



PROJETO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA PCT BRA/IICA/14/001 de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate à Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.

Relatório Técnico contendo proposta de documento referente às diretrizes e ações do componente Sistemas de Dessalinização do Programa Água Doce para atualização do Documento Base, especificamente no que se refere ao componente Dessalinização, contendo contextualização, metodologia, revisão bibliográfica, projetos, custos atualizados, anexos, informações atualizadas, fotos, diagramas, tabelas, planilhas, gráficos e ilustrações atualizadas.

MÁRCIA LIANA FREIRE PEREIRA

Campina Grande, Setembro de 2016.

Identificação

Consultor(a) / Autor(a): Márcia Liana Freire Pereira

Número do Contrato: 116187

Nome do Projeto: Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de "Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate à Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)".

Oficial/Coordenador Técnico Responsável: Romélia Moreira de Souza.

Data /Local: 30/08/2016 - Campina Grande/PB.

Classificação

Temas Prioritários do IICA

Agroenergia e B combustíveis		Sanidade Agropecuária	
Biotecnologia e Biosegurança		Tecnologia e Inovação	
Comércio e Agronegócio		Agroindústria Rural	
Desenvolvimento Rural	X	Recursos Naturais	X
Políticas e Comércio		Comunicação e Gestão do Conhecimento	
Agricultura Orgânica		Outros:	
Modernização Institucional			

Palavras-Chave:

Documento Base, Dessalinização, Programa Água Doce.

Resumo

Título do Produto: Relatório Técnico contendo proposta de documento referente às diretrizes e ações do Programa Água Doce para atualização do Documento Base, especificamente no que se refere ao Componente Dessalinização, contendo contextualização, metodologia, revisão bibliográfica, projetos, custos atualizados, anexos, informações atualizadas, fotos, diagramas, tabelas, planilhas, gráficos e ilustrações atualizadas.

Subtítulo do Produto: Proposta para atualização do Documento Base, com objetivo de realizar alinhamento com a fase de escala do Programa Água Doce.

Resumo do Produto: Documentos, no âmbito do Componente Dessalinização, para aprimoramento na implantação, operação, monitoramento e manutenção de sistemas de dessalinização, novos ou recuperados pelo Programa Água Doce em áreas susceptíveis a desertificação.

Qual Objetivo Primário do Produto?

Orientar técnicos e demais interessados nas ações do Programa Água Doce, na utilização da metodologia desenvolvida para implantação, operação, monitoramento e manutenção de sistemas de dessalinização.

Que Problemas o Produto deve Resolver?

Atualizar, em função da escala do Programa Água Doce, a metodologia de implantação, operação, manutenção e monitoramento de sistemas de dessalinização em comunidades a serem atendidas por programas que tenham como foco o acesso à água e o combate a desertificação.

Como se Logrou Resolver os Problemas e Atingir os Objetivos?

Através de revisão bibliográfica, experiências de campo, atualização de metodologias no tema da dessalinização e consultas a documentos técnicos do Programa Água Doce, principalmente, o

Documento Base.

Quais Resultados mais Relevantes?

Atualização do Documento Base do PAD, que é o guia principal de orientação dos técnicos estaduais e dos consultores que atuam nos estados atendidos pelo PAD.

O Que se Deve Fazer com o Produto para Potencializar o seu Uso?

Torná-lo acessível para consulta de técnicos ou agentes públicos envolvidos na implementação e execução de programas que visem o acesso à água e o combate à desertificação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	O COMPONENTE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE.....	13
3	O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO.....	17
3.1	Processos de separação por membranas.....	20
3.1.1	Microfiltração.....	22
3.1.2	Ultrafiltração.....	22
3.1.3	Nanofiltração.....	22
3.1.4	Osmose Inversa.....	23
3.2	Principais Aplicações de Processos com Membranas.....	23
3.3	Processo de Dessalinização via Osmose Inversa.....	25
3.4	Módulos Comerciais.....	29
3.4.1	Módulos Espirais.....	30
3.5	Projeto e Instalação de Plantas de Dessalinização com Membranas.....	31
3.5.1	Análise da Água de Alimentação.....	33
3.5.2	Simulação de Processos por Osmose Inversa.....	35
3.5.3	Etapas para Projetar um Sistema de Membranas por Osmose Inversa.....	35
3.6	Equações Características do Processo de Osmose Inversa.....	43
3.6.1	Fluxo do Permeado.....	43
3.6.2	Transporte de Sais.....	43
3.6.3	Pressão Osmótica.....	44
3.6.4	Recuperação.....	45
3.6.5	Percentual de Rejeição de Sais.....	46
3.6.6	Balanço de Massa.....	46
3.6.7	Passagem de Sais.....	48
3.7	Fatores que influenciam nas condições de operação do processo de dessalinização por Osmose Inversa.....	48

3.8	Polarização de Concentração.....	50
3.9	Parâmetros de qualidade da água para projeto de um sistema de dessalinização por Osmose Inversa para fornecimento de água para consumo humano.....	52
3.10	Formação de Incrustações	53
3.10.1	Depósitos Inorgânicos.	54
3.10.2	Depósitos de Material Biológico.....	58
3.11	Indicadores de Incrustações	59
3.11.1	Índice de Saturação de Langelier.	59
3.11.2	Índice de Densidade de Sedimentos (IDS).	62
3.11.3	Indicadores de Incrustações de Sulfato	64
3.11.4	Estimativa do Potencial de Incrustação de Sílica	65
3.12	Pré-tratamento.....	68
3.12.1	Adição de Inibidor de Incrustação.....	69
3.12.2	Filtros de Cartucho.....	72
3.12.3	Controle de Incrustação Microbiológica.	72
3.13	Pós-tratamento	74
3.14	Cuidados durante a operação de sistemas de membranas.....	75
3.15	Limpeza Química e suas Considerações.	76
3.15.1	Critério e seleção de produto de limpeza de membrana.....	77
3.15.2	Procedimento de limpeza química	78
4	SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO	81
5	DESSALINIZADOR.....	82
6	OPERAÇÃO DO DESSALINIZADOR	84
6.1	Etapas de Operação.....	84
6.2	Monitoramento e Manutenção.....	87
6.2.1.	Instrumentos de Medidas dos Dessalinizadores.....	87
6.2.2.	Monitoramento da Qualidade das Águas.....	87

6.2.3. Manutenção.....	90
6.2.4. Fatores que Afetam o Custo de Operação.....	91
7 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DOCE.....	94
8 USO DO CONCENTRADO.....	95
9 USO DE SOFTWARE PARA PROJETOS DE DESSALINIZADORES.....	96
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
12 ANEXOS.....	110
12.3 PLANILHA DE MONITORAMENTO DO DESSALINIZADOR.....	118
12.4 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA UM DESSALINIZADOR COM 6 MEMBRANAS.....	119
12.5 MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA – DESSALINIZADORES.....	122
12.6 MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA – MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DE DESSALINIZADORES.....	129
12.1 GRÁFICOS PARA CÁLCULOS DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO.....	110
12.2 DIAGNÓSTICO TÉCNICO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO.....	115

1 INTRODUÇÃO

Com o lançamento da Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas (ONU) e assinada por líderes mundiais, foi adotado um plano de ação para a população, para o planeta e para a prosperidade do desenvolvimento sustentável. Nesse plano de ação existem os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as metas globais para erradicar a pobreza e promover universalmente a prosperidade econômica, o desenvolvimento social e a proteção ambiental.

Dentre os objetivos e metas globais que refletem a preocupação mundial com a escassez hídrica e o acesso a água potável se destaca o processo de dessalinização como uma proposta para assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água.

*“Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a **dessalinização**, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso.”*

A importância da dessalinização como uma prática para o desenvolvimento sustentável persiste desde a Agenda 21 e se configura como uma das soluções para suprimento de água de boa qualidade em face do esgotamento das fontes de água doce seja em função do uso inadequado desses mananciais ou devido às mudanças climáticas e seus eventos extremos.

Na região semiárida brasileira, são constantes os períodos de estiagem, muitas vezes obrigando a população a migrar para outros centros, por absoluta falta de condições de permanência e de sobrevivência. Para minimizar esta situação e melhor utilizar os volumes disponíveis de água, propõe-se a instalação de equipamentos de dessalinização em poços tubulares perfurados nos aquíferos fissurais do embasamento cristalino, cujas águas subterrâneas apresentam alta concentração de sais dissolvidos. Estes poços são caracterizados por possuírem porosidade e permeabilidade primárias baixas que condicionam pequena capacidade de armazenamento de água.

Com o aumento da disponibilidade de água e o conseqüente implemento de oferta hídrica, em situações específicas onde é a alternativa técnica, econômica e social mais viável identificada, a dessalinização de águas salobras objetiva o

atendimento da demanda de consumidores de diferentes portes. Estas águas tratadas e com padrões de qualidade compatíveis com as normas nacionais, são utilizadas, prioritariamente, para o consumo humano.

Através do Programa Água Doce, sob a coordenação da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente, o governo federal promove a melhoria do acesso à água com a implantação e a recuperação de sistemas de dessalinização no semiárido brasileiro. Para suprir a demanda por água potável, o programa utiliza o processo de osmose inversa e tem como objetivo estabelecer uma política pública permanente de acesso à água por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, incorporando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização.

A execução do Programa Água Doce nos estados inseridos no semiárido brasileiro está sendo realizada em três fases distintas que compreendem: a realização de um diagnóstico social, ambiental e técnico nas comunidades; a implantação e/ou recuperação de sistemas de dessalinização; e o monitoramento e a manutenção destes sistemas.

Dentro deste contexto o Programa Água Doce (PAD), visa além de recuperar os sistemas de dessalinização que não se encontram funcionando, instalar novos sistemas e formar núcleos gestores estaduais, capazes de gerenciar e capacitar técnicos para monitorar e dar manutenção aos sistemas de dessalinização.

Com a finalidade de atender ao contrato de prestação de serviços profissionais de consultoria nº 116187, relativo ao Termo de Referência TR/PF/IICA-6549, este Relatório Técnico contém proposta de documento referente às diretrizes e ações do Programa Água Doce para atualização do Documento Base, especificamente no que se refere ao Componente Dessalinização, contendo contextualização, metodologia, revisão bibliográfica, projetos, custos atualizados, anexos, informações atualizadas, fotos, diagramas, tabelas, planilhas, gráficos e ilustrações atualizadas.

2 O COMPONENTE DESSALINIZAÇÃO DO PROGRAMA ÁGUA DOCE

O Componente Dessalinizador do Programa Água Doce representa o equipamento cujo processo nele executado irá fornecer água nos padrões de potabilidade para localidades com problemas de segurança e autonomia hídrica para sua população. Com esse propósito, o componente tem como principais ações a formação de recursos humanos, a recuperação e a instalação de dessalinizadores. A metodologia adotada para o objetivo proposto deve obedecer às seguintes etapas:

- Formação dos grupos gestores e núcleos estaduais, constituídos por técnicos dos órgãos gestores nos estados atendidos pelo Programa Água Doce.
- Elaboração de material didático para a capacitação de técnicos dos grupos gestores e núcleos estaduais, consultores e empresas contratadas para realizar diagnóstico técnico com objetivo de implantação de sistemas de dessalinização.
- Capacitação de técnicos dos grupos gestores e núcleos estaduais, consultores e empresas para realizar diagnóstico técnico para implantação de sistemas de dessalinização utilizando o processo de osmose inversa.
- Definição dos municípios e pré-seleção das comunidades que serão diagnosticadas, em função dos parâmetros de criticidade utilizados pelo programa e que compõem o Índice de Condição de Acesso à Água – ICAA.
- Realização de diagnóstico técnico de poços e sistemas de dessalinização pelos técnicos capacitados dos núcleos gestores estaduais ou empresas contratadas.
- Participação na seleção das comunidades que receberão os sistemas de dessalinização.

- Elaboração de planilhas quantitativas de componentes que necessitam serem substituídos ou realizar algum tipo de manutenção, no caso de dessalinizadores que podem ser recuperados.
- Elaboração de projetos de dessalinizadores com base em parâmetros, tais como: vazão do poço, composição química da água do poço e demanda de água potável pela comunidade, quando o indicativo for para instalação de novos dessalinizadores.
- Supervisão na instalação dos dessalinizadores novos ou recuperados.
- Capacitação de operadores de sistemas de dessalinização, treinando os operadores dos sistemas instalados e de outros dessalinizadores da região no entorno do sistema.
- Participação no processo de construção dos acordos de gestão dos sistemas de dessalinização.
- Acompanhamento e monitoramento dos dessalinizadores instalados juntamente com o núcleo gestor de cada Estado.

Em cada estado, no qual o PAD está em execução, às atividades vem sendo realizadas em três fases distintas que compreendem a realização de um diagnóstico socioambiental e técnico nas comunidades, a implantação ou recuperação de sistemas de dessalinização nas comunidades selecionadas e o monitoramento e a manutenção destes sistemas.

Na primeira fase são realizadas as visitas técnicas às comunidades. Durante essas visitas, os técnicos do Programa Água Doce realizam as seguintes atividades: determinam o número de poços disponíveis, coletam amostra(s) de água do(s) poço(s), observam as suas condições de funcionamento, solicitam a realização de teste de bombeamento para determinação da vazão do poço escolhido, identificam os dessalinizadores existentes, observam as suas condições técnicas e de funcionamento, coletam amostras de água da alimentação e efluentes do dessalinizador (permeado e concentrado), fazem contato com a comunidade e seu

líder ou prefeito e identificam o número de habitantes que serão beneficiados com água dessalinizada.

A partir das análises físico-químicas das amostras de água dos poços, há condições de definir o projeto do dessalinizador, que consiste em identificar: os melhores elementos de membranas, condições de funcionamento em função da qualidade da água bruta e tipo de pré-tratamento da água bruta. Esse tratamento visa à proteção dos elementos de membranas contra vários fenômenos de incrustações e pode ser realizado por meio de filtros ou pela adição de produtos anti-incrustantes, dependendo da composição físico-química da água bruta.

Na segunda fase, durante a instalação dos equipamentos, recomenda-se a presença de pessoas que ficarão responsáveis pelos sistemas, visando acompanhar os passos de instalação. Ressalta-se que todos os operadores do dessalinizador participem de um curso de capacitação. A capacitação é realizada na própria comunidade onde está implantado o sistema e ocorre com aulas teóricas sobre os componentes do dessalinizador, seus funcionamentos e importância, além dos cuidados com a higiene, manuseio e distribuição da água. No segundo momento é realizada a aula prática no campo mostrando toda a operação e todos os procedimentos a serem seguidos pelo operador, proporcionando o funcionamento correto do sistema e mantendo a qualidade da água.

Após a implantação dos sistemas de dessalinização, na terceira fase, é necessário realizar a sua manutenção periódica. Essa etapa requer o acompanhamento das atividades de manutenção periódica dos sistemas de dessalinização instalados e realizadas pela empresa contratada. Esse acompanhamento deve ser realizado por técnicos e consultores treinados nos estados. Essa manutenção se traduz na qualidade e na quantidade de água produzida no processo e no prolongamento do tempo de vida útil do sistema.

O monitoramento dos dessalinizadores deve ser realizado através de visitas periódicas aos sistemas por uma empresa qualificada e acompanhada pelos consultores, técnicos do grupo gestor e/ou do PAD. Nestas visitas são coletados os dados das variáveis de medidas dos dessalinizadores, como também é realizada coleta de amostras de águas das correntes de alimentação, permeado e concentrado para realização de análises.

Após iniciar o funcionamento do dessalinizador é realizada uma reunião juntamente com a comunidade para fechamento do Acordo de Gestão do Dessalinizador. O acordo gestão do dessalinizador é um documento elaborado e aprovado pela comunidade, no qual estão estabelecidas as regras que irão definir os direitos e os deveres de todas as pessoas beneficiadas pela água doce e pela utilização do concentrado. Os Acordos permitem o controle e a participação das comunidades nas atividades necessárias à garantia da oferta de água de boa qualidade para as famílias beneficiadas.

3 O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

A dessalinização é um processo natural e contínuo que ocorre no ciclo hidrológico. A água do mar é constantemente evaporada formando as nuvens que precipitam no solo na forma de chuva. Ao ser evaporada a água fica isenta de sais minerais estando assim na sua forma pura. A água da chuva, por outro lado pode conter impurezas do ar nela dissolvidas. Após a precipitação no solo, a água escoar pela superfície terrestre dissolvendo os sais minerais e tornando-se progressivamente salgada até retornar para os oceanos. Uma parte dessa água infiltra-se no solo formando os lençóis freáticos. Quando esses lençóis são confinados em rochas cristalinas, a água também dissolve parcialmente os sais constituintes dessas rochas. Dessa forma, as águas subterrâneas com alto teor de sais dissolvidos tornam-se impróprias para o consumo humano.

Para processar essas águas salobras e salinas e torná-las adequadas para o consumo humano utiliza-se a dessalinização para produzir águas dentro dos padrões de potabilidade exigidos pelas legislações vigentes. Os processos de dessalinização mais utilizados são os térmicos e de membranas. Os térmicos são via destilação múltiplos efeito, compressão de vapor e “flash”. Com membranas, os processos mais utilizados são de eletrodialise (ED) e osmose inversa (OI). Cada um deles apresenta suas vantagens e desvantagens em termos de consumo de energia, áreas de ocupação e manutenção.

A capacidade de produção de água dessalinizada tem aumentado exponencialmente desde 1960 para diversos usos como municipais, industriais, agrícolas, militares entre outros. Quase metade da capacidade de produção encontra-se no Oriente Médio, aproximadamente 47%. América do Norte, Europa e Ásia cada um tem aproximadamente 15% da capacidade global de produção de água dessalinizada, conforme mostra a Figura 1. A capacidade de dessalinização mundial aproximadamente dobrou desde 1995 e continua crescendo continuamente conforme podemos observar na Figura 2 (Dessalination: A National Perspective, 2008).

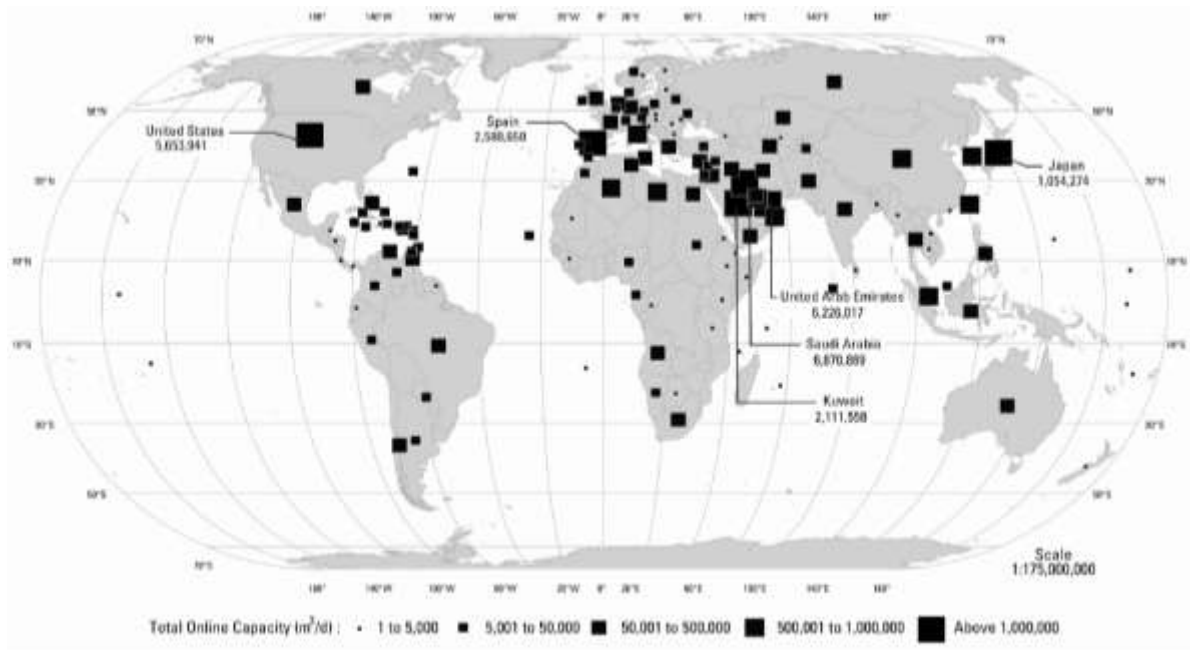


Figura 1: Capacidade global de plantas de dessalinização (Desalination: A National Perspective, 2008).

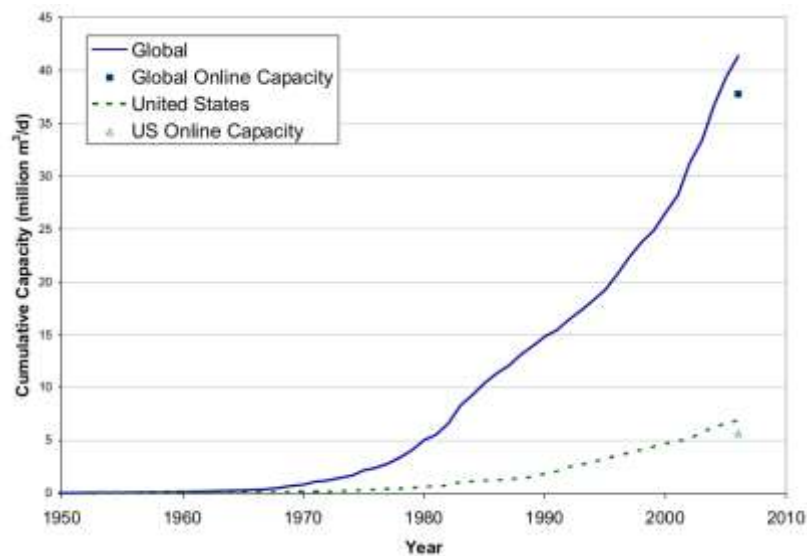


Figura 2: Capacidade cumulativa de plantas de dessalinização instaladas nos Estados Unidos e mundialmente de 1950 a 2006 (Desalination: A National Perspective, 2008).

A utilização do processo de Osmose Inversa (OI) para dessalinização de águas salobras e do mar foi uma das primeiras aplicações bem sucedidas dos processos de separação por membranas, com as primeiras plantas de grande porte surgindo por volta de 1960. Este nível de desempenho foi conseguido devido ao

desenvolvimento da primeira geração de membranas comerciais de osmose inversa, pelo fato de permitirem altos fluxos de permeabilidade da água e grande seletividade em relação à rejeição de sais. Com esses avanços, as membranas de osmose inversa se tornaram mais viáveis com relação aos processos térmicos que são processos de utilização intensiva de energia. O processo de separação por osmose inversa apresenta-se como uma ótima alternativa, uma vez que possui um menor custo quando comparado com outros sistemas de dessalinização. Além de retirar o sal da água, este sistema permite ainda eliminar vírus, bactérias e fungos (Amjad, 1993).

O atual status da dessalinização de águas salobras utilizando o processo de osmose inversa mostra-se como uma tecnologia madura apresentando as seguintes características: aplicação difundida; técnica confiável para adaptar-se a circunstâncias especiais; sistemas de monitoramento e controle eficientes; competição acirrada entre fabricantes, vendedores e especialistas. Como é comum de uma tecnologia madura, a oportunidade para a inovação é cada vez mais escassa e o progresso consiste na grande maioria em refinamentos e em adaptações dos sistemas conhecidos (Amjad, 1993).

Os dessalinizadores são equipamentos destinados a produzir água doce a partir de água do mar ou salobra, empregando o processo que utiliza membranas osmóticas sintéticas. O processo de Osmose Inversa tem como força motriz a pressão a qual deve ser superior à pressão osmótica oferecida pela solução concentrada em sais para produzir dois efluentes denominados de permeado e concentrado. Quando se trata de um sistema de abastecimento de água, o permeado é dirigido para o consumo humano. Enquanto que o concentrado deve ter um destino adequado que pode ser o condicionamento em tanques, injeção em poços profundos, lançamento controlado em zonas marinhas ou pode ser utilizado para outros fins como, por exemplo: criação de peixes do tipo tilápia e irrigação de plantas halófitas.

A tecnologia de membranas não é apenas utilizada na osmose inversa, existem outros três tipos de sistemas: microfiltração (membranas com poros de diâmetros médios entre 0,1 e 1 μ m); ultrafiltração (membranas com poros entre 0,01 e 0,1 μ m) e nanofiltração (membranas com poros do tamanho de moléculas). De

todas essas, a osmose inversa é a mais eficiente eliminando as menores partículas, que são os sais dissolvidos na água; por isso somente este processo com membranas é utilizado para tornar águas salobras e salinas próprias para o consumo humano.

3.1 Processos de separação por membranas.

O desenvolvimento dos processos de separação por membranas e suas aplicações industriais podem ser considerados relativamente recentes, principalmente levando-se em conta que fenômenos envolvendo membranas vêm sendo estudados há mais de um século. As membranas constituem, atualmente, a principal inovação tecnológica nos processos de tratamento de água, sendo a primeira grande inovação, desde o desenvolvimento das tecnologias convencionais de tratamento de água no início do século passado (Habert et al., 1997).

Uma membrana é uma película porosa atuando como uma barreira seletiva entre duas fases. A membrana tem assim a capacidade de permear determinados componentes, quando aplicada algum tipo de força externa, retendo outros que fazem parte da mistura de alimentação. É, portanto uma barreira permeável e seletiva ou uma interface entre duas fases. A Figura 3 apresenta um esquema do processo de separação por membranas (Schneider & Tsutiya, 2001).

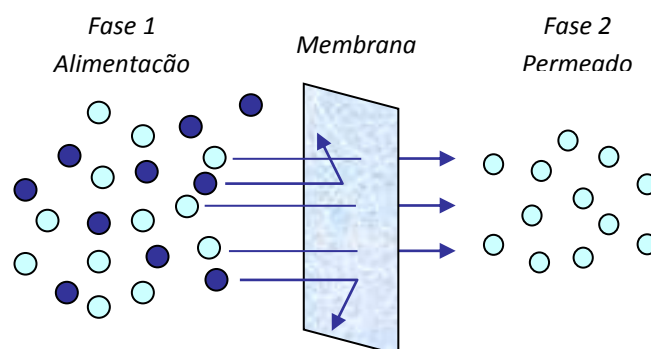


Figura 3: Representação esquemática do processo de separação por membranas (Schneider & Tsutiya, 2001).

A capacidade de aumento da produção e o contínuo aprimoramento dos sistemas de membranas são fatores importantes que viabilizam a construção de

sistemas cada vez maiores. Em países desenvolvidos, sistemas de membranas estão sendo projetados para substituir estações de tratamento de águas convencionais em grande escala (Schneider & Tsutiya, 2001).

Como foram mencionados anteriormente, os processos que utilizam a tecnologia de membranas e o gradiente de pressão com força motriz são conhecidos como: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI).

Embora recentes, os processos de separação com membranas têm encontrado um rápido desenvolvimento. A principal característica desses processos está relacionada ao fato da maioria das separações ocorrerem sem mudança de fase, sendo, portanto, energeticamente mais vantajosos, quando comparadas com os processos térmicos tradicionais. Além disso, são processos que apresentam um baixo custo energético e um produto final de alta qualidade (Habert et al., 1997).

Na Figura 4 são apresentadas as principais características dos processos com membranas que utilizam a diferença de pressão como força motriz.

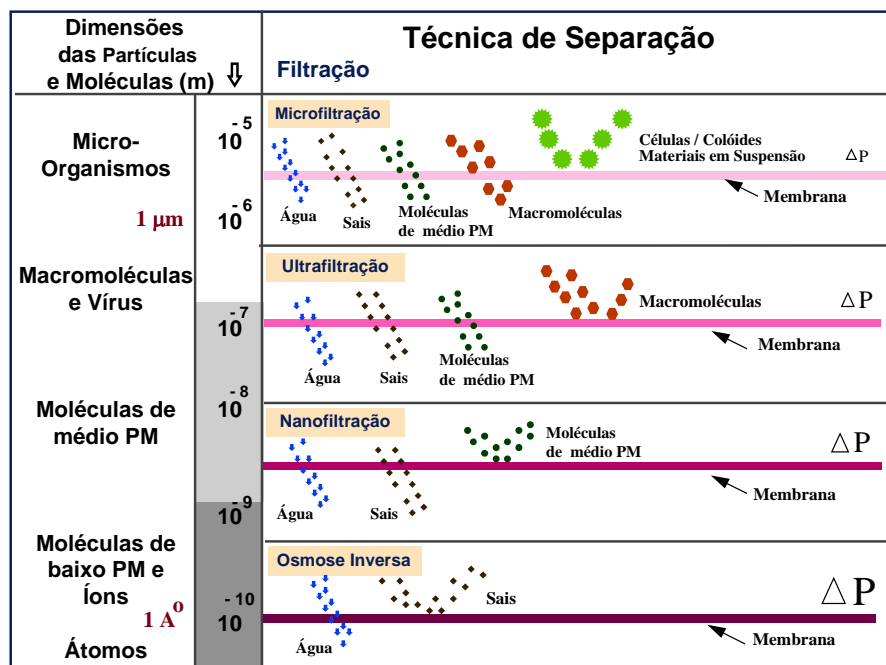


Figura 4: Principais características das técnicas de separação com membranas que utilizam diferença de pressão como força motriz (Habert et al., 1997).

Outro processo de separação por membrana é a eletrodialise (ED), que utiliza como força motriz o potencial elétrico. A ED é uma tecnologia de separação por membrana onde o transporte e a seleção de partículas acontece quando se estabelece uma corrente elétrica no meio. Os íons presentes na solução são eletricamente conduzidos através de membranas seletivas a cátions ou ânions que promovem a separação, concentração ou purificação de substâncias em misturas aquosas.

3.1.1 Microfiltração.

A MF remove partículas na faixa de 0,1 a 1 μ m. É o processo de separação que mais se aproxima da filtração clássica. Geralmente, colóides e partículas suspensas são rejeitadas enquanto macromoléculas e sólidos dissolvidos passam através da membrana. As suas aplicações principais incluem remoção de materiais floculados ou sólidos suspensos (Habert et al., 1997).

3.1.2 Ultrafiltração.

A UF é o processo de separação por membranas utilizada quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de UF apresentam poros na faixa entre 1 a 100 nm. Os materiais rejeitados pela membrana incluem colóides, proteínas, contaminantes microbiológicos e grandes moléculas orgânicas (Habert et al., 1997).

3.1.3 Nanofiltração.

A NF compreende um processo de membranas especial, no qual as partículas rejeitadas situam-se na faixa de 1 nanômetro. Este processo atua no setor entre a UF e a OI. Todas as moléculas orgânicas com elevada massa molar são rejeitadas. Além disso, os sais dissolvidos constituídos por ânions monovalentes têm taxas de rejeição da ordem de 20 a 80%, enquanto que os constituídos por ânions bivalentes possuem taxas de rejeição da ordem de 90 a 98%. Algumas das aplicações típicas incluem a remoção de compostos orgânicos de águas superficiais, remoção de dureza de águas tratadas e redução de sólidos totais dissolvidos, especialmente em aplicações de tratamento de efluentes industriais (Habert et al., 1997).

3.1.4 Osmose Inversa.

A OI é o limite final dos processos de filtração disponíveis. A membrana de osmose inversa atua como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas com massa molar acima de 100. As moléculas de água, por outro lado, possuem permeabilidade favorecida através da membrana (Dow Latin America, 1996).

O processo de OI utiliza a pressão hidráulica para produzir água pura a partir de uma fonte hídrica de abastecimento por intermédio de uma membrana, utilizando energia elétrica em função da quantidade de sais a serem removidos, mas não em proporção direta como acontece com a eletrodialise. A concentração de sais na água é o parâmetro que indica a pressão necessária para que o processo ocorra (Manual de Dessalinização para Planejadores, 1972).

Este processo pode remover sais, dureza, microrganismos em geral, turbidez, compostos orgânicos, pesticidas e a maioria dos contaminantes presentes na água. Mas muitos dos gases dissolvidos tais como hidrogênio sulfídrico e dióxido de carbono, irão passar através da membrana de osmose inversa (Taylor & Jacobs, 1996).

A abrangência de sua aplicação é bastante ampla. Além da dessalinização de águas, vem sendo empregada em recuperação de efluentes industriais, concentração de sucos, produtos farmacêuticos, processamento de alimentos e bebidas, soro do leite na fabricação do queijo, tratamento para diálises, obtenção de água ultrapura e produção de aminoácidos para bioengenharia. (Brandt et al, 1993).

3.2 Principais Aplicações de Processos com Membranas.

Os processos de separação por membranas têm sido utilizados nos mais diferentes setores de atividade como na indústria química, na área médica, passando pela biotecnologia, indústria alimentícia e farmacêutica e também tratamentos de águas industriais e municipais. Na Tabela 1 são apresentados exemplos de aplicação de processos com membranas em algumas das áreas acima mencionadas (Habert et. al.,1997).

