



**Ministério da Educação**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002.

**Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia**

**CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM REFINARIA DE  
PETRÓLEO: O CASO DA REVAP**

**CARLOS ALBERTO VANELLI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia da Energia.

**Orientador: Roberto Alves de Almeida, D.Sc.**

*Itajubá, Dezembro de 2004*

“Dedico este trabalho a Deus que tudo me proporciona com seu infindável amor, a meu pai Douglas (in memoriam), a minha mãe Salete, minhas irmãs Cláudia e Isabel, a minha esposa Rosângela pelo carinho, paciência e incentivo constante pra que este objetivo fosse alcançado”.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo seu inestimável cuidado e propósito para o qual me criou.

Aos Professores, que contribuíram muito para meu crescimento profissional, dentre eles em especial ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida, pela pronta ajuda no desenvolvimento, com suas experiências, sugestões, incentivos e confiança depositada.

Aos funcionários, amigos e colegas da UNIFEI e das disciplinas do mestrado Engenharia da Energia pelo apoio, carinho e tempo de estudos compartilhados.

Aos familiares que sempre estiveram por perto, apoiando e que sem dúvida alguma me ampararam para crescer, em especial a minha esposa, pelas suas orações e paciência.

A UNIFEI, pela oportunidade.

Meus humildes e sinceros Agradecimentos

# ÍNDICE

RESUMO

ABSTRACT

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 – O parque de refino no Brasil	1
1.2 – Objetivo	2
1.3 – Motivação	2
1.4 – Organização da dissertação	3
1.5 – Levantamento de dados	5
1.6 - Dados secundários	6

## CAPÍTULO II – Incentivo para a racionalização de água

2.1 – Legislação referente ao recurso hídrico	7
2.2 – Escassez de água x Grandes Consumos	9
2.3 – Usos Concorrentes	11

## CAPÍTULO III – O consumo e o tratamento de água numa refinaria de petróleo

3.1 – A captação de água	13
3.2 – O tratamento de água	14
3.3. – Utilização de água em uma refinaria de petróleo	16
3.3.1– Água para combate de incêndios	17
3.3.2– Água para resfriamento de produtos e máquinas	18
3.3.3 – Água para uso industrial	25

3.3.5 – Água potável	25
3.3.5 – Água para geração de vapor	25

#### CAPÍTULO IV – A geração de efluentes numa refinaria de petróleo

4.1 – Principais contaminantes de efluentes	28
4.2 – Principais fontes de efluentes	31
4.2.1 – Purgas de torres de resfriamento	33
4.2.2 – Perdas de condensado	34
4.2.3 – Água retificada	34
4.2.4 – Água da dessalgação de petróleo	34
4.2.5 – Purgas de caldeiras	35
4.2.6 – Precipitações pluviométricas	35

#### CAPÍTULO V – O balanço de água na REVAP

5.1 – Plano de reutilização de efluentes	36
5.2 – O consumo atual de água na REVAP	38
5.3 – A geração de efluentes na REVAP	42
5.4 – O consumo futuro de água e geração de efluentes na REVAP	54
5.5 – Investimentos necessários para a ETA	55
5.6 – Investimentos necessários para a ETDI	57

#### CAPÍTULO VI – Potencial de racionalização do uso de água na REVAP

6.1 – Redução do desperdício de água	62
6.1.1 – O consumo de água de combate a incêndios	62

6.1.2 – O consumo de água potável	66
6.1.3 – Sistema de retorno de condensado do processo	69
6.2 – Rotas para a redução no consumo de água	72
6.3 – Redução da evaporação em torres de ar	73
6.3.1 – Fluxo paralelo	74
6.3.2 – Fluxo em série	75
6.3.3 – Fluxo em série úmido-sêco	75
6.3.4 – Configuração selecionada	76
6.4 – Otimização dos ciclos de concentração	78
6.5 – Osmose reversa	86
6.5.1 – Resina de troca iônica	95
6.5.2 – Tratamento com soda-cal	97
6.6 – Regeneração evaporativa de purgas das torres	98
6.7 – A reutilização de água retificada	100
6.8 – A segregação e o reaproveitamento da água de chuva	108
6.9 – Reutilização direta de efluente da ETDI	113
CAPÍTULO VII – Análise econômica das rotas apresentadas	
7.1 – Balanço atual e futuro de água e efluentes	117
7.2 – Análise econômica das propostas	121
CAPÍTULO VIII – Recomendações	
CAPÍTULO XIX – Conclusões	
Referências Bibliográficas	135

## ÍNDICE DE TABELAS

2.1 – Disponibilidade de água por habitante/região	9
2.2 – Distribuição dos recursos hídricos, da superfície e da população (em % do total do país)	10
3.1 - Utilização de água e respectivos tratamentos	17
3.2 – Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento	24
3.3 - Padrão de qualidade recomendado para água de geração de vapor	27
4.1 - Fontes de contaminantes em refinarias de petróleo	28
4.2 – Efeitos indesejáveis de contaminantes	29
4.3 – Distribuição de contaminantes por produtos	30
4.4 – Processos para remoção de contaminantes	31
4.5 - Geração média de efluentes numa refinaria	32
5.1 - Consumo projetado da REVAP	38
5.2 - Simbologia adotada nos balanços de água	39
5.3 - Perfil do consumo atual de água na REVAP	40
5.4 - Dados de projeto da ETDI da REVAP	42
5.5 - Dados de projeto da ETDI da REVAP	43
5.6 - Simbologia adotada para identificar os consumidores de água	44
5.7 - Relação entre o consumo de água e geração de efluentes na REVAP	51
5.8 - Geração de efluentes na REVAP	52
5.9 - Vazões médias de operação da ETA – jan a jun/99	53
5.10 - Impacto do PDR no consumo de água da REVAP	55
5.11 - Capacidade atual e futura da ETA	55

5.12 - Alternativas para o aumento de capacidade de desmineralização de água	56
5.13 - Vazões médias de efluentes para ETDI	57
5.14 - Áreas expostas as chuvas, geradoras de efluentes para a ETDI	59
5.15 – Simulação da operação das bacias pulmão – resultados	60
6.1 – Estimativa de consumo de AF para a lavagem de pisos	63
6.2 – Alternativas para o consumo de AF	64
6.3 – Estimativa de custos para a reutilização do efluente da ETDI	66
6.4 – Carga Térmica removida pelo sistema de condicionamento de ar	68
6.5 – Custo estimado para o retorno de condensado-equipamentos	71
6.6 – Custo estimado para o retorno de condensado-instrumentos	71
6.7 - Custo estimado para o retorno de condensado-tubulações	71
6.8 – Rotas para a redução do consumo de água	72
6.9 – TR-51501 – condição de projeto	77
6.10 – Resfriamento seco – investimentos requeridos	78
6.11 – limites teóricos de contaminantes numa torre de resfriamento	79
6.12 – Comparação dos limites teóricos com ao praticados pela REVAP	82
6.13 – Teores médios de contaminantes na água de reposição da REVAP	84
6.14 – Reposição das purgas nas torres de resfriamento da REVAP	84
6.15 – Purgas das torres – concentração calculada para 10 ciclos (mg/l)	85
6.16 – Pressão osmótica de sais orgânicos	88
6.17 – Eficiência da osmose reversa – cátions	90
6.18 – Eficiência da osmose reversa – ânions	91
6.19 - Resultado do tratamento da purga da torre com osmose reversa	92
6.20 – Estimativa de performance de osmose reversa para o tratamento de purgas das torres da REVAP – condições atuais	93

6.21 - Estimativa de performance de osmose reversa para o tratamento de purgas das torres da REVAP – com 10 ciclos de concentração	93
6.22 – Comparação dos permeados da osmose reversa para os dois casos	94
6.23 – Custos operacionais da osmose reversa	95
6.24 – Comparação entre resinas de troca iônica e osmose reversa	96
6.26 – Efeitos da reutilização do efluente com NH <sub>3</sub> na reposição de torres de resfriamento	102
6.27 – Condutividade média do efluente da 3ª lavagem do leito de resina iônica	104
6.28 – Ciclos de lavagem dos vasos iônicos	105
6.29 – Geração de efluentes na segregação de leitos de resina iônica da REVAP	106
6.30 – Custos estimados para o reaproveitamento da água de lavagem	107
6.31 – Levantamento das precipitações pluviométricas	109
6.32 – Áreas contaminadas expostas as intempéries	112
6.33 – Resumo do estudo de caso	115
7.11 – Proposta para a redução no consumo de água e geração de efluentes	117
7.2 – Capacidade requerida para a ETA no futuro	120
7.3 – Taxa média de geração de efluentes da REVAP	121
7.4 – Concentrações médias do efluente da ETDI da REVAP	122
7.5 – Tarifas estimadas para o consumo de água e geração de efluentes atual	123
7.6 – Tarifas estimadas para a condição futura (racionalização) de consumo de água e geração de futuro	123
7.7 – Tarifas máximas em US\$/mês para a situação atual e futura	123
7.8 -Tarifas mínimas em US\$/mês para a situação atual e futura	124
7.9 – Redução no custo operacional da ETDI e da ETA	124
7.10 – Benefícios da racionalização do consumo de água e geração de efluentes	125

7.11 – Investimento requerido para a racionalização	125
8.1 – Processos para a remoção de amônia dos efluente	130
8.2 - Processos para a remoção de cianeto dos efluentes	130
8.3 - Processos para a remoção de fenóis dos efluentes	130
8.4 - Processos para a remoção de sulfetos dos efluente	131
8.5 - Processos para a remoção de hidrocarbonetos dos efluentes	131
8.6 - Processos para a remoção de hidrocarbonetos voláteis dos efluentes	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.1 – Sistema aberto sem recirculação	18
3.2 - Sistema aberto com recirculação	19
3.3 – Sistema fechado	20
3.4 – Torre de resfriamento de tiragem natural	20
3.5 – Torre de tiragem mecânica forçada	21
3.6 – Torre com tiragem mecânica induzida em corrente cruzada	22
5.1 – Comparação do consumo atual x projeto REVAP x médias USA	40
5.2 – Balanço de água na unidade de destilação a vácuo	45
5.3 – Balanço de água nas unidades de Hidrotratamento e geração de hidrogênio	46
5.4 – Balanço de água na unidade de craqueamento catalítico fluído	47
5.5 – Balanço de água na unidade de desasfaltação a propano	48
5.6 – Balanço de água da central termelétrica	49
5.7 – Balanço de água na área de transferência e estocagem de produtos e matérias Primas (Fonte REVAP)	50
5.8 – Balanço global de água na REVAP	51
6.1 – “Sump” para reutilização do efluente final da ETDI	65
6.2 – Torre com resfriador a ar em paralelo	74
6.3 – Torre com tubos aletados em séries	75
6.4 - Torre com tubos aletados internos em séries/paralelo	76
6.5 – Torre com resfriador a ar em série	77
6.6 – O espectro da filtração	87
6.7 – O processo de osmose	88

6.8 – Processo de tratamento soda-cal	98
6.9 – Processo de termocompressão de vapor	99
6.10 – Unidade de retificação de águas ácidas	100
6.11 – Teor de amônia na água retificada, em ppm	102
6.12 – Redução da condutividade do efluente da lavagem de resinas de troca iônica	104
6.13 – Modificações para reaproveitar o efluente das segregações	107
6.14 – Configuração atual dos canais de drenagem das tubovias e ruas	110
6.15 – Configuração proposta para os canais de drenagem de ruas e tubovias	110
6.16 – Croqui atual do sistema de drenagem de bacias de contenção de tanques	111
6.17 – Croqui proposto para a segregação de água de chuvas	111
6.18 - Caso base – balanço atual de água	114
6.19 – Caso A – considerando a reutilização de efluentes da ETDI	114
6.20 – Caso B – considerando um trabalho de racionalização e segregação na fonte	115
7.1 – Balanço atual de consumo de água e geração de efluentes	118
7.2 - Balanço futuro de consumo de água e geração de efluentes	119

## RESUMO

Objetivo desta dissertação é avaliar rotas técnicas e economicamente viáveis, que permitam a racionalização do consumo de água e a redução da geração de efluentes em refinarias de petróleo. Esta racionalização inclui o reuso dos efluentes líquidos, garantindo assim, maior flexibilidade na estação de tratamento de efluentes industriais.

Atualmente, as indústrias têm se deparado com um cenário de expansão no consumo de água, o que a longo prazo poderá comprometer suas atividades produtivas. O crescimento no consumo de água nas refinarias não têm sido acompanhado pelo aumento da eficácia dos processos, requerendo pesados investimentos em tratamento de água e efluentes. Também, mesmo com a constante vigília dos órgãos ambientais ocorre uma crescente degradação dos corpos receptores que tem sido motivo para aumento de investimentos, encarecendo o tratamento de água nas refinarias de petróleo.

Nesta dissertação foram apresentadas manifestações sobre o problema da falta do recurso natural água para as necessidades das futuras gerações. Os mais recentes alertas foram dados pelo relatório GEO-2000, programa das Nações Unidas para o meio ambiente onde é citado que a falta de água e o aquecimento global serão as questões mais preocupantes para o próximo século. Da mesma forma, o crescimento da população e a respectiva necessidade de consumo de água, faz com que todos os segmentos da sociedade busquem práticas mais eficientes para a utilização da mesma.

No decorrer do trabalho constatamos que no segmento industrial, através de práticas simples, é possível reduzir de forma significativa o uso da água e a conseqüente geração de efluentes.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this work is to present economical and technical analysis, which are viable to the reasonable use of water and a reduction of sewage in oil refineries. This improvement includes the reuse of effluents in order to assure more flexibility in industrial sewage treatment plants.

Nowadays, industries are coming across a scenery of expansion in water consumption, what in the long run can endanger the productive activities. Growth of water consumption in oil refineries is higher than the improvement in production requiring massive investment in water and sewage treatment. On the other side the environmental agencies through a restrictive legislation are reinforcing laws to prevent larger degradation.

On this work we are very concerned about the lack of natural resources, mainly water for future generations. The most recent warnings were presented in the GEO-2000 report, which has its focus in lack of water and global warming. These two subjects will be most important matters to be discussed in the next century. Due to the population growth and its respective need of water, society as a whole must find best practices in water consumption.

During the work we realized that industries through simple practices can reduce significantly the use of water and consequent effluent generation.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 PARQUE DE REFINO DE PETRÓLEO NO BRASIL

O parque de refino no Brasil se compõe de 13 refinarias, sendo 2 privadas (Manguinhos e Ipiranga) e as outras pertencentes à Petrobras. Estas refinarias encontram-se instaladas em bacias estressadas, como a do Rio Paraíba do Sul, Rio Guandu; Rio Cubatão; etc. e mesmo a REMAN, localizada junto ao Rio Solimões encontra-se com problema de abastecimento face aos elevados custos de tratamento. Com a promulgação da Lei 9.433, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, que, dentre outras coisas, define a prioridade de uso para fins potáveis, nos quais não está inserido o uso industrial, estas refinarias passaram a ter que aprimorar o gerenciamento da água na planta industrial, desenvolvendo programas de racionalização do uso de água, segundo (Cetesb, 1991).

O Brasil processou, em 2002, cerca de 729.295.316 toneladas de petróleo (MME, 2002). Considerando que para cada tonelada de petróleo processado são requeridas 10 toneladas de água (Almeida,2003),então em 2002, foram consumidas cerca de 7.292.953.160 m<sup>3</sup> de água. Se considerar, ainda, que 45% da água captada é convertida em efluente enviado para a ETDI, então naquele ano foram produzidas, nas refinarias nacionais, cerca de 3.281.828.922 m<sup>3</sup> da efluente. Desta forma o impacto da atividade de refino no Brasil sobre os corpos hídricos do qual se servem se dá em dois momentos: na captação e no lançamento dos efluentes.

Os programas de racionalização do uso de água que vêm sendo implantados nas refinarias brasileiras buscam identificar os pontos de grande consumo de água e selecionar as tecnologias mais hidricamente eficientes e utilizar direta ou indiretamente efluentes para usos menos nobres, como água de reposição do sistema de resfriamento, por (Holiday, 1982).

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo desta dissertação é avaliar rotas técnicas e economicamente viáveis, que permitam a racionalização do consumo de água e a redução da geração de efluentes em refinarias de petróleo. Esta racionalização inclui o reaproveitamento dos efluentes líquidos, garantindo assim, maior flexibilidade na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETDI), segundo (Techint, 1976).

## **1.3 MOTIVAÇÃO**

Atualmente, as indústrias em geral têm se deparado com um cenário de expansão no consumo de água, o que a longo prazo poderá comprometer sua atividade produtiva. O crescimento no consumo de água nas refinarias não tem sido acompanhado pelo aumento da eficiência dos processos, requerendo pesados investimentos em tratamento de água e efluentes. Mesmo com a constante vigília dos órgãos ambientais ocorre uma crescente degradação dos corpos receptores, acarretando assim motivo para aumento dos investimentos, encarecendo o tratamento de água nas refinarias de petróleo.(Petrobras, 1996)

Segundo dados FIESP e CESP (2004) tornou-se necessário adotar medidas mais efetivas para preservar os corpos d'água, dentre as quais destacam-se investimentos em sistemas de tratamento de efluentes mais eficazes e a adoção de programas de reúso de água. No campo legal, medidas foram adotadas como a organização de comitês de bacia hidrográfica, a implantação da outorga de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo direito de uso da água, quer seja pela captação ou pelo despejo de efluentes. É uma tendência incorporar no valor da água parâmetros qualitativos dos efluentes, além dos volumes lançados. Desta forma, pretende-se que os usuários adotem medidas de conservação que reduzam os volumes captados e lançados nos corpos d'água dos quais se servem.

Portanto, face ao cenário de estresse hídrico dos rios que abastecem as refinarias brasileiras, além dos usos prioritários e da cobrança pelo direito de uso, pode ocorrer algumas situações indesejáveis para as indústrias, caso algumas medidas não sejam tomadas, dentre as quais destaca-se a redução do nível da

atividade produtiva; a impossibilidade de expansão da planta industrial e a necessidade de realocação da unidade industrial em bacias com grande oferta hídrica. (Ceivap, 1999).

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

##### Capítulo I - Introdução

A utilização da água na indústria de refino de petróleo é preocupante, pois as bacias estão estressadas causando problemas no abastecimento, face ao elevado custo de tratamento às indústrias passam a aprimorar o gerenciamento da água na planta industrial, desenvolvendo programas de racionalização.

##### Capítulo II – Incentivos para a racionalização de água

Motivação para a racionalização da água, pois com o uso predatório de muitos recursos naturais, os tornaram escassos e a eles foi atribuído valor econômico. Há pouco tempo no Brasil a água era um desses recursos infinitos, mas com a degradação qualitativa dos corpos d'água e o aumento da demanda foi necessário instituir mecanismos de gestão estabelecida na Política Nacional de Recursos Hídricos

##### Capítulo III – O consumo e o tratamento de água em uma refinaria de petróleo

Formas de tratamento da água e suas utilizações. As refinarias de petróleo dispõem de um complexo sistema de captação, tratamento, armazenamento, transporte de água e de tratamento e transporte de efluentes. Em relação aos demais usuários de recursos hídricos, as refinarias apresentam a maior diversidade de tipos de água, utilizando água bruta, água industrial, água potável e água desmineralizada. Analogamente, o sistema hídrico das refinarias é muito complexo e, geralmente de grande porte.

Dentre os principais sistemas consumidores de água em uma refinaria de petróleo destaca-se o sistema de resfriamento, com suas torres de resfriamento, tanques de armazenamento, motobombas, sistemas de controle e automação e o sistema de combate a incêndio (que tem uso periódico de simulações semanais), que incorpora reservatórios, redes de distribuição de água e hidrantes. Para a

obtenção dos diferentes tipos de água utilizados em uma refinaria de petróleo, à água bruta captada deve passar por um processo de tratamento físico-químico, que compreende desde a simples filtração até a sua desmineralização.

#### Capítulo IV – A geração de efluente em uma refinaria de petróleo

Geração de efluentes e estudos para sua reutilização. O efluente de uma refinaria de petróleo é composto por uma mistura complexa de águas contaminadas com óleo, hidrocarbonetos aromáticos, amônia, fenóis, sulfetos, cianetos e metais pesados, além de sais e outros sólidos dissolvidos.

O principal problema nos efluentes das refinarias de petróleo é a grande variabilidade que estes efluentes apresentam na sua vazão, concentração de contaminantes, toxicidade, pH e salinidade.

#### Capítulo V - O balanço de água na REVAP

Parâmetros de captação e consumo de água e seus efluentes. O corpo hídrico utilizado para captação e lançamento dos efluentes pela REVAP é o rio Paraíba do Sul, que é classificado como um rio classe II no trecho do vale do Paraíba. Portanto, a ETDI da refinaria foi dimensionada para tratar uma vazão máxima de 705 m<sup>3</sup>/h de efluente industrial de forma a compatibiliza-lo com a classe deste rio.

A ETDI apresenta flexibilidade suficiente para absorver variações na sua carga sem comprometer a qualidade final do efluente a ser descartado, porém a refinaria está prevendo futuras ampliações em seu parque de refino, o que aumentará o consumo de água e a geração de efluentes líquidos. É necessário, portanto, reavaliar o impacto destas modificações na capacidade e desempenho da ETDI, bem como outros fatores que possam afetar a qualidade do efluente final.

#### Capítulo VI – Potencial de racionalização do uso de água na REVAP

Redução do desperdício de água. No balanço de águas efetuado, verificou-se que os principais consumidores de água na refinaria correspondem à reposição de água de resfriamento e água para geração de vapor; por outro lado, constatou-se um consumo expressivo de água para combate a incêndio e água potável. Em qualquer trabalho de redução de consumo de água, deve-se inicialmente, reduzir os

pontos de consumo, ou aqueles que apresentam um consumo acima do esperado. Deste modo, avaliou-se inicialmente o consumo de água para o combate a incêndios, potável e sistema de retorno de condensado da REVAP, que são os sistemas onde o balanço de águas identificou um consumo acima do esperado.

#### Capítulo VII – Análise econômica das rotas apresentadas

Balanço atual e futuro de água e efluentes. A implantação das propostas de racionalização e reutilização de efluentes apresentadas nesta dissertação poderá reduzir significativamente o consumo de água e a geração de efluentes.

#### Capítulo VIII – Conclusões

O projeto visa a racionalização e a reutilização direta de efluentes. Os efluentes de refinarias de petróleo apresentam inúmeros contaminantes que, em uma análise preliminar, não impediriam o seu reaproveitamento em outros serviços. Contudo é necessário analisar com muito critério o efeito destes contaminantes no novo uso. Uma escolha equivocada pode levar a um acréscimo nos custos operacionais, tornando-se maior que os benefícios obtidos pelo reaproveitamento.

#### Capítulo IX – Recomendações Técnicas

Estudar a falta do recurso natural água e nos preocupar com o abastecimento das futuras gerações. A implantação de alguns projetos de racionalização do uso da água e da geração de efluentes e a melhoria das práticas operacionais possibilitará a expansão do parque industrial sem investimentos adicionais em ampliações das estações de tratamento de água e efluentes.

#### Capítulo X – Desdobramentos Futuros

Visa dar continuidade nos estudos de racionalização do uso de água dentro da indústria de petróleo.

## **1.5 LEVANTAMENTO DE DADOS**

- Levantamento dos principais processos envolvidos no refino de petróleo, bem como os principais contaminantes presentes;
- Levantamento dos principais consumidores de água em refinarias e destino da mesma;
- Levantamento de valores médios de consumo de água e geração de efluentes em refinarias;
- Levantamento de dados meteorológicos através da estação de monitoramento instalada na refinaria;
- Atualização das planilhas de consumo de utilidades (água industrial, água desmineralizada, etc.), na refinaria, face às modificações efetuadas após a partida da refinaria;
- Atualização das planilhas de geração de efluentes na refinaria e seu efeito no desempenho da ETDI.

## **1.6 DADOS SECUNDÁRIOS**

- Pesquisa bibliográfica em artigos e revistas técnicas, teses e anais de simpósios sobre o tema;
- Pesquisa bibliográfica na internet;
- Contatos com fornecedores de equipamentos e/ou sistemas de tratamento de água e efluentes;
- Contatos com empresas de consultoria na área;
- Trabalhos desenvolvidos na REVAP.

## **CAPÍTULO II**

### **INCENTIVOS PARA A RACIONALIZAÇÃO DE ÁGUA**

A economia neoclássica considerava que os recursos naturais, como a água, não poderiam afetar o desenvolvimento econômico das nações no longo prazo, ou seja, não os consideravam como fatores de produção e eram tidos como infinitos e, portanto, eram bens sem valor econômico, tal como ocorre atualmente com o ar. Entretanto, o uso predatório de muitos recursos naturais, os tornou escassos e a eles foi atribuído valor econômico, conforme sua disponibilidade e demanda (May, 2003). O fato de que, em 1940, o consumo per capita de água no planeta era 400 m<sup>3</sup>/hab/ano e que em 50 anos este consumo duplicou, reforça a tese de tendência de escassez crescente de água para fins de abastecimento no planeta, conforme apresentado por Villiers, sendo um alerta indutor à conservação quali-quantitativa da água no planeta.

Até bem pouco tempo, no Brasil, a água era um desses recursos infinitos, mas devido a degradação qualitativa dos corpos d'água e o aumento da demanda foi necessária instituir os mecanismos de gestão estabelecidos na Política Nacional de Recursos Hídricos que fará com que a médio e longo prazos os custos de produção se elevem e/ou afetem o nível de produção. Para evitar que isto ocorra medidas internas às plantas industriais estão sendo tomadas, como a implantação de programas de racionalização do uso de água, visando a sua conservação e o seu reúso.

#### **2.1 LEGISLAÇÃO REFERENTE AOS RECURSOS HÍDRICOS**

No Brasil, as primeiras leis que se referiam à qualidade de um corpo hídrico são datadas de 1934, quando surgiu o Código de Águas – Decreto nº. 24.643/34. Já o Decreto nº. 50.877/61 dispunha sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do país.

A primeira lei que tratou especificamente da qualidade da água foi a Lei estadual paulista nº 997 de 31/05/1976, por meio do Decreto nº 8468, de 08/09/1976, que trata da classificação das águas, bem como dos padrões de qualidade e emissão. Nesta linha foi instituída a Resolução nº 020 do CONAMA, de 18/06/1986, que estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.

Em 1997, o governo brasileiro anunciou um programa para reduzir de 40% para 25% o desperdício de água no país, o que proporcionaria uma economia anual de 1,27 bilhões de reais. Porém, mais importante são os conceitos contidos na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 09/01/1997, que estabelece que “os recursos hídricos são um bem natural limitado e dotado de valor econômico”. Tal disposição legal pode parecer óbvia, ou desnecessária, mas traduz o compromisso oficial com a preservação da água (Cetesb, 1991).

O Código de água, estabelecido pelo Decreto Federal nº 24.643, de 10/07/1934, consubstancia a legislação básica brasileira de águas. Considerado avançado pelos juristas, pela época em que foi promulgado, necessita de atualização, principalmente para ser ajustado à Constituição Federal de 1988 e à Lei nº 9.433. Este código assegura o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida e permite a todos usar as águas públicas, conformando-se com os regulamentos administrativos. Também impede a derivação das águas públicas para aplicação na agricultura e indústria, sem a existência de concessão, no caso de utilidade pública, e de autorização nos outros casos. Em qualquer hipótese, dá preferência à derivação para abastecimento das populações, também mantido na Lei 9.433.

Estabelece, também, que a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo a terceiros e ressalta ainda, que os trabalhos para a salubridade das águas serão realizadas às custas dos infratores que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e por multas que lhes forem impostas pelos regulamentos administrativos. Esse dispositivo é visto como precursor do princípio usuário-pagador, no que diz respeito ao uso para assimilação e transporte de poluentes. O princípio poluidor-pagador fica estabelecido na Lei 9.433 ao determinar a cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos como meio de diluição de seus efluentes que têm que ter

qualidade melhor ou igual aquela estabelecida para a classe do corpo d'água utilizado.

Se por um lado a Lei 9.433 representa, para as atividades industriais, um limitante legal ao instituir medidas de comando e controle, por outro deixa livre, ao não tratar da utilização da água meteórica, podendo esta ser caracterizada como água privada, uma vez que é coletada dentro da área pertencente à indústria, independente se pode haver comprometimento da recarga ou não.

## 2.2 ESCASSEZ DE ÁGUA X GRANDES CONSUMOS

No planeta, cerca de 2,5% da água existente é doce e apenas 0,5% está disponível nos corpos d'água superficiais e o restante da água doce está no subsolo e nas geleiras.

Além da pouca disponibilidade relativa de água doce no planeta, há o problema da distribuição geográfica desta água, como mostrado na tabela 2.1.

Região	1950	1960	1970	1980	2000
África	20,6	16,5	12,7	9,4	5,1
Ásia	9,6	7,9	6,1	5,1	3,3
América Latina	105,0	80,2	61,7	48,8	28,3
Europa	5,9	5,4	4,9	4,4	4,1
América do Norte	37,2	30,3	25,2	21,3	17,5
Total	178,3	140,2	110,6	89,0	58,3

Fonte: N.B. Ayibotele, 1992. in Uniágua, 2004

Há países com abundância relativa de água doce, como o Brasil com 12% da água do planeta, mas que internamente possui áreas de escassez crônica de água pela baixa pluviosidade, como o semi-árido nordestino e áreas de abundância hídrica, como a região amazônica com 70% da água doce do país e apenas 7% da sua população segundo (Kayano, 1999). Também há áreas com escassez devido à

alta concentração populacional e elevado nível de poluição dos corpos d'água locais, como a bacia hidrográfica do alto rio Tietê, como mostrado na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Distribuição dos Recursos Hídricos, da Superfície e da População (em % do total do país)			
Região	Recursos hídricos	Superfície	População
Norte	68,5	45,30	6,98
Centro-oeste	15,7	18,80	6,41
Sul	6,50	6,80	15,05
Sudeste	6,00	10,80	42,65
Nordeste	3,30	18,30	28,91

Fonte: DNAEE, 1992.

Para atenuar este quadro de escassez de água em regiões de grande demanda, medidas preventivas, compensatórias e mitigatórias estão sendo viabilizadas, como a conservação, o reúso de águas servidas e a preservação de mananciais.

O conceito de conservação pressupõe a manutenção quali-quantitativa da água no espaço e no tempo. Do ponto de vista da sua utilização industrial busca-se contaminar a água o mínimo possível e mantê-la na planta industrial o maior tempo possível. Desta forma, o efluente somente é descartado quando a concentração de compostos químicos e/ou biológicos atingir níveis limites estabelecidos pela legislação para lançamento ou puder comprometer o processo produtivo ou, ainda, quando os custos de tratamento se tornarem inviáveis para fins de reúso.

Por definição entende-se por reaproveitamento ou o reúso da água como sendo o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indireta, decorrentes de ações planejadas ou não.

Para fins industriais empregam-se três formas de reúso: indireto planejado, direto planejado e a reciclagem, entendendo-se por:

- O reúso indireto planejado da água ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas

superficiais ou subterrâneas para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. Esta forma de reúso de água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reúso objetivado;

- O reúso direto planejado das águas ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação;
- A reciclagem de água é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. A reciclagem pode ser considerada como uma fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este é um caso particular do reúso direto planejado (Uniágua, 2004).

### **2.3 Usos CONCORRENTES**

Em cenário de escassez de recursos hídricos é comum haver disputas pelo seu domínio. Mecanismos legais têm sido criados de forma a estabelecer prioridades no uso de recursos hídricos. Dentro deste contexto é comprometedor implantar determinações no curto prazo que possam inviabilizar atividades econômicas implantadas, sendo recomendado a efetivação de um processo negocial entre os atores envolvidos na disputa da água. Este processo exige a instituição de um ente regulador que tem como uma de suas funções atuar como agente mediador de interesses, tal como vem ocorrendo com a Agência Nacional de Água – ANA. Esta agência assumiu a coordenação de um processo de negociação nos episódios que envolveram a Central de Ilha Solteira e a hidrovía Tietê-Paraná em 2001 e o ONS e os Governos de Minas e Rio de Janeiro quando ocorreu derramamento de lixívia no Rio Paraíba do sul, em 2002. É relevante destacar que neste processo negocial o comitê da bacia hidrográfica assume importante papel, uma vez que detém informações importantes sobre a gestão da bacia e, portanto, conhece todos os usuários.

Dentre os usos de recursos hídricos que são concorrentes com os usos industriais consultivos (captação) e não consultivo (diluição) destaca-se o abastecimento humano; a dessedentação de animais, a irrigação, o lazer e a manutenção da vida biótica (vazão ecológica). Neste contexto, apenas os dois primeiros usos são preponderantes ao uso industrial, uso agrícola e os demais se igualam, cabendo um processo negocial. Mesmo no caso dos usos preponderantes, a prática demonstra que embora em regiões que ocorrem racionamento no abastecimento público de água, as indústrias continuam a ser abastecidas pelas concessionárias de água. Caso a legislação fosse aplicada na íntegra, as empresas teriam seu suprimento interrompido e a elas não seriam concedidas outorgas para captação de água subterrânea. Contudo, no longo prazo verifica-se estar havendo uma forte pressão sobre as indústrias que estão instaladas nos grandes centros urbanos, como a Região Metropolitana de São Paulo. Nesta região, as empresas têm implantado medidas que visam economizar água e buscar novas fontes de suprimento, sendo a mais comum a perfuração de poços tubulares. Esta alternativa tem provocado o rebaixamento do lençol freático, o que pode inviabilizar novas outorgas e mesmo a revisão das atuais, trazendo como consequência a migração destas indústrias para regiões de maior oferta hídrica.

Em termos globais a indústria é o terceiro consumidor de água (7%; 140 milhões m<sup>3</sup>/ano), perdendo para a agricultura (70%; 1.400 milhões m<sup>3</sup>/ano) e para o abastecimento público de água (23%; 460 milhões m<sup>3</sup>/ano) (SSH/MMA, 1997). Contudo, a indústria é o setor econômico que detém a maior capacidade de investimento para reduzir o impacto de suas atividades sobre o meio ambiente.

## **CAPÍTULO III**

### **O CONSUMO E TRATAMENTO DE ÁGUA NUMA REFINARIA DE PETRÓLEO**

As refinarias de petróleo dispõem de um complexo sistema de captação, tratamento, armazenamento, transporte de água e de tratamento e transporte de efluentes. Também, em ralação aos demais usuários de recursos hídricos, como exemplo: Petroquímicas; Siderúrgicas integradas; Indústrias farmacêuticas; Indústrias de alimentos; Indústrias eletrônicas, as refinarias apresentam a maior diversidade de tipos de água, utilizando água bruta, água industrial, água potável e água desmineralizada. Analogamente, o sistema hídrico das refinarias é muito complexo e, geralmente de grande porte.

Dentre os principais sistemas consumidores de água em uma refinaria de petróleo destaca-se o sistema de resfriamento, com suas torres de resfriamento, tanques de armazenamento, motobombas, sistemas de controle e automação e o sistema de combate a incêndio que incorpora reservatórios, redes de distribuição de água e hidrantes.

Neste tipo de indústria, a água é utilizada como fluido de troca térmica (resfriamento e aquecimento), limpeza, higienização, produção de vácuo, diluição de produtos; de insumos e de resíduos, etc (FIESP e CIESP, 2004).

Pode-se, portanto, afirmar que uma refinaria além do petróleo é, também, uma grande processadora de água. (Braille e Cavalcant, 1979) apresenta um estudo abordando refinarias de petróleo que inclui as demandas de água e a geração e tratamento de efluentes.

#### **3.1 A CAPTAÇÃO DE ÁGUA**

As refinarias de petróleo consomem grandes quantidades de água, sendo utilizadas tanto na sua forma líquida como na forma de vapor, para os mais diversos fins. Dados (FIESP e CIESP, 2004) indicam, na refinação de petróleo 95% da água

captada é destinada ao resfriamento sem contato e quase 5% para atender o processo e os outros usos consomem menos de 0,5%.

A água utilizada para o refino de petróleo pode ser captada e tratada pela própria refinaria ou, em refinarias de menor porte, fornecida por uma empresa de tratamento de água ou por companhias municipais de água. No caso de refinarias de maior porte é mais econômico que a captação e o tratamento de água sejam próprios ou operados por um consórcio. A fonte de água pode ser um poço artesiano, um rio ou o próprio mar.

Um levantamento efetuado em 1992 entre as refinarias dos EUA mostra que houve uma grande redução no consumo específico de água, que passou de 43 toneladas água por toneladas de petróleo processado em 1975, para cerca de 2,2 toneladas água por toneladas de petróleo em 1986 e para cerca de 1,4 a 1,95 toneladas água por toneladas de petróleo em 1992(Petrobras, 1996). Estes dados comprovam o esforço das refinarias americanas em reduzirem o seu consumo específico de água, impulsionadas por motivos econômicos e ambientais, decorrente da taxaço na captação de água ou para manter um bom relacionamento com a comunidade vizinha.

