagem de produtos químicos

Como composição deste efluente deve-se considerar os limites estabelecidos para a qualidade da água nos sistemas de produção de vapor, os quais foram apresentados na tabela 3.4, além dos produtos químicos utilizados no tratamento da água da caldeira, cujas concentrações recomendadas são apresentadas na tabela B.12 (AQUATEC, _____).

Tabela B.12 - Tolerâncias para os compostos químicos utilizados em caldeiras

Produto*	Tolerâncias	
	Sistemas com Pressão ≤ 20 bar	Sistemas com Pressão > 20 bar
Fosfato	30 a 50 ppm (PO ₄)	20 a 40 ppm (PO ₄)
Alcalinidade	300 a 400 ppm (CaCO ₃)	300 a 400 ppm (CaCO ₃)
Sulfito	30 a 50 ppm (SO ₃)	20 a 40 ppm (SO ₃)
Hidrazina**	0,1 a 0,2 ppm (N ₂ H ₄)	0,05 a 0,15 ppm (N ₂ H ₄)

* Os produtos não são utilizados simultaneamente

** Concentração na água de alimentação

Além do efluente gerado durante a operação normal dos sistemas de geração de vapor, que é contínua, também são gerados efluentes nas operações de preparação dos equipamentos para a operação do sistema, seja no início da sua operação (após a montagem de todos os equipamentos), ou durante a operação normal do mesmo.

A operação de preparação mais importante, que consiste na limpeza química, é necessária visto que, durante as operações de montagem e mesmo durante o funcionamento, os componentes do sistema de produção de vapor estão sujeitos aos processos de corrosão, depósitos e contaminações por óleo, graxas e poeira (AQUATEC, _____), o que pode prejudicar o desempenho do sistema como um todo.

Para a limpeza química dos componentes do sistema de geração de vapor são utilizadas soluções ácidas e alcalinas, as quais são posteriormente descartadas como efluentes, devendo-se considerar, ainda, a água utilizada para a remoção do excesso das soluções utilizadas no procedimento de limpeza (enxágüe). Os compostos químicos mais utilizados nas operações de limpeza química são (NEMEROW e DASGUPTA, 1991):

- Ácido Clorídrico;
- Ácido Acético;
- Bromato de Potássio;
- Hidróxido de Amônia;
- Hidróxido de Sódio;
- Inibidores de Corrosão;
- Detergentes; e
- Fosfatos.

As concentrações típicas utilizadas para alguns dos compostos químicos freqüentemente utilizados na limpeza química dos sistemas de produção de vapor encontram-se apresentadas na tabela B.13.

Tabela B.13 - Concentrações típicas para alguns compostos utilizados nas operações de limpeza química de caldeiras.

Composto	Concentração Recomendada (g/L)*
Fosfato Trisódico (Na_3PO_4)	4,8
Carbonato de Sódio (Na_2CO_3)	2,0
Hidróxido de Sódio (NaOH)	2,0
Sulfito de Sódio (Na_2SO_3)	0,3
Nitrato de Sódio (NaNO_3)	1,28
Detergente	667 ppm (v/v)

* Exceto quando especificado

Adaptado de NEMEROW e DASGUPTA, 1991

Além dos compostos apresentados acima, os efluentes gerados nas operações de limpeza química irão apresentar ácidos e outros íons dissolvidos, o que contribuirá para o aumento da concentração de sais e toxicidade do efluente.

O volume de efluente a ser gerado nas operações de limpeza química depende da capacidade do sistema, enquanto a freqüência de geração dos mesmos é função das características operacionais e da qualidade da água de reposição sendo, normalmente, adotada uma freqüência semestral para as operações de limpeza, após o início da operação do sistema de produção de vapor (NEMEROW e DASGUPTA, 1991).

B.4. Efluentes gerados nas demais atividades industriais

Além dos efluentes apresentados anteriormente, os quais são comuns a muitos segmentos industriais, durante o desenvolvimento dos processos de beneficiamento e transformação da matéria-prima em produtos, nos quais a água tenha sido utilizada, também são gerados efluentes, os quais irão apresentar características físicas, químicas e biológicas variadas, em função do ramo de atividade da indústria.

Uma das maneiras mais simples de se estimar, pelo menos qualitativamente, a composição do efluente gerado em um processo industrial é pela avaliação e

conhecimento das matérias-primas e insumos utilizados nos sistemas produtivos, o que reforça, ainda mais, a necessidade de se conhecer o processo produtivo desenvolvido, desde o recebimento e preparação da matéria-prima, passando pelas etapas de processamento e operações complementares.

Em muitos casos os processos de preparação e transformação das matérias-primas em produtos finais envolvem operações bastante complexas, como por exemplo, transformações químicas, mas também existem os processos mais simples, como as operações de fracionamento e embalagem de substâncias sólidas, líquidas ou gasosas (SHREVE e BRINK Jr., 1980).

Qualquer que seja o caso deve-se considerar que, durante o desenvolvimento das atividades industriais, são gerados subprodutos e/ou resíduos já que, para a maioria dos processos, a conversão da matéria-prima em produto final não é 100 % eficiente, podem existir impurezas na matéria-prima ou insumo utilizados, muitos compostos são utilizados apenas como intermediários, inclusive a água, podem ocorrer perturbações que resultem na obtenção de produtos fora de especificação requerida e nem todo o produto que está sendo fracionado acaba sendo embalado, além do fato de que todos os equipamentos e componentes utilizados nas operações de transformação e fracionamento devem ser limpos após a sua utilização.

Por estes motivos, além do fato das características dos efluentes poderem variar em função da tecnologia utilizada para os processos de transformação, regime de operação, contínuo ou intermitente, custo da matéria-prima e insumos, tempo de funcionamento da indústria e qualificação dos operadores, é praticamente inviável estabelecer uma composição genérica para os efluentes dos diversos setores industriais, que pudesse ser utilizada como base para o estabelecimento de um programa de gerenciamento de águas e efluentes, sem que seja necessária a avaliação dos sistemas produtivos na própria indústria.

Por outro lado, como ponto de partida para a avaliação dos efluentes gerados nas diversas atividades desenvolvidas na indústria, encontram-se disponíveis na literatura dados genéricos referentes à quantidade e composição dos efluentes típicos de vários

segmentos industriais (NEMEROW e DASGUPTA, 1991), onde são apresentadas informações sobre a origem dos principais efluentes gerados nos processos industriais e suas características.

É importante observar que os dados apresentados em literatura devem ser utilizados com critério, pois, de forma alguma, eles podem ser considerados completos e válidos para todo e qualquer segmento industrial.

Embora estes dados sejam importantes para que se possa ter um panorama geral sobre os efluentes dos diversos segmentos industriais, para um programa de gerenciamento de água e efluentes na indústria, os mesmos são insuficientes, pois não permitem uma avaliação individualizada de cada processo responsável pela geração do efluente.

Informações mais úteis são obtidas por meio de uma análise mais detalhada de cada um dos processos desenvolvidos, a qual deve ser feita na própria indústria, obtendo-se, com base nos recursos disponíveis, o maior número de informações possíveis.

Deve-se ressaltar que, em alguns casos, para uma avaliação real dos efluentes gerados em determinados processos produtivos é necessário que seja feita uma caracterização física, química e/ou biológica desses efluentes.

Pelo exposto acima, assim como em função do objetivo do presente trabalho, ou seja, desenvolvimento de um modelo para o gerenciamento de águas e efluentes, que possa ser aplicado em qualquer indústria que demonstre interesse, não se justifica fazer uma apresentação detalhada dos diversos tipos de efluentes gerados nos processos industriais, de todos os segmentos industriais existentes, o que fugiria do objetivo principal do trabalho.

Anexo C - Técnicas para tratamento de efluentes

A escolha da tecnologia mais adequada para o tratamento de um efluente é função da análise detalhada dos tipos e características dos contaminantes que devem ser eliminados ou minimizados. Isto é justificado pelo fato da maioria dos processos e operações unitárias de tratamento, com pequenas exceções, serem aplicáveis para classes muito específicas de contaminantes.

De um modo geral, todos os contaminantes existentes podem ser agrupados em seis classes distintas, conforme apresentado na tabela C.1.

Tabela C.1 - Agrupamento por classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes

Classe	Contaminantes	Exemplos
1	Sais inorgânicos dissolvidos	Íons metálicos e não metálicos (Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Cr^{6+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , CN^- , HCO_3^- , NH_4^+ , etc.)
2	Gases dissolvidos	NH_3 , H_2S
3	Compostos orgânicos dissolvidos	Solventes, pesticidas, herbicidas, tensoativos açúcares; entre outros.
4	Partículas em suspensão	Areia, sílica coloidal, sais insolúveis, sólidos suspensos diversos
5	Microrganismos	Bactérias, vírus, protozoários, fungos, leveduras.
6	Óleos e Graxas	

Fonte: PAREKH, 1988.

Para cada uma destas classes de contaminantes pode-se adotar técnicas de tratamento específicas. Contudo, na maior parte dos casos torna-se necessário combinar duas ou mais técnicas de tratamento para atingir a eficiência de remoção necessária.

A opção por uma determinada técnica de tratamento ou por uma combinação entre duas ou mais técnicas, o que define um sistema de tratamento, deve ser baseada no conhecimento do potencial de cada técnica, assim como dos mecanismos envolvidos

na redução do contaminante de interesse. Para auxiliar na escolha e definição das principais técnicas que irão compor o sistema de tratamento serão apresentadas a seguir aquelas mais utilizadas para o tratamento de efluentes (KIANG e METRY, 1982); (MARTIN e JOHNSON; 1987); (NALCO 1988); (IDAHO, 1992) e (TCHOBANOGLOUS, 1996).

- Neutralização;
- Filtração e Centrifugação;
- Precipitação Química;
- Oxidação ou Redução Química;
- Coagulação/Floculação e Sedimentação ou Flotação;
- Tratamento Biológico;
- Adsorção em Carvão Ativado;
- Processo de Separação por Membranas;
- Troca Iônica;
- Processos de Separação térmica;
- “Stripping” ou Extração.

Embora a relação apresentada acima não inclua todas as técnicas disponíveis, ela se constitui em uma lista básica para atender a uma gama significativa das necessidades de tratamento que ocorrem na indústria brasileira. Informações sobre outras técnicas de tratamento, ou maiores detalhes sobre as técnicas apresentadas, poderão ser obtidas em literatura específica, as quais serão citadas no decorrer da descrição de cada uma das técnicas relacionadas.

É importante observar que algumas das técnicas utilizadas para o tratamento de água para uso industrial também podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes,.

C.1 - Neutralização

A neutralização é utilizada para ajustar o pH dos efluentes para um valor aceitável, geralmente entre os valores de 5,0 e 9,0 conforme padrão estabelecido em norma, (CETESB, 1992), quando este for liberado para o meio ambiente.

Este procedimento é adotado para reduzir ou eliminar a reatividade e a corrosividade do efluente, fazendo-se o uso de ácido ou álcali, conforme for o caso.

O processo de neutralização pode ser realizado de forma contínua ou intermitente, dependendo do modo de geração e da quantidade de efluentes gerados, utilizando-se substâncias ácidas (ácido sulfúrico ou ácido clorídrico), para a redução do valor do pH e substâncias alcalinas (hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio ou carbonato de sódio), para a elevação do pH.

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento do processo de neutralização são bastante simples, consistindo de bombas, tanques, misturadores e medidores de pH, para o controle do processo. Além disto, o capital necessário para implantação e operação do sistema não é elevado.

Embora estes fatores sejam favoráveis à técnica de neutralização, a utilização desta técnica não é adequada para a remoção de uma série de contaminantes, pode resultar no desenvolvimento de reações enérgicas e gerar subprodutos que são extremamente tóxicos.