Tabela 1: Exemplos de Aplicação de Processos com Membranas (Habert et al., 1997).

ÁREA	APLICAÇÕES
QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> • Quebra do azeótropo benzeno/hexano. • Recuperação de H₂ – Síntese da Amônia. • Fracionamento CO₂/CH₄. • Fracionamento do ar: obtenção de gás inerte e de corrente rica e oxigênio.
BIOTECNOLOGIA E FARMACÊUTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Separação de substâncias termolábeis. • Desidratação de etanol. • Purificação de enzimas. • Fracionamento de proteínas. • Esterilização de meios de fermentação. • Bio-reatores.
ALIMENTÍCIA E BEBIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de leite. • Concentração do soro de queijo. • Concentração de sucos de fruta. • Clarificação de vinhos e cervejas. • Desalcoolização de vinhos e cervejas.
TRATAMENTO DE ÁGUAS	<ul style="list-style-type: none"> • Dessalinização de águas. • Eliminação de traços de orgânicos. • Tratamento de esgotos municipais. • Desmineralização de águas p/ caldeiras. • Água ultrapura p/ indústria eletrônica.
TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Separação água/óleo. • Recuperação de índigo – Têxtil. • Recuperação de PVA – Têxtil. • Recuperação de íons metálicos – Couro. • Recuperação de proteínas – Laticínio. • Tratamento águas – Papel e Celulose.
MEDICINA	<ul style="list-style-type: none"> • Rim artificial – Hemodiálise. • Pulmão artificial – Oxigenadores. • Ar enriquecido em oxigênio. • Esterilização de soluções injetáveis. • Dosagem controlada de remédios.

3.3 Processo de Dessalinização via Osmose Inversa.

O princípio operacional deste processo é baseado no fenômeno osmótico. Este ocorre quando temos uma solução concentrada separada de uma solução diluída por uma membrana semipermeável. Nesta situação ocorrerá naturalmente um fluxo de água (solvente da solução) para a solução mais concentrada (Figuras 5a e 5b). Este fluxo permanece até o momento em se estabelece um equilíbrio e as duas soluções apresentam uma diferença de pressão denominada de pressão osmótica. Quanto maior for a diferença da concentração inicial entre as duas soluções, maior será a pressão osmótica que interromperá o transporte osmótico da água através da membrana. Em se tratando de soluções contendo solutos de baixo peso molecular, essa pressão será bastante elevada.

A descoberta do fenômeno da osmose aconteceu em 1826 e foi atribuída a René Joachim Henri Dutrochet, físico e botânico francês, autor do termo que vem do grego *Osmos*, impulso e *Ose*, estado. A osmose (omosopia) é uma propriedade coligativa das soluções em geral que compreendem as propriedades físicas que são alteradas em função da concentração do soluto (ex: sais dissolvidos na solução). As alterações são dependentes do número de partículas do soluto e independente de sua natureza química.

Quando uma pressão superior à pressão osmótica é aplicada do lado da solução concentrada, o solvente (água) inverterá o seu fluxo no sentido da solução menos concentrada resultando num processo denominado de Osmose Inversa, que é a técnica que vem consolidando o mercado para produção de água potável a partir de águas salobras e salinas utilizando membranas semipermeáveis (Figura 5c).

No fenômeno da osmose a solução menos concentrada perde o seu volume, enquanto a mais concentrada ganha em volume. Aplicando uma pressão superior à pressão osmótica, revertermos a direção do fluxo. A solução mais concentrada perde então seu volume, aumentando sua concentração. Simultaneamente, a solução diluída aumenta o seu volume, pois ela recebe água pura através da membrana (Manual de Dessalinização para Planejadores, 1972).

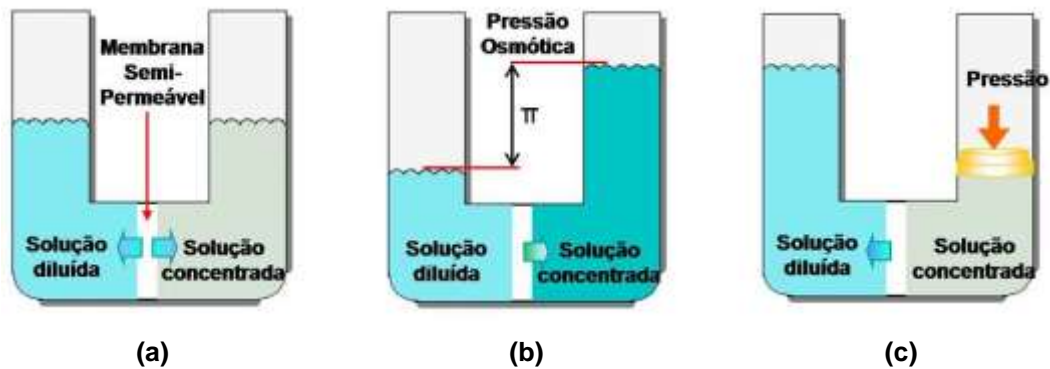


Figura 5: Representação do processo de osmose e osmose inversa (Kerr & McHale 2001).

A osmose inversa é utilizada para dessalinizar águas marinhas, salobras e salinas, utilizando membranas semipermeáveis sintéticas. A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água. Neste caso, a principal função das membranas é a rejeição de sais e depende de fatores como a temperatura, pressão de operação, pH e concentração de sais (Schneider & Tsutiya, 2001).

Na prática, o processo ocorre com auxílio de uma bomba de alta pressão responsável pelo deslocamento da água de alimentação dentro de um vaso projetado para encapsular as membranas e suportar altas pressões (permeador). A pressão da água exercida sobre a membrana promove o processo de osmose inversa.

Nos processos de dessalinização por meio de osmose inversa, o fluido atravessa a membrana em fluxo “cruzado” ou tangencial, ou seja, ocorre um contato do fluxo paralelo à área da membrana.

Ao contrário da filtração convencional, em que o soluto é retido na superfície do filtro, na osmose reversa, o soluto e os sólidos são eliminados pelo fluxo do concentrado tangencial a membrana. Geralmente em processos onde ocorre à remoção de partículas menores ou de sais dissolvidos são utilizados sistemas de separação por membranas cujo fluxo é do tipo cruzado, conforme mostra a Figura 6.

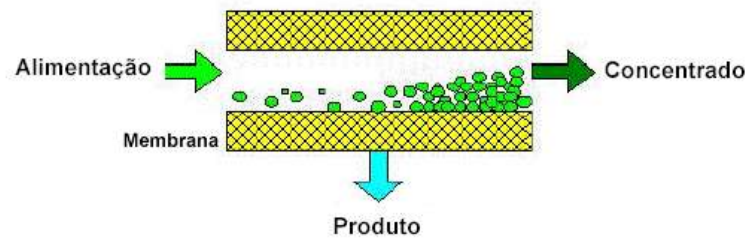


Figura 6. Modelo de filtração de fluxo cruzado (Sousa, 2003).

Como existe um fluxo contínuo junto à superfície da membrana, as partículas rejeitadas não se acumulam, são lavadas pela corrente que constitui o concentrado. Portanto, uma corrente de alimentação é dividida em duas correntes de saída: a solução que passou através da superfície da membrana e a corrente concentrada remanescente (Dow Latin America, 1996).

Os processos de dessalinização em grande escala ocorrem com elementos de membranas do tipo espiral. O módulo em espiral é composto por praticamente três camadas com funções específicas: espaçador, membrana e filme coletor.

O espaçador como o próprio nome sugere, facilita a passagem da água através do módulo, aumenta a turbulência da água na superfície da membrana auxiliando no processo de dessalinização e ajuda a carrear os sais que tendem a precipitar nas superfícies das membranas.

A membrana é o elemento responsável pela seletividade, o que vai passar através dela ou não, durante o processo de osmose inversa. E o filme coletor é responsável por captar toda a água que atravessou a membrana e direcioná-la para o tubo coletor que se encontra no centro do módulo.

A água pura e a solução agora mais concentrada são retiradas de forma contínua dos dois lados da superfície da membrana, de modo que a pressão osmótica e a concentração de sais se mantenham em nível aceitável para que o processo não seja interrompido. A corrente de água pura é denominada de produto ou permeado, enquanto que a outra corrente é denominada de concentrado.

A osmose inversa é utilizada para a obtenção de água com alto grau de qualidade, inclusive água para abastecimento a partir de água salina ou salobra, já

que possibilita a remoção de sais dissolvidos ou moléculas inorgânicas, bem como moléculas orgânicas. Sistemas de osmose possibilitam o tratamento de águas com uma concentração de sais dissolvidos variando de 5,0 mg/L até 34.000 mg/L (Wagner, 2001).

A dessalinização via osmose inversa já se encontra consolidada no mundo. Em alguns lugares da Arábia Saudita ainda é utilizado o processo térmico para dessalinização de águas, mas estes vêm sendo substituídos pelos processos de membranas. Essa mudança se deve ao fato dos sistemas com membranas serem mais leves, modulares, ocuparem menor espaço, serem de fácil manuseio e manutenção, tem menor consumo de energia e o custo do produto é inferior (Amjad et al., 1992).

Com relação à dessalinização de águas subterrâneas salobras, o processo de osmose inversa, é uma excelente alternativa de abastecimento para o consumo humano, em função dos resultados bacteriológicos e físico-químicos se apresentarem dentro dos padrões de potabilidade compatíveis com as normas nacionais (Ferreira, 2008). A Figura 7 mostra a vista frontal de um típico equipamento de dessalinização encontrado em localidades do semiárido brasileiro.



Figura 7. Vista frontal de um Dessalinizador.

O processo de dessalinização por osmose inversa, como qualquer outra operação unitária, obedece às leis de conservações de massa e energia. Para que o processo ocorra com sucesso, muitas vezes se faz necessário à modelagem, ou uma simulação do processo, resultando-se, desta maneira, no cálculo de vazões, pressões de operação, fluxo de permeado e concentrado, coeficientes de transferência de soluto e solvente, recuperação do sistema, dentre outras equações que possam maximizar o processo.

A partir de análises físico-químicas das águas subterrâneas são realizados os projetos dos dessalinizadores com auxílio de programas de simulação de membranas, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos equipamentos em função das suas pressões, vazões e qualidade das águas (Schneider & Tsutiya, 2001; FilmTec, 2008).

3.4 Módulos Comerciais.

As membranas são geralmente fabricadas em módulos. A escolha do módulo da membrana depende do tipo de aplicação e dos componentes que se deseja separar no processo (Mallevalle et. al., 1996). O módulo é o elemento básico de um sistema de membrana que congrega todas as estruturas necessárias para viabilizar a operação da membrana como unidade de separação. O módulo contém os seguintes elementos (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Membranas e estrutura de suporte da pressão;
- Canais de alimentação e remoção do permeado e do concentrado;
- Espaçadores.

Os módulos são projetados com os seguintes objetivos:

- Limitar o acúmulo de material retido pela membrana favorecendo a circulação do fluido a ser tratado;
- Maximizar a superfície da membrana por volume de módulo;
- Evitar a contaminação do permeado com o material do concentrado.

O projeto dos módulos deve também atender os seguintes requisitos:

- Simplicidade de manuseio;
- Permitir limpeza eficiente da membrana;
- Volume mínimo retido no interior do módulo.

3.4.1 Módulos Espirais.

O módulo espiral é o módulo mais utilizado em aplicações que demandam pressões altas e intermediárias, ou seja, na nanofiltração e na osmose inversa. Cada elemento consiste de um pacote de membranas e espaçadores enrolados em volta de um tubo coletor de permeado central, mostrado na Figura 8. Os canais de alimentação são delimitados por membranas dos dois lados, sendo que o canal de concentrado é mantido aberto por espaçadores no formato de telas. A superfície oposta das folhas de membrana onde fica localizada a estrutura porosa de suporte e por onde escorre o permeado é colocada em contato com um segundo espaçador formado por um tecido fino poroso, cuja função é manter aberto o canal de água filtrada. Este canal é vedado em três lados por linhas de cola. O lado aberto é inserido dentro do tubo coletor localizado no interior do elemento.



Figura 8: Membrana em forma de espiral (Migas, 2010).

Os canais de água bruta permanecem abertos nas laterais do cilindro formado pelas membranas e permitem o livre acesso da água de alimentação, que percorre o módulo em direção paralela ao tubo coletor. O módulo completo é envolto por uma manta para estabilizar o rolo de membranas e delimitado nas duas extremidades por discos de proteção cuja função é evitar que diferenciais de pressão nos diferentes canais de alimentação causem o deslocamento longitudinal de pacotes de membranas (Schneider & Tsutiya, 2001). A Figura 9 apresenta algumas membranas comerciais em forma de espiral.

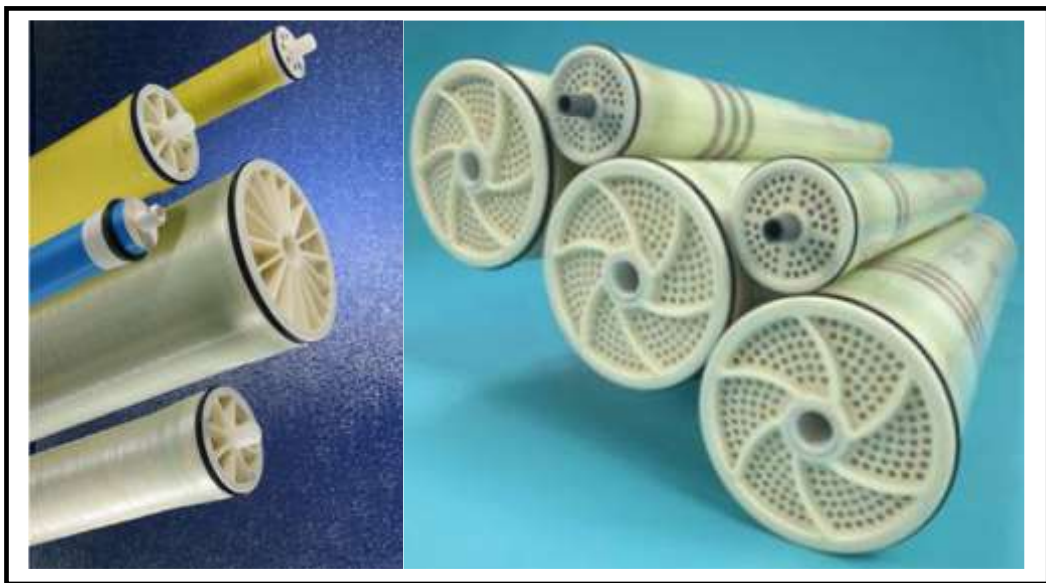


Figura 9: Membranas comerciais (FilmTec, 2008; Hydranautics, 2008).

Atualmente, os módulos mais utilizados são o de espiral e o de fibra oca, por possuírem a melhor relação de área superficial do filme da membrana por unidade de volume ocupada pelo módulo. Estes modelos possuem os menores custos de fabricação e ainda possuem as maiores taxas de fluxo do permeado (Habert et. al.,1997).

O módulo é a unidade básica de filtração. O princípio da modularidade é seguido na construção de plantas com grandes vazões.

3.5 Projeto e Instalação de Plantas de Dessalinização com Membranas.

O projeto e a instalação de uma unidade de dessalinização com membranas de osmose inversa devem ser precedidos de análises detalhadas sobre os objetivos

de qualidade de água a serem atingidos. O tipo de membrana que será utilizada depende principalmente da avaliação detalhada da qualidade de água do manancial e de sua variabilidade ao longo do tempo. Apesar de aparentemente simples, a tecnologia de membranas filtrantes oferece muitas possibilidades de erros de projeto, principalmente nas etapas de pré-tratamento e seleção de membranas, que podem comprometer a operação e a sua viabilidade econômica (Schneider & Tsutiya, 2001). Um esquema geral ilustrando todos os componentes comuns aos processos de dessalinização é mostrado na Figura 10.

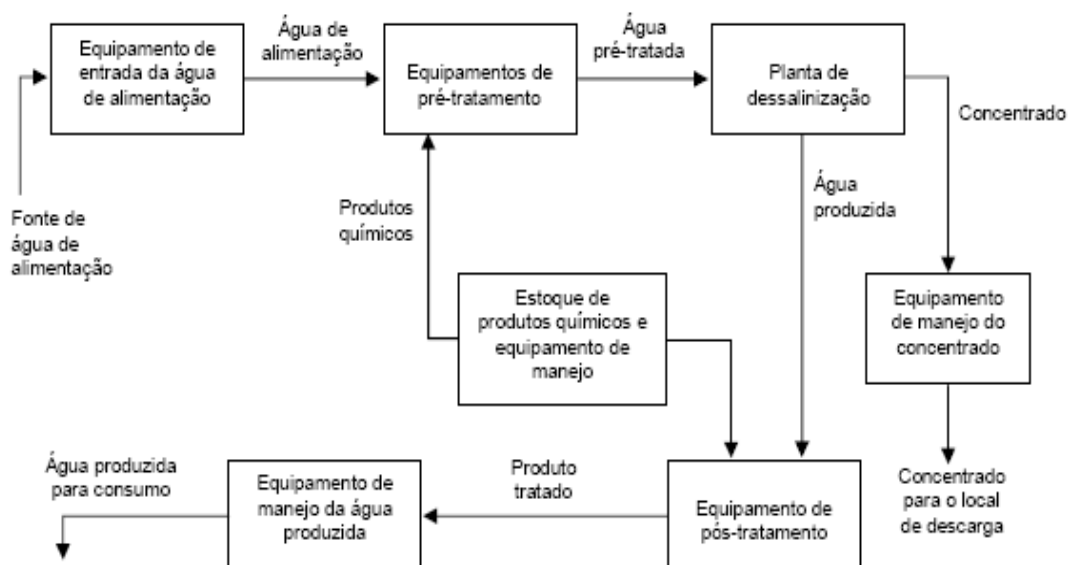


Figura 10: Esquema geral de uma planta de dessalinização (Manual de Dessalinização para Planejadores, 1972).

O equipamento de entrada da água opera na corrente de abastecimento a partir da fonte para produzir a água de alimentação que deve ser tratada para produzir a corrente de água pré-tratada. Os tratamentos indicados durante esta etapa são: tratamentos mecânicos para remoção de sólidos em suspensão, ferro, sílica particulada, etc.; e tratamentos químicos para evitar precipitação de substâncias na superfície das membranas assegurando um desempenho mais eficaz e menos problemático da planta de dessalinização. O tipo e a extensão do pré-tratamento dependem dos componentes da água de abastecimento e das características do processo de dessalinização utilizado. Em seguida, a corrente da água pré-tratada entra na planta de dessalinização para ser processada, formando

duas correntes, a corrente de água produzida (permeado) e a corrente do concentrado. A corrente de água produzida é então misturada com produtos químicos numa etapa de pós-tratamento, como por exemplo, cloração, correção e estabilização do pH, adição de sais, etc. Finalmente, a água tratada pode ser estocada para consumo ou transferida por um sistema de distribuição.

As etapas mais importantes no projeto e implantação de uma unidade de dessalinização por membranas são as seguintes (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Definição precisa da qualidade da água produzida, com o estabelecimento de parâmetros e valores;
- Análise detalhada da qualidade da água de alimentação;
- Definição do tipo de membrana filtrante que permitirá atingir os padrões de qualidade da água produzida;
- Definição da capacidade de produção da unidade de tratamento;
- Elaboração de pré-projetos;
- Avaliação dos projetos propostos e estabelecimento de plantas piloto;
- Operação das plantas piloto;
- Seleção da melhor proposta e elaboração do projeto definitivo;
- Construção e entrada em operação da planta;
- Acompanhamento contínuo do desempenho da planta pelos operadores, para otimização de processos e redução de custo operacional.

3.5.1 Análise da Água de Alimentação.

Todos os projetos de equipamentos que utilizam membranas filtrantes devem ser precedidos de uma análise completa da água de alimentação. Os

principais parâmetros a serem analisados são os seguintes (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Cátions: K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Ba^{+2} , Sr^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} ;
- Ânions: HCO_3^- , Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} ;
- Gases: CO_2 , H_2S ;
- Poluentes orgânicos voláteis ou não, de baixo peso molecular: organoclorados, hidrocarbonetos, pesticidas;
- Colóides: SiO_2 (tot), Fe (tot);
- Um dos parâmetros de fouling: IDS, IFM;
- Temperatura;
- Condutividade elétrica;
- pH;
- Sólidos totais dissolvidos;
- Demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, carbono orgânico solúvel;
- Turbidez;
- Alcalinidade: alcalinidade total, alcalinidade de carbonatos, dureza total;
- Bactérias;
- Oxidantes: cloro, ozônio ou outros componentes eventualmente presentes;
- Outros: cheiro, cor, etc.

3.5.2 Simulação de Processos por Osmose Inversa.

Um sistema de OI pode ser projetado com suficiente exatidão usando um programa de simulação em computador. Com a ajuda do simulador, resultados exatos podem ser obtidos muito rapidamente, de modo que possa ser usado para modificar e aperfeiçoar o projeto do sistema de dessalinização (FilmTec, 1995).

A *Dow-FilmTec*, *Fluid Systems* (atual *Koch*), *Hydranautics*, *GE-Osmonics* e *TriSep* são algumas das empresas fabricantes de membranas espirais, que fornecem programas de computador para o desenvolvimento de projetos de plantas de dessalinização por OI. Esses programas são uma ferramenta para desenvolver e testar várias configurações de sistema. Os programas fornecem meios de estimar a qualidade e a produção da água a partir dos parâmetros dados (Taylor & Jacobs, 1996).

Em geral, os programas requerem alguns dados de entradas como: análise físico-química, pH, temperatura, da água de alimentação; recuperação do sistema; vazão de permeado, sendo possível determinar as melhores condições de operação da planta, com a escolha adequada do tipo de elemento utilizado, melhor arranjo, menor consumo de energia, etc. Em alguns casos, pode-se testar até que ponto o sistema irá operar sob condições extremas como a qualidade da água de alimentação desconhecida, exigências especiais na qualidade do permeado e recuperações elevadas.

3.5.3 Etapas para Projetar um Sistema de Membranas por Osmose Inversa.

O projeto de um sistema de membranas é fundamental para obter o melhor desempenho no tratamento da água que se deseja produzir. Existem diversas variáveis que podem afetar a produtividade de um sistema. Um sistema completo de tratamento de água por osmose inversa consiste nas seguintes partes: pré-tratamento, sistema de membranas e pós-tratamento. O sistema de membranas possui uma corrente de alimentação (água que será tratada) e efluentes do permeado e concentrado.

O desempenho de um sistema de osmose inversa depende principalmente do fluxo do permeado e da rejeição de sais. Estes sempre estão relacionados com a

composição da água de alimentação, pressão aplicada no sistema, temperatura e recuperação. O objetivo do projeto de um sistema de membranas de osmose inversa para um determinado fluxo de permeado é minimizar custos com a pressão de alimentação e membranas, enquanto a qualidade do permeado e a recuperação do sistema são otimizadas.

As etapas para projetar um sistema de membranas são descritas a seguir (Filmtec, 2008):

Etapa 1: Estudo detalhado da fonte de alimentação do sistema.

O projeto de um sistema de membranas de osmose inversa depende da fonte de alimentação disponível e da finalidade para qual se deseja tratá-la. A coleta de informações sobre o projeto e a análise da água de alimentação deve, portanto, serem realizadas em primeiro lugar. Dentre estas informações, podemos citar como relevantes: a vazão de alimentação, a vazão do permeado e a qualidade da água de alimentação e do permeado que se deseja produzir.

A análise físico-química da fonte de alimentação deve fornecer dados da concentração de sais na água em Totais de Sólidos Dissolvidos TDS (mg/L), pH, temperatura (°C) e as concentrações dos íons individuais (mg/L).

Etapa 2: Seleção da configuração de fluxo e número de passos do sistema.

A configuração de fluxo padrão para um sistema de membrana é fluxo de pistão (Plug Flow), onde o volume da alimentação é passado uma vez através do sistema. Em condições ideais não há intercâmbios entre as seções de jusante e de montante num sistema operando com fluxo de pistão. A recirculação do concentrado é comum a sistemas menores, usados em aplicações comerciais, bem como em sistemas maiores, quando o número de elementos de membranas é pequeno para alcançar uma recuperação suficientemente elevada com Plug Flow. Sistemas de recirculação de concentrado também podem ser encontrados em aplicações especiais como, por exemplo, tratamento de esgotos.

Um sistema de osmose inversa geralmente é projetado para operação contínua e as condições de funcionamento de cada elemento de membrana na

planta são constantes com o tempo. Em certas aplicações, no entanto, o modo de operação em batelada é usado, quando volumes relativamente pequenos da água de alimentação são passados no sistema de forma descontínua. A água de alimentação é coletada em um reservatório e é tratada em determinados períodos de tempo. Uma modificação da operação em batelada é quando a água de alimentação é continuamente reposta no reservatório durante a operação do sistema.

Um sistema de passo duplo (Double Pass) é a combinação de dois sistemas convencionais de osmose inversa onde o permeado do primeiro sistema (primeira passagem) torna-se a alimentação para o segundo sistema (segunda passagem). A produção de água para uso farmacêutico e médica são as aplicações típicas dos sistemas Double Pass. Como uma alternativa para uma segunda passagem, resinas de troca iônica também podem ser utilizadas.

Etapa 3: Seleção do tipo de membrana.

Os elementos de membranas são selecionados de acordo com a salinidade da água de alimentação, tendência da água de alimentação a incrustação, rejeição de sais exigida e consumo de energia. O tamanho padrão do elemento de membrana para sistemas com vazões maiores que $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ é 8" de diâmetro e 40" de comprimento. Os elementos de membranas menores estão disponíveis para sistemas com vazões menores.

A Tabela 2 mostra recomendações da Filmtec para escolha do tipo de membrana de acordo com o TDS da alimentação, vazão e qualidade do permeado que se deseja produzir. Estas recomendações não são obrigatórias, mas sugestões para selecionar o elemento de membrana adequado para um sistema que será projetado. A escolha final depende também de requisitos específicos e condições de funcionamento do sistema. Cada fabricante possui catálogos com recomendações de projeto que devem ser consideradas na escolha do elemento de membrana.

Etapa 4: Seleção do fluxo médio do elemento de membrana (fluxo de projeto).

O fluxo de projeto ($\text{L}/\text{m}^2\text{h}$) ou fluxo médio do elemento de membrana pode ser encontrado nos manuais e catálogos dos fabricantes de membranas e a seleção

geralmente é realizada com base em dados piloto, experiência do cliente ou de acordo com a fonte de alimentação.

Tabela 2: Recomendações do tipo de membrana em função da concentração de sais na alimentação e da vazão e qualidade do permeado (Fonte: Filmtec, 2008).

Tipo de membrana	STD da alimentação (ppm)	Vazão do permeado (gpm)	STD do permeado (ppm)
TW	< 5000	Elemento 4": máx. 25	< 50
		Elemento 8": mín. 10	
XLE, LE	< 1000	Elemento 4": máx. 25	< 50
		Elemento 8": mín. 10	
BW, FR	< 5000	Elemento 4": máx. 25	< 50
		Elemento 8": mín. 10	
SW	3000 a 15000	Elemento 4": máx. 25	< 150
		Elemento 8": mín. 10	
SWHR, SWHR LE	10000 a 50000	Elemento 4": máx. 25	Concentrações variadas (< 500)
		Elemento 8": mín. 10	
NF	< 1000	Elemento 4": máx. 25	< 150
		Elemento 8": mín. 10	

STD = Sólidos totais dissolvidos; ppm = partes por milhão; 1 ppm = 1 mg/L; gpm = galões por min; 25 gpm = 5,68 m³/h; 10 gpm = 2,27 m³/h.

Etapa 5: Cálculo do número de elementos de membranas necessários.

Os sistemas de osmose inversa são geralmente projetados para uma determinada vazão do permeado (m³/h) e uma recuperação específica. Estes dados e o tipo da fonte de alimentação de água são as informações necessárias para estimar o número de elementos de membrana, de vasos de pressão e estágios do sistema.

O número de elementos de membranas do equipamento deve ser calculado considerando a vazão do permeado, o fluxo médio de projeto da membrana e a área superficial ativa da membrana, sendo os dois últimos parâmetros tabelados e encontrados nos catálogos dos fabricantes de membranas.

O número de elementos de membranas, N_E , é dado pela seguinte equação (Filmtec, 2008):

$$N_E = \frac{Q_P}{f \cdot A} \quad (1)$$

Onde: Q_P é a vazão do permeado em L/h, f é o fluxo médio do elemento de membrana em L/m²h e A é a área ativa da superfície do elemento de membrana selecionado em m².

Etapa 6: Cálculo do número de vasos de pressão.

O número de vasos deve ser calculado considerando o número de elementos de membranas e o número de elementos por vaso, conforme equação seguinte (Filmtec, 2008):

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EpV}} \quad (2)$$

Onde: N_V é o número de vasos, N_E é o número de elementos de membranas e N_{EpV} é o número de elementos de membranas por vaso.

O resultado obtido deve ser arredondado para o inteiro mais próximo.

Para sistemas em grande escala, os vasos de pressão com 6 elementos de membranas são mais utilizados, porém, vasos que comportam 8 elementos também estão disponíveis. Para sistemas de pequeno porte, vasos menores podem ser utilizados, com apenas um ou alguns elementos de membranas, projetados principalmente com os elementos em série e recirculação do concentrado para manter a taxa de fluxo adequada através dos canais de alimentação.

Etapa 7: Seleção do número de estágios.

Os sistemas de osmose inversa podem ser de estágio simples (single-stage) ou de estágios múltiplos (multi-estage), ambos podem ser do tipo Plug Flow ou com recirculação do concentrado. O número de estágios é definido pela quantidade de vasos de pressão em série que a alimentação atravessará até sair do sistema e ser descarregada como concentrado. Cada estágio consiste num certo número de vasos de pressão em paralelo.

O número de estágios é determinado em função da recuperação do sistema, do número de elementos por vaso e da qualidade da água de alimentação. Quanto maior a recuperação do sistema e pior a qualidade da água de alimentação, mais longo o sistema será, com mais elementos em série.

A Tabela 3 mostra a relação entre a recuperação e o número de estágios para sistemas alimentados com águas salobras.

Os sistemas com um estágio podem ser projetados para altas recuperações se a recirculação do concentrado for utilizada. Em sistemas de osmose inversa para dessalinização de água do mar, as recuperações são menores do que nos sistemas para dessalinização de águas salobras e o número de estágios também depende da recuperação.

Tabela 3: Número de estágios de um sistema de água salobra (Filmtec, 2008).

Recuperação (%)	Número de elementos em série	Número de estágios (6 elementos de membranas por vaso)
40 - 60	6	1
70 - 80	12	2
85 - 90	18	3

Etapa 8: Seleção da proporção do arranjo de estágios.

Um conjunto de vasos e membranas operando a partir de uma única bomba é denominado de arranjo. Os arranjos são classificados a partir do número de vasos de pressão em cada série. Por exemplo, um arranjo 6:3:1 (Figura 11) consiste de três estágios, sendo que há seis vasos de pressão em paralelo no primeiro estágio, três vasos em paralelo no segundo estágio e um vaso no terceiro estágio (Schneider & Tsutiya, 2001).

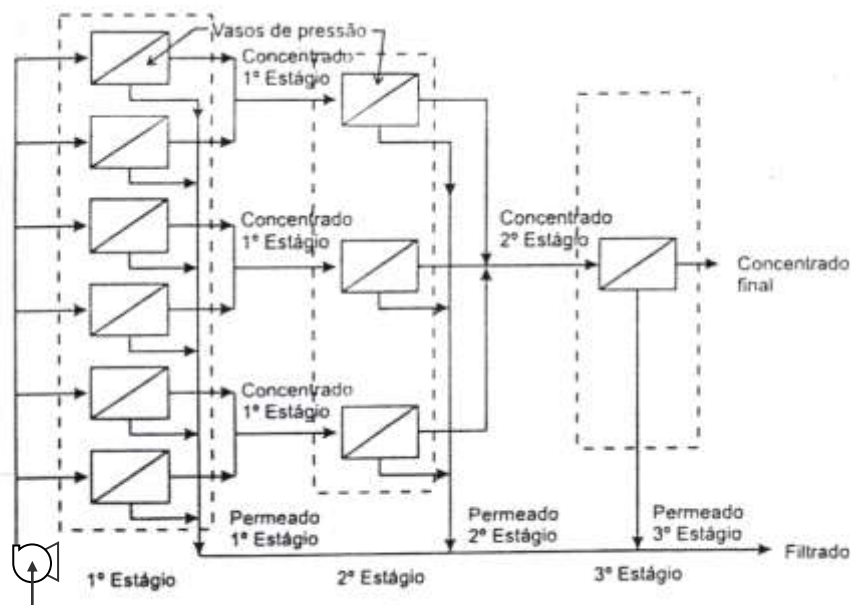


Figura 11: Arranjo 6:3:1 de módulos equipados com elementos espirais (Schneider & Tsutiya, 2001).

