



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ



21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

## REAPROVEITAMENTO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA DESCARTADAS DO PROCESSO DE DESMINERALIZAÇÃO DE ÁGUAS PARA O TRATAMENTO DA CORRENTE DE PURGA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO

Cecília Friedrich Kraemer<sup>1</sup>, Isabel Cristina Tessaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Separação por Membranas (LASEM)  
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,  
E-MAIL: ceciliakraemer@yahoo.com.br, isabel@enq.ufrgs.br

**Palavras Chaves:** reúso de água, membranas de poliamida, osmose inversa.

**Resumo:** O presente trabalho tem como objetivo estudar o reaproveitamento de membranas de osmose inversa descartadas do processo de desmineralização de águas, com a finalidade de reúso dessas membranas para o tratamento da corrente de purga das torres de resfriamento. A indústria de petróleo consome grandes quantidades de água nas operações industriais de refino, especialmente para resfriamento de equipamentos e produção de vapor de água. A utilização de água nas torres de resfriamento representa uma fonte considerável de problemas ambientais, devido ao grande volume de água captado, às perdas por evaporação e ao descarte de efluentes. Foi proposto, portanto, um estudo para o tratamento da água de purga, com o objetivo de reutilizá-la como água clarificada na própria torre, visando a diminuição do efluente gerado, através do seu tratamento e posterior retorno ao processo. Além da geração de efluentes, outro problema que surge com a utilização de membranas é a geração de resíduos. Membranas de osmose inversa possuem um tempo de vida útil que varia de três a cinco anos, após este período estas membranas são descartadas e substituídas por novas, gerando volumes de resíduos sólidos estocados nos pátios da empresa, sem qualquer utilidade. Portanto, este trabalho proporcionará benefícios de grande alcance, uma vez que ao aumentar o tempo de vida útil das membranas pela aplicação destas para outras finalidades, obter-se-á a redução tanto da geração de resíduo industrial e de efluentes, como do volume de água captada para o processo industrial.

### 1. Introdução

O volume total de água disponível no planeta é da ordem de 1,5 milhões de km<sup>3</sup>, deste total, aproximadamente 97,5% corresponde à água salgada, de difícil utilização para abastecimento doméstico, industrial ou irrigação, por necessitar de tratamentos que, na maioria das vezes, apresentam elevado custo. Os restantes 2,5% correspondem à água doce, que estão disponíveis na forma de geleiras (68,9%) e águas subterrâneas (29,9%). Ou seja, apenas 0,3% do total existente no planeta está disponível na condição de água doce: na superfície de rios, lagos e em reservatórios subterrâneos pouco profundos que oferecem maior facilidade para utilização humana (Rainho, 1999 in Macedo, 2000 *apud* Nascimento, 2004).

De todo o volume de água disponível para o consumo, 65% destina-se à irrigação, 25% às indústrias e apenas 10% para fins urbanos. A parcela utilizada para fins urbanos e industriais - isto é, 35% do total de água consumida - acaba sendo descartada, após sua utilização, na forma de esgoto, aumentando os problemas relacionados à poluição das águas.

O Brasil, durante praticamente toda sua existência, não sofreu com a disponibilidade de água, devido ao fato de ser um país de proporções continentais, estando localizado no continente que possui o maior volume hídrico do planeta, detendo a maior reserva mundial de água doce: 11%. Esta situação privilegiada, de certa forma, influenciou durante muitas décadas o comportamento ambiental de toda a sua população e mais precisamente a atuação das indústrias, quanto ao consumo



## VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

desordenado e o desperdício alarmante de água. (Júnior, 2006).

Políticas governamentais têm sido desenvolvidas a fim de reduzir os impactos nas fontes de água através da diminuição da captação e geração de efluentes, de acordo com padrões de qualidade. A adoção de políticas para cobrança de coleta e despejo de água provavelmente forçará as indústrias a minimizarem o consumo de água e tornar melhor o uso dessa fonte.

Consequentemente, as indústrias necessitarão adotar políticas de conservação e minimização de água nos seus processos através de práticas de reúso de água. O conceito de reúso apenas começou a ser aplicado no Brasil devido ao surgimento de regulações gerais sobre esta prática com regras para o reúso de água não potável.

O reúso de água tem muitos benefícios, tais como:

- ✓ representa uma alternativa sustentável de fornecimento de água;
- ✓ necessita de menor quantidade de energia do que a importação de água;
- ✓ reduz ou elimina a quantidade de despejos tratados de efluentes para águas superficiais sensíveis ou debilitadas.