Em muitos casos o processo de neutralização é utilizado como uma operação intermediária, dentro de um outro processo de tratamento (IDAHO, 1992).

C.2. Filtração e centrifugação

A filtração é o processo pelo qual as substâncias insolúveis são separadas de uma corrente líquida, quando esta passa por um meio ou barreira permeável, que é denominado de meio filtrante. O processo de separação ocorre devido a interceptação das partículas no meio filtrante, sendo necessário que todo o efluente passe através do meio poroso para que ocorra a separação.

No processo de filtração, devido ao acúmulo de material sólido sobre a superfície do filtro e mesmo nos vazios existentes no meio filtrante, ocorre um aumento da resistência à passagem de fluido o que, por sua vez, resulta na elevação da perda de carga e a redução do fluxo de líquido através do meio filtrante. Por esta razão os sistemas de filtração são projetados para operar com valores pré-definidos de perda de carga, os quais são utilizados para estabelecer o momento em que o processo de filtração deve ser interrompido para a limpeza ou substituição do meio filtrante.

Atualmente, podem ser encontrados disponíveis no mercado vários tipos de sistemas de filtração, os quais utilizam meios filtrante descartáveis ou reutilizáveis, destacando-se os sistemas apresentados a seguir (MIERZWA, 1996) e (OSMONICS, 1997):

- Filtros tipo cartucho;
- Filtros com meio granular;
- Filtros a vácuo;
- Filtros prensas; e,
- Prensas desaguadoras.

A opção por um dos sistemas apresentados acima deve levar em consideração a concentração de sólidos presentes, diâmetro da menor partícula que se deseja remover e quantidade de efluente a ser filtrado.

De modo geral, o sistema que utiliza filtros tipo cartucho é mais adequado para efluentes contendo baixa concentração de sólidos, menor que 0,01% em peso e para vazões não muito elevadas, enquanto os filtros com meio granular são indicados para baixa concentração de sólidos e vazões mais elevadas (MONTGOMERY, 1985) e (IDAHO, 1992). Já os demais sistemas, são indicados para correntes que apresentam uma maior concentração de sólidos, sendo normalmente utilizados para a secagem de lodos gerados em estações de tratamento de água, esgotos e efluentes, com o objetivo de reduzir o volume para disposição final (KIANG e METRY, 1982).

Deve ser observado que a técnica de filtração é utilizada como uma operação complementar para as técnicas de floculação e ou sedimentação.

Os equipamentos e dispositivos de filtração são especificados com base na característica da corrente a ser submetida a este tipo de processo de separação, na quantidade de material sólido presente e no diâmetro da menor partícula a ser removida. Também deve ser observado que os processos de filtração apresentam um bom estágio de desenvolvimento tecnológico, são econômicos, apresentam um baixo consumo de energia e são de fácil operação.

A operação de centrifugação também é utilizada para a separação dos componentes de uma mistura só que, neste caso, por meio da ação da força centrífuga criada pela rotação, em alta velocidade, desta mistura em um vaso rígido. Nesta operação o parâmetro mais importante, relacionado à separação dos componentes presentes na corrente líquida, refere-se à densidade dos mesmos, ou seja, o componente que apresentar maior densidade irá migrar para a periferia do vaso que se encontra em rotação, enquanto o de menor densidade tende a permanecer próximo ao centro de rotação da centrifuga (KIANG e METRY, 1982).

Devido a estas características verifica-se que o processo de centrifugação também é adequado para a separação de sólidos de correntes líquidas, também sendo empregado para os casos onde a concentração de sólidos é relativamente alta, maior que 0,5% (IDAHO, 1992).

Atualmente, existem disponíveis no mercado equipamentos capazes de operar continuamente, contudo, o efluente das centrífugas pode requerer um processo de tratamento adicional.

C.3. Precipitação química.

O processo de precipitação química consiste em converter, algumas ou todas, as substâncias dissolvidas em uma corrente líquida em substâncias insolúveis, por meio da alteração do equilíbrio químico, de forma a alterar a solubilidade das mesmas (KIANG e METRY, 1982) e (IDAHO, 1992).

A alteração do equilíbrio químico das espécies que se deseja remover pode ser obtida por um, ou uma combinação entre os seguintes procedimentos:

- Adição de uma substância que reage quimicamente com a substância em solução, formando um composto insolúvel.
- Adição de uma substância que irá alterar o equilíbrio de solubilidade de forma a não mais favorecer a permanência dessa substância em solução;
- Adição de compostos que irão reagir entre si formando um precipitado, o qual irá arrastar ou adsorver a substância a ser removida (co-precipitação).
- Alteração da temperatura de uma solução saturada, ou próxima à saturação, no sentido de diminuir a solubilidade da substância presente.

As reações de precipitação mais comuns envolvem a remoção de espécies iônicas inorgânicas de vários meios aquosos, principalmente a remoção de íons metálicos. Contudo, em alguns casos o processo de precipitação química também pode ser utilizado para a remoção de alguns compostos orgânicos (MIERZWA, 1993).

A presença de determinados compostos pode afetar de forma negativa o processo de precipitação, uma vez que estes podem reagir com as substâncias que se deseja

remover e formar complexos altamente solúveis devendo-se, nestes casos, efetuar a eliminação do composto complexante, antes da realização do processo de precipitação química (IDAHO, 1992). O estado de oxidação das substâncias iônicas precipitáveis também é um fator a ser considerado quando da utilização da precipitação química já que em alguns estados de oxidação os íons tornam-se altamente solúveis, como é o caso do cromo hexavalente, que deve ser reduzido para cromo trivalente, a fim de que o mesmo possa ser precipitado (KIANG e METRY, 1987) e (IDAHO, 1992).

Após o processo de precipitação os sólidos formados deverão ser separados da massa líquida, o que é efetuado por um processo complementar, como o de coagulação, floculação e sedimentação, ou ainda, pelo processo de filtração. Após o processo de separação dos sólidos, o efluente tratado também pode requerer a utilização de um processo adicional de tratamento como, por exemplo, a neutralização já que, na maioria dos casos, durante o processo de precipitação o pH do efluente deve ser elevado para valores acima de 9.

Na tabela C.2 encontram-se alguns exemplos de processos de precipitação química amplamente utilizados.

Tabela C.2 - Processos usuais de precipitação química

Composto Químico Utilizado	Compostos Removidos	pH para Precipitação	Vantagens	Desvantagens
Hidróxido de Cálcio (Cal)	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb e Zn. Eficiência de Remoção: - > 99,0 % para Cr; Cu; Pb e Fe; - 98,6 % para o Zn; e - 97,0 % para o Ni	9,4	- Comumente utilizado - Efetivo - Econômico - O lodo é desidratado facilmente.	- Gera um grande volume de lodo. - Interferência com agentes complexantes quando da estabilização da lama de hidróxidos. - Dosagem excessiva pode reduzir a qualidade de efluentes - A lama gerada não é adequada para a recuperação do metal.

Tabela C.2 - Processos usuais de precipitação química (continuação)

Composto Químico Utilizado	Compostos Removidos	pH para Precipitação	Vantagens	Desvantagens
Hidróxido de Sódio (Soda Caustica)	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb; Zn e Ag. Eficiência de remoção: - > 99 % para o Cd; Cr; Pb; Ni; e Zn; - 98 % para o Cu; - 76% para a Ag	9 a 11	- Gera um menor volume de lodo - Apresenta uma excelente eficiência de neutralização. - O lodo é adequado para a recuperação de metais.	- Mais caro que o óxido de cálcio. - Necessita de equipamentos de grande porte para a separação dos sólidos, em função do material precipitado ser muito fino.
Óxido ou Hidróxido de Magnésio	As; Cd; Cr(III); Cu; Fe; Mn; Ni; Pb e Zn.	8 a 9	- Efetivo para o tratamento de efluentes com baixa concentração de metais ($\leq 50\text{mg/l}$). - Pequeno volume de lodo; - Fácil desidratação do lodo. - Mais eficiente quando realizado em bateladas.	- Reagente de custo bastante elevado. - Deve-se utilizar uma quantidade de três a quatro vezes superior à estequiométrica, para elevar o pH para valores entre 8 e 9.
Sulfetos solúveis. (Sulfeto de Sódio)	As; Cd; Cr(III); Fe; Mn; Pb; e Zn. Eficiência de remoção: - 82% para o Pb; - 88% para o Cr; - 93% para o Zn; - 95% para o Cd; - 98% para o Cu e Ni;	9	- A solubilidade dos sulfetos metálicos é menor que a dos hidróxidos. - Os cromados não requerem a etapa de redução. - Não é afetado pela maioria dos agentes quelantes. - Lodo adequado para a recuperação dos metais.	- Pode ocorrer a geração de gás sulfídrico em condições ácidas. - O efluente tratado pode apresentar excesso de sulfeto após o tratamento. - A formação rápida de precipitado pode dificultar a precipitação.

Fonte: IDAHO, 1992.

C.4. Coagulação, floculação e sedimentação ou flotação

Os processo de coagulação, floculação e sedimentação já foram discutidos quando da apresentação das técnicas para tratamento de água e, portanto, não serão apresentados.

Uma alternativa ao processo de sedimentação, para a separação dos flocos formados no processo de coagulação e floculação, é o processo de flotação, o qual foi inicialmente desenvolvido para a concentração de minérios, tendo sido utilizado pela indústria de mineração (KIANG e METRY, 1982). Com o passar do tempo este processo passou a ser utilizado para outras aplicações, envolvendo a separação de materiais sólidos de correntes líquidas.

Para que os sólidos possam ser separados do líquido uma fração clarificada do efluente é pressurizada com ar, fazendo com que parte do oxigênio seja dissolvida no líquido para que, posteriormente, o efluente pressurizado seja liberado no interior de um dispositivo adequado no qual o efluente floculado também está sendo alimentado, então pequenas bolhas de ar são formadas, devido à expansão do oxigênio, as quais aderem às partículas presentes na massa líquida, fazendo com que estas flutuem.

Na superfície do dispositivo existe um sistema que remove o material sólido que foi flotado, enquanto o líquido, do qual as partículas sólidas foram removidas, sai pelo fundo do equipamento.

O dispositivo utilizado para a separação de sólidos com base neste processo é conhecido como flotador, estando disponíveis no mercado, modelos que incorporam, em um único equipamento, os processos de coagulação, floculação, flotação e filtração (KROFTA, 1990).

Após a passagem pelo decantador ou flotador, a água ainda apresenta partículas em suspensão, as quais não foram removidas devido à sua baixa velocidade de sedimentação devendo-se, desta forma, adotar um processo complementar de separação, que para este caso é a filtração.

C.5. Oxidação ou redução química

As reações de oxidação–redução química são aquelas nas quais o estado de oxidação de pelo menos um dos reagentes envolvidos é elevado enquanto o estado de oxidação do outro reagente é reduzido (KIANG e METRY, 1982) e (IDAHO, 1992), conforme pode ser verificado na representação da reação entre o cianeto e o permanganato em meio alcalino.

Na reação, o estado de oxidação do cianeto é elevado de -1 para $+1$, enquanto o do permanganato diminui de -1 para -2 .

Pelo exposto acima, verifica-se que as reações de oxidação ocorrem simultaneamente com as reações de redução embora, na prática, utiliza-se o termo oxidação ou redução separadamente, em função do contaminante presente. Por exemplo, quando se utiliza, no processo de tratamento, um agente oxidante para reagir com o contaminante de interesse, diz-se que este é um processo de oxidação e quando um agente redutor é utilizado diz-se que o processo é de redução.

A principal função dos processos de oxidação-redução é diminuir a toxicidade de uma determinada corrente líquida, podendo ser utilizados para compostos orgânicos, metais e alguns compostos inorgânicos.