Para um sistema com quatro vasos no primeiro estágio e dois vasos no segundo estágio a proporção do arranjo é 2:1. Um sistema de três estágios com quatro, três e dois vasos na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente, tem uma proporção de 4:3:2. Em sistemas de água salobras, a proporção entre dois estágios subsequentes geralmente aproxima-se de 2:1, para vasos com 6 elementos de membranas, e é menor do que aquela proporção para vasos mais curtos. Em sistemas de dessalinização da água do mar com dois estágios e com vasos de 6 elementos, a proporção típica é 3:2 (Filmtec, 2008).

Etapa 9: Balanço do fluxo do permeado.

A taxa de fluxo permeado dos elementos de membranas finais do sistema é normalmente menor que a taxa de fluxo dos elementos de membranas iniciais. Este é um resultado da queda de pressão na corrente da alimentação e o aumento da pressão osmótica da corrente da alimentação à medida que se transforma na corrente do concentrado. A diferença entre a taxa de fluxo permeado no primeiro elemento e no último elemento de membrana pode se tornar muito elevada sob determinadas condições:

- Alta recuperação do sistema.
- Alta salinidade da alimentação.
- Membranas de baixa pressão.
- Alta temperatura da água.
- Membranas novas.

O objetivo de um bom projeto é equilibrar a taxa de fluxo de elementos em diferentes posições. Isto pode ser conseguido através dos seguintes meios:

- Aumentar a pressão de alimentação entre os estágios: promove o uso eficiente de energia.
- Aplicar uma contrapressão no permeado somente para o primeiro estágio para um sistema de dois estágios: sistema alternativo de baixo custo.
- Sistema híbrido: uso de membranas com baixa permeabilidade a água nos primeiros estágios e membranas com alta permeabilidade a água nos últimos estágios: por exemplo, para um sistema de dessalinização da água do mar utilizar membranas de alta rejeição nos primeiros estágios e membranas de alta produtividade no segundo estágio.

A necessidade de equilibrar o fluxo do permeado e o método utilizado para isso pode ser determinado depois que o projeto for analisado com um software.

Etapa 10: Análise e aperfeiçoamento do sistema.

Os projetos dos equipamentos podem ser simulados através de ferramentas computacionais. Devem ser elaborados utilizando os softwares dos fabricantes de membranas. Estes programas computacionais calculam a pressão de alimentação e a qualidade do permeado do sistema, bem como os dados de operação de todos os elementos de membranas individuais. Então se torna fácil aperfeiçoar o projeto alterando a quantidade e o tipo de elementos de membrana e seu arranjo.

3.6 Equações Características do Processo de Osmose Inversa.

3.6.1 Fluxo do Permeado.

O fluxo do permeado através de uma membrana de osmose inversa é proporcional à diferença de pressão osmótica e hidráulica e pode ser representado pela Equação 3 (Taylor & Jacobs, 1996; Dow Latin America, 1996):

$$J_p = K_a (\Delta P - \Delta \pi) = \frac{Q_p}{A} \quad (3)$$

Onde: J_p é o fluxo do permeado (L/m^2h), K_a é o coeficiente de permeação da água ($L/m^2.h.kgf/cm^2$), ΔP é o gradiente de pressão hidráulica (kgf/cm^2), $\Delta \pi$ é o gradiente de pressão osmótica (kgf/cm^2), Q_p é a vazão do permeado e A é a área ativa da membrana (m^2).

Na OI os sais dissolvidos retidos na superfície da membrana causam o aumento da concentração próxima à superfície considerada. Este aumento de concentração causa um aumento no valor da diferença de pressão osmótica da solução, que tende reduzir o fluxo de permeado.

3.6.2 Transporte de Sais.

O transporte de sais através da membrana é proporcional a concentração ou diferença de potencial químico, depende da diferença de concentração entre as

fases, independe da pressão aplicada ao sistema e pode ser representado pela Equação 4:

$$J_s = K_s \Delta C \quad (4)$$

Onde: J_s é o fluxo mássico do soluto ($\text{kg/m}^2 \text{ h}$), K_s é o coeficiente de permeação do soluto (m/s) e ΔC é ao gradiente de concentração de sais (mg/L).

ΔP , $\Delta \pi$ e ΔC são dados por:

$$\Delta P = \left[\frac{(P_a + P_c)}{2} - P_p \right] \quad (5)$$

$$\Delta \pi = \left[\frac{\pi_a + \pi_c}{2} - \pi_p \right] \quad (6)$$

$$\Delta C = \left[\frac{(C_a + C_c)}{2} - C_p \right] \quad (7)$$

Onde: P_a , P_c e P_p são as pressões de alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (kgf/cm^2); π_a , π_c e π_p são as pressões osmóticas da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (kgf/cm^2); C_a , C_c e C_p são as concentrações da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (mg/L) (Taylor & Jacobs, 1996).

3.6.3 Pressão Osmótica.

A pressão osmótica depende da concentração de solutos, temperatura da solução e do tipo de íons presentes. Quanto maior for a concentração da solução, maior será o valor da pressão osmótica dessa solução. Para soluções diluídas, a pressão osmótica pode ser calculada pela equação de Van't Hoff (Equação 8) (Brandt et al., 1993).

$$\pi = \sum v_i c_i RT \quad (8)$$

Onde: π é a pressão osmótica da solução iônica (kgf/cm²), v_i é o número de íons formados na dissociação do soluto, c_i é a concentração molar do soluto (mol/L), R é a constante dos gases ideais (kgf.L/cm²mol.K) e T é a temperatura absoluta (K).

A determinação da concentração de todos os íons em solução é demorada e cara. Na prática, a pressão osmótica pode ser aproximada a partir da concentração total de sais (totais de sólidos dissolvidos), conforme mostra a Equação 9:

$$\pi = k_{os} R C_{STD} \quad (9)$$

Onde: k_{os} é a constante osmótica, R é a constante dos gases ideais e C_{STD} é a concentração de sólidos totais dissolvidos. O fator k_{os} varia entre 0,0063 e 0,0115 (Ko e Guy, 1998).

3.6.4 Recuperação.

A recuperação do sistema refere-se à percentagem da água de alimentação convertida em água permeada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema.

A recuperação de um sistema pode ser definida de acordo com a Equação 10 (Taylor & Jacobs, 1996).

$$r(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \times 100 = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \times 100 \quad (10)$$

Onde: r é a recuperação do sistema (%), Q_p é a vazão de permeado (m³/h), Q_a é a vazão de alimentação (m³/h) e Q_c é a vazão do concentrado (m³/h).

A recuperação máxima em qualquer instalação de OI, depende dos sais presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana. Com o aumento do nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em produto, conseqüentemente, aumenta o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente de rejeito, assim como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana (Dow Latin America, 1996).

Combinando as Equações 3 e 10, obtém-se a Equação 11 que mostra a relação da recuperação do sistema de membrana em função dos gradientes de pressão (osmótica e hidráulica).

$$r = \frac{K_a A (\Delta P - \Delta \pi)}{Q_a} \quad (11)$$

3.6.5 Percentual de Rejeição de Sais.

O percentual de rejeição de sais (PRS) fornece a capacidade da membrana de rejeitar os sais dissolvidos durante a permeação da água (Silveira, 1999) e pode ser definida como:

$$PRS(\%) = \frac{C_a - C_p}{C_a} \times 100 = \left(1 - \frac{C_p}{C_a}\right) \times 100 \quad (12)$$

Onde: PRS é o percentual de rejeição de sais (%), C_a é a concentração de alimentação (mg/L) e C_p é a concentração do permeado (mg/L).

O percentual de rejeição de sais indica a efetividade de remoção de sais e outras espécies químicas pela membrana, possuindo valores que variam de 90 a 99,8 % para a maioria dos íons existentes na água (Dow Latin Química, 1996).

Uma grande variedade de fatores influencia a rejeição de solutos por membranas: dimensões do soluto, morfologia dos componentes retidos pela membrana, tamanho dos poros da membrana, propriedades químicas da solução a ser filtrada e fatores hidrodinâmicos, que determinam a tensão de arraste e as forças de cisalhamento na superfície da membrana (Schneider & Tsutiya, 2001).

3.6.6 Balanço de Massa.

A Equação 13 apresenta o balanço de massa para um sistema de dessalinização.

$$Q_a C_a = Q_p C_p + Q_c C_c \quad (13)$$

Onde: Q_a é a vazão de alimentação (m^3/h), C_a é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L), Q_p é a vazão do produto (m^3/h), C_p é a concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/L), Q_c é a vazão do concentrado (m^3/h) e C_c é a concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/L).

A concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado é matematicamente estimada, a partir da Equação 14:

$$C_c = \frac{Q_a C_a - Q_p C_p}{Q_c} = \frac{C_a - r C_p}{Q_c / Q_a} \quad (14)$$

Logo, temos a concentração de sais na corrente do concentrado, estimada pela Equação 15:

$$C_c = \frac{C_a - r C_p}{1 - r} \quad (15)$$

Onde: C_c é a concentração do concentrado (mg/L), C_a é a concentração de alimentação (mg/L), C_p é a concentração do permeado (mg/L) e r é a recuperação do sistema (%).

Considerando que a membrana utilizada possua uma taxa de rejeição de sais de 100%, a partir das Equações 13 e 15 teremos:

$$C_a Q_a = C_c Q_c \Rightarrow \frac{Q_a}{Q_c} = \frac{C_c}{C_a} = \frac{1}{(1 - r)} = FC \quad (16)$$

Então se a concentração de sais no permeado for igual a zero, a concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado também pode ser calculada com o auxílio da Equação 17.

$$C_c = \frac{C_a}{1 - r} \quad (17)$$

Onde: C_c é a concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado (mg/L), C_a é a concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L) e r é a recuperação do sistema (%).

O fator de concentração FC é então dado pela Equação 18.

$$FC = \frac{1}{1-r} \quad (18)$$

Esta expressão significa que a concentração de um soluto no fluxo do concentrado dobrará, se a planta de membrana for operada a uma recuperação de 50 %. A Equação 18 somente é válida desde que seja assumido 100% de rejeição de sais (quando $C_p = 0$), contudo alguns íons atravessarão a membrana em direção ao fluxo do permeado (Taylor e Jacobs, 1996; El-Manharawy e Hafez, 2001).

3.6.7 Passagem de Sais.

A taxa de passagem de sais é oposta a rejeição de sais e é a porcentagem do sal na água de alimentação que atravessa a membrana, ela é calculada de acordo com a Equação 19 (Brandt et al., 1993):

$$PS(\%) = \left(\frac{C_p}{C_a} \right) * 100 \quad (19)$$

Onde: PS é a taxa de passagem de sais (%), C_a é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L) e C_p é a concentração de soluto na corrente de permeado (mg/L).

3.7 Fatores que influenciam nas condições de operação do processo de dessalinização por Osmose Inversa.

A principal função das membranas de OI é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento. A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água. Na prática, a pressão de operação deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução (Schneider e Tsutiya, 2001). As faixas de pressão de

operação das membranas, para diferentes tipos de água estão indicadas na Tabela 4.

Tabela 4: Faixas de pressão de operação de sistemas de osmose inversa para águas com diferentes níveis de salinidade.

Tipo de água	Faixa de salinidade STD (mg/L)	Recuperação (%)	Pressão de operação (kgf/cm ²)
salobra	Até 10.000	Até 80	5,00 a 20,00
marinha	10.000 – 100.000	≤ 40	51,00 a 71,00
salmora	> 100.000	≤ 20	-

STD = Sólidos totais dissolvidos

Outro grande fator de influência nas condições de operação no processo de dessalinização é a temperatura. A temperatura da água é importante por influenciar nos seguintes parâmetros: acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua a sensação de sabor e odor entre vários outros fatores. Por exemplo, uma diminuição da temperatura de alimentação de 4°C (8°F) causará uma diminuição no fluxo de permeado de aproximadamente 10% (Dow Latin América, 1996).

Um dos fatores principais que influenciam no funcionamento do sistema de osmose inversa e que está diretamente relacionado à formação de incrustações devido a Carbonato de Cálcio é o potencial hidrogeniônico ou pH. Apresenta relações fundamentais com acidez e alcalinidade de modo que é praticamente impossível falar destas sem considerar o pH de uma determinada água.

As moléculas de água quando se dissociam dividem-se em íons H⁺ (Hidrogênio) e OH⁻ (Hidroxila). Define-se então pH como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). O desequilíbrio entre a quantidade desses íons numa determinada água fará com que esta tenha um pH superior a 7,0 (básico com predominância de íons OH⁻) ou inferior (ácido com predominância de íons H⁺). A relação dióxido de carbono-bicarbonatos presentes nas águas naturais é o principal fator de definição do nível do pH, pois o

dióxido dissolvido transforma-se em ácido carbônico conferindo acidez a água (Fernandes, 2004).

De um modo geral as alterações naturais do pH têm origem na decomposição de rochas em contato com a água, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica, fotossíntese, além da introdução de despejos domésticos e industriais (Fernandes, 2004).

Do ponto de vista analítico o pH é um dos parâmetros mais importantes na determinação da maioria das espécies químicas de interesse tanto da análise de águas potáveis como na análise de águas residuárias, sendo, pois, uma das mais comuns e importantes determinações no contexto da química da água. No campo do abastecimento de água o pH intervém na coagulação química, controle da corrosão, abrandamento e desinfecção.

Águas com baixos valores de pH tendem a ser agressivas para instalações metálicas. O padrão de potabilidade em vigor no Brasil, preconiza uma faixa de pH entre 6,5 e 8,5. Normalmente a água apresenta-se boa para ingestão para pH na faixa de 5,5 a 8,0, sob a análise desta característica (Fernandes, 2004).

3.8 Polarização de Concentração

A polarização de concentração refere-se ao fenômeno no qual a concentração de sais dissolvidos próximo à superfície da membrana é maior que a concentração média da água que flui mais distante da superfície da membrana. Devido a este fato a eficiência de separação da membrana diminui gradualmente à medida que a camada de solução concentrada de sais vai paulatinamente aumentando de espessura. Acompanhando o aumento de sais dissolvidos na interface, há um aumento da pressão osmótica da solução, o que, por sua vez, diminui a pressão que impede a passagem da água através da membrana. A polarização por concentração também leva à destruição das superfícies sensíveis da membrana (Dow Latin America, 1996).

A camada de sais dissolvidos junto à superfície da membrana pode atingir uma espessura constante em consequência de um balanço entre dois fatores opostos: o transporte convectivo dos sais para a membrana pelo movimento da água

e a difusão dos sais para longe da membrana, provocada pelo gradiente de concentrações de sais estabelecido no limite dessa camada (Dow Latin America, 1996).

A polarização por concentração é normalmente considerada pelos fabricantes de membranas e projetistas de sistemas quando estão avaliando a possibilidade de formação de incrustações. Tipicamente a concentração de sais junto à superfície da membrana é aproximadamente de 1,1 a 1,4 vezes a concentração da corrente principal (Dow Latin America, 1996).

Em operações com membranas de OI, os solutos e outras espécies presentes na corrente de alimentação são transportados do seio da solução em direção a superfície da membrana através de um mecanismo de convecção. Devido à semipermeabilidade natural da membrana, o soluto presente na corrente de alimentação será retido na interface da membrana (Taylor & Jacobs, 1996).

O processo de polarização de concentração é um fator importante de redução da eficiência de filtração de membranas de OI. Os espaçadores nos canais de concentrado são projetados com o objetivo de aumentar a turbulência na superfície da membrana, e com isto, reduzir a espessura da camada de polarização de concentração (Schneider & Tsutiya, 2001).

Se a quantidade de sais na zona de concentração de polarização ultrapassar o limite de solubilidade, os sais poderão precipitar na membrana. O controle dos processos de precipitação de sais é um dos principais condicionantes de projetos em sistemas de osmose inversa.

Os possíveis efeitos negativos da polarização por concentração são:

- Decréscimo do fluxo de permeado devido ao aumento na pressão osmótica na superfície da Membrana;
- Aumento da passagem de soluto através da membrana,
- Precipitação de soluto se a concentração exceder o limite de solubilidade do sal,

- Favorecimento de incrustações por deposição.

3.9 Parâmetros de qualidade da água para projeto de um sistema de dessalinização por Osmose Inversa para fornecimento de água para consumo humano.

A qualidade é um aspecto da água que assegura determinado uso ou conjunto de usos e é representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Essas características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso. Esses limites constituem critérios (recomendações) ou padrões (regras legais) da qualidade da água (Derisio, 2012).

Os padrões de classificação mais usados pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem estar dos ecossistemas. Assim, de acordo com a sua utilização, existe um conjunto de critérios e normas para a qualidade da água, que variam com a sua finalidade, seja ela consumo humano, uso industrial ou agrícola, lazer ou manutenção do equilíbrio ambiental. Sendo assim, a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinado tipo de uso também depende, fundamentalmente, da qualidade físico-química e bacteriológica da água (Freitas et al., 2013).

Em sistemas de dessalinização utilizando membranas de osmose inversa para produção de água para consumo humano, a qualidade da água de alimentação assume um papel muito importante no projeto dos equipamentos sendo fator determinante na seleção do tipo de membrana que será utilizada, na previsão de problemas devido à incrustação de sais e crescimento de filme biológico na superfície das membranas e na projeção da qualidade da água que será produzida.

No Brasil, o padrão de qualidade da água destinada ao consumo humano é definido pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Esta Portaria visa à proteção da saúde pública e o controle de substâncias potencialmente prejudiciais à saúde, como micro-organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou venenosas e elementos radioativos e se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa, coletiva ou individual de

abastecimento de água. A portaria preconiza alguns parâmetros fundamentais que são dispostos com seus respectivos valores máximos permitidos (VMP) e que são determinados de forma rotineira em laboratórios de análises de água.

Nos projetos são sempre considerados os parâmetros de maior relevância para o controle da qualidade da água para consumo humano e outros fundamentais para projetos de sistemas de dessalinização por osmose inversa para produção de água potável a partir de águas subterrâneas com alto teor de sais e impróprias para o consumo humano.

3.10 Formação de Incrustações

A formação indesejável de depósitos nas superfícies de membranas ocorre quando os sólidos rejeitados não são transportados da superfície da membrana para a corrente do fluxo do concentrado. Em conseqüência, os sais dissolvidos, os sólidos suspensos e os micro-organismos acumulam na superfície da membrana. Em operações de OI, este processo tende a diminuir o desempenho dos elementos de membranas promovendo a redução do fluxo do permeado e o aumento da passagem de sais com o tempo (Amjad, 1992; Ghafour, 2002; Habert et al., 1997). Podem ser classificadas por quatro categorias: depósitos inorgânicos, depósito coloidal, sólidos em suspensão e material biológico (Amjad, 1992).

Os colóides podem ser de origem mineral ou orgânica, e tendem a se aglomerar na área próxima à superfície da membrana depositando-se nela. Os sólidos em suspensão são partículas maiores de origens diversas e que também possuem tendência a se depositar na superfície da membrana. O depósito orgânico de origem biológica é constituído por fungos e bactérias e apresenta maiores problemas porque estão presentes em praticamente todas as águas e normalmente se multiplicam em determinadas condições (SOUSA, 2001).

A Figura 12 destaca as substâncias que geram problemas nos processos de OI por alteração das propriedades seletivas das membranas.

As incrustações são conseqüências de um conjunto de fenômenos, capaz de provocar a redução do fluxo do permeado e/ou o aumento da passagem de sais com o tempo, quando se trabalha com uma solução ou suspensão (Ghafour, 2002;

Habert et al., 1997). A extensão da incrustação depende da natureza da solução problema como também, e de maneira acentuada, das condições de operação do sistema de membrana (Habert et al., 2006).

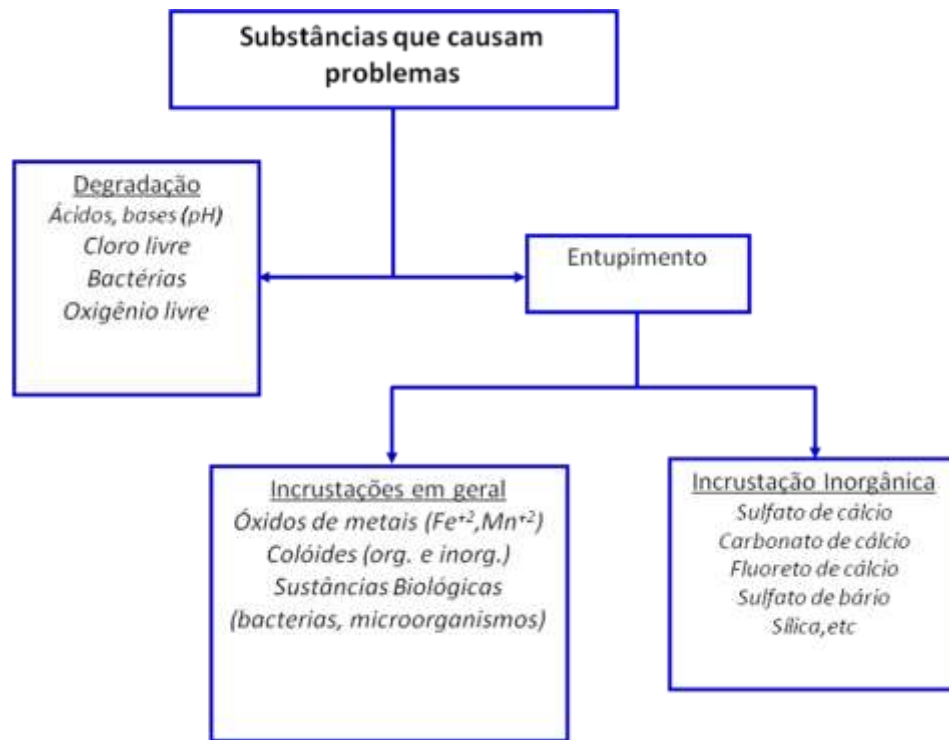


Figura 12. Substâncias que causam danos as membranas (Rautenbach e Albrecht, 1989).

As incrustações podem aumentar os custos de operação da planta e comprometer a produção de água. Pode levar a uma troca prematura dos elementos de membrana. Incrustações inorgânicas são controladas geralmente com uso de um inibidor de incrustação, incrustação de material coloidal pode ser controlada com pré-tratamento físico (por exemplo, processo de UF) (Vrouwenvelder & Kooij, 2002).

3.10.1 Depósitos Inorgânicos.

Os depósitos inorgânicos são originados de sais normalmente solúveis na água que precipitam e cristalizam na superfície e dentro dos poros das membranas (Gwon et al., 2003). Isso é facilmente entendido quando verificamos que na área externa próxima à membrana, a concentração de sais é bem superior à concentração do sal na água de alimentação, podendo atingir o limite de solubilidade e a precipitação desses sais (Sousa, 2003; Ghafour, 2002). O aumento da concentração de sais no fluxo de alimentação em sistemas de OI devido a elevadas

recuperações, pode conduzir ao limite de saturação de um ou mais componentes da solução, levando à formação de incrustações na superfície da membrana. Esta formação pode reduzir a eficácia da separação e a turbulência do fluxo de alimentação, favorecendo o aumento da concentração de polarização na superfície da membrana (Ghafour, 2002).

A incrustação de uma membrana de OI pode ocorrer quando os sais solúveis são concentrados dentro do elemento acima do seu limite de solubilidade. Por exemplo, se um sistema de OI operar com uma recuperação de 50%, a concentração do concentrado será o dobro da concentração na corrente de alimentação. Assim, com o aumento da recuperação, o risco de incrustação aumenta. Portanto, deve-se ter o cuidado para não exceder os limites de solubilidade dos sais poucos solúveis, pois a precipitação e a incrustação podem ocorrer.

A precipitação de sais em superfícies de membranas é um problema que ocorre com frequência na OI, onde fatores como altos índices de rejeição de sais (até 99%), a concentração de polarização e a remoção de até 90% da água da solução aumentam a concentração de sais no concentrado e na superfície da membrana. Todo projeto de Osmose Inversa deve ser precedido de uma análise dos componentes da água de alimentação que podem precipitar na superfície da membrana. A forma mais eficaz, para evitar a precipitação de sais, é a operação da membrana dentro de limites, que impedem que as concentrações de sais retidos atinjam valores próximos aos limites de solubilidade.

Em um sistema de OI os sais solúveis mais comumente encontrados são CaSO_4 , CaCO_3 e a sílica. Outros sais que geram um problema potencial de incrustação são CaF_2 , BaSO_4 e SrSO_4 . Os componentes que oferecem maior risco para a formação de precipitados na superfície de membranas estão indicados na Tabela 5. Mas na prática, os compostos mais críticos para membranas são: sílica, sulfato de cálcio, sulfato de estrôncio e sulfato de bário.

Um sal precipita quando a concentração dos seus componentes ultrapassa o valor limite correspondente ao produto de solubilidade (K_s). Em unidades de OI, o maior risco de precipitação de sais ocorre nos elementos de membranas instalados

na saída dos vasos de pressão localizados no último banco do sistema. A avaliação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio e de sílica é mais complexa, devido à influência do pH, na estrutura química dos componentes destes sais (Schneider & Tsutiya, 2001).

Tabela 5: Compostos que oferecem risco para a formação de precipitados na superfície de membranas de OI e NF (Schneider & Tsutiya, 2001).

Composto	Tipo de precipitado	Comentário	Controle
Cálcio	Carbonatos, fluoretos, sulfatos e hidróxidos	Principal fator limitante do rendimento de sistema de OI, junto com sílica.	Remoção por pré-tratamento ou controle através de inibidores de cristalização
Magnésio	Silicatos, carbonatos e hidróxidos		
Estrôncio	Carbonatos, sulfatos		
Bário	Carbonatos, sulfatos		
Alumínio	Hidróxidos		
Manganês	Hidróxidos e óxidos		
Ferro	Hidróxidos e óxidos		
Sílica	SiO ₂ supersaturado polimeriza e pode formar um gel na superfície da membrana. SiO ₂ polimerizado na solução pode formar colóides.	Concentração máxima permissível: 150 ppm. Junto com cálcio, um dos principais fatores que limitam o rendimento de sistema de OI.	Remoção por pré-tratamento. A remoção de precipitados de sílica é difícil e depende do emprego de produtos altamente tóxicos.
Bicarbonato	Carbonatos	Pode ser convertido em carbonatos se o pH subir muito durante o processo	Controle do pH para evitar formação de carbonatos
Carbonato	Sais insolúveis com metais		Controle do pH
Hidróxido	Sais insolúveis com metais		Controle do pH
Fosfato	Sais insolúveis com metais		Remoção de cátions por pré-tratamento
Sulfato	Sais insolúveis com metais		Remoção de cátions por pré-tratamento
Gás sulfídrico	Grânulos de enxofre	Pode ser convertido em enxofre em muitos sistemas aquáticos	Oxidação na etapa de pré-tratamento

As Figuras 13 a 15 ilustram os exemplos de depósitos que se encontram normalmente nas superfícies das membranas (Amjad, 1993).



Figura 13. Sílica (Microscopia eletrônica de varredura, 5.000X).



Figura 14. Argila (Microscopia eletrônica de varredura, 1.000X).



Figura 15. Cristais de sulfato de cálcio hidratado (Microscopia eletrônica de varredura, 1.000X).

3.10.2 Depósitos de Material Biológico.

Esses depósitos são resultado da interação complexa entre o material da membrana, os parâmetros do processo (tais como substâncias dissolvidas, velocidade de alimentação, pressão, etc.), e os micro-organismos. O “*Biofouling*” ou incrustação microbiológica é basicamente um problema de crescimento do biofilme na superfície da membrana (Amjad, 1992).

Quando substâncias coloidais e microorganismos entram no módulo de OI e são transportados pela superfície da membrana, estes são adsorvidos formando uma fina camada sobre a membrana. Uma vez fixados, os microorganismos crescem e se multiplicam de acordo com a presença de nutrientes na alimentação, formando o filme biológico, ou biofilme, que compromete o desempenho da membrana, aumentando os custos de operação e manutenção (Mallevalle et. al., 1996).

Na OI, a ocorrência de biofilme é detectada pela contínua redução do fluxo através das membranas ou pelo aumento da pressão de operação, necessária para manter uma determinada vazão de permeado. Em casos extremos, o biofilme pode causar o colapso telescópico de elementos de membranas em espirais pelo

deslocamento lateral de canais adjacentes. As bactérias geralmente predominam nos biofilmes de membranas e dos espaçadores dos canais do concentrado e do permeado. Os fungos são os principais causadores da degradação das colas utilizadas para a vedação dos canais do permeado em elementos espirais utilizados na OI (Schneider & Tsutiya, 2001).

As águas subterrâneas estão geralmente biologicamente estabilizadas, ou seja, possuem baixas cargas de microorganismos formadores de biofilmes e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microorganismos (Schneider e Tsutiya, 2001).

3.11 Indicadores de Incrustações

O bom funcionamento de um sistema de membranas depende diretamente da forma como foi projetado em função da qualidade da água de alimentação. Um dos problemas mais comuns na utilização do processo de dessalinização por osmose inversa é a ocorrência de incrustações quando a qualidade da água de alimentação do sistema possui determinados constituintes físicos, químicos e biológicos que no decorrer do tempo causam a perda da eficiência na produção de água dessalinizada devido à redução da área de permeação das membranas pela deposição de substâncias na superfície das mesmas. Por esse motivo é de suma importância entender os mecanismos, bem como, calcular os indicadores de incrustação da água de alimentação para que seja projetado um pré-tratamento adequado.

3.11.1 Índice de Saturação de Langelier.

O Índice de Saturação de Langelier (ISL), também chamado de Índice de Estabilidade de Langelier, é um número usado para prever a estabilidade do carbonato de cálcio na água de alimentação, isto é, se o carbonato de cálcio irá precipitar, dissolver ou ficar em equilíbrio no sistema (Edstrom, 2003).

Para evitar a incrustação do carbonato de cálcio, CaCO_3 , este deve se dissolver na corrente do concentrado preferivelmente do que precipitar. Esta tendência pode ser expressa pelo Índice de Saturação de Langelier (ISL) para águas salobras. No pH de saturação (pH_s), o bicarbonato está em equilíbrio com o CaCO_3 (FilmTec, 1995).

A avaliação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio em águas salobras com STD até 10.000 mg/L é avaliado através do valor do ISL, enquanto que, o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis (S&DSI) é utilizado em água de salinidades altas (FilmTec, 1995; Schneider & Tsutiya, 2001). Os dois índices são calculados pela mesma fórmula (Equação 20), mas diferem no fator de correção da salinidade, que no ISL é baseado no STD da solução e no S&DSI, no poder iônico da solução (Schneider & Tsutiya, 2001).

$$ISL, S \& DSI = pH_c - pH_s \quad (20)$$

Onde: ISL é o Índice de Saturação de Langelier, S&DSI é o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis, pH_c é o pH do concentrado e pH_s é o pH no qual o concentrado fica saturado com $CaCO_3$.

O pH_s é calculado pelas seguintes equações (Schneider & Tsutiya, 2001):

$$ISL: pH_s = pCa + palc + C(STD) \quad (21)$$

$$S \& DSI: pH_s = pCa + palc + K(I) \quad (22)$$

Onde pCa e $palc$ são os logaritmos negativos da concentração de Ca^{+2} e da alcalinidade (na forma de $CaCO_3$), respectivamente. O fator de correção C é calculado a partir da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), enquanto que o fator de correção K é determinado a partir da força iônica I da solução. Os fatores de correção C e K podem ser obtidos a partir de gráficos com base no cálculo das concentrações dos componentes no concentrado ou na superfície da membrana.

O pH_s também pode ser calculado através da equação (Mindler & Epstein, 1986; Ning & Netwig, 2002):

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (23)$$

Onde:

$$A = \frac{(\text{Log}[STD] - 1)}{10} \quad (24)$$

$$B = -13,12 * \text{Log}[\text{°C} + 273] + 34,55 \quad (25)$$

$$C = \text{Log}[\text{Ca}^{+2} \text{ como } \text{CaCO}_3] - 0,4 \quad (26)$$

$$D = \text{Log}[\text{Alcalinidade como } \text{CaCO}_3] \quad (27)$$

Neste caso, A é um fator que depende da concentração total de sólidos dissolvidos, B depende da temperatura, o fator C depende da concentração de cálcio, e D é um fator que depende da alcalinidade (Mindler & Epstein, 1986).

Valores de ISL negativos indicam que não há potencial de precipitação de carbonato de cálcio. Se o ISL for positivo, indica que a precipitação do carbonato de cálcio poderá ocorrer, para valores de índice cada vez mais positivos, o potencial de precipitação aumenta (Ning & Netwig, 2002; Edstrom, 2003).

Para valores de ISL iguais a zero, não haverá potencial de precipitação do carbonato de cálcio, mas pequenas variações de concentração e temperatura podem mudar o índice (Edstrom, 2003).

