



**UNIVERSIDADE**  
**SÃO FRANCISCO**

**Curso de Engenharia Mecânica**

# **SISTEMA DE OSMOSE REVERSA**

**Ronaldo José Silva Ferraro**

Campinas – São Paulo – Brasil

Novembro de 2008



**UNIVERSIDADE  
SÃO FRANCISCO**

**Curso de Engenharia Mecânica**

## **SISTEMA DE OSMOSE REVERSA**

**Ronaldo José Silva Ferraro**

**Monografia** apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco, sob a orientação do Prof. Dr Ivaldo Leão, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

**Orientador:** Prof. Dr. Ivaldo Leão

Campinas – São Paulo – Brasil

Novembro de 2008

# **SISTEMA DE OSMOSE REVERSA**

**Ronaldo José Silva Ferraro**

Monografia defendida e aprovada em 12 de dezembro de 2008 pela **Banca Examinadora** assim constituída:

---

**Prof. Dr. Ivaldo Leão**

USF – Universidade São Francisco – Campinas – SP.

---

**Prof. Dr. Eduardo Balster Martins**

USF – Universidade São Francisco – Campinas – SP.

---

**Prof. Ms Magno Schiavolin**

USF – Universidade São Francisco – Campinas – SP.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar a Deus, agradeço muito ao professor Ivaldo, ao Osmar e ao Guilherme que foram fundamentais para todo o desenvolvimento deste trabalho, do mesmo modo agradeço a todos os professores que ao longo do curso nos deram base para concluir este trabalho.

Agradeço também aos meus familiares, por serem a rocha firme, a base certa para construir a minha vida, possibilitando o sucesso na vida pessoal e profissional

## Sumário

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
Nomenclatura Letras Gregas .....	9
Nomenclatura Letras Latin.....	10
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tabelas .....	13
1 Introdução.....	14
2 Revisão Bibliográfica.....	18
2.1 Sistema e Filtração.....	18
2.1.1 O Processo de Osmose Reversa .....	21
2.1.1.1 Equações para o Dimensionamento da Membrana Osmótica .....	21
2.1.1.2 A Membrana Osmótica.....	24
2.1.1.3 Arranjos para Sistema de Osmose Reversa .....	26
2.1.1.4 Influência da pressão e da temperatura.....	27
2.1.1.5 Influência da recuperação de água no sistema .....	28
2.1.1.6 Influência da concentração salina da alimentação .....	28
2.1.1.7 Subsistema de limpeza química e desinfecção .....	30
2.2 Sistemas de Pré-Filtragem.....	30
2.2.1 Filtro de Areia e Antracitos .....	32
2.2.2 Limpeza do Sistema de Pré-Filtragem .....	34
2.2.3 Filtro de Carvão .....	35
2.2.4 Equações para o Dimensionamento do Filtro .....	36
2.3 Subsistema de pós-tratamento .....	40
3 Metodologia.....	42
3.1 Dimensionamentos da membrana osmótica.....	46

3.2	Dimensionamentos do sistema de bombeamento.....	47
3.3	Dimensionamentos do sistema de pré-filtragem. ....	50
3.4	Apresentação do projeto final.....	56
4	Conclusão .....	57
5	Referências Bibliográficas.....	59

## RESUMO

Os problemas de escassez de água potável, por que passa inúmeras áreas do globo na atualidade, conduzem a necessidade do desenvolvimento de estratégias que possibilitem aprimorar o estágio de desenvolvimento em que se encontra a sociedade atual no sentido de uma utilização racional de seus recursos hídricos. Dentre os diversos segmentos da sociedade, o setor industrial é um dos que desperta grande preocupação com relação ao problema de escassez de água potável, seja pela demanda excessiva ou pela poluição resultante do lançamento de efluentes no corpo receptor. A obtenção de água no grau de qualidade necessário para as aplicações indústrias somente pode ser feita mediante a utilização de técnicas de tratamento específicas, as quais apresentam campo limitado de aplicação, todavia, sendo de grande importância a identificação, a qualificação e a caracterização do efluente gerado, sendo uma delas o sistema de osmose reversa. Existem normas que estabelecem a classificação dos recursos hídricos de todo o território nacional, de acordo com as suas características físicas, químicas e biológicas e ao uso a que se destinam, bem como estabelecem os padrões para o lançamento de efluentes de qualquer natureza nestes recursos, tanto no âmbito federal, quanto estadual. O sistema de osmose reversa é constituído, não apenas por um sistema de filtração, mas também por um sistema de pré-tratamento, por sistemas de bombeamento e pós-tratamento, os quais irão exercer grande influência no desempenho do sistema de purificação de água como um todo, bem como na quantidade final do efluente obtido.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema osmose reversa.

## **ABSTRACT**

Problems concerning the shortage of drinking water resources in a large number of areas around world have driven the necessity of development of strategies which encompass the rational utilization of this progressively scarce and limited resource.

Among several segments in society, the industrial sector is one of which shows great concern about it, due to the excessive demand of this resource for manufacturing purposes and the great amount of effluent returning to it at the end of the process. Getting water in the required quality level for industrial applications can be done only by carrying out some specific treatment techniques, which presents limited field of application, nevertheless, being of great importance in the identification, qualification and characterization of the sewage produced. One of these treatments is the reverse osmosis system. There are standards to classify the hydric resources of the whole national territory, in accordance with its physical, chemical and biological characteristics for its utilization, as well as standards for the discharge of effluents of any nature in these resources, both in the federal and state governmental levels. The reverse osmosis system doesn't consist only of a filtration system, but also by water pre-treatment, pumping and post-treatment systems, each of these will exert great influences on the purification of the wastewater, impacting in the final quality of the discharge.

**KEY WORDS:** Reverse osmosis system, wastewater, wastewater treatment



## Nomenclatura Letras Gregas

$\alpha$ =grau de ionização;

$\gamma$ = peso específico do líquido em N/m<sup>3</sup>;

$\Delta P$ = diferença de pressão das duas soluções em Kgf/cm<sup>2</sup>;

$\Delta \pi$ = diferença de pressão das duas soluções em Kgf/cm<sup>2</sup>;

$\Delta C$ = diferença de concentrações de soluto nas soluções.

$n$  = concentração do soluto em solução expressa em mols/m<sup>3</sup>;

$\lambda$ = espessura efetiva da membrana em  $\mu\text{m}$ ;

$\mu$  = viscosidade absoluta em cm<sup>2</sup>\*s;

$\nu$  = coeficiente de viscosidade cinemática em cm<sup>2</sup> /s.

$\pi$  = pressão osmótica da solução em m<sup>3</sup>\*Pa;

$\rho$  = porosidade do filtro;

$\sigma$  = fator de forma da partícula;

$\sigma = 6/e$ , onde  $e$  é a esfericidade (relação entre a área de uma esfera de igual volume e a área real da partícula);

$\sigma = 6$  para uma partícula esférica e 8,5 para o antracito.

## Nomenclatura Letras Latin

$C_e$  = concentração do material em suspensão no efluente filtrado em porcentagem de solido por  $cm^2$ ;

$C_0$  = concentração do material em suspensão no efluente aplicada aos filtros em porcentagem;

$d_e$  = diâmetro da tubulação em metros;

$d$  = diâmetro dos grãos em cm;

$d$  = tamanho efetivo dos meios filtrantes em cm;

$DS$  = coeficiente de difusão de soluto no solvente em  $m^2/s$ ;

$D_s$  = coeficiente de difusão do soluto em  $m^2/s$ ;

$FS$  = fluxo do solvente em  $m^3/h$ ;

$F_R$  = fator de resistência da tubulação (adimensional).

$f$  = coeficiente de atrito de Fanning.

$g$  = aceleração da gravidade em  $m/s^2$ ;

GAC = Carbono Ativado Granular;

$H$  = altura manométrica em metros;

$h_f$  = perda de carga em cm;

$H$  = perda de carga final no meio leito filtrante em cm;

$h_c$  = perda de carga que produz a ruptura em  $m^3/m^2 * dia$ .

$i$  = fator de correção de Van't Hoff em mols de partículas;

$J$  = uma constante empírica, cerca de 6 para regime laminar;

$L_r$  = distância percorrida pelo fluido nas tubulações retas em metros;

$L_{eq}$  = comprimento equivalente dos acessórios em metros de tubulação reta;

$L$  = profundidade da camada em cm;

$L$  = penetração dos flocos no filtro, floculação fraca em porcentagem;

$L'$  = penetração dos flocos no filtro, floculação forte em porcentagem;

$\eta$  = rendimento total ( $= \eta_b * \eta_m$ ).

$N$  = numero de filtro;

$p$  = porosidade destes;

$p_c$  = porosidade no momento em que se produz a ruptura em porcentagem;

PAC = Carbono Ativado Pó;

Q= vazão em m<sup>3</sup>/s;

q= número total de íons liberados na ionização de um composto.

R= rejeição da membrana m<sup>2</sup>/h.

R= constante universal dos gases perfeitos;

s= perda relativa do soluto em m<sup>2</sup>/h;

S= volume relativo de solvente removido (razão entre o volume removido e o volume inicial de solvente) adimensional;

S = amplitude das oscilações de carga em cm<sup>3</sup>/s;

T= temperatura em Kelvin;

V = velocidade ou taxa de escoamento superficial em cm/s;

V = velocidade de filtração em cm/s;

V = velocidade de água de lavagem em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*dia;

V<sub>0</sub>= taxa de filtração.

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Monitoramento do nível da lagoa industrial [COMDEMA, Campinas, SP, outubro/2007].

Figura 1.2 Consumo de água em metros cúbicos pela indústria [COMDEMA, Campinas, SP, outubro/2007].

Figura 2.1 Técnicas de filtração [MEES, 2004].

Figura 2.2 Processo de lavagem reversa [ELECTRO, 2000].

Figura 2.3 Membrana Osmótica [Tipo de Filtração, 2008].

Figura 2.4 Membrana Osmótica Modulo em Aspiral [Modulo em aspiral 2008].

Figura 2.5 Membrana Osmótica Modulo Fibra Oca [Modulo em fibra 2008].

Figura 2.6 Representação esquemática dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa.

Figura 2.7 Filtro de areia [Estação, 2008].

Figura 3.1 Boletim de análise nº 3762 [EP Engenharia, 2008].

Figura 3.2 Diagrama do sistema de bombeamento.

Figura 3.3 Curva característica da bomba CRN 15-12 [Grundfos,2008].

Figura 3.4 Sistema de osmose reversa.

## **Lista de Tabelas**

Tabela 2.1 Separação em um efluente com diferentes tipos de membranas

Tabela 2.2 - Recomendações para uso das membranas de osmose reversa.

Tabela 2.3 Comparação entre os processos de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado

Tabela 2.4 Aplicação das membranas de osmose reversa.

Tabela 2.5 - Opções de pré-tratamento para reduzir riscos de incrustações, deposição e degradação em sistema de osmose reversa.

Tabela 2.6 Relação diâmetro médio da areia e da partícula removida. (vazão de 17 L/s. m<sup>2</sup>).

Tabela 3.1 – Dados empregados nos cálculos de perda de carga equivalente e total.

Tabela 3.2 – Dados empregados nos cálculos de carga utilizando limite de vazão.