Algumas das principais barreiras e impedimentos para a popularização do reúso são:

- ✓ falta de financiamento disponível para este propósito (talvez o maior obstáculo mundial ao reúso);
- ✓ necessidade de educação pública, visto que uma campanha educacional é necessária para fornecer informações aos políticos sobre os custos, benefícios e casos de sucesso utilizando água reusada;
- ✓ suporte adicional dos políticos;
- ✓ pesquisas adicionais, a fim de melhorar o custo das tecnologias de reúso para assegurar a transferência destas, além de promover o reúso para finalidades industriais específicas;
- ✓ liderança dos governantes. (Miller, 2006).

Uma das maiores dificuldades para se obter o reúso de água com adequada qualidade é a caracterização do efluente a ser tratado, além da identificação e quantificação de substâncias, as quais possam oferecer riscos à saúde humana. (Matsumura e Mierzwa, 2008).

Estudos mostram que está se tornando crescentemente atrativo usar efluente tratado ou recuperado de forma direta. Além disso, a recuperação de efluentes é atrativa em termos da sustentabilidade, pois os efluentes requerem disposição adequada se não tratados. (Ukwir, 2004 apud Angelakis e Durham, 2008).

Opções de reúso podem ser divididas nas seguintes categorias: urbano, industrial, natural (ou de recarga de aquíferos) e agrícola. Cada uma destas requer qualidades diferentes da água, segundo a finalidade a qual se destina, que pode ser alcançada usando diferentes níveis de tratamento. (Koning *et al.*, 2008).

As atividades industriais produzem volumes significativos de efluentes líquidos, muitas vezes

diretamente dispostos em corpos hídricos sem o tratamento adequado. O impacto ambiental gerado pelo descarte irregular contribui significativamente para a escassez de água, a degradação de ambientes naturais e a ocorrência de inúmeras doenças na população urbana. O alto volume de efluentes gerados torna necessário o desenvolvimento de técnicas que visem à remoção, ao controle de emissão, à recuperação ou à eliminação desses poluentes, a fim de que as atividades industriais não interfiram no equilíbrio do ecossistema natural. (Féris, 2008).

A água empregada nas operações de uma refinaria é consumida ou não nas operações de refino. Águas para refrigeração, drenagem das torres de resfriamento e descarga do vapor condensado são exemplos típicos de água não empregadas diretamente nas operações industriais. Evaporação, perdas devido à influência de ventos nas torres de resfriamento e lançamento do vapor gasto na atmosfera, constituem o maior consumo de água.

A utilização principal da água em uma refinaria é para água de refrigeração. A este uso, somam-se a água para geração de vapor e a água de processo. (Braile e Cavalcanti, 1993 apud Monteiro *et al.*, 2007).

Os principais usos da água em uma refinaria, em percentuais típicos são:

- ✓ reposição de caldeira – 30%;
- ✓ reposição de torre de resfriamento – 30%;
- ✓ água de processo e serviço – 28%;
- ✓ água potável – 5%;
- ✓ outros usos – 7%.

A água captada para refrigeração necessita de um tratamento simples (com filtração, clarificação e acerto na alcalinidade da água). No entanto, a água para produção de vapor necessita de um tratamento mais apurado, devendo ser abrandada ou desmineralizada antes de alimentar as caldeiras de alta pressão, caso contrário, as paradas para a limpeza aumentarão e a vida útil dos equipamentos diminuirá. A desmineralização pode ser feita através dos sistemas de osmose inversa, troca iônica ou eletrodialise, e deve-se levar em conta a qualidade da água bruta e a qualidade que se deseja para o processo. (Monteiro *et al.*, 2007)

O consumo de água no sistema de resfriamento refere-se à soma de duas parcelas:

1) reposição das águas de purgas, para manter a concentração de sais na água das torres de resfriamento dentro dos limites de interesse;

2) perdas decorrentes de processos evaporativos e arraste por ventos.

As torres de resfriamento sofrem constantes purgas a fim de minimizar o aumento das concentrações de sais nas suas águas. Embora seus contaminantes não sejam os mais críticos do ponto de vista ambiental, as águas de purga representam uma das maiores vazões do efluente para as estações de tratamento.



Como consequência, o tratamento deste efluente representa uma possibilidade bastante adequada para se planejar o reúso de água (Nascimento, 2004).