A água captada possui os mais diferentes usos em uma refinaria de petróleo, requerendo para cada, um tratamento específico. Para atender a essa variedade na qualidade de água, com características físico-químicas diferentes, são utilizados diversos processos de tratamento de água, que dependem de:

- Qualidade requerida para cada tipo de água consumida;
- Qualidade da água bruta captada;
- Vazão de tratamento requerida;

### **3.2 O TRATAMENTO DE ÁGUA**

Para a obtenção dos diferentes tipos de água utilizados em uma refinaria de petróleo, a água bruta captada deve passar por um processo de tratamento físico-químico, que compreende desde a simples filtração até a sua desmineralização, por (American Water Works Association, 1999). Para isto, podem ser utilizados os seguintes processos:

- Clarificação (floculação e decantação) - Após a captação e adução da água, esta é enviada para o sistema de pré-tratamento, no qual a água bruta recebe a adição de um coagulante (geralmente sulfato de alumínio), que aglutina as partículas melhorando o processo de decantação. Neste ponto, a água está clarificada, sendo que parte é enviada à torre de resfriamento e o restante do fluxo de água segue para tratamento visando a sua potabilização ou desmineralização. O efluente líquido gerado no processo de clarificação é enviado para a estação de tratamento de dejetos industriais - ETDI.
- Filtração - É efetuada após a clarificação e consiste em fazer a água clarificada atravessar uma camada de areia de granulometria pré-determinada, objetivando a eliminação das partículas em suspensão ainda presentes na água. Com o tempo a perda de carga no leito aumenta, até que se torna necessária a sua limpeza, que é feita através de uma retro-lavagem com água e ar. O efluente gerado na retro-lavagem é enviado a EDTI. A água filtrada gerada neste processo é a utilizada em refinarias para fins industriais (AD), principalmente para a preparação de soluções de produtos químicos e aditivos, e para a dissolução e prevenção de formação de sais no processo produtivo. Parte desta água é destinada à produção de água potável, passando por um filtro de carvão ativado.
- Correção de pH – A água que passa pelo filtro de carvão ativado tem seu pH corrigido, geralmente com a adição de hidróxido de cálcio.
- Desinfecção – A desinfecção da água consiste na extinção dos organismos patogênicos presentes na água, sendo, nas refinarias, a mais comum a desinfecção por adição de cloro. A dosagem de cloro recomendada é aquela que gera um teor de cloro residual de 1 mg/l após 2 horas, de forma a garantir a desinfecção da água potável.
- Descloração - É definida como sendo a redução total ou parcial do cloro residual existente na água, por meio de tratamentos físicos ou químicos. O cloro ataca as resinas de troca iônica, provocando o abrandamento das esferas da resina e o aumento da perda de carga no leito. Além disso, os produtos orgânicos que são formados pelo ataque do cloro à resina catiônica são elementos envenenadores das resinas aniônicas. O desclorador é em essência um filtro de carvão antracito, onde a passagem de água com cloro

residual provoca o aparecimento de ácido clorídrico (HCl). Este ácido reage com os bicarbonatos existentes na água, formando cloretos e ácido carbônico, que se decompõe em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.

- Desmineralização – A desmineralização por troca iônica é o processo de remoção de minerais dissolvidos em soluções aquosas através de resinas orgânicas sintéticas. Basicamente, o sistema consiste em passar a água sem cloro por vasos de resina catiônica, vasos de resina aniônica e vasos contendo os dois tipos de resinas, chamado de vasos de leito misto. Esta mistura faz com que o filtro se comporte como uma série infinita de leitos catiônicos e aniônicos sucessivos, e a água tratada chega a atingir valores de condutibilidade inferiores a 0,1 ms/cm. Periodicamente, a o processo de regeneração das resinas utilizam água que é enviada a uma única bacia de acúmulo. Após a sua neutralização, a água é enviada para a ETDI. Como reúso, a água de enxágüe é utilizada no sistema de resfriamento.
- Purificação de condensado - Normalmente, o fluxo de vapor condensado que é recuperado do processo produtivo traz consigo uma certa quantidade de partículas e óleo em suspensão, devido ao desgaste físico-químico sofrido pelos equipamentos e tubulações dos sistemas de geração, distribuição e consumo de vapor. A purificação do condensado é efetuada através de um processo de filtração recoberto com material filtrante (celulose). A seguir, eventuais arrastes de óleo são adsorvidas em um leito de carvão ativado e então o condensado é enviado para o leito de troca mista, para um polimento final, e então, encaminhado ao tanque de água desmineralizada. Durante a filtração, um aglomerante de carvão ativado é continuamente dosado, melhorando o processo. Os filtros operam aos pares, alternadamente, sendo prevista uma lavagem com ar para deslocamento e pulverização da camada de celulose saturada, e posterior retrolavagem do filtro com água. A suspensão de celulose e impurezas são descartadas ao esgoto oleoso. Eventualmente, o condensado recuperado recebe uma adição de morfolina no vaso de recuperação de condensado, a fim de corrigir o seu pH, antes de ser enviado ao tratamento.(folheto técnico Latin América)

### 3.3 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO

Em refinarias americanas foi observada a seguinte distribuição no uso da água captada (Petrobras, 1996):

- Água de resfriamento: 60 a 70 %;
- Água para geração de vapor em caldeiras: 20 a 30 %;
- Outros consumos: 10 a 20 %.

Entre os outros consumos, foram detectados:

- Água para dissolução de sais em dessalgadoras de petróleo: 4 a 6 %;
- Água potável para consumo humano: 4 a 6 %;
- Água utilizada no processo produtivo: < 1 %.

Pode-se verificar que os grandes consumidores em uma refinaria de petróleo são os sistemas de água para resfriamento e geração de vapor (Nilo Brasil, 1987).

Segundo Petrobrás (1996), nas refinarias brasileiras, a água captada é utilizada para os seguintes serviços:

- Água para resfriamento (de produtos e de máquinas);
- Água para uso industrial (lavagem de equipamentos e áreas e preparação de soluções de uso industrial);
- Água potável;
- Água para geração de vapor;
- Água para combate a incêndio.

Serviço	Tratamento	Simbologia
Combate a incêndio	Água bruta captada	AF
Resfriamento	Floculação e clarificação	AR
Resfriam. Máquinas	Floculação e clarificação	AM
Uso industrial	Filtração por areia	AD
Água potável	Filtração por carvão ativado + pós-cloração	AP
Geração de Vapor	Desmineralização	AV

Fonte: Petrobras

### 3.3.1 ÁGUA PARA O COMBATE A INCÊNDIOS

O sistema de combate a incêndios é composto por um circuito fechado de tubulações e hidrantes, que é mantido continuamente pressurizado com água. A água utilizada para este serviço é a própria água bruta, sem qualquer tipo de tratamento, que é succionada dos tanques de armazenamento pelas bombas de pressurização da rede.

Sistemas automáticos ligam e desligam as bombas de pressurização da rede, mantendo sempre a sua pressão na faixa adequada para o serviço. (Techint, 1978).

Salvo a ocorrência vazamentos ou algum tipo de uso não previsto, este sistema não deve consumir água bruta em condições normais de operação da refinaria.

### 3.3.2 ÁGUA DE RESFRIAMENTO DE PRODUTOS E MÁQUINAS

As refinarias de petróleo geram no seu processo uma grande quantidade de calor residual que deve ser removido ou reduzido. Em função disto possuem um sistema de refrigeração, que geralmente utiliza a água como fluido refrigerante, que absorve este calor residual do processo para depois transferi-lo para outro meio. O equipamento onde se desenvolve este trabalho é denominado torre de resfriamento, segundo (Eckenfelder, 1995).

Pode-se classificar os sistemas de resfriamento normalmente em:

Sistema de resfriamento: Aberto      sem recirculação  
   Aberto      com recirculação  
   Fechado

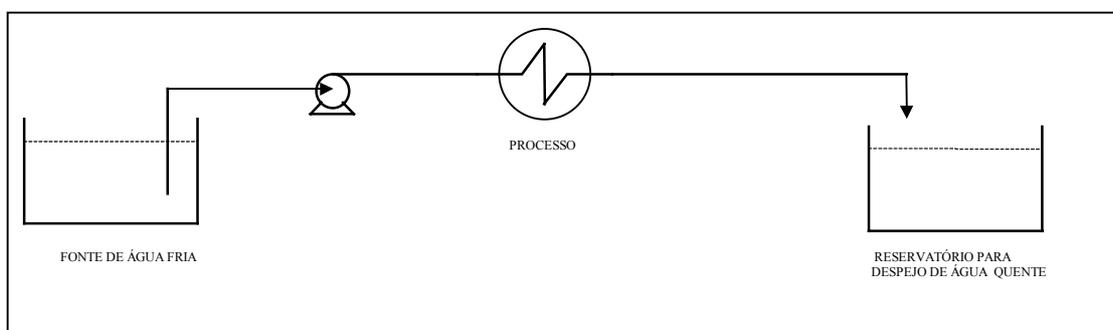


Figura 3.1- Sistema aberto sem recirculação

Sistema aberto sem recirculação: é utilizado quando se tem uma grande quantidade de água disponível e que possa ser utilizada sem sofrer um tratamento mais rigoroso. O custo de instalação deste sistema é baixo, porém a água por não ser tratada pode trazer graves inconvenientes ao desempenho das instalações.

Sistema aberto com recirculação: é utilizado quando se tem uma quantidade limitada de água ou quando as características da água disponível indicam a necessidade de um tratamento antes de ser utilizada como meio refrigerante.

É necessária a utilização de uma torre de resfriamento e uma purga periódica é efetuada para retirada do excesso de sólidos dissolvidos que se acumulam. É o sistema mais comum em refinarias de petróleo.

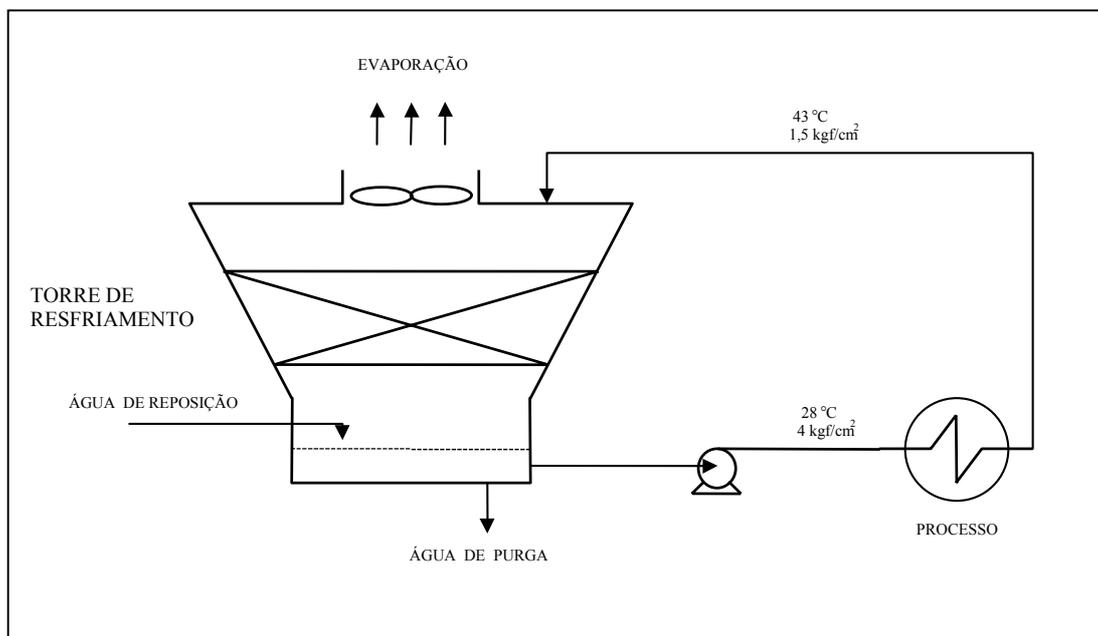


Figura 3.2 – sistema aberto com recirculação

Sistema Fechado: é um sistema idêntico ao anterior, porém o resfriamento da água se dá por troca térmica com o ar, e não por evaporação. Usualmente este sistema é implantado em conjunto com o sistema aberto com recirculação.

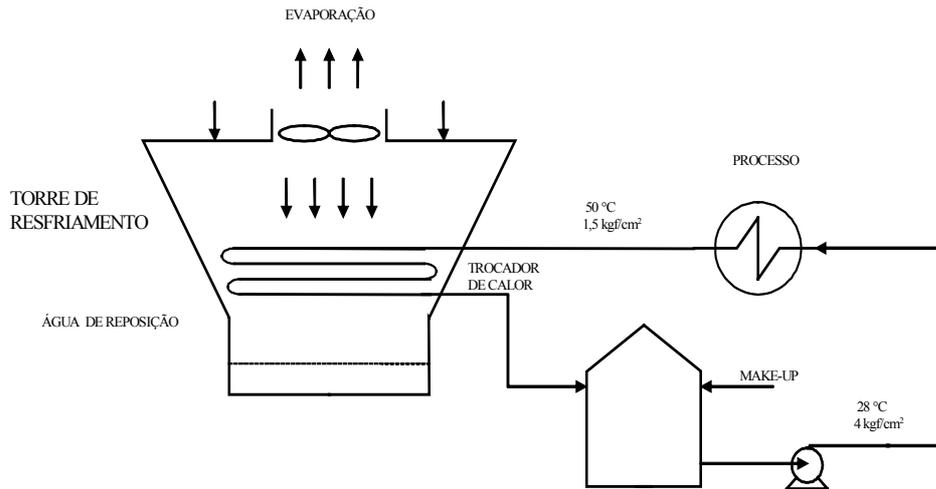


Figura 3.3 - Sistema fechado

Tem-se, de acordo com o aspecto construtivo, os seguintes tipos de torres de resfriamento:

- Tiragem natural;
- Tiragem mecânica : forçada  
: induzida

Nas torres de tiragem natural, o movimento do ar é função unicamente das condições atmosféricas. O formato hiperbólico de sua chaminé auxilia a tiragem natural.

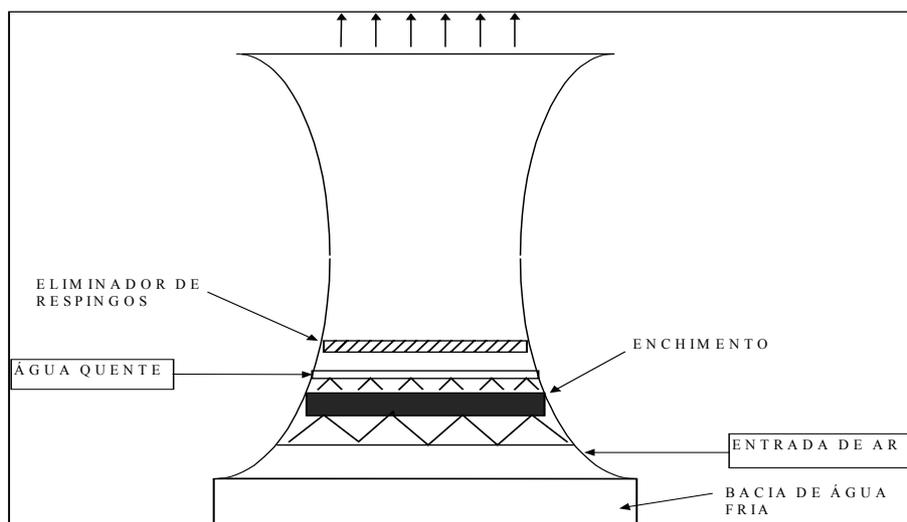


Figura 3.4 - Torre de resfriamento de tiragem natural

Nas torres de tiragem mecânica, o fluxo de ar é obtido por meio de ventiladores.

Nas torres de tiragem mecânica forçada, os ventiladores são instalados na parte inferior, impulsionando o ar para dentro da torre.

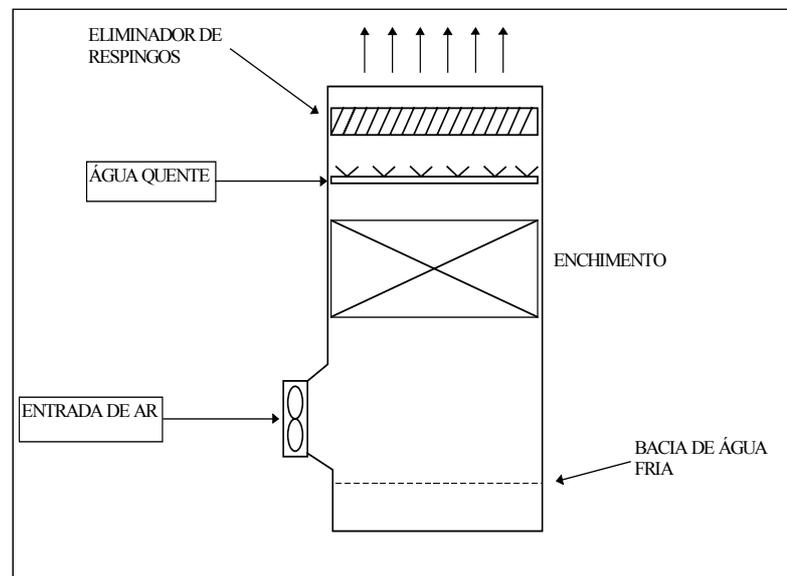


Figura 3.5 - Torre de tiragem mecânica forçada

As principais desvantagens deste tipo de torre são:

- Sujeitos à recirculação do ar saturado devido à zona de baixa pressão na entrada de ar;
- Dimensão limitada dos ventiladores (máximo 3,96m), aumentando o número de ventiladores;
- Dimensões limitadas da torre, de no máximo 19,80m de altura;

Nas torres de tiragem mecânica induzida, os ventiladores são instalados na parte superior, succionando o ar para dentro da torre. Estas torres não têm limitação de altura. Dependendo do fluxo de ar, estas torres podem ser subdivididas em: torres de tiragem induzida contra-corrente e corrente cruzada.

Nas torres de tiragem mecânica induzida contra-corrente, a admissão de ar é feita na base da torre, e o ar sobe em contra-corrente com a água que é distribuída no topo.

A distribuição de água quente é feita através de uma rede de calhas no topo da torre, e existe na saída do ar um eliminador de respingos, que visa diminuir o arraste de água. Sua principal vantagem está na eficiência (contra-corrente), porém apresenta as seguintes desvantagens:

- a área de entrada de ar é pequena, implicando em maior potência do ventilador;
- A resistência ao fluxo de ar devido ao fluxo de água em contra-corrente também aumenta a potência do ventilador;
- Não é possível fazer a manutenção dos distribuidores de água em operação.

Nas torres de tiragem mecânica induzida em corrente cruzada, a admissão do ar é feita horizontalmente em toda a lateral da torre, enquanto a água quente cai verticalmente, criando um fluxo em corrente cruzada.

A distribuição de água quente é efetuada no topo, por meio de pequenos tanques com vários furos no fundo.

Suas principais vantagens são:

- Baixa perda de carga, portanto menor potência nos ventiladores;
- Arranjo simples na distribuição de água;
- Altura do enchimento é praticamente a altura da torre.

Principal desvantagem:

- Maior tendência à formação de algas devido à exposição à atmosfera.

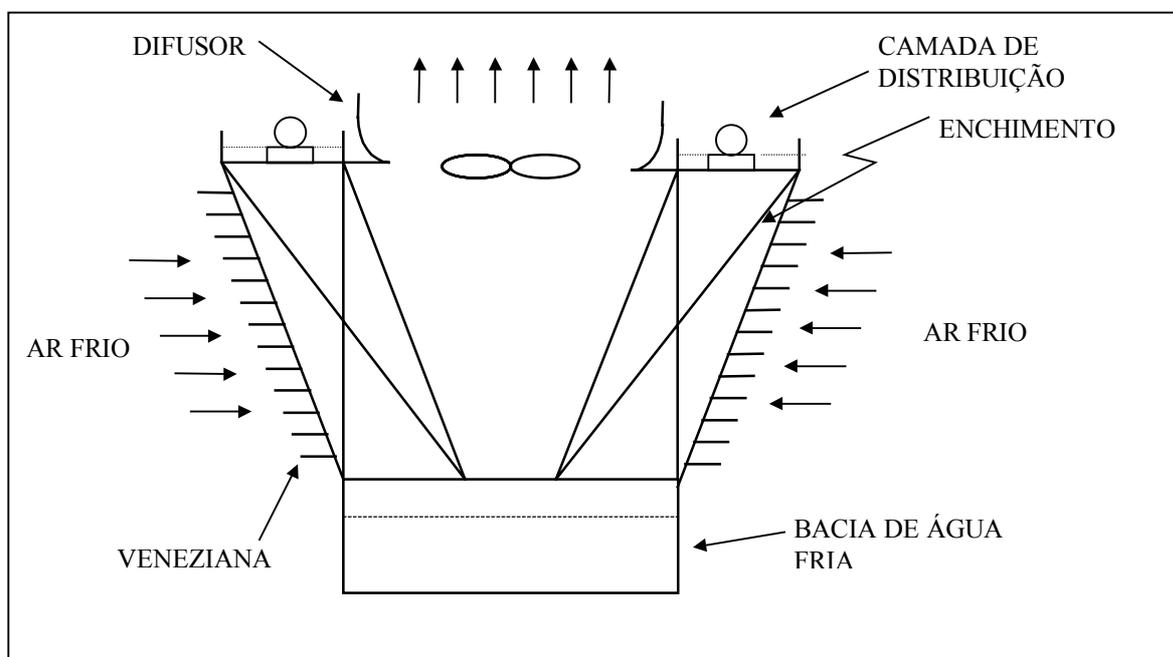


Figura 3.6 - Torre com tiragem mecânica induzida em corrente cruzada

As refinarias possuem geralmente também um sistema de resfriamento fechado, que alimenta o sistema de resfriamento de água de máquinas. Este sistema está acoplado a uma das torres anteriormente citadas.

A água fria é bombeada para os equipamentos das unidades consumidoras através de bombas centrífugas, sendo enviada, na maior parte, para os trocadores de calor destas Unidades.

A água quente, oriunda dos consumidores, retorna à torre de resfriamento onde uma evaporação adiabática de parte desta corrente provoca o resfriamento da água.

A temperatura da água fria depende das condições barométricas do meio, como umidade relativa e temperatura de bulbo úmido e seco, além da altura barométrica. Geralmente, a temperatura da água fria fica em torno de 25 a 30 °C, e a da água quente, que depende da vazão de circulação da água de resfriamento e da carga térmica dos consumidores, em 45 a 50 °C. Temperaturas acima desta não são aconselháveis, pois aumentam em demasia a formação de algas na bacia da torre de resfriamento e nos consumidores (Petrobras, 1996).

Em função das perdas por evaporação, o conteúdo de sais na água circulante aumenta, sendo necessário purgar continuamente o sistema, descarregando uma fração da água circulante para o esgoto oleoso. Outras perdas decorrem do arraste de gotas de água pelo vapor que sai pelo topo da torre de resfriamento.

É necessário, portanto, uma injeção contínua de água clarificada, que compõe a água de reposição da torre. O sistema é projetado para que o conteúdo de sais na torre seja de 5 a 10 vezes ao da água de reposição. Este número é denominado “ciclo de concentração”, e define a vazão de purga e da reposição. O cálculo da água de reposição em função da concentração de sais para diferentes gradientes de temperatura é apresentado por (James, 1999).

O conteúdo de sais (cloretos, carbonatos, etc) deve ser continuamente controlado, a fim de evitar a formação de incrustações no sistema de distribuição ou corrosão nos consumidores.

A fim de minimizar o efeito corrosivo, inibidores de corrosão são dosados continuamente na bacia da torre de resfriamento. Os inibidores de corrosão comumente utilizados são à base de polifosfatos orgânicos.

A fim de evitar o desenvolvimento da fauna microbiana no sistema, são efetuadas aplicação contínua de biocida líquido. Temporariamente é feita uma dosagem de choque com solução de cloro para evitar a aclimatação da fauna microbiana ao biocida.

Portanto, no sistema de água para resfriamento, o consumo refere-se à reposição das perdas oriundas das purgas de água, para manter a concentração de sais na torre de água de resfriamento, e das decorrentes da evaporação.

A tabela 3.2 apresenta o padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento.

Tabela 3.2 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento	
Parâmetro	Água de resfriamento
Cloretos	500
Sólidos dissolvidos totais	500
Dureza	650
Alcalinidade	350
PH	6,9 a 9,0
DQO	75
Sólidos suspensos totais	100
Turbidez	50
Tabela 3.2 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento (cont.)	
DBO	25
Compostos orgânicos++	1,0
Nitrogênio amoniacal	1,0
Tabela 3.2 - Padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento (cont.)	
Fosfato	4,0
Sílica	50
Alumínio	0,1
Cálcio	50
Magnésio	0,5
Bicarbonato	24
Sulfato	200

\*Limites recomendados em mg/l , exceto para ph e turbidez que são expressos em unidades e UT, respectivamente.

+Aceito como recebido, caso sejam atendidos outros valores limites.

++Substancias ativas ao azul de metileno.

Fonte:CROOK,1996

### **3.3.3 ÁGUA PARA O USO INDUSTRIAL**

Este tipo de água é utilizado para a os seguintes fins:

- Preparação e diluição de produtos químicos que serão utilizados no processo produtivo, principalmente soluções de soda cáustica e ácido sulfúrico;
- Prevenção de formação e/ou depósito de sais em vasos, permutadores de calor e topo de torres de destilação, através de sua lavagem com a água industrial;
- Dissolução de sais do petróleo nas dessalgadoras;
- Lavagem e transporte de hidrocarbonetos em instrumentos e equipamentos em geral.

Em todas estas aplicações, a água industrial é incorporada ao processo produtivo, gerando um efluente que será separado dos produtos por condensação nos vasos de topo das torres de destilação por (Kurita Water Industries Inc. 1985).

### **3.3.4 ÁGUA POTÁVEL**

A água potável é abastecida pela própria ETA, através da filtração e pós cloração da água clarificada. Esta água é utilizada para os seguintes fins:

- Consumo humano (preparação de refeições, sanitários e banhos);
- Irrigação da área de jardins;
- Abastecimento do viveiro de peixes da Refinaria;
- Outros consumos não previstos;
- Com a exceção do consumo humano, que gera efluente sanitário, nenhum outro tipo de consumo de água potável gera efluente para a ETDI.

### **3.3.5 ÁGUA PARA A GERAÇÃO DE VAPOR**

O vapor de água é utilizado para os seguintes fins:

- Acionamento de turbinas de grandes máquinas, como compressores, sopradores e turbo-geradores;
- Acionamento de turbinas de bombas e sopradores;

- Aquecimento de tubulações e tanques de produtos;
- Aquecimento de produtos por troca térmica;
- Injeção em torres para retificação de produtos leves;
- Fluido motriz para a geração de vácuo em ejetores;
- Purga de equipamentos para liberação e abertura para manutenção;
- Limpeza de equipamentos;
- Descoqueamento de fornos.

Dependendo de sua utilização, o vapor deve possuir diferentes níveis de pressão e temperatura. São três os níveis de pressão de vapor existentes (Petrobras, 1996):

- Vapor de baixa pressão, pressão = 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>, temperatura = 175 °C;
- Vapor de média pressão, pressão = 16,5 kgf/cm<sup>2</sup>, temperatura = 275 °C;
- Vapor de alta pressão, pressão = 102 kgf/cm<sup>2</sup>, temperatura = 400 °C.

O vapor de alta pressão é gerado nas caldeiras, enquanto os demais são oriundos de depressurização em turbinas e válvulas de pressão.

A geração de vapor em caldeiras, aos níveis praticados em refinarias, requer a alimentação de água de alta qualidade, praticamente isenta de íons, que poderiam causar incrustação nas caldeiras. Deste modo, é economicamente viável que a maior parte do vapor gerado nas caldeiras seja recuperado como condensado.

Em função de sua utilização, parte do vapor pode ou não ser recuperado, levando à necessidade de reposição de água desmineralizada: (folheto técnico, Latin América).

O vapor utilizado em aquecimento ou acionamento de turbinas não entra em contato com outros produtos e pode ser recuperado como condensado limpo, passando por uma purificação;

- O vapor utilizado para purgas, descoqueamento e limpezas em geral é perdido para efluente da ETDI;
- O vapor utilizado no processo, sob a forma de vapor de retificação ou fluido motriz de ejetores, é incorporado aos produtos do refino de petróleo, sendo posteriormente separado, gerando um efluente fortemente contaminado. Após o seu tratamento adequado, gera efluente para a ETDI.

Apesar da recuperação de parte do condensado e da reposição de água desmineralizada, ainda é necessária uma purga no sistema de geração de vapor pois, do mesmo modo que o sistema de água de resfriamento, a recirculação de condensado provoca uma concentração de sais e de outros contaminantes, que podem afetar o desempenho das caldeiras. Assim, periodicamente é efetuada uma purga nas caldeiras para controlar a concentração destes contaminantes, gerando um efluente que é enviado para a ETDI.

A qualidade da água destinada à geração de vapor é apresentada na tabela 3.3, conforme (FIESP e CIESP, 2004).

Tabela 3.3 - Padrão de qualidade recomendado para água de geração de vapor			
Parâmetro	Caldeira de baixa pressão (<10 bar)	Caldeira de média pressão (10 a 50 bar)	Caldeira de alta pressão (>50 bar)
Cloretos	+	+	+
Sólidos dissolvidos totais	700	500	200
Dureza	350	1,0	0,07
Alcalinidade	350	100	40
PH	7,0 a 10,0	8,2 a 10,0	8,2 a 9,0
DQO	5,0	5,0	1,0
Sólidos suspensos totais	10	5	0,5
Compostos orgânicos++	1,0	1,0	0,5
Nitrogênio amoniacal	0,1	0,1	0,1
Sílica	30	10	0,7
Alumínio	5	0,1	0,01
Cálcio	+	0,4	0,01
Magnésio	+	0,25	0,01
Bicarbonato	170	120	48
Sulfato	+	+	+
Cobre	0,5	0,05	0,05
Zinco	+	0,01	0,01
Substancias extraidas em tetracloreto de carbono	1	1	0,5
Sulfeto de hidrogênio	+	+	+
Oxigênio dissolvido	2,5	0,007	0,0007

\*Limites recomendados em mg/l , exceto para ph e turbidez que são expressos em unidades e UT, respectivamente.

+Aceito como recebido, caso sejam atendidos outros valores limites.

++Substancias ativas ao azul de metileno.

Fonte:CROOK,1996

## CAPÍTULO IV

### A GERAÇÃO DE EFLUENTES NUMA REFINARIA DE PETRÓLEO

#### 4.1 PRINCIPAIS CONTAMINANTES DE EFLUENTES

O efluente de uma refinaria de petróleo é composto por uma mistura complexa de águas contaminadas com óleo, hidrocarbonetos aromáticos, amônia, fenóis, sulfetos, cianetos e metais pesados, além de sais e outros sólidos dissolvidos (Petrobras, 1996).

O principal problema nos efluentes das refinarias de petróleo é a grande variabilidade que estes efluentes apresentam na sua vazão, concentração de contaminantes, toxicidade, pH e salinidade, conforme tabela 4.1.

Por este motivo, a ETDI de uma refinaria deve ter flexibilidade para atender a extremas variações na vazão e concentração de contaminantes, sem comprometer a sua performance. O grau de contaminação do efluente depende de diversos fatores, sendo os principais:

- Tipo e origem do petróleo processado na refinaria.
- Processos industriais a que este petróleo é submetido (complexidade da refinaria) para ser convertido em produtos.
- Processos de tratamento a que os produtos são submetidos.
- Tipo e quantidade de insumos que são utilizados nos processos industriais.

Tabela 4.1 - Fontes de contaminantes em refinarias de petróleo

Contaminantes	Fonte
H <sub>2</sub> S e mercaptanas	Presentes em alguns crus e formados também por decomposição térmica e catalítica de compostos sulfurados. Os mercaptanas podem também ser resultantes de reação entre H <sub>2</sub> S e oleofinas
Enxofre elementar	Raramente presente. Formado em geral pela oxidação do H <sub>2</sub> S pelo oxigênio do ar. Por não ser volátil, não deve ocorrer nos produtos leves, exceto nos casos de oxidação do H <sub>2</sub> S.
Sulfeto de Carbonila	Formado por craqueamento térmico e catalítico
Dissulfetos	Raramente presentes no petróleo.

Tabela 4.1 - Fontes de contaminantes em refinarias de petróleo (cont.)	
Dialquilsulfetos	Ocorrem naturalmente e também por reação entre mercaptanas e oleofinas.
Arilsulfetos	Por serem estáveis, devem ter ocorrência natural.
Compostos Nitrogenados básicos e neutros	Compostos nitrogenados básicos (piridina-quinolina) e neutros (pirrol). Apresentam ocorrência natural no petróleo.
NH <sub>3</sub> e HCN	São formados por craqueamento térmico ou catalítico dos compostos nitrogenados.
Compostos de produzem alteração de cor	Oriundos da oxidação de certos tipos de fenóis provavelmente ligados a ácidos naftênicos ou compostos de nitrogênio.
Ácidos naftênicos, fenóis e cresóis.	Podem ser encontrados no óleo cru, ou formados no decorrer do processamento por craqueamento de compostos oxigenados mais complexos presentes no cru. Ocorrem em produtos com ponto de ebulição superior a 150 °C.
Gás Carbônico	Formado por craqueamento catalítico ou reforma térmica (geração de H <sub>2</sub> ).
Peróxidos orgânicos	Formados pela oxidação dos hidrocarbonetos, mais particularmente oleofinas e dioleofinas. Esses peróxidos são precursores da formação de goma.

Fonte: Petrobras

Os contaminantes existentes nos efluentes de uma refinaria de petróleo definem a complexidade da ETDI, com vistas a reduzir os níveis de contaminantes e, conseqüentemente, suas conseqüências para a qualidade dos produtos, equipamentos e saúde do pessoal envolvido, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 4.2 - Efeitos indesejáveis de contaminantes	
Contaminante	Efeitos Indesejáveis
H <sub>2</sub> S	Tóxico (paralisa a função respiratória), corrosivo (corrosividade ao cobre positivo), desativa inibidores de oxidação. Tem odor desagradável.
Enxofre elementar	Corrosivo (corrosividade ao cobre positivo), deposita-se nos botijões de GLP.
Mercaptanas	Odor desagradável. Não dá resultado positivo na corrosividade ao cobre, embora corra a lâmina de cobre.
Sulfetos e dissulfetos	Não apresentam nocividade conhecida a não ser a formação, pela queima, de SO <sub>2</sub> e SO <sub>3</sub> .

Tabela 4.2 - Efeitos indesejáveis de contaminantes (cont).

Fenóis	Antioxidante moderado. Por oxidação produzem alterações de cor, e reagem com o cobre.
Ácidos naftênicos	Solúveis em água (gerando ação corrosiva), produzem emulsões estáveis com sais de sódio, formando géis com a gasolina. Por lavagem, formam sais que se depositam (naftenatos). Por aquecimento, formam depósitos que dão problemas de estabilidade e corrosão em óleos combustíveis.
Ácidos alifáticos	Solúveis em água podem tornar-se corrosivos. Formam sais insolúveis com o sódio, gerando depósitos gelatinosos. Reagem com aminas.
peróxidos	Reduzem o período de indução (precursores da polimerização), e octanagem da gasolina.
Compostos básicos nitrogenados	Odor característico, não desagradável. Combinado com mercaptans apresentam odor bem desagradável. Por oxidação, produzem alteração na cor de derivados. Parecem influenciar a formação de goma.

Fonte: Petrobras

Os produtos de uma refinaria podem ter sua qualidade comprometida por diversos contaminantes como mostrado na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Distribuição de contaminantes por produto

Produto	Contaminante
GLP de destilação	H <sub>2</sub> S; metilmercaptanas; COS; dimetilsulfeto; ácido acético; ácido fórmico; tiociclopropanos.
GLP de UFCC	H <sub>2</sub> S; metilmercaptanas; COS; ácido fórmico; ácido acético; amônia; CO <sub>2</sub> ; HCN.
Nafta de destilação	Mercaptanas e outros compostos sulfurados; fenóis; ácidos naftênicos; compostos de nitrogênio.
Gasolina de UFCC	Mercaptanas; compostos sulfurados em geral, em menor concentração; ácidos alifáticos.
Diesel de destilação	Mercaptanas e outros compostos sulfurados; fenóis; ácidos naftênicos; compostos de nitrogênio.

Fonte: Petrobras

Estes contaminantes são removidos dos produtos pelos diversos processos de tratamento descritos na tabela 4.4. A grande maioria destes contaminantes é convertida a enxofre elementar e nitrogênio. Contudo, alguns contaminantes,

principalmente os que têm afinidade com a fase aquosa, permanecem na corrente de água retificada produzida pela unidade de retificação de águas ácidas. Os contaminantes mais importantes dessa corrente são: fenóis, cianetos, hidrocarbonetos e alguma amônia residual segundo (Hauck & Sthephen, 1990).

Tabela 4.4 - Processos para remoção de contaminantes	
Contaminante	Processos Indicados Para Remoção
H <sub>2</sub> S	Solução Cáustica de 10 a 15 °Bé, de forma a evitar a cristalização de Na <sub>2</sub> S. Soluções de monoetanolamina (MEA) e dietanolamina (DEA)
Enxofre elementar	De difícil remoção. Solução de NaOH ou Na <sub>2</sub> S na proporção (25:75). Percolação através de leito contendo partículas de hidróxido de sódio.
Mercaptanas	Solução Cáustica (mais difícil para produtos ramificados e de maior ponto de ebulição); solução cáustica em presença de catalisador para tornar econômico o tratamento de produtos pesados (Bender e Merox). Nestes processos transforma-se os mercaptanas em dissulfetos, solúveis em fase aquosa.
Sulfetos e dissulfetos	Hidrodessulfurização
Fenóis	Lavagem com soluções cáusticas diluídas; lavagem com água.
Ácidos naftênicos	Soluções cáusticas diluídas (1 a 2 °Bé), seguido por lavagem aquosa (naftenatos de sódio podem ser solúveis na fase aquosa)
Ácidos alifáticos	Lavagem aquosa; lavagem cáustica; hidrodessulfurização.
Aril Mercaptans	Hidrodessulfurização, ou processos de craqueamento catalítico, que quebram o anel benzênico e liberam o H <sub>2</sub> S.
Compostos básicos nitrogenados	Lavagem com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> diluído ou hidrodessulfurização
Amônia	Lavagem aquosa
Compostos neutros de nitrogênio	Lavagem com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ou NaOH; hidrodessulfurização.

Fonte: Petrobras

## 4.2 PRINCIPAIS FONTES DE EFLUENTES

Segundo dados da Petrobras (1996), de toda a água captada por uma refinaria, cerca de 45 % é evaporada no sistema de água de resfriamento, 45 % é

transformada em efluente para a ETDI, e o restante 10 % é perdida no processo, por incorporação aos produtos ou como esgoto sanitário.

A vazão do efluente gerado pela refinaria depende dos seguintes parâmetros:

- tipo e origem do petróleo processado na refinaria;
- Processos industriais a que este petróleo é submetido (complexidade da refinaria) para ser convertido em produtos;
- Processos de tratamento a que os produtos são submetidos;
- Tipo e quantidade de insumos que são utilizados nos processos industriais;
- Capacidade de refino da refinaria;
- Índice pluviométrico da região onde está localizada a refinaria.