Para evitar a precipitação de carbonato de cálcio, os índices ISL e S&DSI da água de alimentação devem ser negativos. Quando é feita correção de pH ou adição de anti-incrustante, os valores de ISL e S&DSI devem ficar abaixo dos valores estipulados para esses tratamentos, geralmente entre 1 e 1,5 (Schneider & Tsutiya, 2001). O ISL e o S&DSI são usados por alguns fabricantes de membranas de OI para auxiliar o uso de produtos químicos no pré-tratamento da água de alimentação (Ning & Netwig, 2002).

É importante ressaltar que o potencial de formação de precipitado químico na superfície da membrana não é condicionado somente pela composição química da água bruta. O uso de cloreto férrico ou sais de alumínio na etapa de coagulação em processos de pré-tratamento pode comprometer seriamente o fluxo das membranas de OI ou de NF pela formação de precipitados químicos (Schneider & Tsutiya, 2001).

Para evitar a formação de incrustações de carbonato de cálcio, comumente se usa a injeção de ácido clorídrico na água de alimentação, que converte o carbonato para dióxido de carbono. Esse tipo de pré-tratamento leva o Índice de Saturação de Langelier (ISL) ou o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis do concentrado do sistema de dessalinização a tornarem-se negativos (Strantz,1982).

Em algumas situações a injeção ácida no pré-tratamento pode ser minimizada ou eliminada por abrandadores para reduzir a dureza (cálcio e magnésio) ou por adição de inibidores poliméricos orgânicos que tem a função de retardar a precipitação. Normalmente, a escala do potencial de incrustação destes materiais pode ser estimada pelas suas constantes de solubilidades na corrente do concentrado e podem ser retardados pela adição de inibidores ou pela redução da recuperação do sistema.

3.11.2 Índice de Densidade de Sedimentos (IDS).

Uma consideração importante no projeto e na operação de sistemas de membranas é a tendência da água de alimentação de bloquear as membranas, sendo um dos parâmetros de projeto mais importantes. O desempenho dos sistemas de membranas, custo de operação, exigências de pré-tratamento, frequência de limpezas são afetados por estes bloqueios na membrana (Taylor & Jacobs, 1996).

A fonte dos sedimentos ou dos colóides na água de alimentação de sistemas de OI é variada e incluem freqüentemente as bactérias, a argila, sílica coloidal, e os produtos da corrosão do ferro. Produtos químicos usados na clarificação de águas como alumínio, cloreto férrico, polieletrólitos catiônicos também podem causar incrustações nas membranas e não são removidos com filtração (FilmTec, 2008).

A tendência de bloqueio das membranas pode ser avaliada em testes específicos de determinação de índices de incrustação. Os índices mais utilizados são o IDS (Índice de Densidade de Sedimentos), o IFM (Índice de Incrustação Modificado) e o MPFI (Fator Mínimo de Incrustação). Todos os três índices são medidos com o mesmo tipo de equipamento, variando apenas a coleta de dados e a sua interpretação. O equipamento básico, conforme mostra a Figura 16 consiste de um sistema de filtração pressurizada equipado com filtros de 0,45 µm de porosidade

e diâmetro de 47 mm. A amostra deve ser filtrada a uma pressão de 30 psig (2,1 kgf/cm²) (Taylor & Jacobs, 1996).

O IDS é calculado a partir de três intervalos de tempo: o primeiro intervalo (t_i) é o tempo necessário para a coleta dos primeiros 500 mL de permeado, o segundo intervalo (t_f) é o tempo necessário para a coleta dos últimos 500 mL de permeado. O terceiro intervalo (t_t) varia de 5, 10 ou 15 minutos e é o intervalo de tempo entre o término da coleta dos primeiros 500 mL de permeado e o início da coleta dos segundos 500 mL de permeado. O tempo padrão para o t_t é 15 minutos. O IDS é determinado através da Equação 28 (Taylor & Jacobs, 1996):

$$IDS = \frac{100 \left[1 - \left(\frac{t_i}{t_f} \right) \right]}{t_t} \quad (28)$$

O teste do IDS é um teste de fouling por filtração frontal. Esse teste não reflete com exatidão as condições de acúmulo de material em sistemas operados por filtração tangencial, ou em sistemas de filtração frontal com retro lavagem periódica da membrana. (Schneider & Tsutiya, 2001).

Em geral, os sistemas de OI que operam com fontes de água de alimentação com valores do IDS menores que 1 funcionam por anos sem problemas, aqueles que operam com fontes que tem valores do IDS menores que 3 funcionam por meses sem necessidade da limpeza da membrana. Entretanto, os sistemas que operam em fontes de água com valores do IDS entre 3 e 5 são limpos regularmente e considerados sistemas problemáticos. Valores do IDS acima de 5 não são aceitáveis (Amjad, 1992).

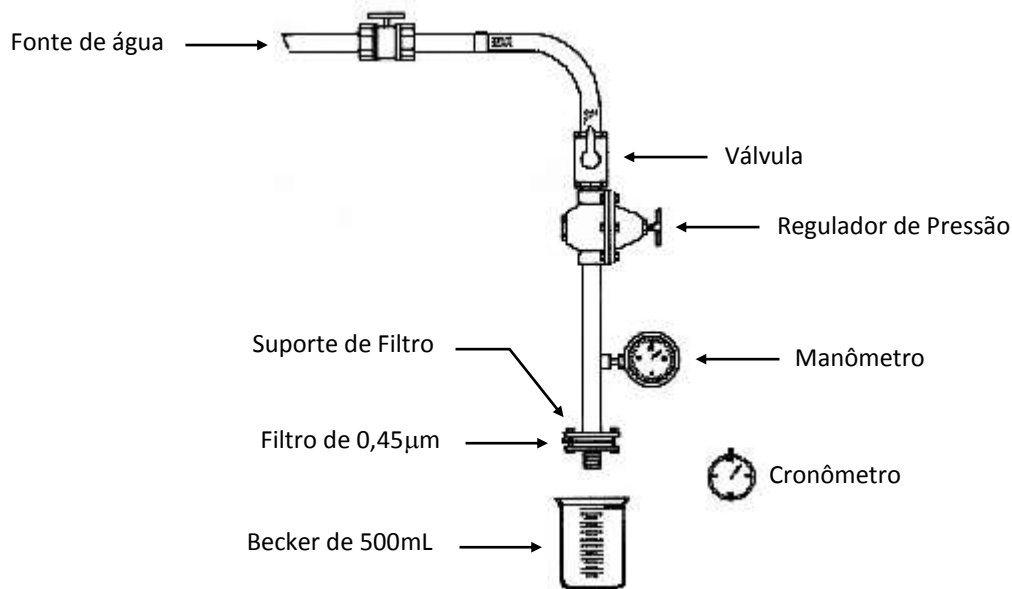


Figura 16: Equipamento básico para medição do IDS (Amjad, 1992).

A determinação dos índices de fouling é essencial em todos os projetos de membranas, mas assume importância especial em sistemas de NF e OI, onde a qualidade da água de alimentação deve atender a valores máximos com respeito aos índices de fouling estipulados pelos fabricantes. Águas com índices excessivos de fouling podem causar o bloqueio irreversível de módulos espirais, e devem ser submetidas a algum tipo de pré-tratamento que produza um efluente com características adequadas, para processamento por membranas (Schneider & Tsutiya, 2001).

Geralmente, os fabricantes de membranas especificam a faixa de operação de IDS para suas membranas. Existem várias técnicas disponíveis para conseguir o IDS requerido, fazendo uso de sistemas de filtros multimeios ou combinação com coagulantes.

3.11.3 Indicadores de Incrustações de Sulfato

Para determinar o potencial de incrustação de sulfato de cálcio, CaSO_4 , tem-se que comparar o valor do produto iônico da água do concentrado, I_{p_c} , com o produto de solubilidade, K_{s_c} , do concentrado nas mesmas condições. Utilizam-se as seguintes equações (Filmtec, 2008):

$$I_{p_c} = \left[(Ca^{+2})_a * (SO_4^{-2})_a \right] * FC \quad (29)$$

$$K_{s_c} = \gamma_{Ca} [Ca^{+2}] * \gamma_{SO_4} [SO_4^{-2}] \quad (30)$$

Onde: $[Ca^{+2}]$ e $[SO_4^{-2}]$ é a concentração molar dos respectivos componentes, γ é o coeficiente de atividade dos componentes do sal na solução e o fator de concentração FC é dado pela Equação 18. Os coeficientes de atividade γ são unitários para solução com baixas concentrações de sais (água doce). Em águas salobras e salinas, estes coeficientes devem ser corrigidos, por exemplo, através da equação de Debye-Hückel, que determina a relação entre o logaritmo do coeficiente de atividade, as cargas elétricas dos componentes do sal (z, y) e a força iônica da solução (I) (Stumm, 1996; Van de Lisdonk et al, 2000).

$$\log \gamma_{ab} = -0,509zy\sqrt{I} \quad (31)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z^2 \quad (32)$$

Se $Ip_c \geq K_{s_c}$, ocorre formação de incrustação e um ajuste é requerido. O cálculo do potencial de incrustação de sulfato de bário e sulfato de estrôncio é análogo ao procedimento escrito para o sulfato cálcio. Para o sulfato de estrôncio se $Ip_c \geq 0,8K_{s_c}$, ocorre a formação de incrustação e um ajuste é requerido.

3.11.4 Estimativa do Potencial de Incrustação de Sílica

O potencial de incrustação de sílica existe quando a concentração da sílica dissolvida excede o limite de solubilidade da sílica para uma dada condição operacional. Uma vez incrustada, é bastante difícil remover a sílica sem provocar danos à membrana (Bremere, 2000).

A solubilidade da sílica varia largamente com a temperatura e pH do meio, a presença de sais também afeta sua solubilidade. Em soluções de baixas concentrações de sílica, na faixa de 50 mg/L, a solução não se encontra supersaturada, não há polimerização no seio da solução, mas o efeito da concentração de polarização na superfície da membrana existe, podendo ocorrer precipitação de sílica monomérica (Sheikholeslami et al, 2001).

Segundo Semiat (2001) os limites de incrustação de sílica são difíceis de prever, pois são influenciados por um grande número de parâmetros e, além disso, o complexo processo de deposição da sílica ainda não é totalmente compreendido. Os dados do “seio” da solução são, na grande maioria das vezes, diferentes das condições na superfície da membrana em função da concentração de polarização. O fenômeno de incrustação em OI é governado pelas condições de supersaturação que prevalecem na superfície da membrana.

A concentração de polarização se refere ao gradiente de concentração na superfície da membrana criado por uma pequena taxa de re-diluição do sal que fica próximo à superfície após a permeação da água. A extensão da concentração de polarização depende da turbulência no seio da solução. Tem sido estimado, que para um elemento de membrana em espiral, a concentração de sais na superfície da membrana é de 13 a 20% maior que no seio da solução (Byrne, 2002).

De acordo com Byrne (2002) quando a concentração da sílica na corrente do concentrado é superior a 20 mg/L, seu potencial de formação de incrustação precisa de avaliação e controle. Em Filmtec (2008) encontra-se uma metodologia proposta para calcular o potencial de incrustação da sílica, considerando-se os seguintes dados da água de alimentação do sistema:

- Concentração de sílica (mg/L);
- Temperatura (°C);
- pH;
- Alcalinidade total (mg/L de CaCO₃).

Essa metodologia faz uso de três figuras, que se encontram disponíveis no Anexo 12.1 desse relatório, são os Gráficos 1, 4 e 5.

Calcula-se a recuperação do sistema através da Equação 10 e em seguida estima-se a concentração na corrente do concentrado.

$$SiO_2c = SiO_2 \cdot \left(\frac{1}{1-r} \right) \quad (33)$$

Com os dados de pH e alcalinidade total da solução, estima-se a concentração de CO₂ dissolvida no meio, que é considerada idêntica tanto na alimentação como no concentrado; esta estimativa é realizada utilizando-se o Gráfico 1.

Calcula-se a alcalinidade total na corrente do concentrado.

$$Alc_c = Alc \cdot \left(\frac{1}{1-r} \right) \quad (34)$$

Através do CO₂ estimado e da alcalinidade do concentrado calculada, estima-se o pH na corrente do concentrado; novamente utiliza-se o Gráfico 1.

Em seguida, estima-se a solubilidade da sílica na temperatura de operação do processo, através do Gráfico 2.

Como o pH da solução afeta diretamente a solubilidade da sílica, estima-se um fator de correção (FC), através do Gráfico 3, com este fator calcula-se a solubilidade da sílica corrigida - (S)SiO₂Corr.

$$(S)SiO_2corr = FC \cdot S SiO_2 \quad (35)$$

Realiza-se uma comparação entre a concentração da sílica na corrente do concentrado e a solubilidade da sílica corrigida. Se for maior, a incrustação de sílica pode ocorrer, e se faz necessário um ajuste nas condições operacionais e/ou um pré-tratamento para remoção da sílica. Essa metodologia para cálculo do potencial de incrustações da sílica possui uma séria limitação uma vez que estima ou calcula dados referentes ao seio da solução, desprezando os efeitos da concentração de polarização. Sabe-se que a formação das incrustações durante o processo de OI é regido pela supersaturação na superfície da membrana.

3.12 Pré-tratamento

As operações com membranas requerem o pré-tratamento da água de alimentação do processo que tem por objetivo proteger a superfície das membranas da deposição de materiais suspensos e colóides, proliferação biológica e formação de incrustações de sais em geral.

O pré-tratamento é a primeira etapa para o controle de incrustações nas membranas. O pré-tratamento mais simples envolve uma micro-filtragem e nenhuma adição química. Entretanto, quando uma água de superfície é tratada, o procedimento de pré-tratamento pode ser complexo incluindo o ajuste do pH, cloração, adição de coagulantes, sedimentação, clareamento, absorção em carvão ativado, adição de complexantes, filtração e uma avaliação final (Taylor & Jacobs, 1996).

O pré-tratamento da água de alimentação deve envolver uma operação contínua e de confiança, por exemplo: um sistema de clarificação projetado inadequadamente poderá resultar em um desgaste dos filtros por estarem operando além de seus limites. Tais pré-tratamentos inadequados resultam em freqüentes limpezas dos elementos de membranas para que possa restaurar a produtividade e a rejeição de sais. O custo da limpeza, o tempo de parada e desempenho perdido do sistema pode ser significativo.

Na dessalinização de águas subterrâneas, a osmose inversa, do ponto de vista técnico e econômico, é um dos processos mais versáteis podendo ser usado numa ampla faixa de concentração de sais dissolvidos. Para que se obtenha um desempenho adequado, visando o aumento da produção de água potável e do tempo de vida das membranas, antes do processo de osmose inversa, a água retirada do subsolo ou da superfície deve ser pré-tratada.

A seleção do pré-tratamento apropriado deve priorizar o aumento da eficiência e da vida útil da membrana, reduzindo a quantidade de sólidos suspensos na água de alimentação e a precipitação de sais solúveis como o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) ou Sulfato de Bário (BaSO_4), na superfície da membrana. O

resultado será a otimização do fluxo do permeado, rejeição de sais, recuperação do produto e custo de operação (FilmTec, 1995).

Os fatores que devem ser levados em consideração quando o sistema necessita de um pré-tratamento são (Taylor & Jacobs, 1996):

- Material no qual foi fabricada a membrana;
- Configuração do módulo;
- Qualidade da água de alimentação;
- Taxa de recuperação;
- Qualidade final da água do permeado.

O projeto apropriado para o pré-tratamento da água de alimentação dependerá da fonte de água, composição e aplicação. Uma fonte de água é considerada boa quando o índice de densidade de sedimentos (IDS) é baixo (tipicamente < 2) e possui uma baixa contagem de bactérias. Estas águas requerem tipicamente um sistema de pré-tratamento simples como a adição de um inibidor de incrustação e filtros de cartucho de 5 μm . Águas superficiais são caracterizadas por um IDS elevado e por ter uma contagem de microrganismos elevada. O pré-tratamento para este tipo de água é mais elaborado e requer etapas adicionais que incluem freqüentemente a adição de polímeros, clarificação e filtração em filtros multimeios. Uma vez que a fonte de água de alimentação foi determinada, uma análise completa e exata da água deve ser realizada, sendo de grande importância para o projeto do pré-tratamento apropriado e do sistema de OI (FilmTec, 2008).

3.12.1 Adição de Inibidor de Incrustação.

Os antincrustantes podem ser usados para controlar a incrustação do carbonato, do sulfato e do fluoreto de cálcio. Os inibidores de incrustação reduzem o crescimento e a precipitação dos cristais. Um dos inibidores mais utilizado é o hexametáfosfato de sódio (SHMP). Porém, deve-se ter o cuidado de se evitar a hidrólise de SHMP no tanque de dosagem da alimentação. A hidrólise diminui não

somente a eficiência na inibição de incrustantes, mas cria também um risco de incrustação do fosfato de cálcio.

Os inibidores orgânicos poliméricos de incrustação são mais eficazes do que o SHMP. Entretanto, reações de precipitação podem ocorrer com polieletrólitos catiônicos ou cátions multivalentes, por exemplo, alumínio ou ferro. Os produtos resultantes da resina são muito difíceis de remover dos elementos da membrana.

As taxas de dosagem devem satisfazer a recomendação dos fabricantes de antincrustantes e a super dosagem deve sempre ser evitada. Em plantas de OI operando com água do mar com STD na faixa de 35.000 mg/L, a incrustação não é um problema como em plantas operando com águas de poços, pois a recuperação nas plantas da água do mar é limitada a 30 ou 45 % em função da pressão osmótica do concentrado. Entretanto, por razões de segurança recomenda-se usar um inibidor de incrustação ao se operar acima de uma recuperação de 35% (FilmTec, 1995). A Tabela 6 relaciona alguns dos antincrustantes mais usados no pré-tratamento de sistemas com membranas de osmose inversa.

A adição dos inibidores de incrustação deve sempre ser feita com produtos específicos para membranas de osmose inversa e compatíveis com o tipo de membrana, sempre seguindo as orientações do fabricante das membranas.

Tabela 6: Antincrustantes compatíveis com membranas de osmose inversa (FilmTec, 1995).

Anti-incrustantes	Fornecedor	Concentração Mínima
AF 100 BF	Goodrich	-
ARRO-TREAT 1100	Arrowhead	5 %
ARRO-TREAT 1200	Arrowhead	0.5 %
ARRO-TREAT 1300	Arrowhead	5 %
Betz 602 (15 ppm max)	Betz	0.75 %
Betz 606 (36 ppm max)	Betz	10 %
COATEX EM201ASP (20 ppm max)	Coatex	15 %
D8062 (20 ppm max)	Grace Dearborn	50 %
Dearborn 8563	Grace Dearborn	-
Dequest 2054	Monsanto	-
Drew 11-428 (36 ppm max)	Drew	10 %
Drewperse 770	Drew	10 %
Ecolospere	Ecolochem	10 %
EL 4010	Calgon	-
Flocon 100	FMC	-
Flocon 200 (20 ppm max)	FMC	5 %
Flocon 360	FMC	-
Flomate 5405	Grace Dearborn	10 %
Flomate 5406 (36 ppm max)	Grace Dearborn	10 %
HYPERSperse	Argo Scientific	-
IPC 5986	Chemlink	10 %
Kemazur 2120	Degremont	10 %
N-7306	Nalco	25 %
NALCO 2843	Nalco	10 %
Permatreat 471	Houseman	10 %
Permatreat 475 (36 ppm max)	Houseman	10 %
POLYACRYL PT115A (20 ppm max)	Polyacryl	15 %
Pretreat 110 (20 ppm max)	King-Lee	1 %
Pretreat Plus	King-Lee	-
Sludgex 693 (36 ppm max)	Maxwell Chemicals	10 %
Sodiumhexametaphosphate (SHMP)	-	-
SP-2946	Petrolite Ltd.	10 %
SP-2948 (36 ppm max)	Petrolite Ltd.	10 %

3.12.2 Filtros de Cartucho

Um pré-tratamento mínimo requerido para sistemas de OI são os filtros de cartucho com um tamanho de poro menor que 5 μm como um dispositivo de segurança para proteger as membranas e a bomba de alta pressão das partículas em suspensão. Geralmente é a última etapa de uma seqüência de pré-tratamento. O sistema de filtros deve ser projetado sob medida para uma determinada vazão de alimentação de acordo com a recomendada pelo fabricante e ser substituído antes que a pressão aumente além do limite permitido. A variação de pressão durante a operação do sistema é um indicativo da extensão de sujeira na água.

Os filtros de cartucho devem ser confeccionados de um material não degradável sintético, por exemplo, nylon ou polipropileno. As inspeções regulares dos cartuchos usados fornecem informações úteis a respeito dos riscos de sujar os elementos de membranas. Se a diferença de pressão no sistema de filtragem aumentar rapidamente, possivelmente existirão problemas na fonte da água de alimentação ou no processo de pré-tratamento. Os filtros fornecem um grau de proteção em curto prazo para as membranas (FilmTec, 1995).

3.12.3 Controle de Incrustação Microbiológica.

Em se tratando da incrustação microbiológica, o objetivo do pré-tratamento é reduzir ao máximo o risco de formação de biofilmes na superfície da membrana. As medidas mais eficazes incluem a remoção dos microorganismos da água de alimentação e a diminuição da matéria orgânica disponível para o crescimento dos microorganismos. A seleção de membranas deve ser feita especificamente para a água que será tratada (Schneider & Tsutiya, 2001).

O pré-tratamento do sistema de OI deve ser cuidadosamente planejado, uma vez que, pesquisas publicadas na literatura sobre a incrustação microbiológica apontam a adição de reagentes antincrustantes como uma das fontes de crescimento do biofilme. Estudos realizados em plantas de OI para produção de água potável mostram que a adição de ácidos no pré-tratamento da água de alimentação para prevenir incrustação por carbonato de cálcio, CaCO_3 , conduziu a um aumento de biomassa do sistema (Vrouwenvelder et al., 1998).

O pré-tratamento para redução de incrustações microbiológicas consiste na adição de biocidas ou aplicações (dosagens) intermitentes de biocidas em pequenas quantidades. O método mais comum, eficaz e barato para remoção de microrganismos é a cloração, porém como a maioria das membranas poliméricas tem baixa resistência ao cloro, seu excesso precisa ser removido, por meio de absorção em carvão ativado ou pela adição de bissulfito de sódio (Meyer, 2003). Outros biocidas incluem formaldeído, ozônio, ácido peracético, peróxido de hidrogênio, etc. Sendo que alguns destes são utilizados em pequena escala, com menor eficiência e com efeitos mais prejudiciais ao meio ambiente em comparação com o cloro (Dessouky et al., 2002).

A eficiência de um biocida depende de diversos fatores tais como: tipo, concentração, pH, temperatura, tempo de residência, tipo de microorganismo, estágio de crescimento, natureza física do biofilme e reações paralelas do biocida e seus compostos sobre bactérias e microorganismos. O aumento da concentração de biocida, da temperatura e do tempo de residência do biocida aumenta o percentual de morte dos microorganismos (Dessouky et al., 2002)

Estudos apontam o processo de MF como pré-tratamento para evitar incrustações microbiológicas nos sistemas OI, pois este apresenta uma boa remoção de microorganismos da alimentação do sistema, comparado aos métodos convencionais de pré-tratamento (Byrne, 2002; Gabelich et al., 2003, Oliveira, 2007).

O controle da incrustação microbiológica depende da interrupção de uma ou de várias etapas na formação do biofilme microbiano. As estratégias de controle podem ser agrupadas nas seguintes categorias (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Seleção e otimização de pré-tratamentos eficientes para a água de alimentação;
- Seleção de membranas apropriadas ao sistema;
- Otimização da pressão de filtração e do rendimento para minimizar os efeitos da incrustação microbiológica;

- Aumento da velocidade de transporte do meio em direção paralela à membrana para diminuir a taxa de deposição de material particulado;
- Otimização dos procedimentos de limpeza química para remoção do biofilme de membrana.

O pré-tratamento da água de alimentação do processo via coagulação, filtração multimeios, microfiltração e aplicação de biocidas impedem a formação da incrustação microbiológica e aumentam a vida útil das membranas, mas estas medidas aumentam os custos com operação e manutenção do sistema (Brandt et al. 1993).

3.13 Pós-tratamento

O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para distribuição. O processo de dessalinização representa uma barreira efetiva para organismos patogênicos. Mesmo assim a desinfecção é feita para assegurar um suprimento seguro de água. O processo de desinfecção (que às vezes é chamado de desinfecção germicida ou bactericida) é usado para matar qualquer bactéria, protozoário ou vírus que possa ter by-passado o sistema e ainda esteja presente.

A desinfecção da água pode ser feita por uma grande variedade de produtos, dentre os quais pode-se citar: ozônio; peróxido de hidrogênio; permanganato de potássio; ultravioleta; cloro e seus componentes. Pela sua eficiência e custo, o cloro e seus componentes são os mais usados.

Os equipamentos usados são cloradores, no caso de cloro gás, as bombas dosadoras, e DNC (dosador de nível constante), para os hipocloritos.

Por ser um forte agente oxidante, o cloro funciona através da oxidação de moléculas orgânicas. O cloro e seu produto de hidrólise, o ácido hipocloroso, têm carga neutra e, por conseguinte, penetram facilmente a superfície de carga negativa de agentes patogênicos sendo capaz de desintegrar os lipídeos que compõem a parede celular reagindo com enzimas e proteínas intracelulares, tornando-os não-funcionais. Os microrganismos então morrem ou são impossibilitados de se multiplicar (Kleijnen, 2011).

Segundo a Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Capítulo V, artigo 34:

“Art. 34. É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).”

Desta forma em atendimento a portaria, o Programa Água Doce introduziu o pós-tratamento aos sistemas de dessalinização com cloro orgânico, para consumo humano, através de bomba dosadora para injeção do cloro no reservatório do permeado, de forma que não retorne para as membranas do dessalinizador.

3.14 Cuidados durante a operação de sistemas de membranas

Após a conclusão da fase de projeto e construção, inicia-se a fase operacional. Os dados de operação que descrevem o desempenho dos sistemas de OI devem ser coletados rotineiramente durante o período de operação da planta. Estes dados, junto com análises de águas periódicas, fornecem subsídios necessários para a avaliação do desempenho da planta.

A definição dos objetivos operacionais nessa fase deve ser norteada por duas considerações importantes (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Produção de água na qualidade e nos volumes projetados;
- Maximização da vida útil das membranas.

O custo de reposição de membranas é um dos mais importantes componentes do custo operacional de uma planta de membrana, sua minimização depende de medidas que permitam prolongar ao máximo a vida útil das membranas. A maximização do período de uso de membranas depende da adoção de uma série de medidas importantes, durante a operação do sistema (Schneider & Tsutiya, 2001):

- Monitoramento da qualidade da água de alimentação;
- Monitoramento dos parâmetros de operação das membranas;

- Planejamento adequado das medidas de intervenção (ciclos de limpeza química).

Há diversos parâmetros operacionais que podem ser monitorados para otimizar o desempenho total da planta. Os parâmetros operacionais das membranas relacionados com o aumento da vida útil dos elementos do sistema, que devem ser analisados com frequência, são (Schneider & Tsutiya, 2001; Taylor & Jacobs, 1996):

- Pressão de operação;
- Perda de carga no módulo;
- Fluxo de permeado e de concentrado;
- Condutividade elétrica do permeado.

O conjunto destes fatores permite avaliar a perda de eficiência do sistema de filtração. O aumento da pressão de operação, ou a redução do fluxo através da membrana a uma pressão constante, são indicadores claros da ocorrência de incrustações. Quando estes parâmetros atingem valores críticos, é necessário realizar um ciclo de limpeza química.

3.15 Limpeza Química e suas Considerações.

As técnicas de remoção de depósitos em membranas podem incluir limpeza mecânica: lavagem com água em alta velocidade (flushing), limpeza com esponja (dependendo do tipo de membrana), jato de ar, limpeza química: utilizando agentes químicos, e ainda combinando técnicas mecânicas, ultrassônicas e químicas. A técnica mais predominante é limpeza química usando produtos de limpeza especialmente formulados para membranas.

Uma das técnicas mais recentes para limpeza dos módulos de membranas de osmose inversa é o escoamento bifásico, que consiste na aplicação de uma corrente de ar juntamente com a água. Embora relativamente nova, constitui numa técnica limpa e economicamente viável.

Oliveira observou que o uso do escoamento bifásico nos procedimentos de limpeza apresentou melhores resultados para altas vazões, embora em alguns casos, após a limpeza, a rejeição salina tenha ficado reduzida (Oliveira, 2007).

Um grande número de agentes químicos está disponível para remover incrustações e outros depósitos. A limpeza química envolve essencialmente a reação dos produtos químicos com os depósitos e outros “*foulants*” que afetam a taxa de fluxo e a qualidade do produto (Amjad, 1993).

3.15.1 Critério e seleção de produto de limpeza de membrana

A limpeza de membrana é essencial para manter de forma eficiente o sistema de OI operando dentro dos padrões estabelecidos em função da qualidade da água de alimentação. Devido à variedade de impurezas, a limpeza química é uma das etapas mais complexa de um sistema de membranas. Inicialmente devem-se caracterizar os tipos de impurezas que estão sendo depositados na superfície da membrana, com o objetivo de selecionar o mais efetivo e econômico produto de limpeza. A análise da água de alimentação e dos filtros de cartuchos, assim como a avaliação das mudanças químicas que resultam do pré-tratamento, fornecem características dos possíveis tipos de incrustações (Amjad, 1993).

Existem cinco categorias de agentes de limpeza: soluções alcalinas, ácidas, agentes metálicos quelantes, surfactantes e enzimas. Normalmente os produtos comerciais oferecem uma mistura destes componentes, mas na maioria dos casos sua composição química é desconhecida (Ang et al., 2006).

Os peróxidos também são ótimos agentes de limpeza devido ao poder oxidante em relação à matéria orgânica presente nas incrustações. O peróxido de carbamida ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}\cdot\text{H}_2\text{O}_2$) e o peróxido de hidrogênio foram investigados e apresentaram ótimos resultados como agentes de limpeza para membranas de osmose inversa, sendo que o peróxido de hidrogênio mostrou resultados superiores. A observação da ação do peróxido de oxigênio sobre o alginato de sódio (polissacarídeo produzido por bactérias, fungos e algas) mostrou uma degradação na estrutura do mesmo (Oliveira, 2007). O alginato tem sido muito utilizado para investigação dos mecanismos de deposição de biomoléculas em membranas de osmose inversa (Lee et al, 2006).

Uma vez identificado à magnitude e tipo de depósitos, o produto de limpeza da membrana é requerido para restaurar o desempenho do sistema. Em casos, onde as análises revelam uma variedade de incrustantes, um produto químico tradicional não será suficiente. Por exemplo: produto ácido apresenta um efeito limitado sobre areia, argilas e matéria biológica; produto alcalino não dissolve incrustações de dureza. (Amjad, 1993).

Ao selecionar um programa da limpeza, os seguintes fatores devem ser considerados (Amjad, 1993):

- Equipamento de limpeza química.
- Compatibilidade dos Produtos químicos e tipo de membrana.
- Material de construção do sistema.
- Identificação dos depósitos (fouling).
- Exigências e impactos do descarte dos produtos químicos.

3.15.2 Procedimento de limpeza química

Os ciclos de limpeza química ocorrem em intervalos de semanas a meses, dependendo da gravidade do problema de incrustação. Cada ciclo demora entre 45 minutos a 24 horas, dependendo da dificuldade de remoção do biofilme e/ou do material precipitado, e normalmente, restaura o fluxo das membranas para valores próximos do fluxo inicial. Um ciclo de limpeza química é desencadeado quando os parâmetros de operação (fluxo ou pressão) atingem valores pré-determinados (Schneider & Tsutiya, 2001). Em sistemas de OI, os ciclos são iniciados quando for atingido um dos seguintes parâmetros (Amjad, 1993, Schneider & Tsutiya, 2001; FilmTec, 2008):

- Diminuição do fluxo normalizado em cerca de 10%;
- Aumento da passagem de sais normalizada em 5% a 10%.
- Aumento da pressão diferencial em 10 a 15%;

A aplicação de ciclos de limpeza química, em intervalos adequados, impede o comprometimento irreversível da membrana e o crescimento excessivo de biofilmes. A efetividade do processo de limpeza depende da formulação da solução de limpeza, da frequência de aplicação e do protocolo de aplicação. A limpeza ácida é geralmente empregada para a remoção de depósitos inorgânicos, enquanto que, depósitos orgânicos e biofilmes são removidos com formulações alcalinas (Schneider & Tsutiya, 2001).

O pH da solução de limpeza deve ser compatível com a faixa de pH da membrana. A temperatura da solução de limpeza é outro fator importante a ser considerado no processo. Soluções com temperaturas mais elevadas são geralmente mais eficientes para a limpeza de membranas. A temperatura deve ser controlada e estar dentro da faixa limite de temperatura da membrana. A Figura 17 mostra um esquema de um equipamento projetado para realizar limpeza química de membranas.