O objetivo deste estudo é tratar a água da purga da torre de resfriamento utilizando membranas de osmose inversa descartadas do processo de desmineralização, a fim de reutilizar o efluente tratado como água clarificada, retornando para a própria torre. Além disso, o presente trabalho também busca minimizar a geração de resíduos sólidos, reaproveitando membranas descartadas para outras finalidades, aumentando, assim, o ciclo de vida de um produto de elevado valor agregado.

As membranas que serão utilizadas neste trabalho encontram-se estocadas no pátio da empresa, gerando um grande volume de resíduo industrial, como apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Disposição das membranas usadas no pátio da empresa.

As membranas encontram-se dispostas no pátio da empresa, sem nenhuma técnica de conservação específica. A partir deste trabalho serão realizados estudos de conservação e armazenamento das membranas descartadas, a fim de avaliar a melhor forma de dispô-las para posterior reúso.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Membranas

As membranas mais antigas a serem testadas estão estocadas no pátio há aproximadamente três anos, enquanto as mais recentes são do ano de 2007, sendo que para estas últimas já se teve o cuidado de procurar conservá-las molhando-as com solução bactericida.

Os dados fornecidos pelos fabricantes referentes às membranas a serem utilizadas para os testes são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados referentes às membranas a serem utilizadas no projeto

DADOS DAS MEMBRANAS	
Modelo	8040-ACM1-TSA
Tipo	Membrana Composta de Poliamida Aromática
Configuração	Módulo espiral, envolto em fibra de vidro
Área (m <sup>2</sup> )	33,4
Máxima Vazão da alimentação (m <sup>3</sup> /h)	18,0
Faixa de pH da alimentação	4 - 11
Faixa de Temperatura de Operação Recomendada (°C)	2 – 45
Faixa de Pressão Recomendada (bar)	7 - 21
Máximo valor de Pressão suportado (bar)	41
Limite de tolerância ao cloro (ppm)	< 0,1
Máximo SDI (15 minutos) Limite máximo de turbidez (NTU)	5,0 1,0
Média de Rejeição (% NaCl)	> 99,5
Mínimo de Rejeição (% NaCl)	98,5
Proporção da vazão de permeado	5:1

### 2.2 Testes de Bancada

Foram realizados testes em unidade bancada, a fim de se caracterizar as membranas descartadas em relação ao fluxo permeado e à retenção salina, além de testes preliminares para avaliar as condições das membranas e do efluente a ser tratado.

No sistema bancada de osmose inversa do Laboratório de Separação por Membranas da UFRGS (Lasem), foi avaliada a eficiência de limpeza e do processo de oxidação das membranas descartadas do processo de desmineralização por osmose inversa da empresa.

Além disso, foram realizados testes com a água da purga da torre de resfriamento, a fim de analisar o fluxo permeado, a retenção salina e o fator de concentração.



O objetivo desta etapa do estudo foi verificar a eficiência de limpeza das amostras de membranas com solução ácida, alcalina e do tratamento com permanganato de potássio. Além disso, realizou-se uma análise das condições das membranas a serem utilizadas na planta piloto e da corrente de purga, a fim de servir como testes preliminares para avaliar as condições do sistema antes de iniciar os testes em escala piloto.

A amostra a ser analisada foi retirada de um módulo em espiral proveniente do sistema de osmose inversa da empresa. Este módulo foi cortado transversalmente em três partes e dividido ao meio na direção longitudinal, possibilitando retirar diferentes pedaços de membrana para os testes (Figura 2). Este módulo havia sido conservado com uma solução bactericida (Kathon WT 1,5%) no momento em que foi retirado do sistema de osmose inversa, permanecendo úmido até a realização dos testes.



Figura 2 - Um terço do módulo da membrana cortado.

O procedimento experimental consistiu das seguintes etapas:

- 1) medidas do fluxo permeado de água e da retenção salina inicial da membrana, nas pressões de 6 e 8 bar;
- 2) limpeza do sistema com bissulfito de sódio;
- 3) medidas do fluxo permeado e da retenção salina, nas pressões de 6 e 8 bar;
- 4) testes com efluente da torre de resfriamento (purga da torre);
- 5) medidas do fluxo permeado e da retenção salina, nas pressões de 6 e 8 bar;
- 6) limpeza alcalina do sistema com NaOH;
- 7) medidas do fluxo permeado e da retenção salina, nas pressões de 6 e 8 bar;
- 8) limpeza química do sistema com ácido cítrico e hidróxido de amônio;
- 9) medidas do fluxo permeado e da retenção salina, nas pressões de 6 e 8 bar.