Estudos realizados nos Estados Unidos (Petrobras, 1996) em diversas refinarias mostraram a seguinte distribuição na geração de efluentes:

Fonte	%
Purga de torre de água de resfriamento	20-40
Vapor condensado perdido	20-40
Água Retificada	10-30
Água da dessalgação de petróleo	10-20
Água de chuva	6-8
Purga de caldeiras de geração de vapor	4-8
Purgas do sistema de tratamento de água	2-5
Esgoto Sanitário/laboratório	1-10

Fonte: Petrobras

Verifica-se que as maiores fontes de geração de efluentes de uma refinaria americana são as purgas de torres de resfriamento e as perdas de condensado no processo, seguidas de água retificada e da dessalgação de petróleo. Deve ser ressaltado que em praticamente todos os levantamentos realizados, verificou-se que grande parcela de perdas deve-se a perdas de condensado não recuperado. Este é o efluente de maior qualidade e custo de tratamento, e deve ter uma atenção especial em qualquer estudo de redução de consumo de água por (Little & Lefevre, 1999).

A vazão típica de efluentes gerados numa refinaria (sem considerar a precipitação pluviométrica) varia de 22 a 80 lts de efluente por 166 lts de crú processado, sendo usual  $6 + 1,5 \times$  o fator de complexidade de Nelson. O fator de complexidade de Nelson é um índice que é calculado através da equação 1.

$$IN = \frac{\sum(Q_i * I_i)}{Q_1} \quad (1)$$

onde:

$Q_1$  = vazão de carga nominal da unidade desdestilação atmosférica e a vácuo

$Q_i$  = vazão de carga nominal da unidade i

$I_i$  = fator de complexidade da unidade i

$IN$  = fator de complexidade da refinaria

O fator de complexidade de cada unidade depende de seu tipo, e procura expressar a complexidade relativa desta em relação a uma unidade de destilação (fator = 1,0). Quanto mais complexa a unidade, maior é o fator, e obviamente, maiores serão os consumos de energia, água e outros insumos.

Em petroquímicas, a geração de efluentes é maior. A qualidade do efluente varia muito com a parada e partida de unidades e manutenção inadequada.

#### **4.2.1 PURGAS DE TORRES DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO**

Como descrito anteriormente, as torres de água de resfriamento sofrem constantes purgas a fim de eliminar o sais decantados para evitar o aumento na concentração de sais na torre, decorrente das perdas de água por evaporação. As purgas de torres de resfriamento representam a maior parcela de vazão do efluente para a ETDI, embora os seus contaminantes não sejam os mais críticos. Deste modo, essa corrente é a mais adequada para planos de reutilização de efluentes.

#### **4.2.2 PERDAS DE CONDENSADO**

Geralmente, as perdas de condensado em uma refinaria de petróleo referem-se às perdas devido a despressurização do condensado recuperado e a algum vazamento no sistema de distribuição de vapor e/ou recuperação de condensado.

A despressurização do condensado é inerente ao seu sistema de recuperação, e sua redução só pode ser obtida pela diminuição de consumo, ou seja, mediante a implantação de estudos de racionalização no uso de vapor como fluido de aquecimento. Esta parcela não gera efluente para a ETDI

A perda de condensado devido a vazamentos é normalmente decorrente de problemas mecânicos em purgadores de vapor e válvulas de bloqueio com vazamento, e, mais raramente, furos em tubulações. Somente a implantação de um plano ostensivo de manutenção corretiva e preventiva pode reduzir esta parcela, que é responsável pela geração de um efluente contaminado usualmente com hidrocarbonetos e sólidos em suspensão.

#### **4.2.3 ÁGUA RETIFICADA**

A água retificada é um efluente gerado pela utilização de vapor no processo produtivo. Este vapor entra em contato com os produtos do refino e na sua condensação, arrastam diversos contaminantes que serão removidos por retificação com vapor. O produto deste processo de tratamento é a água retificada, que ainda apresenta pequena quantidade de contaminantes, como hidrocarbonetos.

#### **4.2.4 ÁGUA DA DESSALGAÇÃO DE PETRÓLEO**

O petróleo nacional, por ser produzido na bacia sedimentar marítima, possui em sua composição significativas quantidades de sais que são removidos por lavagem e decantação nas próprias plataformas produtoras. Contudo, o petróleo que chega às refinarias ainda possui algum teor de sais que devem ser removidos por um processo de eletrólise. Inicialmente é adicionada água no petróleo para a dissolução dos sais e a seguir esta água é removida através de decantação. Para promover melhor decantação da água, o petróleo é submetido a uma alta diferença

de potencial elétrico (ddp), provocado por placas paralelas instaladas dentro de vasos (dessalgadoras). Esta ddp promove a aglutinação das gotículas de água, facilitando a sua decantação segundo (Stuart & Blake,)

A água decantada forma uma salmoura emulsionada com hidrocarbonetos e outros contaminantes do petróleo, que são encaminhados para tratamento na ETDI.

#### **4.2.5 PURGAS DE CALDEIRAS**

Da mesma maneira que as torres de água de resfriamento, as caldeiras geradoras de vapor também devem efetuar purgas constantes, a fim de evitar a concentração de sais, principalmente silicato de cálcio, no interior de seus tubos. Quanto maior a recirculação de condensado recuperado numa caldeira, menor é a reposição necessária de água desmineralizada, e, por conseguinte, maior será a necessidade de purgas. A qualidade das purgas das caldeiras geradoras de vapor é muito boa, podendo ser utilizadas como água de reposição para água de resfriamento ou outros fins.

#### **4.2.6 PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**

As precipitações pluviométricas representam uma grande contribuição para carga da ETDI. Geralmente, as precipitações pluviométricas sobre as unidades industriais resultam na geração de efluentes contaminados com hidrocarbonetos, cloretos, ácidos e outros contaminantes que impossibilita o seu envio ao corpo receptor sem um tratamento adequado.

Deste modo, é imprescindível prever uma capacidade adicional na carga da ETDI, para o tratamento desta contribuição, principalmente nos períodos de chuva (de novembro a março de cada ano) por (Kayano, 1999).

## **CAPÍTULO V**

### **O BALANÇO DE ÁGUA NA REVAP**

O corpo hídrico da REVAP é o rio Paraíba do Sul, que é classificado como um rio classe II no trecho do vale do Paraíba. Portanto, a ETDI da refinaria foi dimensionada para tratar uma vazão máxima de 705 m<sup>3</sup>/h de efluente industrial de forma compatibiliza-lo com a classe do Rio Paraíba do Sul (Snam Projetos e Engenharia, 1979)

A ETDI apresenta flexibilidade suficiente para absorver variações na sua carga sem comprometer a qualidade final do efluente a ser descartado, porém a refinaria está prevendo futuras ampliações em seu parque de refino, o que aumentará o consumo de água e a geração de efluentes líquidos. É necessário, portanto, reavaliar o impacto destas modificações na capacidade e desempenho da ETDI, bem como outros fatores que possam afetar a qualidade do efluente final (Techint, 1976).

#### **5.1 PLANO PARA REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES**

Pelos motivos anteriormente expostos, torna-se imperativo avaliar o consumo atual e futuro de água e otimizá-la para reduzir o impacto nos custos de produção e evitar problemas futuros. Evidentemente, ao se otimizar o consumo de água, estará sendo reduzida a captação de água e, conseqüentemente, também a geração de efluente final. Portanto, a conservação e o reúso de água não só reduzirão os custos referentes à captação e o lançamento de efluentes, como também poderá reduzir os investimentos necessários à expansão das estações de tratamento, mesmo com o aumento da demanda de água.

Antes de iniciar um estudo de reutilização de água numa refinaria, é importante otimizar a operação das instalações existentes, reduzindo consumos desnecessários e racionalizando o uso de água, onde possível.

Muitas refinarias têm analisado o seu efluente final para reutilização, o que pode elevar os custos de tratamento, sendo mais coerente avaliar o potencial de

reúso dos efluentes no seu ponto de geração. É importante, também, identificar e caracterizar os contaminantes dos principais efluentes, para agrupá-los em tipos, como efluente ácido, alcalino, oleoso, biológico, etc, facilitando o seu tratamento.

Braille e Cavalcanti (1979) propõem em seus trabalhos, roteiros para a implantação de um projeto de reutilização de efluentes como água de reposição de torres de resfriamento. Segundo estes autores, um projeto deste tipo só deve ser iniciado se:

- Existir retorno financeiro/ecológico;
- O projeto for viável tecnicamente;
- Estiver ocorrendo uma diminuição da oferta de água ou o consumo estiver aumentando;
- A refinaria estiver esperando economizar com custos de água;
- Houver mudança na legislação;
- Existir um montante de investimento realmente economizado (água não captada, água não tratada, equipamento não comprado, etc.).

O projeto de reutilização de efluentes se justifica na REVAP, pelos motivos anteriormente descritos: ampliação da capacidade de refino com provável necessidade de ampliação da ETDI com a tarifação da água captada e efluente lançado.

Braille e Cavalcanti sugerem um roteiro para o desenvolvimento do trabalho, que foi adaptado para as necessidades brasileiras:

- 1º) Definir a quantidade e a qualidade de água necessária, considerando o consumo futuro.
- 2º) Identificar a legislação e futuros entraves na captação, se existirem.
- 3º) Elaborar um balanço de massa, identificando os principais efluentes.
- 4º) Caracterizar e medir os contaminantes, incluindo variações sazonais.
- 5º) Identificar os consumidores de efluentes, por reutilização direta, sem tratamento.
- 6º) Se for considerado o reciclo interno às unidades de processo, os contaminantes deverão ser levados em consideração. Se necessário, o método de tratamento de cada efluente deve ser definido nesta etapa.

- 7º) Avaliar as modificações necessárias na ETDI para a carga futura, sem considerar a reutilização de efluentes.
- 8º) Avaliar a redução nas modificações necessárias na ETDI, com a implantação do projeto de reutilização de efluentes, para quantificar o benefício deste projeto.
- 9º) Implantar os projetos de baixo custo.
- 10º) Efetuar análise de viabilidade econômica para a implantação de projetos de custo mais elevado, considerando o tratamento de efluentes para a sua reutilização.

## 5.2 CONSUMO ATUAL DE ÁGUA NA REVAP

A REVAP foi projetada originalmente para processar petróleo de origem árabe. No projeto original do sistema de utilidades, previa-se um consumo de 1.085,75 m<sup>3</sup>/h de água, distribuídos da seguinte forma (Petrobras, 1996):

Tabela 5.1 - Consumo projetado da REVAP		
Corrente	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	% do total
Água bruta captada	1.085,75	100,00
Água para combate a incêndios (AF)	0,0	0,00
Água para uso industrial (AD)	147,0	13,54
Água potável (AP)	12,0	1,11
Água para resfriamento (AR)	689,40	63,50
Água para caldeiras (AV)	183,9	16,94
Purgas da clarificação	5,45	0,50
Água para selo molecular das tochas	4,0	0,37
Descartes da filtração	24,0	2,21
Purgas do sistema de desmineralização	20,0	1,84

Esta vazão correspondia a um consumo específico de 108 a 144 litros de água por barril de petróleo processado.

Neste trabalho será adotada a simbologia utilizada na REVAP e apresentada na tabela 5.2

Tabela 5.2 - Simbologia adotada nos balanços de água

Simbologia	Tipo de Fluido	Qualidade
AA ou Aácidas	Água ácida	Efluente contaminado
AD	Água para uso industrial	Clarificada
AR	Água de resfriamento	Clarificada
AV	Água para geração de vapor	Desmineralizada
Catm	Condensado atmosférico	Limpo ou contaminado
C3	Condensado de baixa pressão	Desmineralizada
C16	Condensado de média pressão	Desmineralizada
C102	Condensado de alta pressão	Desmineralizada
EO ou AO	Esgoto oleoso	Efluente contaminado
EC ou AC	Esgoto contaminado	Efluente contaminado
Perdas	Perdas p/ atmosfera	Perdas p/ atmosfera
V3	Vapor de baixa pressão (3 bar)	
V16	Vapor de média pressão (17 bar)	
V30	Vapor de 30 bar	
V102	Vapor de alta pressão (102 bar)	
Vatm ou ATM	Vapor perdido para atmosfera	Perda atmosfera

A modernização e ampliação do parque de refino da REVAP (implantação de novas unidades, como desasfaltação) aumentaram a necessidade de água ao longo deste 19 anos de operação. Paralelamente, também foram implementadas diversas melhorias no processo produtivo, de forma a racionalizar o consumo de água e geração de efluentes. A parada das unidades de tratamento cáustico de GLP e tratamento DEA de gás ácido das HDT's contribuíram sobremaneira para a redução na geração de efluentes.

Um levantamento realizado ao longo do ano de 1998 e início de 1999 resultou numa vazão média de 900 m<sup>3</sup>/h de água captada, em condições normais de operação da refinaria, ou seja, quando esta opera na sua carga de referência, de 36.000 m<sup>3</sup>/h de petróleo. O perfil médio do consumo de água neste período está apresentado na tabela 5.3 a seguir:

Tabela 5.3 - Perfil do consumo atual de água na REVAP			
Corrente	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	%	% sem AF
Água bruta captada	900,00	100	100
AF	176,91	20,0	0
AD	37,21	4,0	5,0
AP	23,02	2,5	3,1
AR	457,04	51,0	64,0
AV	201,32	22,0	27,5
Purgas da ETA	4,50	0,5	0,6

Comparando a distribuição média no consumo de água, verifica-se que, como apresentado na figura 5.1, a REVAP se aproxima do consumo médio das refinarias americanas.

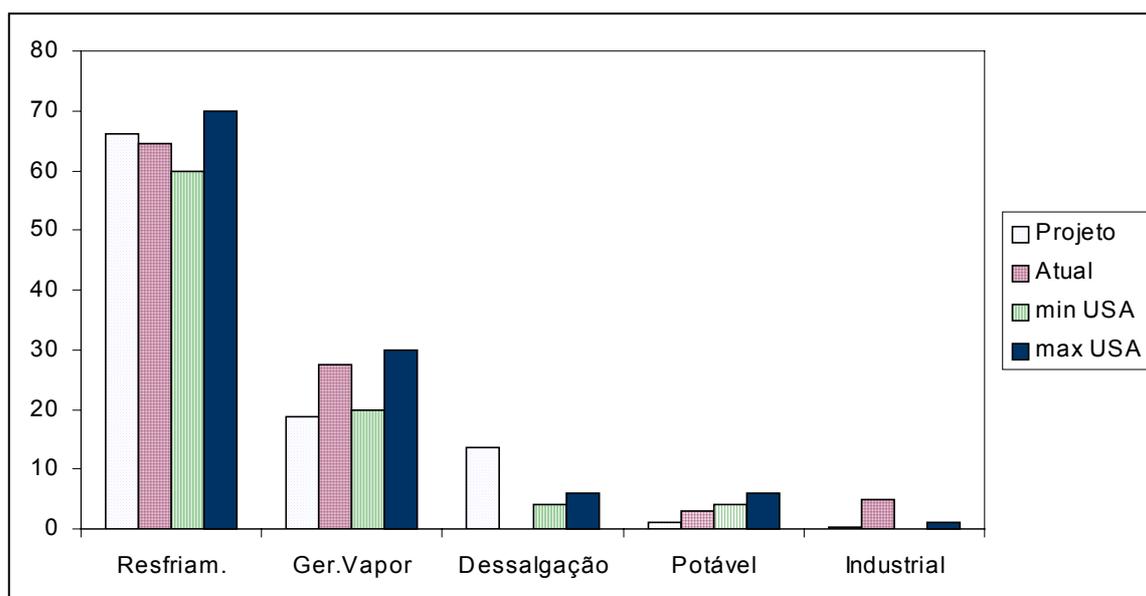


Figura 5.1- Comparação do consumo atual x projeto da REVAP x médias USA

Obs: no levantamento acima foram feitas as seguintes simplificações:

- (1) no projeto original, as purgas previstas na ETA foram incorporados ao consumo de AD.
- (2) na média da REVAP, o consumo de AF foi incorporado ao consumo de AD.
- (3) na média dos EUA, o consumo de água para dessalgadoras foi incorporado ao consumo de AD.

Comparando o consumo previsto no projeto e o atual, podemos verificar que:

- O consumo específico de água caiu de 108 a 144 para 90,7 l/barril, comprovando o esforço da refinaria na racionalização do consumo de água e o efeito da desativação da unidade de tratamento cáustico e diluição de soda.
- A reposição de água de resfriamento reduziu em mais de 50 % (de 689,4 para 457,04 m<sup>3</sup>/h), embora a capacidade de resfriamento tenha aumentado com a implantação de uma nova torre de resfriamento, em 1988. Parte da redução foi obtida pelo avanço dos métodos de tratamento da água de resfriamento, que permitem operar com maiores ciclos de concentração e menores vazões de purgas e parte pela distribuição de cargas térmicas entre as duas torres que passaram a operar com menor diferença de temperatura entre a alimentação e o retorno.
- Houve um aumento de cerca de 10 % na reposição de água desmineralizada, devido ao aumento no consumo de vapor e circulação de condensado, que passou de 125 para 160 m<sup>3</sup>/h.
- Há atualmente, um consumo de água potável muito superior à estimativa original, quase o dobro.
- Houve uma sensível redução nas purgas da Estação de Tratamento de Água. Na realidade, os valores apresentados para a situação atual são estimados em médias observadas, ao passo que o projeto original apresenta a vazão máxima. Portanto, não servem como parâmetro para comparação.
- Aparentemente houve também uma redução no consumo de AD, que poderia ser decorrente da desativação das unidades que consomem este insumo, como os sistemas de diluição de soda e de tratamento cáustico. Contudo, o consumo real deve ser bem maior, pois parte deste deve estar sendo suprido pela água de combate a incêndios (AF).
- A distribuição do consumo de água atual da REVAP não está muito diferente da média americana se não considerarmos o consumo de água para combate a incêndios.
- O consumo de água de combate a incêndios precisa ser avaliado com mais rigor, pois representa 20 % do consumo total da refinaria. Pela comparação com a média americana e mesmo com os dados de projeto da REVAP, este consumo não deveria ultrapassar 10 %, caso o AF estivesse sendo utilizado para o serviço de AD.

### 5.3 A GERAÇÃO DE EFLUENTES NA REVAP

No projeto da Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI) da REVAP foi considerada a geração de seis efluentes líquidos (Techint, 1978)

- Efluente Oleoso, composto de água contaminada no processo produtivo e de precipitações sobre a área industrial;
- Efluente Contaminado, composto de água de drenagem e lavagem de tanques e drenagem de água acumulada em bacias de contenção e tubovias;
- Efluente Cáustico, oriundo de descartes do Sistema de Tratamento Cáustico de Produtos;
- Efluente Sanitário, oriundo do sistema de esgoto sanitário dos prédios administrativos, casas de controle operacional, laboratório e restaurante;
- Efluente gerado pela regeneração das resinas do sistema de desmineralização de água para caldeira;
- Efluente gerado na Estação de Tratamento (ETA) de Água da refinaria (retrolavagem de filtros e espuma dos clarifloculadores).
- Os efluentes pluviais limpos e contaminados são coletados e conduzidos a ETDI por canais abertos, enquanto os demais são conduzidos por tubulações.

A estimativa de efluente gerados, obtido pelo balanço de águas da REVAP efetuada pela SNAM Progetti – empresa responsável pelo projeto da refinaria, foi a seguinte:

Tabela 5.4 - Dados de projeto da ETDI da REVAP		
EFLUENTE GERADO	ORIGEM	VAZÃO m <sup>3</sup> /h
Efluente contaminado	Selo molecular da tocha	4,0
	Efluente da contralavagem dos filtros	24,0
	Purgas do clarificador	5,43
Total = 108,46 m <sup>3</sup> /h	Drenagens e água de chuva contaminada	58,0
Efluente oleoso	Plantas de processo	64,70
	Central termelétrica	15,4
Total = 104,39 m <sup>3</sup> /h	Utilidades e off-site	24,29
Efluente cáustico	Plantas de processo	144,52
Efluente sanitário	Esgoto sanitário e lavagem de área	58,0
TOTAL		415,37

Fonte: Snam Progetti

Posteriormente, estes dados foram revisados, face às modificações no esquema de refino da REVAP. Os dados utilizados pela TECHINT/ACQUA no dimensionamento da Estação de Tratamentos de Despejos Industriais (ETDI), foram:

Tabela 5.5 - Dados de projeto da ETDI da REVAP - TECHINT		
Efluente Gerado	Origem	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Efluente Cáustico	Plantas de processo	45,9
Efluente Oleoso	Plantas de processo e central termelétrica	293,0
Efluente contaminado	Plantas de processo e central termelétrica	110,6
Efluente sanitário	Esgoto sanitário gerado na refinaria	50,0
Lodo para decantador	Efluente da regeneração da desmi	5,0
Efluente oleoso	Precipitação nas plantas de processo <sup>(1)</sup>	60,0
Efluente contaminado	Precipitação nas áreas contaminadas <sup>(2)</sup>	60,0
TOTAL	Considerando fator de segurança <sup>(3)</sup>	705,8

<sup>(1)</sup> Considerando que todo o volume gerado pela precipitação crítica nas plantas de processo será acumulado numa bacia pulmão e posteriormente tratado (18.000 m<sup>3</sup>)

<sup>(2)</sup> Considerando que o volume gerado em uma hora de precipitação será acumulado numa bacia pulmão e posteriormente tratado (18.000 m<sup>3</sup>)

<sup>(3)</sup> Considerando um fator de segurança de 16 % para as vazões de efluentes e 120m<sup>3</sup>/h para o abaixamento das bacias pulmão.

No projeto da ETDI, a TECHINT considerou uma geração total de 504,5 m<sup>3</sup>/h de efluente a ser tratado, desconsiderando o fator de segurança. Isso corresponde a uma taxa de 50.83 lts de efluente por barril de crú processado, dentro da média americana.

Para poder analisar os principais pontos de perda de água e geração de efluentes, foi necessário efetuar um balanço de água em cada uma das unidades de processo da REVAP, detalhando o consumo de cada equipamento.

Para este detalhamento, foram utilizados os valores médios do período de 01/01/99 a 30/06/99, pois não havia dados suficientes no sistema de aquisição de dados (Plant Information – PI) em períodos anteriores.

As figuras 5.2 a 5.8 apresentam o fechamento do balanço de água na REVAP no período acima descrito, para cada unidade operacional:

- U-210 – Unidade de destilação atmosférica e a vácuo;
- U-272/292 – Unidades de hidrotreatamento de Nafta, Querosene e Óleo Diesel e unidade de geração de hidrogênio;
- U-274 – Unidade de desasfaltação a propano;
- U-220 – Unidade de craqueamento catalítico fluído;
- CAFOR – Central termoelétrica da refinaria
- SETRAE – Setor de transferência e estocagem – armazenamento de matéria prima e produtos acabados;
- MTBE - Unidade de produção de metil-terc-butil-éter, aditivo de gasolina para exportação.

Nestas figuras, a seguinte notação foi adotada:

- Diagrama de blocos, indicando os consumidores, agrupados por tipo de água (ou vapor) consumido e tipo de efluente gerado;
- Os tipos de água foram identificados seguindo a simbologia apresentada:

A tabela 5.6 apresenta a nomenclatura que foi adotada para identificar os principais equipamentos consumidores de vapor e água (consumos em m<sup>3</sup>/h):

Tabela 5.6- Simbologia adotada para identificar os consumidores de água				
Símb	Equipamento	Consome	Produz	Serviço do fluído
AR	Analisador	Vapor	Perdas p/ atm	Aquecimento de amostras
B	Bomba	Vapor	Vapor	Acionamento de turbinas
C	Compressor	Vapor	Vapor	Acionamento de turbinas
E	Ejetor	Vapor	Água ácida	Fluído motriz
F	Forno	Vapor	Perda p/ atm	Ramonagem, descoqueamento e atomização do combustível.
P	Permutador	Vapor	Condensado	Aquecimento do fluído
P	Permutador	AV	Vapor	Recuperação de calor, gerando vapor.
T	Torre	Vapor	Água ácida	Vapor de retificação
T	Torre	Vapor	Condensado	Aquecimento
TB	Turbina	Vapor	Vapor	Acionamento
TQ	Tanque	Vapor	Condensado	Aquecimento por serpentinas
V	Vaso	Vapor	Condensado	Aquecimento
V	Vaso	AV	Vapor	Recuperação de calor, gerando vapor
V	Vaso	Vapor	Condensado e Vapor	Vasos de despressurização para recuperação de condensado



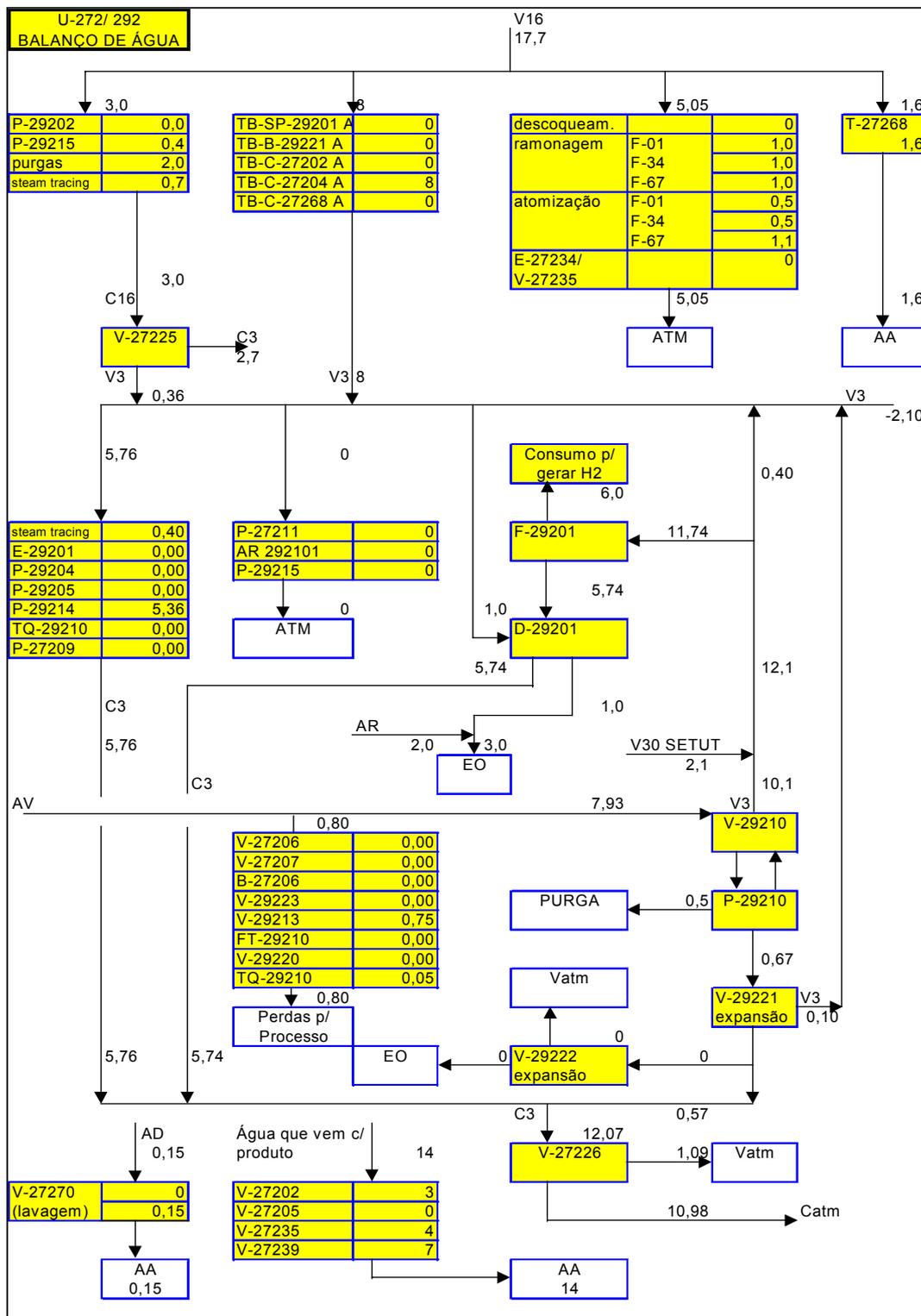


Figura 5.3 - Balanço de água nas unidades de hidrotreatamento e geração de hidrogênio



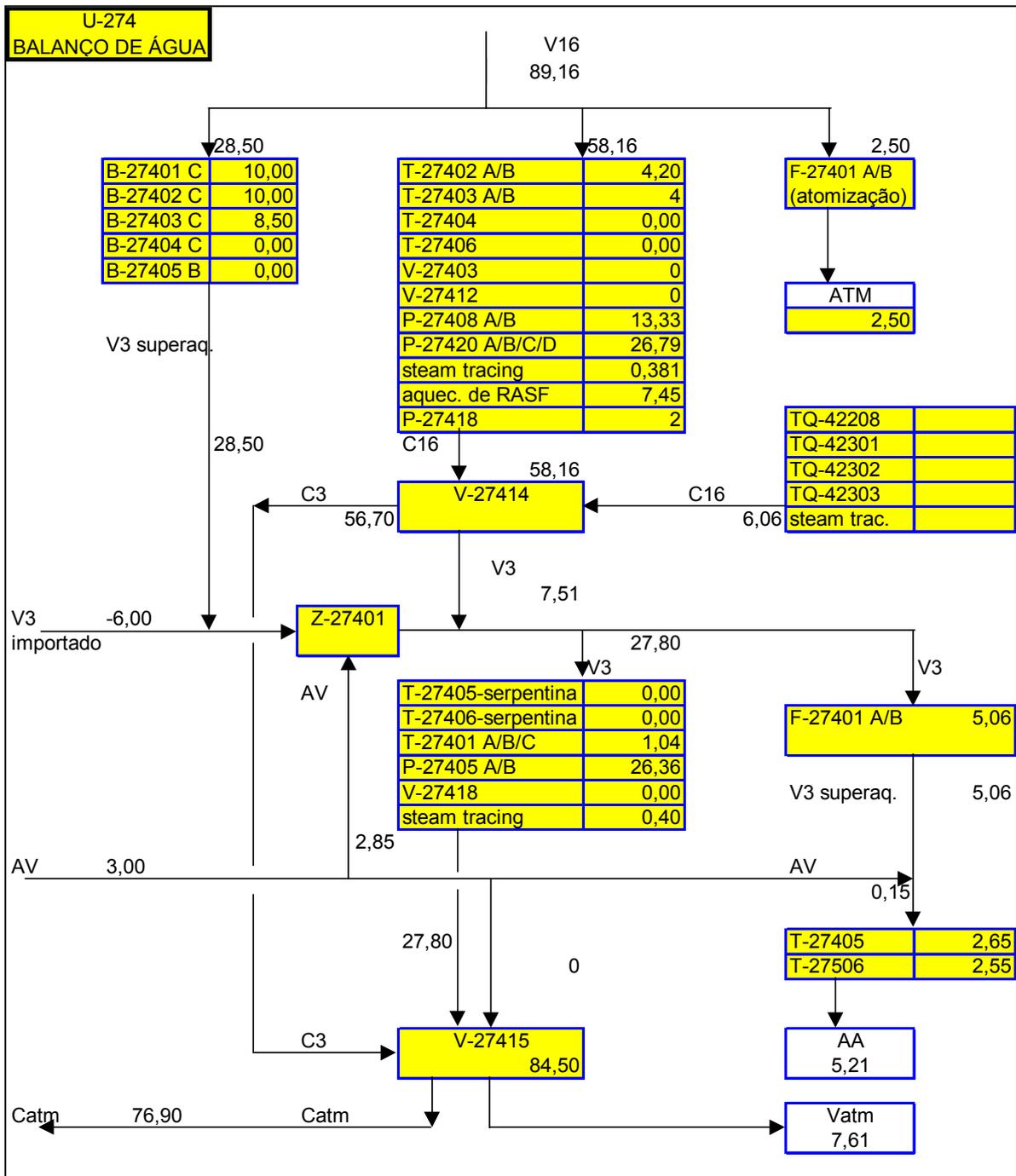


Figura 5.5 - Balanço de água na unidade de desasfaltação a propano

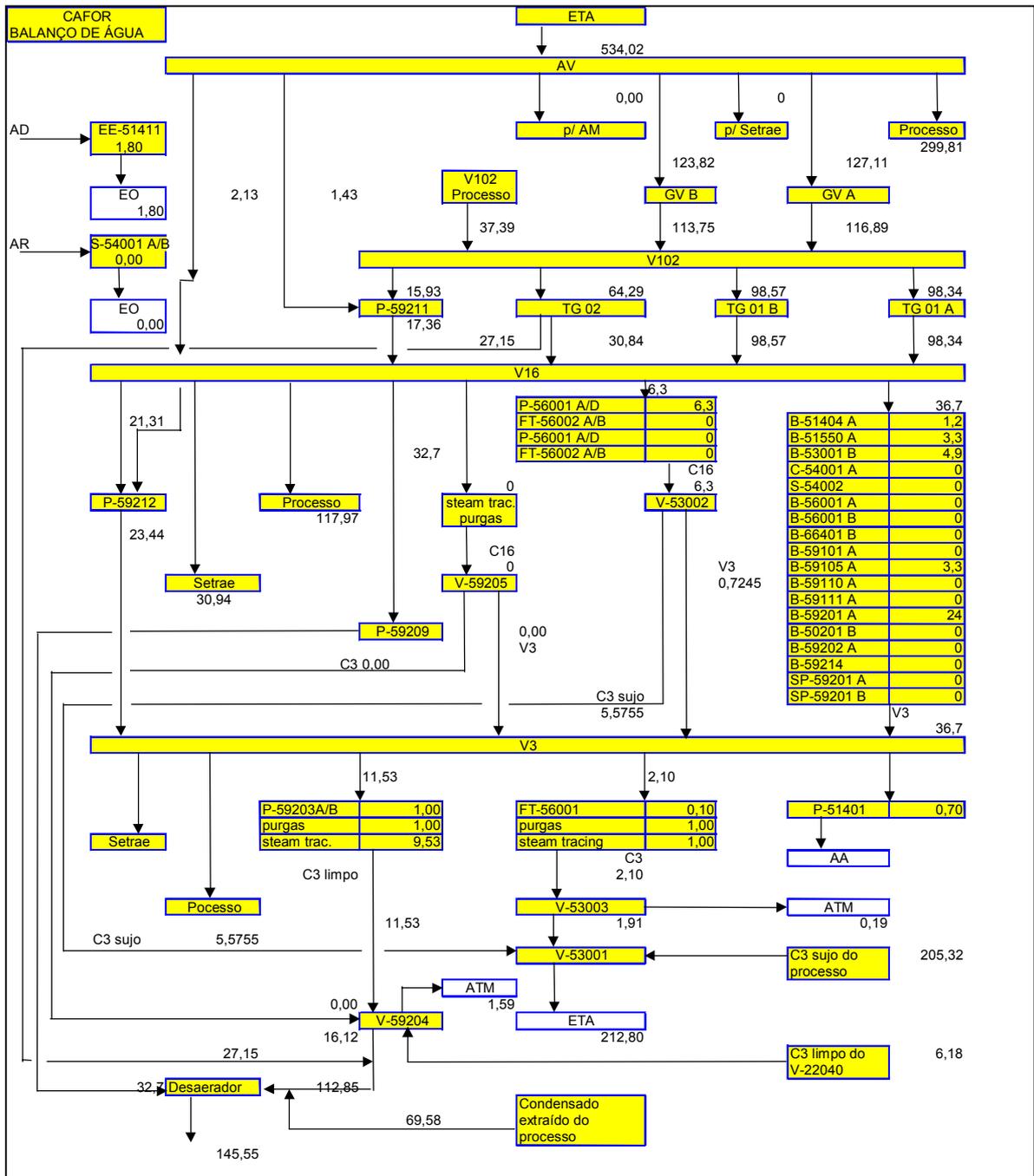


Figura 5.6 - Balanço de água na Central Termelétrica

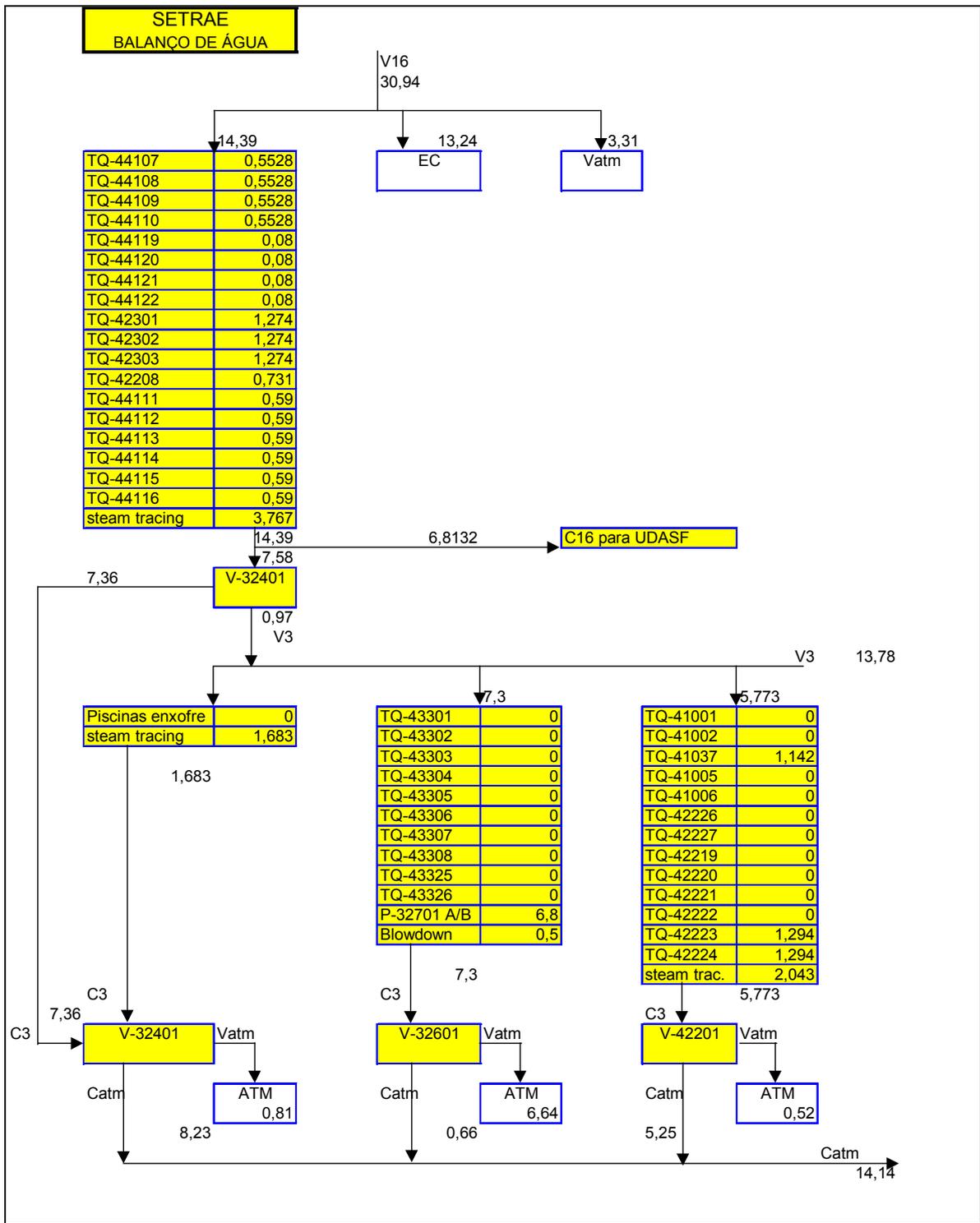


Figura 5.7 - Balanço de água na área de transferência e estocagem de produtos e matérias primas (Fonte: REVAP)

