

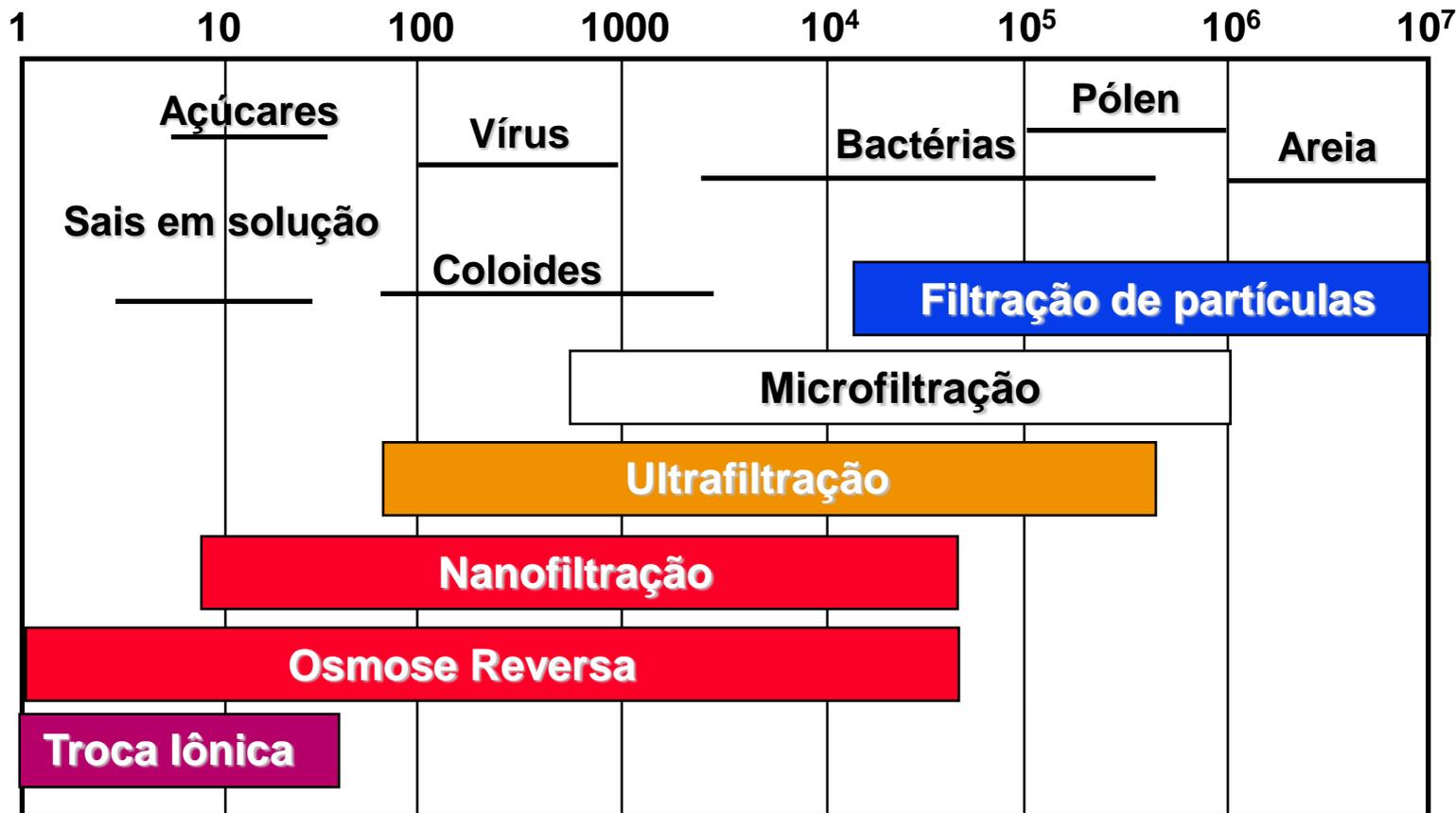
OSMOSE REVERSA

Fundamentos, Operação e Manutenção

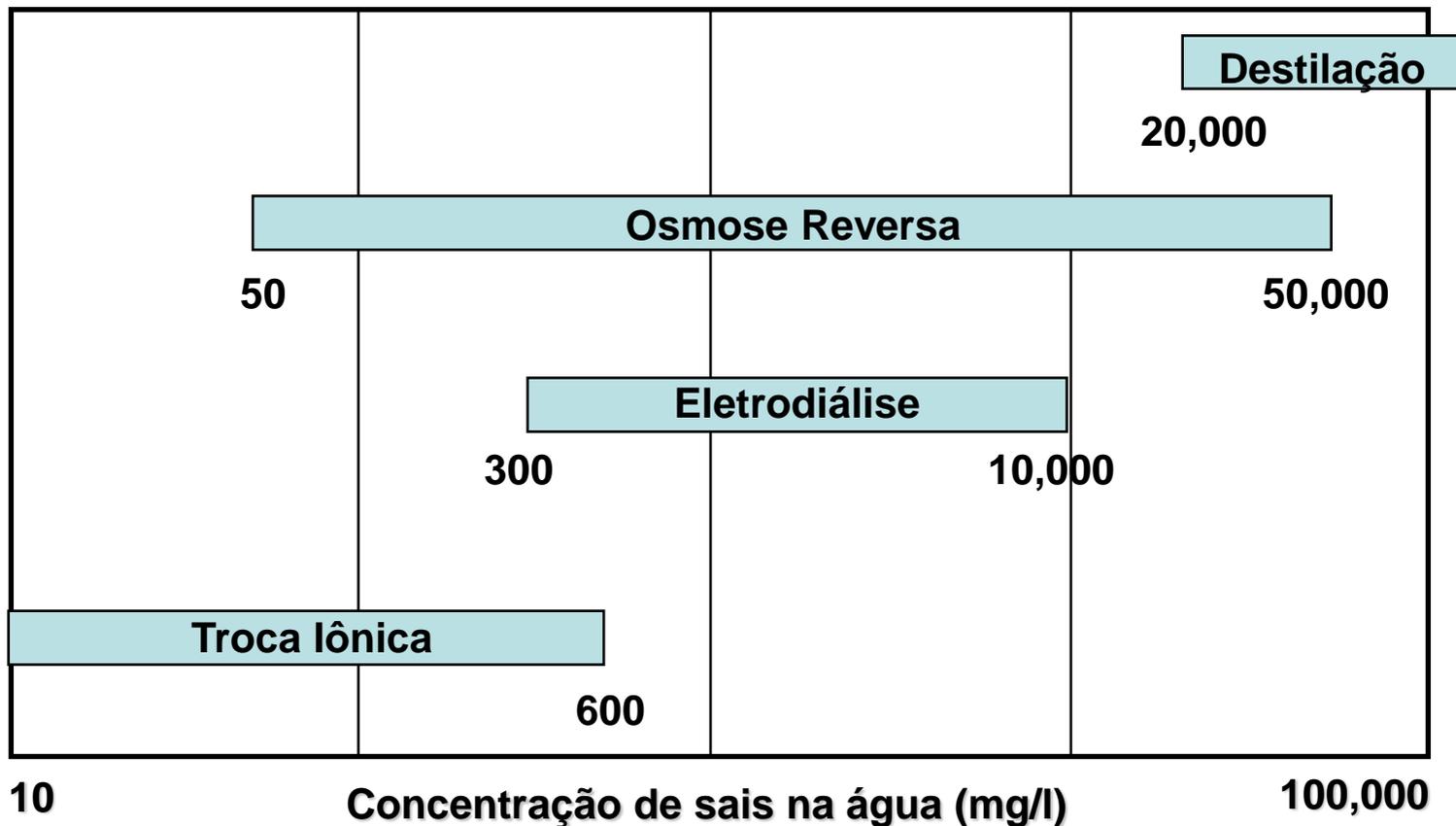
B2B
REPRESENTAÇÕES

Espectro de filtração

Angstroms



Processos de dessalinização



Pressões típicas de operação em processos de membranas

Processo	Faixa de pressão (bar)
Osmose Reversa (OR)	
Água do mar (SWRO)	55 – 70
Água salobra (BWRO)	10 - 40
Nanofiltração(NF)	3.5 - 15
Ultrafiltração (UF)	2 – 7
Microfiltração (MF)	0.1-3

Princípios da Osmose Reversa

- Aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica da solução
- Difusão da água mas não do sal através de uma membrana semi-permeável em sentido oposto ao fluxo natural.
- Opera em modo cross-flow de forma a evitar o acúmulo de sais e aumento da pressão osmótica.