Para o processo de oxidação existem vários compostos com potencial para serem utilizados, contudo, somente alguns são adequados para uso. Na tabela C.3 são apresentados em ordem decrescente, do potencial de oxidação, os agentes oxidantes mais utilizados para o tratamento de efluentes.

Tabela C.3 - Principais agentes oxidantes utilizados para o tratamento de efluentes.

Oxidante	Reação Parcial	Potencial de Oxidação Eo (Volts).
Flúor	$F_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 HF (aq)$	3,060
Ozônio	$O_3 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow O_2 + H_2O$	2,070
Peróxido de Hidrogênio	$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \Rightarrow 2 H_2O$	1,770
Permanganato	$MnO_4^- + 4 H^+ + 2 e^- \Rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1,695
Cloro	$Cl_2 + 2 e^- \Rightarrow 2 Cl^-$	1,359
Dicromato	$Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 6 e^- \Rightarrow 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$	1,330

Fonte: KIANG e METRY, 1982

Algumas reações de oxidação ocorrem rapidamente e são completas enquanto outras ocorrem parcialmente, devido a dosagem do agente de oxidação, pH do meio reativo, potencial de oxidação do oxidante utilizado ou a formação de compostos

intermediários estáveis. Na tabela C.4 são apresentadas algumas aplicações para os agentes oxidantes mais comumente utilizados.

Tabela C.4 - Aplicação dos agentes de oxidação para o tratamento de efluentes

Oxidante	Contaminante
Ozona	Sulfeto; Odores; Cianetos; Compostos orgânicos.
Ar	Sulfitos Sulfetos Íons ferrosos (muito lentamente)
Cloro gás	Sulfeto; Mercaptanas.
Cloro gás em meio alcalino	Cianeto (CN).
Dióxido de cloro	Cianeto; Pesticidas {Diquat e Paraquat.}
Hipoclorito de sódio	Cianeto Chumbo
Hipoclorito de cálcio	Cianeto
Permanganato de Potássio Permanganato	Cianeto; Odores; Chumbo; Fenol; Pesticidas {Diquat/Paraquat;} Compostos orgânicos contendo enxofre; Formaldeído; Manganês.

**Tabela C.4 - Aplicação dos agentes de oxidação para o tratamento de efluentes
(continuação)**

Oxidante	Contaminante
Peróxido de Hidrogênio	Fenol; Cianeto; Compostos contendo enxofre; Chumbo

Fonte: KIANG e METRY, 1982

Deve ser observado que os agentes oxidantes mais enérgicos não são seletivos, assim sendo, qualquer substância facilmente oxidável presente no efluente será afetada. Isto pode implicar na ineficiência do processo devido ao fato do agente oxidante ser completamente consumido por um composto orgânico qualquer, por exemplo um solvente, sem que ocorra a reação com o contaminante de interesse.

Muitos dos fatores relacionados ao processo de oxidação também são válidos para os processos de redução, principalmente com relação a não seletividade dos mesmos. Na tabela C.5 são apresentados alguns agentes redutores e as principais aplicações para os mesmos.

Tabela C.5 - Principais agentes redutores e suas aplicações

Compostos	Aplicação
Dióxido de Enxofre (freqüentemente gases de exaustão) Sulfitos - Bissulfito de Sódio - metabissulfito de Sódio - Hidrosulfitos de Sódio Sulfato Ferroso Zinco Metálico em pó	Cromo Hexavalente
Borohidreto de Sódio	Mercúrio Tetralquil chumbo Prata

Fonte: KIANG e METRY, 1982

Nos processos de oxidação e redução, além de se escolher o composto químico mais adequado, outros fatores podem ter influência sobre a eficiência do tratamento, como por exemplo: dosagem do composto, já que em muitos casos deve-se adicionar um excesso em relação à quantidade estequiométrica; dispersão do reagente na massa líquida; pH e temperatura de operação, e em alguns casos a necessidade de utilização de catalisadores (IDAHO, 1992).

Estes processos apresentam como vantagem o fato de serem simples, os equipamentos e reagentes necessários estão disponíveis no mercado e o custo de implantação e operação podem ser baixos, além do fato de poderem ser operados de forma contínua ou em batelada.

As principais desvantagens incluem a dificuldade de implantação dos sistemas de tratamento, já que os mesmos devem ser especificamente projetados para cada aplicação, devendo-se realizar testes de laboratório e em escala piloto antes de se implantar o sistema, os compostos químicos utilizados são, freqüentemente, perigosos, além de existir a possibilidade de ocorrer a geração de subprodutos perigosos.

C.6. Tratamento biológico

Os processos biológicos, inicialmente desenvolvidos para tratamento de esgotos, são, em geral, os mais eficientes para o tratamento de efluentes contendo material orgânico biodegradável (MARTIN e JOHNSON, 1987) e consistem, basicamente, em colocar em contato o efluente com uma cultura adequada de microrganismos, os quais irão degradar os compostos orgânicos presentes no efluente.

Os microrganismos utilizados no processo se formam face às condições ambientais adequadas que se estabelecem nas câmaras de aeração (processos aeróbios) ou nos biodigestores (processos anaeróbios ou aeróbios) (KIANG e METRY, 1982).

A água é um componente vital para que as reações de decomposição ocorram, uma vez que os microrganismos utilizam enzimas para catalisar as reações de decomposição e estas enzimas necessitam de água para permanecerem ativas.

A degradação da matéria orgânica pode ser feita por microrganismos aeróbios e anaeróbios. Os microrganismos aeróbios podem, eventualmente, decompor substâncias simples ou compostos, em dióxido de carbono e água, enquanto os anaeróbios só são capazes de degradar substâncias simples, sendo gerado como subproduto o metano e o dióxido de carbono (TCHOBANOGLIOUS, 1996).

Um fator importante a ser considerado é que os processos biológicos, na maioria dos casos, não alteram ou destroem compostos inorgânicos. Na verdade, baixas concentrações de alguns compostos inorgânicos solúveis, como por exemplo os íons metálicos, podem inibir a atividade enzimática dos microrganismos em função dos mesmos, devido a sua carga negativa, funcionarem como trocadores de íons, o que resulta na adsorção de íons positivos sobre a parede de suas células (KIANG e METRY, 1982). Espécies aniônicas, como cloretos e sulfatos não são afetados pelos processos biológicos.

Considerando-se que os processos biológicos estão entre os mais antigos para o tratamento de efluente, existem disponíveis na literatura vários títulos que abordam este tema, assim como todas as variantes existentes para os mesmos, onde podem ser obtidas informações mais detalhadas com relação à aplicação de cada processo, parâmetros operacionais e eficiência de remoção dos contaminantes. Apenas para ilustrar, na tabela C.6 são apresentados os principais processos utilizados para o tratamento de efluentes orgânicos.

Dentre os diversos tipos de processos apresentados na tabela C.6, um dos mais amplamente utilizados é o processo por lodos ativados com crescimento em suspensão. Este processo consiste em se manter em contato, por um período de tempo adequado, o efluente contendo os contaminantes a serem degradados e uma massa de microrganismos que é mantida em suspensão, ao mesmo tempo em que se adiciona oxigênio para que a degradação possa ocorrer. Na figura C.1 é apresentado um arranjo esquemático do processo de tratamento por lodos ativados, onde são contempladas as operações de pré e pós-tratamento.

Tabela C.6 - Principais processos biológicos para tratamento de esgotos sanitários.

Tipo de Tratamento	Nome Comum	Uso
Processos Aeróbios <i>Com crescimento em suspensão</i>	Processos de Lodos Ativados - Convencional (Plug-Flow) - Mistura Completa - Aeração em etapas - Oxigênio Puro - Reatores em batelada em série - Estabilização por contato - Aeração prolongada - Valos de Oxidação - Poço Profundo	Remoção de DBO Carbonácea (Nitrificação)
Com Crescimento em Suportes	Crescimento em Suspensão e Nitrificação - Lagoas Aeradas Digestão Aeróbica - Com Ar - Com Oxigênio Puro Filtros Biológicos - Alta Taxa de Aplicação - Baixa Taxa de Aplicação Filtros Grosseiros (leitos de Pedra) Contatores Biológicos Rotacionais Reatores com Enchimento	Nitrificação Remoção de DBO Carbonácea (Nitrificação) Estabilização e remoção de DBO Carbonácea Remoção de DBO Carbonácea e Nitrificação Remoção de DBO Carbonácea Remoção de DBO Carbonácea e Nitrificação Remoção de DBO Carbonácea e Nitrificação
Processos Anóxicos <i>Com crescimento em suspensão</i> <i>Com crescimento em Suportes</i>	Crescimento em suspensão e desnitrificação Filme fixo e desnitrificação	Desnitrificação Desnitrificação
Processos Anaeróbios <i>Com crescimento em Suspensão</i>	Digestão Anaeróbica - Taxa padrão de estágio único - Alta Taxa de estágio único - Dois Estágios Processos Anaeróbios de Contato	Estabilização e Remoção de DBO Carbonácea. Estabilização e Remoção de DBO Carbonácea Estabilização e Remoção de DBO Carbonácea
Com Crescimento em Suportes	Filtro Anaeróbio	Remoção de DBO Carbonácea Remoção de DBO Carbonácea, Estabilização de Esgotos (Desnitrificação)
Processos em Lagoas - Lagoas Aeróbicas - Lagoas de Maturação - Lagoas Facultativas - Lagoas Anaeróbicas		Remoção de DBO Carbonácea Remoção de DBO Carbonácea e nitrificação Remoção de DBO Carbonácea Remoção de DBO Carbonácea e estabilização de esgotos.

Fonte: TCHOBANOGLIOUS, 1996

Como principais vantagens dos processos biológicos pode-se destacar:

- Tecnologia bem desenvolvida;
- Podem ser utilizados para o tratamento de efluentes industriais
- Podem ser adaptados para o tratamento de um efluente específico

E entre as principais desvantagens destacam-se:

- Possibilidade de liberação de compostos orgânicos voláteis para a atmosfera;
- Necessidade de pré-tratamento dos efluentes;
- Possibilidade de inibição da atividade dos microrganismos ou até da destruição de todas as colônias existentes, em função da variação das características do efluente alimentado ao processo.

C.7. Adsorção em carvão ativado.

O termo carvão ativado refere-se a qualquer forma de carvão amorfo que tenha sido tratado para produzir um material com alta capacidade de adsorção. As matérias-primas típicas para produzir o carvão ativado incluem o carvão mineral, madeira, casca de coco, resíduos da produção do papel e resíduos a base de petróleo (KIANG e METRY, 1982).

O processo de adsorção ocorre quando uma molécula, geralmente do contaminante que se deseja remover, atinge a superfície do carvão e é mantida nesta superfície devido à ação de forças físicas e/ou químicas (SNOEYINK, 1990) e (IDAHO, 1992).

Tanto o carvão na forma de pó ou o granulado podem ser utilizados para o tratamento de efluentes, o carvão na forma de pó encontra aplicação limitada, sendo utilizado apenas em situações atípicas, devido a problemas de odores ou para a remoção de contaminantes que não sejam característicos da instalação. Já o carvão na forma granular é o que encontra maior aplicação, sendo principalmente utilizado em colunas estacionárias, através da qual o efluente a ser tratado flui para que os contaminantes sejam removidos (IDAHO, 1992).

Figura C.1 - Representação esquemática do processo de tratamento de esgotos por lodos ativados

A adsorção dos contaminantes sobre a superfície do carvão ocorre devido aos seguintes fatores (IDAHO, 1992).

- O contaminante apresenta uma baixa solubilidade no efluente,
- O contaminante tem uma grande afinidade pelo carvão;
- Uma combinação entre os dois fatores apresentados.

Tecnicamente não existem limites para a concentração do contaminante na corrente de alimentação mas, na prática, a máxima concentração de contaminantes, nas correntes que tem sido tratadas de forma contínua é da ordem de 10.000 mg/L de carbono orgânico total (KIANG e METRY, 1982). Além dos compostos orgânicos, em menor extensão, alguns metais e outros compostos inorgânicos que se encontram dissolvidos no efluente podem ser removidos.