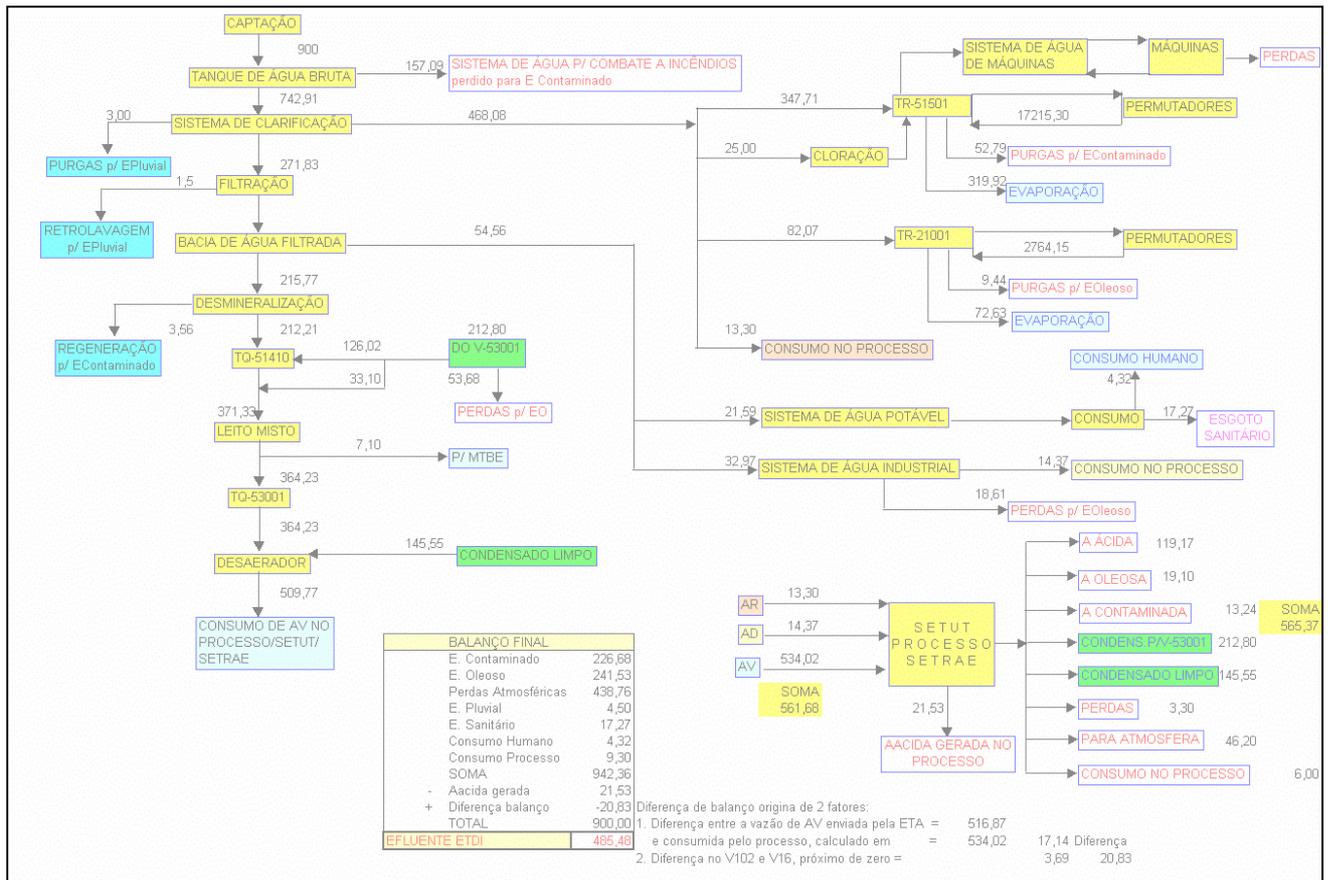


Figura 5.8 - Balanço global de água na REVAP

Se forem agrupados os consumos de todas as unidades por tipo de água consumido e por tipo de efluente gerado, obtém-se o perfil apresentado na tabela 5.7 a seguir:

Tabela 5.7 - Relação entre o consumo de água e a geração de efluentes na REVAP			
Consumo de água		Destino da água	
Tipo	Vazão m <sup>3</sup> /h	Tipo	Vazão m <sup>3</sup> /h
(AB)	900,00		
(AR)	468,08	Evaporação	392,55
		Purga TR-21001 p/EO	9,44
		Purga TR-51501 p/ EC	52,79
		Consumo processo p/ EO	13,30
(AV)	212,21	Expansão de condensado	46,34

Tabela 5.7 - Relação entre o consumo de água e a geração de efluentes na REVAP (cont.).

		Perdas condens.p/EO	38,03
		Perdas condens.SETRAE	13,24
		Consumo no processo	6,0
(AF)	157,09	Esgoto contaminado	157,09
(AD)	32,97	Perdas p/ EO	18,60
		Processo p/ EO	3,80
		Processo p/ AA	10,57
(AP)	21,59	E.Sanitário	17,27
		Consumo	4,5
Purgas da Clarificação	3,00	E.Contaminado	3,0
Purgas da Filtração	1,5	E.Contaminado	1,5
Regener. desmineralização	3,55	E.Contaminado	3,55

Agrupando de outra forma os dados do balanço de água apresentado anteriormente, podemos identificar a geração de efluentes na REVAP, por fonte:

Tabela 5.8 - Geração de efluentes na REVAP

Fonte	Vazão m <sup>3</sup> /h	%
Purgas das torres de resfriamento	62,23	13,3
Perdas de condensado no processo	51,27	10,9
Geração de água ácida no processo <sup>(1)</sup>	140,70	30,1
Água para dessalgação de petróleo <sup>(2)</sup>	0,0	0,0
Purgas das caldeiras de vapor	3,55	0,7
Purgas da ETA <sup>(3)</sup>	4,5	0,0
Perdas de água de combate a incêndios	157,09	33,6
Perdas de água para uso industrial	18,61	4,0
Esgoto sanitário gerado <sup>(5)</sup>	17,27	3,7
Outros efluentes <sup>(4)</sup>	17,10	3,7
TOTAL	467,82	100,0

(1) Está incluída a vazão de água ácida gerada no processo de hidrotratamento.

(2) Não há consumo de água para dessalgação, uma vez que é utilizada a própria água retificada (água ácida tratada) para este serviço.

(3) As purgas da ETA são descartadas para esgoto pluvial, não passando pela ETDI.

(4) Incluem-se neste item as águas consumidas no processo, que não geram água ácida, mas geram efluentes contaminados, bem como as regenerações do sistema de desmineralização.

(5) Vazão estimada, a partir do balanço de consumo de água potável.

Pode-se verificar que.

- Atualmente há uma perda de 51,27 m<sup>3</sup>/h de condensado recuperável para os sistemas de esgoto oleoso e contaminados, devido à limitação de escoamento do condensado gerado nos processos da REVAP;
- Há uma geração de 62,23 m<sup>3</sup>/h de esgotos oleoso e contaminado devido às purgas das torres de água de resfriamento, que poderiam ser reutilizados;
- A geração média de efluentes na REVAP, de 467,8 m<sup>3</sup>/h de vazão seca, isto é, sem a incorporação das precipitações pluviométricas, corresponde a uma geração específica de 47,16 l/barril de crú processado, portanto dentro da média americana e inferior ao consumo específico previsto no projeto.

Se for agrupado o consumo atual de água na REVAP por qualidade, tem-se as seguintes vazões de operação na ETA:

Processo	Capacidade (m <sup>3</sup> /h)
Captação e adução de água bruta	900,0
Clarificação de água bruta	742,9
Filtração em filtro de areia	271,8
Filtração em filtro de carvão ativado	54,6
Potabilização	21,6
Desmineralização	215,8
Polimento de condensado recuperado	212,8

Estas vazões mostram que a ETA da REVAP está operando abaixo de sua capacidade de projeto, como é observado no dia-a-dia da refinaria. Geralmente, a ETA comporta bem as variações na qualidade da água bruta, sem que haja flutuações na qualidade de seu produto.

Contudo, face às ampliações previstas na refinaria, faz-se necessário avaliar a ETA para os futuros consumos previstos.

#### 5.4 O CONSUMO FUTURO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES NA REVAP

O Plano Diretor de Refino da REVAP (PDR) prevê novas unidades e ampliação nas existentes no quinquênio 2001-2005, que impactarão no consumo de utilidades da refinaria, levando à necessidade de ampliação do sistema de geração de utilidades. Segundo a Petrobras estão sendo previstas as seguintes alterações na demanda de utilidades e geração de efluentes:

- Instalação de nova torre de água de resfriamento, com carga térmica estimada em 64,1 MMkcal/h, o que corresponde a uma perda por evaporação em torno de 100 m<sup>3</sup>/h e pelas purgas de 30,0 m<sup>3</sup>/h;
- Instalação de uma caldeira recuperadora de calor, com capacidade para gerar 130 t/h de vapor de alta pressão, que corresponde a um aumento na capacidade de tratamento de condensado de 45 m<sup>3</sup>/h e purga de 0,6 m<sup>3</sup>/h;
- Disponibilização de 125 m<sup>3</sup>/h de água clarificada para terceiros, que deverá gerar os seguintes efluentes a serem tratados na ETDI da REVAP: 40,0 m<sup>3</sup>/h de efluente contaminado, 38,0 m<sup>3</sup>/h de efluente oleoso, 3,2 m<sup>3</sup>/h de purga da caldeira;
- Aumento de 90 m<sup>3</sup>/h na demanda de água clarificada para reposição nas atuais torres de resfriamento, devido ao aumento de carga térmica gerada pela ampliação das unidades existentes, com uma previsão de geração de 15,0 m<sup>3</sup>/h de efluente devido ao aumento de purgas;
- Disponibilização de 240 m<sup>3</sup>/h de água clarificada para novas unidades em estudo;
- Aumento de 45 m<sup>3</sup>/h no consumo de água desmineralizada e de 26,6 m<sup>3</sup>/h na geração de água ácida devido à ampliação das unidades existentes.

A tabela 5.10 a seguir apresenta um resumo do impacto do PDR no consumo de água da REVAP:

Projeto	Utilidade consumida	Consumo	Geração de efluente para ETDI
Propeno	Água p/ resfriamento	130 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h (purga da torre)
Propeno	Água desmineralizada	45 m <sup>3</sup> /h	0,6 m <sup>3</sup> /h (purga da caldeira)
Parceria c/ terceiros	Água clarificada	125 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h (efluentes gerados) 41,2 m <sup>3</sup> /h (purgas)
Coque	Água clarificada	240 m <sup>3</sup> /h	Sem definição
Ampliações	Água desmineralizada	45 m <sup>3</sup> /h	26,6 m <sup>3</sup> /h (água ácida)
Ampliações	Água p/ resfriamento	90 m <sup>3</sup> /h	15 m <sup>3</sup> /h (purga da torre)
Total		675 m <sup>3</sup> /h*	153,4 m <sup>3</sup> /h

\*aumento total no consumo de água clarificada

Os aumentos nos consumos acima implicam no aumento em 675 m<sup>3</sup>/h na capacidade de captação de água bruta e tratamento de água clarificada, 310 m<sup>3</sup>/h na filtração, 90 m<sup>3</sup>/h na desmineralização e 130 m<sup>3</sup>/h na circulação e polimento de condensado recuperado.

#### 5.4 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Pode-se constatar um aumento de mais de 70 % no consumo de água bruta, que poderá levar à necessidade de ampliações nos sistemas de captação e adução de água bruta, filtração e clarificação de água, além de mais um sistema de desmineralização de água filtrada. As novas capacidades da estação de tratamento de água da REVAP deverão ser:

Processo	Capacidade projeto, m <sup>3</sup> /h	Vazão atual m <sup>3</sup> /h	Vazões c/ ampliações, m <sup>3</sup> /h
Captação e adução de água bruta	2.000	900,0	1.575,0
Clarificação de água bruta	1.600	742,9	1.417,9
Filtração em filtro de areia	800	271,8	581,8
Filtração em filtro de carvão ativado	150	54,6	54,6
Potabilização	150	21,6	21,6
Desmineralização (operam 2 de 3)	260	212,2	302,2

Verifica-se que será necessário ampliar somente o sistema de desmineralização para atender à demanda futura.

Foram avaliadas seis rotas para a ampliação do sistema de desmineralização da REVAP:

- Instalação de mais uma bateria de desmineralização e automação das existentes;
- Ampliação e reforma das três baterias existentes, através de um "retrofit", alterando o processo de desmineralização em leito fixo para leito fluidizado;
- Instalação de uma cadeia complementar com osmose reversa;
- Substituição de todas as cadeias de desmineralização por osmose reversa.
- Contratação de serviços de tratamento de água (somente a desmineralização) por terceiros, complementando a vazão requerida;
- Contratação de serviços de tratamento de água (somente a desmineralização) por terceiros, substituindo todas as cadeias existentes.

Para cada alternativa acima, foram levantados os custos de investimento e operacional, a partir de dados obtidos junto aos fornecedores. A tabela 5-12 a seguir apresenta um resumo dos resultados:

Tabela 5.12 - Alternativas para o aumento da capacidade de desmineralização de água		
Alternativa	Investimento, US\$ mil.	C.operacional <sup>(1)</sup> , US\$ mil/ano.
1. Instalação de 4ª cadeia de resina de troca iônica e automação do sistema	792,00	341,23
2. "Retrofit" nas 3 cadeias existentes	1.800,00	351,45
3. Instalação de uma cadeia de osmose reversa complementar e automação do sistema existente	2.500,00	385,20
4. Substituição de todo o sistema por osmose reversa	6.200,00	445,41
5. Contratação de serviços para tratar a vazão adicional, e automação do sistema existente.	180,00	400,00
6. Contratação de serviços para suprir toda a água desmineralizada	0,00	514,00

Fonte: Petrobras

Os custos operacionais referem-se aos custos de mão de obra, consumo de produtos químicos e energia elétrica, e reposição de cartuchos, no caso da osmose reversa.

Todos estes investimentos tornam viável o estudo de rotas para a reutilização de efluentes, que poderão evitar a necessidade de investimento ou aumento no custo operacional da Estação de Tratamento de Água (ETA) da refinaria.

## 5.6 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS PARA A ETDI

Se forem agrupados todos os efluentes calculados no balanço hídrico anteriormente apresentado por tipo, tem-se o seguinte perfil de geração de efluentes:

Tipo de efluente	Vazão média, m <sup>3</sup> /h
Efluente contaminado	226,68
Efluente oleoso *	223,87
Esgoto sanitário	17,27
TOTAL	467,82

\* Inclui a geração de água ácida no processo, 21,53 m<sup>3</sup>/h

Este perfil aproxima-se dos dados utilizados pela TECHINT no dimensionamento da ETDI da REVAP e indicam, a princípio, que a REVAP está numa condição favorável de operação.

Contudo, no levantamento acima, não estão consideradas duas outras parcelas importantes na vazão e qualidade do efluente para a ETDI: a contribuição das precipitações pluviométricas e a contribuição do efluente gerado pelas drenagens de água em tanques de petróleo e derivado.

Os tanques de petróleo e alguns derivados acumulam água no seu fundo, sendo necessária a sua drenagem antes do transporte do petróleo. Esta drenagem é centralizada no TQ-41008, que recebe todas as interfaces líquidas de tanques. Por armazenar água contaminada, este tanque é drenado cuidadosamente para a ETDI, com uma vazão controlada em 600 m<sup>3</sup>/d ou 25 m<sup>3</sup>/h, para evitar cargas-choque à estação.

Para se avaliar a contribuição das precipitações pluviométricas na geração de efluentes da REVAP, foi realizado um levantamento dos índices pluviométricos ao

longo do ano de 1998, que resultaram numa precipitação horária média de 0,151 mm/h(IPE, 1983).

O projeto original da ETDI da REVAP contemplou uma capacidade adicional de tratamento de 120 m<sup>3</sup>/h de efluente gerado pela precipitação pluviométrica, sendo 60 m<sup>3</sup>/h de efluente oleoso e 60 m<sup>3</sup>/h de efluente contaminado, oriundos de bacias pulmão. As bacias pulmão possuem capacidade para armazenar até 36.000 m<sup>3</sup> de efluente contaminado e oleoso.

Estas bacias foram dimensionadas para as seguintes situações:

Bacia pulmão de efluente oleoso: todo o volume de efluente oleoso gerado durante a precipitação é segregado nesta bacia, para posterior tratamento na ETDI.

Bacia de efluente contaminado: o volume de efluente contaminado gerado durante a primeira hora de precipitação é suficiente para a limpeza do sistema. Deste modo, este volume será segregado na bacia pulmão, para posterior tratamento na ETDI, e o restante da vazão, até o final da precipitação, é totalmente desviado para o corpo receptor.

Estas premissas, válidas na época da implantação da refinaria, não são mais aceitáveis, devido a uma série de fatores, abaixo descritas:

- Os valores adotados para o coeficiente de impermeabilização do solo (fator de descarga) foram subestimados. Levantamentos efetuados durante a implantação de um *landfarming* mostraram que o solo apresenta baixa permeabilidade, o que implica em maiores fatores de descarga, e, por consequência, maior geração de efluentes pelas precipitações pluviométricas, principalmente efluente oleoso;
- As áreas consideradas para o cálculo de geração de efluentes não são mais válidas, pois o projeto da ETDI não avaliou a área referente à base de abastecimento (TEVAP), além de subestimar as áreas das unidades de processo da refinaria, geradoras de efluentes oleosos e contaminados, como mostrado na tabela 6.14 a seguir:

Tabela 5.14 - Áreas expostas às chuvas, geradoras de efluentes p/ ETDI <sup>(1)</sup>				
Área exposta	Projeto original		Situação atual	
	Tipo de efluente gerado	Área, m <sup>2</sup>	F.r. <sup>(2)</sup>	Área, m <sup>2</sup>
Efluente Oleoso	50.000	0,90	87.964	1,00
Efluente Contaminado <sup>(3)</sup>	620.640	0,49	1.165.920	0,45

(1) Para maiores detalhes, ver a referência

(2) F.R. = fator de run-off médio.

(3) Não está sendo considerada a área referente às bacias de contenção de tanques de petróleo e derivados. Estas devem permanecer sempre fechadas.

Atualmente, a prática da refinaria têm sido a de acumular todo o volume de efluente contaminado gerado durante as precipitações pluviométricas, até o total enchimento das bacias pulmão. Somente após o enchimento dessas bacias, o efluente é desviado para o corpo receptor, garantindo-se assim, a não contaminação do mesmo.

Se for considerado a precipitação média de 1998, de 0,151 mm/h, ela é responsável pela geração de 85,18 m<sup>3</sup>/h de efluente contaminado; 13,29 m<sup>3</sup>/h de efluente oleoso; e 190 m<sup>3</sup>/h de efluente pluvial limpo, utilizando-se as áreas e fatores de drenagens atuais, por (Instituto de Pesquisas Espaciais).

Totalizando as contribuições citadas anteriormente, chega-se a uma geração média de efluentes para a ETDI de 591,29 m<sup>3</sup>/h, portanto abaixo da vazão de projeto da mesma, de 705,0 m<sup>3</sup>/h.

Se considerar, também, a geração futura de efluentes, prevista em 153,4 m<sup>3</sup>/h, a vazão total será de 744,69 m<sup>3</sup>/h. Neste caso, seriam necessários investimentos para a ampliação da ETDI.

A simples ampliação na capacidade de tratamento, de 705 para 745 m<sup>3</sup>/h, entretanto, não será suficiente. A ETDI só poderá operar com esta vazão média se estiver dotada de uma bacia pulmão para acumular todo o efluente contaminado gerado durante as precipitações.

Uma simulação horária efetuada com os dados pluviométricos de 1998<sup>1</sup> permitiu visualizar as situações em que ocorreriam os totais enchimentos das bacias pulmão, levando à necessidade de envio do restante de efluente contaminado para o corpo receptor. Nesta simulação, a vazão de efluente gerado no processo e drenagens de tanques foi considerada constante.

Considerando as folgas e o volume de bacias pulmão atuais, a simulação mostrou que, do volume total de efluentes oleoso e contaminado gerado em 1998, em média, 83,0 % foi alimentado à ETDI e o restante, 17 % foi desviado para o corpo receptor, após o enchimento das bacias pulmão, durante a ocorrência de precipitações críticas.

Considerando-se diferentes capacidades de tratamento na ETDI e diferentes volumes nas bacias pulmão, foi possível identificar qual o volume mínimo necessário nas bacias pulmão para acumular o efluente gerado pelas precipitações, e ao mesmo tempo, qual a folga mínima requerida na carga da ETDI para permitir o esvaziamento das mesmas.

Os resultados, apresentados na tabela 6.15 a seguir, mostram que seria necessário aumentar significativamente a folga de vazão na ETDI ou o volume das bacias pulmão. A frequência de ocorrência de chuvas na região do vale do Paraíba é tão intensa que, nos períodos de chuva, pode-se ter até 15 dias ou mais de chuva contínua, impossibilitando o esvaziamento das bacias pulmão se a ETDI não possuir a folga de vazão adequada.

Tabela 5.15 - Simulações da operação das bacias pulmão - resultados

Folga de vazão na ETDI	Capacidade das bacias pulmão	N ° de horas com desvio aberto	N ° de dias com desvio aberto
100	36.000	133	30
200	36.000	19	3
300	36.000	6	2
400	36.000	4	1
500	36.000	3	1
600	36.000	3	0
100	50.000	114	28
100	60.000	103	25
200	50.000	3	1
200	50.000	0	0
300	50.000	0	0

Pelos resultados da simulação, seria necessário dotar a ETDI de uma folga de capacidade de 200 m<sup>3</sup>/h, e de bacias pulmão com capacidade total para acumular até 50.000 m<sup>3</sup> de efluente contaminado.

Isso resulta na necessidade de se ampliar à capacidade de tratamento da ETDI de 692,82 m<sup>3</sup>/h para 705m<sup>3</sup>/h para a condição atual ou 846,49 m<sup>3</sup>/h para a condição futura. Será necessário aumentar também o volume das bacias pulmão de 36.000 para 50.000 m<sup>3</sup>.

Uma ampliação deste porte na ETDI certamente teria custos elevadíssimos, justificando a implantação de medidas de redução na geração de efluentes.

## **CAPÍTULO VI**

### **POTENCIAL DE RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA NA REVAP**

#### **6.1 REDUÇÃO DO DESPERDÍCIO DE ÁGUA**

No balanço de águas efetuado, verificou-se que os principais consumidores de água na refinaria correspondem à reposição de água de resfriamento e água para geração de vapor; por outro lado, constatou-se um consumo expressivo de água para combate a incêndio e água potável. Em qualquer trabalho de redução de consumo de água, deve-se inicialmente, reduzir os pontos de consumo, ou aqueles que apresentam um consumo acima do esperado. Deste modo, avaliou-se inicialmente o consumo de água para o combate a incêndios, potável e sistema de retorno de condensado da REVAP, que são os sistemas onde o balanço de águas identificou um consumo acima do esperado segundo (Petrobras, 1996).

##### **6.1.1 O CONSUMO DE ÁGUA DE COMBATE A INCÊNDIOS**

O consumo de água de combate a incêndios, expressivo no balanço de águas da REVAP, é decorrente da utilização indiscriminada deste recurso para os mais diversos serviços, tais como para a limpeza de equipamentos e pisos e para testes hidrostáticos em equipamentos. Uma parcela do consumo levantado deve-se também aos erros de medição da vazão de água bruta descritos anteriormente.

- Água para a lavagem de pisos da área industrial:

Foi efetuada uma medição da vazão de água de combate a incêndios (AF) consumida durante uma lavagem de piso na Unidade de Desasfaltação a propano, em 04/03/99. Usualmente, esta lavagem é efetuada uma vez por dia, utilizando-se água de hidrante conectada em mangote de 3/4", durante cerca de quatro horas. A vazão levantada na ocasião foi de cerca de 5,0 m<sup>3</sup>/h. Considerando que é adotado o mesmo procedimento nas demais unidades de processo, e que a vazão de lavagem

seja proporcional à área de cada unidade, pode-se esperar o seguinte consumo de água na lavagem de pisos:

Unidade	Área, m <sup>2</sup> <sup>(1)</sup>	Consumo, m <sup>3</sup> /h
Destilação	18.900	16,6
Craqueamento	22.900	20,0
Hidrotratamento	11.400	10,0
Desasfaltação	5.700	5,0
M.T.B.E.	2.500	2,2

<sup>(1)</sup>áreas aproximadas, somente para cálculo do consumo

O consumo total estimado é de cerca de 54 m<sup>3</sup>/h durante as 4 horas de lavagem, o que representa um consumo médio de 216 m<sup>3</sup>/dia ou 9 m<sup>3</sup>/h.

- Água para o deslocamento de efluentes nos canais de drenagem.
- A água para o combate a incêndios também é utilizada de forma indiscriminada para o deslocamento de efluentes oleosos gerados nas oficinas mecânicas e no laboratório da refinaria.
- Estes efluentes são lançados nos canais de água contaminada, através de tubulações sem a devida declividade para possibilitar o seu escoamento.
- Desta forma, faz-se necessária a utilização de água para o seu deslocamento, através da abertura contínua de uma mangueira de 1". Uma estimativa inicial indicou uma vazão média de 7,0 m<sup>3</sup>/h.
- Água para a lavagem de feixes de permutadores: A água para o combate a incêndios é utilizada também para a lavagem de feixes de permutadores. Geralmente são utilizados dois mangotes de 1" para este serviço, pressurizados por uma bomba. A vazão estimada é de cerca de 7,0 m<sup>3</sup>/h por mangote, durante um período diário de 8 horas, o que representa 112 m<sup>3</sup>/dia em média.
- Todo o efluente gerado é coletado e encaminhado para a ETDI.
- Água para testes hidrostáticos e liberação de equipamentos:

- Para possibilitar a realização de trabalhos de manutenção nos equipamentos da área industrial da refinaria com segurança, estes são lavados com água do sistema de combate a incêndios, com a geração de grandes volumes de efluentes contaminados para a ETDI.
- Geralmente estas liberações estão relacionadas com paradas programadas de unidades de processo para manutenção. Ao longo do ano de 1998, ocorreu uma parada programada para manutenção na unidade de craqueamento catalítico. Foi efetuada uma totalização dos volumes de todos os equipamentos liberados nesta ocasião, resultando em uma estimativa de volume total de água gasto nestas liberações, em 33.500 m<sup>3</sup>.
- Este volume representou, em média, um consumo de 3,8 m<sup>3</sup>/h/ano.
- Água para a reposição do lago de peixes
- É utilizada uma reposição contínua de água nos lagos de peixes e aves nativas da região existentes na ETDI da REVAP. Esta reposição é efetuada com água para o combate a incêndios, com um mangote de ¾ “, com um consumo médio de 4,5 m<sup>3</sup>/h.
- Água para a contenção de espumas nos tanques de aeração da ETDI
- Eventualmente, há a ocorrência de formação de espumas nos tanques de aeração da ETDI, que são combatidas através da aplicação de jatos de água sobre os tanques. Estes jatos são aplicados por dois mangotes de 1”, com vazão média estimada de 7,0 m<sup>3</sup>/h cada um, durante 5 meses ao ano, o que totaliza um consumo médio anual de 2,9 m<sup>3</sup>/h.
- A vazão total calculada pelas médias anteriores leva a um consumo médio anual de 101,3 m<sup>3</sup>/h de água de combate à incêndio. Este consumo pode ser eliminado em alguns casos, ou substituído em outros. A tabela 6-2 apresenta as alternativas para a redução de seu consumo, em cada um dos casos levantados:

Tabela 6.2 - Alternativas para o consumo de AF

Utilização	Consumo (m <sup>3</sup> /h)	Alternativa
Lavagem de pisos	9,0	Substituir por efluente tratado da ETDI
Deslocamento de efluentes	7,0	Instalar poço de acúmulo e bomba para recalcar os efluentes para o canal de efluente contaminado

Tabela 6.2 - Alternativas para o consumo de AF(cont.)		
Lavagem de feixe de permutadores	74,0	Substituir por efluente tratado da ETDI
Testes hidrostáticos	3,8	Substituir por efluente tratado da ETDI
Reposição do lago de peixes	4,5	Manter
Tanque de aeração da ETDI	3,0	Utilizar efluente tratado da ETDI

Para viabilizar a utilização do efluente do ETDI nos serviços acima, será necessário implantar um tanque pulmão de acúmulo (ou “sump”) e um sistema de bombeio e pressurização para os consumidores previstos. Como o consumo total estimado será de 126 m<sup>3</sup>/h, não haverá problemas de abastecimento.

A figura 6.1 apresenta um esquema do sistema proposto. Este sistema prevê a construção de um “sump”, com o excedente da vazão de efluente extravasando para o corpo receptor, e uma bomba mantendo pressurizada uma linha de alimentação dos consumidores previstos. Deve ser prevista também uma linha de recirculação para garantir a vazão mínima da bomba.

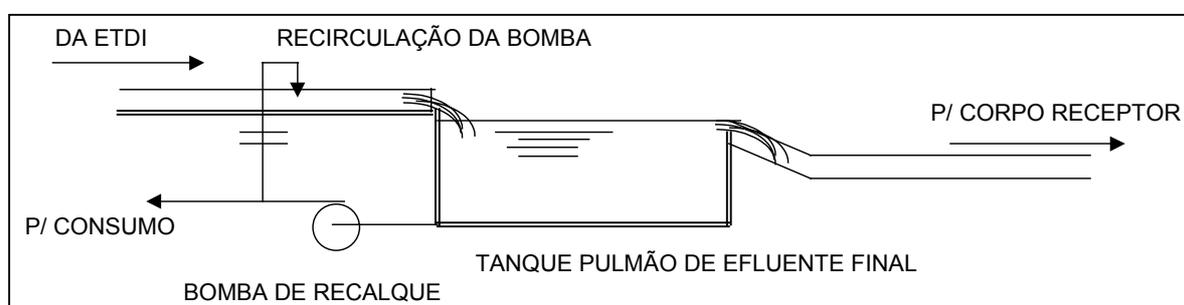


Figura 6.1 - "Sump" para a reutilização do efluente tratado da ETDI

Considerando-se um tanque pulmão com capacidade para 300 m<sup>3</sup> e duas bombas com capacidade para 100 m<sup>3</sup>/h e pressão de recalque de 15 kgf/cm<sup>2</sup>, ou 125 HP de potência também será necessário prever também uma tubulação de distribuição do efluente, com diâmetro estimado de 6", e comprimento médio de 3.500 metros.

A estimativa de custos para este sistema está detalhada a seguir:

Tabela 6.3 - Estimativa de custos para a reutilização do efluente da ETDI	
Componente	Custo, US\$ mil*
Tanque metálico de 300 m <sup>3</sup>	68,0
Bomba de recalque, 125 HP	47,0
Tubulação aço carbono, 6", 3.500 m	375,0
TOTAL	490,0

\* Inclui custos de material, montagem e pintura. Fonte: Petrobras

O investimento total será de US\$ 490.000,00. O custo operacional deste sistema se refere ao consumo de energia elétrica e aos serviços de manutenção da bomba do “sump”, segundo (Petrobras, 1996).

Considerando que este sistema opere 24 h/dia, tem-se um consumo adicional de energia elétrica estimado em 804.825 kWh/ano.

Utilizando um custo médio estimado de energia elétrica fornecida pela concessionária para uso industrial de 0,05 US\$/kW, isso representa um custo de energia elétrica de US\$ 40.241,00/ ano.

O custo médio de manutenção é estimado em 10 % do valor do equipamento, ou seja, US\$ 4.700,00/ano, o que resulta em um custo operacional de US\$ 44.941,00/ano (Petrobras, 1996).

### 6.1.2 O CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL

Na REVAP, a água potável é utilizada não só para o consumo humano, como também para a rega de plantas no horto, lavagem de viaturas e no laboratório, para a lavagem de equipamentos e da própria bancada.

A seguir será analisado o consumo estimado para cada item:

- Consumo humano - A REVAP tem, atualmente 1.064 funcionários, sendo 332 em horário administrativo, 275 em horário de turno, 224 contratados permanentes e 233 temporários em horário administrativo (dados da REVAP, de junho de 1999). Segundo (Relatório Cetesb, 1991) a geração média de efluentes é de 70 l/dia/pessoa para fábricas em geral, 50 l/dia/pessoa para escritório e 25 l/dia/refeição para restaurantes. Se considerarmos que 80 % do

consumo de água gera efluentes, podemos obter o consumo médio: 87,50 l/dia/pessoa em fábricas, 62,50 l/dia/pessoa em escritórios e 31,25 l/dia/refeição em restaurantes. (SNAM PROJETOS, 1979) apresenta os seguintes consumos médios para os EUA: 252 l/dia/pessoa (265 l/dia/pessoa) numa instalação industrial, 18 l/dia/pessoa (56,8 l/dia/pessoa) num escritório e 32,4 l/dia/refeição (34,1 l/dia/refeição) num restaurante.

Adotando os maiores valores dentre os descritos, tem-se:

- Pessoas trabalhando em horário administrativo: 3.945 pessoas por semana
  - Pessoas trabalhando em horário de turno: 1.155 pessoas por semana
  - Total de refeições por semana: 5.100 / semana
  - Total de pessoas no escritório: 3.945 pessoas / semana
  - Total de pessoas na área industrial: 1.155 pessoas / semana
  - Total de consumo de água: 4,5 m<sup>3</sup>/h.
- Água potável para a lavagem de viaturas - Há uma rotina de lavagem das viaturas de combate a incêndios na refinaria, que prevê a lavagem semanal das 3 viaturas existentes, com a utilização de água potável, gerando efluente contaminado para a ETDI, durante um período total estimado de 1,5 horas. A previsão de consumo é de: 40 litros/hora.
  - Abastecimento de carro pipa - O carro pipa utilizado pela refinaria também é abastecido eventualmente. Na média, se tem um abastecimento por mês, ou 28 litros/hora.
  - Perdas por evaporação nos sistemas centrais de ar condicionado - As salas de controle de operação da refinaria são dotados de sistemas centrais de ar condicionado, que mantêm a temperatura interna controlada, visando não só o conforto térmico, como a preservação dos equipamentos de controle. O prédio administrativo e o prédio do laboratório também possuem sistemas centrais de ar condicionado, com duas torres de resfriamento cada uma. O calor é removido por um sistema de resfriamento de ar por troca térmica com água potável, que por sua vez é resfriado em torres de água de resfriamento, onde parte da água é perdida por evaporação. Como não há dados confiáveis para se determinar a carga térmica a ser removida, adotou-se uma carga térmica média de 300 kcal/h/m<sup>2</sup> de área. Para maior precisão, avaliou-se a carga

térmica média em função de diversos parâmetros, como dimensões da sala, número de pessoas presentes, tipo e área envidraçada, temperatura do ar externo, espessuras e materiais das paredes e tetos, etc. O valor de 300 kcal/h/m<sup>2</sup> baseia-se num estudo realizado por uma empresa de refrigeração para dimensionar o sistema de ar condicionado de uma sala de 60 m<sup>2</sup>, no prédio administrativo da refinaria, cuja carga térmica a ser removida foi estimada em 18.000 kcal/h (média do inverno e verão).

As cargas térmicas previstas para cada sistema estão na tabela 6.4 a seguir:

Tabela 6.4 - Carga térmica removida pelo sistema de condicionamento de ar		
Sistema	Área, m <sup>2</sup>	Carga térmica, kcal/h
Prédio administrativo	6.000	1.800.000
Restaurante	2.250	675.000
Laboratório	900	270.000
Centro integrado de controle	3.000	900.000
Casa de bombas de petróleo	120	36.000
Casa de bombas de produtos	120	36.000
Casa de bombas de leves	250	75.000
TOTAL		3.792.000

A perda média de água potável por evaporação é, portanto, de 6,89 m<sup>3</sup>/h, nos sistemas de ar condicionado centrais.

- Abastecimento de esferas de GLP para liberação - Nos serviços de manutenção de esferas de GLP, a liberação para os inícios dos serviços é efetuada após lavagem com água do sistema de combate a incêndios. Já na liberação para o retorno à operação, a última lavagem é efetuada com água potável, a fim de evitar contaminações do equipamento. Nas 4 esferas que foram liberadas durante o ano de 1998, foram utilizadas 12.000 m<sup>3</sup> de água potável, o que corresponde a um vazão média anual de 1,37 m<sup>3</sup>/h.