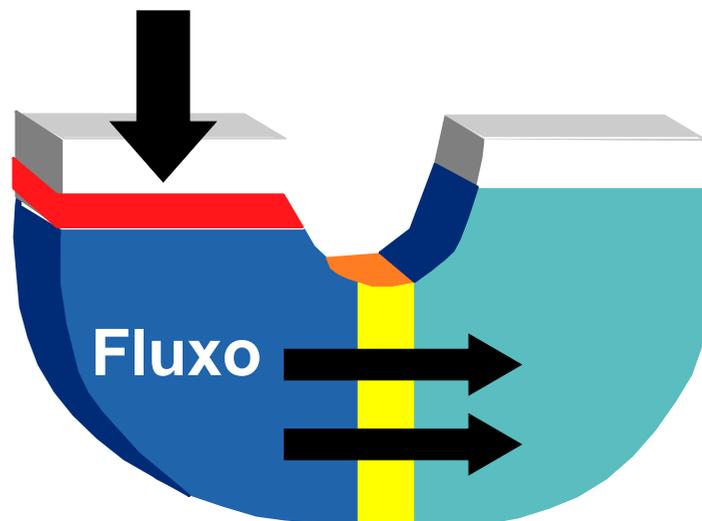
Fundamentos da Osmose Reversa/NF

Osmose
(fenômeno termodinâmico)