Outro fator importante a ser considerado nos processos de tratamento por carvão ativado é que a presença de sólidos em suspensão no efluente a ser tratado afeta, de forma negativa, o desempenho do processo, seja devido à elevação da perda de carga no leito de carvão, pois este acaba funcionando como um filtro, seja pelo entupimento dos poros do carvão, o que resulta na perda de capacidade de retenção dos contaminantes, consideração que também é válida para óleos e graxas.

Além destas características deve-se considerar, ainda, que os sistemas de tratamento apresentam uma capacidade limitada para a retenção dos contaminantes, sendo que esta capacidade está diretamente associada com a quantidade de carvão presente nos leitos, o que implica na substituição periódica do carvão. Como pelo processo de adsorção não ocorre a destruição do contaminante, o carvão exaurido deverá ser gerenciado de forma adequada, para que os contaminantes presentes não venham a degradar o solo ou a água.

Considerando-se todos os fatores que podem influenciar na eficiência do processo de adsorção, é recomendado que a implantação de sistemas de tratamento que irão utilizar esta técnica sejam baseados em ensaios de laboratório e em escala piloto.

As principais vantagens e desvantagens do processo de adsorção em carvão ativado incluem (IDAHO, 1992).

Vantagens

- É efetivo para a remoção de compostos orgânicos que não podem ser tratados pelos processos biológicos.
- A concentração de muitos contaminantes pode ser reduzida para valores entre 1 e 10 mg/L

Desvantagens

- Sólidos em suspensão, óleos e graxas podem reduzir a eficiência do processo;
- Não ocorre a destruição dos contaminantes;
- O carvão apresenta capacidade limitada para a retenção dos contaminantes;
- O carvão exaurido, caso não seja regenerado, pode trazer problemas com relação à sua disposição final;
- A implantação de sistemas de tratamento, baseada neste processo, requer a realização de ensaios de laboratório e em escala piloto.

C.8. Processos de Separação por Membranas

Os processos de separação por membranas envolvem a utilização de membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis, para separar, da água, partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e até mesmo compostos iônicos dissolvidos. Para que o processo de separação ocorra é utilizado um gradiente de pressão hidráulica ou um campo elétrico. Basicamente, os processos de separação por membranas são divididos em cinco categorias (OSMONICS,1997):

- Microfiltração;
- Ultrafiltração;

- Nanofiltração;
- Osmose Reversa; e
- Eletrodialise.

Grosseiramente, o que difere cada uma das categorias acima é o diâmetro dos poros das membranas e o tipo e intensidade da força motriz utilizada para que seja promovida a separação dos contaminantes.

A primeira vista os processos de separação por membranas poderiam ser comparados com os processos de filtração convencional, contudo, várias características fazem com que estes processos sejam distintos, devendo se destacar os seguintes:

- fluxo de água é paralelo às membranas, ou seja, não é necessário que todo o efluente a ser tratado passe através da membrana;
- Além de serem separadas partículas sólidas de pequenas dimensões, compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos também podem ser separados;
- A pressão de operação dos sistemas de separação por membranas é significativamente maior que nos processos de filtração convencional.

O desenvolvimento dos processos de separação por membranas trouxe um grande avanço no campo de tratamento de efluentes uma vez que, para se obter a remoção de contaminantes em níveis comparáveis aos obtidos com os mesmos, era necessário se lançar mão de técnicas cujo custo de implantação, operação e manutenção era proibitivo, restringindo o seu uso para aplicações especiais.

Devido ao fato dos processos de separação por membranas operarem com um fluxo paralelo às membranas, a operação de sistemas de tratamento que usam esta tecnologia irão produzir duas correntes distintas, ou seja, aquela que passou através da membrana, da qual foram removidos os contaminantes, que é chamada de

permeado e a corrente que contém a maior parte dos contaminantes inicialmente presentes no efluente, que é chamado de concentrado.

Via de regra, todos os processos de separação por membranas devem ser precedidos de sistemas convencionais de filtração, o que reduz a carga de sólidos da corrente de alimentação, melhorando o desempenho das membranas ao mesmo tempo em que as protege.

i) Microfiltração

As membranas de microfiltração podem ser consideradas como filtros absolutos, com o diâmetro dos poros variando entre 0,1 μm a 3 mm, podendo ser fabricadas em polímeros, metais ou cerâmicas, sendo que o diferencial de pressão utilizado para promover a separação dos contaminantes está na faixa de 0,3 até 1,7 bar (OSMONICS, 1997).

Além de ser utilizado para a remoção de colóides, o processo de ultrafiltração, com a utilização de agentes complexantes de alto peso molecular, é capaz de remover metais dissolvidos de soluções diluídas (BUCKLEY et. al., 1990).

No processo de tratamento por ultrafiltração pode-se obter um concentrado que representa menos de cinco por cento do volume alimentado ao sistema com uma concentração de até 70% em sólidos (IDAHO, 1992).

Como principais vantagens do processo de ultrafiltração têm-se:

- Pode ser utilizado para remoção seletiva de metais;
- É facilmente integrado a outro processo de tratamento;
- Baixo consumo de energia;
- Custo de investimento relativamente baixo,

Entre as principais desvantagens destacam-se:

- Os efluentes devem apresentar baixa carga de sólidos,
- Muitas membranas estão sujeitas ao ataque químico;
- A corrente de concentrado pode apresentar problemas para disposição final
- Substâncias iônicas e gases dissolvidos não são afetados.

ii) Ultrafiltração

No processo de ultrafiltração as membranas apresentam um diâmetro de poro significativamente menor que 0,1 μm e, em consequência disto, a pressão de operação necessária para que se obtenha um fluxo aceitável de permeado é significativamente maior que para o processo de microfiltração, devendo-se trabalhar com valores na faixa de 0,7 a 6,9 bar (NALCO, 1988); (KAWAMURA, 1991) e (OSMONICS, 1997).

Com o diâmetro de poro nessa ordem de grandeza, o processo de ultrafiltração se mostra adequado para a remoção de colóides e compostos orgânicos com alto peso molecular.

Da mesma forma que para o processo de microfiltração, no processo de ultrafiltração também serão geradas duas correntes distintas, observando-se que o permeado terá uma melhor qualidade. Muitas das vantagens e desvantagens apresentadas para o processo de microfiltração também são válidas para o processo de ultrafiltração.

iii) Nanofiltração

Os sistemas de nanofiltração são capazes de remover compostos orgânicos com uma massa molecular variando entre 250 e 1000 g/mol e alguns sais, geralmente bivalentes, operando com uma pressão superior a utilizada no processo de ultrafiltração.

Estes sistemas funcionam de forma adequada como abrandadores, sem apresentar os problemas de poluição associados aos processos convencionais de abrandamento, apresentando como vantagem adicional a possibilidade de remoção de compostos orgânicos (OSMONICS, 1997).

iv) **Osmose Reversa**

É importante observar que o processo de osmose reversa é adequado para o tratamento de efluentes que contenham espécies dissolvidas, que só poderiam ser tratados pelos processos de troca iônica ou evaporação.

O processo de osmose reversa é aplicado para o tratamento de efluentes com uma concentração de sais dissolvidos variando de 5,0 mg/L até 34.000 mg/L (KIANG e METRY, 1982), podendo-se obter uma recuperação de água superior a 90%, em relação ao volume de efluente alimentado ao sistema (MIERZWA, 1996).

A taxa de rejeição de sais é superior a 99% para muitos íons enquanto a recuperação de água por módulo de osmose chega no máximo a 75%, sendo que a pressão de operação do sistema pode variar de 3,4 a 69 bar (OSMONICS, 1997).

O processo de osmose reversa apresenta como principais vantagens:

- Não necessita de quantidades elevadas de energia, uma vez que não há mudança de fase da solução processada;
- Baixo custo de investimento e operação;
- Não necessita de operadores altamente qualificados;
- É adequado para o tratamento de efluentes que apresentam íons dissolvidos como principais contaminantes;

As desvantagens com relação ao processo de osmose reversa são:

- Não é adequado para o tratamento de efluentes com material em suspensão;

- A membrana pode sofrer ataque químico por alguns materiais presentes na solução a ser tratada;
- Substâncias com baixa solubilidade podem precipitar na superfície das membranas;
- Alguns compostos orgânicos, principalmente os de baixo peso molecular e gases dissolvidos não são removidos;
- O concentrado gerado pode trazer problemas com relação à sua destinação final.

v) **Eletrodialise**

De forma semelhante ao processo de osmose reversa, o processo de eletrodialise purifica e concentra uma determinada solução, por meio de um fluxo preferencial através de uma membrana semipermeável.

Contudo, a transferência de massa através da membrana que separa as soluções é devida a uma diferença de potencial elétrico aplicado entre as membranas e, ainda, são as espécies iônicas presentes nas soluções que permeiam através da membrana (KIANG e METRY, 1982); (NALCO, 1987) e (IDAHO, 1992).

É importante observar que o processo de eletrodialise, em função de utilizar uma diferença de potencial elétrico, aplicado entre um conjunto de membranas íons seletivas, só é adequado para promover a separação de compostos iônicos, não sendo indicado para efluentes que contenham, como contaminantes, compostos moleculares e substâncias em suspensão. Na figura C.2 encontra-se uma representação esquemática do processo de eletrodialise (OSMONICS, 1987).

Como vantagens o processo de eletrodialise apresenta:

- Operação à pressão atmosférica;

- Pode-se obter soluções concentradas com até 20% em sais.

Figura C.2 - Representação do processo de eletrodiálise

As desvantagens da eletrodiálise são:

- Sólidos em suspensão e compostos orgânicos podem bloquear as membranas;
- Agentes oxidantes, ou a presença de íons ferrosos ou manganosos, em concentração superior a 0,3 mg/L podem danificar as membranas.
- Pode ocorrer a eletrólise da água com geração de hidrogênio e oxigênio, altamente reativos.

C.9. Troca iônica

Os conceitos sobre o processo de troca iônica já foram apresentados anteriormente quando da abordagem das técnicas para o tratamento de água, de forma que só serão apresentados, neste item, as peculiaridades do processo de troca iônica associadas ao tratamento de efluentes.

O processo de troca iônica, muito utilizado nas indústrias para a produção de água com elevado grau de pureza, pode ser utilizado para o tratamento de efluentes que contenham espécies iônicas dissolvidas, como, por exemplo, metais (Al_3^+ , Pb_2^+ , Sr_2^+ , etc.), ânions inorgânicos (F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CN^- , etc.), ácidos orgânicos (carboxílicos, fenóis, etc), entre outros. (NALCO, 1988) e (IDAHO, 1992).

As vantagens relacionadas à utilização do processo de troca iônica incluem:

- Permite a obtenção de um efluente tratado com qualidade superior à obtida por outro processo;
- Frequentemente remove seletivamente as espécies indesejáveis;
- Processo e equipamentos amplamente testados;
- Existem no mercado sistemas automáticos e manuais;
- Pode ser utilizado para tratamento de grandes e pequenos volumes de efluentes.

Dentre as desvantagens do processo de troca iônica devem ser destacadas as seguintes:

- Os produtos químicos envolvidos no processo de regeneração podem ser perigosos;
- Existem limitações com relação à concentração do efluente a ser tratado;

- Exige paradas para regeneração;
- Geração de efluentes com uma concentração de contaminantes e outros compostos, relativamente elevada;
- As resinas podem ser degradadas ou ter sua capacidade reduzida, devido à presença de substâncias orgânicas; microrganismos, partículas em suspensão, substâncias oxidantes, etc.
- Pequenas variações nas características da corrente de alimentação afetam de forma negativa o processo.