- Água potável utilizada para a lavagem de vidrarias e equipamentos de laboratório – O instrumental utilizado no laboratório é lavado continuamente, ao final de cada turno de trabalho (8 horas). Num levantamento efetuado durante um turno de trabalho, verificou-se que, em média, a torneira de água potável aberta durante 1,5h. Isso representa cerca de 4,5 m<sup>3</sup>/h ou 850 litros/hora.
- Água potável utilizada para a lavagem dos pisos do refeitório - O piso dos refeitórios também é lavado uma vez por dia, após o almoço. A área total do refeitório, de 2.250 m<sup>2</sup>, é lavado em 2,0 horas. Isso representa uma vazão média de 1,50 m<sup>3</sup>/h.
- Água para lavagem dos banheiros dos prédios - Os 12 banheiros do prédio administrativo, 2 do centro de treinamento e 3 do laboratório são lavados diariamente. O consumo de água não deve ser elevado, pois a técnica de limpeza e higienização utilizado não requerem muita aplicação de água. Segundo os responsáveis pela limpeza, consome-se em média 4 baldes de 20 litros por banheiro. A vazão estimada é de 57 litros/hora. No total, temos um consumo calculado de 15,24 m<sup>3</sup>/h, contra 21,29 m<sup>3</sup>/h medido. Há outros consumos não considerados, como a rega do horto florestal da refinaria, por exemplo. Não há como reduzir os consumos calculados anteriormente, exceto aquele referente à liberação de esferas de GLP, pois a mesma não gera efluente sanitário, mas sim efluente contaminado. Já está sendo previsto um teste para se efetuar a liberação das esferas de GLP com um gás inerte, ao invés de água. Com isso, se ganha tempo e reduz-se o consumo de água e a geração de efluente contaminado para a ETDI.

### **6.1.3 SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADO DO PROCESSO**

Após uma análise dos pontos de desperdício de água, a próxima etapa é a de avaliar rotas para reduzir o consumo de água entre os maiores consumidores.

O balanço de águas levantado para a REVAP mostrou uma perda média de 51,27 m<sup>3</sup>/h de condensado do processo para efluente, que poderiam ser recuperados.

Um estudo de escoamento de todo o sistema de coleta e recuperação de condensado da refinaria foi efetuado, chegando-se ao seguinte diagnóstico:

- Dois vasos separadores de condensado apresentavam problemas de capacidade, pois a vazão de condensado a ser despressurizado nestes vasos estava acima de sua capacidade original.
- Diversas tubulações de escoamento de condensado apresentavam problemas de elevada perda de pressão, decorrente de seu sobrecarregamento;
- Os aquecedores de condensado recuperado estão sobrecarregados.
- Para adequar o sistema de escoamento e recuperação de condensado às necessidades atuais, são necessários os seguintes investimentos:
- Instalação de três novos vasos separadores
- Alteração do diâmetro de diversas tubulações de condensado dentro das unidades de processo
- Substituição de algumas válvulas de controle de pressão do sistema.

O custo total do investimento foi estimado em US\$ 419.000,00, permitindo a recuperação de toda a vazão de condensado atualmente perdida, como apresentado nas tabelas 6.5 a 6.7.

Tabela 6.5 - Custo estimado para o retorno de condensado - equipamentos			
Equipamento	Parâmetro	Qtde	Custo total estimado US\$ mil
Novo aquecedor de cond.recuperado	Área de troca = 287 m <sup>2</sup>	2	133,0
Bombas de condensado existentes	Troca de rotores	6	7,0
Vaso separador de condensado	Reaproveitamento	1	15,0
Vaso separador de condensado	Reaproveitamento	1	20,6
Vaso separador de condensado	Adição de demister	1	5,0
Projeto de detalhamento e montagem	Serv.engenharia	1	9,9
Total Equipamentos			190,5

Tabela 6.6 - Custo estimado para o retorno de condensado - instrumentos

Instrumentos	Situação	Qtde	Custo total estimado US\$ mil
Válvulas de controle de pressão	Substituição	3	6,0
Válvula de segurança	Instalação de nova	1	1,2
Visores de nível	Instalação em vasos	4	4,8
Transmissores de nível	Instalação nos vasos	3	4,2
Chaves de nível	Instalação nos vasos	3	3,6
Total instrumentos			19,8

Tabela 6.7 - Custo estimado para o retorno de condensado – tubulações

Tubulação	Comprimento, m	Peso, kg
Tubulação de 10" Sch 20	90	3.744
Tubulação de 8" Sch 40	15	499
Tubulação de 6" Sch 40	50	803
Tubulação de 4" Sch 40	450	7.227
Tubulação de 3" Sch 40	485	5.471
Tubulação de 2" Sch 40	125	680
Tubulação de 1.1/2" Sch 80	140	756
Tubulação de 1" Sch 80	5	16
Tubulação de 3/4" Sch 80	30	66
Massa total de tubos, kg		19.262
Custo de tubos na tubovia <sup>(1)</sup>	US\$ 2.000/ton	30,82
Custo de tubos nas U-proc. <sup>(2)</sup>	US\$ 9.000/ton	34,67
Custo de isolamento		95,0
Custo de montagem		45,0
Total de tubulações		205,9

Custos incluem acessórios, estimado 80 % da massa total de tubos

Custos incluem acessórios, estimado 20 % da massa total de tubos

Fonte: Petrobras

O custo total previsto para as modificações propostas foi de US\$ 416.000,00, para recuperar 51,27 m<sup>3</sup>/h de água desmineralizada que estava sendo convertida para efluente contaminado.

O aumento no custo operacional será decorrente somente do aumento no consumo de energia elétrica devido ao aumento dos rotores das bombas. A potência total das bombas de condensado será aumentado em 50 HP, o que representará um acréscimo de cerca de US\$ 16.100,00/ano em consumo de energia elétrica.

## 6.2 ROTAS PARA A REDUÇÃO NO CONSUMO DE ÁGUA

O aumento das restrições no consumo de água levou à necessidade de se aprimorar o tratamento de água e de efluentes nos últimos anos, visando a redução da demanda deste insumo e/ou o tratamento dos efluentes gerados, possibilitando o seu reaproveitamento.

Este assunto não é novo em 1982, (Holiday, Allan ) apresentou um estudo listando diversas técnicas para a redução no consumo e reaproveitamento de efluentes. Na época, tecnologias como a osmose reversa e eletrodialise ainda não eram viáveis economicamente, porém estudos mais recentes indicam que estas rotas estão se desenvolvendo rapidamente, tornando-as viáveis economicamente.

A tabela 6-8 apresenta as principais rotas propostas por estes e outros autores para a redução no consumo de água.

Tabela 6.8 - Rotas para a redução de consumo de água		
Tipo de demanda	Técnica	Descrição
Reposição de água de resfriamento	Redução da evaporação	Maior utilização de calor sensível do ar. Parte da carga térmica é dissipada em tubos aletados ou resfriadores a ar.
	Otimização dos ciclos de concentração	Otimizar sistema de controle de purgas com base em análises mais precisas

	Redução da purga	Abrandamento de corrente lateral ou purga por: Osmose reversa Resina de troca iônica Soda-cal Eletrodiálise
	Regeneração evaporativa da purga	Termocompressor de vapor de água
Descarte de água retificada	Reutilização	Água de lavagem de processo Água de lavagem da Dessalgadora Parte do make-up da A.R. Água de caldeira após tratamento
Água de lavagem final da regeneração das resinas de troca iônica	Reutilização	Reposição da água de resfriamento (A.R.)
Descarte de água de chuva	Segregação e reaproveitamento	Reposição da água de resfriamento (A.R.)
Reutilização de efluente da ETDI	Reutilização direta	Reposição da água de resfriamento (A.R.)

Fonte: Petrobras

Estas rotas devem ser analisadas levando-se em conta as suas vantagens e desvantagens, bem como os benefícios e os custos de cada uma. Ao final deste levantamento, será possível elaborar um plano de implantação baseado na viabilidade técnico-econômica de cada rota.

### 6.3 REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM TORRES DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO

A maior parte das perdas de água numa torre de resfriamento referem-se às perdas por evaporação. A evaporação da água, como já descrito anteriormente, é a responsável pelo resfriamento da água.

Usualmente, o resfriamento da água se dá por via úmida, ou seja, através do contato direto do ar com a água e a conseqüente evaporação de parte desta, resfriando o restante da sua vazão.

A utilização combinada de sistemas seco e úmido na torre de água de resfriamento propicia a economia de água, transferindo parte da carga térmica que

seria absorvida pelo calor latente de vaporização da água de resfriamento para o calor sensível do ar, através de um sistema de tubos aletados.

Este resfriador a ar teria que preceder o sistema úmido em virtude da necessidade de maior gradiente de temperatura.

Um benefício indireto resultante deste esquema é a possibilidade de eliminar ou reduzir a pluma de vapor na descarga da torre de resfriamento.

O custo de investimento é maior do que o de uma torre de resfriamento convencional, operado somente pela via úmida.

O sistema combinado opera basicamente com a torre de resfriamento em sistema aberto convencional, porém auxiliado por um resfriador a ar.

As formas de combinação mais comuns são apresentadas a seguir.

### 6.3.1 FLUXO PARALELO

A água quente de retorno escoar primeiro pelo feixe de tubos aletados de forma a assegurar maior eficiência de troca térmica. A água pré-resfriada é então aspergida na torre de resfriamento minimizando a perda por evaporação.

A corrente de ar das duas seções ao se juntarem mantém-se superaquecidas, não gerando uma pluma visível.

Esta disposição permite que a entrada de ar seja em paralelo, reduzindo a perda de pressão e permitindo maior flexibilidade operacional.

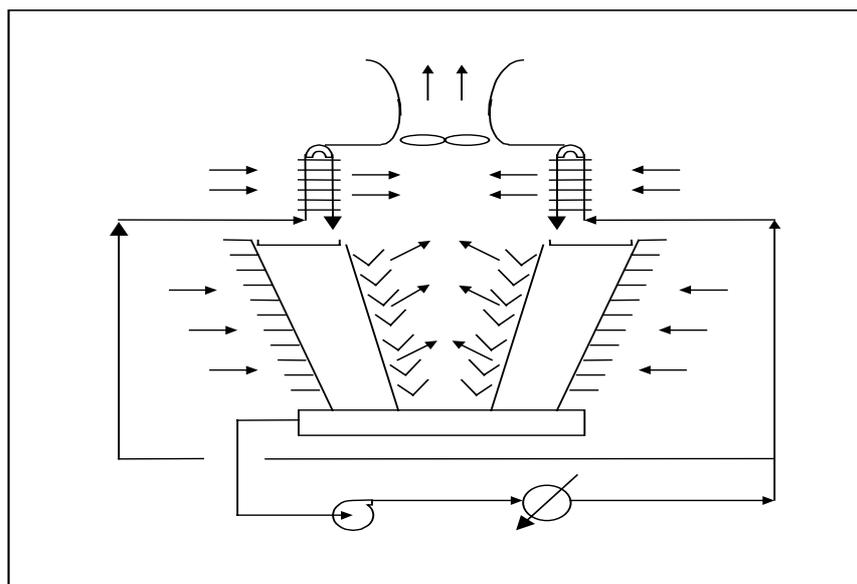


Figura 6.2 - Torre com resfriador a ar em paralelo

### 6.3.2 FLUXO EM SÉRIE

Nesta configuração o ar passa primeiro pelos feixes de tubos aletados, aumentando a sua temperatura de bulbo seco e a seguir pelo leito úmido da torre de resfriamento elevando a sua umidade absoluta.

Como o ar passa sequencialmente pelos feixes tubulares e pelo enchimento da torre, a perda de pressão do ar é maior, exigindo uma pressão estática maior nos ventiladores.

Como o ar está sempre numa condição de superaquecimento, não há formação de pluma nesta configuração.

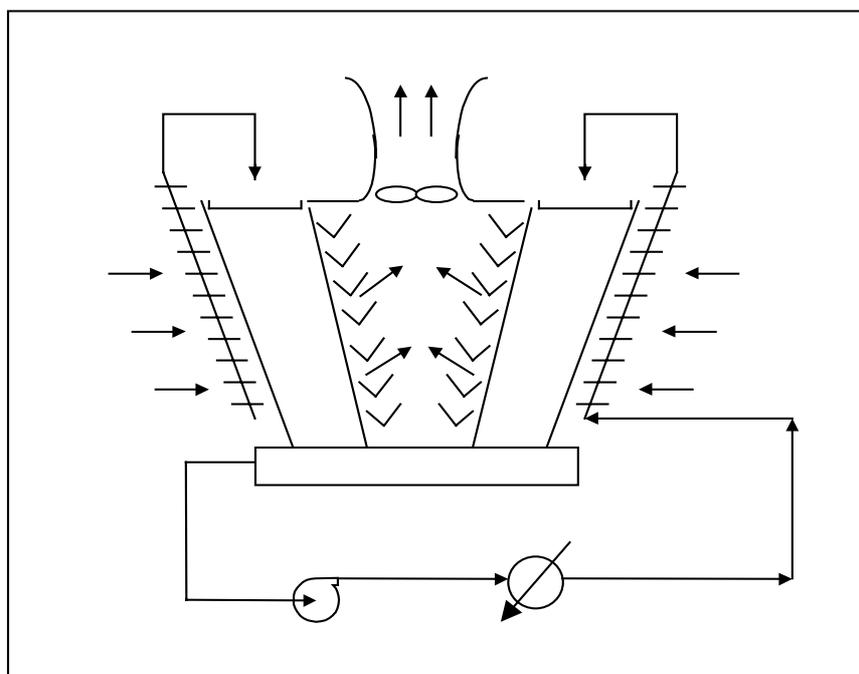


Figura 6.3 – Torre com tubos aletados em série

### 6.3.3 FLUXO EM SÉRIE ÚMIDO-SECO

Nesta disposição, os tubos aletados ficam dentro da torre de resfriamento e, portanto, a perda de pressão do ar é elevada, além de problemas adicionais de incrustação e corrosão dos feixes de tubos aletados. Por outro lado, os feixes

tubulares superaquecem o ar da torre de resfriamento e não se espera formação de pluma na descarga.

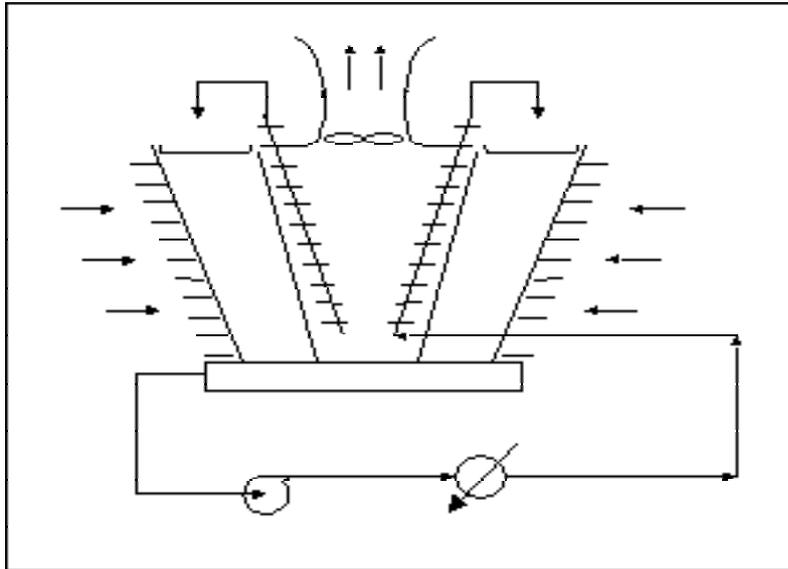


Figura 6.4 - Torre com tubos aletados internos em série/paralelo

#### 6.3.4 CONFIGURAÇÃO SELECIONADA

Embora as configurações apresentadas sejam viáveis técnica e economicamente para torres de resfriamento em implantação, isso não é válido para torres de resfriamento existentes.

De fato, a instalação de tubos aletados aumentará a vazão de ar requerida na configuração em paralelo, ou a pressão estática sobre os ventiladores, na configuração em série. Nos três casos, será necessário alterar o sistema de ventilação de ar, através do aumento da potência e mudança na configuração das pás dos ventiladores, e talvez até no diâmetro das pás.

Além disso, a instalação de tubos aletados em cima ou dentro da torre de resfriamento implica em reforço na estrutura civil da torre, que também tem um custo elevado, além do próprio custo dos tubos aletados.

Para torres de resfriamento existentes, a opção é a instalação de um sistema de resfriadores a ar independentes na linha de retorno de água quente para a torre, como mostrado na figura 6.5 a seguir.

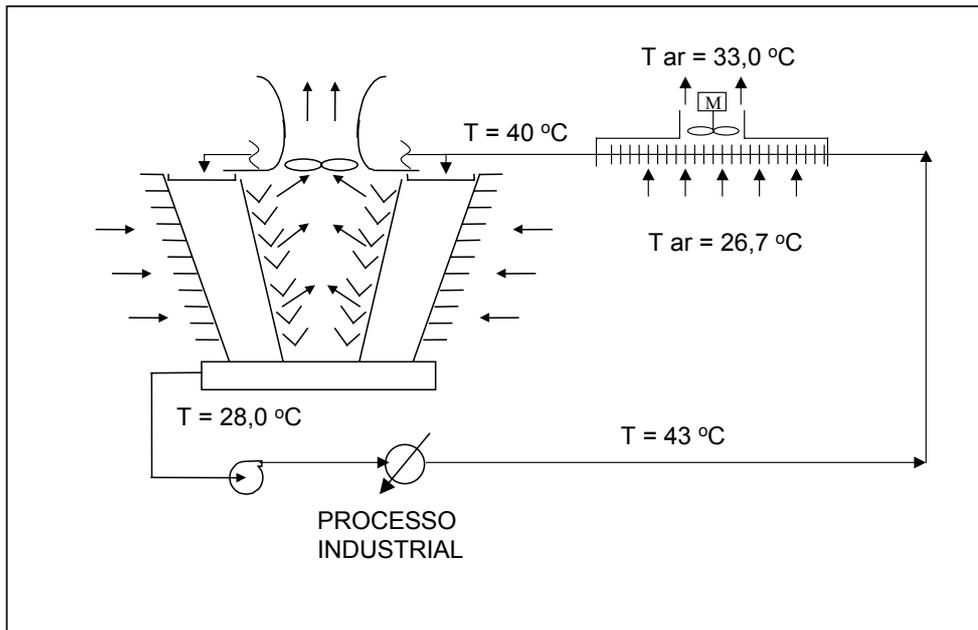


Figura 6.5 - Torre com resfriador a ar em série

Nesta proposta, a água de resfriamento quente é previamente resfriada por um sistema de resfriadores a ar, reduzindo a carga térmica da torre de resfriamento e, por conseguinte, a evaporação de água. Considerando, por exemplo, a TR-51501 (torre de resfriamento 1 da REVAP), temos as seguintes condições de projeto:

Tabela 6.9 - TR-51501 – condições de projeto	
Parâmetro	Valor
Vazão de água circulando	21.000 m <sup>3</sup> /h
Temperatura bulbo seco	26,7 °C
Temperatura bulbo úmido	23,3 °C
Temp. alimentação AR na torre	28 °C
Temp. retorno AR da torre	43 °C
Carga térmica total	315.000.000 kcal/h
Vazão de ar requerida	20.000.000 kg/h

A instalação de um sistema seco de resfriamento, com tubos aletados, permitirá o resfriamento da água de 43 °C para 40 °C, o que representa uma carga térmica removida de 63 milhões de kcal/h, ou 20 % da carga térmica da torre.

Os cálculos preliminares indicaram a possibilidade de redução de até 116 m<sup>3</sup>/h na evaporação de água, porém a um investimento muito elevado, da ordem de US\$ 3.315 mil, mostrado na tabela 6.10.

Um investimento deste porte só será viável se houver a necessidade de ampliação da capacidade de resfriamento de água. Neste caso, o investimento requerido para um sistema de resfriamento seco poderia tornar-se compatível se comparado com a ampliação de uma torre de resfriamento existente ou a instalação de uma nova. Somente a economia de água dificilmente justificaria um investimento deste porte, mesmo que se considere a futura taxa de consumo e demanda de água.

Tabela 6.10 - Resfriamento seco - investimentos requeridos		
Equipamento	Parâmetro	Custo, Us\$ Mil
Resfriador a ar	Área de troca = 175.874 m <sup>2</sup>	2.800
Ventiladores	30 ventiladores de 25 HP	450
Tubulações de interligação	3,5 toneladas	65
Total	(montagem e pintura já inclusos)	3.315

Fonte: Petrobras

O custo operacional referente ao consumo de energia elétrica será de cerca de US\$ 242.000,00 / ano, e o custo de manutenção, US\$ 280.000,00 / ano.

#### 6.4 OTIMIZAÇÃO DOS CICLOS DE CONCENTRAÇÃO

Por segurança e comodidade muitas vezes se opera a torre de resfriamento de água com ciclos de concentração menores do que os permitidos pelos sistemas de tratamento de água em uso.

Baseados em análises da água poder-se-ia estabelecer o limite real do sistema e através de monitoramento mais rigoroso, a operação ocorreria próximo do limite admissível de ciclos de concentração que é da ordem de 6, reduzindo-se a vazão de purgas. A dosagem de produtos químicos também pode ser modificada para aumentar o limite de concentração de minerais como a sílica, e a própria purga também pode ser provida de melhor controle para possibilitar a operação com

margens mais estreitas. Uma vez que a concentração de sais dentro da torre é limitada a um máximo, o ciclo de concentração será afetado pela qualidade da água de reposição. Os principais parâmetros de controle para definir a qualidade da água de reposição são :

- Controle da corrosão: total de sólidos dissolvidos, cianetos, sulfetos, amônia e pH;
- Controle de incrustações: dureza da água, sílica e alcalinidade;
- Controle de sujeira: ferros, óleo, graxos e sólidos suspensos totais;
- Controle microbiológico: controlar as contaminações com orgânicos, nitratos e amônia.

Eble & Feathers(1992) em seu estudo sugere alguns limites teóricos para a concentração de contaminantes na água das torres de resfriamento. Os parâmetros apresentados são dados em termos de concentração máxima de contaminantes que são possíveis de serem tratados por algum tipo de tratamento químico.

Estes limites permitem avaliar o número de ciclos de concentração em função da qualidade da água de reposição.

Tabela 6.11 - Limites teóricos de contaminantes numa torre de resfriamento				
Contaminantes	Valor típico <sup>(1)</sup>	Valor máx. <sup>(1,2)</sup>	Conseqüência	Tratamento requerido
Acetona	0	NP <sup>(3)</sup>	-	-
Aldeídos	0	20	Corrosão	Inibidores
Alumínio	0	1	Incrustações	Dispersantes
Aminas	0	10-25	Cresc.microbiológico e corrosão	Biocidas, surfactantes e inibidores
Arsênico	0	1	-	
Bário	0	5-10	Incrustações	Dispersante
Benzeno	0	Ver hidrocarb.	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
DBO	NM <sup>(4)</sup>	200	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Cálcio	100-1200	1500	Incrustações	Dispersante

Cloretos	< 3000	5000	Corrosão	Inibidor
Residual de cloro livre	< 0,5	< 0,5	Corrosão	Inibidor
DQO	NM	200	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Condutividade mhos	< 6000	15000 <sup>(5)</sup>	Corrosão	Inibidor
Cobre	0	0,5	Corrosão	Inibidor
Cianetos	0	10	Corrosão	Inibidor
Disulfetos	0	10	Corrosão	Inibidor
Ésteres	0	NP	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Éter	0	NP	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Fluoretos	0	5-15	Incrustações	Dispersantes
Hidrocarb.total	0	50	Cresc.microbiológico e incrustações	Biocida e surfactante
Hidrocarb.leve	0	50	Cresc.microbiológico e incrustações	Biocida não oxidante e surfactante
Hidroc.pesado	0	25	Cresc.microbiológico e incrustações	Biocida e surfactante
H <sub>2</sub> S	0	10	Corrosão e cresc.microbiológico	Inibidor, biocida não oxidante e surfactante
Ferro	0-3	5-10 <sup>(5)</sup>	Incrustações	Dispersante
Tabela 6.11 - Limites teóricos de contaminantes numa torre de resfriamento (cont.)				
Chumbo	0	2	Incrustações	Dispersante
Magnésio	50-1.000	50-1000 <sup>(5)</sup>	Incrustações	Dispersante
Manganês	0	1	Corrosão e incrustações	Inibidor e polímero
Mercaptanas	0	50	Cresc.microbiológico	Biocida não oxidante, surfactante e dispersante
Merúrio	0	0,1	Corrosão de alumínio	Inibidor
Metanol	0	50	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Níquel	0	2	Incrustações	Dispersante
Óleo e graxas	0	Ver hidrocarb.	Cresc.microbiológico e incrustações	Biocida e surfactante

PH	7-9	7-9	Corrosão e incrustações	Controle de pH
Fenóis	0	5-20	Cresc.microbiológico e incrustações	Biocida não oxidante e surfactante
Ortofosfatos	0-25	0-50	Incrustações	Dispersante
Selênio	0	NP	-	-
Sílica	< 200	300	Incrustações	Dispersante
Sódio	NM	NP	Ver condutividade	-
Estrôncio	0	NP	-	-
Sulfatos	< 3.000	5.000 <sup>(5)</sup>	Corrosão e incrustações	Inibidor e surfactante
Sulfetos	0	10	Corrosão e cresc.microbiológico	Inibidor, biocida e surfactante
Dióxido de enxofre	0	NP	Corrosão	Inibidor
Sólidos suspensos	40-200	200	Incrustações	Dispersante
Tiosulfatos	0	10	Corrosão	Inibidor
Trihalometano	0	NP	-	-
Nitrogênio total	NM	Ver amônia	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
TOC	NM	200	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Tolueno	0	Ver hidrocarb.	Cresc.microbiológico	Biocida e surfactante
Vanádio	0	5	Incrustações	Dispersante

(1) dividir pelo número de ciclos para obter a qualidade da água de reposição

(2) os limites máximos são teóricos, e não os medidos em planta. Estes limites não levam em conta aspectos ambientais ou legais, e nem efeitos cumulativos.

(3) Não foi constatado nenhum problema com este contaminante

(4) Normalmente não é medido

(5) Sob condições bem restritivas, há histórico de tratamento com sucesso em concentrações mais elevadas.

Comparando os limites acima com os valores máximos de concentração de contaminantes medidos na água de resfriamento da REVAP, podemos verificar em quantas vezes poderíamos aumentar o ciclo de concentração da torre de água de resfriamento da refinaria.

A tabela 6.12 apresenta esta comparação, considerando-se dados de concentração levantados nos meses de maio e junho de 1.999. Só estão listados os atuais parâmetros de acompanhamento da qualidade da água de resfriamento da REVAP. Os demais parâmetros levantados no estudo de Eble & Feathers (1992) não são significativos na água utilizada pela REVAP.

Tabela 6.12 - Comparação dos limites teóricos com os praticados pela REVAP						
Parâmetro	Valores REVAP (mg/l) <sup>(1)</sup>			Limites teóricos (mg/l)		Aumento no N <sup>o</sup> ciclos
	média	Máximo	Especif.	média	Máximo	
Turbidez	10,4	20	< 30			
pH	8,4	9,3	7,0 - 8,5	7 - 9	7 - 9	
Alcalinidade	126,5	248	50 -130			
Dureza-Ca	75,1	138	24 - 110	100-1200	1500	10,9
Sílica	67,5	85,6	< 130	< 200	300	3,5
Cloreto	97	127,3	< 300	< 3000	5000	39,3
Ferro	0,7	1	< 3,0	0 - 3	5 - 10	10,0
Fosfato	8,5	22	7,0 - 9,0	0 - 25	0 - 50	2,3
Zinco	2,9	4,7	2,0 - 4,0	0 - 2	0 - 5	1,1
Óleo/Graxa	0	0	< 3,0	0	50	
Sulfeto	0,2	0,2	< 1,0	0	10	50,0

Concentrações média e máxima de contaminantes medida no período, e o limite máximo especificado pela atual empresa responsável pelo tratamento da água de resfriamento.

Verificou-se que, dependendo do contaminante analisado, pode-se aumentar o ciclo de concentrações atual de 1,1 até 50 vezes. Abaixo analisa-se cada um dos parâmetros acima.

- Turbidez: embora a turbidez não conste no levantamento teórico, ela é monitorada através do controle das concentrações de sólidos suspensos e DBO. A turbidez é um importante parâmetro para o controle do crescimento microbiológico na torre, e o seu aumento implica no aumento de injeção de biocidas e dispersantes. O aumento no ciclo de concentrações acarretará num aumento substancial do custo destes produtos químicos.

- pH : O controle do pH é importante para evitar uma taxa de corrosão excessiva. O tratamento de água de reposição e a adição de ácidos ou bases mantém o pH dentro da faixa aceitável, não sendo este parâmetro o limitante para o aumento do ciclo de concentrações.
- Alcalinidade: o controle da alcalinidade é importante para evitar o aumento excessivo de incrustações. O aumento da alcalinidade implicará num aumento do uso de dispersantes, e na mudança do tipo de tratamento que atualmente é empregado na refinaria.
- Sílica: embora o limite máximo teórico seja de 300 ppm, a maioria dos trabalhos consultados e a própria experiência de operação da refinaria têm mostrado que concentrações superiores a 150 ppm de sílica na água de resfriamento tornam inviável economicamente a operação da torre. Por esta limitação, o ciclo de concentrações poderia ser aumentado no máximo em  $150/85,6 = 2$  vezes.
- Cloretos: embora o limite máximo teórico seja de 5.000 ppm, o tipo de tratamento atualmente empregado pela refinaria não possibilita uma concentração de cloretos superior a 300 ppm, devido à presença de equipamentos de aço inoxidável, incompatível com cloretos.
- Ferro: o aumento no teor de ferro não traz grandes preocupações, requerendo somente de uma dosagem maior de dispersantes.
- Fosfatos: o aumento no teor de fosfatos pode ser contornado através da redução na dosagem de produtos químicos que possuem este composto na sua formulação. Contudo, há um comprometimento entre a dosagem de fosfatos e o controle de corrosão, que podem limitar a concentração a um mínimo requerido.
- Zinco: a concentração atual está próxima do limite máximo mas pode ser reduzida, através do controle de produtos químicos que possuem este composto em sua formulação.
- Óleos e graxas: embora o limite máximo teórico seja de 50 ppm, concentrações acima de 10 ppm aumentam significativamente o consumo de biocidas e dispersantes, tornando esta operação antieconômica.
- Sulfetos: O aumento no teor de sulfetos até o limite máximo teórico implicaria num aumento significativo de inibidores de corrosão, com o consequente

aumento na concentração de fosfatos. Para evitar este aumento sem comprometer a proteção à corrosão, seria necessário alterar todo o processo de tratamento atualmente implantado na refinaria, o que acarretaria em custos de pesquisa de novas rotas.

Atualmente, o sistema de água de resfriamento da REVAP opera com 7 ciclos de concentrações, acima da média usual, que varia entre 5 e 6, o que denota que este sistema já está otimizado.

Considerando o teor de sílica na água de reposição, e obedecendo ao limite de 150 ppm, poderíamos aumentar o ciclo de concentrações para até 10 ciclos.

Tabela 6.13 - Teores médios de contaminantes na água de reposição da REVAP			
Contaminante	Unidade	Média <sup>(1)</sup>	Máximo <sup>(1)</sup>
pH	-	5,95	6,40
Cloretos	.ppm	12,90	19,58
Dureza - CaCO <sub>3</sub>	.ppm	9,65	20,22
Sulfato	.ppm	8,77	13,55
Sílica	.ppm	8,75	12,94
Turbidez	NTU	0,58	1,4

Valores levantados durante os meses de agosto e setembro de 1.999

Esse aumento implicaria numa redução da vazão de purga e reposição das torres de resfriamento. Atualmente, a vazão média consumida pela reposição é de 457,04 m<sup>3</sup>/h, assim distribuída:

Tabela 6.14 - Reposição e purga das torres de resfriamento da REVAP		
Medida <sup>(1)</sup>	TR-51501	TR-21001
Vazão média de circulação (C)	17.547,18	3.350,16
Vazão média de reposição (R)	377,71 (2,15 %)	79,33 (2,37 %)
Vazão média de purga (P)	53,96 (0,31 %)	7,98 (0,24 %)
Ciclos de concentração (R/P)	6,94	9,88

Valores médios durante o ano de 1998

Com a aplicação de um ciclo de concentração de 10, tem-se:

Evaporação (E) = constante (mesma carga térmica) = R - P

E = 395,10 m<sup>3</sup>/h (p/ as duas torres)

$$N = \text{número de ciclos} = R/P \quad \text{e} \quad R = E + P = 395,10 + P$$

$$N = 10 = (395,10 + P)/P$$

$$P = 43,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

Portanto, obtém-se uma redução de 18,33 m<sup>3</sup>/h no consumo de água de reposição para as torres de água de resfriamento e geração de efluente para a ETDI, se aumentarmos o ciclo de concentrações para 10.

Aumentos superiores nos ciclos de concentrações implicarão em custos elevados de tratamento, não sendo viáveis economicamente, a não ser que sejam estudadas outras rotas para reduzir o teor de contaminantes na água de resfriamento. Vamos focar esta rota no próximo item.

A aplicação de 10 ciclos de concentração implicará num aumento da concentração de contaminantes na purga da torre. As novas concentrações esperadas para a purga das torres de resfriamento da REVAP, operando com 10 ciclos, é apresentada na tabela 6.15. Estas concentrações foram calculadas tendo como base o ciclo de concentrações atual da sílica (único contaminante monitorado com frequência tanto na reposição como na purga):

$$N = C_p / C_r \quad = \text{ciclo de concentração atual de sílica}$$

$$C_{ri} = C_{pi} / N_m \quad = \text{conc. estimada do componente i na reposição}$$

$$C_{p10} = C_{pi} * 10 \quad = \text{conc. estimada do comp. i com 10 ciclos}$$

Tabela 6.15 - Purga das torres – Concentrações calculadas para 10 ciclos (mg/l)										
Componente	Reposição atual		Purga atual		Ciclos atuais		Reposição atual calculada		Purga 10 ciclos	
	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx	Média	Máx
Alcalinidade			126,5	248,0			16,4	37,5	164,0	374,9
Dureza/Ca			75,1	138,0			9,7	20,9	97,3	208,3
Sílica	8,75	12,94	67,5	85,6	7,7	6,6	8,7	12,9	87,5	129,4
Cloreto			97,0	127,3			12,6	19,2	125,7	192,4
Ferro			0,7	1,0			0,1	0,2	0,9	1,5
Tabela 6.15 - Purga das torres – Concentrações calculadas para 10 ciclos (mg/l) (cont.)										
Fosfato			8,5	22,0			1,1	3,3	11,0	33,3
Zinco			2,9	4,7			0,4	0,7	3,8	7,1
Óleo/Graxa			0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfeto			0,2	0,2			0,0	0,0	0,3	0,3
Sulfato	8,77	13,55	67,6	89,6			8,77	13,55	87,7	135,5

O aumento no ciclo de concentrações da torre de água de resfriamento não deverá aumentar o custo operacional, uma vez que estaremos operando dentro dos limites estabelecidos para o sistema atualmente existente de tratamento e, portanto, não será necessário alterá-lo.

A eliminação da necessidade de purgas em torres de água de resfriamento é possível se parte da circulação de água de resfriamento for tratada por um sistema de abrandamento dos contaminantes, mantendo sempre constante a sua concentração no sistema. Entre os sistemas de abrandamento utilizados, estão a osmose reversa, a resina de troca iônica, a utilização de soda/cal e a eletrodialise.

## **6.5 OSMOSE REVERSA**

A osmose reversa é o processo que permite a remoção de partículas tão pequenas como os íons em uma solução, removendo praticamente todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas ou orgânicas com peso molecular acima de 100.

A figura 6.6 a seguir apresenta o espectro de aplicação da filtração em função do tamanho das partículas que se deseja remover, segundo (Torok, 1999).

O processo de osmose reversa nada mais é do que a inversão, sob pressão, do fenômeno natural de fluxo osmótico. A osmose reversa é utilizada em inúmeras aplicações, entre as quais a purificação de água, redução de contaminantes em efluentes, remoção de sais de água salobra, etc.

## O ESPECTRO DA FILTRAÇÃO

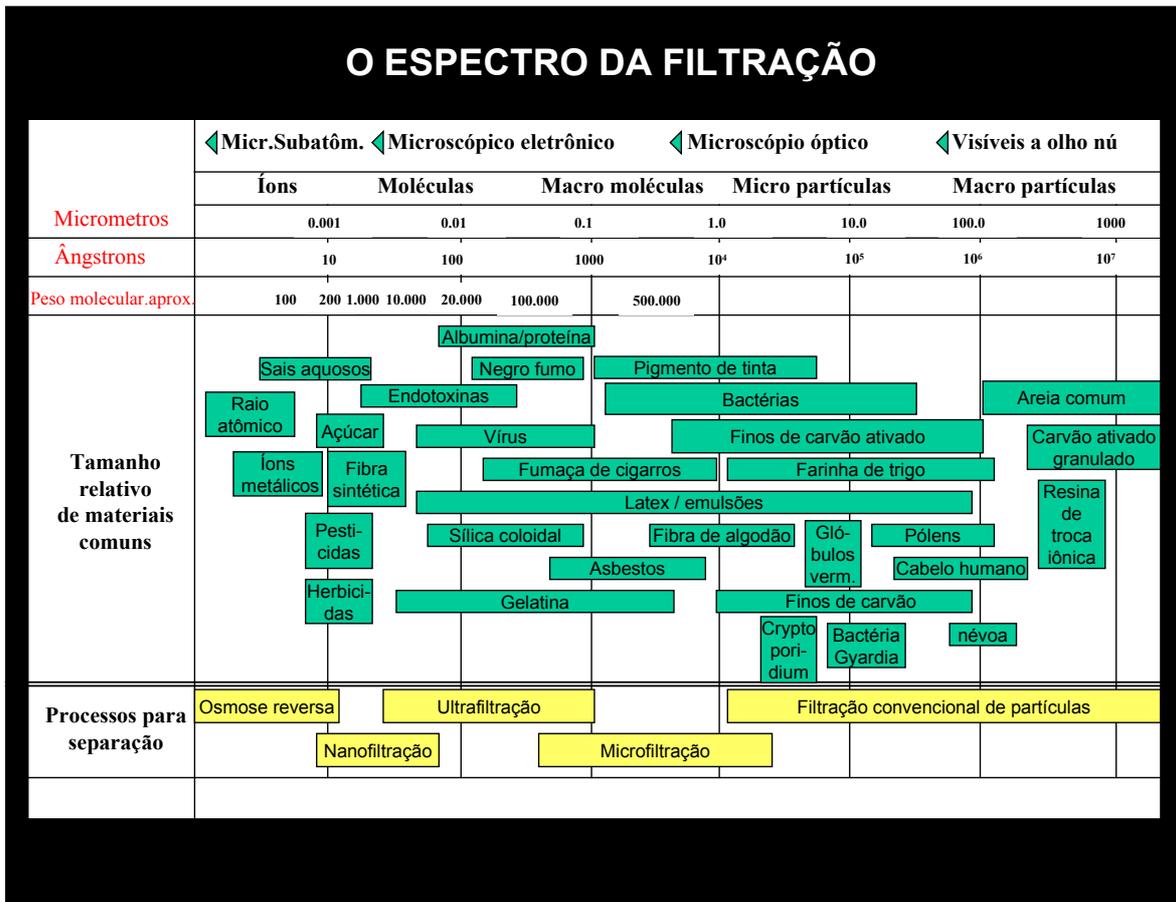


Figura 6.6 - O espectro da filtração

A osmose é a passagem espontânea de um líquido através de uma membrana semipermeável de uma solução diluída para outra mais concentrada, como mostrado na figura 6.7 a força motriz para essa movimentação é a pressão osmótica, que é função do tipo de solvente e soluto e sua concentração. Quando a pressão osmótica é equilibrada, não há fluxo através da membrana. Se for aplicada uma pressão sobre o lado concentrado, haverá o fluxo de solvente do lado mais concentrado para o menos concentrado, resultando no processo de osmose reversa, segundo ( Little & Lefevre, 1999).