As medidas de fluxo permeado foram feitas com água destilada e as de retenção salina com a água de alimentação

da osmose inversa fornecida pela empresa. As condições operacionais aparecem na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições operacionais das limpezas e do tratamento químico

Tratamento com Bissulfito de Sódio			
Pressão (bar)	4	Concentração (g/L)	10
Temperatura (°C)	25	Duração do trat. (h)	1
Vazão (L/h)	240		
Limpeza alcalina com NaOH			
Pressão (bar)	0	pH	10 - 10,5%
Temperatura (°C)	25	Duração do trat. (h)	0,25
Vazão (L/h)	200		
Limpeza química com Ácido Cítrico e Hidróxido de Amônio			
Pressão (bar)	0	Concentração	1,7% ác. Cítrico (pH 4,0)
Temperatura (°C)	25	Duração do trat. (h)	0,33
Vazão (L/h)	200		

O fluxo foi calculado utilizando-se a equação 1:

$$J = \frac{V}{A.t} \quad (1)$$

onde J é o fluxo permeado [L/m<sup>2</sup>.h], V é o volume coletado, que corresponde a 0,01 L, A é a área permeável do módulo da membrana, que corresponde a 61,048 cm<sup>2</sup> e t representa o tempo [s] para coletar 10 mL de permeado. A retenção salina é calculada segundo a equação 2:

$$R = \left( \frac{1 - C_p}{C_c} \right) \times 100\% \quad (2)$$

onde R é a retenção de sais [%], C<sub>p</sub> é a condutividade elétrica do permeado [μS.cm<sup>-1</sup>] e C<sub>c</sub> é a condutividade elétrica do concentrado [μS.cm<sup>-1</sup>].

### 2.3 Caracterização da Corrente de Purga

O volume de águas de descarte, ou águas de purga, das torres de resfriamento representa uma parcela significativa do volume total das águas de reposição, portanto, o seu reuso no processo pode representar uma economia significativa de volume de água utilizado.

A caracterização da corrente de purga da torre de resfriamento e da água de *make-up* foi feita em relação a diversos parâmetros, de acordo com os testes realizados pela empresa, tais como:

- ✓ medidas de alcalinidade, turbidez, dureza, pH, condutividade elétrica, DBO e DQO;



## VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

- ✓ determinação da concentração de cianetos, cloretos, nitratos, ferro, cobre, sílica e manganês;
- ✓ determinação da quantidade de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos, entre outros.

Os valores mensais de alguns parâmetros, bem como a vazão da água de purga são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Os valores para o mês de abril não foram considerados representativos e por isso não constam nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Caracterização da água de purga

	Turbidez [ppm caulim]	pH	Cond. [us/cm]	Sílica [ppm SiO <sub>2</sub> ]	DQO Mn [ppm O]
<b>Controle</b>	<b>&lt; 30</b>	<b>8,0 a 8,5</b>	<b>&lt; 4000</b>	<b>&lt; 220</b>	<b>&lt; 30</b>
jan/08	14	8,4	1233	141	20,5
fev/08	12	8,2	1918	164	21,0
mar/08	11	8,5	1685	136	22,5
mai/08	11	8,0	861	119	15,3
jun/08	12	8,6	1469	153	22,4
jul/08	15,8	8,7	1549	168	20,2
ago/08	17	8,6	1357	153	21,5
set/08	16	8,4	1184	161	21,8
Média	14	8	1407	149	21

Tabela 4 – Caracterização da água de purga

	SS [ppm]	Cl [ppm Cl <sup>-</sup> ]	Dureza-T [ppm CaCO <sub>3</sub> ]	K <sub>ps</sub> (mol/L)	Purga (m <sup>3</sup> /turno)
<b>Controle</b>	<b>&lt; 30</b>	<b>&lt; 400</b>		<b>&lt;1,0E-29</b>	
jan/08	5,8	201	1,20E-30	158	
fev/08	11,5	325	476	6,99E-30	494
mar/08	12	244	362	3,14E-30	884
mai/08	10,8	123	236	4,83E-31	43
jun/08	16	191	433	1,62E-29	36
jul/08	16,6	221	449	2,91E-29	61
ago/08	14,2	195	406	9,19E-30	63
set/08	10,2	160	358	2,00E-30	75
Média	12	207	340	20	237