C.10. Processos de separação térmica

Os processos de separação térmica, considerados para o tratamento de efluentes, são os de evaporação e destilação e em ambos os casos utiliza-se energia térmica para promover a separação dos contaminantes da corrente que está sendo tratada.

No processo de evaporação ocorre a conversão física de um componente, que passa do estado líquido para o gasoso, deixando para trás os contaminantes inicialmente presentes na mistura, por estes apresentarem pontos de ebulição significativamente mais elevados que o solvente.

Geralmente, o processo de evaporação é utilizado para remover uma parte do solvente de uma mistura de sais dissolvidos e sólidos suspensos, sendo mais utilizados para vaporizar água, soluções aquosas ou lamas (IDAHO, 1992)

Também fazem parte do processo de evaporação, as operações de condensação e resfriamento, obtendo-se uma corrente líquida com alto grau de pureza. Em geral, o fator de descontaminação, ou seja, relação entre a concentração do contaminante no efluente de alimentação e na corrente destilada, é bastante elevado, podendo variar de 10^4 a 10^6 .

Outra característica que deve ser ressaltada é que o volume de resíduos resultantes no processo de evaporação é bastante reduzido, facilitando o seu gerenciamento ou disposição final. Contudo, em razão de ocorrer mudança de fase da água, o consumo

de energia é bastante elevado, fazendo com que o custo de tratamento de efluentes por esta técnica seja significativamente maior, quando em comparação com as demais técnicas disponíveis (IDAHO, 1992).

Os principais tipos de equipamentos disponíveis para o desenvolvimento do processo de evaporação vão dos mais simples, como por exemplo, os do tipo tubos submersos, até os equipamentos com um projeto mais arrojado, do tipo filme fino agitado, que funcionam como evaporador e cristalizador simultaneamente. Nos evaporadores e cristalizadores de filme fino agitado o fator de redução de volume do efluente pode ser superior a 25 (MIERZWA e SANDRA BELLO, 2000). Na figura C.3 encontra-se à representação esquemática de um evaporador de filme fino agitado.

Já o processo de destilação, muitas vezes confundido com o processo de evaporação consiste em aplicar calor a uma mistura de líquidos e posterior remoção do calor da fase vaporizada, sendo que o líquido condensado recebe o nome de destilado e está enriquecido com o componente mais volátil, enquanto o produto não vaporizado estará enriquecido com o componente menos volátil (IDAHO, 1992).

Um exemplo típico do processo de destilação refere-se a separação do etanol da água, quando a composição volumétrica entre o etanol e a água é menor que 96 %, ou seja, abaixo do ponto de azeótropo.

Um dos parâmetros mais importantes no processo de destilação refere-se à relação de equilíbrio do componente ou dos componentes, entre a fase líquida e a fase vapor, sendo as mesmas utilizadas para o dimensionamento dos equipamentos de destilação, que podem ser de estágio simples ou múltiplos, destacando-se que os equipamentos de múltiplos estágios apresentam o melhor desempenho (IDAHO, 1992).

Os principais candidatos para processamento pela técnica de destilação são os efluentes que contenham misturas de compostos orgânicos voláteis, como, por exemplo, mistura entre solventes e misturas de solventes em água e vice-versa.

A utilização do processo de destilação apresenta como vantagem, a possibilidade de recuperação de solventes, embora os custos de implantação e operação sejam

superiores aos custos associados a processos competitivos, como por exemplo, do processo de extração com ar ou vapor, além de ser considerado um processo complexo para o tratamento de efluentes (IDAHO, 1992).

C.11. “Stripping” ou extração

O processo de tratamento por “Stripping” ou extração, pode ser realizado com ar ou com vapor e consiste em transferir de uma fase líquida, geralmente a água, para uma fase gasosa os contaminantes voláteis, utilizando-se dispositivos adequados, como por exemplo, câmaras de aeração, sistemas de aspersão e colunas de recheio, sendo estes os mais eficientes (KIANG e METRY, 1982) e (KAWAMURA, 1991).

No processo de extração com ar, que é mais eficiente quando realizado em colunas de recheio, o efluente contendo os contaminantes que se deseja remover é alimentado pela parte superior da coluna, ao mesmo tempo em que se injeta ar pela base.

À medida que as duas correntes passam através do recheio da coluna, devido ao aumento da superfície de contato, os componentes mais voláteis são transferidos da fase líquida para a gasosa e quando as duas correntes deixam a coluna, a fase gasosa estará enriquecida com os componentes voláteis e a líquida empobrecida.

Uma das principais aplicações do processo de extração com ar refere-se a remoção de amônia de efluentes orgânicos tratados por processos biológicos, onde a eficiência do processo, quando são utilizadas torres de recheio, pode chegar a 90% (KIANG e METRY, 1982).

Figura C.3 - Representação esquemática do processo de evaporação/cristalização com um evaporador de filme fino agitado

Os fatores a serem considerados no dimensionamento das unidades de extração com ar são (KAWAMURA, 1991):

- Características dos compostos a serem removidos;
- Temperatura de operação;
- Relação entre a quantidade de ar para a quantidade de água;
- Tempo de contato;
- Área superficial necessária para o processo de transferência de massa.

Já o processo de extração com vapor pode ser comparado com o processo de destilação, uma vez que a separação dos constituintes do efluente é baseada na diferença de volatilidade (IDAHO, 1992), ou seja, os contaminantes, que devem ser mais voláteis que a substância na qual estes estão contidos, são vaporizados devido a ação do aquecimento com vapor.

Uma unidade de extração por vapor é constituída por um fervedor, uma seção de extração, um condensador e os reservatórios para a armazenagem das correntes líquidas envolvidas no processo.

O processo de extração com vapor é indicado para a remoção de pequenas quantidades de compostos orgânicos voláteis contidos em um grande volume de água. Compostos que formam azeótropos de baixo ponto de ebulição, compostos instáveis, ou reativos, em temperaturas elevadas e compostos que apresentam potencial de explosão ou ignição em aquecedores do tipo chama direta, são alguns exemplos.

Contudo mesmo com as aplicações que podem ser dadas para os processo de extração por ar ou vapor, estes apresentam um baixo potencial para aplicações em um sistema de tratamento de efluentes, devido as seguintes razões (MARTIN e JOHNSON, 1987):

- Dificuldade de otimizar o processo para efluentes perigosos, contendo contaminantes voláteis e não voláteis;
- A extração por ar não tem um apelo como um pré-tratamento para outro processo, além de necessitar um controle rígido em função do potencial de poluição do ar.
- O processo de extração por vapor apresenta grande mérito para o tratamento de efluentes contendo elevadas concentração de compostos altamente voláteis.
- Os custos de implantação e operação são significativamente elevados.

Além destes fatores, no caso específico do processo de extração de amônia com ar, existem outros processos capazes de promover a separação, bastando, para tanto, alguns ajustes químicos, como por exemplo, a conversão da amônia gasosa para íons amônio, o que é feito com um ajuste de pH, para posterior tratamento por osmose reversa (MIERZWA e SANDRA BELLO, 2000).

Anexo D – Principais características dos sistemas de geração de vapor e de resfriamento da KODAK

D.1 – Sistema de geração de vapor

O Sistema de Geração de Vapor da KODAK é responsável pela produção do vapor utilizado nos processos que necessitam de aquecimento. Este sistema é constituído por duas caldeiras a óleo, que são mantidas como reserva e uma caldeira a gás natural, a qual é responsável por atender as demandas de vapor exigidas.

A caldeira a gás natural tem capacidade para produzir 9,0 toneladas de vapor, por hora, e é alimentada com água deionizada. As condições de operação, atuais, da caldeira são:

- Produção de Vapor → 6 a 7 toneladas/h
- Pressão do Vapor → 3,0 a 4,8 bar
- Tratamento Químico Utilizado → Sulfito de Sódio e Hidróxido de Sódio
- Purga → 500 L/h
- Destino da Purga → Meio Ambiente

Como esta caldeira utiliza água deionizada para a produção de vapor, as características da purga podem ser consideradas como aquelas apresentadas na Tabela 3.4 “*Padrão de Qualidade Recomendado para Água de Resfriamento e Geração de Vapor*”, coluna 4, referente aos requisitos de qualidade de água pressão de 10 a 50 bar.

D.2 – Sistema de resfriamento

O Sistema de Resfriamento é utilizado para promover a remoção de calor residual de componentes ou fluídos de processo. Este sistema é constituído pela torre de resfriamento e circuito de resfriamento.

A torre tem como principal finalidade dissipar o calor absorvido pela água que circula pelo circuito, o que reduz a temperatura da água.

Maiores detalhes sobre o sistema de resfriamento podem ser obtidos no Anexo B, item B.2 “*Efluente Gerado em Sistemas de Resfriamento Semi-abertos*”.

As principais características do Sistema de Resfriamento da KODAK são apresentadas a seguir:

- Vazão de Água de Reposição → 13,42 m³/h
- Vazão da Purga → 3,0 m³/h
- Perda por Evaporação → 10,42 m³/h
- Ciclos de Concentração → 8
- Destino da Purga → Meio Ambiente

A composição da purga da torre de resfriamento, que é o efluente gerado, pode ser obtida por meio da multiplicação entre os ciclos de concentração do sistema e a concentração de cada íon ou composto presente na água de reposição utilizada.

7. LISTA DE REFERÊNCIAS

_____ Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980 (Publicada no Diário Oficial da União Executivo, de 03/07/1980), que *Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição e dá outras providências*, Legislação Federal – Controle da poluição Ambiental, CETESB, 1992.

_____ Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, LEMA - Legislação de Meio ambiente Ltda: São Paulo, Agosto de 1999.

_____ Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

_____ Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Publicada no Diário Oficial da União em 13/02/1998, seção 1, pag. 1), que *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências*.

_____ Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

_____ Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999 (Diário Oficial da União Executivo, de 22.09.99 – Pág. 1), *Especifica as sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, contidas na Lei nº 9.605, de 12/02/98 e outras*, Legislação Ambiental Federal, LEMA – Consultoria S/C Ltda, São Paulo, Agosto de 1999.

_____ Lei nº 5.597, de 06 de fevereiro de 1987, *Estabelece normas e diretrizes para o zoneamento industrial no Estado de São Paulo, e dá outras*

providências correlatas, Legislação de Meio Ambiente – Estado de São Paulo, LEMA – Consultoria S/C Ltda, São Paulo, Agosto de 1998

_____ Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, *Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente*, Legislação sobre Meio Ambiente – Estado de São Paulo, LEMA – Consultoria S/C Ltda, São Paulo, Agosto de 1998.

_____ Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988, *Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências*, Legislação sobre Meio Ambiente – Estado de São Paulo, LEMA – Consultoria S/C Ltda, São Paulo, Agosto de 1998.

_____ Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, *Aprova o regulamento da Lei no 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente* Legislação sobre Meio Ambiente – Estado de São Paulo, LEMA – Consultoria S/C Ltda, São Paulo, Agosto de 1998.

_____ Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, que regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981 e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências.

_____ Decreto nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991, Regulamenta a Lei no 6.134, de 02 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências.

_____ Decreto nº 41.258, de 31 de outubro de 1996, Aprova o regulamento dos artigos 9º a 13º da Lei nº 7.633, de 30 de dezembro de 1991 (D.O.E. de 01/11/96, pg. 48) Decreto de Outorga e Fiscalização.

_____ Projeto de Lei nº 20, de 1998, Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo e dá outras

providências, Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.recursoshidricos.sp.gov.br>.

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. ***Seminário Internacional - Reúso da Água na Região Metropolitana de São Paulo***, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES/SP: São Paulo, 15 de Abril de 1998.

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ***Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997***, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Comissão de Gestão: São Paulo, 64 p.

ALTO TIETÊ. ***Seminário - Reúso da Água***, Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e Câmara Técnica de Qualidade de Água e Racionalização dos Usos: São Paulo, 20 de outubro de 1999.