# SISTEMA DE OSMOSE REVERSA

## 1 INTRODUÇÃO

O problema da escassez de água é mundial e atinge consideráveis proporções em algumas áreas do planeta, em virtude do aumento expressivo da população nestes locais e das constantes mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas, conduzindo a necessidade do desenvolvimento de algumas estratégias que possibilitam alcançar o desenvolvimento sustentável. Algumas destas estratégias baseiam-se na utilização mais adequada dos recursos naturais nas diversas atividades humanas.

Sendo inevitável a crescente valorização econômica dos recursos hídricos, as empresas que consideram a reutilização da água como gastos, estas serão obrigadas a reavaliar seus produtos e processos, a fim de minimizar desperdícios e com isso obter vantagens competitivas, o que inevitavelmente conduz a eliminação deste desperdício com uso mais eficiente deste recurso e a redução de resíduo no efluente proveniente produção.

Para exemplificar, a necessidade do reuso da água para fins industriais, 97% da água disponível no planeta é salgada, 2% está nas calotas polares e geleiras (inacessíveis) e a maior parte do 1% restante está no subsolo, isto explica a preocupação crescente dos organismos internacionais com o meio ambiente e principalmente aquelas que envolvem a reciclagem da água.

A ilusão da abundância das fontes de água doce no planeta tem mascarado a realidade de sua escassez, até recentemente a água era considerada um recurso inesgotável, e desta forma, havia um descaso com sua conservação e uso sustentável, e por esta razão, a água potável encontra-se cada vez mais escassa. Atualmente, onze países da África e oito países do oriente médio não têm acesso à água de qualidade.

O tratamento necessário para a recuperação da água residual está intimamente relacionado com as especificações de aplicação do reuso associado à qualidade da água requerida. Os sistemas de tratamento envolvem a aplicação de processo de separação de

mistura do tipo sólido líquido e também sua desinfecção. Em alguns casos podem ser aplicados tratamento que envolva uma combinação de processo físico, químico e biológico.

Um grande número de empresas utiliza duas fontes de água bruta: a água não tratada retirada de poças, rios, barragens e lagos, para a produção de água tratada, e, um manancial superficial podendo ser rios ou lagoas e um subterrâneo de poços profundos. Para ambas as fontes existem regulamentações de consumo com base em normas governamentais. Desta forma, a reutilização da água através do processo de osmose reversa torna-se uma técnica fundamental para a sustentação da empresa num patamar competitivo e ainda atendendo valorizando com isso, o seu produto e sua marca.

O nível consideravelmente baixo dos reservatórios hídricos, como demonstrado na Figura 1.1, fornece dados quantificadores que permitem avaliar o grau de urgência com que os tratamentos de reutilização da água de rejeito devem implantados para se alcançar níveis de sustentabilidade na utilização deste recurso de forma a minimizar o quadro de escassez, segundo relatório emitido pelo conselho municipal de meio ambiente de Campinas, São Paulo- COMDEMA outubro/2007.

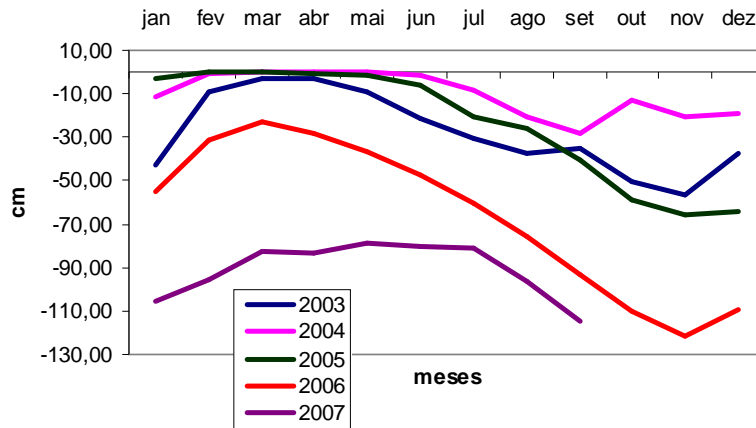


Figura 1.1 Monitoramento do nível da lagoa industrial [COMDEMA, Campinas, SP, outubro/2007].

O aumento da produtividade visando à conquista de mercados relacionados com novas tecnologias encontra-se representado na Figura 1.2, o que demonstra o aumento significativo do consumo de água pela indústria manufatureira.

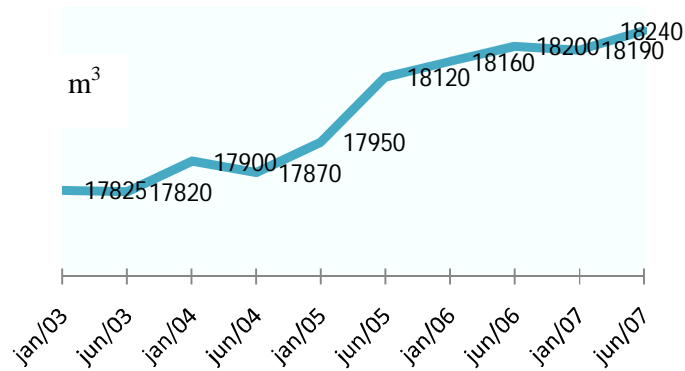


Figura 1.2 Consumo de água em metros cúbicos pela indústria [COMDEMA, Campinas, SP, outubro/2007].

A reutilização da água de rejeito contribui para o fornecimento de água de melhor qualidade para o processo de obtenção de vapor através das caldeiras reduzindo consideravelmente às descargas de fundo, economizando, com isso, o combustível, com a conseqüente redução dos custos com a análise de água, a eliminação de odores da lagoa de polimento, atendimento a outorga estipulada pelos órgãos governamentais (captação de poços e lagoa e lançamento) e a redução do descarte da água residual para o receptor.

Considerando que a geração de efluentes industriais seja inevitável, já que nenhum processo produtivo pode ser considerado 100% eficiente, e mesmo que assim o fosse, sempre existiria uma corrente residual ou secundária que, quer por questões de natureza técnica e ou econômica, não poderia ser reutilizadas no processo, sendo, portanto, descartada como efluente no meio ambiente. Além disso, estes efluentes podem apresentar em sua composição substâncias capazes de afetar adversamente o meio ambiente e o próprio homem, sendo necessário à adoção de procedimentos capazes de eliminar, ou então, minimizar o potencial de risco desses efluentes, o que é normalmente obtido pelo uso de técnicas adequadas de tratamento.

Na maioria dos casos, até bem pouco tempo atrás, a principal preocupação das indústrias com relação aos seus efluentes referia-se, apenas, ao atendimento aos padrões estabelecidos nas normas de controle ambientais. Atualmente, devido ao crescente risco de escassez de água e a incorporação, por parte das indústrias, dos Sistemas de Gestão



Ambiental, começam a surgir algumas iniciativas relacionadas ao reuso da água, que ao contrário do conceito de tratamento para lançamento, considera os requisitos mínimos de qualidade da água para utilização nos processos industriais. Por exemplo, enquanto para o lançamento de uma determinada corrente de efluente para o meio ambiente um simples ajuste do pH poderia ser suficiente, para o reuso desta corrente numa determinada aplicação industrial, além de ajuste de pH deve-se considerar, ainda, a presença de microrganismos, substâncias incrustantes, compostos voláteis e concentração de sais dissolvidos entre outros.

O quadro que se configura para o futuro próximo, com relação ao gerenciamento de efluentes industriais, indica uma forte tendência para a utilização de processos que permitam a utilização racional da água para reuso. Isso se justifica, principalmente para as regiões altamente urbanizadas e industrializadas, pelo fato das normas de controle ambiental tornarem-se cada vez mais restritivas, o que pode ser verificado ao se analisar os textos da lei nº 9.605 de 12/02/98, que define como crime, as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, incluindo-se neste contexto o lançamento de efluentes, e a lei nº 9.433 de 08/01/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo, ainda, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, introduzindo o conceito de poluidor pagador (Lei nº 9.433, 2002).

Outros aspectos que estimulam as indústrias a praticar o uso racional e do reuso referem-se ao considerável número de certificações de sistemas de gestão ambiental, com base na norma ISO-14.001. As certificações cresceram, em 1999, no Brasil 87,5% e 78,% em todo o mundo, motivadas, também, pelos problemas associados à escassez de água, questão que vem sendo amplamente discutida em diversas reuniões técnicas e seminários por todo o mundo (Hojada, 2000).

A osmose reversa é uma operação em que o solvente é separado da solução, mediante sua passagem por uma membrana semipermeável não porosa, desenvolvida para reter sais e solutos com baixos pesos moleculares.

Tendo em vista o exposto, o principal objetivo deste trabalho é projetar um sistema de osmose reversa com o intuito de recuperar efluente industrial através dos seus principais estágios de desenvolvimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistema e Filtração

Filtragem é o nome genérico dado a todos os processos de filtração. Dependendo da espessura dos poros usados no processo esta tecnologia é categorizada como ultrafiltração, osmose reversa, osmose inversa e nanofiltração. Abaixo de 40  $\mu\text{m}$  as partículas não podem mais serem vistas a olho nu. A filtração pode ser classificada como:

- Filtragem micrónica ou microfiltração: aquela que retém partículas de dimensão entre 0,1 e 1  $\mu\text{m}$ ;
- Ultrafiltração ou ultrafiltração: retenção de partículas de 0,01 a 0,1  $\mu\text{m}$ ;
- Nanofiltração ou nanofiltração: retenção de partículas de 0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$ ;
- Osmose reversa ou inversa: retenção de partículas de dimensão inferior a 0,01  $\mu\text{m}$ .

Considerando o exposto, o processo de osmose inversa ou reversa representa o grau mais fino de filtração de um líquido conseguido até hoje.

Conforme pode ser observado na Figura 2.1, as dimensões das partículas retidas nos processos de microfiltração, ultrafiltração e osmose inversa.

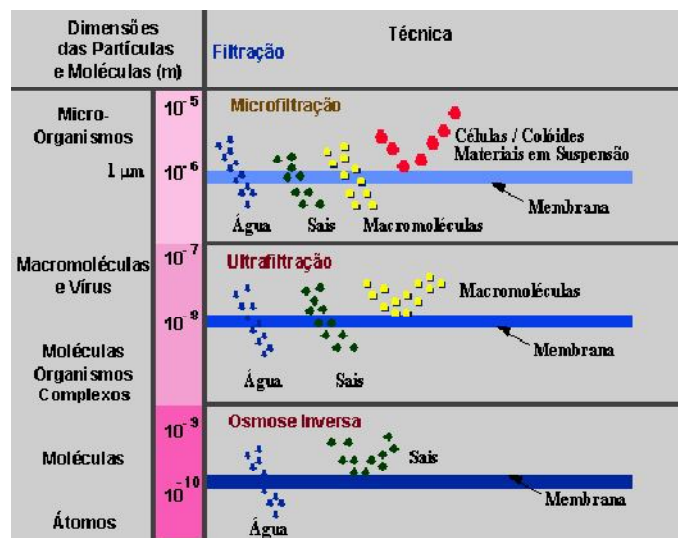


Figura 2.1 Técnicas de filtração [MEES, 2004].

A tecnologia de membranas é utilizada em inúmeros ramos da indústria para separação seletiva de diferentes compostos de um efluente. O filtrado obtido é cristalino sem o uso de produtos químicos. Podem envolver gradiente de temperatura e pressão.

As membranas apresentam-se em grande variedade propriedades, tais como:

- Textura: densas ou porosas;
- Origem: naturais ou artificiais;
- Composição: orgânicas ou inorgânicas;
- Estrutura: homogêneas ou assimétricas;
- Forma: plana, tubular, espiral.