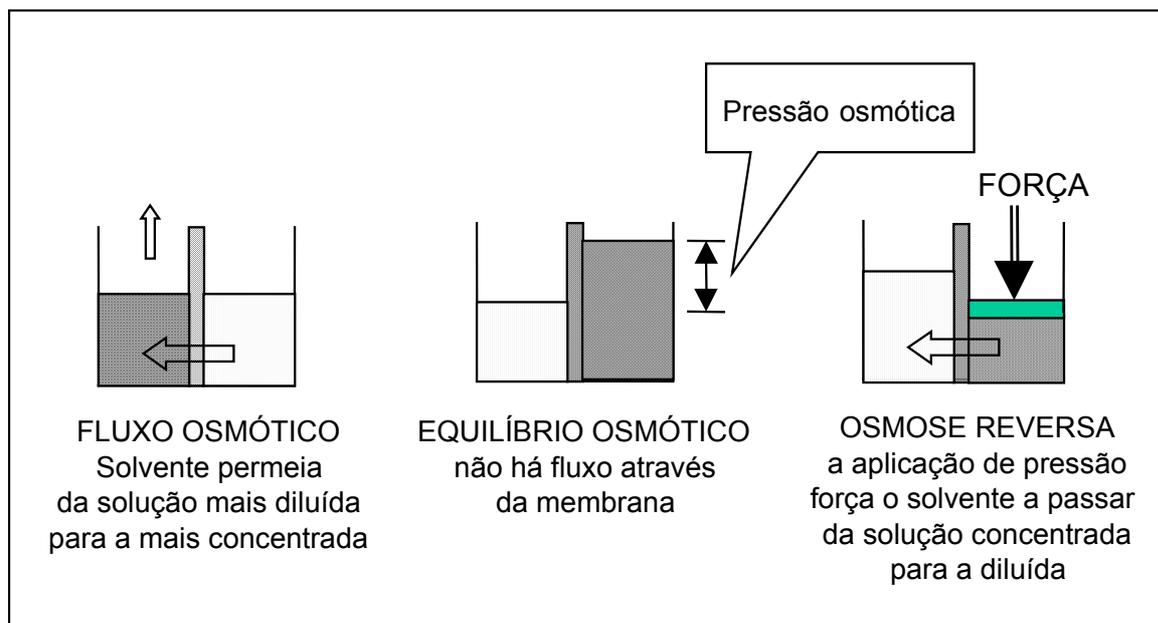


Figura 6.7 - O processo de osmose

A separação de íons com a osmose reversa é maior com a carga elétrica da partícula: quanto maior a carga elétrica da partícula íon, mais fácil é a sua remoção. Por outro lado, quanto maior a concentração do íon, maior será a pressão osmótica e, portanto, maior será a pressão a ser exercida para que a osmose reversa ocorra.

Tabela 6.16 -Pressão osmótica de alguns sais e orgânicos		
Componente	Concentração, mg/l (%)	Pressão osmótica (bar)
Cloreto de sódio	5.000 (0,5 %)	3,8
	10.000 (1,0 %)	8,8
	35.000 (3,5 %)	28,8
Sulfato de sódio	20.000 (2,0 %)	7,7
	50.000 (5,0 %)	21,4
	100.000 (10,0 %)	40,0
Cloreto de cálcio	10.000 (1,0 %)	6,3
	35.000 (3,5 %)	21,7
Sulfato de cobre	20.000 (2,0 %)	4,0
	50.000 (5,0 %)	8,0
Sucrose (peso mol = 342)	33.000 (3,3 %)	2,5
	64.000 (6,4 %)	5,1
Glucose (peso mol = 198)	33.000 (3,3 %)	4,4
	240.000 (24,0 %)	43,0

Para se ter uma idéia, a cada 100 ppm (partes por milhão) de aumento na concentração de cloreto de sódio (NaCl) em solução com água, a pressão osmótica aumenta em 6,9 kPa ou 0,07 bar.

Com o decorrer da operação de um sistema de tratamento por osmose reversa, ocorre o depósito de substâncias minerais, partículas orgânicas insolúveis e material biológico sobre a membrana, reduzindo a sua eficiência.

Quando isto ocorre, é necessário proceder a uma lavagem química, para a regeneração da membrana, com a utilização de ácido cítrico ou fosfórico, para a remoção de agentes incrustantes inorgânicos, e hidróxido de sódio para remoção de materiais de origem orgânica .

Para que um sistema de osmose reversa seja economicamente viável, o sistema de pré-tratamento deverá garantir uma campanha mínima de pelo menos 3 meses de operação entre regenerações.

Portanto, um pré-tratamento adequado da água de alimentação constitui-se num importante fator para a boa operação de sistemas de osmose reversa. A correta seleção do sistema de pré-tratamento maximizará a eficiência e a vida útil das membranas de osmose reversa, reduzindo os custos operacionais do sistema.

O sistema de pré-tratamento deverá prevenir a ocorrência de: Incrustação ou depósito de substâncias inorgânicas ou óxidos que se precipitam na superfície da membrana e reduzem a sua campanha. Para prevenir essa formação, são utilizadas a adição de anti-incrustantes e lavagem química. Depósito, ou seja, o acúmulo de materiais na superfície da membrana, tais como partículas em suspensão, ferro e outros metais pesados, material orgânico, bactérias e outros microorganismos. A oxidação destes materiais, através da adição de cloro ou em torres de aeração, seguida de filtração, é o processo indicado.

Dependendo da qualidade da água de alimentação, o pré-tratamento de um sistema de osmose reversa envolve as seguintes etapas:

- Cloração, para remoção de orgânicos e micro-organismos;
- Coagulação e floculação, para remoção de colóides;
- Sedimentação, para separação final dos flocos formados;
- Filtração sobre areia, como um polimento final dos processos anteriores;
- Filtração com carvão ativado, para remoção do cloro livre residual e compostos orgânicos de baixo peso molecular;

- Filtração com cartuchos de polipropileno, para remoção de partículas de até 1 micra. Não se deve utilizar cartuchos de celulose, pois as mesmas desprendem fibras na água, prejudicando a osmose.

Caso ainda seja necessário, pode-se recorrer à ultra-filtração antes da osmose reversa, a fim de preservar a membrana desta em sacrifício daquela;

A eficiência do processo de tratamento de água por osmose reversa dependerá, portanto, da pressão osmótica (ou seja, da concentração obtida no rejeito), das características da membrana e da água de alimentação. A produção de água tratada por osmose reversa gira em torno de 60 a 90 % da vazão de água de alimentação, e o rejeito, de 10 a 40 %. Quanto maior a relação permeado/alimentação, maior será a concentração de sais no rejeito.

No tratamento de água para geração de vapor, por exemplo, quando se trabalha com uma eficiência de tratamento de 50 % da vazão de alimentação, a concentração de sílica no rejeito é cerca de duas vezes a concentração da carga; quando se trabalha com uma eficiência de 75 %, a concentração do rejeito chega a quatro vezes a da alimentação.

Embora nos primórdios da aplicação da osmose reversa no tratamento de água se admitisse uma eficiência de 50 a 60 %, com o desenvolvimento de membranas mais eficientes chega-se atualmente a uma eficiência de 75 a 85 % de recuperação de permeado segundo (Little & Lefreve, 1999).

As tabelas 6.17, 6.18 e 6.19 apresentam uma idéia da eficiência de remoção para diversos tipos de contaminantes

Tabela 6.17 - Eficiência da osmose reversa - cátions

Eficiência de Remoção - Osmose Reversa		
Cátion	Eficiência de remoção (%)	Concentração máxima na carga (%)
Sódio	95-97	3-4
Cálcio	96-98	(1)
Magnésio	96-98	(1)
Potássio	95-97	3-4
Ferro	98-99	(1)
Manganês	98-99	(1)
Alumínio	> 99	5-10

Tabela 6.17 - Eficiência da osmose reversa – cátions (cont.)		
Cobre	98-99	8-10
Níquel	98-99	10-12
Zinco	98-99	10-12
Dureza (cálcio e magnésio)	96-98	(1)
Prata	94-96	(1)
Mercúrio	96-98	(1)

Fonte: Petrobras

Deve-se tomar cuidado com a precipitação destes sais; outros íons podem determinar a máxima concentração.

Tabela 6.18 - Eficiência da osmose reversa - ânions		
Ânion	Eficiência de remoção (%)	Concentr.máxima (%)
Cloreto	95-97	3-4

Com as membranas atualmente existentes, a utilização do processo de osmose reversa na remoção de contaminantes da purga da torre de água de resfriamento é atrativa técnica e economicamente porque:

- As purgas das torres de água de resfriamento não possuem muitos contaminantes sólidos, não sendo necessário muito rigor no pré-tratamento da osmose reversa;
- Desde que o tratamento da água da torre de resfriamento seja bem conduzido, não teremos problemas de contaminações significativas com hidrocarbonetos ou microorganismos, que poderiam reduzir a vida útil das membranas da osmose;
- A concentração de íons não é muito elevada, o que aumentaria mais ainda a vida útil das membranas.

Um exemplo de utilização da osmose reversa para o tratamento da purga de torre de água de resfriamento é apresentado pela Osmonics.

Neste exemplo, uma fabricante de refrigerantes implantou um sistema de osmose reversa para tratar 3.100 litros/hora de purga de uma torre de resfriamento em circuito aberto.

O sistema implantado permite recuperar até 2.270 litros/hora (73 %) de permeado, com a geração de apenas 830 litros/hora de rejeito. A eficiência do processo foi limitada a 70 % devido ao risco de precipitação dos sais de cálcio e sílica. A qualidade da água tratada está apresentada na tabela 6.19.

Tabela 6.19 - Resultado do tratamento da purga de torre com osmose reversa*			
Contaminantes	Purga da torre	Rejeito da osmose	Água tratada
Cálcio	300	660	4
Magnésio	180	400	0
Sódio	262	424	32
Alcalinidade	20	136	16
Sulfatos	454	805	0
Cloretos	268	543	20
Sílica	37	69	7

\* Concentrações em mg/litro

O sistema implantado permitiu a recuperação de mais de um milhão de galões (3.800 m<sup>3</sup>) por ano de água, o que representou um retorno de investimento entre 3 e 4 meses.

Comparando a qualidade da purga deste exemplo com a purga da torre da REVAP, podemos verificar que a concentração de contaminantes na purga da torre da REVAP é menor, mesmo com o aumento do ciclo de concentração para 10, favorecendo a utilização de osmose reversa.

Se for utilizado um sistema de osmose reversa que possibilite a recuperação de 70 % de permeado, e considerando as eficiências de remoção listadas anteriormente, teremos as seguintes qualidades de água recuperada, considerando o ciclo de concentração atual e o proposto.

Tabela 6.20 - Estimativa de performance de osmose reversa para tratamento da purga das torres da REVAP – condições atuais

	Purga da torre		Eficiênc.	Permeado		Rejeito	
	Média	Máximo	%	média	máximo	média	máximo
Vazão	62,2		70,0%	43,6		18,7	
Alcalinidade	126,5	248,0	90,0%	18,4	35,4	379,5	744,0
Dureza-Ca	75,1	138,0	96,0%	4,3	7,9	240,3	441,6
Sílica	67,5	85,6	95,0%	4,8	6,1	213,8	271,1
Cloreto	97,0	127,3	95,0%	6,9	9,1	307,2	403,1
Ferro	0,7	1,0	98,0%	0,0	0,0	2,3	3,3
Fosfato	8,5	22,0	99,0%	0,1	0,3	28,1	72,6
Zinco	2,9	4,7	98,0%	0,1	0,1	9,5	15,4
Óleo/Graxa	0,0	0,0	95,0%	0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfeto	0,2	0,2	99,0%	0,0	0,0	0,7	0,7
Sulfatos	67,6	89,6	99,0 %	1,0	1,3	223,2	295,8

Vazão em m<sup>3</sup>/h, demais parâmetros em mg/l

Tabela 6.21 - Estimativa da performance de osmose reversa para o tratamento da purga das torres da REVAP – com 10 ciclos de concentração

	Purga da torre		Eficiênc.	Permeado		Rejeito	
	média	máximo	%	Média	máximo	média	Máximo
Vazão	43,9		70,0%	30,7		13,2	
Alcalinidade	164,0	374,9	90,0%	23,4	53,6	491,9	1.124,7
Dureza-Ca	97,3	208,6	96,0%	5,6	11,9	311,5	667,6
Sílica	87,5	129,4	95,0%	6,2	9,2	277,1	409,8
Cloreto	125,7	192,4	95,0%	9,0	13,7	398,2	609,4
Ferro	0,9	1,5	98,0%	0,0	0,0	3,0	4,9
Fosfato	11,0	33,3	99,0%	0,2	0,5	36,4	109,7
Zinco	3,8	7,1	98,0%	0,1	0,2	12,3	23,2
Óleo/Graxa	0,0	0,0	95,0%	0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfeto	0,3	0,3	99,0%	0,0	0,0	0,9	1,0
Sulfatos	87,7	135,5	99,0%	1,3	1,9	289,3	447,2

Vazão em m<sup>3</sup>/h, demais parâmetros em mg/l

Pode-se verificar que a qualidade do permeado, em ambos os casos, é melhor do que a da água de reposição da torre, indicando que pode-se utilizá-lo como reposição da própria torre.

Tabela 6.22 - Comparação dos permeados da osmose reversa para os dois casos

	Purga atual		Purga c/ 10 ciclos		Reposição AR	
	Média	Máximo	Média	Máximo	Média	Máximo
Vazão	43,6		30,7			
Alcalinidade	18,1	35,4	23,4	53,6	16,4	37,5
Dureza-Ca	4,3	7,9	5,6	11,9	9,7	20,9
Sílica	4,8	6,1	6,2	9,2	8,7	12,9
Cloreto	6,9	9,1	9,0	13,7	12,6	19,2
Ferro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
Fosfato	0,1	0,3	0,2	0,5	1,1	3,3
Zinco	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7
Óleo/Graxa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfeto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sulfatos	1,0	1,3	1,3	1,9	8,77	13,55

A ação conjunta de aumento do ciclo de concentração na torre de resfriamento e a utilização de osmose reversa no tratamento de sua purga permitirá reduzir as perdas por purgas de 62,23 m<sup>3</sup>/h para 13,2 m<sup>3</sup>/h, representando uma redução de 49,03 m<sup>3</sup>/h no consumo de água e geração de efluentes segundo (Rohm & Hass, 1996).

O custo estimado para um sistema de osmose reversa (incluindo o pré-tratamento) para este serviço foi estimado em US\$ 750.000,00, segundo consultas efetuadas com alguns fornecedores.

O custo operacional deste sistema refere-se ao consumo de elementos filtrantes do pré-tratamento e da regeneração das membranas. Os levantamentos efetuados indicam um custo médio de US\$ 66.900,00 ao ano, ou US\$ 0,177/m<sup>3</sup> tratado, como detalhado a seguir:

Tabela 6.23 - Custos operacionais da osmose reversa	
Custo Operacional Mensal	Consumo
Energia Elétrica	
Vazão de água desmi produzida (m <sup>3</sup> /h) :	30,7
Vazão de água alimentação (m <sup>3</sup> /h) :	43,9
Perda de carga na membrana (kgf/cm <sup>2</sup> ):	15
Eficiência do conjunto motobomba (múltiplos estágios):	0,5
Consumo de eletricidade por mês (kW.h):	26.460,00
Custo unitário (US\$/kW.h) :	0,05
Custo Total de Eletricidade (US\$) :	1.830,79
Produtos Químicos para Regeneração da Membrana	
Consumo específico de regenerante (kg/m <sup>3</sup> ) :	0,3666
Vazão de água de alimentação (m <sup>3</sup> /h) :	62,23
Volume mensal de água (m <sup>3</sup> ) :	44.805,6
Custo unitário de cloreto de sódio (US\$/kg) :	0,1
Consumo de cloreto de sódio ( kg/mês) :	16.425,73
Custo Mensal de regenerante na Osmose (US\$/mês)	1.642,57
Membranas da Osmose (vida útil estimada = 6 meses)	
Numero de unidades em operação:	1
Consumo base mensal de membranas por unidade :	0,167

Tabela 6.24 - Custos operacionais da osmose reversa	
Custo unitário (US\$/membrana) :	4.500,00
Custo Base Mensal de Membranas (US\$/mês):	750,00
Cartuchos do Pré-Filtro	
Numero de unidades em operação:	1
Consumo base mensal de membranas por unidade :	3
Custo unitário (US\$/membrana) :	450,00
Custo Base Mensal de Membranas (US\$/mês):	1.350,00
Custo total (US\$/mês) :	5.573,36

### 6.5.1 RESINA DE TROCA IÔNICA

É uma tecnologia tradicional e eficaz na remoção de substâncias ionizáveis, consistindo de dois leitos de resinas de troca iônica. O primeiro leito, de resina catiônica, troca os seus ions H<sup>+</sup> por cátions (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>), removendo os cátions

geradores de dureza na água. O segundo leito, de resina aniônica, troca as hidroxilas OH<sup>-</sup> por anions (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), removendo os ânions formadores de sais (Rohm & Haas, 1996).

Quando as resinas atingem os seus limites de saturação, é necessário realizar a sua regeneração com ácido e soda respectivamente, gerando uma carga de efluentes químicos.

Com o desenvolvimento da osmose reversa, os leitos iônicos têm perdido espaço para aquele processo. A tabela 6.25 apresenta as vantagens e desvantagens de cada processo, no tratamento de água.

No tratamento específico de purgas de torres de resfriamento, a utilização de resinas iônicas não é recomendada, devido ao elevado teor de íons, que acarretam em maiores ciclos de regeneração e, evidentemente, maiores custos operacionais. Alguns trabalhos apresentam uma comparação dos custos operacionais de um sistema combinado de osmose reversa e resina de troca iônica contra outro, somente com troca iônica. Há cinco anos atrás, o sistema misto era mais econômico para concentrações acima de 325 ppm de carbonato de cálcio na alimentação. Com o desenvolvimento da osmose reversa, atualmente uma concentração acima de 130 ppm já torna o sistema misto mais atrativo.

Tabela 6.25 - Comparação entre resinas de troca iônica e osmose reversa

Parâmetro	Resinas de Troca Iônica	Membranas de Osmose Reversa
Salinidade	O custo de tratamento e eficiência é melhor para salinidades até 60 ppm (TDS).	Para salinidades elevadas, maiores que 80 ppm (TDS) a vantagem é da osmose reversa.
Cloro	Monitorar excesso de cloro	Controle rigoroso com filtro de carvão ativado (limite ~ 0,1 ppm) <sup>(1)</sup>
SDI (partículas suspensas em águas de superfícies)	Clarificação convencional	Requer ultrafiltração adicional
Fouling biológico	Monitorar o tratamento convencional com cloro	Requer biocida devido a falta de cloro
Frequência de regeneração	Intensivo sendo praticamente diário	Ciclos espaçados maiores que 3 meses

Tabela 6.25 - Comparação entre resinas de troca iônica e osmose reversa (cont.)

Geração de efluentes	Elevada devido ao ciclo de regeneração	Reduzida de efluente químico, embora o volume de descarte aproveitável seja elevado.
Consumo de energia elétrica	Moderado	Elevado
Sílica	Os sais são adsorvidos preferencialmente à sílica	Mesma eficiência tanto para sais como sílica
Coagulantes	Não há restrições específicas	O sulfato de alumínio requer controle rigoroso do pH, pode haver precipitação de hidróxido na membrana.

<sup>(1)</sup> Refere-se ao cloro residual livre.

Fonte: Petrobras

Deste modo, conclui-se que a aplicação de resina de troca iônica não é recomendada para o tratamento das purgas da torre de resfriamento, sendo preferível a utilização de osmose reversa.

### 6.5.2 TRATAMENTO COM SODA-CAL(CARBONATO DE SÓDIO)

Neste processo, uma parcela da água de resfriamento circulante é tratada com cal, soda e óxido de magnésio para a precipitação da dureza de carbonato, não-carbonatos e sílica, respectivamente. Os sólidos suspensos são removidos por clarificadores (Petrobras, 1996).

Após a clarificação, o pH da água é corrigido pela adição de ácidos ou CO<sub>2</sub>, que minimiza os íons sulfato e o total de sólidos dissolvidos na água de retorno à torre de resfriamento.

Após o ajuste de pH, a água passa por um meio filtrante para a remoção de sólidos suspensos arrastados do clarificador, retornando à torre.

Caso seja necessário, pode-se prever um pós-tratamento com osmose reversa, eletrodialise ou desmineralização para reduzir o total de sólidos dissolvidos. O lodo do clarificador é espessado e desaguado, e o efluente retorna à torre de resfriamento.

Os principais benefícios deste sistema são a redução ou eliminação da purga da torre de água de resfriamento. Os íons formadores de incrustação, como cálcio, magnésio, fosfato e sílica são removidos neste processo(Petrobras, 1996).

As principais desvantagens deste processo é a necessidade de se implantar um sistema de clarificação, cujo investimento ainda é elevado, se comparado com alternativas, outra é o lodo gerado.

Para sistemas muito grandes, onde o custo das alternativas, como osmose reversa ou resinas de troca iônica é elevado, torna-se competitivo.

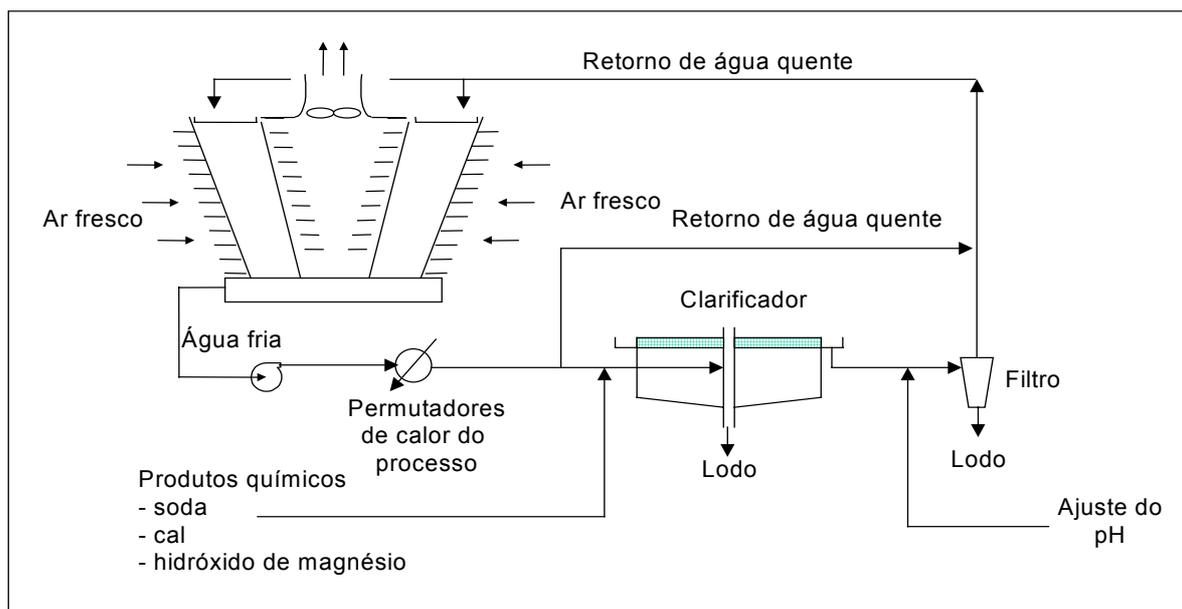


Figura 6.8 - Processo de tratamento por soda/cal

## 6.6 REGENERAÇÃO EVAPORATIVA DAS PURGAS DE TORRES

Este processo possibilita a geração de condensado de ótima qualidade, a partir da purga de torres de resfriamento. A recuperação de condensado pode atingir até 95 % das purgas da torre, que podem ser utilizados como reposição da própria torre ou como água para a geração de vapor.

Inicialmente, a purga da torre de resfriamento tem o seu pH corrigido para 5,5 a 6,0, através da adição de produtos químicos. Esta correção no pH é necessária para evitar a formação de incrustações durante o processo de evaporação da água. A água acidificada é filtrada e bombeada para um trocador de calor que aumenta a sua temperatura para o ponto de bolha.

A seguir, vai para um desaerador, onde os não-condensáveis são removidos. A água desaerada é alimentada para um vaporizador, onde é transformado em vapor de água.

O vapor resultante passa por eliminadores de névoa e entra num compressor de vapor onde é adicionado mais calor.

O vapor comprimido passa pelos tubos do vaporizador, onde transfere calor para a alimentação, vaporizando-o parcialmente. À medida que o vapor comprimido perde calor, ele condensa como água de reposição destilada, e é alimentado para o aquecedor de alimentação, onde recebe o resfriamento final.

Uma pequena quantidade de água concentrada é rejeitada do vaporizador para controlar a densidade e concentração de sais na água concentrada.

A água gerada pode servir como reposição da torre de resfriamento ou água desmineralizada para geração de vapor (Petrobras, 1996).

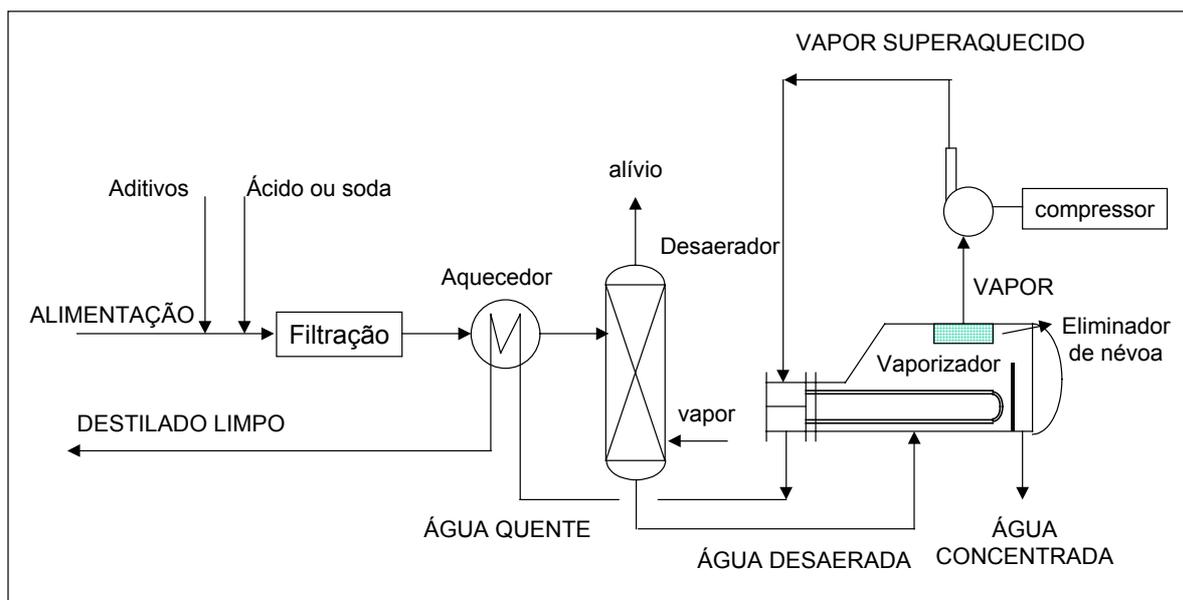


Figura 6.9: Processo de termocompressão de vapor

Embora este processo gere água de ótima qualidade, com baixo custo de operação, requer um investimento elevado e é de difícil operação. Não é interessante utilizar este processo em uma planta existente, mas é um processo que pode ser implantado em novas torres de água de resfriamento.

## 6.7 A REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA RETIFICADA

A água retificada é um efluente gerado na unidade de retificação de águas ácidas. Como mencionado anteriormente, esta unidade trata os condensados contaminados (“água ácida”) gerados nas unidades de processo da refinaria, removendo os contaminantes através de um processo de retificação com vapor.

Por ser gerada a partir da condensação de vapor no processo, a água ácida geralmente possui baixos teores de sais, porém é contaminada com  $H_2S$ ,  $NH_3$ , fenóis e cianetos. A concentração destes contaminantes é variável, em função da unidade de processo que a gerou: nas unidades de separação física, como destilação e desasfaltação, a água ácida é rica em  $H_2S$  e  $NH_3$ , com alguma contaminação com mercaptanas; já nas unidades de conversão, como craqueamento catalítico e hidrotratamento, além dos contaminantes anteriores, a água apresenta contaminação com cianetos e fenóis.

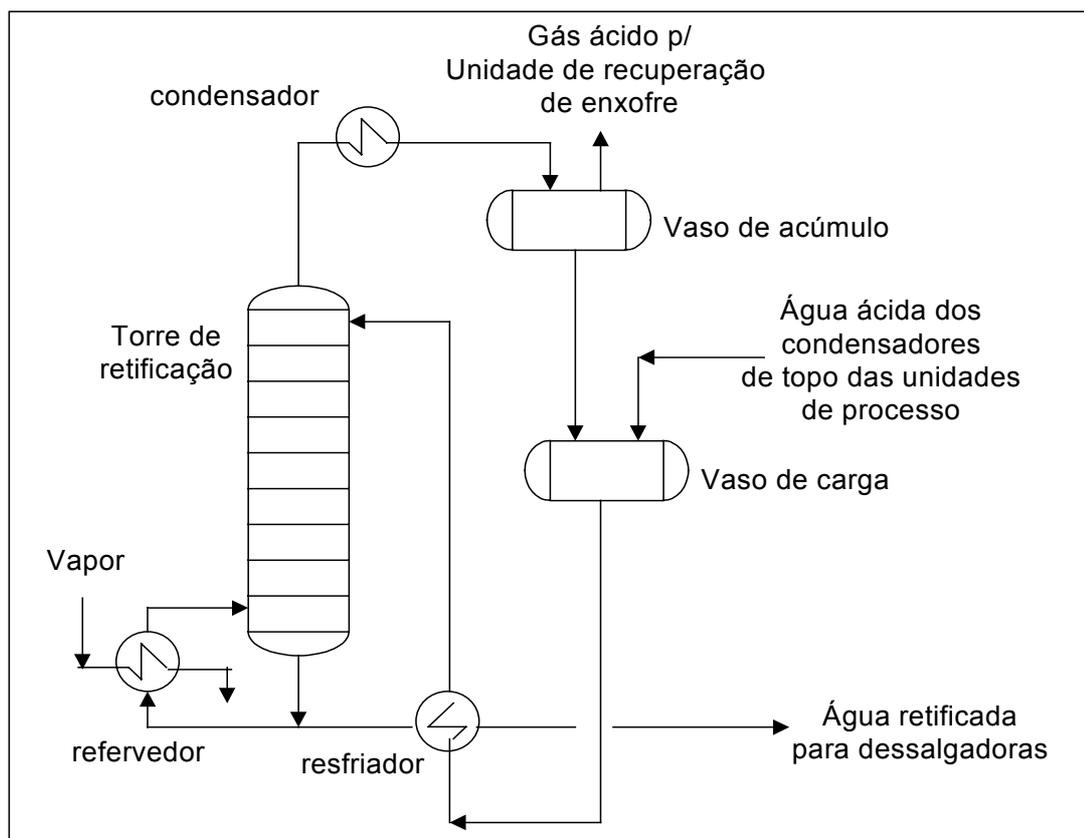


Figura 6.10 - Unidade de retificação de águas ácidas

Após a sua retificação, a água retificada ainda apresenta pequenas concentrações de  $\text{NH}_3$ , fenóis e cianetos.

Deste modo a sua reutilização é limitada, podendo ser utilizada para o controle de formação de cloreto de amônio em condensadores de topo de fracionadores nas unidades de craqueamento catalítico e hidrotreatamento. Na unidade de craqueamento catalítico também pode ser empregado nos resfriadores intermediários para controle da corrosão.

Estas aplicações, contudo, requerem testes de longo prazo, com o acompanhamento da taxa de formação do cloreto de amônio e de corrosão para verificar a sua eficácia. Como estas taxas dependem de diversos outros fatores, é difícil quantificar a real interferência da substituição da injeção de solução de amônio por água retificada.

Outra aplicação da água retificada é a sua utilização como água de lavagem na dessalgação de petróleo. Como já descrito neste trabalho, o petróleo passa por um processo de dessalgação antes de ser alimentado à unidade de destilação de petróleo.

Essa dessalgação é efetuada com a adição de água para dissolução dos sais. A água retificada, por ser aquecida (devido à sua retificação com vapor) e praticamente isenta de sais, torna-se excelente veículo para a dessalgação, segundo (Nilo Brasil, 1987).

Diversos trabalhos recomendam esta última rota de aproveitamento, que não requer nenhum tratamento adicional na água retificada. De fato, esta rota já é empregada na REVAP, com bons resultados.

Outra rota possível seria a utilização da água retificada como água de reposição da torre de resfriamento. No caso da REVAP, embora a água retificada seja praticamente isenta de sais e  $\text{H}_2\text{S}$ , ela apresenta ainda uma pequena concentração de amônia, que varia de 5 a 20 ppm na maioria das vezes, e eventualmente até 70 ppm, em condições anormais de operação, como mostrado no levantamento efetuado durante o mês de fevereiro de 1999.

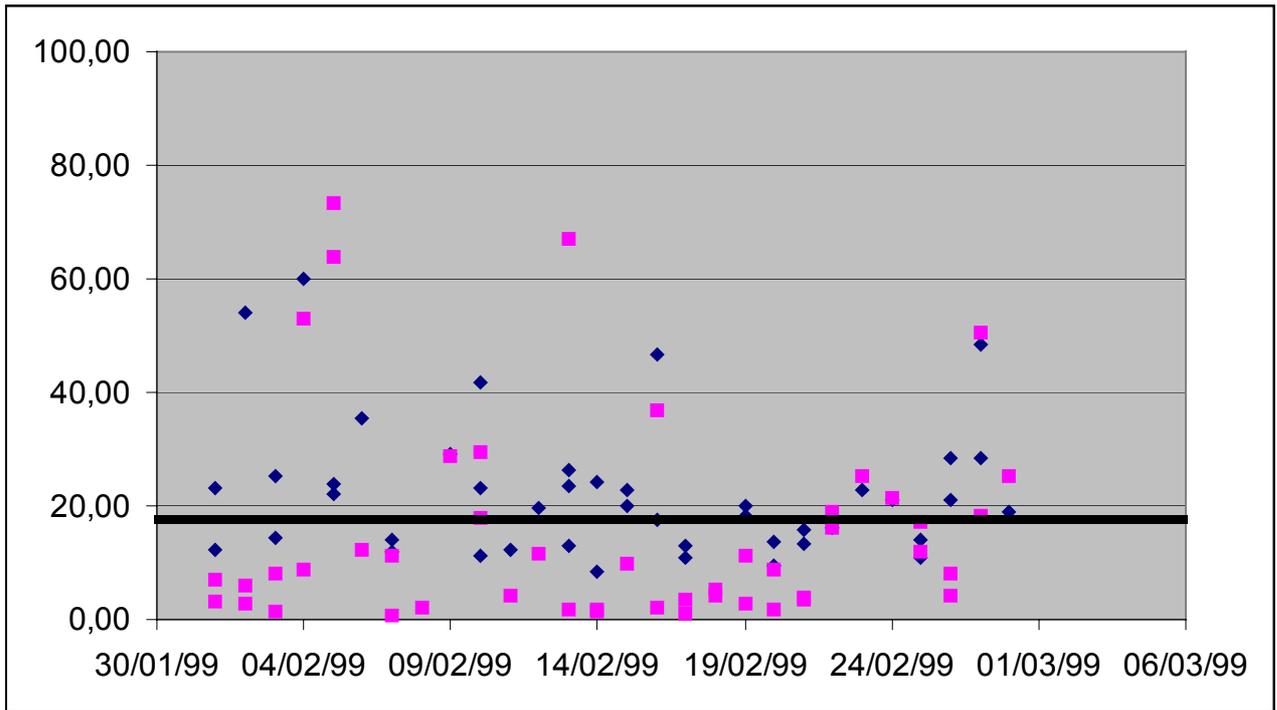


Figura 6.11 - Teor de amônia na água retificada, em ppm

Considerando que a reposição da torre de água de resfriamento seja composta por 140 m<sup>3</sup>/h de água retificada e 260 m<sup>3</sup>/h de água clarificada, isenta de amônia, podemos esperar uma concentração média de 7,65 ppm de amônia na água de reposição, se considerarmos uma concentração de 20 ppm de amônia na água retificada.

Com um ciclo de concentração de 10, isso resultará numa concentração de 76,5 ppm de amônia na torre de água de resfriamento.

Esta concentração de amônia poderá levar a uma proliferação de microorganismos, com o aumento na taxa de corrosão por “*pittings*” (corrosão localizada), implicando em aumento no custo de tratamento da água de resfriamento.

Apresenta-se dados comparando a formação de microorganismos antes e depois da utilização de efluente industrial como água de reposição.