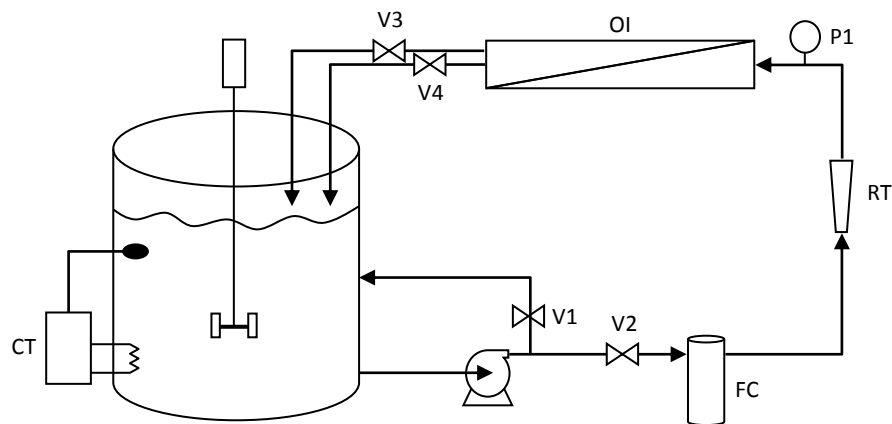


Figura 17: Esquema de um equipamento para limpeza química de membranas, onde: CT: Controle de Temperatura; FC: Filtro de Cartucho; RT: Rotâmetro; OI: Módulo de Osmose Inversa; P1: Indicador de Pressão; V1: Válvula de Recirculação; V2: Válvula de Controle; V3: Válvula do Concentrado; V4: Válvula do Permeado.

Um protocolo típico para a limpeza de membranas de OI consiste das seguintes etapas (Amjad, 1993):

1. Lave (flushing) as membranas com água permeada, durante 15 minutos sob uma pressão de 3,0 kg/cm². Limpe cada estágio por vez.

2. Preparar a solução de limpeza de acordo com as instruções do boletim das membranas. Ajuste o pH necessário e a temperatura de acordo com os limites estabelecidos pelo fabricante das membranas.
3. Passe a solução de limpeza através dos elementos de membranas, com auxílio de uma bomba, durante 1 a 2 minutos deixando-a cair no ralo. Desligue a bomba e feche todas as válvulas por 15 minutos.
4. Repita o passo 3 mais duas vezes. Monitore o aspecto e a cor da solução de limpeza. Se estiver ocorrendo mudança de cor, repita o passo 3 até diminuir a coloração da solução.
5. Recicle o concentrado para o tanque da solução de limpeza durante 45 minutos e monitorando a temperatura e o pH da solução.
6. Quando o pH da solução de limpeza se apresentar constante, dirija a solução de limpeza para o ralo.
7. Lave toda a unidade com água permeada durante 15 minutos sob um fluxo moderado a 3,0 kg/cm². A temperatura da água deve estar acima de 20 °C.
8. Continue o ciclo de enxágüe com água permeada por no mínimo 30 minutos.

A composição da solução de limpeza deve ser alterada, após vários ciclos, para evitar a seleção de organismos resistentes à solução. É importante comparar a eficácia da limpeza de membranas por diferentes soluções para otimizar o rendimento de um sistema de OI (Schneider & Tsutiya, 2001).

O processo de limpeza química das membranas deve ser realizado por técnicos capacitados, utilizando equipamentos para monitoramento do processo de limpeza, os produtos utilizados devem ser adequados para remoção das incrustações e que não prejudiquem os elementos de membranas. Recomendamos sempre obedecer aos limites estabelecidos pelo fabricante das membranas seguir as orientações do fabricante do dessalinizador.

4 SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO

O sistema de dessalinização é composto por um poço tubular, bomba do poço, reservatório de alimentação (água bruta), uma construção em alvenaria (abrigo), dessalinizador, reservatório para o permeado (água doce), reservatório para o concentrado, chafariz e tanques para contenção do concentrado. A Figura 18 mostra um sistema de dessalinização para águas salobras, encontrado em diversas localidades no campo.



Figura 18. Sistema de Dessalinização (Fonte: Programa Água Doce/PB, Felipe Braga, 2015).

O abrigo é o local onde o dessalinizador se encontra instalado, o qual sempre deve ser mantido limpo e em bom estado de conservação. Próximo ao abrigo se encontra os reservatórios de alimentação, do permeado e do concentrado.

A distribuição da água dessalinizada para a comunidade é realizada próxima ao abrigo do dessalinizador através de um chafariz construído em alvenaria com revestimento em cerâmica, iluminação, portão, conjunto de torneiras para distribuição da água ou equipamento eletrônico instalado dentro do chafariz onde as pessoas da comunidade têm acesso à água através de fichas ou cartões magnéticos.

5 DESSALINIZADOR

O dessalinizador é o equipamento responsável pela realização do processo de dessalinização da água salobra do poço. A água do poço é a fonte hídrica de alimentação do dessalinizador para produção de água potável e suas características físico-químicas estão relacionadas com a região onde o poço foi perfurado.

A Figura 19 apresenta a configuração típica de um dessalinizador por osmose inversa, que é composto por módulos de membranas de baixa porosidade alojadas em tubos de alta pressão, composto por duas bombas, uma auxiliar que inicia o funcionamento do sistema e a bomba de alta pressão responsável pela permeação da água salobra sobre as membranas, tubulações hidráulicas, instrumentos de medidas das variáveis do sistema e controle das vazões (válvulas, rotâmetros e manômetros), um sistema de pré-tratamento composto de uma bomba dosadora com a função de adicionar um agente químico na corrente de alimentação para impedir a deposição ou incrustação de substâncias sobre a superfície das membranas, um conjunto de filtros de acetato de celulose para remover o material em suspensão com o intuito de conservar a membrana de osmose inversa e um sistema de lavagem das membranas que é acionado ao final de cada ciclo de operação.

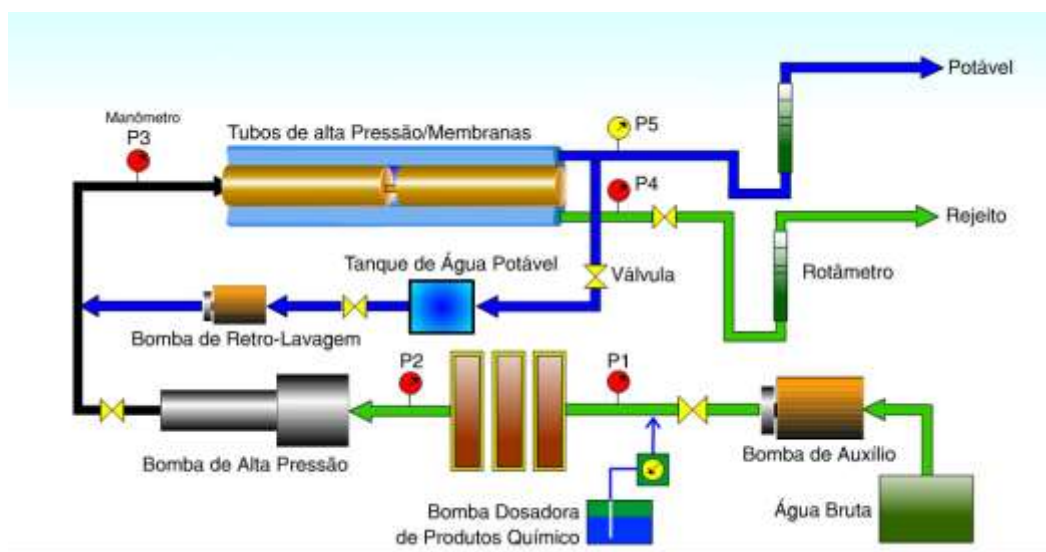


Figura 19. Sistema de Dessalinização de Água por Osmose Inversa (França, 2007).

A água ao entrar no sistema passa pelo pré-tratamento e é pressurizada, através da bomba de alta pressão, passando através dos vasos que contém as membranas de osmose inversa, responsáveis pela separação dos sais da água, produzindo uma corrente de água permeada e outra concentrada. Os vasos de alta pressão, bombas, sistemas de filtros e demais componentes do sistema em geral são montados em uma estrutura metálica construída em aço carbono e com pintura contra corrosão. Nos dessalinizadores temos ainda sistemas de proteção da bomba de alta pressão (pressostato), sistema de pós-tratamento (cloração) e quadro de comando elétrico dos motores bombas.

O que diferencia os diversos dessalinizadores disponíveis no mercado são as qualidades dos materiais neles empregados, a tecnologia de produção, o grau de automação incorporado, a experiência do fabricante e a disponibilidade de assistência e serviços técnicos.

6 OPERAÇÃO DO DESSALINIZADOR

As etapas descritas abaixo devem ser realizadas diariamente pelo operador, são procedimentos simples, mas de grande importância para o bom funcionamento do dessalinizador evitando alguns problemas, mantendo a qualidade do produto e aumentando o tempo de vida dos equipamentos.

6.1 Etapas de Operação.

1. Verificar como se encontra a higiene dos tanques da água de alimentação, do permeado e do concentrado. Caso esteja com alguma sujeira, recomenda-se realizar uma limpeza completa antes de acionar o dessalinizador.
2. Se o dessalinizador não possuir automação (bóia elétrica no reservatório de alimentação para desligar a bomba auxiliar no caso de falta de alimentação no dessalinizador), antes de dar partida no dessalinizador, verificar o nível da água no tanque de alimentação. Caso o nível da água se encontrar baixo, ligar a bomba do poço até que o tanque esteja com água suficiente.
3. Verificar as condições dos filtros de cartucho, caso estejam sujos deverão ser trocados. O intervalo de tempo para troca dos filtros de cartucho irá depender da qualidade da água do poço e pode ser verificado monitorando as pressões de entrada e saída do conjunto de filtros. Quando ocorrer um aumento na diferença entre as duas pressões maior do que 10 psi (0,69 bar), os filtros devem ser trocados.
4. Verificar as condições de higiene do tanque (bombona) de retrolavagem. Recomenda-se que seja limpo antes de acionar o dessalinizador, pois o mesmo receberá água permeada que será utilizada no final do processo de dessalinização.
5. Verificar as condições de higiene do tanque (bombona) da solução antincrustante e se está com a quantidade suficiente para operação do dessalinizador. Caso esteja sujo ou vazio, realizar uma limpeza e preparar uma nova solução de antincrustante com água dessalinizada.

6. Verificar as condições de higiene do tanque (bombona) da solução de cloro e se está com a quantidade suficiente para operação do dessalinizador. Caso esteja vazio, preparar uma nova solução de cloro com água dessalinizada.
7. Abrir a válvula de alimentação (água bruta).
8. Ligar a bomba auxiliar. Após acionar a bomba de auxílio esperar de 2 a 3 minutos para que todo o equipamento seja preenchido com água suficiente para ligar o dessalinizador. Durante este intervalo deve-se retirar o ar dos filtros com ajuda de uma flanela evitando cair respingos de água bruta na estrutura metálica do dessalinizador. Observar se existe algum vazamento nas tubulações. Em caso positivo, retirar o vazamento antes de acionar o dessalinizador.
9. Ligar a bomba dosadora da solução antincrustante. Verificar a sua regulagem e funcionamento. Em alguns casos entra ar ou sujeira na mangueira impedindo que o produto seja injetado na alimentação. Em alguns dessalinizadores a bomba dosadora liga automaticamente junto com a bomba auxiliar.
10. Ligar a bomba de alta pressão.
11. Realizar as seguintes leituras dos instrumentos de medidas do dessalinizador e anotar na planilha de acompanhamento:
 - Leitura das pressões de entrada e saída dos filtros de cartucho.
 - Leitura das pressões de entrada e saída das membranas.
 - Leitura das vazões de permeado e concentrado.

Obs.: No Anexo 12.3 encontra-se um modelo de planilha de monitoramento do dessalinizador.

12. Observar o funcionamento dos motores. Os casos mais comuns são vazamentos entre o motor e a bomba. Isso significa que o selo mecânico precisa ser substituído por um novo. Periodicamente os motores-bombas

precisam passar por manutenções como substituição de rolamentos e/ou do selo mecânico, proporcionando melhor funcionamento.

13. Observar como está a qualidade da água, medindo a concentração de sais com um medidor de TDS ou condutividade. Caso não esteja com equipamento de medição adequado pode-se provar um pouco da água produzida e verificar se apresenta algum sabor. Caso a água produzida não esteja dentro dos padrões, desligar o dessalinizador e procurar o técnico responsável.
14. Se todas as etapas anteriores estiverem dentro da normalidade, encher o tanque de retro lavagem com água dessalinizada para ao final da operação efetivar a lavagem das membranas.
15. Verificar se os tanques do permeado e do concentrado estão enchendo normalmente.
16. Ligar a bomba dosadora da solução de cloro orgânico para acionar o sistema de pós tratamento do permeado (cloração).
17. Medir o cloro residual antes de iniciar a distribuição da água para a comunidade.
18. Para encerrar a operação do dessalinizador deve-se seguir a seqüência de desligar a bomba de alta pressão, a bomba de auxílio e fechar a válvula de alimentação.
19. Desligar as bombas dosadoras do equipamento (em alguns dessalinizadores a bomba dosadora do pré-tratamento desliga automaticamente junto com a bomba de auxílio).
20. Abrir a válvula da bomba de limpeza. Ligar o sistema de retro lavagem e observar o nível da água no tanque até acabar.
21. Desligar o sistema de retro lavagem e fechar a válvula da bomba de limpeza.
22. Desligar a chave geral do sistema.

Obs.: Alguns sistemas podem apresentar algumas modificações nas instalações e no dessalinizador conforme a configuração do equipamento feita pelo fabricante ou de acordo com o pedido de fornecimento feito pelo órgão responsável pelo sistema, como por exemplo: uso de bóia elétrica nos reservatórios para controle da operação do dessalinizador; sistema de retro lavagem utilizando a bomba auxiliar para limpeza do sistema ao final da operação; uso de energia solar para funcionamento do sistema de dessalinização; assim como alteração nos procedimentos para ligar e desligar o dessalinizador. Quando apresentar modificações, estas devem ser informadas no material fornecido (manual do equipamento, apostilas, etc.) e durante a capacitação dos operadores.

6.2 Monitoramento e Manutenção.

O monitoramento dos dessalinizadores deve ser realizado através de visitas periódicas aos sistemas, onde serão coletados os dados das variáveis de medidas dos dessalinizadores, bem como a coleta de amostras de águas das correntes de alimentação, permeado e concentrado para avaliação do sistema.

6.2.1. Instrumentos de Medidas dos Dessalinizadores.

O registro das condições de operação do dessalinizador é mostrado pelos instrumentos de medidas. Os instrumentos mais comuns encontrados nos equipamentos são os manômetros (medidores de pressão) e os rotâmetros (medidores de vazão). Em alguns dessalinizadores, além dos manômetros e dos rotâmetros, existem outros instrumentos como o condutímetro (que indica o teor de sal na água) e o pHmetro (que indica o potencial hidrogeniônico da água).

É importante que se tenha um banco de dados com as informações do sistema o qual deve ser periodicamente analisado com o objetivo de detectar problemas potenciais. No Anexo 12.3 encontra-se um modelo de planilha de acompanhamento das variáveis de medidas dos dessalinizadores.

6.2.2. Monitoramento da Qualidade das Águas.

O acompanhamento dos dessalinizadores também é realizado através do monitoramento da qualidade das águas de alimentação, permeado e concentrado. A forma de avaliar a qualidade das águas é através das análises físico-químicas e

microbiológicas realizadas por laboratórios especializados. No Brasil, existem padrões de potabilidade regidos por portarias e resoluções legais, como a Portaria 2914/2011 do Ministério de Saúde que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Tabela 7 mostra os principais parâmetros físico-químicos a serem analisados nas amostras de águas para dessalinização.

O importante, no entanto, é manter um programa de monitoramento da qualidade da água de alimentação de sistemas de dessalinização e dos seus produtos. A necessidade do monitoramento deve-se ao fato de possíveis mudanças em algumas características da água que podem ocorrer com o tempo ou devido a condições externas que possam vir a contaminar a fonte.

A amostragem da água para análise físico-química deve ser feita coletando-se 1,5 a 2,0 litros da água numa garrafa plástica ou de vidro, nova ou que só tenha sido utilizada com água. Lava-se o recipiente, três vezes, com a água do local que se deseja analisar, e na quarta vez enche-se, identifica-se com dados sobre o interessado, a procedência, local da coleta, data da coleta e envia-se o mais rápido possível ao laboratório. Caso não seja possível enviar no mesmo dia, colocar sob refrigeração até o momento do envio. Deve-se ter o cuidado para que no momento da coleta não deixar as mãos entrar em contato com a água. É importante também observar alguns procedimentos que dependem da situação da coleta (Agrolab, 2008):

- Caso a água seja de poço recentemente aberto, esperar alguns dias com o mesmo em funcionamento antes de fazer a coleta da amostra, para que o mesmo elimine qualquer tipo de material em suspensão, resultante da perfuração.
- No caso de poço já em funcionamento, deixar escoar a água por 2 minutos, e então fazer a coleta.
- Outras situações de coleta, consultar anteriormente o laboratório. Por exemplo, a amostragem para a análise físico-química incluindo metais

ou para a análise bacteriológica requer procedimentos e recipientes especiais.

Tabela 7: Parâmetros físico-químicos a serem analisados.

Parâmetros	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,5 a 8,5
Turbidez, (uT)	1,0 a 5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L)	15,0
Dureza em Cálcio, mg/L Ca^{++}	---
Dureza em Magnésio, mg/L Mg^{++}	---
Dureza Total, mg/L CaCO_3	500,0
Sódio, mg/L Na^+	200,0
Potássio, mg/L K^+	---
Ferro Total, mg/L	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L CaCO_3	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L CaCO_3	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L CaCO_3	---
Alcalinidade Total, mg/L CaCO_3	---
Sulfato, mg/L SO_4^{--}	250,0
Cloreto, mg/L Cl^-	250,0
Nitrato, mg/L NO_3^-	10,0
Nitrito, mg/L NO_2^-	1,0
Sílica, mg/L SiO_2	---
Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L	1.000,0

(*) VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira – PORTARIA 2914/11 MS.

O acompanhamento dos dessalinizadores pode ser realizado através dos projetos de simulação dos dessalinizadores. A partir das análises físico-químicas são realizados os projetos dos dessalinizadores com auxílio de programas de simulação de membranas, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos equipamentos em função das suas pressões, vazões e qualidade das águas.

6.2.3. Manutenção.

O tempo de vida útil dos sistemas de dessalinização depende de uma boa operação feita por operadores devidamente capacitados e das manutenções realizadas nos equipamentos. Os sistemas devem ter um programa de visitas periódicas de acompanhamento e para realização das devidas manutenções corretivas e preventivas, sempre por técnicos habilitados e em oficinas autorizadas.

Durante as visitas deve ser observada a existência de filtros de cartucho para reposição e antincrustante suficiente para a operação do dessalinizador.

Deve-se observar na planilha de monitoramento do dessalinizador a diferença de pressão dos filtros de cartucho, quando a diferença de pressão dos filtros de cartucho for superior a 10% da diferença de pressão estabelecida no projeto do dessalinizador, significa que os filtros precisam ser trocados por outros novos.

Ainda na planilha de monitoramento do dessalinizador, deve-se observar também a diferença de pressão das membranas, quando a diferença de pressão das membranas for superior a 15% da diferença de pressão estabelecida no projeto do dessalinizador, significa que as membranas precisam de uma limpeza química.

Ainda fazem parte das manutenções, as ações corretivas na substituição de peças defeituosas, reparos nas tubulações, concertos nas bombas como troca de selo mecânico e rolamentos, calibração dos instrumentos de medidas e limpeza dos recipientes de retro lavagem e da solução de antincrustante.

No Anexo 12.6 encontra-se um modelo de termo de referência para monitoramento e manutenção de dessalinizadores.

A Tabela 8 mostra uma sugestão de cronograma para o acompanhamento e manutenção do sistema de dessalinização.

Tabela 8: Cronograma de acompanhamento e manutenção.

Etapas	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Monitoramento da qualidade da água do poço, permeado e concentrado.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar as pressões de operação do dessalinizador.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar as vazões das correntes de permeado e concentrado.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar os pré-filtros de cartucho.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar estoque de pré-filtros de cartucho.		X			X			X			X	
Verificar estoque de antincrustante.		X			X			X			X	
Desinfecção do sistema (limpeza do chafariz e dos reservatórios de água bruta e do permeado).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar rolamentos e selo mecânico das bombas.			X			X			X			X
Verificar vazamentos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Realizar limpeza química das membranas (quando necessário).						X						X

6.2.4. Fatores que Afetam o Custo de Operação.

Os custos de um sistema de dessalinização têm diminuído ao longo do tempo devido à evolução na tecnologia de membranas. Os custos de instalação dependem de muitas variáveis como a salinidade da água de alimentação, tamanho da planta e exigências de infra-estruturas.

O custo do produto de uma unidade é afetado por diversos fatores como o projeto e variáveis operacionais, que inclui o seguinte (El-Dessouky, 2002):

- Salinidade e qualidade da água de alimentação: uma alimentação com salinidade baixa permite taxas de conversão mais elevadas. Em consequência, a planta pode operar com demanda energética menor e redução do consumo de produtos químicos, como também diminui tempo de parada da máquina para manutenção.
- Capacidade de planta: quanto maior a capacidade de produção da planta menor será o custo do produto final da unidade. Embora, o aumento na capacidade de planta implique em um capital de investimento mais elevado.
- Condições do local: recuperação de instalações têm custos menores de acordo com as facilidades locais pré existentes para a fonte da água da alimentação, disposição do concentrado e o pré-tratamento da água de alimentação.
- Mão-de-obra qualificada: a disponibilidade de operadores qualificados conduz a uma maior capacidade de produção, diminuindo tempo de parada dos equipamentos por desgaste.
- Custos da energia: a disponibilidade de fontes econômicas de energia elétrica tem um forte impacto no custo do produto da unidade.
- Vida e amortização de planta: o aumento no tempo de vida da planta reduz o custo do produto.

Os cálculos do custo do produto da unidade dependem da capacidade de processo, das características do local, e das características de projeto. A capacidade de sistema é especificada pelos tamanhos dos vários equipamentos do processo, unidades de bombeamento, e área das membranas. As características do local têm um efeito no tipo de pré-tratamento e de equipamento, e do consumo de produtos químicos. As características de projeto afetam o consumo de energia elétrica, e de produtos químicos.

Os custos de operação cobrem todas as despesas ocorridas após o equipamento entrar em operação. Estão relacionados os custos com energia

elétrica, mão de obra, reposição de membranas, limpezas químicas, manutenção em bombas e peças sobressalentes, produtos usados no pré-tratamento como filtros de cartucho e antincrustantes.

Na Tabela 9 estão descritos alguns serviços e custos estimados em R\$ (Jul/2015), em Campina Grande/PB, para operação e manutenção de um dessalinizador com produção de 1 m³/h, trabalhando 5 dias por semana e 8 horas por dia.

Tabela 9: Serviços de manutenção e custos estimados em R\$ (Jul/2015).

Serviços	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Troca de filtros de cartucho	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00
Manutenção de bomba (troca de selo mecânico, rolamentos)			100,00			100,00			100,00			100,00
Antincrustante para membranas		90,00			90,00			90,00			90,00	
Limpeza química de membranas	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67
Manutenção de tubulações hidráulicas	20,00			20,00			20,00			20,00		
Energia Elétrica	92,48	83,67	96,88	83,67	88,08	83,67	101,29	92,48	92,48	92,48	88,08	96,88
Salário do operador	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67	853,67
Troca de membranas (em 5 anos)	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00
Visita de técnicos (1 técnico)	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
Total (R\$)	1.380,81	1.442,01	1.465,22	1.372,01	1.446,41	1.452,01	1.389,62	1.450,81	1.460,81	1.380,81	1.446,41	1.465,22

7 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DOCE

A distribuição da água e sua utilização devem ser realizadas de forma consciente e solidária a todos da comunidade. Cada comunidade tem uma forma, quantidade e horário de distribuição da água, aos quais devem estar descrito no Acordo de Gestão do dessalinizador.

Na elaboração do Acordo de Gestão do Dessalinizador, cada comunidade define regras que respondem a algumas questões importantes, como: Qual será o horário de funcionamento do equipamento? Quais são os deveres do operador? Qual será o horário de distribuição da água? Quem poderá pegar água no dessalinizador? Qual será a quantidade de água distribuída por família? Quem pagará a conta de energia elétrica? Quais são as responsabilidades da prefeitura? Quais são as responsabilidades do Núcleo Estadual do Programa Água Doce? Como a comunidade vai monitorar o cumprimento do Acordo? Entre outras questões.

O termo de compromisso deve ser assinado por todas as famílias beneficiadas pela água do dessalinizador e também pelos representantes das instituições públicas que irão apoiar a gestão do sistema de dessalinização pela comunidade. Os Acordos também ajudam a resolver os conflitos internos e possibilitam que a própria comunidade tome as decisões relacionadas à gestão do sistema de dessalinização.

8 USO DO CONCENTRADO

O concentrado é armazenado em um reservatório para ser utilizado ou encaminhado aos tanques de contenção. De acordo com a qualidade da água e os costumes da comunidade, o concentrado pode ser utilizado em cochos para dessedentação animal ou pela própria comunidade para uso secundário doméstico.

Em comunidades que atendam aos requisitos técnicos estabelecidos pelo PAD, esse concentrado pode ser utilizado no sistema produtivo integrado sustentável. O sistema de produção integrado foi desenvolvido pela Embrapa Semiárido para se tornar uma alternativa de uso adequado para o subproduto (concentrado) do sistema de dessalinização, minimizando impactos ambientais e contribuindo para a segurança alimentar.

O sistema de produção é composto por quatro subsistemas interdependentes: no primeiro, o sistema de dessalinização torna a água potável; no segundo, o concentrado é enviado para tanques de criação de peixes (tilápia); no terceiro, o concentrado dessa criação, enriquecido em matéria orgânica, é aproveitado para a irrigação da erva-sal (*Atriplex Nummularia*) que, por sua vez, é utilizada na produção de feno; no quarto, a forragem, com teor protéico entre 14 e 18%, é utilizada para a engorda de caprinos e/ou ovinos da região, fechando assim o sistema de produção integrado ambientalmente sustentável. Para maiores informações sobre o sistema de produção procurar a Coordenação Estadual do Programa Água Doce.

9 USO DE SOFTWARE PARA PROJETOS DE DESSALINIZADORES.

Antes de iniciar a segunda fase que, segundo a metodologia do Programa Água Doce, compreende a implantação ou recuperação dos sistemas de dessalinização nas comunidades selecionadas na primeira fase, se faz necessária a análise da composição físico-química das águas dos poços e a elaboração dos projetos dos dessalinizadores das comunidades selecionadas

Como foi visto anteriormente, o projeto e a instalação de um equipamento de dessalinização com membranas deve ser precedido de uma análise sobre o objetivo (consumo humano) e a qualidade da água que se deseja produzir (água potável), avaliação detalhada da qualidade da água da fonte hídrica (água subterrânea) e de seu fornecimento ao longo do tempo (vazão do poço). Os projetos dos dessalinizadores utilizando tecnologia de membranas de osmose inversa são de fundamental importância para garantir a operação e a viabilidade econômica dos sistemas que serão implantados nas comunidades.

O objetivo da avaliação da qualidade da água da fonte hídrica além de classificá-la quanto ao objetivo de sua utilização é também, verificar a tendência para formação de incrustações na superfície das membranas e propor ações de prevenção, tais como a necessidade de um pré-tratamento da água de alimentação do sistema ou a detecção da necessidade de limpeza química das membranas através do monitoramento das variáveis do sistema de dessalinização na terceira fase de execução.

Os dados necessários sobre a fonte de alimentação de cada dessalinizador são obtidos através dos relatórios dos testes de bombeamento (vazão dos poços) e das análises físico-químicas realizados na primeira fase de execução.

A configuração de fluxo selecionada é a "Plug Flow" sem recirculação do concentrado, que é padrão para sistemas de dessalinização implantados em comunidades do semiárido brasileiro. Os dessalinizadores são projetados para operação em batelada com tempo de operação determinado (h/dia) em função da demanda por água para fins primários (consumo humano) da comunidade, considerando uma demanda de 40 L/dia.família e que a água de alimentação poderá ou não ser continuamente reposta no reservatório durante a operação do sistema. Não são utilizados sistemas de passo duplo, por não serem aplicados para os objetivos do programa.

Para seleção do tipo de membrana são seguidas as seguintes especificações técnicas descritas no Anexo 12.4:

- Membranas de osmose inversa de alta rejeição, com taxa de rejeição mínima de 99,5%, pressão de trabalho 600 PSI, área nominal 85 ft, configuração espiral, polímero poliamida aromática de película fina TFC, cada elemento de membrana apresentando uma área de 78 ft², GPD = 2400 com diâmetro de 4" comprimento de 40".

- Limites de operação:

Temperatura máxima de operação: 45 °C.

Pressão máxima de operação: 42 bar.

Fluxo máximo de alimentação: 3,6 m³/h.

SDI máximo (15 min): 5.

Faixa pH durante operação: 2 – 11.

Faixa de pH durante limpeza química: 1 – 13.

Máxima concentração de cloro livre: < 0,10 ppm

Turbidez máxima para operação: 1 NTU

Através da ficha técnica da membrana selecionada é possível obter o fluxo de projeto ou fluxo médio do elemento de membrana que é de 31 L/m².h. A partir desse valor e da produção do permeado (m³/h) é possível calcular, com auxílio das Equações 1 e 2, o número de elementos de membrana e de vasos de pressão para cada dessalinizador projetado.

A etapa seguinte consiste na simulação com auxílio de um software para encontrar o melhor projeto com a melhor recuperação, equilíbrio do fluxo do permeado, obter as pressões de alimentação, estimar a qualidade do permeado do sistema, bem como, obter todos os dados de operação de todos os elementos de membranas individuais. Como exemplificação, segue uma simulação utilizando o Software Rosa 9.1 da Filmtec, cuja interface apresenta seis janelas que serão descritas a seguir:

- 1) **“Project Information”**: Nessa janela são preenchidas informações sobre o projeto que será elaborado, tais como, nome, notas técnicas, autor do projeto, seleção do sal que será utilizado para realizar o balanço na composição iônica da alimentação e sistema de unidades adotado para as variáveis de projeto, conforme pode ser visto na Figura 20.

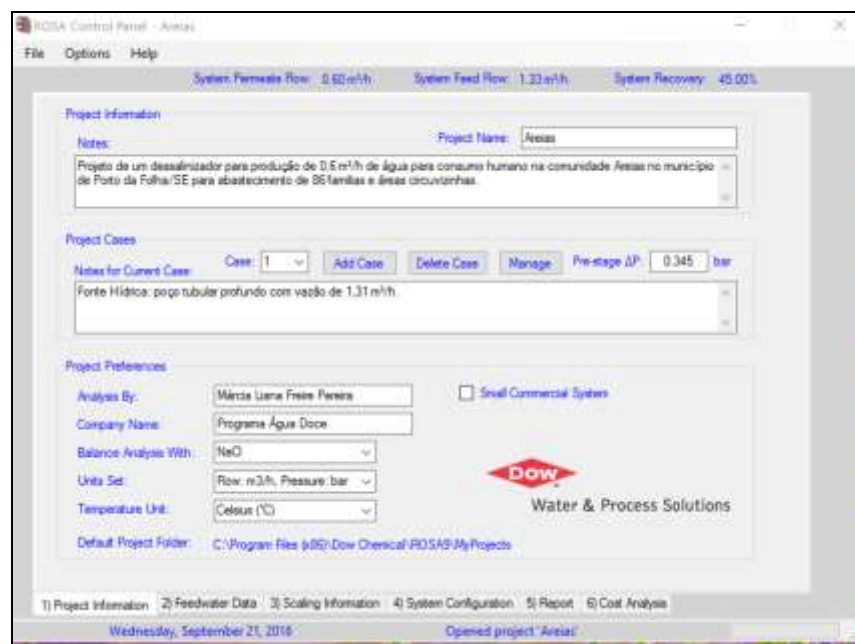


Figura 20. Janela “Project Information” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec).

- 2) **“Feedwater Data”**: Nessa janela são preenchidas informações sobre a alimentação do sistema, tais como, tipo ou fonte hídrica, quantidade de fontes de alimentação, percentual de cada fonte na alimentação, composição iônica, temperatura e pH. Ao preencher os íons individualmente, o software realiza um balanço adicionando o cátion ou anion do sal que foi selecionado na janela anterior para que a carga iônica de cátions e anions presentes em solução seja igual. O software possui a opção de se trabalhar no projeto utilizando somente o TDS em mg/L da alimentação, conforme podem ser visualizados nas Figuras 21 e 22.