### 2.4 Montagem e Pré-Operação da Unidade Piloto

A metodologia adotada para a montagem da unidade piloto envolve as seguintes atividades:

- ✓ definição dos equipamentos necessários para a planta piloto e estudo da melhor disposição de cada um deles na planta;

- ✓ testes na unidade piloto: nesta etapa pretende-se desenvolver uma ou mais técnicas para o reúso das membranas em diferentes processos industriais, envolvendo os seguintes procedimentos:

- compra dos equipamentos e montagem da planta piloto,
- pré-operação, isto é, familiarização com os equipamentos constituintes da planta e com os procedimentos de operação, além de testes de campanha com a água da purga e da alimentação da osmose inversa, caracterização das membranas em relação ao fluxo permeado e à retenção salina e tratamento químico com as membranas;
- testes com a corrente de purga nas diferentes configurações de pré-tratamento a serem estudadas (utilizando *by-pass* instalados no sistema, medidas de SDI, *flushing*, por exemplo).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Testes de Bancada

Os valores do fluxo obtidos nas pressões 6 e 8 bar para todas as etapas do procedimento experimental estão apresentados na Tabela 5 e os da retenção salina são mostrados na Tabela 6.

Tabela 5 – Medidas do Fluxo Permeado de Água

Pressão (bar)	Fluxo (L/m <sup>2</sup> h)				
	Inicial	Após limpeza bissulfito	Após efluente	Após limpeza alcalina	Após limpeza química I
4	-	-	-	-	-
6	9,57	11,71	10,97	10,95	13,42
8	14,11	15,12	14,11	14,76	18,43

Tabela 6 – Medidas de Retenção Salina

Pressão (bar)	Retenção (%)				
	Inicial	Após limpeza bissulfito	Após efluente	Após limpeza alcalina	Após limpeza química I
4	-	-	-	-	-
6	66,46	76,69	83,77	82,82	82,83
8	67,58	75,56	83	82,69	80,99

De acordo com as medidas de fluxo realizadas para a membrana no seu estado inicial e após a limpeza com bissulfito de sódio, limpeza ácida e alcalina nas duas pressões, verificou-se que o fluxo final aumentou, mas não consideravelmente. O maior aumento de fluxo ocorreu



após a limpeza com ácido cítrico, conforme mostrado na Figura 3.

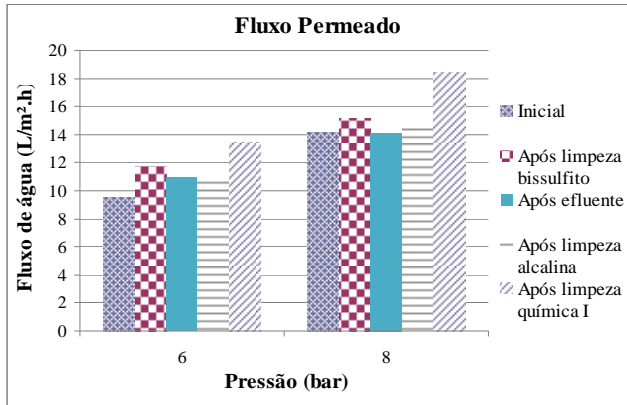


Figura 3 - Fluxo de água pura em função da pressão de acordo com as etapas do experimento.

Mesmo com o aumento do fluxo, a retenção salina não diminuiu e teve um acréscimo final de aproximadamente 24%, conforme pode ser visto na Figura 4.

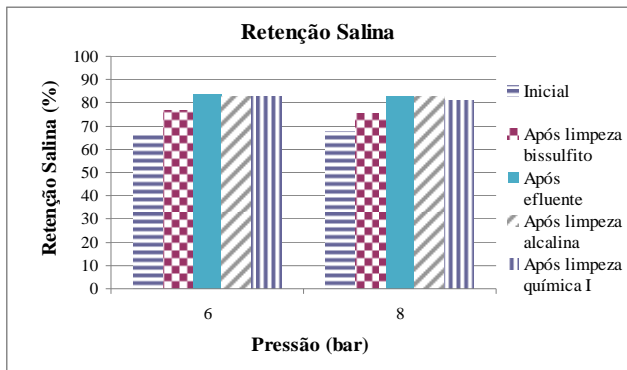


Figura 4 - Retenção salina em função da pressão de acordo com as etapas do experimento.