Vantagens da separação por membranas (MANCUSO, 2003):

- Processo geralmente realizado à temperatura ambiente, preservando os compostos de alterações ou degradações;
- Fracionamento sem mudança de fase, muito econômica energeticamente;
- Processo físico, não há necessidade de aditivos químicos;
- Permite instalação modulável;
- Não há necessidade de regeneração, ou seja, a separação ocorre sem acumulação de impurezas no interior da membrana.

Possíveis aplicações ao meio ambiente:

- Clarificação de águas naturais e de processos de microfiltração tangencial;
- Extração de partículas metálicas através da microfiltração tangencial;
- Tratamento e reciclagem das águas de lixiviação, pelo emprego da microfiltração tangencial ou ultrafiltração);
- Tratamento de efluentes oleosos por meio da ultrafiltração;
- Dessalinização de águas através da osmose inversa ou reversa.

A Tabela 2.1 mostra os compostos possíveis de separação em um efluente com diferentes tipos de membranas:

Tabela 2.1 Separação em um efluente com diferentes tipos de membranas

Operações Industriais Selecionadas	Tecnologias Convencionais	Tecnologia de Membrana
Lavagem de peças de caminhões	Trat. Químico, separadores água/óleo, evaporador, flotação por ar dissolvido	Ultrafiltração Microfiltração
Concentração de alimentos/ purificação do açúcar	Evaporação, centrifugação e cristalização	Ultrafiltração Osmose reversa
Recuperação de metais	Troca iônica	Ultrafiltração Microfiltração
Suavização da água	Eletrodialise inverso, cal e troca iônica	Nanofiltração
Tratamento de água salobra	Eletrodialise inverso e troca iônica	Osmose inversa
Dessalinização da água do mar	Evaporação e cristalização	Osmose inversa

Fonte; [DIETRICH, 1995]

A Figura 2.2 apresenta detalhes da tecnologia de membranas (microfiltração) e o processo de lavagem reversa da membrana.

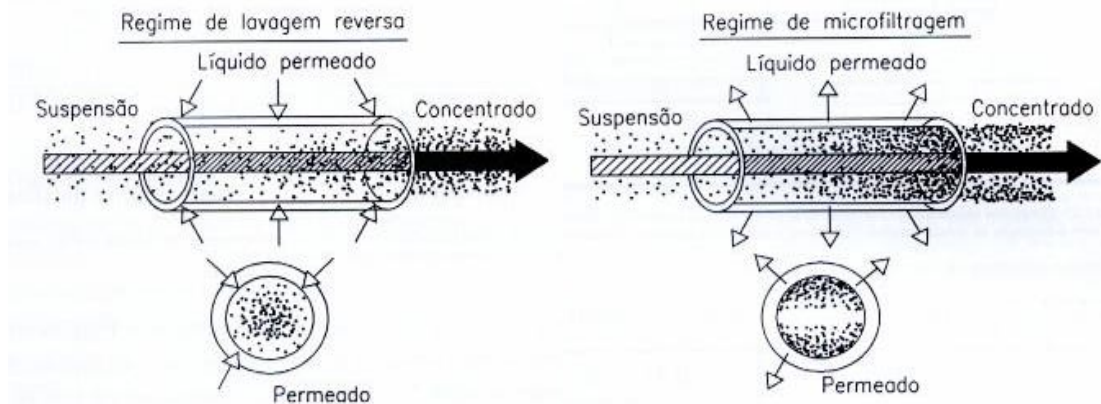


Figura 2.2 Processo de lavagem reversa [ELECTRO, 2000]

### **2.1.1 O Processo de Osmose Reversa**

A osmose reserva foi desenvolvida a partir da descoberta, há mais de 200 anos, de que material natural como a parede celular de vegetais, apresenta permeabilidade à água, porém não permitem passagem de materiais nela dissolvidos.

Inicialmente, a osmose reversa foi empregada com o objetivo de dessalinizar a água do mar. Entre as décadas de 1960 e 1970 esta tecnologia começou a ser usada na indústria de alimentos, sendo a indústria leiteira a pioneira.

Através de um processo que utiliza uma pressão externa superior à pressão osmótica, a água atravessa uma membrana semipermeável, passando de uma solução alta concentração de sal para uma de baixa ou com nenhum teor deste composto. A membrana industrial é uma barreira semipermeável composta de polímeros, por exemplo, acetato de celulose ou poliamida.

O processo de fracionamento completo, utilizado para tratamento de água, permite remover a maior parte dos contaminantes orgânicos e até 99% de todos os íons. Este processo remove ainda até 99,0% dos vírus, das bactérias e dos colóides, usando uma pressão superior a pressão osmótica que força a passagem de água através da membrana semipermeável no sentido inverso ao da osmose natural. A pressão osmótica é a diferença de pressão e de energia potencial que existe entre duas soluções, em lados opostos de uma membrana semipermeável, devido à tendência da água a fluir por osmose.

#### **2.1.1.1 Equações para o Dimensionamento da Membrana Osmótica**

O processo de osmose reversa, ao contrário da filtração convencional, em que os contaminantes ficam retidos dentro ou na superfície do filtro, os contaminantes, partículas sólidas e compostos existentes no efluente, são eliminados pelo fluxo transversal do rejeito. A porcentagem de água de alimentação que é permeada recebe denominação de taxa de recuperação, que dependerá do sistema utilizado.

Para soluções suficientemente diluídas a pressão osmótica ( $\pi$ ) pode ser dada pela equação

$$\pi = nRTi \quad (2.1)$$

Sendo:

$\pi$  = pressão osmótica da solução em Pa\*m<sup>3</sup>;

$n$  = concentração do soluto em solução expressa em mols/m<sup>3</sup>;

$R$  = constante universal dos gases perfeitos em Pa\*mol;

$T$  = temperatura em Kelvin;

$i$  = fator de correção de Van't Hoff em mols de partículas.

A equação de Van't Hoff mostra ainda que a pressão osmótica de uma solução diluída é diretamente proporcional à concentração molar do soluto e, portanto, inversamente proporcional ao peso molecular deste, para uma massa de soluto constante. A aplicação desta equação a soluções reais exige a introdução de correções análogas às aplicadas à equação dos gases perfeitos para torná-la válida a gases reais. É equacionada pela expressão:

$$i = 1 + \alpha(q - 1) \quad (2.2)$$

Sendo:

$i$  = fator de correção de Van't Hoff em mols de partículas;

$\alpha$  = grau de ionização;

$q$  = número total de íons liberados na ionização de um composto.

Os fluxos de solvente ( $F_S$ ) e de soluto ( $F_s$ ) através da membrana são dados pelas expressões:

$$F_S = \frac{D_S}{\lambda} (\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.3)$$

$$F_s = \frac{D_s}{\lambda} \Delta C \quad (2.4)$$

Sendo:

$DS$ =coeficiente de difusão de soluto no solvente em  $m^2/s$ ;

$Ds$ =coeficiente de difusão do soluto em  $m^2/s$ ;

$\lambda$ = espessura efetiva da membrana em  $\mu m$ ;

$\Delta P$ = diferença de pressão das duas soluções em  $Kgf/cm^2$ ;

$\Delta \pi$ = diferença de pressão das duas soluções em  $Kgf/cm^2$ ;

$\Delta C$ = diferença de concentrações de soluto nas soluções.

$FS$ = fluxo do solvente em  $m^3/h$ ;

$F_s$ = fluxo do soluto em  $m^3/h$ ;

Uma vez que a difusão do soluto acompanha a do solvente é necessário atender à perda daquele, por vezes considerável, no decorrer da concentração de soluções por esta técnica, a perda referida pode ser dada pela expressão:

$$s = 1(1 - S)1 - R , \quad (2.5)$$

Sendo:

$s$ = perda relativa do soluto em  $m^2/h$ ;

$S$ = volume relativo de solvente removido (razão entre o volume removido e o volume inicial de solvente) adimensional;

$R$ = rejeição da membrana  $m^2/h$ .

A perda de soluto é tanto maior quanto maior for à recuperação de solvente e quanto menor for à rejeição da membrana.

Outro problema associado a esta técnica resulta do acumulo de moléculas de soluto rejeitadas junto à superfície da membrana, do aumento de concentração correspondente resulta uma elevação da pressão osmótica e, assim, uma redução do fluxo de solvente, bem como um aumento das perdas de soluto.

### 2.1.1.2 A Membrana Osmótica

Atualmente existem vários tipos de membranas osmóticas desenvolvidas, decorrentes do avanço tecnológico no tratamento e reaproveitamento da água de rejeito industrial, tais como: acetato de celulose, poliamidas aromáticas-aramidas, poliamidas hidrazidas, (por serem fibras finas e ocas, possui uma, estrutura, mais fechada, possibilitando trabalhar com água do mar com salinidade de 45.000 ppm), poliamida de composição avançada e polisulfonas.

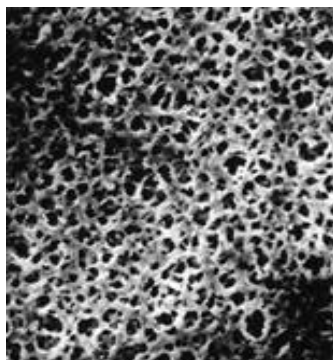


Figura 2.3 Membrana Osmótica [Tipo de Filtração, 2008].

Os materiais da membrana influenciam na definição dos parâmetros operacionais do sistema de tratamento como um todo, em função de algumas restrições referentes à resistência destes materiais, sendo apresentadas na Tabela 2.2 as recomendações para utilização dos tipos de membranas disponíveis.

Tabela 2.2 - Recomendações para uso das membranas de osmose reversa.

Material da Membrana	Limite de pH	Limite de Temperatura	Outras Limitações
Acetato de Celulose	1,5 – 7,0	0 - 50°C	Pode ser degradado por processo biológicos
Poliamida	4,0 – 11,0	0 - 46°C	Não tolera cloro livre
Filme Fino Composto	<1,0 – 13,0	0 - 79°C	Pode tolerar níveis moderados de cloro livre (100ppm)

Fonte: [IDAHO, 1992].



Com relação aos tipos de módulos de osmose reversa existem disponíveis no mercado quatro configurações básicas: a tubular, o do tipo placa, o módulo enrolado em espiral e a do tipo fibra oco (PAREKH,1988).

Os módulos tubulares e em placa foram os primeiros a serem utilizados no início do desenvolvimento da tecnologia da osmose reversa sendo que os sistemas que fazem uso destes tipos de módulos envolvem um alto investimento inicial e apresentam uma baixa densidade de empacotamento da membrana, quer dizer, a relação entre a área superficial da membrana por unidade de volume do sistema, sendo aplicados em sistemas que operam com águas ou soluções com alta concentração de material em suspensão, como por exemplo, em indústrias alimentícias.

Os módulos enrolados em espiral, mais utilizados atualmente, são constituídos por duas camadas de membranas que são coladas nos lados opostos de um tecido espaçador, conhecido como espaçador do canal de permeado. O envelope formado é enrolado ao redor de um tubo perfurado, colocado no interior do canal de permeado, colocando-se uma tela plástica externamente ao envelope, de forma a obter um canal para a corrente de alimentação, Figura 2.4.