ALVES, J.S.; PALOMBO, C.R. ***Política de compras “verdes”: A parceria CETESB & USP/EP-PQI & KODAK SJC***. Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia. Depto de Desenvolvimento e Capacitação Tecnológica. Divisão de Prevenção à Poluição. CETESB, 1999.

ALVES da CUNHA, O.A. ***Resinas de Troca Iônica para Tratamento de Água Industrial***, ROHM and HAAS Brasil Ltda, 5º Congresso de Utilidades IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo), 20 a 24 de novembro de 1989, Centro Empresarial de São Paulo: São Paulo, SP.

AMIRTHARAJAH, A. e O'MELIA, C.R. ***Coagulation Processes: Destabilization, Mixing and Flocculation***, Chapter 6, Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4th edition, McGRAW-HILL, Inc., 1990, 1194p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ***Microsistema de Dados Hidrometeorológicos - Subsistema de Qualidade de Água***, Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília, 08/02/2000.

AQUATEC. *Conceitos Básicos de tratamento de Águas Industriais*, AQUATEC Química S/A - Divisão de Utilidades.

ASANO, T. *Planning and Implementation of Water Reuse Projects*, Water Science and Technology, Vol. 24, Nº 9. pp. 1-10.

ASANO, T.e MILLS, R. A. *Planning and Analysis for Water Reuse Projects*, Journal AWWA, January, 1990. pp. 38-47.

ASANO, T. e LEVINE, A. D. *Wastewater reuse: a valuable link in water resources management*, WQI, Nº 4, 1995. pp. 20-24.

AZEVEDO NETTO, J.M. de (et al.). *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água - Volume 2 - Tratamento de Água*, 3ª edição, São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987, 317p.

BALADI, R. *Dados da unidade piloto de osmose reversa*. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: mierzwa@usp.br em 16 de agosto de 2002.

BEECKMAN, G. B. *Water Conservation, Recycling and Reuse*, Water Resources Development, Vol. 14 – nº 03, p. 353-364.

BIO. *Água Potável: Esforço de Todos*, Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, Ano IX, nº 07, p. 09-11: Julho/Setembro.

BUCHLER, P.M. *A Indústria Química*, Revista Politécnica - Tecnologia e Ambiente: Confronto ou Interação - nº 204/205, janeiro/junho de 1992. p. 66-72.

BUCKEY, L.P.; et. al. *Removal of Soluble Toxic Metals from Water*, Ontário, Chalk River Nuclear Lab. (AECL – 10174).

CETESB a. *Legislação Estadual – Controle da Poluição Ambiental*, São Paulo, (Série Documentos), 1992.

CETESB b. *Legislação Federal – Controle da Poluição Ambiental*, São Paulo, (Série Documentos), 1992.

CETESB. *Manual para a Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição*. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>, 1998.

CLEASBY, J.L. *Filtration*, Chapter 8, Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4th edition, McGRAW-HILL, Inc., 1990, 1194p.

CLIFFORD, D.A. *Ion Exchange and Inorganic Adsorption*, Chapter 9, *Water Quality and Treatment - A handbook of community waters supplies*, Fourth Edition, American Water Works Association, McGRAW-HILL, Inc.. 1194p.

COMPASS RESOURCE MANAGEMENT. *Total Cost Assessment Guidelines (Draft)*. Material das Sessões de Treinamento Pós-Conferência. Conferência das Américas sobre Produção + Limpa. 21/08/1998. Realização CETESB/SMA - USEPA; PNUMA; USAID; ENVIRONMENT CANADA; FINEP; NPPR; BIRD; BID; OEA; USP.

CONAMA a. *Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986*.

CONAMA b. *Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986*.

CONAMA. *Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1988*.

CONLON, W.J. *Membrane Processes*. Chapter 11, Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies, Fourth Edition, American Water Works Association, 1990. 1194p.

CROOK, J. *Water Reclamation and Reuse*, Chapter 21 of Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGraw-Hill, 1996. p. 21.1 - 21.36.

DAEE. *Portaria nº 12, de 15 de março de 1991, Normas para a emissão de Licença de Execução e da Licença de Operação de poços tubulares profundos, assim como da outorga final para a exploração de águas subterrâneas no território do Estado de São Paulo*, 1991.

DAEE. *Portaria nº 717/96, Aprova a norma e os anexos de I a XVIII, que disciplinam o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo, na forma de Lei Estadual nº 6.134, de 02/06/88 e de seu regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual nº 32.955, de 07/02/91, bem como da Lei Estadual nº 7.663, de 30/12/91 e de seu regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual nº 41.258, de 31/10/96*, 1996

DAEE. *Obras de Interligação Põe Fim ao Racionamento de Água na RMSP*, Revista Águas e Energia Elétrica - DAEE, outubro de 1998, p. 39-43.

DAHAB, M.F.; MONTAG, D.L. and PARR, J.M. *Pollution Prevention and Waste Minimization at a Galvanizing and Electroplating Facility*, Water Science and Technology - Vol. 30, nº 05, 1994. p. 243-250.

DAVIS, M. L., CORNWELL, D.A. *Introduction to environmental Engineering*, Third Edition, McGRAW-HILL, series in water resources and environment. 1998. 919p.

DOW EUROPE SEPARATION SYSTEMS. *FILMTEC Membranes - Technical Manual*, Germany, 1994.

DREW. *Princípios de Tratamento de Água Industrial*, [Tradução Thomas J. Buchard; Revisão Técnica Charles R. Lehwing] - São Paulo: DREW Produtos Químicos, 1979, 331p.

DUNCAN, A. *Bibliographic Teaching Outline*, Introductory Pollution Prevention Materials – National Pollution Prevention Center for Higher Education, December, 1994.

EPA. *Handbook on Pollution Prevention Opportunities for Bleached Kraft Pulp and Paper Mills*, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development; Office of Enforcement: Washington, DC, June 1993.

FALKENMARK, M. *Water Scarcity Generates Environmental Stress and Potential Conflicts*, Chapter 16 – Water Development and the Environment, Lewis Publishers Inc., 1992. p. 279-294.

FERREIRA FILHO, S.S.;SOBRINHO, P.A. *Considerações sobre o Tratamento de Despejos Líquidos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. ABES - Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Volume 03, Nº 3/4, Jul-Dez. 1998. p.128-136.

FERREIRA, M.B. *Mini Aurélio Século XXI – O Mini Dicionário da Língua Portuguesa*, 4ª Edição revista e ampliada, 2ª impressão - Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro, 2001.

FURTADO, J.S. et. al. *Prevenção de Resíduos na Fonte & Economia de Água e Energia - Manual de Avaliação na Fábrica*. Produção Limpa - Dpto de Eng. de Produção & Fundação Vanzolini - EPUSP, São Paulo. 1998.

GUYER, H.H. *Industrial Processes and Waste Stream Management*. John Wiley & Sons, Inc., 1998. 592 p.

GREGORY, R. e ZABEL, T.F. *Sedimentation and Flotation*, Chapter 7, Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4th edition, McGRAW-HILL, Inc., 1990, 1194p.

HAAS, C.N. *Desinfection*, Chapter 14, Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies, American Water Works Association, Edited by Frederick W. Pontius, 4th edition, McGRAW-HILL, Inc., 1990, 1194p.

HBI. *Introduction to Pollution Prevention - Training Manual*, Prepared by: Hagler Bailly Consulting Inc., 1530 Wilson Boulevard, Suite 900 - Arlington, VA 2209-2406 - HBI reference No. TR-95-061, Environmental Pollution Prevention - Project Number: 936.5559 - Contract Number: PCE-5559-Q-00-3022-00, 1995.

HBI. *La Norma ISO 14000 y Los Sistemas de Gestión Ambiental – Manual de Capacitación*, Hagler Bailly Services, Inc. (Referencia HBI No. TR-96-136), febrero de 1997:Arlington, VA.

HELMER, R e HESPANHOL, I. *Water Pollution Control - A guide to the use of water quality management principles*, WHO/UNEP, 1997. 510p.

HESPANHOL, I. *Guidelines and Integrated Measures for Public Health Protection in Agricultural Reuse Systems*, J. Water SRT-Aqua, Vol. 39, No. 4. 1990. p. 237-249.

HESPANHOL, I. *Desenvolvimento Sustentado e Saúde Ambiental*, Revista Politécnica - Tecnologia e Ambiente: Confronto ou Interação - nº 204/205, janeiro/junho de 1992. p. 66-72.

HESPANHOL, I. *Esgotos como Recurso Hídrico: Parte I: Dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais*, Engenharia - Revista do Instituto de Engenharia, Ano 55, Nº 523., 1997. p. 45-58.

HESPANHOL, I. *Água e Saneamento Básico no Brasil: Uma Visão Realista*, Capítulo 8 de Águas Doces do Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação: Academia Brasileira de Ciências – Instituto de Estudos Avançados da USP, Escrituras Editora: São Paulo, 1999. 717 p.

HIGGINS, T.E. *Hazardous Waste Minimization Handbook*, Lewis Publishers, Inc. 1989.

HOJADA, R.G. *Crescimento da ISO-9000 e ISO-14001 no Mundo*, Revista Meio Ambiente Industrial, ano IV, edição 26 – nº 25, julho/agosto. 2000. p. 28-29.

HYDRANAUTICS. *Hydranautics RO System Design Software, Version 64.0(c)*., Hydranautics High Performance Membrane Products. 1998.

HUNT, C.B. and AUSTER, E.R. *Proactive Environmental Management: Avoiding the Toxic Trap*, Environmental Management - Sloan Management Review, Winter

1990, em EAD 5887 - Administração empresarial e o Meio Ambiente, Prof. Dr. Isak Kruglianskas - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 3º Trimestre de 1998.

IBGE. *Anuário Estatístico do Brasil – 1997*, Rio de Janeiro:IBGE, v. 57, 1998.

IDAHO - NATIONAL ENGINEERING LABORATORY. *Waste Treatment Technologies*, EGG-WMO-10244, Vol. 13, EG&G Idaho, Inc.: Idaho Falls, Idaho. 1992.

KAWAMURA, S. *Specific Water Treatment Processes*, Chapter 7 – Integrated Design of Water Treatment Facilities, Susumo Kawamura - John Wiley & Sons, Inc., 1991, p. 488-567.

KIANG, Y.H. e METRY, A.A. *Hazardous Waste Processing Technology*, ANN ARBOR SCIENCE: Michigan, 1982. 549p.

KINDSCHY; J. W.; KRAFT; M.; CARPENTER, M. *Guide to Hazardous Materials and Waste Management* - Solano Press Books, 1997.344 p.

KROFTA. *Technical Data Sheet – Sand Float SAF 49*, Bulletin 8901-E, Krofta Engineering Corporation. 1990.

KUSSAMA, A.C. et al. *Interligação do Braço Taquacetuba/Billings - Reservatório Guarapiranga: Replicando em defesa da Saúde Pública*, Engenharia - Revista do Instituto de Engenharia, ano 55, nº 523/1997, p. 59-70.

LEMOS, R.M. *Dados para a avaliação do potencial de reúso*. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: mierzwa@usp.br, em 07/05/2002.

LIBOS, H. *O Desafio das Águas - FIESP quer garantir espaço para empresários locais no processo de privatização do setor hídrico*, Notícias FIESP/CIESP - Ano 1, nº 21, 13 de outubro/1999. p. 07-09.

MAHAN, B.H. *Química - Um Curso Universitário*, (Tradução para o português - Coordenador Ernesto Giesbrecht), Editora Edgard Blücher Ltda, 1985. 656p.

MAKIBARA, H. ***O Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista (HIDROPLAN)***, Revista Águas e Energia Elétrica - DAEE, outubro de 1998, p. 58-67.