O teste com o efluente da torre de resfriamento foi feito logo após o tratamento com bissulfito de sódio. No entanto, a caracterização inicial da amostra da membrana deste experimento mostrou que ela apresentava um fluxo muito baixo comparado com outras amostras analisadas em testes anteriores. Este fato pode ser observado também no teste com o efluente (Figura 5), pois ele foi abortado após se verificar que não seria interessante dar prosseguimento devido ao baixo fluxo observado.

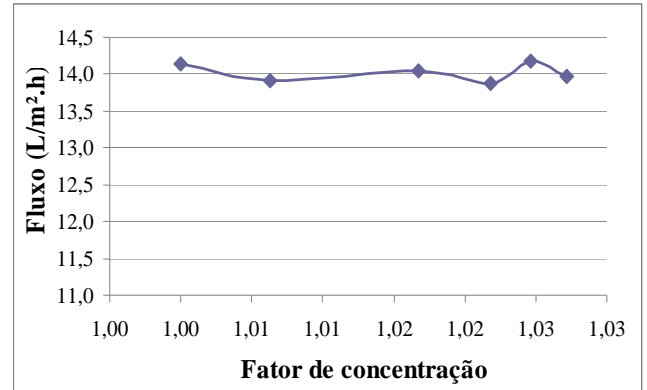


Figura 5 - Fluxo permeado em relação ao fator de concentração.

Após o teste com o efluente, fizeram-se as limpezas alcalina e ácida; como comentado anteriormente, o maior aumento de fluxo se deu após a limpeza ácida, mas não foi considerável.

### 3.2 Montagem e Pré-Operação da Planta Piloto

#### 3.2.1 Equipamentos

A partir de estudos prévios foram propostos equipamentos para o pré-tratamento que possibilitem uma melhoria na qualidade da água de alimentação do módulo de osmose inversa. O objetivo da escolha destes equipamentos é estender o período entre limpezas e a troca de membranas e, além disso, alcançar um permeado de qualidade igual à água clarificada.

A unidade piloto a ser utilizada neste estudo é composta pelos seguintes equipamentos:

- ✓ filtro de areia: é o primeiro equipamento do sistema, cuja filtração se processa com a água penetrando no filtro pela tubulação superior interna distribuindo-se uniformemente e atravessando o manto filtrante no sentido descendente. O manto filtrante é constituído de areia fina (granulometria 0,5 mm) para a remoção de sólidos em suspensão e impurezas mais grosseiras. O fundo do filtro possui crepinas que tem por função coletar a água já filtrada. A água de lavagem a ser utilizada deve ser no mínimo filtrada;
- ✓ filtro de cartucho: é utilizado antes da bomba centrífuga para remoção de partículas não removidas no filtro de areia. Normalmente é o último equipamento do pré-tratamento, construído de aço carbono e filtros de polipropileno. O filtro utilizado na unidade opera a uma pressão máxima de 6 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo constituído por 4 filtros cartucho de polipropileno de 5 µ cada. A água entra no casco e permeia pelos filtros, com o objetivo de remover as partículas menores que não são retidas no filtro de areia;
- ✓ tanque de produto e um tanque de limpeza;



- ✓ bomba centrífuga, com um motor de 10 hp;
- ✓ membrana de osmose inversa usada;
- ✓ quatro rotâmetros: o sistema é constituído de quatro rotâmetros, localizados nas linhas de alimentação/retrolavagem do filtro de areia, permeado, rejeito e reciclo. São medidores de fluxo do tipo indireto, baseado no princípio de área variável;
- ✓ duas válvulas solenóides: uma localizada após o filtro de areia, e outra localizada na linha de bypass do concentrado, cuja função é permitir ou bloquear a passagem de fluido;
- ✓ três válvulas de controle manual: localizadas nas linhas da alimentação, do rejeito e do reciclo, cuja função é controlar o fluxo, podendo trabalhar em qualquer posição de fechamento parcial;
- ✓ válvula de alívio: localizada na entrada do sistema, cuja função é evitar a sobrepressão do sistema;
- ✓ duas válvulas de retenção: localizadas junto à descarga da bomba de alimentação e na linha de reciclo da osmose inversa. São equipamentos de proteção que visam proteger as instalações hidráulicas do refluxo de água quando da paralisação das bombas, pois permitem o