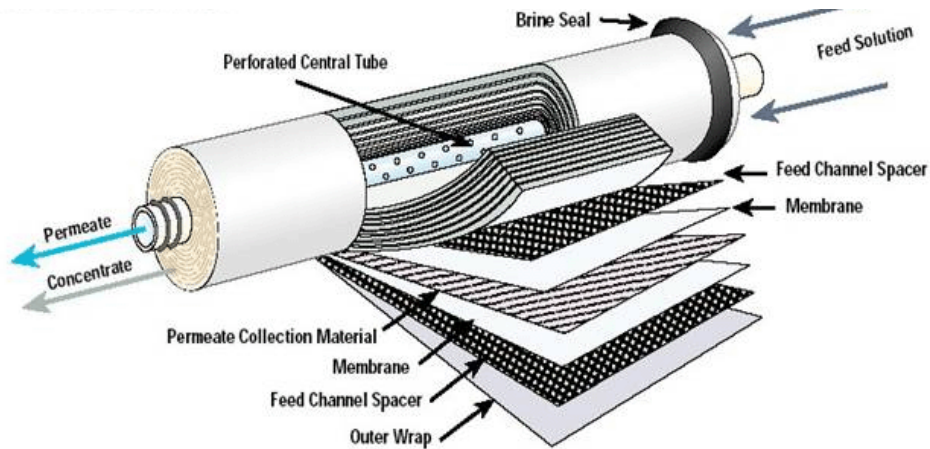


Figura 2.4 Membrana Osmótica Modulo em Espiral [Modulo em espiral 2008].

Já nos módulos em fibra oca, as membranas são processadas de forma a serem obtidos tubos capilares muito finos, os quais são montados no interior dos vasos de pressão, Figura 2.5.

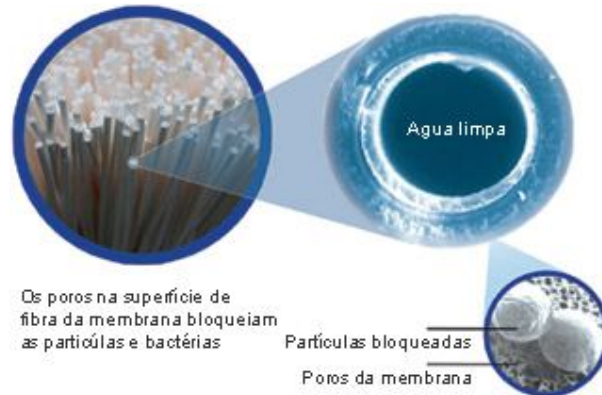


Figura 2.5 Membrana Osmótica Modulo Fibra Oca [Modulo em fibra 2008].

Tanto os módulos enrolados em espiral, como os de fibra oca, apresentam uma elevada densidade de empacotamento, tendo como desvantagem a possibilidade da ocorrência de entupimento, que dificilmente são revertidos pelos métodos convencionais de limpeza.

### 2.1.1.3 Arranjos para Sistema de Osmose Reversa

A seguir são apresentados alguns dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa, Figura 2.6.

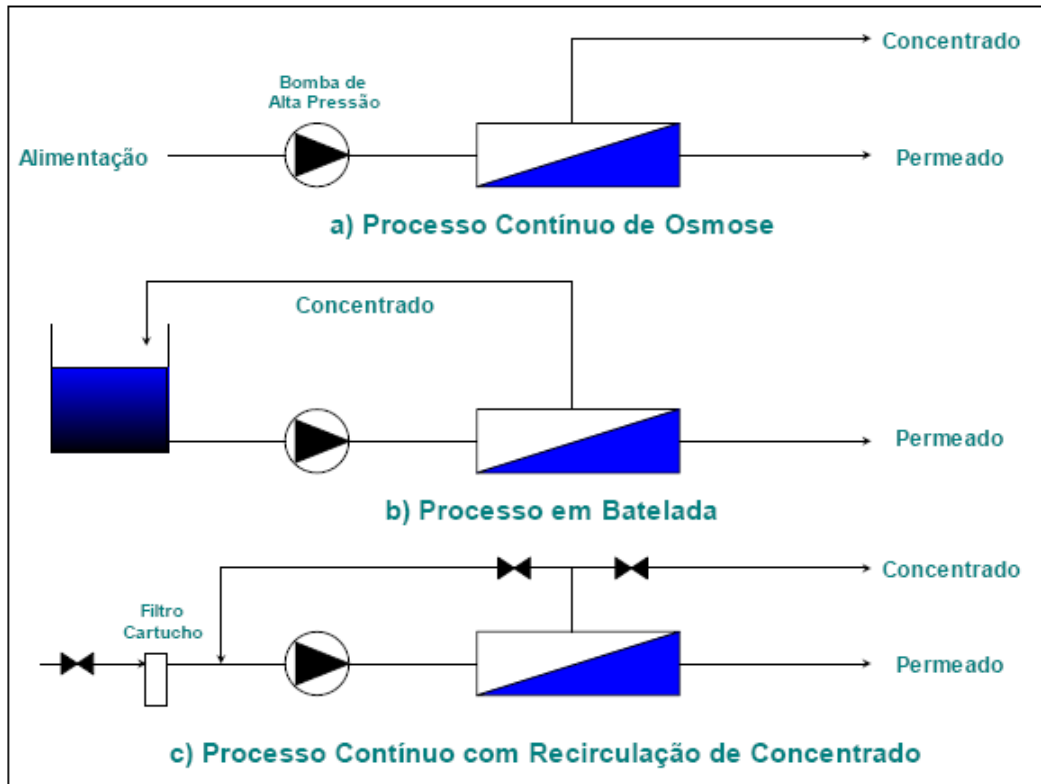


Figura 2.6 Representação esquemática dos possíveis arranjos para os sistemas de osmose reversa.

#### 2.1.1.4 Influência da pressão e da temperatura

No caso da pressão, o processo de osmose reversa é influenciado tanto na quantidade, como na qualidade da água produzida, ou seja, com o aumento da pressão na alimentação do sistema, ocorre um aumento o fluxo de água através da membrana e uma redução na concentração de sólidos totais dissolvidos no permeado, o que significa dizer que ocorre um aumento na taxa de rejeito de sais.

Com relação à temperatura da água de alimentação do sistema, também se observa uma variação na taxa de produção de permeada, bem como na taxa de rejeito de sais só que, neste caso, ao contrário do que ocorre com o aumento da pressão, a taxa de rejeito de sais do sistema de osmose reversa é reduzida, ocorre uma piora da qualidade do permeado.

### 2.1.1.5 Influência da recuperação de água no sistema

A recuperação de água em um sistema de osmose reversa é definida pela relação entre o fluxo de permeada e o fluxo de água alimentado ao sistema.

Com o aumento da recuperação de água o fluxo de permeado através da membrana vai diminuindo e finalmente é interrompido, quando a concentração salina atinge um valor onde a pressão osmótica do concentrado é superior à pressão aplicada na corrente de alimentação. A taxa de rejeição de sais também é reduzida com o aumento da recuperação de água.

### 2.1.1.6 Influência da concentração salina da alimentação

Considerando-se a variação da concentração salina da corrente de alimentação, no processo de osmose reversa, mantendo-se constante a pressão de alimentação, haverá uma redução no fluxo de permeada, bem como na taxa de rejeito de sais, com o aumento da concentração salina da alimentação.

Na Tabela 2.3 apresenta uma comparação entre os processos de osmose reversa, considerando-se o processo contínuo de tratamento sem recirculação de concentrado e com recirculação de concentração.

Tabela 2.3 Comparação entre os processos de osmose reversa sem e com recirculação de concentrado

	Processo sem Recirculação	Processo com Recirculação
Composição da Alimentação	Deve ser Constante	Pode Variar
Recuperação de Água do Sistema	Deve ser Constante	Pode Variar
Circuito de Limpeza	Mais Complicado	Simple
Compensação da Deposição	Mais Dificil	Fácil
Varição de Pressão na Membrana (Entrada/Saída)	Diminui	Não Há

	Processo sem Recirculação	Processo com Recirculação
Consumo de Energia	Baixo	Alta
Número de Bombas (Investimento/Manutenção)	Mais Difícil	Fácil

Fonte: [DOW EUROPE, 1994].

A Tabela 2.4 mostra o campo de aplicação das membranas de osmose reversa FilmTec, da Empresa DOW.

Tabela 2.4 Aplicação das membranas de osmose reversa.

Membranas	Parâmetros			
	Recuperação de água por membranas Modula 1m	STD na alimentação (mg/l)	Taxa de rejeição de sais	Pressão de alimentação requerida
TW30 (água industrial)	15% / 10%	< 1000	>90%	<21bar
BW30 (água salgada)	15% / 10%	< 5000	>95%	<41bar
SW30 (água do mar)	15% / 10%	5000 - 15000	>98%	<41 bar
SW30HR (água do mar com alta concentração de rejeito)	15% / 10%	15500 - 50000	>99%	<41 bar

Fonte: [DOW EUROPE, 1994].

### **2.1.1.7 Subsistema de limpeza química e desinfecção**

Em função das membranas de osmose reversa serem susceptíveis aos processos de deposição, incrustação e degradação, causados pelas substâncias presentes na corrente de alimentação, pode ser necessário realizar uma limpeza química das membranas.

Mesmo que os sistemas de osmose reversa apresentem subsistemas de pré-tratamento da corrente de alimentação, os processos de deposição, incrustação e degradação podem a vir ocorrer por um dos seguintes fatores:

- Subsistema de Pré-tratamento Inadequado;
- Perturbações nas Condições de Operação do Subsistema de Pré-Tratamento;
- Seleção Inadequada de Materiais (Bombas, tubulações, etc.);
- Falha nos Sistemas de Dosagem Química;
- Controle Operacional Inadequado;
- Mudança nas características da Corrente de Alimentação.

A necessidade de realização da etapa de limpeza química é verificada em função de alguns parâmetros operacionais do sistema, parâmetros estes que são informados pelo fornecedor das membranas, podendo ser indicada a necessidade desta limpeza pelas seguintes condições:

- A vazão normalizada de permeado sofre uma redução de 10%;
- A concentração de sal normalizada da água produzida aumenta em 10%;
- A pressão diferencial, (pressão da corrente de alimentação – pressão do concentrado), aumenta 15% em relação àquela de referência.

## **2.2 Sistemas de Pré-Filtragem**

O pré-tratamento de água a ser processada pela unidade de osmose reversa tem como o principal objetivo melhorar a eficiência e aumentar o tempo de vida útil das membranas utilizadas, uma vez que diversas substâncias podem apresentar efeitos deletérios sobre as mesmas (DOW EUROPE, 1994).

Os principais problemas relacionados à perda de eficiência e redução da vida útil das membranas de osmose reversa estão associados à deposição de material em suspensão, incrustação e /ou degradação por agentes oxidantes ou microorganismos.

Para que sejam evitados os problemas de deposição e incrustação, que irão causar perda na eficiência do sistema pelo entupimento ou colmatção da membrana, pode-se utilizar diversos processos de tratamento de água existentes, como por exemplo, abrandamento, precipitação química, coagulação floculação e filtração.

Com relação ao processo de degradação das membranas, por estas serem fabricadas a partir de materiais orgânicos deve-se evitar, ao máximo, operar a unidade de osmose reversa na presença de substâncias oxidantes na corrente de alimentação, bem como evitar o crescimento de microrganismo nas membranas.