MARTIN, E.J.; JOHNSON, J.H. ***Hazardous Waste Management Engineering***, Van Nostrand Reinhold Company – New York, 1987. 520p.

MAYS, L. W. ***Water Resources: An Introduction***, Chapter 1, Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGRAW-HILL, 1996. p. 1.3-1.35.

MEYBECK, M.; CHAPMAN, D.; HELMER, R. ***Global Freshwater Quality – A first Assessment***, GEMS: Global Environmental Monitoring System, World Health Organization, United Nations Environment Programme, 1990. 306 p.

MIERZWA, J.C. et. al. ***Tratamento de Rejeitos Gerados em Processos de Descontaminação que utilizam o Ácido Cítrico como Descontaminante***. Symposium of Nuclear Energy and the Environment, Rio de Janeiro - Brasil, 27/06 - 01/07 de 1993.

MIERZWA, J.C. ***Estudo Sobre Tratamento Integrado de Efluentes Químicos e Radioativos, Introduzindo-se o Conceito de Descarga Zero***, São Paulo: 1996 Tese (Mestrado), IPEN/CNEN-SP - Universidade de São Paulo, 1996. 171p.

MIERZWA, J.C. e HESPANHOL, I. ***Programa para Gerenciamento de Águas e Efluentes nas Indústrias, Visando ao Uso Racional e à Reutilização***, Revista Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Vol. 4, nº 1 e 2 Jan/Mar. e Abr/Jun., 2000, p. 11 - 15.

MIERZWA, J.C. ***Tratamento da Água na Manipulação Magistral***, Revista Racine, ano X, nº 57, julho/agosto, 2000.

MIERZWA, J.C.; SANDRA BELLO, .G. ***Tratamento de Rejeitos e Efluentes do Laboratório de Materiais Nucleares (LABMAT), Utilizando os Processos de Precipitação Química, Osmose Reversa e Evaporação***, Anais do XII ENFIR, VIII CGEN e V ENAN, Rio de Janeiro, Brasil, 15 a 20 de outubro de 2000.

MILLARD, A. *Compton's Interactive Encyclopedia*, CD-ROM, Compton's NewMedia, Inc., 1995.

MONTGOMERY, J.M. Consulting Engineers, Inc. *Facilities Design*, Chapter 21 - Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, 1985. p. 491 - 580.

MORAN, J.M.; MORGAN, M.D.; WIERSMA, J.H. *Introduction to Environmental Science*, Second Edition, W.H. Freeman and Company: New York, 1986.

MUJERIEGO, R. e ASANO, T. *The Role of Advanced Treatment in Wastewater Reclamation and Reuse*, Water Science and Technology, V. 40, Nº 4-5, 1999. p. 1-9.

NALCO *The Nalco Water Handbook*, Second Edition, NALCO Chemical Company - Editor Frank N. Kemmer, McGraw-Hill Book Company, 1988.

NEMEROW, N.L. and DASGUPTA, A. *Industrial and Hazardous Waste Treatment*, Van Nostrand Reinhold: New York, 1991, 743p.

NORDELL, E. *Water Treatment for Industrial and Other Uses*, Second Edition - Reinhold Publishing Corporation: New York, 1961, 598p.

OSMONICS. *Pure Water Handbook*, 2^o edition, Osmonics, Inc., 1997.

OSMONICS. *WINFLOWS[®] – Reverse Osmosis Performance Program* – Winflows Win 95 v 1.2.30, Osmonics Desal an PerLorica, Inc., 1999.

PACHECO, E.D.; DINIZ, H.E.; MIERZWA, J.C. e HESPANHOL I. *Redução no Consumo de Água na Indústria – Estudo de Caso da KODAK do Brasil*. IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas – “Em Busca de Soluções”. Foz do Iguaçu – Paraná, de 2 a 3 de setembro. 2001.

PAREKH, B.S. *Reverse Osmosis Technology Applications for High-Purity-Water Production*, Marcel Dekker, Inc., 1988. 526p.

PHIPPS, E. *Pollution Prevention – Concepts and Principles*, Introductory Pollution Prevention Materials – National Pollution Prevention Center for Higher Education, September, 1995.

RAMIRO, FERNANDES MAIA NETO. *Água para o Desenvolvimento Sustentável*, A Água em Revista, Revista Técnica e Informativa da CPRM – Ano V – Edição de Novembro, Número 9, 1997. p. 21-32.

REBHUN, M. e ENGEL, G. *Reuse of Wastewater for Industrial Cooling Systems*, Journal WPCF, Vol. 60, Nº 2, 1988. p. 237-241.

REBOUÇAS, A. C. *Dia Mundial da Água - Novas Idéias, Novos Conhecimentos, Novas Esperanças*, Revista Meio Ambiente Industrial - Editora Tocalino Ltda - Ano II - Edição 12, nº 11, março/abril de 1998. p. 84-88.

RMAI. *As Vantagens do Reúso e Reciclo de Águas*, Revista Meio Ambiente Industrial - Editora Tocalino Ltda - Ano III - Edição 16, nº 15 - novembro/dezembro de 1998. p. 81-85.

ROHM AND HAAS. *Amberlite Ion Exchange Resins Engineering Notes*, ROHM and HAAS Company.

ROHM and HAAS *Rohm and Haas Ion Exchange Resins and apparatus for water treatment - Summary chart of typical properties and applications*, Rohm and Haas Company, 1986.

ROHM and HAAS. *Rohm and Haas Ion Exchange Resins* - Home Page da Empresa. Disponível em <http://www.rohmhaas.com/ionexchange>. 2000.

SANKS, R.L. *Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer*, ANN ARBOR SCIENCE, 1982. 845p.

São Paulo – Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH. *Legislação Básica sobre Recursos Hídricos*, Governo do Estado de São Paulo, 29 de Fevereiro, 1992.

São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente – SMA a. *Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 3 – 14 de junho de 1992*, - Documentos Ambientais, Governo do Estado de São Paulo, 1997. 383 p.

São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – SMA b. *Gestão das Águas: 6 anos de Percursos*, Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, São Paulo. 1997.

São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente – SMA. *Aspectos Ambientais Urbanos dos Municípios do Estado de São Paulo*, Governo do Estado de São Paulo, Relatório de Pesquisa, abril de 1998.

SHREVE, R.N. e BRINK Jr, J.A. *Indústrias de Processos Químicos*, 4ª Edição, Editora Guanabara Dois, 1980. 717p.

SILVA, A.G. e SIMÕES, R.A.G. *Água na Indústria, Capítulo 10 de Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação*: Academia Brasileira de Ciências – Instituto de Estudos Avançados da USP, Escrituras Editora: São Paulo, 717 p.

SNOEYINK, V.L. *Adsorption of Organic Compounds*, Chapter 13, Water Quality and Treatment – A Handbook of Community Water Supplies, Fourth Edition, AWWA, McGRAW-HILL, Inc., 1990.

SPIRAX SARCO a. *Informativo Técnico Comercial - ULTRA-CROST*, Centro de Pesquisa, Spirax Sarco.

SPIRAX SARCO b. *Informativo Técnico Comercial - AQUA-CROST*, Centro de Pesquisa, Spirax Sarco.

SRH. *Minuta do Decreto que Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso*, de acordo com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997., Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/SRH/main.html>. 1999.

TCHOBANOGLIOUS, G. *Wastewater Treatment*, Chapter 20 – Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGRAW-HILL. 1996.

TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água*, MF – Navegar Editora. São Paulo. 250p.

VAN DER LEEDEN, F.; TROISE, F.L. and TODD, D.K. *The Water Encyclopedia*, Second Edition, Lewis Publishers, Inc., Michigan, USA, 1990, 808p.

WESTERHOFF, G.P.; CHOWDHURY, Z.K. *Water Treatment Systems*, Chapter 17, Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGRAW-HILL, 1996. p. 17.1 - 17.41.

WRI - World Resources Institute. *World Resources 1997-98*. Disponível em <http://www.wri.org/wri>. (1997).

WRI - World Resources Institute. *World Resources 1998-99*. Disponível em <http://www.wri.org/wri>. (1998).

YAO, K.M. *Design of High-Rate Settlers*, Journal of the Environmental Engineering Division - Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. Nº EE5, october 1973, p. 621-637.

Apêndice I – Listagem do programa para simulação da operação de lavagem de reatores e tanques.

```
CLS
LOCATE
9,12:PRINT"=====
"
LOCATE 10,12:PRINT"PROGRAMA PARA SIMULAÇÃO DE LAVAGENS DE REATORES E
TANQUES"
LOCATE 12,17:PRINT"DESENVOLVIDO POR: JOSÉ CARLOS MIERZWA - USP"
LOCATE
13,12:PRINT"=====
="
LOCATE 19,28:PRINT"SÇO PAULO - 2002 - V1.01"
DELAY 2

      INICIO:

CLS
T0=0:DTD0=0.0005:JS=0:JN=0:X=0:Z=0:T=0:PRN1=0:DT=0:CONT=0:TPRNT=0
TETA=0:C1=0:QLAV=0:CH2O=0:V2=0:CF=0:CR=0:TCONT=0:TD=0:TC1=0
DC1DT=0:DV2DT=0:DCFDT=0:CHPR=0:CD=0:VDESVIO=0:CCDESVIO=0
DIM A$(1):A$=" ":DIM Q$(1):Q$=" "
LOCATE 5,5:INPUT "TEMPO DE DETENÇÃO NO REATOR (MINUTOS) = ",TETA
LOCATE 6,5:INPUT "CONCENTRAÇÃO INICIAL DO CONTAMINANTE NO REATOR
(mg/L) = ",CR
LOCATE 7,5:INPUT "VAZÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM (L/MINUTOS) = ",QLAV
LOCATE 8,5:INPUT "CONCENTRAÇÃO DO CONTAMINANTE NA ÁGUA DE LAVAGEM
(mg/L) = ",CH2O
LOCATE 9,5:INPUT "TEMPO DE LAVAGEM (MINUTOS) = ",PRN1
LOCATE 10,5:PRINT "COMO DEVERÁ SER FEITO O CONTROLE DO DESVIO DO
EFLUENTE"

      PERGUNTA:
LOCATE 12,7:PRINT"(1) - TEMPO DE LAVAGEM          (2) - CONCENTRAÇÃO DO
CONTAMINANTE"
A$=INPUT$(1)
IF A$="1" THEN LOCATE 14,5:INPUT "APÓS QUANTOS MINUTOS VOCÊ DESEJA
DESVIAR O EFLUENTE = ";
```

```

TD:CD=0:GOTO CALCULA
IF A$ <> "2" THEN A$=" ":BEEP:GOTO PERGUNTA
LOCATE 14,5:INPUT "CONCENTRAÇÃO DO CONTAMINANTE PARA DESVIO =
",CD:TD=0

      CALCULA:

PRINT
CF=CR:C1=CR:TCONT=PRN1
IF (A$="1" AND TD=0) THEN GOTO CALCULA1
IF (A$="1" AND TD>=TCONT) THEN GOTO CALCULA2
IF (A$="2" AND CD>=CR) THEN GOTO CALCULA1
IF (A$="2" AND CD<=CH2O) THEN GOTO CALCULA2
1 DC1DT=-(1/TETA)*(C1-CH2O)
DV2DT=QLAV
IF V2<> 0 THEN DCFDT=(QLAV/V2)*(C1-CF)
      CALL PRNTE(0.5,PRN1,JS,DT,T0,C1,V2,CF)
      CALL INTI (T0,DTD0)
T0 = T
      CALL INTEGRA (C1,DC1DT,DT,JS,JN)
C1 = X:X=0
      CALL INTEGRA (V2,DV2DT,DT,JS,JN)
V2 = X:X=0
      CALL INTEGRA (CF,DCFDT,DT,JS,JN)
CF = X:X=0
IF      (A$="1"      AND      T0>TD      AND      CHPR<>2)      THEN
PRN1=T:TC1=T:VDESVIO=V2:CCDESVIO=CF
IF      (A$="2"      AND      CD>=C1      AND      CHPR<>2)      THEN
PRN1=T:TC1=T:VDESVIO=V2:CCDESVIO=CF
IF ((A$="1" OR A$="2") AND C1<(CH2O/0.98) AND CHPR<>2) THEN PRN1=T
IF CHPR <> 2 THEN GOTO 1
IF PRN1>=TCONT THEN GOTO 3
IF ((A$="1" OR A$="2") AND C1<(CH2O/0.98)) THEN PRINT:PRINT"LAVAGEM
ENCERRADA ANTES";
DO TEMPO PREVISTO PARA O DESVIO DO EFLUENTE":PRINT:GOTO 3
T0=TC1:PRN1=TCONT:CF=C1:V2=0:JS=0:JN=0:CHPR=0
DV2DT=0:DC1DT=0:DCFDT=0:X=0