- deslocamento de água somente em um único sentido;
- ✓ nove válvulas esfera: válvulas de bloqueio, cuja função é estabelecer ou interromper o fluxo. Trabalham completamente abertas ou fechadas;
- ✓ SDI (Índice de Densidade de Lodo): utilizado para verificar a eficiência do pré-tratamento que está sendo utilizado, isto é, como um indicador do potencial de *fouling* da membrana;
- ✓ condutivímetro (TDS): localizado na saída da membrana, na corrente do permeado, para medidas de condutividade elétrica;
- ✓ pressostato: cuja função básica é a de proteger a integridade dos equipamentos contra sobrepressão ou subpressão aplicada aos mesmos durante seu funcionamento;
- ✓ microprocessador, para controle automático do processo.

### 3.2.2 Projeto da Unidade Piloto

Na Figura 6 encontra-se o fluxograma da planta piloto que está desenvolvida neste projeto de pesquisa e na Tabela 7 encontram-se os TAG's dos equipamentos mostrados na Figura 6.

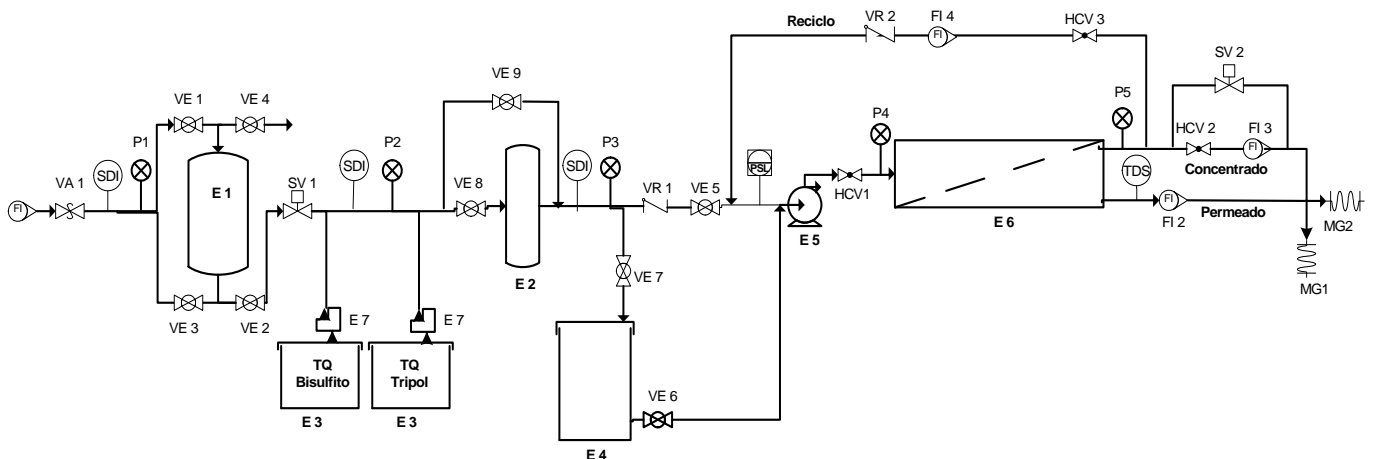


Figura 6 - Fluxograma da Planta Piloto



Tabela 7 – TAG dos equipamentos da Planta Piloto

TAG	Equipamento	TAG	Equipamento	TAG	Equipamento	TAG	Equipamento
E-1	Filtro de Areia	FI 2	Rotâmetro do permeado de OI	VA 1	Válvula de alívio do sistema	VE 6	Válvula esfera na sucção da bomba de alimentação
E-2	Filtro de Cartucho	FI 3	Rotâmetro do rejeito de OI	VR 1	Válvula de retenção na descarga da bomba	VE 7	Válvula esfera para enchimento do tanque de limpeza
E-3	Tanque de Produto	FI 4	Rotâmetro do reciclo de OI	VR 2	Válvula de retenção no reciclo	VE 8	Válvula esfera
E-4	Tanque de Limpeza	SV 1	Válvula solenóide de entrada	VE 1	Válvula esfera na entrada do E-1	VE 9	Válvula esfera
E-5	Bomba Centrífuga	SV 2	Válvula solenóide de flushing	VE 2	Válvula esfera na saída do E-1	MG 1	Mangueira na saída do rejeito da OI
E-6	Membrana de OI	HCV 1	Válvula de controle manual da alimentação da OI	VE 3	Válvula esfera na entrada da retrolavagem do E-1	MG 2	Mangueira na saída do permeado da OI
E-7	Bomba Dosadora	HCV 2	Válvula de controle manual do rejeito da OI	VE 4	Válvula esfera na saída de retrolavagem do E-1	P	Manômetros
FI 1	Rotâmetro de alimentação/retrolavagem do Filtro de Areia	HCV 3	Válvula de controle manual do reciclo da OI	VE 5	Válvula esfera na sucção da bomba.	PSL	Pressostato
TDS	Condutivímetro						