Osmose Reversa

Pressão aplicada

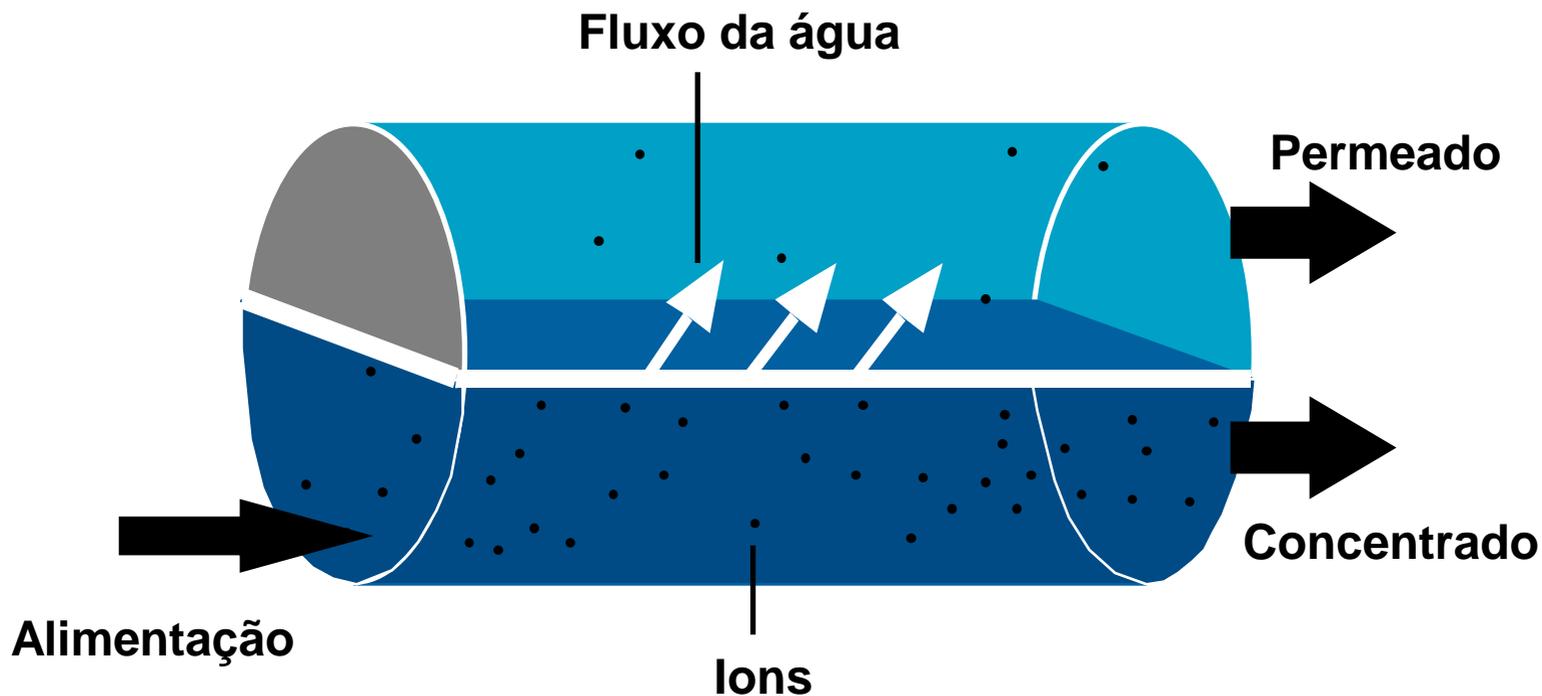


 Solução concentrada

 Membrana

 Solução diluída