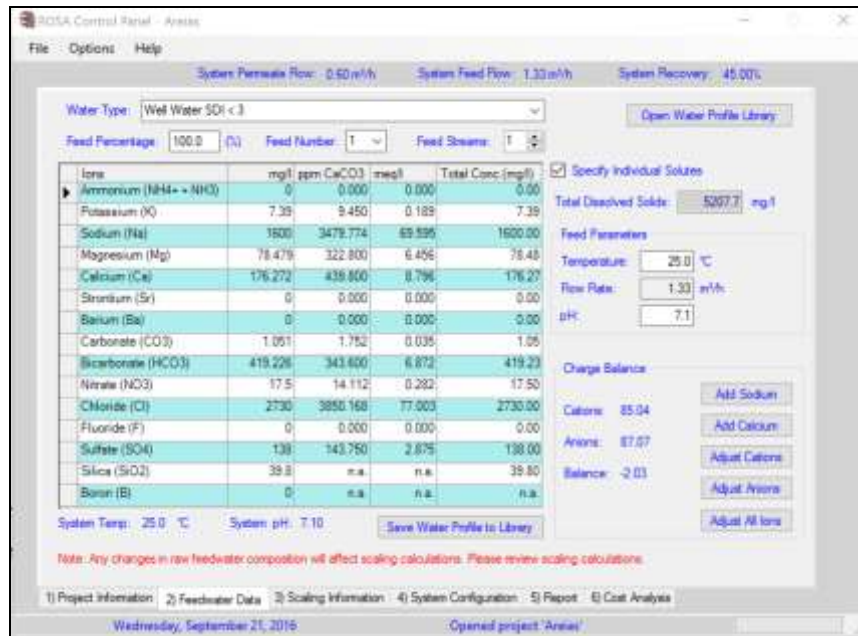


Figura 21. Janela “Feedwater Data” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec), com balanço iônico para a concentração dos íons individuais apresentados para a água do poço da comunidade Areias no município de Porto da Folha/SE.



Figura 22. Janela “Feedwater Data” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec), preenchida com a concentração de TDS em mg/L apresentada para a água do poço da comunidade Areias no município de Porto da Folha/SE.

3) “Scaling Information”: Nessa janela são apresentados os potenciais de incrustação calculados pelo software a partir das

concentrações dos íons individuais preenchidos na janela anterior. Caso haja necessidade de realizar um pré-tratamento com inibidores de incrustação, um aviso é emitido com base nesses resultados, sendo possível fazer a escolha de um pré-tratamento adequado para água de alimentação do sistema, conforme mostra a Figura 23. Ainda nessa janela pode-se fazer ajustes no pH da água de alimentação em caso de águas ácidas (pH abaixo de 7,0) ou alcalinas (pH acima de 7,0) para diminuir os riscos de incrustações de sais na superfície das membranas. O software fornece três opções com dosagem de HCl e H₂SO₄ para as águas alcalinas e de NaOH para águas ácidas.

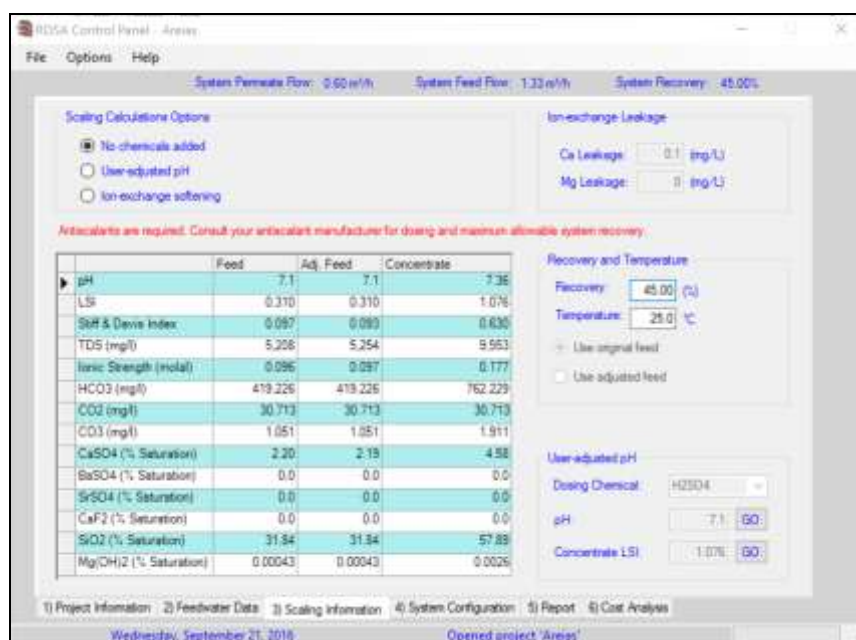


Figura 23. Janela “Scaling Information” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec), com índices de incrustações apresentados para a água do poço da comunidade Areias no município de Porto da Folha/SE.

- 4) **“System Configuration”**: Nessa janela são escolhidas as configurações do sistema, tais como, números de passos, números de estágios, número de vasos de pressão, números de elementos de membranas, tipo de membrana, vazão do permeado (produção do sistema) e recuperação, conforme pode ser visto na Figura 24.
- 5) **“Report”**: Nesta janela da interface são gerados dois relatórios. O

primeiro relatório (System Design Overview) mostra a configuração planejada e todos os dados de projeto do dessalinizador, conforme pode ser visto na Figura 25. O segundo relatório (Detailed Report) apresenta os cálculos de incrustação e composições da alimentação, permeado e concentrado, conforme pode ser visto na Figura 26.

- 6) **“Cost Analysis”**: A última janela da interface do software é usada para se fazer uma análise de custos do projeto elaborado, conforme pode ser observado através da Figura 27.

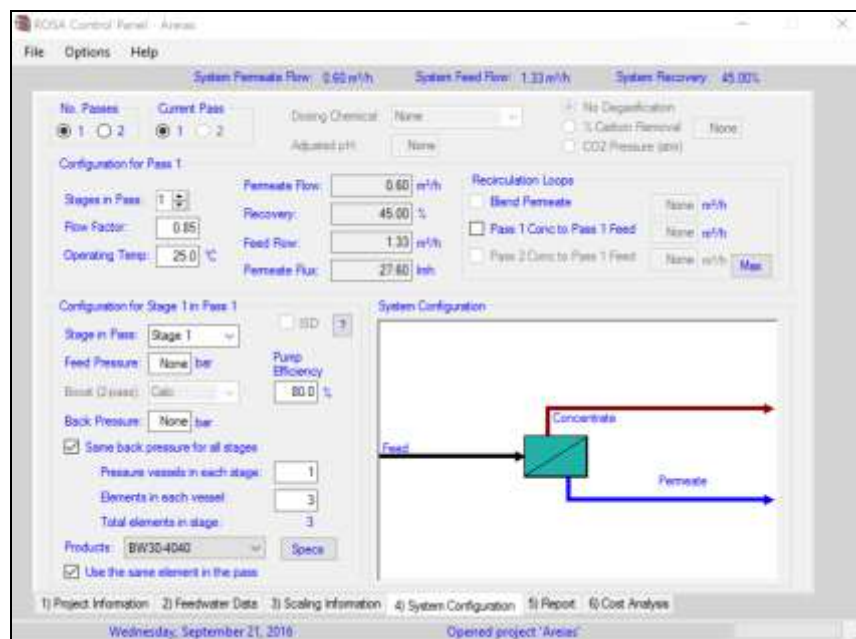


Figura 24. Janela “System Configuration” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec).

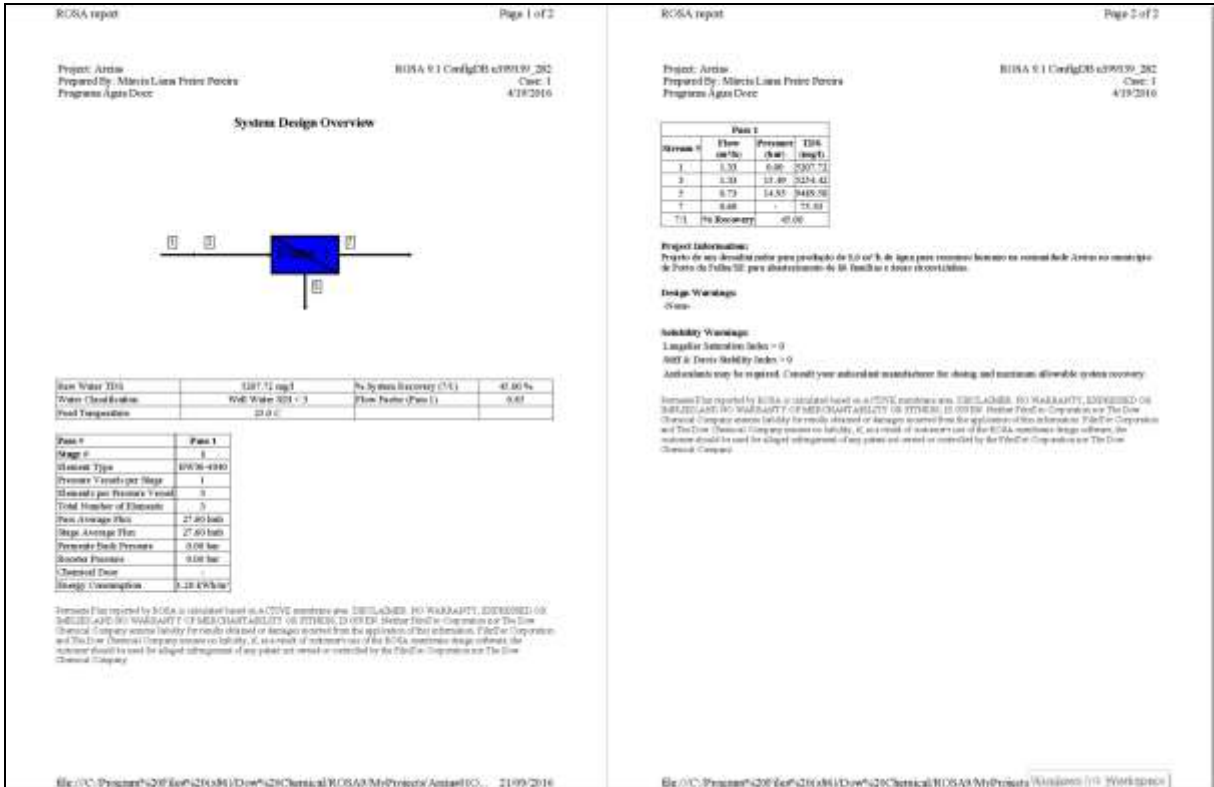


Figura 25. Relatório “System Design Overview” gerado pelo Software ROSA 9.1 (Filmtec).

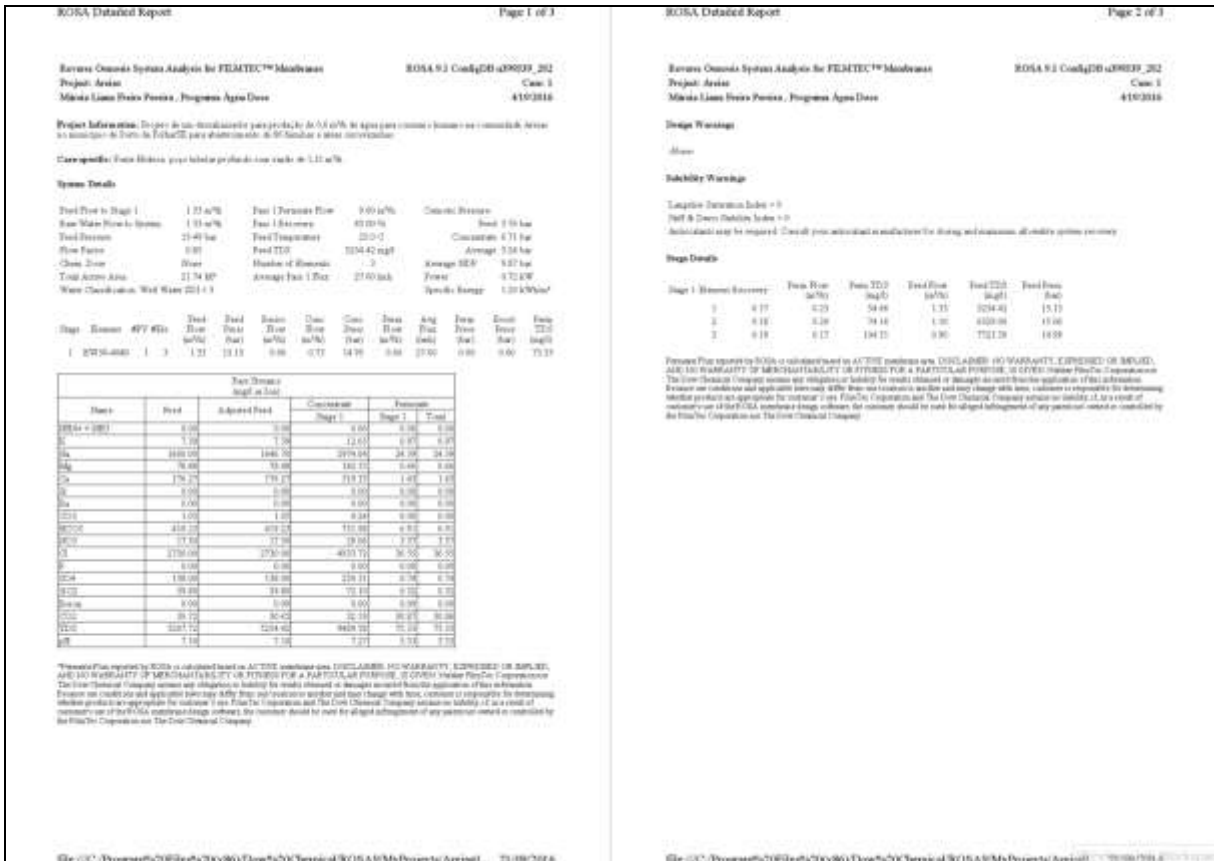


Figura 26. Relatório “Detailed Report” gerado pelo Software ROSA 9.1 (Filmtec).

ROSA Control Panel - Araris

File Options Help

System Permeate Flow: 0.50 m³/h System Feed Flow: 1.33 m³/h System Recovery: 45.00%

	A	B
1		
2	Project Name	Araris
3	Case #	1
4	Project Overview	
5	Unit set for economic evaluation	m ³ -m ³ /h-bar
6	System water production (m ³ /h)	0.50
7	System recovery (%)	45.00
8	Project Economic Variables	
9	Project Life (years)	10
10	Interest rate (%)	10
11	Power cost (\$/kWh)	0.08
12	Pass 1	
13	Projection Results	
14	Pass 1 permeate production (m ³ /h)	0.50
15	Pass 1 feed pressure (bar)	0.34
16	Pass 1 concentrate pressure (bar)	0.00
17	Pass 1 recovery (%)	45.00
18	Pass 1 energy recovery efficiency (%)	
19	Capital Expense	
20	Pass 1 pressure vessels	1
21	Pressure vessel cost (\$/vessel)	0

Print
Export to Excel
Copy to Clipboard

Gray cells are ROSA values
Yellow cells are user inputs
White cells are calculated values

Units Set
 English (gpm, psi)
 Metric (m³/h, bar)

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Wednesday, September 23, 2016 Opened project: Araris

Figura 27. Janela “Cost Analysis” da interface do Software ROSA 9.1 (Filmtec).

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório teve como objetivo elaborar documento que disponha sobre diretrizes e ações do componente Sistemas de Dessalinização do Programa Água Doce para atualização do seu Documento Base. Em cumprimento ao termo de referência do contrato de consultoria o relatório contém texto que discursa sobre contextualização, metodologia, revisão bibliográfica, projetos, custos atualizados, anexos, informações atualizadas, fotos, diagramas, tabelas, planilhas, gráficos e ilustrações atualizadas sobre o tema da dessalinização.

Utilizando como referências principais, o Documento Base do Programa Água Doce e as Orientações Técnicas repassadas aos estados, foi construída uma proposta buscando atualizar as informações contidas no referido Documento, com base em experiências adquiridas em visitas de assessoria e apoio técnico ao desenvolvimento do programa nos estados de forma a atender as necessidades de execução da escala do Programa Água Doce.

Espera-se como resultado deste relatório a contribuição para o fortalecimento das ações voltadas para a convivência com a semiáridade, no cumprimento a contratação de serviços especializados para elaboração de documentos que subsidiem as ações voltadas para o combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, conforme objetivos do Departamento de Combate à Desertificação da Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável do Ministério do Meio Ambiente (DCD-SEDR/MMA) em suas iniciativas, especialmente nas Áreas Suscetíveis à Desertificação.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROLAB. Disponível em www.agrolab.com.br/agua.htm#Amostragem. Acessado em outubro/2008.

AMJAD, Z., Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications, Van Nostrand-Reinold, New York, 1992.

ANG, W. S., LEE, S. & ELIMELECH, M., Chemical and physical aspects of cleaning of organic-fouled reverse osmosis membranes, Journal of Membrane Science, v. 272, p. 198-210,2006.

BRANDT, D. C., LEITNER, G. F. & LEITNER, W. E., Reverse osmosis membrane states of the art. In Zahid Amjad (ed), Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications, Van Nostrand-Reinold, New York, 1993.

BYRNE, W., Reverse Osmosis – A practical guide for industrial users, Tall Oaks Publishing, Inc., 2nd edition, USA, 2002.

DERISIO, J. C. Introdução ao Controle de Poluição Ambiental. Oficina de Textos, 4ª Edição, São Paulo, 2012.

DESSALINATION: A NATIONAL PERSPECTIVE, Committee on Advancing Desalination Technology, National Research Council, EUA, 2008.

DOW LATIN AMERICA, A tecnologia de membrana de osmose reversa. Boletim Técnico, 1996.

EDSTROM. http://www.edstrom.com/Resoirces.cfm?doc_id=161. Acesso em março/2003.

EL-DESSOUKY, H. T. & ETTOUNEY, H. M., Fundamentals of salt water desalination, Elsevier, Amsterdam, 2002.

EL-MANHARAWY, S. and HAFEZ, A., Molar ratios as a useful tool for predictions of scaling potencial incide RO systems. Desalination, vol. 136, pp.243-254, 2001.

FERNANDES, C., Texto organizado a partir de "notas de aula" do curso Análise de Água e de Esgotos, Departamento de Eng. Civil do CCT/UFCG. Disponível em: <http://www.saneamento10.hpg.ig.com.br/Agua00.htm?submit=Voltar+ao+%CDndice>

FERREIRA, W. B. *Solução Alternativa de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Difusas: Monitoramento e Controle de Qualidade da Água*. (folhas). 158. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FILMTEC, Tech Manual, Dow Chemical Company.

FRANÇA, K. B., *Aplicação da Osmose Inversa em Desalinização*. Escola Latino América de Membranas e Processos com Membranas, Campina Grande, 2007.

GABELICH, C. J., YUN, T. I., COFFEY, B. M. et al., Pilot-scale testing of reverse osmosis using conventional treatment and microfiltration, *Desalination*, v.154, p 207-223, 2003

GHAFOUR, E. E. A., Enhancing RO system performance utilizing antiscalants. *Desalination* 153: 149-153, 2002.

GWON, E., YU M., OH H., YLEE Y., Fouling characteristics of NF and RO operated for removal of dissolved matter from groundwater. *Water Research* 37: 2989-2997, 2003.

HABERT, A. C., BORGES, C. P. E NÓBREGA, R., *Processos de separação com membranas*. Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 1997.

HYDRANAUTICS. Disponível em: <http://ww.nitto.com/product/datasheet/membrane>. Acesso em dezembro/2008.

KERR, T. J. & McHALE, B., *Application in general microbiology: A laboratory manual*. 6th ed. Hunter Textbooks INC., Winston-Salem, 2001.

KLEIJNEN, R.G.. The Chlorine Dilemma. [S.l.]: Eindhoven University of Technology, 2011. 3–49 pp.

KO, A. and GUY, D. B., Brackish and seawater desalting. In: Reverse Osmosis Technology: applications for high purity water production (PAREKH, B. S. ed.), Marcel Dekker inc., New York, pp. 185-278, 1998.

LEE, S., ANG, W. S. & ELIMELECH, M., Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter: implications for water reuse. *Desalination*, v. 187, p. 313-321, 2006.

LIRA, R. H. P., Avaliação do pré-tratamento de um sistema de dessalinização piloto via osmose inversa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2004.

LOBÃO, J. S. B. et al., Banco de Dados Biorregional para o Semiárido no Estado da Bahia. Anais XII do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, 2237-2244p.

MALLEVIALLE, J., ODENDAAL, P.E. & WIESNER, M.R., The emergence of membranes in water and wastewater treatment. In: Joel Mallevalle et al (eds), *Water Treatment Membrane Processes*, pp. 1.1-1.10. McGraw Hill, New York, 1996.

MANUAL DE DESSALINIZAÇÃO PARA PLANEJADORES, Secretaria de Recuperação, Engenharia e Centro de Pesquisas de Denver, Colorado, EUA. Primeira Edição, 1972.

MIGAS, Disponível em: <http://www.migas-indonesia.com/files/article/ro.pdf>. Acesso em maio/2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Grupo de Trabalho Interministerial para redelimitação do Semi-Árido Nordeste e do Polígono das Secas. Relatório final, Brasília: Janeiro de 2005.

MMA. *Documento Base do Programa Água Doce*. 2010. Disponível no sítio eletrônico <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce/>. Acesso em agosto/2016.

OLIVEIRA, D. R., Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando a microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas, Dissertação - (Mestrado em Engenharia Química), UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, E., A utilização de ácidos orgânicos combinados na limpeza e recuperação de poços tubulares incrustados: o exemplo de Tietê (SP). X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

RAUTENBACH, R., ALBRECHT, R. Membrane Processes. New York, John Wiley e Sons, 1989.

SCHNEIDER, R. P., & TSUTIYA, M. T., *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*. São Paulo: ABES, 1ª ed, 2001.

SILVA, M. S. L. da; M., C.E.S. ; ANJOS, J. B. dos ; H., A.P.M ; SILVA, A. de S.; BRITO, L. T.de L. Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. In: BRITO, L. T.de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Org.). *Potencialidades da água de chuva no SemiÁrido brasileiro*. 1 ed. Petrolina, PE: Embrapa SemiÁrido, 2007, v. 1, p. 121-137.

SOUSA, S. E. H., Normalização de sistemas de dessalinização via osmose inversa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

TAYLOR, J. S. & JACOBS, E.P. Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevalle et al (Ed). *Water Treatment Membrane Processes*. New York: McGraw Hill, 1996.

ROUWENVELDER, H. S., PAASSEN, J. A. M. van, FOLMER, H. C., HOFMAN, A. M. H. , NEDERLOF, M. M. & KOOIJ, D. van der, Biofouling of membranes for drinking water production, *Desalination* 118: 157-166, 1998.

VROUWENVELDER, J.S. & KOOIJ, D. van der, Diagnosis of fouling problems of NF and RO membrane installations by a quick scan. *Desalination* 153: 121-124, 2002.

WAGNER, J., Membrane Filtration Handbook – Practical tips and hits. Second Edition. Osmonics Filtration and Separation Group. Minnetonka, 2001.

12 ANEXOS

12.1 GRÁFICOS PARA CÁLCULOS DOS POTENCIAIS DE INCRUSTAÇÃO.

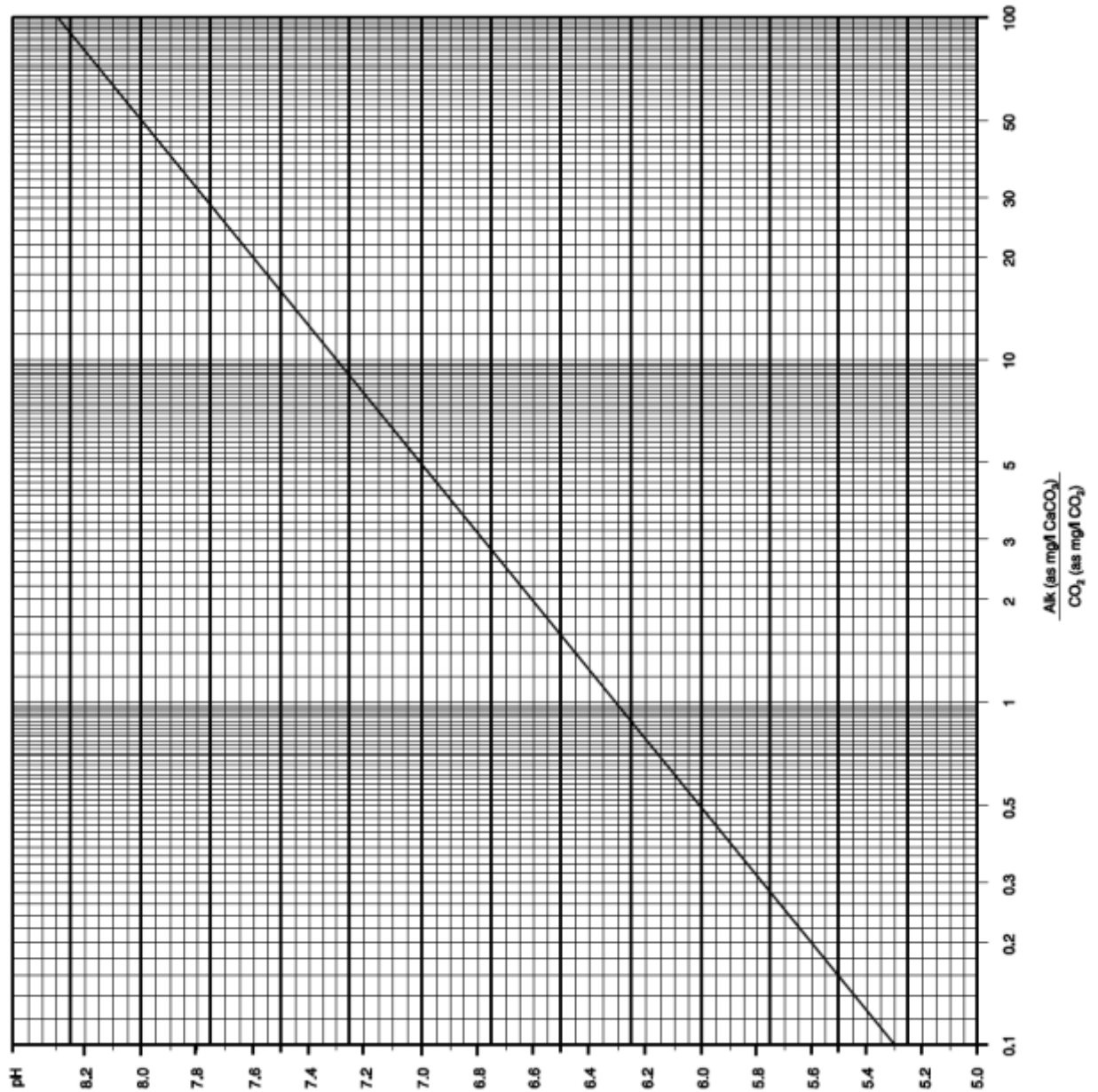


Gráfico 1. pH em função da relação Alcalinidade/CO₂ livre (Filmtec, 2008).

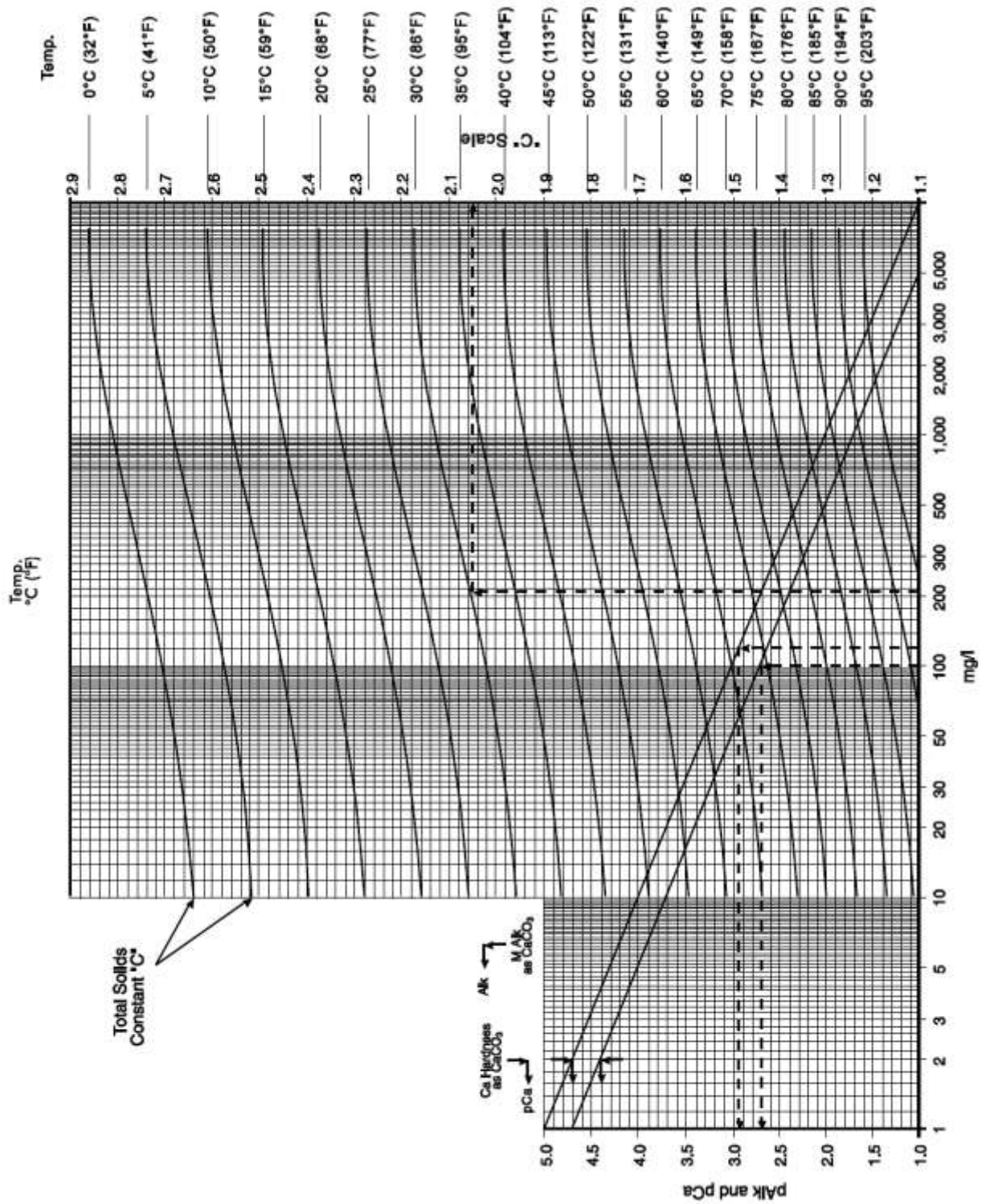


Gráfico 2. Determinação do Índice de Saturação de Langelier (Filmtec, 2008).

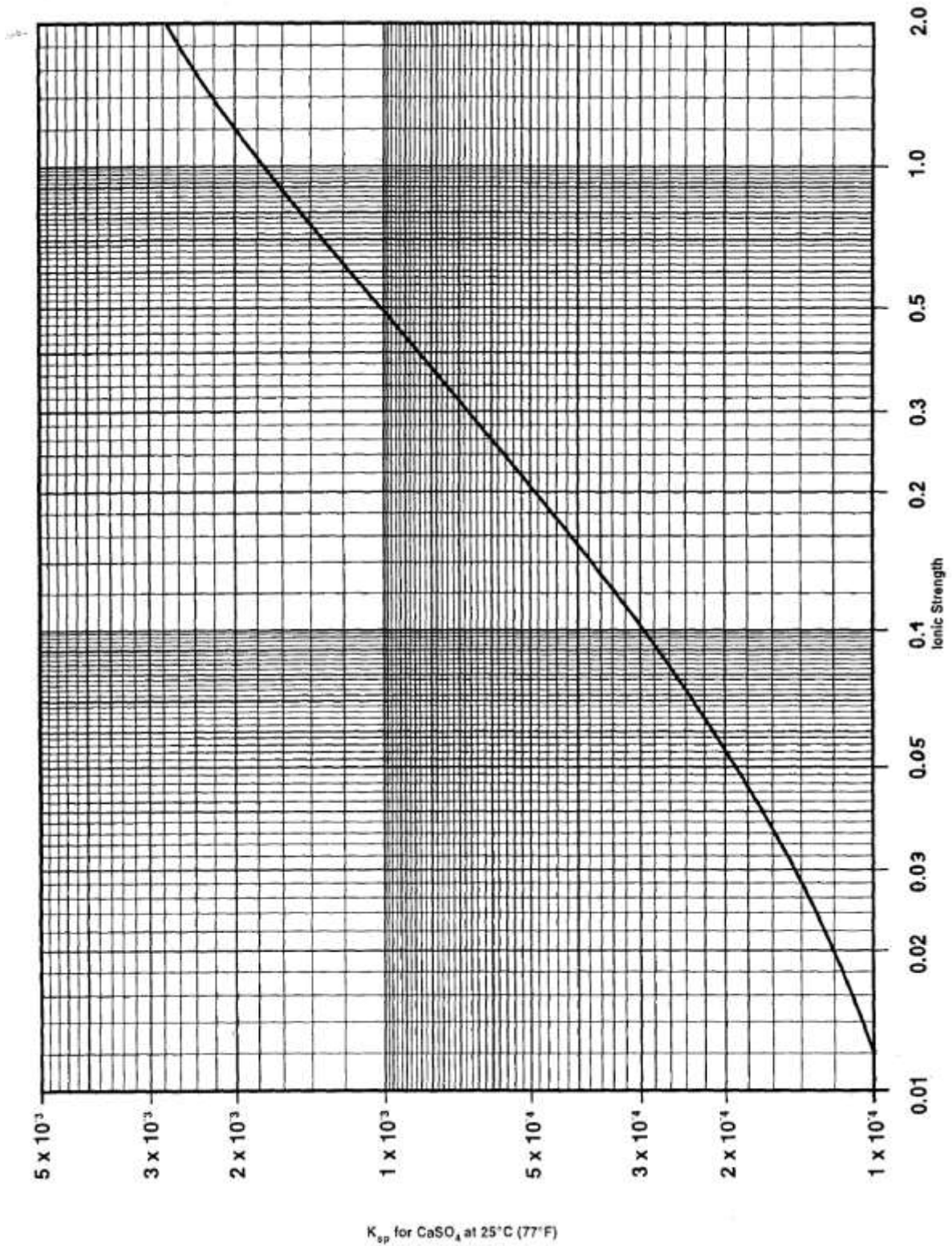


Gráfico 3. Produto de solubilidade para Sulfato de Cálcio em função da força iônica da solução (Filmtec, 2008).