Com relação ao crescimento de microrganismo na superfície das membranas, deve-se fazer uso dos processos de desinfecção, os quais já se encontram com tecnologia bastante desenvolvida, ou seja, processo de cloração, ozonização e desinfecção por radiação ultravioleta, ou ainda, por meio da utilização de agentes biocidas.

No caso dos compostos oxidantes, pode-se fazer uso dos processos de adsorção em carvão ativado, no caso específico de eliminação de cloro livre, ou então, utilizar-se compostos redutores, como por exemplo, o metabissulfito de sódio.

Na tabela 2.5 são apresentadas algumas opções de pré-tratamento para reduzir possíveis riscos de incrustação, deposição e degradação em sistemas de osmose reversa.

Tabela 2.5 - Opções de pré-tratamento para reduzir riscos de incrustações, deposição e degradação em sistema de osmose reversa.

Pré Tratamento	Contaminante										
	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SrSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	Al	Bactéria	Agentes Oxidantes	Matéria Orgânica
Coagulação/ Floculação						P	P	P			
Microfiltração ou Ultrafiltração						E	P	P	P		

Pré Tratamento	Contaminante										
	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SrSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	Al	Bactéria	Agentes Oxidantes	Matéria Orgânica
Remoção de Cloro										E	
Tratamento de Choque									P		
Desinfecção Preventiva									P		
Acidificação	E						P				
Inibidor de Incrustação	P	E	E	E	E	P					
Abrandamento por Troca Iônica	E	E	E	E	E						
Dealcamização por Troca Iônica	P	P	P	P	P						
Abrandamento com Cal	P	P	P	P	P	P	P				
Limpeza Preventiva	P					P	P	P	P		P
Ajuste dos Parâmetros de Operação		P	P	P	P	E					
Filtro de Areia						P	P	P			
Oxidação/Filtração							E				
Coagulação em Linha							P	P			

P – Possível

E – Efetivo

Fonte: [DOW EUROPE, 1994].

### 2.2.1 Filtro de Areia e Antracitos

O filtro de areia é um método de tratamento bastante antigo, inicialmente adotado na remoção de turbidez da água potável. A partir do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos, passou a ser aproveitado na depuração de esgotos (MICHELS, 1996).



O funcionamento deste sistema baseia-se na aplicação de afluentes intermitentemente sobre a superfície de um leito de areia.

Durante a sua infiltração, ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos. O tratamento físico é resultante do peneiramento e o químico se processa pela adsorção de determinados compostos. Mas, a purificação depende principalmente da oxidação bioquímica que ocorre no contato do afluente com a cultura biológica. Devido a esta característica, Jordão e colaboradores (1995), afirmam que este tipo de sistema é incorretamente chamado de filtro, pois seu funcionamento não possui como explicação primordial o peneiramento ou a filtração. Neste mesmo sentido, Kristiansen (1981), sustenta que o leito de areia em conjunto com os microorganismos forma um filtro vivo.

O filtro é usado para altas vazões e remoção de sedimentos e partículas de 25 micra e maiores. Em alguns casos removem partículas de 5 a 10 micra. Usam-se filtros de areia com circulação contínua para remover sedimentos de torres de resfriamento, fontes, piscinas e outros sistemas abertos; filtros de areia multicamada removem turbidez, areia e outros detritos da água.

As partículas sólidas suspensas na água são mantidas no interior do meio devido à colisão e adesão na superfície dos grãos ou por retenção entre os grãos, o sistema remove partículas sólidas e contaminantes orgânicos, algas e materiais coloidais da água e partículas de argila, a escolha correta da areia determina a eficiência do sistema.

O diâmetro efetivo médio caracteriza o menor diâmetro de partícula que será removida pela areia, conforme mostrado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 Relação diâmetro médio da areia e da partícula removida. (vazão de 17 L/s. m<sup>2</sup>).

Material	Diametro Efetivo Médio (µm)	Número de mesh (eq)	Tamanho de partículas removidas (µm)
Granito moído (8)	1900	70	>160(1/12)
Granito moído (11)	1000	140	>80(1/12)
Areia de sílica (16)	800	170	>60(1/15)
Areia de sílica (20)	550	230	>40(1/15)
Areia de sílica (30)	340	400	>20(1/15)

Fonte: [TESTEZLAF, 2006].

A água a ser filtrada é bombeada para o filtro de areia, construído em aço carbono ou aço inoxidável. No seu interior o material filtrante é colocado na parte inferior, sobre um fundo falso, com distribuidores. A água bombeada de cima para baixo, passa pelo material filtrante e segue para seu destino.

### 2.2.2 Limpeza do Sistema de Pré-Filtragem

Quando o material filtrante satura com a presença das impurezas o filtro deve ser lavado, geralmente quando a diferença de pressão  $\geq 70$  KPa. Esse processo ocorre com água limpa, bombeada de baixo para cima. As válvulas anexas ao filtro orientam os fluxos de filtragem e de retrolavagem que é determinado pelo tamanho do grão da areia, altura da camada e o modelo do filtro.



Figura 2.7 Filtro de areia [Estação, 2008].

### **2.2.3 Filtro de Carvão**

O filtro de carvão é utilizado no tratamento avançado de esgotos para remoção de materiais orgânicos solúveis que não são eliminados nos tratamentos anteriores. Essas substâncias orgânicas, ditas refratárias são passíveis de ser adsorvidas na superfície dos poros das partículas de carvão, até que sua capacidade de adsorção se exaure, sendo necessária sua regeneração ou reativação.

Esse processo também é utilizado para remoção de compostos inorgânicos como nitrogênio, sulfeto e metais pesados. Nos sistemas de tratamento avançado, a adsorção em carvão ativado geralmente vem após a filtração e, às vezes, após a cloração no ponto de ruptura. Isso porque partículas do material em suspensão obstruem os poros de carvão, e a cloração, nesse ponto, minimiza a possibilidade de crescimento de bactérias anaeróbias em sua superfície.

Além disso, o carvão ativado reduz o cloro residual, evitando a necessidade de decloração. A adsorção em carvão ativado é usada onde se requer tratamento em alto grau.

Pode ser usado sob a forma granulada (GAC – Carbono Ativado Granular) em que o líquido é passado através de uma coluna de leito fixo, ou sob a forma pulverizada (PAC Carbono Ativado Pó).

Seu uso tem sido adotado em diversas fases do tratamento, como após o tratamento biológico para remoção de matéria orgânica, ou após tratamento físico químico por coagulação, floculação, sedimentação e filtração, que remove o material que poderia obstruir seus poros.

## 2.2.4 Equações para o Dimensionamento do Filtro

O fluxo de água através dos poros dos filtros é laminar. O regime de fluxo é caracterizado pelo número de Blake, adaptação do número de Reynolds, considerado o raio hidráulico dos poros:

$$B = \frac{(d \cdot V)}{(6 \cdot (1 - \rho)) \cdot v} \quad (2.11)$$

Onde:

d = diâmetro dos grãos em cm;

V = velocidade ou taxa de escoamento superficial em cm/s;

$\rho$  = porosidade do filtro;

v = coeficiente de viscosidade cinemática em cm<sup>2</sup>/s.

Quando o regime de fluxo através de um meio poroso é laminar, a perda de carga é uma função linear da velocidade e pode ser calculada pela equação de Camp;

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = \left(J \cdot \left(\frac{v}{g}\right) \cdot \left(\frac{(1-\rho)^2}{\rho^3}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{d}\right)^2 \cdot V\right) \quad (2.12)$$

Onde:

hf = perda de carga em cm;

J = uma constante empírica, cerca de 6 para regime laminar;

g = aceleração da gravidade, 980 cm/s<sup>2</sup>;

L = profundidade da camada em cm;

$\sigma$  = fator de forma da partícula;

d = diâmetro em cm;

$\rho$  = porosidade do filtro;

v = coeficiente de viscosidade em cm<sup>2</sup>/s;

V = velocidade em cm<sup>2</sup>.

Em um leito filtrante estratificado, deve-se calcular a perda de carga parcial entre cada camada compreendida entre duas peneiras consecutivas, tomando-se o diâmetro médio entre estas peneiras. A perda de carga total será a soma das perdas de carga parciais nas diversas camadas.

Para os materiais filtrantes, com características usualmente empregadas no projeto de filtros rápidos, podem ser utilizadas as seguintes equações aproximadas para o cálculo da perda de carga:

Areia:

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = 5 \times 10^{-3} * V \quad (2.13)$$

Antracito:

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = 0,9 \times 10^{-3} * V \quad (2.14)$$

onde, V é a velocidade de filtração dada em m<sup>3</sup> / dia.

No projeto de um filtro, uma série de variáveis deve ser manipulada de modo a se garantir a melhor qualidade possível do efluente com ciclos ou carreiras de filtração de duração razoável.

Segundo Hudson, as variáveis a serem consideradas no projeto racional de um filtro estão relacionadas entre si através das relações empíricas (HUDSON, 1963);

$$C_e = f \left( \frac{V*d^3*p^4*H}{L*C_0} \right) \quad (2.15)$$

$$T = f * \left( \frac{(d^2*p^4*H*S*L)}{(V^{1,5}*C_0)} \right) \quad (2.16)$$

Nas quais,

C<sub>e</sub> = concentração do material em suspensão no efluente filtrado em porcentagem de solido por cm<sup>2</sup>;

C<sub>0</sub> = concentração do material em suspensão no efluente aplicada aos filtros em porcentagem;

d = tamanho efetivo dos meios filtrantes em cm;

p = porosidade destes;

H = perda de carga final no meio leito filtrante em cm;  
L = penetração dos flocos no filtro, floculação fraca em porcentagem;  
L' = penetração dos flocos no filtro, floculação forte em porcentagem;  
V = velocidade de filtração em cm/s;  
S = amplitude das oscilações de carga em cm<sup>3</sup>/s;  
f = coeficiente de atrito de Fanning.

Se o fluxo é laminar com número de Reynolds for  $< 2000$ ,  $f = 64/NR$ , se o fluxo é turbulento, com  $NR \geq 15000$ , pode-se tornar f constante e igual a 0,025.

As características do efluente aplicado aos filtros determinam a qualidade do mesmo principalmente através da concentração, natureza, tamanho e propriedades de aderência das partículas.

Com uma operação cuidadosa, admitindo que não haja falhas de projeto e de construção, o rendimento dos filtros chega a superar 90%, em termos de remoção de turbidez. Um melhor conhecimento dos fenômenos físico - químicos que envolvem a coagulação e o emprego de decantadores lamelares de alta taxa, têm conduzido à otimização do processo de coágulo-sedimentação, resultando em uma elevada eficiência na remoção de turbidez, que se aproxima da ideal, com a turbidez do efluente decantado tendendo a ser independente dos valores da turbidez do efluente bruto.

As propriedades do meio filtrante desempenham um fator preponderante na eficiência da filtração. Se bem que sejam fixadas em projeto, podem ser alteradas posteriormente para melhorar a qualidade do fluente ou quando se necessita aumentar a capacidade dos filtros ou mesmo reconstruí-los. As características do meio filtrante que exercem influência na eficiência dos filtros são: o tamanho, a forma e a distribuição dos grãos, a porosidade e a profundidade do leito filtrante.

Aumentando-se o tamanho efetivo do meio conseguem-se carreiras de filtração mais longas, porém a qualidade do efluente é prejudicada sensivelmente.