Na Figura 7 pode ser visualizada a disposição dos equipamentos na planta piloto.



Figura 7 - Montagem das tubulações, conexões e válvulas constituintes do sistema.

#### 4. Conclusão

A partir do que foi mostrado neste trabalho, é possível concluir que a busca por alternativas viáveis para o reúso de efluentes e de resíduos sólidos tem se tornado cada vez mais fundamental, devido às políticas governamentais mais rigorosas, bem como à carência dos recursos naturais existentes. Portanto, este estudo é de essencial importância, uma vez que a indústria de osmose inversa encontra-se consolidada mundialmente, porém com

poucos estudos relacionados com o reúso de membranas e de efluentes industriais.

Como visto, este projeto visa reutilizar os materiais utilizados no processo de osmose inversa para o tratamento de correntes (como a corrente de purga de torres de resfriamento) e efluentes industriais. A comprovação da viabilidade deste estudo representaria uma grande economia para as empresas que utilizam este tipo de tecnologia de separação, bem como ganhos ambientais para toda a sociedade.

A água é, por conseguinte, os recursos naturais são um bem comum de toda população, atual e futura, sendo dever de cada cidadão preservá-los, encontrando maneiras de reutilizá-los sem o descarte indevido e o uso desnecessário.

Os estudos preliminares realizados em escala bancada mostraram ser possível obter resultados satisfatórios com este estudo, sendo que o próximo passo será a comprovação destes resultados obtidos com a realização de testes em escala piloto.

Atualmente, a planta piloto encontra-se em processo final de montagem dos equipamentos e conexões. Concluída esta etapa, a planta piloto será deslocada para junto da torre de resfriamento da empresa, onde ocorrerão os testes.

As próximas etapas consistem no início da realização dos experimentos práticos.

Inicialmente, serão realizados testes para verificação das condições do sistema, bem como a caracterização da membrana utilizando a água do permeado, medidas de fluxo de água e retenção salina utilizando a água de alimentação do sistema de osmose inversa. E a seguir, serão realizados testes com a água da purga, seguindo, após os resultados destes testes, com os





## VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

testes práticos de interesse e discussão dos resultados obtidos.

### 5. Bibliografia

ANGELAKIS, A.N.; DURHAM, B. Water recycling and reuse in EUREAU countries: trends and challenges. *Desalination*, 218, 3-12, 2008.

FÉRIS, L.A. Tratamento eficiente de efluentes e reúso da água na indústria: uma meta a ser atingida. *Revista do Crea – Conselho em revista*, 44, 31, 2008.

JÚNIOR, A.O. Avaliação de tecnologias avançadas para reúso de água em indústria metal-mecânica. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2006.

KONING, J.; BIXIO, D.; KARABELAS, A.; SALGOT, M.; SCHÄFER, A. Characterisation and assessment of water treatment technologies for reuse. *Desalination*, 218, 92-104, 2008.

MATSUMURA, E.M.; MIERZWA, J.C. Water conservation and reuse in poultry processing plant – A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 835-842, 2008.

MILLER, G.W. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. *Desalination*, 187, 65-75, 2006.

MONTEIRO, J.P.; MAGRINI, A.; SZKLO, A.S.; NUNES, R.T.S. Gerenciamento de água na indústria de refino de petróleo. ed. 29, nov 2007. Disponível em: <[http://www.tratamentodeagua.com.br/a1/informativos/ace\\_rvo.php?chave=3079&cp=est](http://www.tratamentodeagua.com.br/a1/informativos/ace_rvo.php?chave=3079&cp=est)>. Acesso em: mar 2008.

NASCIMENTO, J.F.; Avaliação de membranas de osmose inversa no tratamento de águas de purga de torres de refrigeração de indústria petrolífera com finalidade de reúso. Dissertação de mestrado, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 2004.