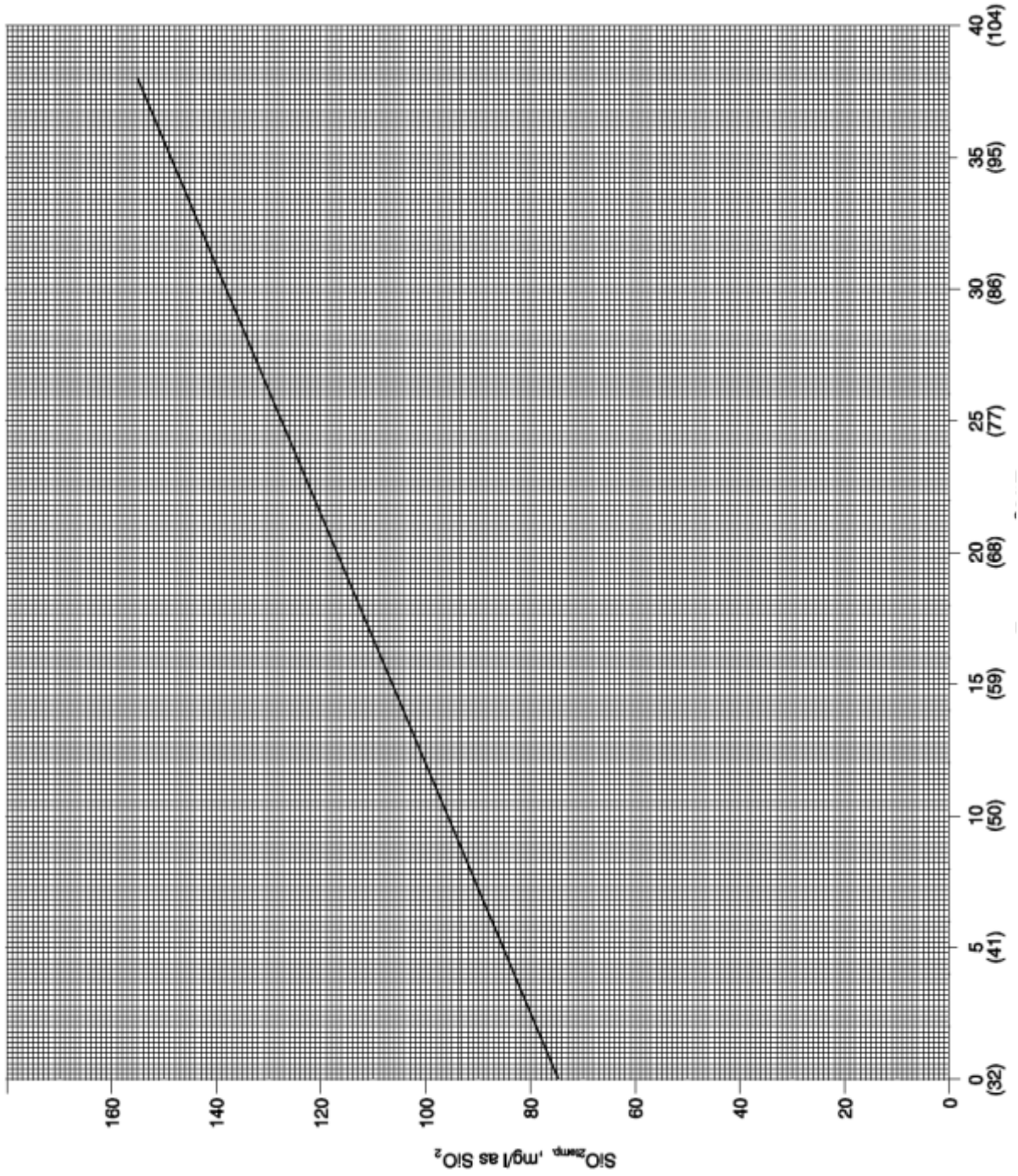


Gráfico 4. Solubilidade da Sílica em função da temperatura (Filmtec, 2008).

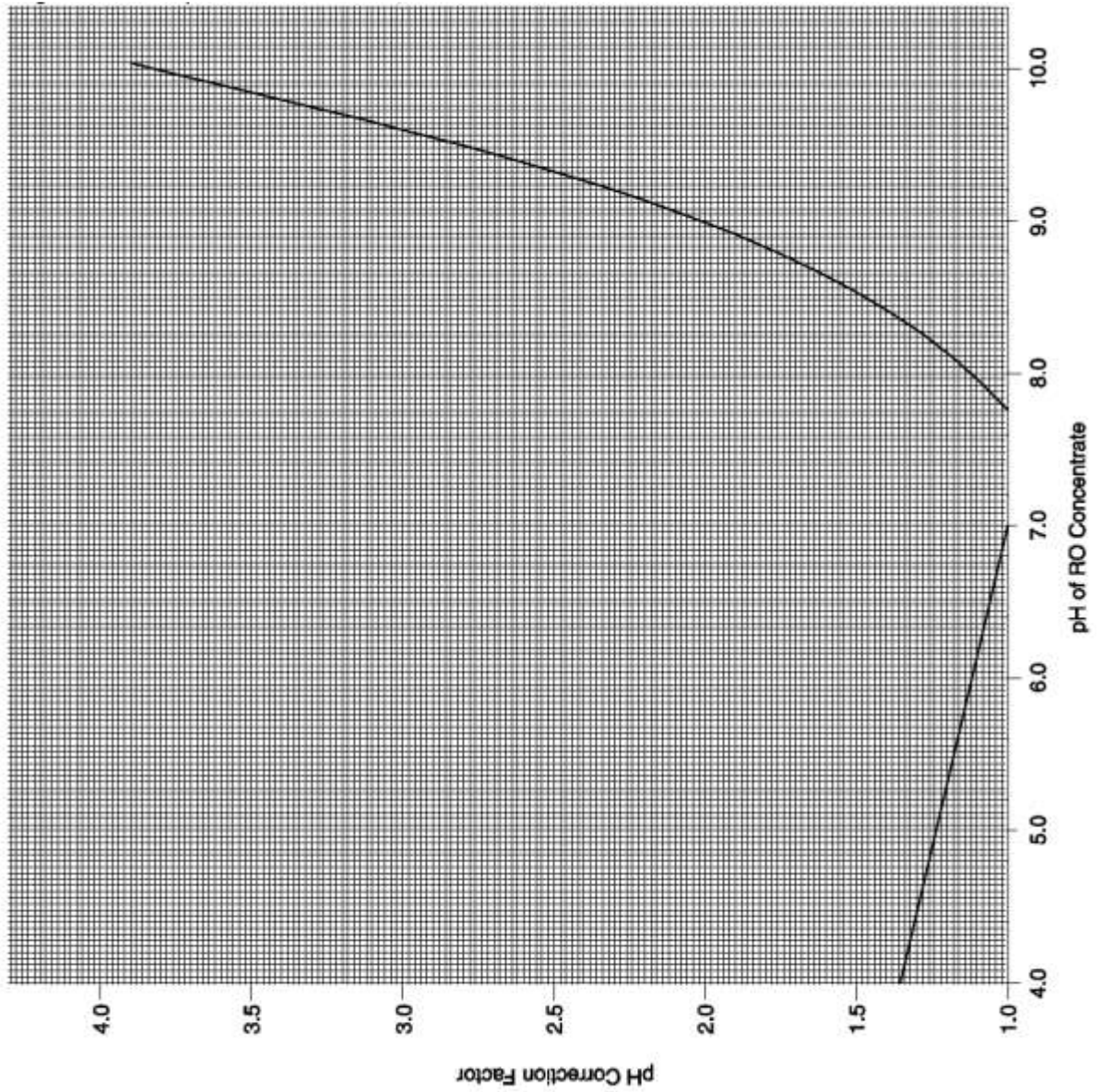


Gráfico 5. Fator de correção do pH para Sílica (Filmtec, 2008).

12.2 DIAGNÓSTICO TÉCNICO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO.

O diagnóstico técnico do sistema de dessalinização deverá constar de um relatório completo com registro fotográfico contendo no mínimo os seguintes pontos:

- **Identificação**

1. Município / Localidade.
2. Órgão responsável pelo sistema e/ou que instalou.
3. Nome(s) do(s) operador(es).
4. Número de famílias na localidade.

- **Obras Cíveis**

1. Breve descrição sobre os aspectos físicos do sistema.
2. Diagnóstico das obras cíveis.

Obs: Deverão ser diagnosticadas todas as estruturas que integram os sistemas (Abrigo do dessalinizador, reservatórios, chafariz, cercas, etc.), quantificando e detalhando o estado de conservação, itens que precisam ser recuperados, reformados, substituídos.

- a. Fundações e infra-estrutura.
- b. Alvenaria.
- c. Estrutura.
- d. Revestimento.
- e. Forros e coberturas.
- f. Piso.
- g. Esquadrias.
- h. Pintura.
- i. Instalações elétricas.
- j. Impermeabilizações.
- k. Cercas.
- l. Tubulações hidráulicas.
- m. Tanques de contenção.

- **Poço:**

1. Teste de produção completo.
2. Laudos de análises físico-química e bacteriológica da água do poço com interpretações sobre a qualidade da água para abastecimento do dessalinizador e para o consumo humano.
3. Coordenadas geográficas do poço.
4. Informações sobre a rede elétrica (distância do poço a rede elétrica, tipo de rede elétrica, se existe queda de tensão ou sobrecarga, etc.).
5. Informações sobre a forma de captação da água do poço (informar o tipo de motobomba, potência, características, quadro elétrico, se está em funcionamento, motivos de paradas, etc.).
6. Informações sobre o abrigo para o quadro de comando (condições de conservação da alvenaria, cobertura, portão, etc.).

7. Informações sobre o estado das tubulações hidráulicas.
8. Distância do poço ao dessalinizador.

- **Dessalinizador**

1. Funcionamento do dessalinizador (tempo de operação, tempo de instalação, distribuição da água dessalinizada, manutenções, motivos de paradas, etc.).
2. Informações sobre o estado dos filtros de cartucho (condições, dimensões, tipo, frequência das trocas, número de filtros, estoque de filtros, etc.)
3. Informações sobre as condições dos copos dos filtros (dimensões, vazamentos, rachaduras, substituição, número de copos, etc.).
4. Informações sobre motobombas (vazamentos, ruídos, funcionamento, manutenções, tipo de bomba, potência, etc.):
 - a. Bomba auxiliar.
 - b. Bomba de alta pressão.
 - c. Bomba de retrolavagem.
5. Informações sobre bombas dosadoras de produtos químicos (funcionamento, vazamentos, ruídos, manutenções, tipo, modelo, etc.).
6. Informações sobre produtos químicos utilizados no pré-tratamento da água do poço (tipo, quantidade estocada, condições de armazenamento, validade, etc.).
7. Informações sobre a higiene e conservação dos tanques (bombonas) de armazenamento da solução utilizada no pré-tratamento da água do poço e de armazenamento do permeado para lavagem das membranas ao final da operação do dessalinizador.
8. Informações sobre as condições das tubulações hidráulicas (baixa pressão, alta pressão, mangueiras, conexões, válvulas e registros).
9. Informações sobre as condições dos vasos de alta pressão (número de vasos, dimensões, tipo de fechamento, vazamentos, peças quebradas, pintura, etc.).
10. Informações sobre as membranas (tipo, dimensões, número de membranas, quantidade estocada, etc.).
11. Informações sobre o funcionamento dos manômetros (faixas de leituras de pressões, modelos, conexões, mangueiras, leituras das pressões em dessalinizadores que estejam operando, etc.).
12. Informações sobre o funcionamento dos rotâmetros (faixas de leituras de vazões, modelos, conexões, leituras das vazões em dessalinizadores que estejam operando, etc.).
13. Informações sobre o quadro de comando elétrico (estado de conservação, substituição de componentes, botoeiras, sinaleiras, contactores, etc.).
14. Informações sobre o pressostato.
15. Informações sobre a rede elétrica (tipo de rede elétrica, presença de queda de tensão ou sobrecarga, etc.).
16. Informações sobre a estrutura metálica (tipo, estado de conservação, suportes, pintura, pés vibra-stop, etc.).
17. Informações sobre demais itens que compõem o dessalinizador.
18. Medições da condutividade elétrica da água nas correntes de alimentação, permeado e concentrado em dessalinizadores que estejam operando.

19. Laudos de análises físico-química e bacteriológica da água nas correntes de alimentação, permeado e concentrado com interpretações sobre a qualidade da água para abastecimento do dessalinizador e para o consumo humano (caso o dessalinizador esteja funcionando).
20. Informações sobre a higiene e conservação dos reservatórios:
 - a. Alimentação (água do poço).
 - b. Permeado.
 - c. Concentrado.
21. Informações sobre pós-tratamento do permeado caso exista no sistema de dessalinização (cloração, adição de sais, etc.).
22. Informações sobre o chafariz do permeado (tipo, higiene, conservação, etc.).

- **Resultados**

1. Indicação da instalação de um novo sistema de dessalinização ou recuperação de um sistema existente tendo como referência os critérios e a metodologia do Programa Água Doce.
2. Memorial descritivo completo com projetos, dimensionamento de equipamentos, especificações e quantificações dos itens para implantação de um novo sistema de dessalinização ou recuperação de um sistema existente (obras civis, poço e dessalinizador).
3. Planejamento, especificações e quantificações dos itens necessários para monitoramento e manutenção preventiva do sistema de dessalinização (obras civis, poço e dessalinizador).

12.3 PLANILHA DE MONITORAMENTO DO DESSALINIZADOR.

Município: _____ Estado: _____

Localidade: _____

Nome(s) do(s) operador(es): _____

Data	P1 (kgf/cm ²)	P2 (kgf/cm ²)	P3 (kgf/cm ²)	P4 (kgf/cm ²)	Q1 (L/min)	Q2 (L/min)

Onde: P1= Pressão de entrada dos filtros; P2= Pressão de saída dos filtros; P3= Pressão de entrada das membranas; P4 = Pressão de saída das membranas; Q1= Vazão do concentrado; Q2= Vazão do permeado.

12.4 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA UM DESSALINIZADOR COM 6 MEMBRANAS.

1. Produção de água dessalinizada = 1 m³/h
2. Vasos de alta pressão:

02 (dois) vasos de alta pressão completos de fibra de vidro reforçado, diâmetro interno de 4", composto com molas elásticas, tampas (ou espelhos), etc., cada um com capacidade de encapsular 03 elementos de membranas.
3. Membranas:

06 (seis) elementos de membranas de osmose inversa de alta rejeição (percentual de rejeição de sais de 99,3 a 99,5%), revestimento em fibra de vidro, modelo espiral TFC. Cada elemento de membrana apresentando uma área de 78 pe², GPD = 2400 com diâmetro de 4" e comprimento de 40".

Limites de operação:

 - Temperatura máxima de operação: 45 °C
 - Pressão máxima de operação: 41 bar
 - Fluxo máximo de alimentação: 3,6 m³/h
 - SDI máximo (15 min): 5
 - Faixa de pH durante operação: 2 – 11
 - Faixa de pH durante limpeza química: 1 – 13
4. Pré-tratamento químico composto de:

01 (uma) bomba dosadora para solução de anti-incrustante, com fluxo ajustável, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, com filtro em polietileno, válvulas em Viton, diafragma em P.T.F.E. e válvula de injeção em polipropileno;

01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros;

01 (uma) bombona de 25 kg do produto anti-incrustante concentrado e aprovado pelo fabricante das membranas.
5. Pré-tratamento físico composto de:

04 (quatro) carcaças para filtros de cartuchos de polipropileno, com 30 cm de comprimento;

01 (uma) caixa contendo 30 unidades de elementos de filtros de cartuchos de polipropileno de 5 µm e tamanho nominal de 2.1/2" x 10". A vazão nominal dos filtros deverá ser igual a ± 180% da vazão de alimentação do sistema, com uma variação de até 12% para mais ou menos.
6. Medidores de pressões:

02 (dois) manômetros glicerizados, com caixa em aço inox, diâmetro nominal de 63 mm, para painel, apresentando a faixa de (0,0 a 4,0) kgf/cm²;

02 (dois) manômetros glicerizados, com caixa em aço inox, diâmetro nominal de 63 mm, para painel, apresentando a faixa de (0,0 a 20,0) kgf/cm².
7. Medidores de vazão:

01 (um) medidor de vazão tipo rotâmetro, com flutuador e eixo em inox, com faixa de leitura variável de (0 a 35) L/min para o permeado;

01 (um) medidor de vazão tipo rotâmetro, com flutuador e eixo em inox, com faixa de leitura variável de (0 a 35) L/min para o concentrado.

8. Bomba auxiliar:

01 (uma) bomba centrífuga horizontal, com motor monofásico blindado de ½ CV, com carcaça e rotor em termoplástico de engenharia reforçado com fibra de vidro, eixo em aço inox e selo mecânico em grafite com borracha nitrílica e mola em aço inox.

9. Bomba de alta pressão:

01 (uma) bomba booster de alta pressão, multiestágio, com motor **trifásico** blindado de 3,0 CV, com intermediária, eixo, carcaça bocal e carcaça do difusor em aço inox, impulsor e difusor em noryl, selo mecânico em grafite com borracha nitrílica e mola em aço inox.

Obs.: Verificar a rede elétrica da localidade.

10. Sistema de Proteção:

01 (um) pressostato para proteção da bomba de alta pressão com *switch* para desligamento automático em caso de falta de água, faixa de regulagem de 0,2 a 7,0 bar e diferencial ajustável de 0,5 a 7,0 bar.

11. Sistema de retrolavagem:

01 (uma) bomba centrífuga horizontal com motor monofásico blindado de 1/3 CV, com carcaça e rotor em termoplástico de engenharia reforçado com fibra de vidro resistente à abrasão e corrosão, eixo em aço inox, selo mecânico em grafite e borracha nitrílica e mola em aço inox.

01 (uma) bombona de plástico com tampa, de 80 litros para armazenamento de água permeada.

12. Sistema elétrico:

01 (um) quadro de comando completo, com disjuntor geral compatível com a potência dos motores instalados, rele de falta de fase (para sistemas trifásico), disjuntor motor/contactador ou chave magnética (contactador/rele de sobrecarga), chaves de partida liga-desliga, led nas cores verdes para indicação de motor operando e vermelho para pressostato ou bóia elétrica, voltímetro 220/380 V e amperímetro analógicos, calhas ventiladas para condução dos cabos, conectores SAK para saída/entrada dos comandos, pensa cabo na parte inferior do quadro, sistema de automação com bóias elétricas de nível (caixa do permeado e caixa da água bruta do poço), cabos dos comandos nas cores normatizadas, com terminais e numerados.

13. Tubulações:

Para baixa pressão na linha do reservatório da água do poço e alimentação do sistema, em PVC soldável de Ø 50 mm e reduções necessárias a posterior.

Para alta pressão em CPVC (aquatherm) de Ø 28 mm e Ø 22 mm, ou PPR de termofusão de Ø 32 mm e Ø 25 mm, ou aço inox 304, Schedule 40S e 10S.

14. Estrutura metálica:

Construída em aço carbono, com tratamento anti corrosivo e pintura a base de tinta epóxi, base inferior de apoio em perfil U de 2"x 3/16" de espessura, demais componentes podendo ser em cantoneira L de 1.1/4" x 1.1/4" x 1/8"; também podendo ser construído em metalon com 40x30x1,2mm para a estrutura básica e perfil menor para outros componentes (mínima de 2,5x2,5x1,2mm para outras partes). Estrutura composta com quatro pés do tipo "vibra-stop".

15. Válvulas e registros:

Válvula globo em aço inox 304, para controle de vazão da bomba booster de alta pressão.

Válvula globo em aço inox 304, para regulagem e controle do rejeito.

Registro de esfera em aço inox para sistema de by-pass (desvio).

16. Pós-tratamento químico composto por:

01 (uma) bomba dosadora eletromagnética para cloro líquido orgânico, com fluxo ajustável, vazão máxima de 10 litros/hora com ampla escala de regulagem do fluxo desde 0 até 100%, pressão máxima de trabalho de 2 a 5 bar, força e pulsos indicados por LEDs, proteção IP65, filtro em polipropileno, válvulas labiais em silicone, válvula de injeção em polipropileno, diafragma em EPDM, cabeçote em polipropileno, nipples em polipropileno e vedações em silicone. Bomba construída em materiais termoplásticos específicos para suportar produtos quimicamente agressivos, ácidos ou alcalinos (sempre especificar que é para cloração de água para consumo humano). O circuito eletrônico deve ser de alta precisão e a prova de explosão, para assegurar vazão constante ao longo do tempo. O acionamento deve ser magnético, eliminando peças rotativas garantindo longa vida útil e sem a necessidade de lubrificação.

01 (um) recipiente de polietileno (bombona) com capacidade para 50 litros.

01 (uma) bombona de 5 kg de cloro orgânico granulado, para água para consumo humano.

Manter o residual de cloro livre mínimo de 0,2 mg/L no reservatório do permeado, em atendimento a Portaria 2.914/2011 MS.

Observações:

- Para equipamentos com outras vazões, observar e adequar a quantidade de vasos de pressão e membranas, tipo das membranas, número de filtros de cartucho e dimensionamento das bombas de acordo com o projeto de dimensionamento do equipamento de dessalinização.
- As membranas e o anti-incrustante deveram ter certificação Padrão NSF/ANSI International em suas respectivas categorias e o anti-incrustante deve ser compatível com as membranas de OI.
- O equipamento deverá ser entregue e instalado no local em no máximo 30 (trinta) dias corridos após a solicitação, juntamente com projeto de dimensionamento do equipamento, manual de operação e termo de garantia do dessalinizador em português.

12.5 MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA – DESSALINIZADORES.

1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO

O objetivo destes Termos de Referência é o estabelecimento de normas, critérios, condições contratuais principais e fornecimento de todas as informações que permitam a elaboração de proposta de fornecimento de equipamentos, peças e serviços para recuperação de dessalinizadores por osmose inversa (bombas, membranas de osmose inversa, componentes, materiais de consumo e serviços).

1.2 TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES

Neste Termo de Referência são utilizadas as expressões relacionadas a seguir, com os significados e interpretações respectivamente indicados:

ATECEL – Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz do Oliveira Júnior.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos.

PAD – Programa Água Doce SRHU/MMA.

LOCAL DE ENTREGA – Local onde serão entregues os materiais.

LICITANTE – Empresa que apresenta a proposta.

CONTRATO – Documento, subscrito pela ATECEL e pela CONTRATADA, que define as obrigações de ambas com relação aos fornecimentos e aos serviços.

CONTRATADA – Empresa contratada responsável pelo fornecimento dos equipamentos para dessalinizadores.

DOCUMENTOS COMPLEMENTARES ou SUPLEMENTARES – Documentos que por força de condições técnicas imprevisíveis, se fizerem necessários para a complementação ou suplementação dos documentos emitidos neste Termo de Referência.

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA – Tipo de norma destinada a fixar as características, condições e requisitos exigíveis a aquisição e execução dos serviços.

FISCALIZAÇÃO – Equipe do Núcleo Estadual do PAD atuando sob a autoridade do Coordenador Estadual, indicada para exercer em sua representação a supervisão e fiscalização do CONTRATO.

TERMOS DE REFERÊNCIA (TR) – Conjunto de informações e prescrições estabelecidas preliminarmente pela ATECEL, no intento de definir e caracterizar as diretrizes, o programa e a metodologia relativos a uma determinada aquisição, trabalho ou serviço a ser executado.

1.3 LOCAL DE ENTREGA E INSTALAÇÃO

A entrega e instalação dos dessalinizadores, após retirada e recuperação, deveram ocorrer na comunidade a qual pertence o dessalinizador, listadas abaixo:

- Município – Localidade
- Município – Localidade, etc.

1.4 CONDIÇÕES GERAIS

1.4.1 ÂMBITO CONTRATUAL DOS FORNECIMENTOS.

- a) OS FORNECIMENTOS dos equipamentos e os serviços serão realizados de acordo com o CONTRATO resultante da licitação a que se refere o presente TR, os quais, juntamente com a proposta da(s) CONTRATADA(s), farão parte integrante do contrato.
- b) A(s) CONTRATADA(s) será(ão) responsável(is) perante a ATECEL pela qualidade e totalidade dos FORNECIMENTOS dos equipamentos e dos serviços, como também no que se refere à observância das especificações técnicas definidas nestes Termos de Referência.
- c) Será de responsabilidade da(s) CONTRATADA(s) o transporte dos equipamentos até o local de entrega e instalação descrito no item 1.3.

1.4.2 SUBCONTRATAÇÃO

Os fornecimentos dos equipamentos e os serviços objeto deste TR não poderão ser transferidos ou subcontratados.

1.4.3 CONFORMIDADE COM O TR

- a) Considera-se que a(s) CONTRATADA(s) conhece(m) plenamente o presente TR e que o aceitam totalmente. As dúvidas deverão ser esclarecidas antes da apresentação da Proposta, em conformidade com os prazos estabelecidos.
- b) Considerar-se-á que a participação da(s) CONTRATADA(s) nesta licitação implica ter verificado e dimensionado as dificuldades inerentes a aquisição, inclusive as informações adicionais fornecidas pela ATECEL em decorrência deste TR de modo plenamente suficiente para assumir o compromisso de executá-lo conforme o CONTRATO que vier a ser assinado.
- c) A não verificação, por qualquer causa, das dificuldades dos fornecimentos e serviços não poderá ser invocada como fonte de alteração dos termos contratuais que venham a ser estabelecidos.

1.4.4 PROCEDIMENTOS

A ATECEL e a(s) CONTRATADA(s) estabelecerão oportunamente procedimentos detalhados visando sistematizar o desenvolvimento do CONTRATO, em particular no referente a: (1) Reunião; (2) Habilitação de pessoal; (3) Comunicações; (4) Fiscalização e (5) Faturamento.

1.4.5 PREVALÊNCIA DE CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Entender-se-á que, em caso de conflito entre as Condições Gerais estabelecidas no item 1.4 e as Condições Específicas estipuladas nas Seções 2, 3 e 4 desse TR, serão estas últimas as condições prevalentes.

2. ESCOPO DA AQUISIÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

2.1.1 O objeto do presente TR é o fornecimento de equipamentos para dessalinizadores (bombas, membranas de osmose inversa, componentes e materiais de consumo) e serviços.

2.1.2 NO FORNECIMENTO dos equipamentos para dessalinizadores serão adotadas as especificações técnicas previstas neste TR (item 2.2). Entender-se-á que a(s) CONTRATADA(s) está(o) obrigada(s) a:

- a) O fornecedor deverá providenciar a embalagem e acondicionamento dos materiais, como for o caso, para evitar sua avaria ou deterioração durante o trânsito ao seu destino, com embalagem resistente sem limitações, ao manejo, sol e chuva durante o trânsito e armazenagem.

- b) No que tange as membranas de Osmose Inversa, as mesmas deverão ser acompanhada de uma relação específica, emitida em papel timbrado da empresa fornecedora em duas vias, contendo os números de serie de cada membrana, para cada dessalinizador.
- c) Os materiais deverão ser novos, sem uso e no caso das membranas de Osmose Inversa com embalagem do fornecedor, não violadas, e com as características informadas pelo Licitante na sua proposta, compatíveis com as especificações técnicas do Edital. A Licitante obriga-se a substituir, sem ônus para a ATECEL, os materiais entregues avariados ou com defeito de fabricação.
- d) Propor a ATECEL especificações alternativas ou complementares nos casos particulares em que se estime haver fundamento técnico-econômico que a justifiquem;
- e) Propor a ATECEL especificações apropriadas, nos casos em que os critérios precedentes não determinarem explicitamente a especificação aplicável.
- f) Os materiais e peças substituídos deverão ser identificados e entregues aos responsáveis pelo sistema.

2.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

2.2.1 BOMBAS

2.2.1.1 BOMBAS DE ALTA PRESSÃO (BOOSTER)

Bomba de alta pressão para dessalinizador por osmose inversa, multi-estágio com motor trifásico blindado, com proteção IP 55, de 2 CV com 20 estágios, de 3 CV com 28 estágios e de 5 CV com 25 estágios, classe de isolamento B, com intermediário, eixo, carcaça bocal e carcaça do difusor em aço inox, impulsor e difusor em noryl, selo mecânico em grafite com borracha nitrílica e mola em aço inox.

Bomba de alta pressão para dessalinizador por osmose inversa, multi-estágio com motor monofásico blindado, com proteção IP 55, de 2 CV com 20 estágios, de 3 CV com 28 estágios e de 5 CV com 25 estágios, classe de isolamento B, com intermediário, eixo, carcaça bocal e carcaça do difusor em aço inox, impulsor e difusor em noryl, selo mecânico em grafite com borracha nitrílica e mola em aço inox.

2.2.1.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Bomba centrífuga horizontal com motor monofásico blindado de ½ CV, sucção e recalque em ¾", AM = 4,0 mca, vazão Q= 5,2 m³/h, com carcaça e rotor em termoplástico de engenharia reforçado com fibra de vidro, eixo em aço inox e selo mecânico em grafite com borracha nitrílica e mola em aço inox.

2.2.1.3 BOMBAS DOSADORAS

Bomba dosadora para solução de anti-incrustante, com fluxo ajustável, vazão 0,22 a 10,0 l/h, pressão máxima 4,0 BAR, potência 44 W, caixa da bomba em ABS, tensão 60 HZ, força e pulsos indicadores por LEDs, proteção IP65, com filtro em polietileno, válvulas em Viton, diafragma em P.T.F.E. e válvula de injeção em polipropileno.

2.2.2 MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA

Membranas de osmose inversa de alta rejeição para água salobra (brackish water), modelo espiral TFC (Polyamide Thin-Film Composite), taxa de rejeição de 99,3 a 99,7%, a depender da concentração de sais da água de alimentação, que poderá ter uma variação de concentrações (TDS) de 1.000 a 10.000 mg/l. Cada elemento de membrana apresentando uma área de 78 pe² (7,2 m²), GPD = 2400, com diâmetro de 4" e comprimento de 40".

Limites de operação:

- Temperatura máxima de operação: 45°C
- Pressão máxima de operação: 41 bar
- Fluxo máximo de alimentação: 3,6 m³/h
- SDI máximo (15 min): 5
- Faixa de pH durante operação: 2 - 11
- Faixa de pH durante limpeza química: 1 - 13

2.2.3 COMPONENTES DO DESSALINIZADOR

2.2.3.1 MEDIDORES DE PRESSÃO

Manômetros glicerizados, com caixa em aço inox, diâmetro nominal de 63 mm, para painel, apresentando faixa de pressão compatível, com saída traseira em escala de graduação compatível, para verificação de pressões de trabalho nos seguintes pontos:

- Entrada e Saída do conjunto de filtros (0,0 a 4,0) kgf/cm²;
- Entrada e Saída do conjunto de membranas (0,0 a 25,0) kgf/cm²;
- Saída do permeado (0,0 a 4,0) kgf/cm²;

2.2.3.2 MEDIDORES DE VAZÃO (COM EMBOLO)

Medidores de vazão (rotâmetros), com conexões de PVC roscável de 1", com flutuador e eixo em inox, com faixa de leitura variável de (0 a 60 L/min), pressão máxima 150 PSI, temperatura máxima 100°C. Para medição de vazão do concentrado e permeado, com escala de trabalho compatível com a vazão de cada uma dessas fases.