A velocidade de filtração não é tão significativa como as variáveis anteriores na qualidade do efluente. Normalmente uma taxa mais baixa produzirá um efluente de

melhor qualidade. Um filtro bem projetado opera satisfatoriamente, pode produzir um efluente de melhor qualidade, trabalhando a uma taxa tão elevada com um  $400 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \times \text{dia})$ , ao passo que um filtro que trabalha a uns  $120 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \times \text{dia})$ , com um tratamento prévio inadequado, produz um efluente de pior qualidade.

De um modo geral, tem-se observado que, sob idênticas condições, a qualidade do efluente não sofre alteração sensível para taxas até  $300 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \times \text{dia})$ , comparadas com a taxa normal, até a pouco adotada em projetos, de  $120 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \times \text{dia})$ .

O aumento da perda de carga final no leito filtrante pode tornar pior a qualidade do efluente filtrado.

Considerando que em um filtro corrente, seja de camada simples ou dupla, sabe-se que o floco alcançou o seu máximo esforço cortante, quando a turbidez do efluente filtrado sobrepassa continuamente o valor máximo permissível (1 UNT). Isso significa ter havido a ruptura interna do floco e o seu conseqüente desprendimento dos grãos do leito.

Ao esforço cortante com o qual isto ocorre, dá-se a denominação de esforço cortante crítico, cujo valor é:

$$\tau_c = \left( \mu * g * \sigma * \left( \frac{V}{p_c} \right) * h_c \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

Onde:

$\mu$  = viscosidade absoluta em  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;

$g$  = aceleração da gravidade em  $\text{cm}/\text{s}^2$ ;

$\sigma$  = densidade em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$V$  = velocidade de filtração em  $\text{cm}/\text{s}$ ;

$p_c$  = porosidade no momento em que se produz a ruptura em porcentagem;

$h_c$  = perda de carga que produz a ruptura em  $\text{m}^3/\text{m}^2 * \text{dia}$ .

Esse esforço cortante crítico  $\tau_c$  pode ser menor, igual ou maior que o esforço cortante  $\tau_m$  produzido quando se alcança a máxima perda de carga permissível pela hidráulica do filtro  $h_m$ .

Relacionando-se  $\tau_c$  com  $\tau_m$ , obtém-se:

$$i_D = \frac{\tau_c}{\tau_m} = \frac{(h_c)^{\frac{1}{2}}}{(h_m)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.18)$$

Ao valor  $\tau_c / \tau_m$  denomina-se índice de dureza  $I_D$ , que pode ser empregado como um parâmetro útil para qualificar o grau de resistência do floco ao cisalhamento.

A espessura do leito filtrante quase nada afeta a filtração. É necessário, entretanto, prever-se uma altura mínima de segurança, para que a qualidade do efluente filtrado mantenha-se durante toda a carreira de filtração.

O numero de filtros depende da velocidade da água de lavagem da taxa de filtração adotada.

$$N = \frac{V}{V_0} \quad (2.19)$$

Onde:

$N$  = numero de filtro;

$V$  = velocidade de água de lavagem em  $m^3/m^2 \cdot dia$ ;

$V_0$  = taxa de filtração.

### **2.3 Subsistema de pós-tratamento**

Os processos de pós-tratamento são, normalmente, empregados com os objetivos de adequar as características do produto obtido na unidade de osmose reversa, aos requisitos estabelecidos para o seu uso final.

Dependendo das exigências, os processos necessários podem consistir em um simples ajuste do pH e desinfecção da corrente produzida na unidade de osmose reversa, ou então, a utilização de um processo de troca iônica para obtenção de água ultra pura, o



que deverá ser especificado pelo responsável pela implantação do sistema (HYDRANAUTICS, 1998).

Portanto, o bom funcionamento da osmose reversa é em função dos gradientes de concentração e pressão, entre a água salinizada, denominada rejeito, e a água produzida, denominada permeado.

### 3 METODOLOGIA

O reuso da água nos processos industriais requer uma ampla análise de contaminantes das correntes hídricas. Em sistemas mais complexos como plantas químicas, o número de arranjos possíveis e de opções técnicas para minimização dos efluentes requer instrumentos que possam auxiliar os engenheiros de processo na elaboração de projetos otimizados. A integração dos processos é, portanto, um caminho praticamente inevitável para a obtenção de melhores resultados.

Várias metodologias de projeto de processos industriais têm sido desenvolvidas sob a chancela de integração de processo. Essas metodologias, em geral, não visam criar novos tipos de equipamentos ou operações unitárias. Na verdade, elas buscam garantir que as tecnologias de processo existentes sejam selecionadas e inter-relacionadas da forma mais efetiva, otimizando com isso os custos de capital e energia.

Tipicamente, os procedimentos são iniciados com uma visão do processo como um todo, ao invés de focalizar uma operação unitária individual ou parte de um equipamento.

Dessa forma, uma estrutura correta pode ser desenvolvida para a planta toda, com itens individuais de equipamentos sendo montados nessa estrutura. Essa metodologia tem sido aplicada com sucesso há muitos anos nas atividades de minimização de custos, com ênfase no equilíbrio entre os custos de capital e de operação (ROSSITER, 1995). Ainda para ROSSITER (idem), uma das principais características das técnicas de integração de processos é que elas aumentam a eficiência do processo ao minimizar o uso e/ou maximizar a recuperação de energia e materiais. Isso as relaciona diretamente com os objetivos da prevenção de poluição.

Visando atender aos objetivos deste trabalho, a identificação, qualificação e caracterização dos efluentes gerados em uma indústria são de fundamental importância, principalmente para a identificação de oportunidades, bem como para definição das estratégias a serem utilizadas com relação à captação, encaminhamento e tratamento das diversas correntes de efluentes geradas nesta indústria.

A consideração fundamental no desenvolvimento de um sistema osmose reversa é o dimensionamento dos seus componentes, para encontrar um especificado nível de produção de água de reuso a um mínimo investimento e custo operacional.

Desta forma, basicamente a metodologia segue os seguintes passos:

Dimensionamento da membrana osmótica.

- Pressão osmótica;
- Fluxo do soluto;
- Fluxo do solvente;
- Perda relativa do soluto.

Dimensionamento do sistema de bombeamento:

- Ponto de operação do sistema;
- Perda de carga do sistema;
- Potência do conjunto moto bomba;
- Curva característica da instalação.

Dimensionamento do sistema de pré-filtragem:

- Concentração do material em suspensão;
- Total do material em suspensão;
- Esforço cortante crítica;
- Índice de dureza;
- Regime do fluxo.

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

O efluente utilizado neste projeto foi retirado na saída da caixa intermediária 2 antes da entrada do tanque ETA/STAR, sendo coletado 100 ml de amostra.

**Boletim de análise N° 3.762**

Parâmetro	Unidade	Legislação	VMP	Legislação	VMP	LQ	Resultado
Arsênio	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,2	Resolução 357 CONAMA (17/03/05) Artigo 34	0,5	0,1	<0,1
Bário	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	5,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	5,0	0,2	<0,2
Boro	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	5,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	5,0	0,2	<0,2
Cádmio	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,2	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,2	0,05	<0,05
Chumbo	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,5	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,5	0,02	<0,02
Cianeto	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,2	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,1	<0,1
Cianeto livre	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,2	0,1	<0,1
Cloroformio	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,005	<0,005
Cobre	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	1,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	---	0,05	<0,05
Cobre dissolvido	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,05	<0,05
Cromo hexavalente	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,1	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,1	0,05	<0,05
Cromo total	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	5,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	---	0,05	<0,05
Cromo trivalente	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,005	<0,005
DBO	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	60	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	---	5	70
Dicloroetano	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,005	<0,005
DQO	mg/L	Não Aplicável	NA	Não Aplicável	NA	10	270
Estanho	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	4,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	4,0	1	<1
Fenol	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,5	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,5	0,1	<0,1

Figura 3.1 Boletim de análise nº 3762[EP Engenharia, 2008].



**Boletim de análise N° 3.762**

Parâmetro	Unidade	Legislação	VMP	Legislação	VMP	LQ	Resultado
Ferro solúvel	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	15,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	15,0	0,05	0,5
Fluoretos	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	10,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	10,0	0,1	<0,1
Manganês solúvel	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	1,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,05	<0,05
Materiais flutuantes	NA	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	Ausente	Ausente	Ausente
Materiais sedimentáveis	ml/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	1,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,1	<0,1
Mercurio	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,01	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,01	0,005	<0,005
Níquel	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	2,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	2,0	0,2	<0,2
Nitrogênio amoniacal total	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	20,0	0,1	0,5
Óleos e Graxas	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	100	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	NA	5	20
Óleos minerais	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	20	5	13
Óleos vegetais	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	50	5	13
pH	NA	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	5-9	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	5-9	0,5	7,0
Prata	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,02	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,1	0,01	<0,01
Selênio	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	0,02	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	0,30	0,01	<0,01
Sulfeto	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,01	<0,01
Temperatura	°C	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	<40,0	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	<40,0	1	20
Tetracloroeto de carbono	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,005	<0,005
Tricloroeteno	mg/L	Decreto 8468 (08/09/76) Artigo 18	---	CONAMA 397 (03/04/08) Artigo 34	1,0	0,005	<0,005

Figura 3.1 Boletim de análise nº 3762 [EP Engenharia, 2008] (continuação).

### 3.1 Dimensionamentos da membrana osmótica.

Para o dimensionamento da membrana osmótica, alguns parâmetros devem ser conhecidos tais como diferença da pressão osmótica, fluxo do solvente (permeada) e o fluxo do soluto (rejeito).

Diferença da pressão osmótica, é determinada pela equação  $\pi = nRTi$ , mas primeiramente é necessário obter o fator de correção de Van't Hoff através da equação

$$i = 1 + \alpha(q - 1)$$

Sendo:

$i$  = fator de correção de Van't Hoff;

$\alpha$  = 85% de grau de ionização;

$q$  = 101 íons liberados na ionização de um composto.

$$i = 1 + \alpha(q - 1) = 1 + 0,85(101 - 1) = 185 \text{ mols de partículas}$$

$$\pi = nRTi$$

Sendo:

$\pi$  = pressão osmótica da solução em Pa\*mol;

$n = 4 \text{ mol/m}^3$ , concentração do soluto em solução;

$R = 8,314 \text{ m}^3\text{Pa} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , constante universal dos gases perfeitos;

$T = 298,15 \text{ K}$ , temperatura em Kelvin;

$i = 185 \text{ mols de partículas}$ .

$$\pi = nRTi = 4 * 8,314 * 298,15 * 185 = 183.4326,13 \text{ Pa} * \text{mol}$$

$$FS = \frac{DS}{\lambda} (\Delta P - \Delta \pi) \quad FS = \frac{DS}{\lambda} \Delta C$$

Sendo:

$FS$  = fluxo do solvente em  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$F_s$  = fluxo do soluto em  $m^3/h$ ;

$DS$  = 0,025 coeficiente de difusão do solvente;

$Ds$  = 0,025 coeficiente de difusão do soluto;

$\lambda$  =  $8\mu m$ , espessura efetiva da membrana;

$\Delta P$  =  $15 \text{ Kgf/cm}^2$ , diferença de pressão das duas soluções;

$\Delta\pi$  =  $18,704 \text{ Kgf/cm}^2$ , diferença de pressão osmótica das duas soluções;

$\Delta C$  = 1,23 diferença de concentrações de soluto nas soluções.

$$F_s = \frac{DS}{\lambda} (\Delta P - \Delta\pi) = \frac{0,025}{8 \times 10^{-6}} (15 - 18,704) = 24.248,32 \text{ m}^3/h$$

$$F_s = \frac{Ds}{\lambda} \Delta C = \frac{0,025}{8 \times 10^{-6}} 1,23 = 8.060,92 \text{ m}^3/h$$

De posse dos resultados levantados nas equações podemos dimensionar a membrana com uma pressão osmótica de  $18,704 \text{ Kgf/cm}^2$ , com o fluxo de água de rejeito  $8.060,92 \text{ m}^3/h$  e com o volume de água permeada de  $24.248,32 \text{ m}^3/h$ .