```



```

      CALCULA1:

PRINT
PRINT"*** DESVIO DO EFLUENTE DA LAVAGEM PARA O TANQUE DE REÚSO ***"
PRINT

      CALCULA2:

2  DC1DT=- (1/TETA) * (C1-CH2O)
DV2DT=QLAV
IF V2 <> 0 THEN DCFDT=(QLAV/V2) * (C1-CF)
      CALL PRNTF(0.5,PRN1,JS,DT,T0,C1,V2,CF)
      CALL INTI (T0,DTD0)
T0 = T
      CALL INTEGRA (C1,DC1DT,DT,JS,JN)
C1 = X:X=0
      CALL INTEGRA (V2,DV2DT,DT,JS,JN)
V2 = X:X=0
      CALL INTEGRA (CF,DCFDT,DT,JS,JN)
CF = X:X=0
IF ((A$="1" OR A$="2") AND C1<(CH2O/0.98) AND CHPR<>2) THEN PRN1=T
IF CHPR <> 2 THEN GOTO 2
IF PRN1 < TCONT THEN PRINT "LAVAGEM ENCERRADA ANTES DO TEMPO
PREVISTO":PRINT
3 PRINT
IF      (A$="1"      AND      (TD>=TCONT      OR      TD>=PRN1))      THEN
VDESVIO=V2:CCDESVIO=CF:V2=0:CF=0
IF (A$="2" AND CD<CH2O) THEN VDESVIO=V2:CCDESVIO=CF:V2=0:CF=0
PRINT USING"VOLUME DESVIADO PARA O TANQUE DE REÚSO = #####
Litros";V2
PRINT USING"CONCETRAÇÃO DO CONTAMINANTE NO TANQUE DE REÚSO =
#####.## mg/L";CF
PRINT USING"VOLUME DE EFLUENTE ENCAMINHADO PARA TRATAMENTO = #####
Litros";VDESVIO
PRINT USING"CONCENTRAÇÃO MÉDIA DO CONTAMINANTE NO EFLUENTE =
#####.## mg/L";CCDESVIO
PRINT USING"VOLUME TOTAL DE ÁGUA UTILIZADO NA LAVAGEM = #####
Litros";(V2+VDESVIO)

```

```

PRINT USING"VAZÇO DE LAVAGEM = ##### L/Minutos";QLAV
PRINT USING"CONCENTRAÇÃO INICIAL DO CONTAMINANTE = #####.## mg/L";CR
PRINT USING"TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO HIPOTÉTICO = #####.##
Minutos";TETA
PRINT
PRINT

```

CONTINUA:

```

LOCATE 24,5:PRINT "OUTRA SIMULAÇÃO - SIM (1) E NAO (2)"
Q$=INPUT$(1)
IF Q$="1" THEN GOTO INICIO
IF Q$<>"2" THEN BEEP:Q$=" ":LOCATE 24,5:PRINT SPACE$(40):GOTO
CONTINUA
CLS
LOCATE 12,23:PRINT "***** PROGRAMA FINALIZADO *****"
END

```

SUBROTINAS:

```

SUB PRNTF(PRI,PRN,JS,DT,T,C1,V2,CF)
  SHARED CHPR, TPRNT
  IF JS=0 THEN GOTO 400
  IF T>= (TPRNT-DT/2) AND (JS=2 OR JS=4) THEN GOTO 500
  IF T>= (PRN-DT/2) AND (JS=2 OR JS=4) THEN GOTO 600
  EXIT SUB
  400 CHPR=1
  500 TPRNT = TPRNT+PRI
  PRINT USING"T = ###.## Min | ";T;USING" CR = #####.## | ";C1;
  PRINT USING" VOLUME = ##### Litros | ";V2;USING" CF = #####.## | ";CF
  EXIT SUB
  600 PRINT USING"T = ###.## Min | ";T;USING" CR = #####.## | ";C1;
  PRINT USING" VOLUME = ##### Litros | ";V2;USING" CF = #####.## | ";CF
  TPRNT=TPRNT-PRI:CHPR=2:T=0
  FOR J=1 TO JN
    XA(J)=0
  NEXT J
END SUB

```

```

        SUB INTI (TD,DTD)
    SHARED T,JS,DT,JN
    JS=JS+1
    JN=0
    10 ON JS GOTO 20,30,40,30,50
    20 DT=DTD/2
    TD=TD+DT
    T=TD
    30 EXIT SUB
    40 TD=TD+DT
    DT=2*DT
    T=TD
    EXIT SUB
    50 JS=1
    GOTO 10
END SUB

```

```

        SUB INTEGRA (Z,DX,DT,JS,JN)
    DIM STATIC XA(1000),DXA(1000)
    SHARED X
    JN=JN+1
    ON JS GOTO 4,5,5,6
    4 XA(JN)=Z
    DXA(JN)=DX
    X=Z+DX*DT
    EXIT SUB
    5 DXA(JN)=DXA(JN)+2*DX
      X=XA(JN)+DX*DT
    EXIT SUB
    6 DXA(JN)=(DXA(JN)+DX)/6
    X=XA(JN)+DXA(JN)*DT
END SUB□

```

Apêndice II – Resultados do programa de cálculo da unidade de osmose reversa

OSMONICS DESAL

Winflows32 v 1.2.30 with Input Data Summary 27-jul-2002 12:00

Project: Otimização Kodak

Project File: Kodak1.osm Engineer: Mierzwa

Analysis File: Analysis Name: User Defined

Element File Date: mai-28-1999

Page: 1

Project Information

Description: Otimização Kodak

Client Name: Kodak

Location: S. J. Campos

Engineer: Mierzwa

Comments:

Flowsheet Configuration

Flowsheet Type: Single Pass Flowsheet

Feed Predosing? No

Feed Afterdosing? No

Product Dosing? No

Feed CO2 Stripping? No

Product CO2 Stripping? No

Raw Feed Bypass? No

First Pass Recycle? No

Feed Information

Temperature, Deg C: 25,0

Feed pH: 6,7

Silt Density Index: 3,0

Fouling Allowance: 0,90

Feed Stream Composition (mg/l)

Calcium	6,30
Sodium	11,79
Chloride	6,00
Bicarbonate	39,80
Nitrate	0,31

Carbonate 0,01
Carbon Dioxide 12,10

Flow Rate Specifications

Product Flow: 4,8 m3/hr

Array Recovery: 60,0%

- - - - - Page Break - - - - -
OSMONICS DESAL

Winflows32 v 1.2.30 with Input Data Summary 27-jul-2002 12:00
Project: Otimização Kodak
Project File Kodak1.osm Engineer: Mierzwa
Analysis File: Analysis Name: User Defined
Element File Date: mai-28-1999 Page: 2

Array Data

Interbank Pressure Loss: 0,00 Bar

Interbank Pressure Boost:0,00 Bar

Bank	Housings	Elements	Element Type	Element Age
1	1	4	AG8040F	0,00 Years
2	1	4	AG8040F	0,00 Years

Pump Specifications

Feed Pump Selection

- - - - - Page Break - - - - -
OSMONICS DESAL

Winflows32 v 1.2.30 with Results Summary 27-jul-2002 12:00
Project: Otimização Kodak
Project File Kodak1.osm Engineer: Mierzwa
Analysis File: Analysis Name: User Defined
Element File Date: mai-28-1999 Page: 3

Flow Data	m3/hr	Analytical Data	mg/L
RO/NF Feed	8,0	RO/NF Feed TDS	64,2
Treated Permeate	4,8	Treated Permeate TDS	1,3
System Conc	3,2	System Conc TDS	159,0

System Data Single Pass Design

Temperature: 25,0 Deg C

Overall Recovery: 60,0%

Array Data

Pass/Stage Recovery: 60,0% Concentrate TDS: 159 Conc. Flow: 3,2

Total Bank	Total Housings	Element Elem Type	Feed Flow m3/hr	Perm Flow m3/hr	Feed Bar	Delta Bar	Perm TDS mg/L
1	1	4 AG8040F	8,0	2,5	6,5	0,6	1,0
2	1	4 AG8040F	5,5	2,3	5,9	0,3	1,6
Total	2	8	8,0	4,8			1,3

Analytical Data (mg/L)

	Perm	Feed	Conc		Perm	Feed	Conc
Ca	0,0	6,3	15,7	HCO3	0,8	39,8	98,4
Mg	0,0	0,0	0,0	CO3	0,0	0,0	0,1
Na	0,3	11,8	29,1	Cl	0,1	6,0	14,9
K	0,0	0,0	0,0	SO4	0,0	0,0	0,0
Ba	0,0	0,0	0,0	F	0,0	0,0	0,0
Sr	0,0	0,0	0,0	NO3	0,0	0,3	0,8
NH4	0,0	0,0	0,0	PO4	0,0	0,0	0,0
Fe	0,0	0,0	0,0	SiO2	0,0	0,0	0,0
Mn	0,0	0,0	0,0	CO2	12,1	12,1	12,1
TDS	1,3	64,2	159,0	pH	5,1	6,7	7,1

Saturation Data

CaSO4	0,0%	0,0%	0,0%	BaSO4	0,0%	0,0%	0,0
CaF2	0,0%	0,0%	0,0%	SiO2	0,0%	0,0%	0,0
LSI	-8,0	-2,2	-1,1	SrSO4	0,0%	0,0%	0,0

DISCLAIMER: This design does not represent a guarantee of performance & is provided solely as a service. The data contained herein should be used consistent with good engineering judgement. For tech assistance call Osmonics/Desal at 1.800.423.3725.

Winflows32 v 1.2.30 with Process Data Sheet 27-jul-2002 12:00
Project: Otimização Kodak
Project File Kodak1.osm Engineer:Mierzwa
Analysis File: Analysis Name:User Defined
Element File Date: mai-28-1999 Page: 4

Flow Data	m3/hr	Analytical Data	mg/L
RO/NF Feed	8,0	RO/NF Feed TDS	64,2
Treated Permeate	4,8	Treated Permeate TDS	1,3
System Conc	3,2	System Conc TDS	159,0

System Data Single Pass Design
Temperature: 25,0 Deg C
Fouling Allowance: 90,0 Percent
Feed Pressure: 6,5 Bar
Interbank Boost: 0,00 Bar
Interbank Loss: 0,00 Bar
Element Age: 0,00 Years

Pumping Summary	m3/hr	DP, Bar	kW @ 65,0% Efficiency
Feed	8,0	6,53	2,2
Interbank Boost	-----	0,00	0,0

Winflows32 v 1.2.30 with Errors and Warnings 27-jul-2002 12:00
Project: Otimização Kodak
Project File Kodak1.osm Engineer: Mierzwa
Analysis File: Analysis Name: User Defined
Element File Date: mai-28-1999 Page: 5

Warning! - The feed water analysis was balanced with added Na or Cl.
- - - - - Page Break - - - - -