Tabela 6.26 - Efeitos da reutilização de efluente com NH <sub>3</sub> na reposição de torres de resfriamento		
Parâmetro	Antes	Depois
Concentração de NH <sub>3</sub> na reposição (mg/l)	0,0	7-10
Taxa de corrosão no sistema (mm/ano)	0,013 – 0,026	0,013 – 0,026
Total de cloro residual (mg/l)	0,4 – 1,0	0,0

A reutilização da água de lavagem da regeneração de resinas de troca iônica. As resinas de troca iônicas utilizadas nos processos de tratamento de água precisam ser regeneradas quando atingem o seu ponto de saturação, ou seja, quando as mesmas estão saturadas com os íons que foram removidos da água de alimentação conforme (Stuart & Blake, 1993).

O processo de regeneração ocorre em três etapas citadas a seguir:

Na primeira, o leito é lavado com a solução de regenerante (ácido sulfúrico ou soda cáustica, dependendo se o leito for aniônico, catiônico ou misto), gerando um efluente contaminado com íons. O volume total de regenerante utilizado geralmente corresponde de duas a três vezes o volume do vaso de troca iônica.

Na segunda, é lavado com água clarificada, para a remoção do excesso de regenerante, gerando um efluente fortemente ácido ou básico. O volume de água de lavagem gasto nesta etapa é igual ao volume de regenerante gasto.

Na terceira, o leito é lavado com água clarificada para condicionamento dos leitos para a entrada em operação. Nesta etapa, a vazão utilizada é a própria vazão de operação dos vasos, durante um período de 30 a 60 minutos.

A qualidade do efluente gerado durante o processo de regeneração difere de etapa a etapa. Os efluentes gerados nas etapas 1 e 2 apresentam forte contaminação com íons, devendo ser encaminhados para um tanque de neutralização e posteriormente tratados na ETDI. Contudo, o efluente gerado na etapa 3 apresenta-se inicialmente concentrado em íons, mas após alguns minutos, já está bem limpo.

Embora esse efluente ainda não tenha a qualidade adequada para uso como reposição de água de alimentação de caldeiras, é pura o suficiente para ser utilizada como reposição de água de resfriamento.

Em seu estudo, (Ramalho, 1983) mostra a redução da condutividade do efluente da terceira lavagem de um leito aniônico por uma base pesada. Pelo seu levantamento, decorridos cerca de 20 minutos após o início da terceira lavagem, a condutividade do efluente gerado já estará reduzido a 400 mhos, que é a condutividade normal da alimentação do sistema de troca iônica, ou seja, da água clarificada.

Uma vez que a água clarificada é a utilizada para a reposição da torre de água de resfriamento, o volume restante da lavagem poderia ser encaminhado para

este fim, até que o efluente possa ser alinhado como produto (água para geração de vapor).

A figura 6.12 a seguir mostra o decaimento da condutividade do efluente da regeneração do leito de troca iônica:

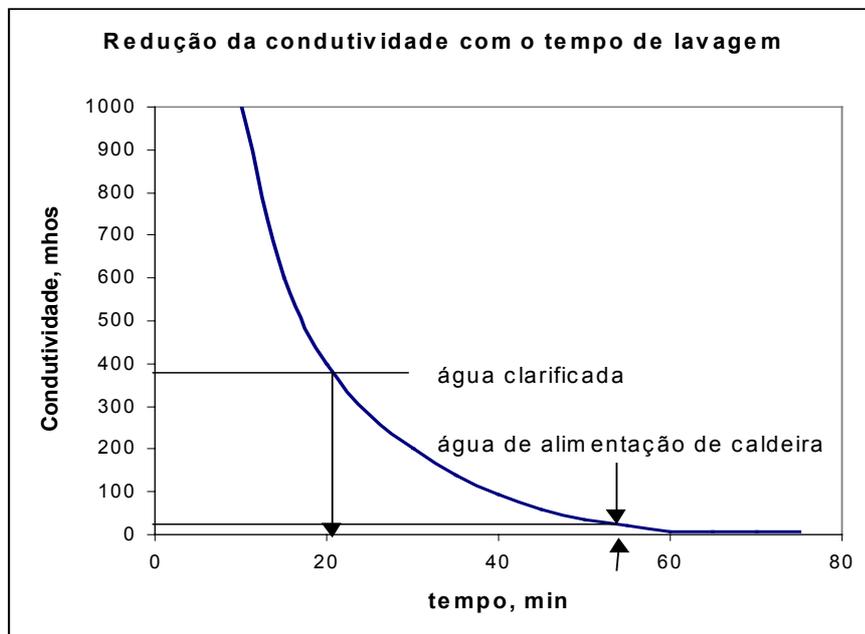


Figura 6.12 - Redução na condutividade do efluente da lavagem de resinas de troca iônica

Este raciocínio, contudo, é conservativo, pois embora o efluente gerado nos primeiros 20 minutos tenha uma condutividade muito elevada, este poderá ser diluído pelo efluente gerado nos próximos 40 minutos, até a especificação da água de alimentação de caldeira.

A tabela 6.27 apresenta as condutividades médias calculadas para o efluente gerado acumulado nos primeiros 60 minutos da 3ª lavagem. Estas condutividades foram obtidas pela integração da área sob a curva de decaimento de condutividade da figura anterior, em função da condutividade inicial estimada. Estamos considerando que a condutividade está diretamente relacionada à concentração de íons, que é aditiva em base volumétrica.

Tabela 6.27 - Condutividade média do efluente da 3ª lavagem do leito de resinas iônicas	
Condutividade inicial (mOhms)	Condutividade média (mOhms)
4.000	750
2.000	450

Pelos resultados acima, pode-se verificar que é viável reciclar toda a água da 3ª lavagem dos leitos de troca iônica para a torre de água de resfriamento. Embora a condutividade média do efluente seja maior que a recomendada, o volume das bacias das torres de resfriamento permitirá diluir a concentração de íons do mesmo.

Nos leitos de troca iônica operando na ETA da REVAP, a duração e a vazão de lavagem de cada etapa é controlada por “*timers*”, que controlam a abertura das válvulas de admissão de regenerante e descarte de efluente através de um painel central de controle (CLP), como descrito na tabela 6.28.

Tabela 6.28 : Ciclos de lavagem dos vasos iônicos					
Leitos Catiônicos – Volume de cada vaso = 5,3 m <sup>3</sup>					
Etapa	Tipo de lavagem	Vazão de lavagem (m <sup>3</sup> /h)	Destino do efluente	Duração min	Volume total (m <sup>3</sup> )
1	Regeneração c/ base	20	Esg. Contaminado	20	6,67
2	Lavagem c/água clarificada	20	Esg. Contaminado	20	6,67
3	Lavagem c/água clarificada	100	Esg. Contaminado	40	66,67
Leitos Aniônicos – volume de cada vaso = 5,3 m <sup>3</sup>					
1	Regeneração c/ ácido	20	Esg. Contaminado	20	6,67
2	Lavagem c/água clarificada	20	Esg. Contaminado	20	6,67
3	Lavagem c/água clarificada	100	Esg. Contaminado	40	66,67
LEITOS MISTOS – volume de cada vaso = 3,5 m <sup>3</sup>					
1	Regeneração c/ ácido	10	Esg. Contaminado	20	3,33
2	Regeneração c/ base	10	Esg. Contaminado	20	3,33
3	Lavagem c/água clarificada	10	Esg. Contaminado	20	3,33
4	Lavagem c/água clarificada	80	Esg. Contaminado	40	53,33

A regeneração deve ser efetuada regularmente, com freqüência definida em função da capacidade de tratamento instalada e da qualidade de sua alimentação, ou seja, de sua campanha.

O sistema de desmineralização de água da REVAP já foi descrito anteriormente. Este sistema consta de 3 vasos de troca catiônica, 3 vasos de troca aniônica e 4 vasos de leito misto.

Os vasos de leito catiônico possuem um tempo médio de campanha entre regenerações de 72 horas, ou seja, a cada 24 horas é regenerado um vaso catiônico.

Os vasos de leito aniônico possuem uma campanha menor, de cerca de 30 horas cada um. Isso representa uma regeneração a cada 12 horas.

Os vasos de leito misto possuem uma campanha média de 2 meses, o que representa uma regeneração a cada 15 dias.

Se forem totalizados os volumes de água utilizados mensalmente nas regenerações dos leitos de troca iônica, teremos uma vazão média de 10,18 m<sup>3</sup>/h de efluente gerado nestas operações, dos quais 8,49 m<sup>3</sup>/ h podem ser reciclados como água de reposição das torres de resfriamento.

Tipo de	Volume de água/regeneração, m <sup>3</sup>			Freq.diária	Vazão média, m <sup>3</sup> /h		
	Regener.	1 <sup>a</sup> lavagem	2 <sup>a</sup> lavagem		De regener.	Regener.	1 <sup>a</sup> lavagem
Catiônico	6,67	6,67	66,67	1,00	0,2779	0,2779	2,78
Aniônico	6,67	6,67	66,67	2,00	0,5558	0,5558	5,56
Misto	6,66	3,33	53,33	0,0667	0,0185	0,0093	0,1481

Para viabilizar este reaproveitamento, é necessário prever um sistema de segregação da água da 3<sup>a</sup> lavagem dos leitos iônicos. Como o processo de regeneração é comandado por um (CLP), basta reconfigurá-lo para que atue da forma adequada.

Será necessário instalar uma nova linha e válvula de drenagem em cada vaso, que será utilizada durante a 3<sup>a</sup> lavagem do vaso, segregando este efluente dos anteriores.

Todas as novas linhas de drenagem deverão ser enviadas para um vaso, de onde uma bomba enviará para a bacia da torre de água de resfriamento, sob controle do seu nível.

A figura 6.13 apresenta um esquema do sistema proposto, e a tabela 6-30, uma estimativa de custos do mesmo.

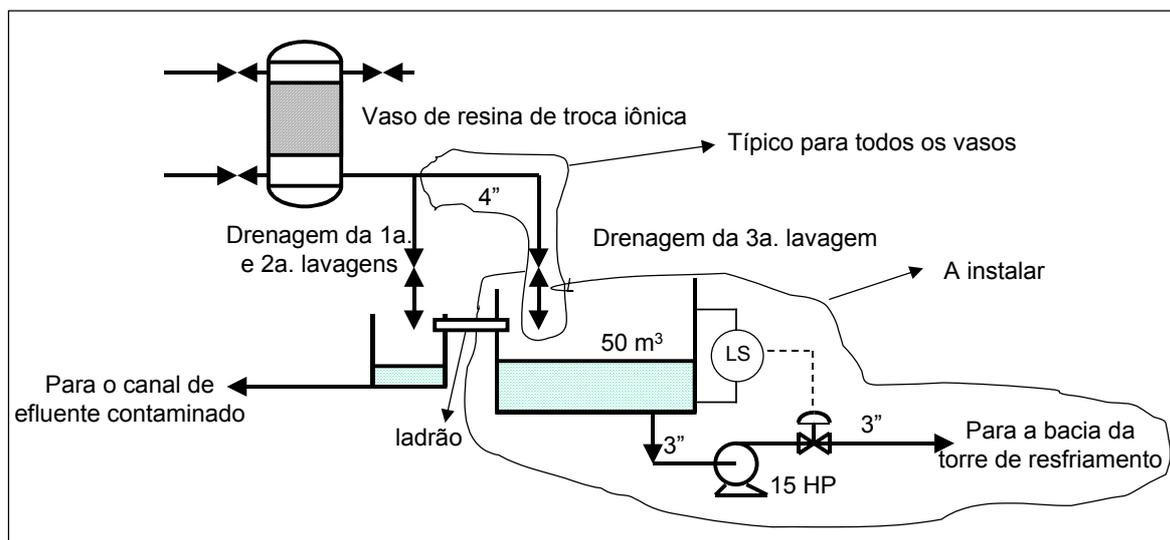


Figura 6.13 - Modificações para reaproveitar o efluentes de segregações

Tabela 6.30 - Custos estimados para o reaproveitamento da água de lavagem

Equipamento	Serviço	Quantidade	Custo US\$ mil
Tubulação de 4" Sch 40	Drenagens dos 10 vasos	250 metros	13,5
Válvulas de controle 4", incluindo atuadores e posicionadores	Controle da drenagem	10	25,0
Bomba centrífuga – capacidade 40 m <sup>3</sup> /h, pressão 10 bar, 25 HP.	Envio para a bacia da torre de resfriamento.	1	6,0
Tubulação de 3" Sch 40	Do tanque para a bomba	10 metros	1,5
Tubulação de 3" Sch 40	Da bomba para a bacia	150 metros	8,0
Sensor de nível do tanque	Liga e desliga a bomba	1	1,5
Tanque de acúmulo	Volume útil de 50 m <sup>3</sup>	1	15,0
Serviços de engenharia		1	5,0
Custo total da proposta (serviços de pintura e montagens inclusos)			75,5

O custo operacional deste sistema refere-se somente ao consumo de energia elétrica para o acionamento da bomba e o respectivo custo de manutenção (considera-se 10 % do investimento do equipamento).

O consumo de energia elétrica será de US\$ 8.050,00 / ano.

O custo de manutenção estimado é de US\$ 600,00 / ano, totalizando um custo operacional de US\$ 8.650,00 / ano(Petrobras, 1996).

## 6.8 A SEGREGAÇÃO E O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVAS

A água de chuva tem uso potencial como água de resfriamento em virtude da baixa salinidade na origem. No entanto, o seu contato com o piso das unidades de processo e canaletas sujas ocasiona a sua contaminação, requerendo a monitoração e segregação da porção contaminada antes de ser encaminhada para reutilização.

O seu aproveitamento como reposição de água de resfriamento requer também um monitoramento rigoroso no programa de tratamento químico do sistema.

Como apresentado no capítulo 5 deste estudo, as precipitações pluviométricas são responsáveis, na média, pela geração de 94,47 m<sup>3</sup>/h de efluente contaminado, considerando os dados de 1998.

Esta vazão é decorrente da grande área exposta às precipitações e com potencial de contaminações, como as bacias de contenção de tanques, tubovias e ruas, que totalizam atualmente uma área exposta de 87.964 m<sup>2</sup> para efluente oleoso e 1.165.920 m<sup>2</sup> para efluente contaminado.

Para a determinação da folga requerida na capacidade de tratamento da ETDI e do volume requerido para as bacias pulmão, de forma a evitar o eventual envio de efluente contaminado para o corpo receptor, é necessário considerar a precipitação crítica num determinado tempo de recorrência, geralmente 10 anos. Esta precipitação é bem superior à média de 1998, como veremos a seguir.

Um levantamento de precipitações pluviométricas efetuado pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA) durante os anos de 1973 a 1983 apresentou os seguintes resultados:

Tabela 6.31 - Levantamento das precipitações pluviométricas			
Valor	CTA	REVAP	Projeto
Média horária <sup>(1)</sup>		0,151	

Tabela 6.31 - Levantamento das precipitações pluviométricas(cont.)			
Média diária <sup>(1)</sup>		3,61	
Máximo horário <sup>(2)</sup>	61,9	30,3	80
Máximo diário <sup>(2)</sup>	103,3	73,7	
Máximo em 3 dias <sup>(2)</sup>		80,9	
Máximo em 7 dias <sup>(2)</sup>	134,6	96,3	
Máximo em 10 dias <sup>(2)</sup>	183,3	-	
Máximo em 30 dias <sup>(2)</sup>	313,2	244,0	

(1) Média anual em mm, durante uma hora (horária) ou 24 horas (diária)

(2) Precipitação máxima acumulada, em mm, durante o respectivo período contínuo

A TECHINT utilizou uma precipitação crítica de 80 mm/h, compatível e com folga se comparado com a máxima medida no período de dez anos.

Como verificamos não basta definirmos uma grande capacidade de acúmulo de efluentes contaminados na bacia pulmão; é necessário também prever uma folga compatível na carga da estação, para permitir o esvaziamento das bacias.

Para determinar a capacidade adicional que a ETDI deve possuir para permitir o esvaziamento das bacias pulmão, é necessário levar em conta duas situações:

A precipitação crítica horária, que determinará a máxima vazão horária de efluente pluvial gerado;

A máxima precipitação durante um longo período de chuvas, que determinará a capacidade máxima que o pulmão deverá possuir.

Os estudos realizados consideraram os novos valores de fatores de *run-off* e as áreas atualmente expostas às precipitações, adotando a máxima precipitação horária num período de recorrência de 10 anos, e a máxima precipitação acumulada durante 10 dias. Estes valores, respectivamente 68 mm/h e 202 mm resultaram nos seguintes volumes de água oleosa e contaminada gerada nas precipitações:

Efluente oleoso: volume total acumulado de 17.770 m<sup>3</sup> em 10 dias, compatível com o projeto original da TECHINT.

Efluente contaminado: volume total acumulado de 177.702 m<sup>3</sup> em 10 dias ou 59.820 m<sup>3</sup> em 1 hora.

Devido ao grande volume de água contaminada acumulada, foram apresentadas no estudo algumas opções para a sua redução, atuando na área exposta às precipitações:

Segregar a drenagem de ruas para esgoto pluvial limpo, desinterligando com o esgoto contaminado;

Efetuar um estudo de segregação de drenagem do TEVAP, de modo a reduzir em até 60 % a área geradora de efluentes contaminados.

Converter metade das canaletas de efluente contaminado das tubovias em efluente pluvial, segregando somente as áreas passíveis de vazamentos para a canaleta contaminada, como mostrado nas figuras 6.14 e 6.15 a seguir .

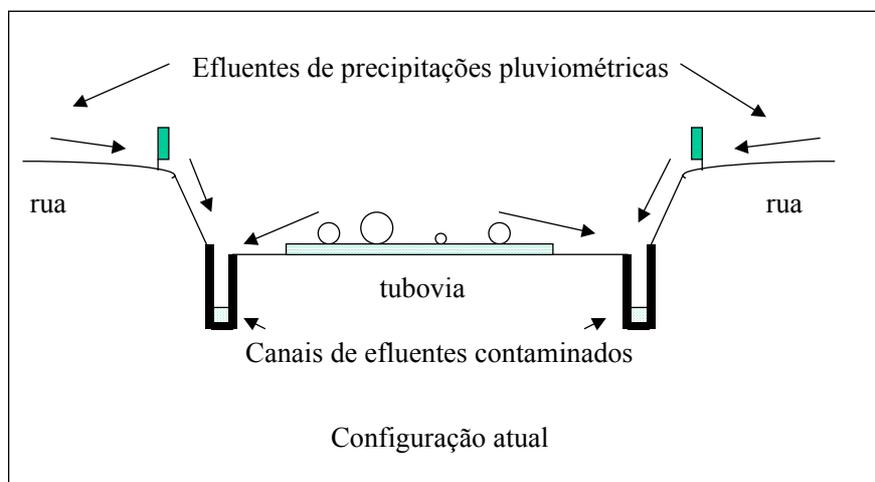


Figura 6.14 - Configuração atual dos canais de drenagem de tubovias e ruas

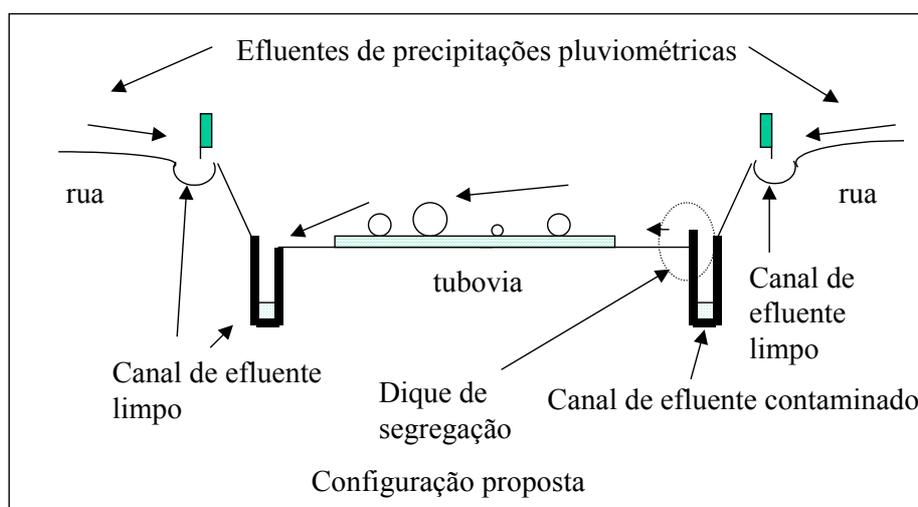


Figura 6.15 - Configuração proposta para os canais de drenagem de ruas e tubovias

Manter as bacias de contenção de tanques sempre fechadas (procedimento já adotado), e evitar a contaminação da água de chuva com as drenagens do tanque. Para isso, construir tubulações fechadas de drenagem de tanques até a caixa de acúmulo para o canal de efluentes contaminados. Paralelamente, construir outra caixa de acúmulo para receber o efluente pluvial, e uma tubulação interligando a caixa com o canal de efluentes limpos, como mostrado na figura 6-17.

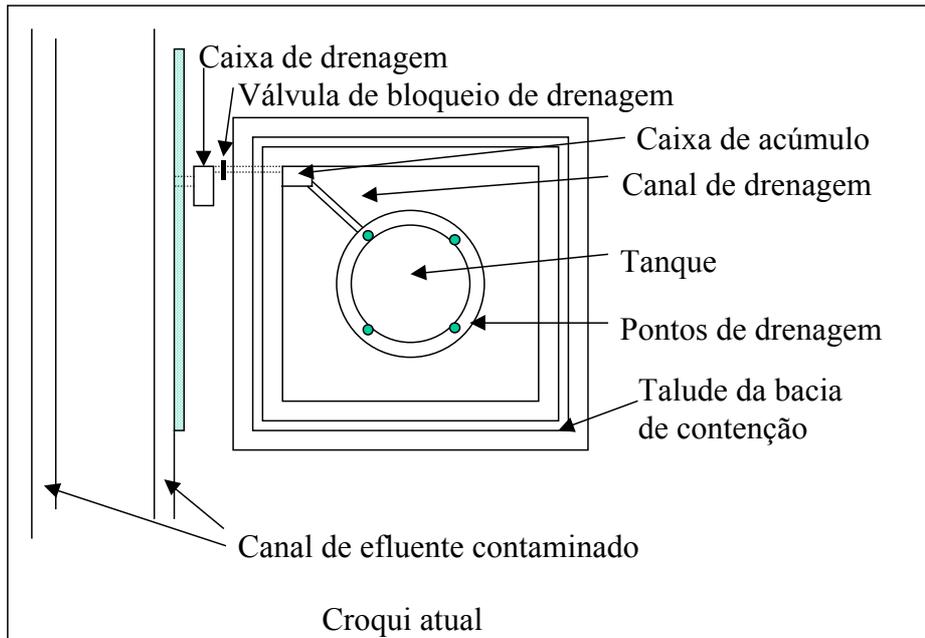


Figura 6.16 - Croqui atual do sistema de drenagem da bacia de contenção de tanques

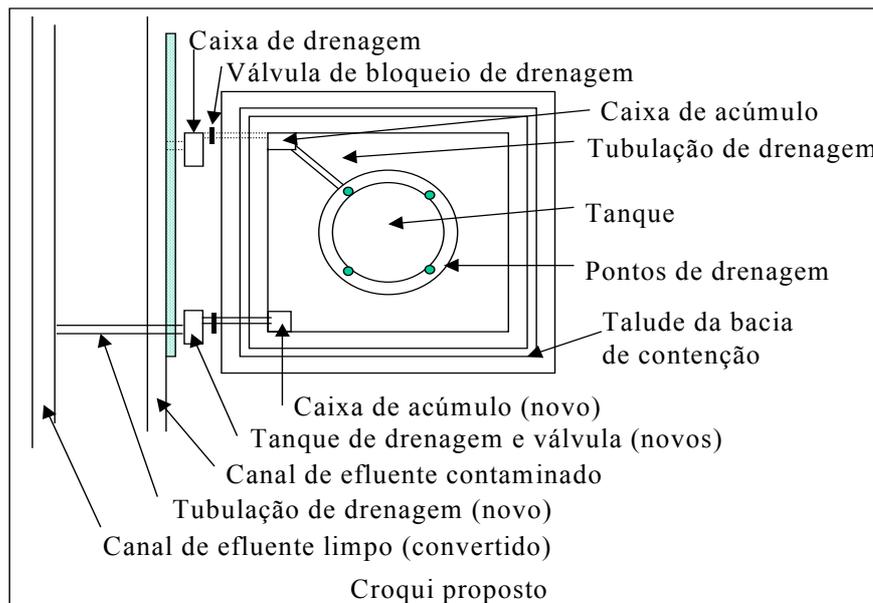


Figura 6.17 - Croqui proposto para a segregação de águas de chuvas

Com a implantação de todas estas medidas, a área contaminada sujeita a intempéries reduz-se como mostrado na tabela 6.32 :

Tabela 6.32 - Áreas contaminadas expostas às intempéries		
Áreas	Área atual, m <sup>2</sup>	Área futura, m <sup>2</sup>
Bacias de contenção	1.061.168	0
Tubovias	945.458	298.354
Ruas	177.406	0
Efluente Contaminado	2.184.032	298.354
Piso das U-processo	81.911	81.911
Piso das casas de bombas	6.053	6.053
Efluente oleoso	87.964	87.964

Considerou-se no levantamento acima que a área de tubovias sujeita às intempéries reduzir-se-á a 15 % da área atual. Na realidade, se todas as tubovias tiverem as canaletas de efluente contaminado segregadas, este percentual será menor.

Com as novas áreas calculadas acima, a geração de efluentes na precipitação crítica será:

- Efluente oleoso = 17.770 m<sup>3</sup> em dez dias, ou 5.982 m<sup>3</sup> em uma hora.
- Efluente contaminado = 24.100 m<sup>3</sup> em dez dias, ou 8.115 m<sup>3</sup> em uma hora.

Para este volume máximo de efluentes gerados, a folga máxima requerida na vazão da ETDI será de 175 m<sup>3</sup>/h, para que a bacia pulmão permaneça vazia após o término das precipitações.

Se admitir-se que tem-se mais cinco dias de tempo sem chuvas para esvaziar o volume gerado após o término das chuvas, a capacidade requerida será de 116 m<sup>3</sup>/h, ou 120 m<sup>3</sup>/h, como atualmente definido. Será mantida esta folga para o futuro, pois atenderá à necessidade de tratamento do efluente gerado tanto na máxima precipitação em períodos longos, como na precipitação máxima horária.

A vazão média anual de efluentes contaminados e oleosos gerados pelas precipitações pluviométricas será reduzida proporcionalmente às reduções de áreas expostas. Considerando a precipitação média horária de 1998, de 0,151 mm/h, a

geração de efluentes contaminados para a ETDI reduzir-se-á de 98,47 m<sup>3</sup>/h (conforme calculado anteriormente), para 16,74 m<sup>3</sup>/h.

O trabalho de segregação de drenagens das ruas para efluente pluvial limpo já foi implantado em parte da refinaria, e o custo estimado a conclusão destes serviços é de US\$ 200.000,00, para o restante das ruas da refinaria.

O custo estimado para a implantação das modificações nas canaletas de drenagem das tubovias é de US\$ 600.000,00, e para a segregação das bacias de contenção dos tanques de petróleo é de US\$ 700.000,00, considerando-se todos os tanques existentes na refinaria.

## **6.9 REUTILIZAÇÃO DIRETA DE EFLUENTE DA ETDI**

Geralmente, quando se desenvolve um trabalho de reutilização de efluentes é natural buscar-se o reaproveitamento da maior fonte de efluente para o maior consumidor. Deste modo, é comum apresentar propostas visando a reutilização de efluentes da ETDI como água de reposição do sistema de torre de resfriamento.

Contudo, é necessário o devido cuidado para evitar a concentração de substâncias indesejáveis nas bacias das torres de resfriamento. Do mesmo modo que a utilização de água retificada não é recomendada devido ao risco de concentração de amônia, a reutilização de efluentes da ETDI pode levar à concentração deste ou de outros contaminantes, levando à necessidade de se aumentar às purgas, aumentando a geração de efluentes.

Em seu trabalho, (Frayne,1992) faz um balanço teórico de consumo de água e geração de efluentes numa refinaria de petróleo, considerando três situações:

- Caso base, sem um estudo de reutilização de efluentes;
- Caso A: considerando a reutilização de efluentes da ETDI como reposição para a torre de água de resfriamento, sem tratamento;
- Caso B: considerando um trabalho de racionalização do uso de água e segregação de efluentes na fonte.

As figuras 6.19 a 6.21 apresentam um esquema de cada um destes casos.

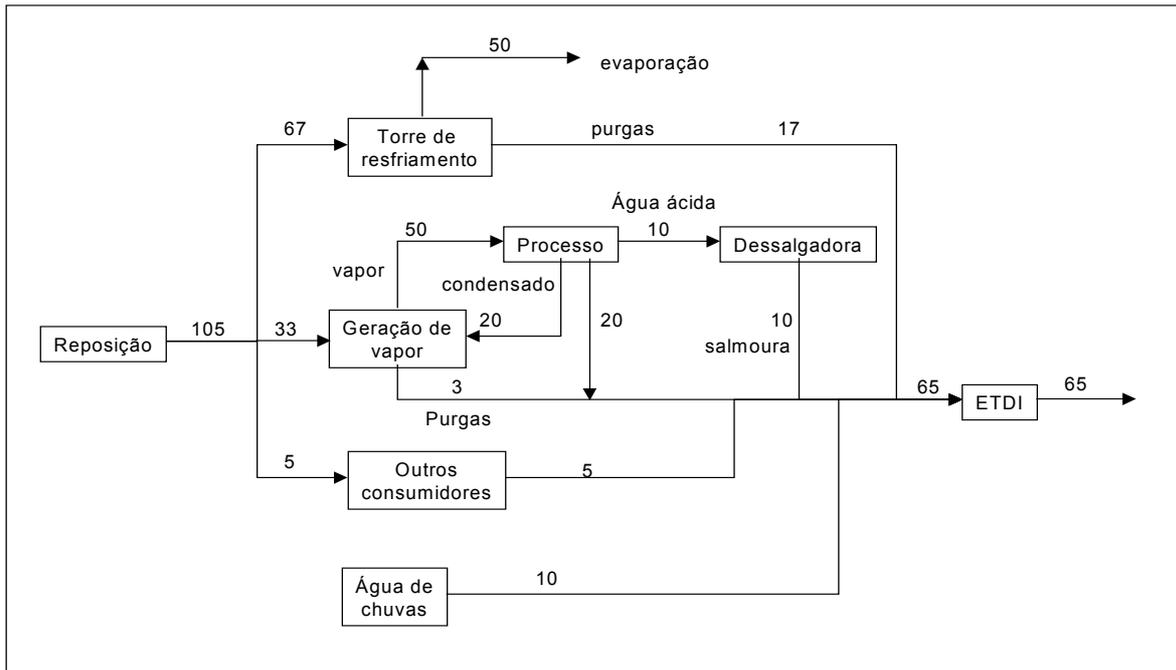


Figura 6.18 - Caso base: balanço atual de água

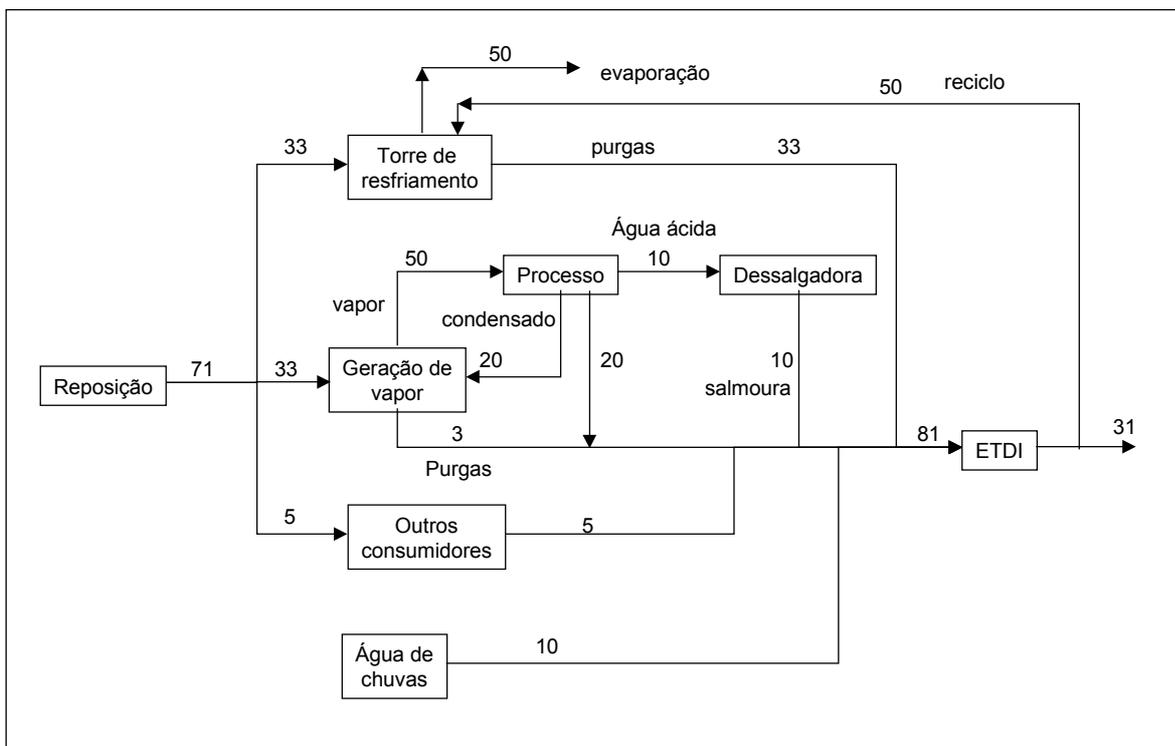


Figura 6.19 - Caso A : Considerando a reutilização de efluentes da ETDI

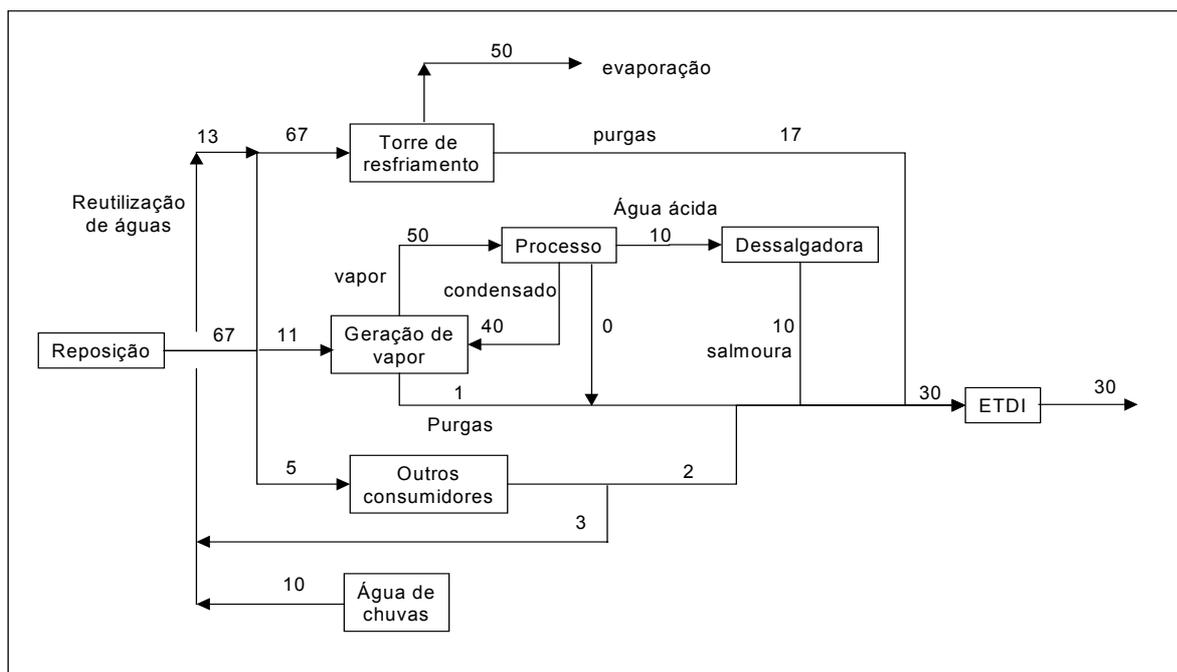


Figura 6.20 - Caso B - Considerando um trabalho de racionalização e segregação na fonte

Tabela 6.33 - Resumo do estudo de caso

Correntes	BASE	Caso A reciclo	Caso B racionalização
Correntes influentes ao processo			
Reposição de água bruta	105	71	67
Repos. de água de resfriamento	67	33	54
Reposição da caldeira	33	33	11
Outros usos	5	5	5
Água de chuva	10	10	10
Reciclo de efluente da ETDI	0	50	0
Efluentes gerados para ETDI			
Purga da torre de resfriamento	17	33	17
Purga da caldeira	3	3	1
Condensado perdido	20	20	0
Dessalgaçadora	10	10	10
Outros	5	5	2
Água de chuva	10	10	0
Carga para a ETDI	65	81	30
Efluente para corpo receptor	65	31	30

É fácil verificar que no caso A, embora tenha ocorrido uma redução na captação e consumo de água, a vazão de efluente gerado aumentou, pois houve a necessidade de se reduzir o ciclo de concentrações da torre devido ao aumento da concentração de sais na sua reposição, decorrente da utilização do efluente da ETDI para este fim.

Já no caso B, houve uma diminuição na captação, demanda e geração de efluente, devido à reutilização de água de chuva (ou outra fonte de qualidade superior à atual água de reposição) para a reposição na torre de resfriamento, além da segregação e reutilização de alguns condensados mais limpos do processo.

Por este exemplo, fica claro que a simples reutilização do efluente da refinaria no processo produtivo não é uma rota que deva ser levemente conduzida, e que, antes de se partir para a reutilização de efluentes, deve-se avaliar a racionalização do consumo e a segregação de efluentes na fonte.

No caso do efluente da ETDI da REVAP, a presença de óleo e amônia, mesmo em concentrações abaixo das especificadas pela Legislação vigente, podem levar a um aumento na geração de efluentes pelo mesmo motivo. Como desejamos reduzir a carga para a ETDI, evidentemente o aproveitamento direto do seu efluente não atenderá ao objetivo proposto.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISE ECONÔMICA DAS ROTAS APRESENTADAS

#### 7.1 BALANÇO ATUAL E FUTURO DE ÁGUA E EFLUENTES

A implantação das propostas de racionalização e reutilização de efluentes apresentadas nesta dissertação poderá reduzir significativamente o consumo de águas e a geração de efluentes.