### 3.2 Dimensionamentos do sistema de bombeamento.

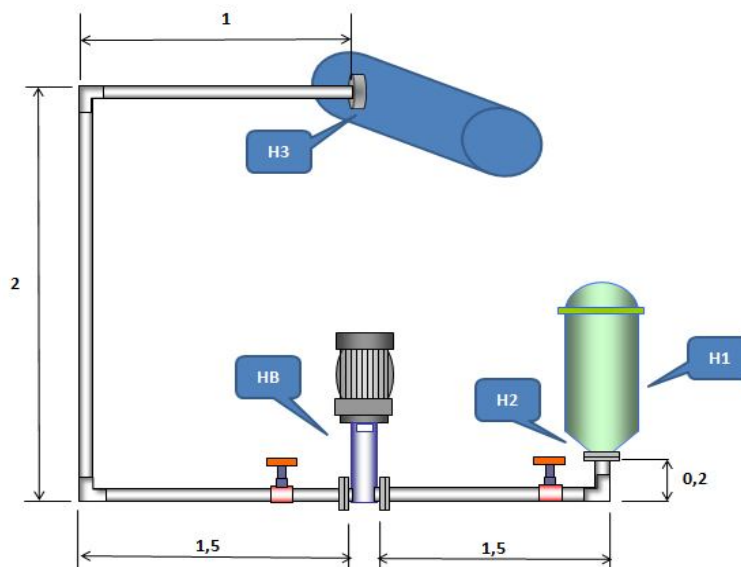


Figura 3.2 Diagrama do sistema de bombeamento.

$$H_1 + H_B = H_3 + H_{(1;3)}$$

$$H_B = -(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}) + Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + H_{(1;3)}$$

$$H_B = Z_3 + (-\frac{P_1}{\gamma}) + \frac{P_3}{\gamma} (-\frac{V_1^2}{2g}) + \frac{V_3^2}{2g} + H_{(1;3)} - Z_1$$

$$H_n = Z_3 + \left(-\frac{P_1}{\gamma}\right) + \frac{P_3}{\gamma} = 1,8 - \left(\frac{2,5 \times 10^4}{10^3}\right) + \frac{18,7 \times 10^4}{10^3} = 163,8m$$

$$H_d = \frac{V_3^2}{2g} + H_{(1;3)} = \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D^4 * g} + \frac{8 * f * L_T * Q^2}{\pi^2 * D^5 * g}$$

Tubo 2"  $\varnothing_{nom}$  SCH 40 = Di = 52,5 mm

$$L_T = L_r + L_{eqt}$$

Tabela 3.1 – Dados empregados nos cálculos de perda de carga equivalente e total.

N°	Tipo de singularidade	$\varnothing_{nom}$	Leq. (m) de tupo 2"
1	Comprimento real do tubo	2"	6,2
2	Saída normal do tanque	Tanque para 2"	1,0
3	Cotovelo 90°	2"	1,9 (x3)
4	Válvula sem guia	2"	17,7(x2)
	Comprimento real		48,3

Como a vazão não é conhecida, adotaremos o  $f$  e utilizando a rugosidade relativa equivalente  $\frac{D}{K}$ , para estimarmos o valor.

$$\frac{D}{K} = \frac{52,5 \times 10^{-3}}{1,5 \times 10^{-4}} = 350$$



No diagrama, para regime hidraulicamente rugoso para  $Re \geq 4 * 10^5 = 400.000 = f = 0,026 = f_{min}$ , como o valor de “ $Re$ ” está relativamente alto, como referencia, determinamos o “ $f$ ” para  $Re = 1 * 10^5$ , diante disso podemos adotar o coeficiente  $f = 0,027$ .

Substituindo na equação;

$$H_B = H_n + H_d$$

$$\begin{aligned} H_B &= 163,8 + \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * (0,0525)^4 * 9,8} + \frac{8 * 0,027 * 48,3 * Q^2}{\pi^2 * (0,0525)^5 * 9,8} \\ &= 163,8 + 10887Q^2 + 270460Q^2 \\ &= 163,8 + 281347Q^2 \end{aligned}$$

Equação da CCI = =  $163,8 + 281347Q^2$

$$H_B = 163,8 + \frac{281347}{3600^2} Q^2 = 163,8 + 2,17 \times 10^{-2} * Q^2$$

Atribuindo valores para vazão e calculando a carga, utilizando o limite de vazão da bomba.

Tabela 3.2 – Dados empregados nos cálculos de carga utilizando limite de vazão.

Q	m <sup>3</sup> /h	0	5	10	15	20
H <sub>B</sub>	m	163,8	164,3	165,9	168,6	172,4

A Figura 3.3 ilustra o rendimento máximo do sistema de bombeamento de 66,7% com a altura manométrica de 224 m, com a vazão de 15m<sup>3</sup>/h e a potência requerida pelo sistema de 13,7 KW.

Levantando a curva característica instalação:

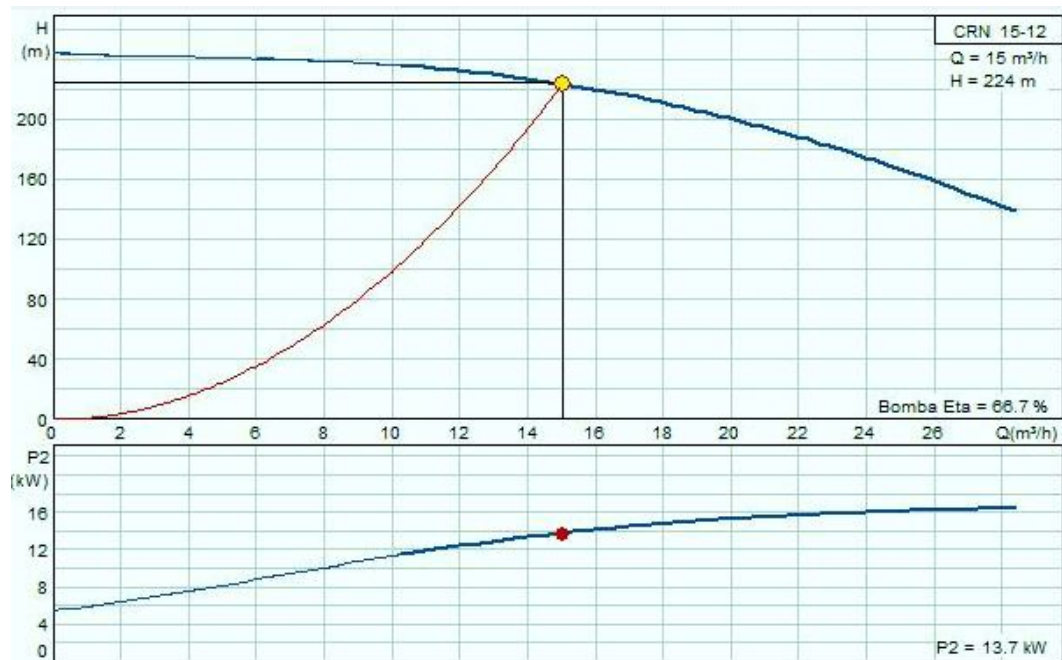


Figura 3.3 Curva característica da bomba CRN 15-12 [Grundfos,2008]

Através dos resultados obtidos podemos dimensionar o sistema de bombeamento sendo 224 m de altura manométrica, 15m<sup>3</sup>/h de vazão com 66,7% de rendimento do sistema. Sendo assim o conjunto recomendado para o sistema é a bomba Grundfos CRN 15-12.

### 3.3 Dimensionamentos do sistema de pré-filtragem.

Concentração do material em suspensão no efluente filtrado;

$$C_e = f \left( \frac{V * d^3 * p^4 * H}{L * C_0} \right)$$

Total de material em suspensão no efluente filtrado;

$$T = f * \left( \frac{(d^2 * p^4 * H * S * L')}{(V^{1,5} * C_0)} \right)$$

Nas quais,

$C_e$  = concentração do material em suspensão no efluente filtrado em porcentagem de sólido por  $cm^2$ ;

$C_0$  = 70% concentração do material em suspensão no efluente aplicada aos filtros;

$d$  = 0,12 cm tamanho efetivo dos meios filtrantes (areia);

$p$  = 0,45 porosidade do filtro;

$H$  = 0,432 cm perda de carga final no meio leito filtrante;

$L$  = 50% penetração dos flocos no filtro, floculação fraca;

$L'$  = 60% penetração dos flocos no filtro, floculação forte;

$V$  = 0,35 cm/s velocidade de filtração;

$S$  = 2,5  $cm^3/s$  amplitude das oscilações de carga;

$f$  = 0,025 coeficiente de atrito de Fanning.

$$C_e = f \left( \frac{V * d^3 * p^4 * H}{L * C_0} \right)$$

$$C_e = 0,025 \left( \frac{0,35 * (0,12)^3 * (0,45)^4 * 0,432}{0,50 * 0,70} \right)$$

$$C_e = 0,025 \left( \frac{0,35 * 0,0017 * 0,041 * 0,432}{0,35} \right) \cong 0\%$$

$$T = f * \left( \frac{(d^2 * p^4 * H * S * L')}{(V^{1,5} * C_0)} \right)$$

$$T = 0,025 * \left( \frac{((0,12)^2 * (0,45)^4 * 0,432 * 2,5 * 0,60)}{(0,35^{1,5} * 0,70)} \right)$$

$$T = 0,025 * \left( \frac{(0,0144 * 0,0410 * 0,432 * 2,5 * 0,60)}{0,1449} \right) = 66 * 10^{-6} \%$$

Esforço cortante crítico;

$$\tau_c = \left( \mu * g * \sigma * \left( \frac{V}{p_c} \right) * h_c \right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

$\mu = 1,0030 * 10^{-4}$  cm\*s viscosidade absoluta;

$g = 980$  cm/s<sup>2</sup> aceleração da gravidade;

$\sigma = 1$  g/cm densidade;

$V = 0,35$  cm/s velocidade de filtração;

$p_c = >90\%$  porosidade no momento em que se produz a ruptura;

$h_c = 240$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* dia perda de carga que produz a ruptura.

$$\tau_c = \left( \mu * g * \sigma * \left( \frac{V}{p_c} \right) * h_c \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (1,0030 * 10^{-4} * 980 * 1 \left( \frac{0,35}{0,90} \right) * 240)^{\frac{1}{2}} = 3,02$$

Índice de dureza

$$\frac{\tau_c}{\tau_m} = \frac{(h_c)^{\frac{1}{2}}}{(h_m)^{\frac{1}{2}}}$$

Onde:

$\tau_c$  = esforço cortante crítico;

$\tau_m$  = esforço cortante;

$h_c = 240$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* dia perda de carga que produz a ruptura;

$h_m = 248$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* dia perda de carga permissível pela hidráulica do filtro.

$$\frac{\tau_c}{\tau_m} = \frac{(h_c)^{\frac{1}{2}}}{(h_m)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{(240)^{\frac{1}{2}}}{(248)^{\frac{1}{2}}} = 0,98$$

Ao valor  $I_b (\tau_c / \tau_m)$ , qualificar o grau de resistência do floco ao cisalhamento, o valor ótimo de operação deve estar entre 0,95 – 1,05.