Processo de Osmose Reversa e Nanofiltração



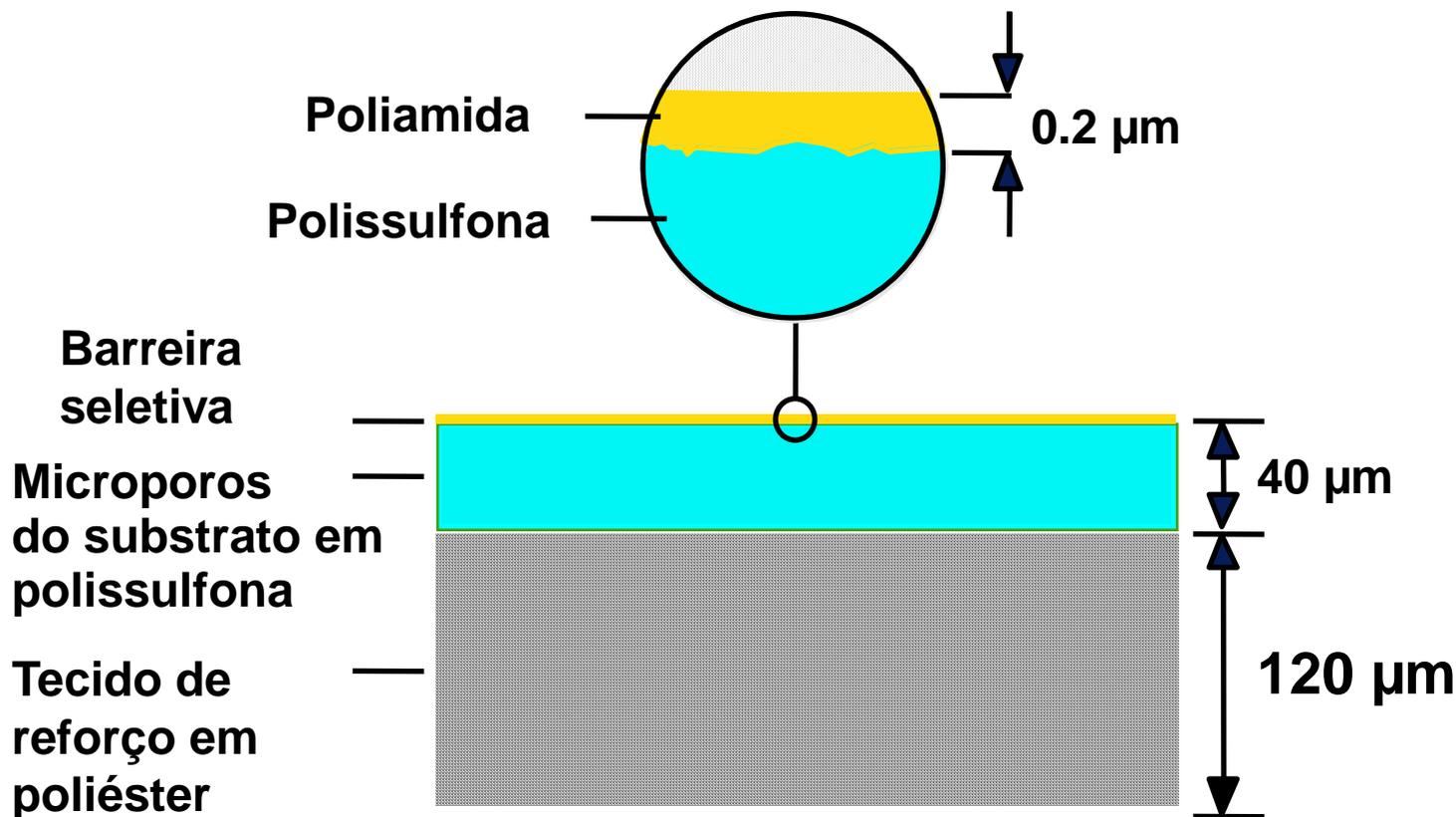
O que a Osmose Reversa pode fazer:

- Remover água pura de uma corrente salobra (permeado).
- Concentrar sólidos dissolvidos (concentrado)
- Separar, seletivamente, íons e moléculas.

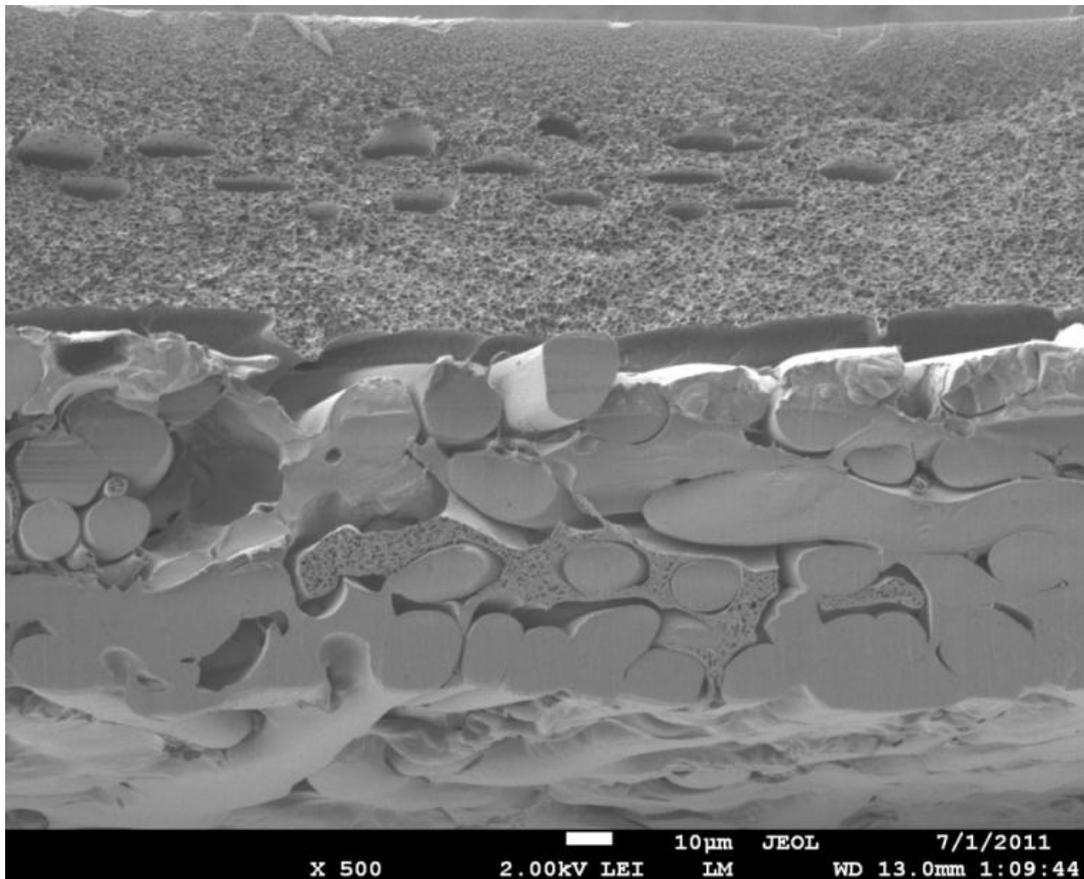
E o que não é capaz de fazer:

- Concentrar 100%
- Separar 100%

Seção transversal de uma membrana



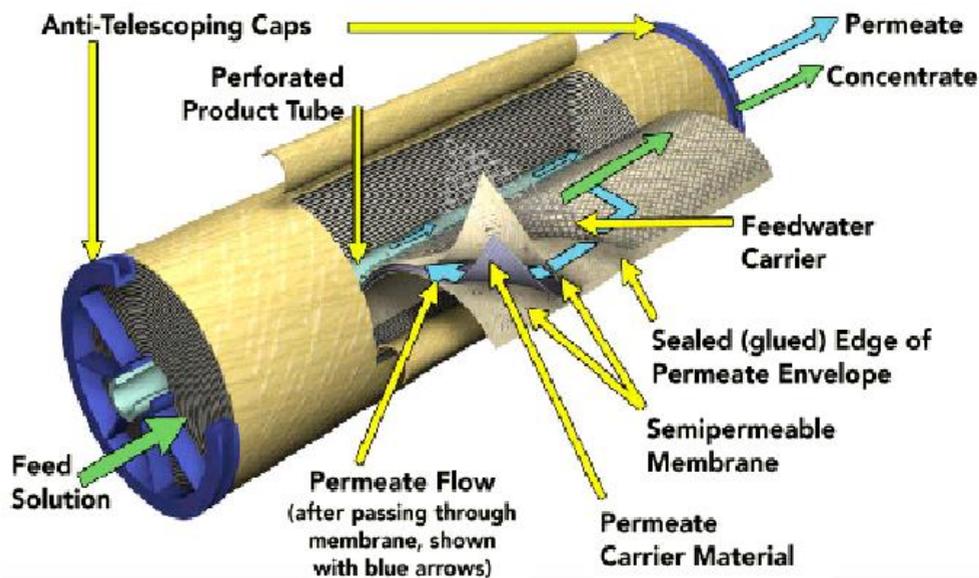
Membrana: microscopia eletrônica



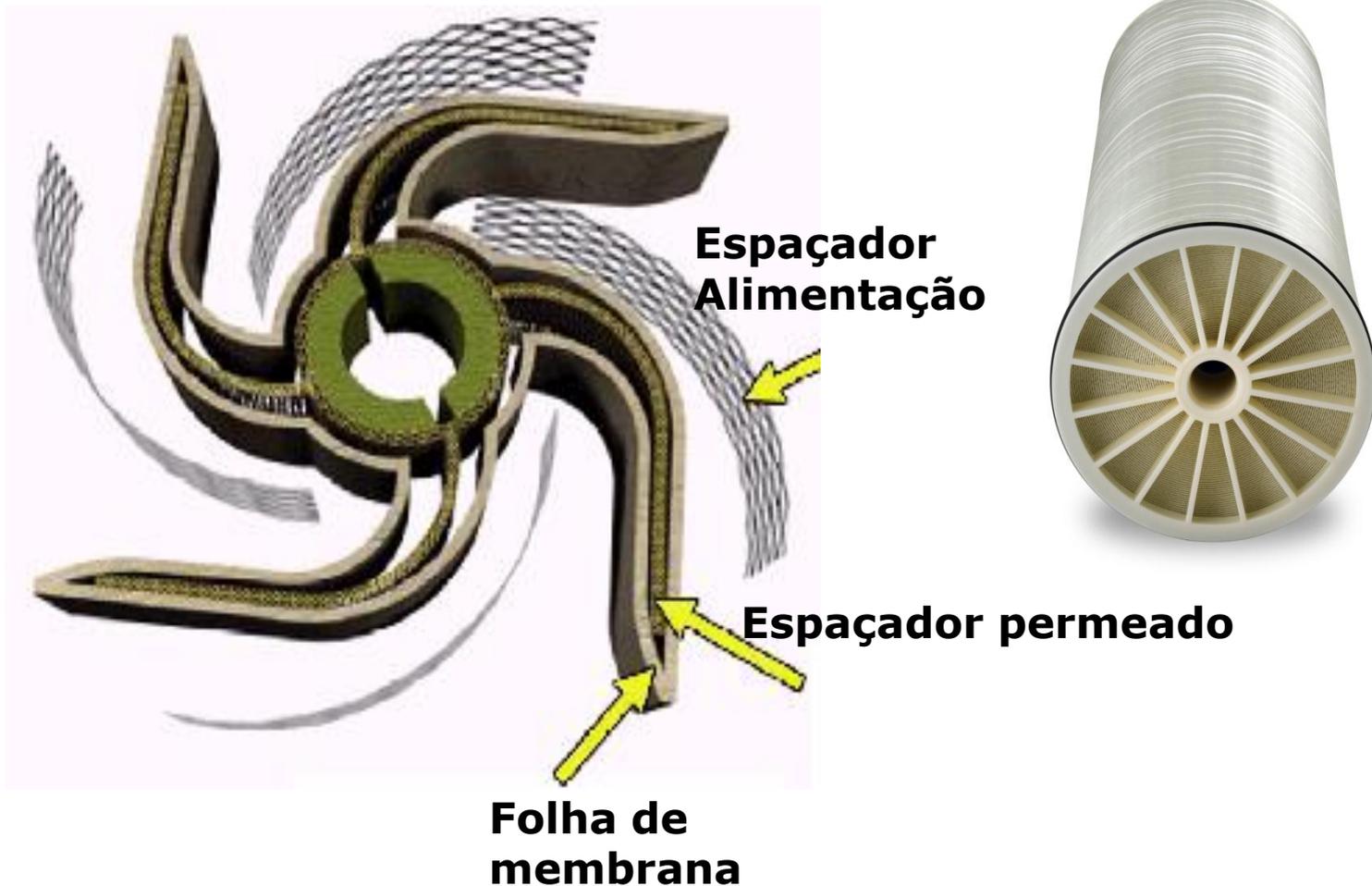
Elemento de membrana em espiral



Elemento de membrana em espiral



Elemento de membrana em espiral



Resumo da influência dos parâmetros nas membranas de OR

Aumento	Vazão permeado	Rejeição de sais	Passagem de sais
Pressão	↑	↑	↓
Temperatura	↑	↓	↑
Concentração de sais	↓	↓	↑



Objetivos do pré-tratamento

1. Minimizar:

- Incrustações
- Depósitos
- Degradação das membranas

2. Otimizar:

- Vazão de permeado
- Recuperação
- Qualidade do produto (rejeição de sais)
 - ⇒ Custos operacionais

Objetivos do pré-tratamento

A seleção do pré-tratamento adequado depende do

- Manancial de água
- Variações de temperatura da água
- Composição da água
- Qualidade do permeado desejada
- Vazão de permeado
- Destinação da água tratada

Resumo dos métodos de pré-tratamento

Bactérias	Limpezas preventivas, MF/UF, filtros de cartucho, cloração, tratamento de choque, biocidas, filtração em carvão ativado, MBR, remoção de nutrientes (reatores biológicos).
Matéria orgânica	Abrandamento por cal, limpeza preventiva, coagulação em linha, coagulação/floculação, MF/UF, filtração em carvão ativado.
Agentes oxidantes	Decloração por bissulfito de sódio, adsorção em carvão ativado.