2.2.3.3 CARÇAÇAS DE FILTRO E FILTROS DE CARTUCO

Carçaças para filtros de cartuchos de polipropileno, com 30 cm de comprimento contendo elementos de filtros de cartucho de polipropileno de 5 µm, com 25 cm de comprimento. A vazão nominal dos filtros deverá ser igual a ± 180% da vazão de alimentação do sistema, com uma variação de até 12% para mais ou menos.

2.2.3.4 ANTI-VIBRADORES

Para cada estrutura metálica deverá ser fornecidos 04 (quatro) redutores de vibração próprios para instalação na estrutura metálica "Skid", anti-vibradores de 3/8", com base de borracha.

2.2.3.5 TAMPAS DOS VASOS DE ALTA PRESSÃO.

Tampas para os vasos de alta pressão de 4" em polipropileno de alta densidade incluindo os anéis de vedação.

2.2.3.6 MOLAS ELÁSTICAS.

Molas elásticas para vasos de alta pressão de 4" em inox.

2.2.3.7 VÁLVULAS E REGISTROS

Válvula globo em aço inox 304, para controle de vazão da bomba booster de alta pressão.

Válvula globo em aço inox 304, para regulagem e controle do rejeito.

Registro de esfera em aço inox para sistema de by-pass.

2.2.3.8 TUBULAÇÕES

- Kit de tubos/conexões/registros de baixa pressão: Linha da caixa (água do poço) pra entrada do sistema, em PVC soldável de Ø 50mm e reduções necessárias, posterior;
- Kit de tubos/conexões/registros de alta pressão: em CPVC (aquatherm) diâmetro Ø 28 e Ø 22 mm, ou PPR de termofusão de 32mm e 25mm, ou aço inox 304, Schedule 40S e 10S;

2.2.3.9 MANGUEIRAS DE PRESSÃO

- Mangueira de pressão ½"
- Mangueira de pressão ¾"

2.2.4 SERVIÇOS

2.2.4.1 ESTRUTURA METÁLICA

Pintura do *skid* metálico, utilizando jateamento de areia, aparelhamento com *primer* e tinta PU na cor (Azul Del Rey) ou semelhante.

2.2.4.2 VASOS DE PRESSÃO

Pintura dos vasos de pressão, utilizando aparelhamento com *primer* e tinta PU na cor (Branco).

2.2.4.3 QUADROS DE COMANDO

Pintura de quadros de comando, utilizando aparelhamento com *primer* e tinta esmalte sintético na cor (Marfim) ou semelhante.

2.2.4.4 RECUPERAÇÃO DE BOMBAS (ALTA PRESSÃO, AUXILIAR E RETROLAVAGEM)

Recuperação de bombas de alta pressão, composto de substituição de rolamento, selos mecânicos, impulsores e difusores em *noryl*, pintura com tinta preta fosco, alta temperatura.

2.3 CONDIÇÕES DE FORNECIMENTO – DAS OBRIGAÇÕES.

De posse dos dados técnicos fornecidos neste TR, com relação aos equipamentos de dessalinizadores os LICITANTES deverão:

- Apresentar em suas propostas, os preços individuais das peças e serviços e totais de cada equipamento;
- Dar um prazo de GARANTIA de 1 (um) ano para os equipamentos de dessalinizador e demais acessórios do equipamento licitado, exceto membranas;
- Certificados de qualidade das membranas a serem fornecidas, informando o tipo/modelo. As membranas devem ter certificação *Padrão NSF/ANSI Internacional*;
- Na quebra de quaisquer equipamento ou acessório, dentro do prazo de garantia, a contratada deverá substituí-los com sobressalentes até o conserto dos mesmos, no prazo máximo de 72 (setenta e duas) horas e, para repor o equipamento ou acessório danificado, terá um prazo máximo de 01(um) mês.

3. DO PRAZO

O fornecedor, após contratação terá o prazo de 30 (trinta) dias corridos, para a entrega dos equipamentos e acessórios, contados a partir do recebimento da ordem de fornecimento.

4. FORMAS DE PAGAMENTO

4.1 GENERALIDADES

A forma de pagamento considerada neste TR será por preço unitário correspondente a cada dessalinizador recuperado e instalado e após o atesto do recebimento, por um técnico do Núcleo Estadual do PAD e técnico do PAD, de acordo com as Especificações Técnicas do Item 2.2.

O pagamento do FORNECIMENTO DE EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS será efetuado, mediante faturamento, sujeito às seguintes condições:

- a) Não terá faturamento a AQUISIÇÃO que não seja executado em plena conformidade com a presente TR;
- b) As faturas deverão vir acompanhadas da documentação descrita no Edital.
- c) É de inteira responsabilidade da(s) CONTRATADA(S), a entrega à ATECEL dos documentos de cobrança acompanhados de seus respectivos anexos, de forma clara objetiva e ordenada, que se não atendido, implica em desconsideração pela ATECEL dos prazos estabelecidos.

4.2 REAJUSTAMENTO DE PREÇOS

Os preços ofertados e contratados serão fixos e irremovíveis.

5. ELABORAÇÃO DA PROPOSTA

5.1 PROPOSTA FINANCEIRA

As LICITANTES deverão cotar os preços de cada um dos itens, em Reais (R\$).

Os custos de transporte, instalação, hospedagem e alimentação, impostos e tributos, para retirada, manutenção, devolução e instalação deverão estar inclusos no valor da proposta.

A PROPOSTA FINANCEIRA será elaborada conforme determina o Edital.

6. PLANILHA DE QUANTIDADES E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Os componentes, peças e serviços devem estar de acordo com as especificações contidas no item 2.2 do presente TR.

7. MUNICÍPIO – LOCALIDADE

Item	Componente	Peças/Serviços	Quant.
1	Vaso de pressão	Pintura com tinta PU na cor (branco).	1
		Fornecimento e substituição de anéis elásticos em inox.	2
		Fornecimento e instalação dos anéis (<i>oring's</i>) de vedação das tampas dos vasos.	2
2	Estrutura Metálica	Jateamento, aparelhamento com <i>primer</i> anti-ferrugem e pintura com tinta PU na cor (Azul Del Rey).	1
		Fornecimento e instalação de vibra-stop (conjunto com 4).	1
3	Sistema de Filtração	Fornecimento e instalação de carcaças de filtros com elementos filtrantes de 5 micras.	3
4	Bomba de Alta Pressão	Recuperação (substituição de rolamentos, selo mecânico, impulsores e difusores) e instalação da bomba de alta pressão.	1

		Fornecimento e instalação de válvula globo em aço inox 304, para controle de vazão da bomba booster de alta pressão.	1
5	Bomba de Retrolavagem	Recuperação (substituição de rolamentos, selo mecânico) e instalação da bomba de retrolavagem com conexões de PVC e mangueira de pressão de ¾".	1
		Fornecimento e instalação de registro de esfera em aço inox para sistema de by-pass.	1
6	Sistema para Retrolavagem	Limpeza do recipiente para a retrolavagem (bombona) de 100 L, incluindo a tampa.	1
		Fornecimento e substituição das mangueiras de ½.	3
7	Rotâmetros	Fornecimento e instalação de rotâmetros com conexões de PVC roscável de 1" na escala 0 a 60 LPM.	2
8	Manômetros	Fornecimento e instalação de manômetros glicerizados em inox com conexão traseira e garras para painel na escala de 0 a 25 kgf/cm².	2
9	Quadro de Comando	Pintura do quadro de comando com tinta esmalte sintético na cor Marfim.	1
		Fornecimento e instalação de contactor e relé térmico.	1
10	Bomba Dosadora	Fornecimento e instalação de bomba dosadora, conforme especificação no item 2.2.1.	1
		Fornecimento e instalação de recipiente (bombona) para solução de anti-incrustante (50 L).	1
11	Membranas	Fornecimento e instalação de membranas de osmose inversa, conforme especificação no item 2.2.2.	3
12	Etc.		

12.6 MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA – MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DE DESSALINIZADORES.

CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS TÉCNICOS ESPECIALIZADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DO PROGRAMA ÁGUA DOCE NO MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO

1. OBJETO

Contratação de serviços técnicos especializados para realização da manutenção preventiva e/ou corretiva e monitoramento de sistemas de dessalinização em comunidades rurais difusas no Semiárido, conforme metodologia do Programa Água Doce.

2. JUSTIFICATIVA

O Programa Água Doce (PAD) é uma ação do Governo Federal, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil que visa a estabelecer uma política pública permanente de acesso à água de qualidade para o consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, incorporando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização. O Programa Água Doce atende prioritariamente a localidades rurais difusas do Semiárido brasileiro e conta com uma rede de aproximadamente duzentas instituições, envolvendo dez estados do Semiárido e parceiros federais.

O Programa foi formulado em 2003 de forma participativa, com a contribuição de diversas entidades que tratam do tema, tanto em nível federal, como estadual. Entre os principais parceiros, destacam-se o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Petrobrás, Fundação Banco do Brasil, Embrapa, Universidade Federal de Campina Grande, Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Até o momento foram beneficiadas cerca de 100 mil pessoas em 150 comunidades distribuídas pelo Semiárido, garantindo o acesso à água de qualidade a seus moradores. O programa já capacitou mais de 600 técnicos estaduais e federais, operadores/gestores dos sistemas de dessalinização.

A partir de 2010 as ações do programa passaram a ser orientadas pelos Planos Estaduais de Implementação e Gestão do Programa Água Doce que têm como meta atender um quarto da população rural do Semiárido até 2019, ou seja, aproximadamente 2,5 milhões de pessoas em 10 anos. Suas ações são iniciadas a partir dos municípios mais críticos em cada estado, nas áreas mais suscetíveis ao processo de desertificação, indicadas por meio do Índice de Condição de Acesso à Água do Semiárido – ICAA, um critério técnico desenvolvido pelo Programa Água Doce, mediante o cruzamento dos indicadores desenvolvimento humano, mortalidade infantil, pluviometria, intensidade de pobreza e dificuldade de acesso aos recursos hídricos.

Outro aspecto importante é a relação do Programa com a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Por reduzir as vulnerabilidades no que diz respeito ao acesso à água no Semiárido, o Programa Água Doce é considerado uma medida de adaptação às mudanças climáticas. Estudos indicam que a variabilidade climática na região poderá aumentar, acentuando a ocorrência de eventos extremos (estiagens mais severas) com consequências diretas na disponibilidade hídrica. Dessa forma, iniciativas como o Programa Água Doce, que promovem o uso sustentável da água e contribuem para o enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas são um esforço do poder público em internalizar tais preocupações, disseminando boas práticas de uso sustentável da água. Em 2009, o TCU, em uma auditoria de natureza operacional sobre políticas públicas e mudanças

climáticas, identificou o Programa Água Doce como uma iniciativa a ser ampliada, que contribui para a melhoria da qualidade de vida da população da região do Semiárido e leva em consideração as potencialidades naturais de cada localidade, assegurando meios para enfrentar as vulnerabilidades a que estão sujeitas, em decorrência das variabilidades climáticas.

Em 2011, o Programa passou a integrar o Plano Brasil sem Miséria, um esforço do governo federal no combate à pobreza extrema que visa a reduzir as desigualdades sociais e promover melhorias na qualidade de vida dos brasileiros. O PAD é uma das iniciativas que compõem o Programa Água para Todos, no âmbito do Plano Brasil sem Miséria, juntamente com a construção de cisternas e demais sistemas coletivos de abastecimento.

A presente proposta visa efetuar a contratação de empresa para realização de serviços técnicos especializados de manutenção preventiva e/ou corretiva e monitoramento de sistemas de dessalinização implantados em comunidades rurais difusas do Semiárido brasileiro, em conformidade com a metodologia do Programa Água Doce e em atendimento ao disposto neste Termo de Referência.

3. DESCRIÇÃO DO OBJETO

a) Atividades:

Manutenção e monitoramento de (quantidade) sistemas de dessalinização, com realização de no mínimo doze visitas a cada sistema, com intervalo de um mês entre as visitas, pelo período de um ano.

Os serviços deverão ser executados rigorosamente em consonância com as normas da ABNT, CREA e Companhia de Energia Elétrica, bem como normas ambientais e demais dispositivos legais que alcancem o objeto contratado.

A manutenção preventiva e corretiva, e monitoramento incluem coleta de dados das variáveis de medidas dos dessalinizadores, monitoramento da qualidade das águas de alimentação, permeado, chafariz e concentrado, serviços hidráulicos, mecânicos e elétricos, ações corretivas de substituição de peças defeituosas, reparos nas tubulações, consertos nas bombas como troca de selo mecânico e rolamentos, calibração dos instrumentos de medidas, limpeza das membranas e dos recipientes de retro lavagem, conforme itens a seguir:

1. Verificação das condições de higiene e conservação do poço e tubulação adutora do sistema;
2. Verificação das condições de higiene e conservação dos reservatórios de água bruta, permeado e concentrado e do chafariz;
3. Verificação do estado dos sistemas de bombeamento de água bruta e do sistema de água doce, verificando as condições das bombas hidráulicas, motores e tubulações.
4. Inspeção visual, teste e verificação de todos os demais componentes do dessalinizador;
5. Manter no abrigo do sistema, livro para registro das leituras dos instrumentos de medida do dessalinizador, realizadas pelo operador todos os dias de funcionamento;
6. Verificação e registro das pressões de operação do dessalinizador;
7. Verificação e registro das vazões das correntes de permeado e concentrado;
8. Efetuar uma manutenção preventiva nos filtros de cartucho e nos copos dos mesmos a cada visita, que deverão ser limpos e/ou substituídos por outros novos, caso seja constatada esta necessidade, com fornecimento de filtros de cartucho para troca a cada mês;
9. Manutenção da bomba de alta pressão e demais bombas do dessalinizador, com troca do selo mecânico, rolamentos e demais componentes que exijam substituição;
10. Fornecimento de anti-incrustante para o pré-tratamento das membranas de osmose inversa e aprovado pelo fabricante das mesmas;
11. Limpeza química das membranas quando necessário quando houver redução da qualidade do permeado, um aumento de 10-15% na pressão de alimentação;
12. Verificação de vazamentos, manutenção das tubulações e conexões hidráulicas, substituindo

- os componentes que exijam troca;
13. Coleta e análise físico-química das águas de alimentação, permeado, chafariz e concentrado para monitoramento da qualidade;
 14. Coleta e análise bacteriológica das águas do permeado e chafariz para monitoramento da qualidade;
 15. Verificar se o operador está seguindo corretamente os procedimentos para colocar em funcionamento e desligar o dessalinizador, se está realizando e anotando corretamente as leituras diárias dos instrumentos de medidas no livro de registro.
 16. As manutenções CORRETIVAS independentem de qualquer programação podem ocorrer a qualquer momento e em qualquer um dos sistemas.

b) Produtos:

Relatórios de manutenção e monitoramento dos sistemas de dessalinização aprovados e assinados pelos técnicos da empresa contratada e operador do dessalinizador, que deverão conter, no mínimo:

- Formulários de manutenção, conforme ANEXOS 2, 3 e 4 deste Termo de Referência;
- Relatório específico de leituras das variáveis de medidas do dessalinizador, conforme ANEXO 5 deste Termo de Referência;
- Laudos das análises de água;
- Informações sobre os volumes diários utilizados (litros) de permeado, concentrado e água bruta;
- Horas e dias de funcionamento do equipamento de dessalinização;
- Consumo de energia mensal;
- Quantidade de famílias atendidas;
- Registros fotográficos com data;
- Descrição de ocorrências como: falta de energia elétrica, etc.

5. EQUIPE TÉCNICA

Os serviços devem ser realizados por equipe de profissionais com qualificação técnica compatível com as atividades a serem desenvolvidas, atestados, quando couber, por meio de anotação de responsabilidade técnica (ART), devendo ser compostas, minimamente, por:

- **Coordenador** – profissional de nível superior em qualquer área de formação, com experiência em gerenciamento ou coordenação de programa ou projetos, e na área de políticas públicas e gestão governamental;
- **Técnico especialista em dessalinização e poços** – profissional de nível superior com formação em Engenharia ou Geologia e experiência em dessalinização, hidrogeologia ou em perfuração e manutenção de poços;

6. OBRIGAÇÕES DA CONTRATADA

A Contratada se obriga a elaborar uma programação das visitas de manutenção e monitoramento a serem efetuadas durante o contrato indicando os locais onde serão realizados, sendo uma por sistema a cada 30 dias, obedecendo todas as exigências e/ou recomendações contidas no item 03 e seus subitens. Este plano deverá ser encaminhado a Contratante quando da assinatura do Contrato.

A Contratada se compromete a fornecer os veículos, pessoal capacitado e peças de reposição para o bom desempenho dos trabalhos de manutenção a serem realizados.

A Contratada será inteiramente responsável pelos serviços executados e pelo atendimento às especificações e procedimentos constantes no presente termo de referência.

A Contratada deverá apresentar a relação dos técnicos habilitados, com os respectivos currículos, que irão executar os serviços contratados.

O processo de limpeza química das membranas deve ser realizado por técnico capacitado e devem ser utilizados produtos adequados para remoção das incrustações e que não prejudiquem os elementos de membranas.

As coletas e análises físico-químicas e bacteriológicas de água devem ser realizadas de acordo com parâmetros estabelecidos pela Portaria MS nº 2.914/11, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade da água.

Os serviços a serem executados obedecerão a metodologia do Programa Água Doce, conforme previsto neste Termo de Referência, mediante cronograma previamente estabelecido por município e por comunidade.

A proposta metodológica do Programa Água Doce – SRHU/MMA encontra-se detalhada no Documento Base do Programa Água Doce, disponível em <<http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>>.

A contratada deverá afixar Calendário de Manutenção no abrigo de cada dessalinizador com material adequado.

A contratada deverá comunicar a Coordenação Estadual do Programa Água Doce, com antecedência mínima de 48 (quarenta e oito) horas, a data prevista para realização dos serviços de manutenção e monitoramento, conforme o cronograma, a fim de que os serviços possam ser realizados.

A Contratada deverá reunir-se quando solicitado, com a Coordenação Estadual do Programa Água Doce.

A Contratada deverá participar das oficinas de capacitação realizadas pelo Programa Água Doce.

A Contratada deverá acionar o fabricante/fornecedor do dessalinizador sempre que o equipamento exigir reparos previstos nos Termo de Garantia.

7. LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS

As comunidades estão indicadas no ANEXO 1 deste Termo de Referência.

8. PRAZO DE EXECUÇÃO

Os serviços objeto deste Termo de Referência deverão ser executados no prazo de 24 (vinte e quatro) meses.

9. PAGAMENTO

A Contratada emitirá e encaminhará a Contratante, até o 5º (quinto) dia útil do mês subsequente ao da realização dos serviços, um Relatório Técnico contendo informações detalhadas das manutenções e monitoramentos realizados.

Com base neste Relatório, que deverá ser acompanhado de Nota Fiscal/Fatura, a Contratante efetuará os pagamentos à Contratada.

10. ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO

É prerrogativa da Contratante conservar a autoridade normativa e exercer controle e fiscalização sobre a execução, mediante a supervisão e acompanhamento das atividades inerentes ao objeto deste instrumento, bem como de assumir ou transferir a responsabilidade pela execução, no caso de paralisação ou de fato relevante que venha a ocorrer, de modo a evitar a descontinuidade do serviço.

Será facultado a Contratante, a qualquer tempo, fiscalizar a execução dos serviços contratados, através de sua auditoria, emitir parecer e propor a adoção das medidas que julgar cabíveis.

A fiscalização por parte da Contratante não exime a Contratada de sua responsabilidade, conforme disposto no Código Civil, no Código de Defesa do Consumidor, na Lei nº 8.666/93 e demais normas aplicáveis.

Os atos decisórios da fiscalização serão tomados através de servidor da Administração especialmente designado, permitida a contratação de terceiros para assisti-lo e subsidiá-lo de informações pertinentes a essa atribuição, em conformidade com o disposto no art. 67 da Lei Federal nº 8.666/93 e alterações.

A Contratante indicará uma equipe de fiscalização e designará o gestor da execução contratual, em conformidade com o disposto no art. 67 da Lei Federal nº 8.666/93 e alterações.

A Equipe de Fiscalização terá plenos poderes para agir e decidir perante a Contratada, inclusive rejeitando serviços que estiverem em desacordo com o contrato, obrigando-se desde já a Contratada a assegurar e facilitar o acesso da Equipe de Fiscalização aos serviços e a todos os elementos que forem necessários ao desempenho de sua missão.

Cabe à Equipe de Fiscalização verificar a ocorrência de fatos para os quais haja sido estipulada qualquer penalidade contratual. A Equipe de Fiscalização informará ao setor competente quanto ao fato, instruindo o seu relatório com os documentos necessários.

11. DA GARANTIA DAS PEÇAS E DOS SERVIÇOS

A Contratada deverá entregar, mediante protocolo, à Contratante os competentes Termos das Garantias concedidas pelo fabricante ou fornecedor às peças ou equipamentos substituídos.

Todos os materiais a serem utilizados deverão estar em conformidade com a especificação técnica da ABNT, que estabelece os requisitos de qualidade.

A fiscalização da Contratante só permitirá a aplicação de materiais efetivamente inspecionados e recebidos na obra acompanhados do respectivo certificado de liberação emitido por entidade inspetora reconhecida.

A Contratada garantirá a boa execução dos serviços realizados pelo período mínimo de 3 (três) meses.

12. DAS OBRIGAÇÕES DA CONTRATANTE

Constituem obrigações da Contratante, além de outras previstas neste Termo de Referência:

- a) Efetuar o pagamento na forma convencionada neste instrumento;
- b) Permitir o livre acesso da Contratada aos locais onde serão realizados os serviços conforme o caso;
- c) Indicar uma equipe de fiscalização e designar um gestor da execução contratual, em conformidade com o disposto no art. 67 da Lei Federal nº 8.666/93 e alterações.
- d) Fiscalizar a execução dos serviços, competindo, também, anotar no Diário, todas as ocorrências relacionadas com a execução do Contrato, determinando, através de comunicações escritas e protocoladas, o que for necessário para regularizar as faltas ou defeitos observados, submetendo, em tempo hábil, à autoridade competente da Contratante o que ultrapassar a sua competência para adoção das medidas cabíveis;
- e) Velar pela manutenção do equilíbrio econômico-financeiro do ajuste, durante a execução do Contrato, inclusive na hipótese de eventual paralisação dos serviços.

13- DAS CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bom desempenho operacional reduzirá a ocorrência de possíveis manutenções corretivas e cabe a Contratada durante as manutenções, observar, instruir e dirimir as dúvidas dos operadores, como também dos seus subordinados da(s) equipe(s) de manutenção, quanto a operação dos equipamentos propriamente ditos, zelo pelos mesmos, limpeza geral do ambiente de trabalho e cuidado especial pela segurança física das pessoas e das instalações como um todo.

ANEXO 2 do TR – MANUTENÇÃO DE POÇOS

**FORMULÁRIO PADRÃO DE MANUTENÇÃO DE POÇOS
- RELATÓRIO TÉCNICO -**

ANEXO 2 do TR

1) IDENTIFICAÇÃO

Folha 01/04

Município: _____ Estado: _____ Data: _____

Localidade: _____

Identificação do Poço: _____

Nome(s) do(s) operador(es): _____

2) DADOS DO POÇO

Nomenclatura: _____ Data de Perfuração: __/__/____

Empresa perfuradora: _____

Profundidade total (m): _____ Nivel Estático (m): _____ Altura do tubo de boca (m): _____

1º Diâmetro: _____ polegadas De _____ m até _____ m Tipo de material: _____

2º Diâmetro: _____ polegadas De _____ m até _____ m Tipo de material: _____

3º Diâmetro: _____ polegadas De _____ m até _____ m Tipo de material: _____

Intervalos de Filtros / Entradas d'Água (m): _____

3) DADOS DO CONJUNTO EDUTORTipo de Bomba: Submersa Injetora Centrifuga Compressor Catavento Manual

Marca: _____ Modelo: _____ Potência (CV): _____ Voltagem: _____

Vazões (m³/h) x Profundidades (m): Máxima _____ x _____ Mínima _____ x _____

Profundidade do Crivo da Bomba (m): _____ Profundidade dos Eletrodos (m): _____

Coluna Edutora: Tipo: _____ Diâmetro (pol.): _____ Comprimento (m): _____

Tipos de conexões: _____ Altura Manométrica Total (m): _____

4) SERVIÇOS EXECUTADOS

Início: Data: __/__/____ - Hora: __h__ Final: Data: __/__/____ - Hora: __h__

Nomes da equipe: _____

Hidrômetro: Identificação: _____ Leitura: | | | | | | | | | | | | | | | |

Marque os tipos de serviços executados: Retirada do conjunto edutor Limpeza do poço Teste de bombeamento do tipo "Produção" Desenvolvimento do poço Revisão do sistema de bombeamento Coletas de água para análises Análise físico-química Análise Bacteriológica Substituição de peças Perfilagem óptica (filmagem) Perfilagem geofísica Fotografias

4) SERVIÇOS EXECUTADOS (continuação)		Folha 02/04
4.1) LIMPEZA: Data: ___/___/___ - Hora: ___ h - Tempo de Duração (horas): _____ <input type="checkbox"/> Interior da câmara de bombeamento <input type="checkbox"/> Sistema de filtros do poço Equipamento utilizado: _____ Marca: _____ Modelo: _____ Método: _____ Prof. crivo do injetor (m): _____ Diâmetro tubulação ("): _____ Produtos Químicos utilizados: (relacionar tipos e quantidades)		
<u>Desincrustante/Desinfectante</u>	<u>Quantidade</u>	
<u>Esterilizante/Bactericida</u>	<u>Quantidade</u>	
Tempo de repouso (h): _____ Duração do bombeamento para retirada dos produtos (h): _____ Fotografias: (no máximo duas)		
4.2) TESTE DE BOMBEAMENTO TIPO PRODUÇÃO: Data: ___/___/___ - Hora: ___ h Método: _____ Durações dos estágios (h): _____; _____; _____; _____ Vazões (m ³ /h): _____; _____; _____; _____ Nivel Estático (m): _____ Nivel Dinâmico (m): _____ Tipo de Bomba: <input type="checkbox"/> Submersa <input type="checkbox"/> Injetora <input type="checkbox"/> Centrífuga <input type="checkbox"/> Compressor Marca: _____ Modelo: _____ Potênc. (CV): _____ Voltag.: _____ Fotografias: (no máximo duas) – (anexar planilha de dados de campo com todos os detalhes)		

4) SERVIÇOS EXECUTADOS (continuação)		Folha 03/04
4.3) DESENVOLVIMENTO: Data: ___/___/___ - Hora: ___ h - Duração (h): _____		
Método: _____		Vazão (m ³ /h): _____
Equipamento: _____		
Fotografias: (no máximo duas)		
4.4) ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA: (anexar a Análise do Laboratório)		
Data da coleta da amostra d'água: ___/___/___		Data da análise laboratorial: ___/___/___
Laboratório: _____		Nº Boletim/Certificado: _____
Químico Responsável: _____		CRQ ou CREA/PE: _____
Principais Parâmetros Físico-Químicos: (transpor dados em <input type="checkbox"/> mg/L ou ppm; <input type="checkbox"/> meq/L)		
pH: _____ - C.E.(μS/cm): _____ - <input type="checkbox"/> STD ou <input type="checkbox"/> RS (mg/L): _____		
Dureza Total (mg/L em CaCO ₃): _____ - Alcalinidade Total (mg/L em CaCO ₃): _____		
Amônia (mg/L em NH ₃): _____ Nitrito (mg/L em N): _____ Silica (mg/L): _____		
Cálcio: _____ Magnésio: _____ Sódio: _____ Potássio: _____ Ferro: _____		
Cloro: _____ Bicarbonato: _____ Carbonato: _____ Sulfato: _____ Nitrato: _____		
Outros: _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____		
Outros: _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____		
4.5) ANÁLISE BACTERIOLÓGICA: (anexar a Análise do Laboratório)		
Data da coleta da amostra d'água: ___/___/___		Data da análise laboratorial: ___/___/___
Laboratório: _____		Nº Boletim/Certificado: _____
Químico Responsável: _____		CRQ ou CREA/PE: _____
Principais Parâmetros Analisados: (NMP/100 mL)		
Coliformes Totais: _____ Coliformes termotolerantes: _____		
Enterococos: _____ Clostrídios Sulfito Redutores: _____		
Pseudomonas aeruginosa: _____ Outros: _____; _____; _____		
Outros: _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____; _____		

4) SERVIÇOS EXECUTADOS (continuação)	Folha 04/04	
4.6) <u>SUBSTITUIÇÃO DE PEÇAS/EQUIPAMENTOS</u> : (discriminar detalhadamente peça e quantidade)		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
5) PROBLEMAS OCORRIDOS		
Discriminar detalhadamente problemas que tenham ocorrido durante os serviços de manutenção.		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
6) OBSERVAÇÕES		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
7) CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
DATA PREVISTA PARA A PRÓXIMA MANUTENÇÃO: ____/____/____.		
_____ de _____ de 20____.		
_____	_____	_____
Contratante	Contratado	Responsável Técnico

ANEXO 3 do TR – MONITORAMENTO DO DESSALINIZADOR

FORMULÁRIO DE MONITORAMENTO DO DESSALINIZADOR		
ANEXO 3 do TR		
IDENTIFICAÇÃO		
Município: _____		Estado: _____
Localidade: _____		
Identificação do Dessalinizador: _____		
Nome(s) do(s) operador(es): _____		
DADOS DO DESSALINIZADOR		
1. Funcionamento do Dessalinizador: (informar sobre o funcionamento do dessalinizador)		
Em operação ()	Parado (), motivo: _____	N ^o de membranas: _____
2. Filtros de Cartucho: (verificar o estado dos filtros de cartucho)		
Limpos ()	Sujos ()	Devem ser trocados ()
N ^o de filtros: _____		
3. Funcionamento dos Motores-bombas: (observar vazamentos e ruídos)		
• Auxílio	Selo mecânico ()	Ruído no rolamento ()
Outros: _____		
• Alta pressão	Selo mecânico ()	Ruído no rolamento ()
Outros: _____		
• Retrolavagem	Selo mecânico ()	Ruído no rolamento ()
Outros: _____		
4. Bomba Dosadora: (verificar o funcionamento)		
Em operação ()	Parada (), motivo: _____	
Obs.: _____		
5. Anti-incrustante: (verificar o anti-incrustante)		
Existe em estoque ()	Quantidade: _____	Nome (marca): _____
Obs.: _____		
6. Tubulações: (verificar vazamentos nas tubulações)		
Baixa pressão: _____		Alta pressão: _____
Obs.: _____		
7. Dados dos Instrumentos de Medidas do Dessalinizador: (leitura dos manômetros e rotâmetros)		
P1(kgf/cm ²): _____	P3(kgf/cm ²): _____	Q1(L/min): _____
P2(kgf/cm ²): _____	P4(kgf/cm ²): _____	Q2(L/min): _____
8. Condutividade Elétrica: (medir a condutividade elétrica das águas)		
Água do poço (mS/cm): _____	Permeado (mS/cm): _____	Concentrado (mS/cm): _____
9. Amostras de Águas: (coletar amostras de águas para análises físico-químicas e bacteriológicas)		
Água do poço ()	Permeado ()	Concentrado ()
10. Limpeza dos Reservatórios: (Observar a limpeza dos reservatórios)		
Água do poço ()	_____	
Permeado ()	_____	
Concentrado ()	_____	
Observações: _____		

Local	Data	Técnico/Assinatura

ANEXO 4 do TR – MANUTENÇÃO BOMBAS E MOTORES

FORMULÁRIO DE MANUTENÇÃO DE BOMBAS E MOTORES

ANEXO 4 do TR

IDENTIFICAÇÃO

Município: _____ Estado: _____
 Localidade: _____
 Identificação do Sistema: _____

SISTEMA DE BOMBEAMENTO

1. BOMBAS HIDRÁULICAS E MOTORES ELÉTRICOS

Selos Mecânicos

Observações: _____

Rolamentos

Observações: _____

Conexões

Observações: _____

Rotores

Observações: _____

Mancais

Observações: _____

Acoplamentos

Observações: _____

Disjuntores e Capacitores

Observações: _____

Observações Gerais:

_____	_____	_____
Local	Data	Técnico/Assinatura

ANEXO 5 do TR – RELATÓRIO DE LEITURAS

RELATÓRIO DE LEITURAS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIDAS

ANEXO 5 do TR

MUNICÍPIO: _____

LOCALIDADE: _____

MÊS: _____

Data	PRESSÃO FILTROS (kgf/cm ²)		PRESSÃO MEMBRANAS (kgf/cm ²)		VAZÕES (m ³ /h)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Permeado	Concentrado
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						