Em um filtro rápido de areia e antracito, os grãos de antracitos, variam entre 0,7 mm a 1,2 mm e a porosidade é da ordem de 0,45. A taxa de  $300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ x dia}$  (0,35cm/s) e a temperatura de  $15^\circ\text{C}$ .

O regime de fluxo é caracterizado pelo número de Blake;

$$B = \frac{(d * V)}{(6 * (1 - \rho)) * \nu}$$

Para antracito,

Onde:

$d = 0,07 \text{ cm}$ , diâmetro dos grãos;

$V = 0,35 \text{ cm/s}$  velocidade ou taxa de escoamento superficial;

$\rho = 0,45$  porosidade do filtro;

$\nu = 0,0115 \text{ cm}^2/\text{s}$  coeficiente de viscosidade cinemática.

$$B = \frac{(d * V)}{(6 * (1 - \rho)) * \nu}$$

$$= \frac{(0,07 * 0,35)}{(6 * (1 - 0,45)) * 0,0115} = 0,65$$

Para areia,

Onde:

$d = 0,12$  cm, diâmetro dos grãos;

$V = 0,35$  cm/s velocidade ou taxa de escoamento superficial;

$\rho = 0,45$  porosidade do filtro;

$\nu = 0,0115$  cm<sup>2</sup>/s coeficiente de viscosidade cinemática.

$$B = \frac{(d * V)}{(6 * (1 - \rho)) * \nu}$$
$$= \frac{(0,12 * 0,35)}{(6 * (1 - 0,45)) * 0,0115} = 1,11$$

Perda de carga;

Filtro de meio duplo, constituído de uma camada de 40 cm de antracito, sobreposto a uma camada de areia de 25 cm, a perda de carga inicial (com o filtro limpo), total será, à taxa de 240 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>. dia)

Areia:

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = 5 \times 10^{-3} * V$$

$$\left(\frac{hf}{25}\right) = 5 \times 10^{-3} * 240 = 30cm$$

Antracito:

$$\left(\frac{hf}{L}\right) = 0,9 \times 10^{-3} * V$$

$$\left(\frac{hf}{40}\right) = 0,9 \times 10^{-3} * 240 = 8,5 cm$$

O numero de filtros deve ser igual ou superior a três unidades, preferencialmente quatro.

A velocidade de filtração necessária a promover uma velocidade de lavagem de 0,60 m/min, 864 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.dia), com três unidades.

$$N = \frac{V}{V_0}$$

Onde:

$N = 3$  números de filtros

$V = 864 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$  velocidade da água de lavagem

$V_0 =$  taxa de filtração

$$N = \frac{V}{V_0} =$$
$$3 = \frac{864}{V_0} = 288 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$$

Através dos resultados obtidos, o sistema de pré-filtragem fica definido com a concentração de material em suspensão de 0%, com total de material em suspensão de  $66 \times 10^{-6} \%$ , esforço cortante crítica de 3,02, índice de dureza de 0,98, regime do fluxo para antracito de 0,65 e para a areia de 1,11, perda de carga para a areia de 30 cm e para antracito de 8,5cm e o numero de filtro de carvão que deve ser igual ou maior a 3.

### 3.4 Apresentação do projeto final.

Na figura 3.4 é apresentado o projeto proposto nele inserido as informações de dimensionamento do sistema de osmose reversa.

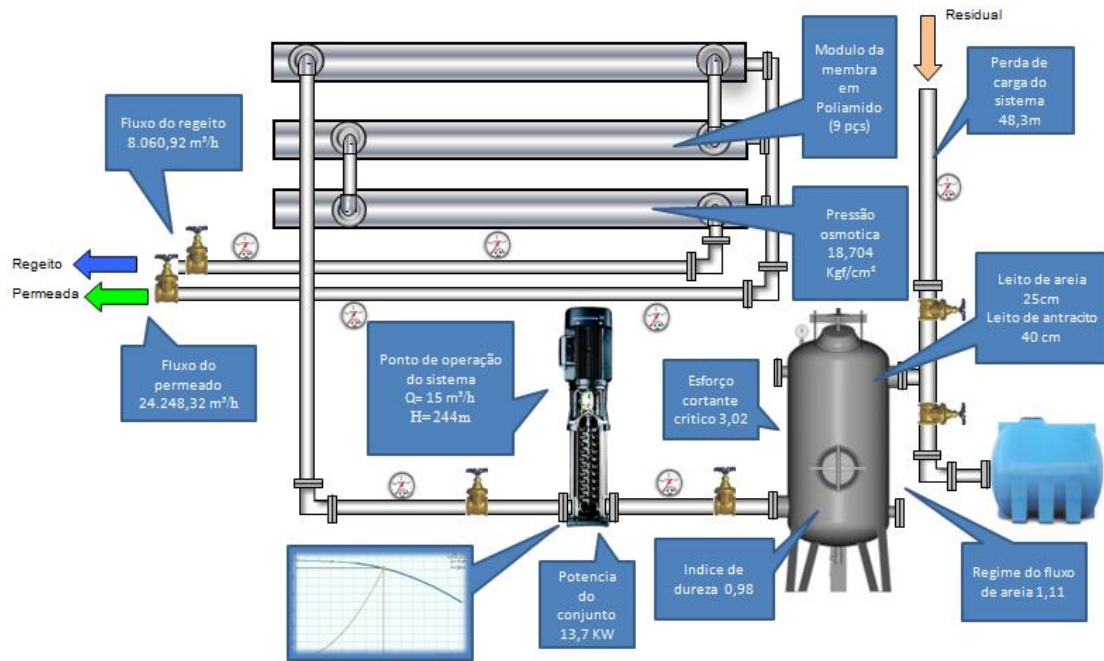


Figura 3.4 Sistema de osmose reversa



## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma seqüência de passos visando o projeto de um sistema de reutilização da água residual pela aplicação do sistema de osmose reversa.

Em aplicação prática, um sistema de osmose reserva é constituído, não apenas pelo subsistema de osmose reserva (bomba de alta pressão, vasos de pressão, membranas, válvulas e instrumentos), mas também pelo subsistema de apoio, sendo estes de pré-tratamento, de pós-tratamento e de limpeza química, os quais irão exercer grande influência no desempenho do sistema de purificação de água como um todo, bem como na qualidade final da água obtida.

Com relação à viabilidade técnica do projeto, baseadas nos cálculos apresentados neste trabalho, o sistema de osmose reversa possibilita a transformação de quaisquer das fontes de água industrial em recurso hídrico para aplicação na indústria em diversas áreas.

As modernas tecnologias de membranas filtrantes complementadas pelas operações de pré-filtragem e bombeamento garantem o mais alto nível de qualidade de água necessário para os processos exigidos nas indústrias.

Os processos que envolvem o tratamento de água estão atravessando um importante momento, uma vez que a necessidade de aumentar a disponibilidade e a qualidade de água tem crescido diversas regiões do planeta. O custo da produção de água está caindo e o desempenho tem melhorado com uma produção cada vez mais eficiente. A qualidade de água produzida já não é um problema técnico. A principal dificuldade ainda é o custo da produção que, embora em constante queda, ainda não atingiu níveis que possam ser praticados universalmente.

O conceito de reuso de água deve contemplar, pelo menos, dois tipos de reuso, ou seja, o reuso em cascata e o reuso de efluentes tratados. O reuso em cascata deve sempre prevalecer sobre qualquer outra forma de reuso, principalmente pela razão de não requerer grandes investimentos para a sua viabilização.

Quaisquer iniciativas de redução do consumo de reuso de água conduzem a elevação da concentração de contaminantes nos efluentes, principalmente dos inorgânicos, o que limita o potencial para a aplicação da prática de reuso, além de resultar em problemas de maior magnitude do que aqueles já existentes.

Com este cenário torna-se imprescindível o conhecimento das alternativas disponíveis para gerenciamento de efluentes industriais, incluído às técnicas para o tratamento de efluentes, principalmente na preservação dos recursos hídricos existentes.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOW EUROPE SEPARATION SYSTEMS. FILMTEC Membranes – Technical Manual, Germany, 1994

Estação de Água para Reuso. Disponível em:

[www.alfaequipamentos.com.br/produtos](http://www.alfaequipamentos.com.br/produtos). Acesso em: 02 de maio de 2008.

HOJADA, R. G. Crescimento da ISO9000 e ISO14001 no Mundo, Revista Meio Ambiente Industrial, ano IV, edição 26 – n 25, p. 28-29, julho/agosto. 2000.

HYDRANAUTICS, Hydranautics RO System Design Software, Version 64.0©, Hydranautics High Performance Membrane Products. 1998.

HUDSON, H. E. Jr. Functional Design of Rapid Sand Filters, Proc. ASCE, Vol 89, n 1, 1963.

IDAHO – NATIONAL ENGINEERING LABORATORY, Waste Treatment Technologies, EGG-WMO10244, Vol. 13, EG&G Idaho, Inc. Idaho Falls, Idaho, 1992.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro:ABES, 1995.

KRISTIANSEN, R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent: III. The micro flora, Journal of Environmental Quality, n. 10, p. 361–364, 1981.

LORA, Electro Eduardo Silva. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e transporte. Brasília, DF: ANEEL, 2001.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Política nacional de recursos hídricos: legislação básica. Secretaria de Recursos Hídricos do

Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, p.23-41, 2002.

Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Política nacional de recursos hídricos: legislação básica. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, seção 1, p.1, 2002.

MEES, J. B. R. Tratamento de Resíduos Líquidos III. Dissertação - Tecnologia em Gerenciamento Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2004.

MICHELS, C. J. System suited for small communities. Water Environmental & Technology, v. 7, n. 8, p. 45-48, 1996.

MANCUSO, P. C. S; SANTOS, H. F. Potencial de reuso de água no Brasil: indústria, município e recarga de aquíferos. In: dos. Reuso de água. Barueri: Manole, 2003.

Membrana Osmótica Modulo em Aspiral. Disponível em:  
[www.meiofiltrante.com.br/.../imagens/capa05.jpg](http://www.meiofiltrante.com.br/.../imagens/capa05.jpg). Acesso em: 11 de dezembro 2008.

Membrana Osmótica Modulo em Fibra Oca. Disponível em:  
[www.borabora.pt/images/partic.jpg](http://www.borabora.pt/images/partic.jpg). Acesso em: 11 de dezembro 2008.

PAREKH, B.S. Reverse Osmosis Technology Applications for High-Purity-Water Production, Marcel Dekker, Inc.,1988.

ROSSITER, P. A. Process integration and pollution prevention. AIChE Symposium Series, v.90, n. 303, 1995.

TESTEZLAF, R. Técnica de Filtragem para Irrigação - Tecnologia em Gerenciamento Ambiental, Universidade Engenharia Agrícola, UNICAP, Campinas, São Paulo, 2006.

Tipo de Filtração. Disponível em:  
[www.tratamentoaguaefluentes.com.br/filtrosfiltracao/Tratamento\\_Agua\\_filtracao.htm](http://www.tratamentoaguaefluentes.com.br/filtrosfiltracao/Tratamento_Agua_filtracao.htm).  
Acesso em: 02 de maio de 2008.