A tabela 7.1 - apresenta um resumo das propostas apresentadas no capítulo VI:

Tabela 7.1 - Propostas para a redução no consumo de água e geração de efluentes		
Proposta	Redução m <sup>3</sup> /h	Tipo de água economizada
Recircular efluente da ETDI para água bruta	89,8	Água bruta
Utilizar gás inerte para liberar esferas	1,37	Potável
Modificar o sistema de retorno de condensado	51,27	Água p/ vapor
Reduzir a evaporação em torres de resfriamento	116,0	Resfriamento
Aumentar o ciclo de concentrações da torre de resfriamento	18,33	Resfriamento
Tratar a purga da torre de resfriamento com osmose reversa	30,70	Resfriamento
Utilizar purgas da desmineralização como reposição de torres	8,49	Resfriamento
Segregar as águas de chuva	81,73	Carga ETDI

Recalculando o balanço de águas e efluentes da REVAP e considerando as propostas acima listadas, podemos ter uma idéia da redução no consumo de água e geração de efluentes. As figuras 7.1 e 7.2 apresentam estes balanços, respectivamente para as condições atuais e contemplando as modificações propostas, sem considerar o aumento referente às ampliações e novas unidades previstas no Plano Diretor de Refino da REVAP.

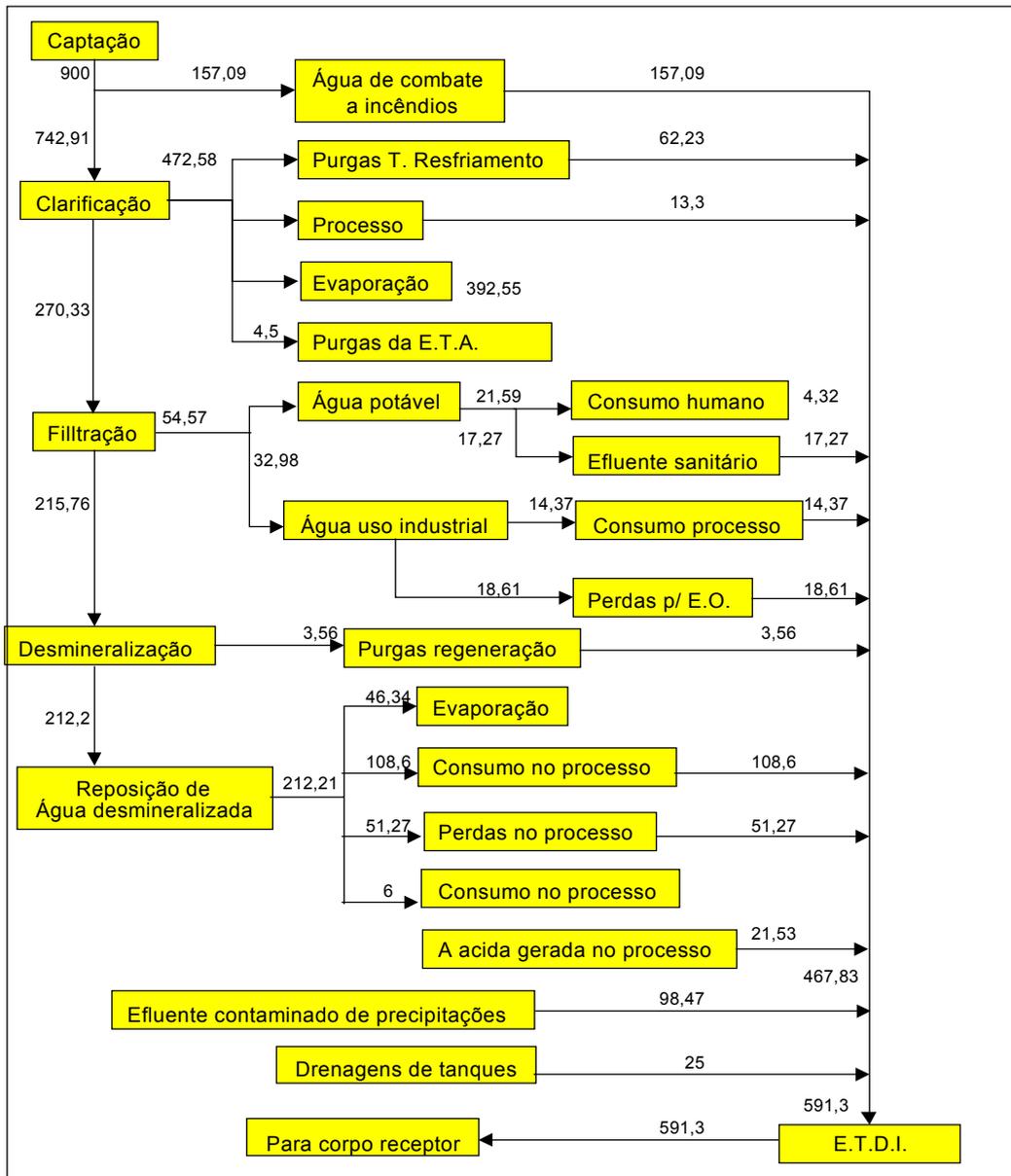


Figura 7.1 Balanço atual do consumo de água e geração de efluentes

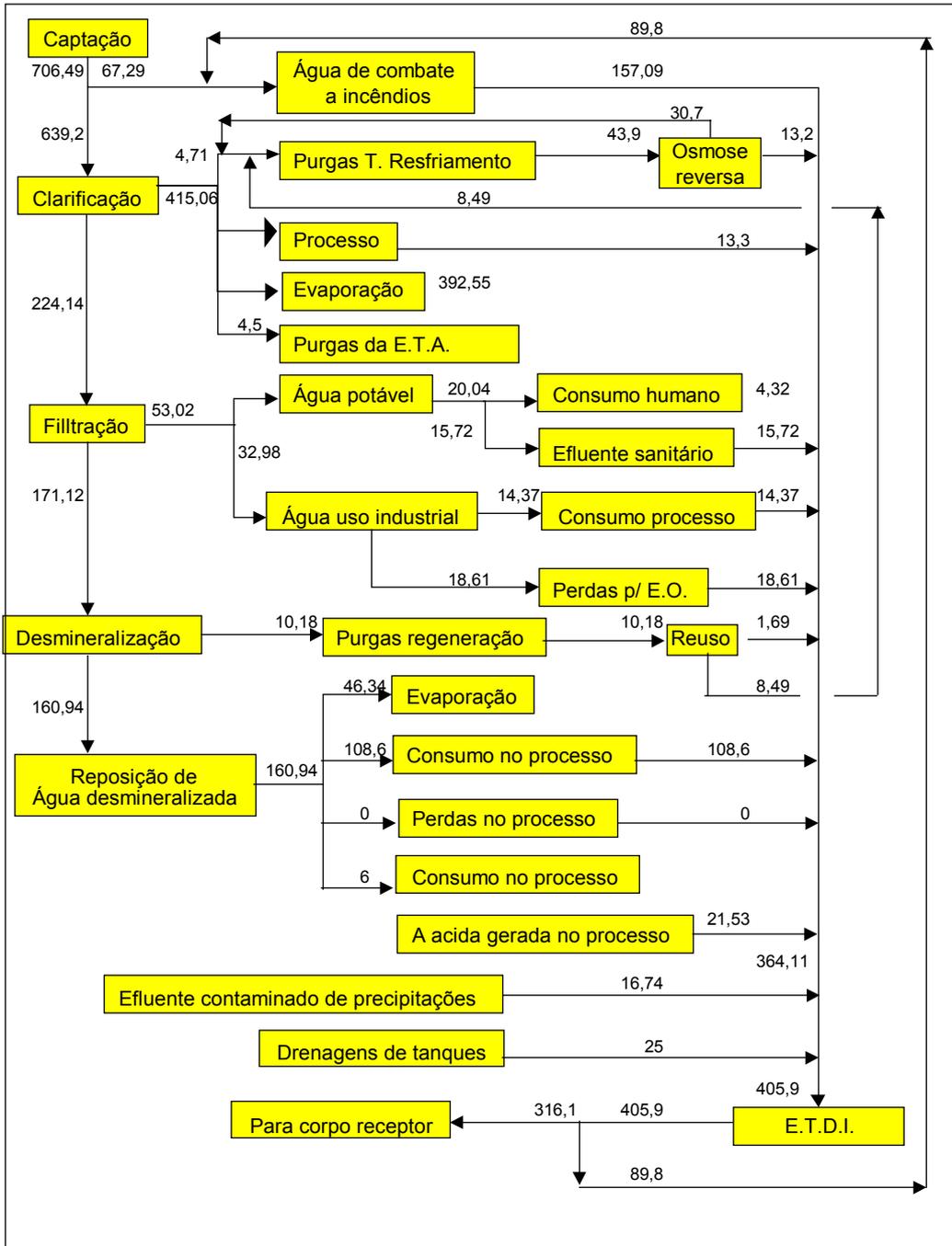


Figura 7.2 - Balanço futuro de consumo de água e geração de efluentes

A redução total no consumo de água será de 193,51 m<sup>3</sup>/h ou 21,5 % e na geração de efluentes, de 275,19 m<sup>3</sup>/h ou 46,5 %, considerando as precipitações pluviométricas.

O investimento para redução do consumo de água de resfriamento devido à evaporação só se justificaria caso o balanço de consumo de água ainda mostrasse a necessidade de ampliações na ETA, o que não se verificou.

A capacidade futura requerida na ETA, considerando as novas unidades do PDR, será:

Tabela 7.2 - Capacidades requeridas para a ETA no futuro			
PROCESSO	Capacidade projeto, m <sup>3</sup> /h	Vazão otimizada m <sup>3</sup> /h	Vazões c/ ampliações, m <sup>3</sup> /h
Captação e adução de água bruta	2.000	706,5	1.381,4
Clarificação de água bruta	1.600	639,2	1.314,2
Filtração em filtro de areia	800	224,1	534,1
Filtração em filtro de carvão ativado	150	54,6	54,6
Potabilização	150	21,6	21,6
Desmineralização (operam 2 de 3)	260	171,1	261,1
Polimento de condensado recuperado (operam 4)	550	422,6	552,6

Pode-se verificar que não será necessário ampliar a estação de tratamento de água mesmo se considerar o aumento no consumo de água devido às novas unidades previstas no PDR.

No caso da geração de efluentes, a capacidade requerida no futuro será de 364,11 (vazão média de efluentes), 120 (folga para tratar efluente pluvial), 153,4 (aumento na geração de efluentes previsto no Plano Diretor de Refino da REVAP) 25 (drenagem de tanques) totalizando 662,5 m<sup>3</sup>/h, compatível com a capacidade atual da ETDI.

Considerando esta vazão de efluentes, pode-se verificar que a geração específica de efluentes na REVAP apresentará uma redução significativa se comparado com a situação atual, mesmo com o aumento de sua complexidade, e na faixa inferior da média americana, conforme tabela 7.3.

Índice calculado como descrito anteriormente,  $I = 6 + 1,5 * \text{fator de complexidade}$

Não é considerada a vazão referente às precipitações pluviométricas, somente efluente de processo e drenagens de tanques.

Parâmetro	Situação atual	Futuro, com PDR
Carga processada na unidade de destilação, m <sup>3</sup> /d	36.000	36.000
Fator de complexidade	2,668	2,901
Índice teórico de geração de efluente, gal/barril	10,00	10,35
Efluente gerado, m <sup>3</sup> /h	492,83	299,36
Taxa de geração de efluente , gal/barril	13,8	8,38

## 7.2 ANÁLISE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS

Os custos das propostas para a redução no consumo de água e geração de efluentes já foram apresentados anteriormente; a implantação destas rotas de racionalização no consumo de água acarretará nos seguintes benefícios:

Redução do aporte de investimentos, uma vez que não serão mais necessárias ampliações nas estações de tratamento de água e de efluentes, mesmo com as ampliações do PDR;

Redução nos custos operacionais referentes a tarifação futura da captação, de água e lançamento e efluente,

Redução nos custos operacionais referentes ao tratamento de água clarificada e desmineralizada;

Os investimentos previstos para a ampliação da ETA referem-se à ampliação da desmineralização, como anteriormente descrito. Nesta análise, serão considerados os custos referentes à implantação de mais uma cadeia de resina de troca iônica, pois este sistema é o que apresenta os menores custos totais (investimento inicial de US\$ 792 mil e operação de US\$ 314 mil/ano). Com a racionalização do consumo de água e geração de efluentes, este investimento não será mais necessário.

Para a ampliação da ETDI, foi estimado um investimento inicial de US\$ 4,5 milhões a serem aplicados na ampliação de sua capacidade de tratamento. Com a racionalização, este investimento também não será mais necessário. Convém alertar que este investimento foi previsto somente para adequar a capacidade da ETDI para tratar todo o efluente gerado nas precipitações críticas, não incluindo as ampliações que seriam necessárias em decorrência do PDR. Deste modo, a economia proporcionada pela racionalização certamente é maior.

Utilizando as vazões calculadas nos balanços de águas e efluentes atual e futuro, com a implantação das propostas de racionalização apresentadas, pode-se avaliar a redução nos custos operacionais proporcionada pela redução no consumo de água e geração de efluentes conforme (Petrobras, 1996).

Considerando que a qualidade do efluente tratado não se altera significativamente em relação à qualidade atual, utilizou-se as concentrações médias de contaminantes no efluente da REVAP durante o período de abril de 1998 a março de 1999, para estima os custos referentes ao lançamento de efluentes no corpo receptor.

Tabela 7.4 - Concentrações médias do efluente da ETDI da REVAP	
Contaminante	Concentração, mg/l
DQO	165,0
DBO	22,9
Resíduos sediment.	0,1 ml/litro
NH <sub>3</sub>	4,0
pH	6,9
Cianetos	0,2
Sulfetos	0,0
Óleos e graxas	7,6
Sólidos Suspensos	26,3
Fenóis	0,01
Fósforo	0,2
Ferro	0,5
Chumbo	0,0

Utilizando as tarifas obtém-se os custos referentes a tarifação da captação, consumo e lançamento de efluentes pela REVAP:

Tabela 7.5 - Tarifas estimadas para o consumo de água e geração de efluentes atual										
Situação atual			Valores		PUB		PUF		PUF	
			Mensais		US\$/m <sup>3</sup> (kg)		US\$/m <sup>3</sup> (kg)		US\$/mês	
Item	Valor	unid	Vazão	Unid.	min	max	min	max	min	max
Captação	900,00	m <sup>3</sup> /h	648000	m <sup>3</sup> /mês	0,01	0,05	0,0121	0,0605	7840	39204
Consumo	308,70	m <sup>3</sup> /h	222264	m <sup>3</sup> /mês	0,02	0,10	0,0242	0,1210	5378	26893
DBO	22,90	mg/l	9749	kg/mês	0,10	1,00	0,156	1,560	1520	15209
DQO	165,00	mg/l	70246	kg/mês	0,05	0,50	0,078	0,780	5479	54792
R.Sed.	0,10	ml/l	42574	l/mês	0,01	0,10	0,016	0,156	664	6641
C.Inorg.	0,20	mg/l	85	kg/mês	1,00	10,00	1,560	15,600	133	1328
Lançam.	591,30	m <sup>3</sup> /h	425736	m <sup>3</sup> /mês					7797	77971
Total									21017	144069

Tabela 7.6 - Tarifas estimadas para a condição futura (racionalizada) de consumo de água e geração de efluentes										
Situação futura			Valores		PUB		PUF		PUF	
			Mensais		US\$/m <sup>3</sup> (kg)		US\$/m <sup>3</sup> (kg)		US\$/mês	
Item	Valor	unid	Vazão	Unid.	Min	max	min	max	min	max
Captação	706,49	m <sup>3</sup> /h	508673	m <sup>3</sup> /mês	0,01	0,05	0,0121	0,0605	6155	30775
Consumo	390,39	m <sup>3</sup> /h	281081	m <sup>3</sup> /mês	0,02	0,10	0,0242	0,1210	6802	34011
DBO	22,90	mg/l	5212	kg/mês	0,10	1,00	0,156	1,560	813	8130
DQO	165,00	mg/l	37553	kg/mês	0,05	0,50	0,078	0,780	2929	29291
R.Sed.	0,10	ml/l	42574	l/mês	0,01	0,10	0,016	0,156	355	3550
C.Inorg.	0,20	mg/l	45,5	kg/mês	1,00	10,00	1,560	15,600	71	710
Lançam.	316,1	m <sup>3</sup> /h	227592	m <sup>3</sup> /mês					4168	41682
Total									17125	106468

Comparando as tarifas para as duas situações apresentadas nas tabelas 7.5 e 7.6, obteve-se as economias mínima e máxima obtidas pela implantação das propostas de racionalização apresentadas neste estudo, conforme tabelas 7.7 e 7.8.

Tabela 7.7 - Tarifas mínimas em US\$/mês para a situação atual e a futura		
	Atual	Futuro
Captação	7840,80	6154,94
Consumo	5378,79	6802,16
Lançamento	7797,10	4168,21
Total	21016,69	17125,31
Diferença	3.891,38	

	Atual	Futuro
Captação	39204,00	30774,70
Consumo	26893,94	34010,78
Lançamento	77970,99	41682,11
Total	144068,94	106467,59
Diferença	37.601,35	US\$/mês

Pelos resultados acima, podemos verificar que mesmo considerando apenas a economia possibilitada pela redução no consumo de água e geração de efluentes, haverá uma redução apreciável nos custos operacionais da refinaria, entre US\$ 3.891,38 e US\$ 37.601,35 por mês, ou US\$ 46.697,00 e US\$ 451.216,00 por ano.

A economia proveniente da redução nos custos operacionais da ETA e da ETDI pode ser observada na tabela 7-9, que apresenta uma comparação nas vazões de tratamento de água para a situação atual e com a implantação das propostas de racionalização. Os custos apresentados referem-se somente aos marginais, não sendo levado em conta os custos de ampliação necessários no PDR, que já foram considerados anteriormente.

Processo de tratamento de água	Atual m <sup>3</sup> /h	Racion. m <sup>3</sup> /h	Diferença m <sup>3</sup> /h	C.margin. US\$/m <sup>3</sup>	Economia US\$mil/ano
Captação/adução água bruta	900,0	706,5	193,5	0,03	50,85
Clarificação de água bruta	742,9	639,2	103,7	0,04	36,34
Filtração em filtro de areia	271,8	224,1	47,7	0,04	16,71
Filtração em carvão ativado	54,6	54,6	0,0	0,04	0,00
Potabilização	21,6	21,6	0,0	0,02	0,00
Desmineralização	212,2	171,1	41,1	0,35	126,01
Polimento de condensado	371,3	422,6	-51,3	0,15	-67,41
Tratamento de efluente	591,3	405,9	185,4	0,60	974,46
Redução total no custo operacional da ETA e ETDI, US\$ mil/ano					1.136,96

Pode-se esperar, portanto, uma redução de US\$ 1.139.960,00/ano nos custos operacionais da ETA e da ETDI, com a racionalização.

A tabela 7.10 apresenta um resumo dos benefícios esperados pela implantação das propostas de racionalização.

Tabela 7.10 - Benefícios da racionalização do consumo de água e geração de efluentes		
Benefício esperado	Redução no Investimento US\$ mil	Redução no C.operacional US\$ mil/ano
Cancelamento da ampliação da desmineralização	792	314
Cancelamento da ampliação da ETDI	4.500	
Redução na tarifa consumo de água e geração de efluentes		46,7*
Redução nos custos operacionais da ETA e ETDI		1.136,96
<b>TOTAL</b>	<b>5.292</b>	<b>1.497,7</b>

\*Considerando o benefício mínimo esperado.

A tabela 7.11 apresenta os investimentos e custos operacionais necessários para a implantação das propostas de racionalização.

Tabela 7.11 - Investimentos requeridos para a racionalização		
Proposta de racionalização	Investimento	C.operacional
	US\$ mil	US\$ mil/ano
Recircular efluente da ETDI	490,00	44,94
Gás inerte para liberação de esferas	0,00	50,00 <sup>(1)</sup>
Modificação do retorno de condensado	419,00	16,10
Aumentar o ciclo das torres de resfriamento	0,00	50,00 <sup>(1)</sup>
Tratar e retornar purga de torres de resfriam.	750,00	66,92
Reciclar as purgas da desmineralização	75,50	8,65
Segregação das águas de chuvas	1.500,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>3.234,50</b>	<b>236,61</b>

Custos operacionais estimados, supondo que seja necessário aumentar a dosagem de produtos químicos e aumentar o estoque de gás inerte.

Pode-se verificar que haverá, no mínimo, uma redução de US\$ 2.057,50 mil nos investimentos necessários para adequar a ETA e a ETDI para as futuras demandas previstas no PDR, além de uma redução estimada de US\$ 1.261,09 mil/ano nos custos operacionais, o que mostra que o investimento em planos de racionalização de consumo de água é altamente vantajoso.

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSÕES**

Nesta dissertação foram apresentadas manifestações sobre o problema da falta do recurso natural água para as necessidades das futuras gerações. O mais recente alerta foi dado pelo relatório GEO-2000 do programa das Nações Unidas para o meio ambiente onde é citado que a falta de água e o aquecimento global serão as questões mais preocupantes para o próximo século. Da mesma forma, o crescimento da população e a respectiva necessidade de consumo de água, faz com que todos os segmentos da sociedade busquem práticas mais eficientes para a utilização da mesma.

A implantação de alguns projetos de racionalização do uso da água e da geração de efluentes e a melhoria das práticas operacionais possibilitarão a expansão do parque industrial sem investimentos adicionais em ampliações das estações de tratamento de água e efluentes.

Os projetos propostos neste trabalho permitirão a redução do rota de investimentos previstos no plano diretor de refino da REVAP em cerca de US\$ 2.050 mil e dos custos operacionais em cerca de US\$ 1.250 mil por ano.

De uma forma geral, medidas como as apresentadas neste estudo possibilitam conciliar os interesses empresariais com a preservação de recursos naturais, ou seja, pode ser um bom negócio investir na economia de água. Para viabilizar estes projetos é necessário que apresentem para o empreendedor, um retorno financeiro. No caso deste estudo, a necessidade de ampliações nas estações de tratamento de água e de efluentes industriais viabilizou a realocação destes investimentos para a implantação de projetos de racionalização no consumo de água. Portanto, a busca da otimização das operações dos grandes sistemas consumidores de água e a implantação de propostas viáveis para reutilização direta destes recursos são as linhas mestras para o desenvolvimento de projetos de racionalização de água. Para tal, é necessário um trabalho estratégico de engenharia, com o levantamento de informações confiáveis dos processos envolvidos e principalmente da concentração dos contaminantes e sua variabilidade.

Após a coleta destes dados, é necessário efetuar a sua conciliação, através de um balanço de massa. Somente então, será possível definir a melhor rota de reutilização do efluente, rumo a tecnologia de descarte zero (ZD), e a excelência no tratamento de efluentes industriais.

Conclusão: A racionalização do uso de água na REVAP possibilita uma expansão da produção (consumo de água e produção de efluentes) sem a necessidade de investimentos para a ampliação da ETA e da ETE.

## **CAPÍTULO IX**

### **RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS**

Este trabalho limitou-se a estudar e apresentar propostas de projetos que visaram a racionalização do consumo de água e a reutilização direta de efluentes, sem tratamento. Este enfoque foi definido pelo autor deste trabalho de acordo com o plano estabelecido no seu primeiro capítulo, e os resultados obtidos comprovam que este atendeu perfeitamente ao seu objetivo, com a apresentação de propostas concretas e viáveis técnica e economicamente.

Os efluentes de refinarias de petróleo apresentam inúmeros contaminantes que, em uma análise preliminar, não impediriam o seu reaproveitamento em outros serviços. Contudo é necessário analisar com muito critério o efeito destes contaminantes no novo uso. Uma escolha equivocada pode levar a um acréscimo nos custos operacionais, tornando-se maior que os benefícios obtidos pelo reaproveitamento. Como mostrado anteriormente, um balanço de águas consistente permitirá as melhores rotas de reaproveitamento.

Caso a refinaria decida atingir a excelência na redução do consumo de água e geração de efluentes, a próxima etapa a ser implantada será o tratamento do efluente final antes de sua reutilização, buscando o ZD (zero discharge ou efluente zero).

Evidentemente, somente após o esgotamento das possibilidades de otimização e racionalização do consumo de água e geração de efluentes, é que se deve partir para rotas de tratamento de efluentes para sua reutilização.

Embora tenha ocorrido um grande desenvolvimento nos processos de tratamento e reutilização de efluentes nos últimos dez anos, estes ainda apresentam um custo relativamente elevado. A implantação destes processos só será viável economicamente caso a redução no consumo de água e geração de efluentes permita uma economia nos custos operacionais num montante suficiente para amortizar os investimentos requeridos.

Diversos trabalhos demonstrados nesta dissertação apresentam processos para o tratamento de efluentes, visando a sua reutilização. Entre os processos

citados, destaco os apresentados nas tabelas 8.1 a 8.6 por tipo de contaminante presente no efluente.

Tabela 8.1 – Processos para remoção de amônia de efluentes	
Método	Descrição
Tratamento biológico (sistema de lodo ativado, leito de filme fixo, leito de discos rotativos)	Parte da amônia é removida pelo próprio crescimento biológico, o restante sofre nitrificação para nitritos e nitratos a seguir.
Oxidação por cloro em cloroamina	Reação química direta, porém o custo dependerá da DQO do efluente.
Retificação (“ <i>Stripping</i> ”)	A amônia sofre um arraste por fluxo de ar em contracorrente numa torre de aspersão ou de recheio.
Osmose reversa	Pelo princípio da osmose a amônia é separada da corrente principal.

Tabela 8.2 – Processos para remoção de cianetos de efluentes	
Métodos	Descrição
Sistema de lodo ativado	Alta concentração de microorganismos em meio aeróbico causa a degradação dos cianetos.
Polissulfeto	Os polissulfetos reagem com os cianetos gerando tiocianatos mais inócuos
Oxidação química	Geralmente se utilizam hipocloritos ou peróxido para a oxidação dos cianetos em cianatos.

Tabela 8.3 – Processos para remoção de fenóis de efluentes	
Métodos	Descrição
Sistema de lodo ativado	Alta concentração de microorganismos em meio aeróbico causa a degradação dos fenóis.
Adsorção em leito de carvão ativado	O carvão ativado adsorve os fenóis do efluente

Tabela 8.4 – Processos para remoção de sulfetos de efluentes

Método	Descrição
Sistema de lodo ativado	Alta concentração de microorganismos em meio aeróbico causa a oxidação dos sulfetos.
Lago de aeração	O oxigênio do ar e tempo de residência permitem a oxidação dos sulfetos.
Oxidação químicas (Ácido peracético, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> )	Os sulfetos sofrem fácil oxidação pelos reagentes usuais como o H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e O <sub>3</sub>
Resina de troca iônica	Um leito de Resina aniônica adsorve o anion S

Tabela 8.5 – Processos para remoção de hidrocarbonetos de efluentes

Método	Descrição
Decantação (separador AP)	O óleo livre facilmente emerge na superfície e pode ser mecanicamente escumado e removido.
Flotação com ar dissolvido	Baixas concentrações de óleo são aderidas nas bolhas de ar e emergidas na superfície.
Redução na fonte	Instalação de medidores de interface hidrocarboneto-salmoura por absorção energética minimizando o arraste de hidrocarbonetos por salmoura.
Coagulação química	Aplicado para óleo emulsificado, a coagulação química causa a coalescência das partículas em outras maiores permitindo a sua remoção.

Tabela 8.6 – Processos para remoção de hidrocarbonetos voláteis de efluentes

Retificação	O efluente líquido pode ser esgotado por corrente de arraste, por ar ou vapor em torres de recheio.
Carvão ativado	A maior parte dos VOC's pode ser adsorvido em leito de carvão ativado.

As rotas apresentadas acima podem ser viáveis para a produção de um efluente recuperado aproveitável, em função dos custos de sua implementação e da quantidade de água recuperada. Os custos de cada rota dependerão da vazão e concentração média de contaminantes do efluente a ser tratado, e da qualidade da água tratada.

As propostas de tarifação para a captação e consumo de água e lançamento de efluentes tornarão cada vez mais viáveis os projetos de racionalização e reutilização de água e efluentes conforme (Relatório CEIVAP,1999), Neste estudo, pode-se verificar que a implantação das propostas de racionalização permitiram a redução dos custos referentes a tarifação de US\$21.016,00/mês para US\$ 17.125,00/mês na tarifa mínima, e de US\$ 144.069,00/mês para US\$ 106.467,00/mês na tarifa máxima.

Considerando que seja definida uma tarifa média, os custos operacionais da refinaria seriam acrescidos de US\$ 61.796,00 ao mês, mesmo considerando a racionalização no consumo de água e geração de efluentes. Isto representa, em média, um custo de US\$ 0,122/m<sup>3</sup> de água captada, consumida e efluente lançado.]

Se o investimento requerido para este processo for inferior a US\$ 1.200.000,00 sua taxa interna de retorno será de no mínimo, 15% ao ano. Ou seja, o investimento apresentará um bom retorno econômico.

## CAPITULO X

### DESDOBRAMENTOS FUTUROS

Sugere-se que o presente trabalho tenha continuidade visando a implantação de um plano para a implantação de Efluente Zero (ZD) na refinaria. Para auxiliar futuros estudos neste sentido, recomenda-se seguir a metodologia apresentada no presente trabalho, definindo, para cada proposta apresentada, os custos de investimento e operacional, e a economia obtida no consumo de água e/ou lançamento de efluentes. De posse destes dados, efetuar uma análise de viabilidade econômica (cálculo da taxa de retorno de investimento) para definir pela sua implantação ou abandonar a proposta.

Ainda, como continuidade desta dissertação recomenda-se as seguintes pesquisas:

- Estudo de aproveitamento das águas pluviais como água de make-up do sistema de resfriamento e/ou para abastecimento do sistema de combate a incêndio, ou outros usos auxiliares, identificando os processos de tratamento adequados.
- Desenvolvimento de tecnologia para condensação da água evaporada nas torres de resfriamento visando seu reaproveitamento no circuito. Como apresentado no texto da dissertação, as refinarias brasileiras consomem quase 70% da água captada para suprir o sistema de resfriamento, sendo que cerca de 45% deste montante é evaporado. Portanto, o desenvolvimento de tecnologia que reduza esta evaporação é um desafio, principalmente para sistemas de grande porte.
- Avaliação técnico-econômico do tratamento do efluente final da ETDI em refinarias instaladas em bacias estressadas visando a eliminação do descarte (Efluente zero). Em bacias estressadas pode ocorrer que as indústrias consigam manter sua vazão outorgada ou, em casos críticos, pode ocorrer a redução da vazão outorgada acarretando no impedimento da expansão das atividades produtivas ou mesmo na redução dos níveis de produção. No caso de restrição de suprimento de água, ao invés de expandir a planta existente, a empresa pode optar por construir uma nova unidade em outra bacia com

abundância de água. A implantação de um programa de redução de consumo de água e de descarte de efluentes pode manter a atividade industrial nos níveis atuais, mas caso isso não seja suficiente, a solução alternativa à construção de uma nova unidade é o reúso total com geração zero de efluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brasil, Nilo I. do, Tratamento de Óleo – Desidratação e Dessalgação, (Apostila). Rio de Janeiro, Petrobras/Cenpes/Diven, 1987
- [ 2] Ceivap. Projeto Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica – PGA – Relatório Executivo. Resende – Rj, Ceivap, Julho De 1999, 124 P..
- [3] Cetesb; Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 1990 (Relatório). São Paulo, Cetesb, Junho de 1991, 155p.
- [4] Comb, Lee. “*Wastewater Recovery Using Reverse Osmosis*” (Folheto, Site da Internet – [www.osmonics.com](http://www.osmonics.com)), Março de 1999.
- [5] Dow Latin América. *A Tecnologia de Membranas de Osmose Reversa (Folheto Técnico)*. São Paulo, S.D., 45 P..
- [6] Latin América. *Sistema de Desmineralização de Água Por Osmose Reversa (Folheto Técnico)*. São Paulo, S.D..  
2..
- [7] Eble, Karen S. & Feathers, Jennifer. “*Water Reuse Optimzation Requires Knowledge of Cleanup Methods*” *Oil & Gas Journal*, Nova Iorque , 1992, Pp. 83 – 85..
- [8] Eckenfelder, W. W. & Musterman, J. L.. *Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater*. S. Ed., Lancaster: Technomic Publishing Co., 1995, 281 P..
- [9] Goronszy. Mervyn C. & Alli. “*Waste Water – A Guide to Industrial Pretreatment*”. *Chemical Engineering*, Nova Iorque : Vol. 99, Junho de 1992, Pp. 78 - 83.
- [10] Hauck, Jim & Mascomian, Sthephen. “*Alternate Technologies for Wastewater Treatment*” *Pollution Engineering*, Maio de 1990, Pp. 81 - 84.
- [11] Holiday, Allan D.. “*Conserving and Reusing Water*” *Chemical Engineering*, Nova Iorque ; 1982, Pp. 118 – 137.
- [12] Instituto de Pesquisas Espaciais; Sumário – Levantamento Metereológico na Região de São José dos Campos - Altitude 630m; Latitude 23°14’ S; Longitude 45°51’w, São José dos Campos, 1973 A Abril De 1983.
- [13] Kayano, C. A. S. & Yamada A. H.. Sep 2151 – Ampliação do Sistema de Desmineralização da REVAP (Relatório). São José dos Campos, Petrobras/Revap/Diteg/Semop, 1999, 45 P.

[14] Kayano, C. A. S. & Di Battista, M. G.; Estudo de Segregação de Águas de Chuva na Revap (Relatório). São José dos Campos, 1999, 15 Pp.

[15] Kurita Water Industries Inc.. Kurita Handbook of Water Treatment, S.Ed.,Tokyo : Kurita Industries, 1985 471 P.

[16] Little, D. W. & Lefevre, L. F.; “Advances and Changing Costs in Reverse Osmosis and Ion Exchange Systems”. (Folheto, Site Da Internet – [Www.Osmonics.Com](http://www.osmonics.com)), Agosto De 1999.

[17] Natron Consultoria e Projetos As. Memória de Cálculo do Sistema de Drenagem Pluvial da Refinaria do Vale do Paraíba, São José dos Campos : 1975, 26 P.. – Mc-848-1-000-041-Nae-01, 11, 12, 13 E 14.

[18] Natron Engenharia Sa. “Drenagem Pluvial – REVAP Refinaria de S. J. dos Campos – Áreas 1, 2, 3 E 4, São José dos Campos : 1974, 5 P.. – de-848-1-000-192-Nae 11, 12, 13, 14 E 15.

[19] Paulson, David & Jondahl, Kenneth. “Application of Membrane Technology for Recovery and Reuse of Water” (Folheto, Site da Internet [Www.Osmonics.Com](http://www.osmonics.com)), Março de 1999.

[20] Petrobras – Petróleo Brasileiro SA – Abast-Ref/Gequip/Senge. Manual de Estimativa de Custos do Abastecimento (Manual). Rio de Janeiro, Outubro de 1996, 19 P.

[21] Ramalho, R. S.. Introduction to Wastewater Treatment Processes. 2ª Edição, Nova Iorque : Academic Press, 1983, 580 P.

[22] Rohm & Haas Cone Sul, Resina de Troca Iônica – Amberlite, Duolite, Imac (Folheto Técnico). São Paulo, 1996.

[23] Snam Projetos Engenharia S.A.. Refinaria de São José dos Campos – Unidade de Tratamento de Água e Resfriamento de Água – Manual de Projeto. São José Dos Campos, 1979, S.P.

[24] Stuart, Christine M. & Blake, Natalie R.. “Maintaining Cooling Water System Performance Using Recycled Water”. Corrosion 93 – The Nace Annual Conference And Corrosion Show, Houston : N° 457, Pp. 457.1 – 457.10.

[25] Tchobanoglous, G. & Burton, F. L. Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse, 3ª Edição, Singapura : Mcgraw-Hill, 1991, 1.334 P.

[26] Techint, Compagnia Tecnica Internazionale. REVAP - Refinery of Sao José dos Campos Wasterwater Treatment Plant – Desing Handbook, Milão : 1978, 153 P.

[27] Techint, Compagnia Tecnica Internazionale. Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais – Manual de Operação, 1976.

[28] Torok, Melissa. "The Filtration Spectrum". (Folheto, Site da Internet – [Www.Osmonics.Com](http://Www.Osmonics.Com)), 1999.

[29] FIESP e CIESP, Conservação e Reúso da Água Anual de Orientações para o Setor Industrial, São Paulo 2004.

[30] American Water Works Association, Water Quality & Treatment, A Handbook of Community Water Supplies, New York – U.S.A, 1999.

[31] James G. M. And Liu Y. A., Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization, New York – U.S.A, 1999

[32] Villiers, Marq De; "Água, Como o Uso Deste Precioso Recurso Natural Poderá Acarretar a Mais Séria Crise do Século XXI", Rio de Janeiro, 2002

[33] Braile, P.M. e Cavalcanti, J.E.W.A.; "Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais"; CETESB, São Paulo, 1979.

[34] MME; "Balanço Energético Nacional"; Ano de Ref. 2002; Brasília; 2003

[35] Almeida, Roberto Alves; "O Uso Industrial da Água e a Gestão de Recursos Hídricos; XV Simpósio da ABRH; Curitiba, 2003.

[36].May, P.H.; Lustosa, M.C.; Vinha, V. "Economia do Meio Ambiente"; Editora Campus; Rio de Janeiro, 2003.

[37] SRH/MMA; "Água No Mundo"; Brasília, 1997.

[38] Schneider,R.P.; Tsutiya,M.T.; Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água , Esgoto e Água de Reúso ; ABES , São Paulo 2001

[39] Frayne, S. P. "*Minimize Plant Wastewater*" Hydrocarbon Processing, Houston: Vol. 71, 1992, Pp. 79 - 82.

[40] Avibotele, 1992. In Uniágua, 2004.

[41] DNAE, 1992.