Fatores que comprometem o desempenho da OR

Aumento	Vazão Permeado	Passagem Sais
Pressão efetiva (NDP)		
Temperatura		
Sais na alimentação		

Limpeza das membranas

- Limpezas regulares das membranas fazem parte da operação de sistemas de Osmose Reversa e Nanofiltração
- Frequência típica de limpeza:
 - Água de poço, superfície após UF (SDI <3) 1 - 2 por ano
 - Água de superfície e do mar (SDI 3-5) 4 - 6 por ano
 - Efluentes e reúso (SDI 5) 12 por ano

Condições ideais para a limpeza

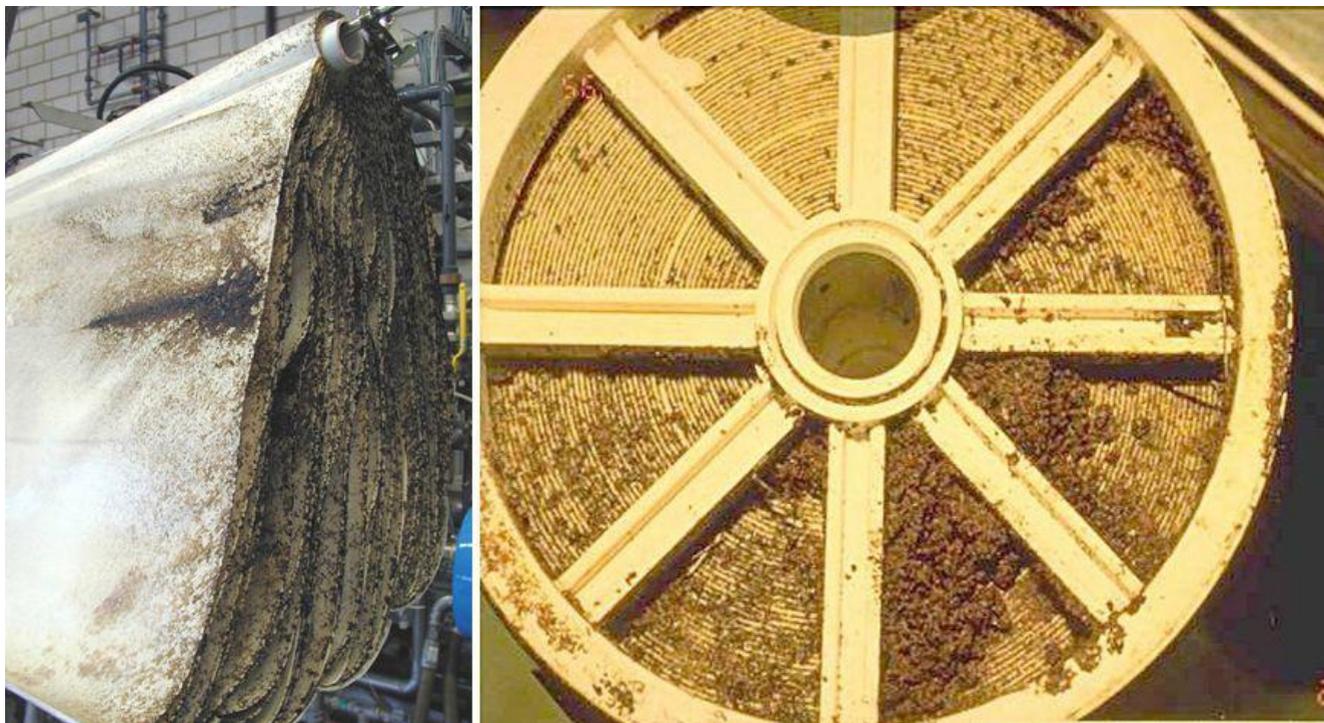
- O causador dos depósitos é conhecido
- Os procedimentos de limpeza são conhecidos
- A limpeza recupera totalmente a permeabilidade das membranas
- Projeto adequado da OR e do skid de limpeza
- Poucas limpezas por ano
- Vida útil das membranas ~5 anos

Componentes que usualmente formam depósitos nas membranas

- Poços
 - Ferro
 - Incrustações de sais
 - Depósitos de sílica

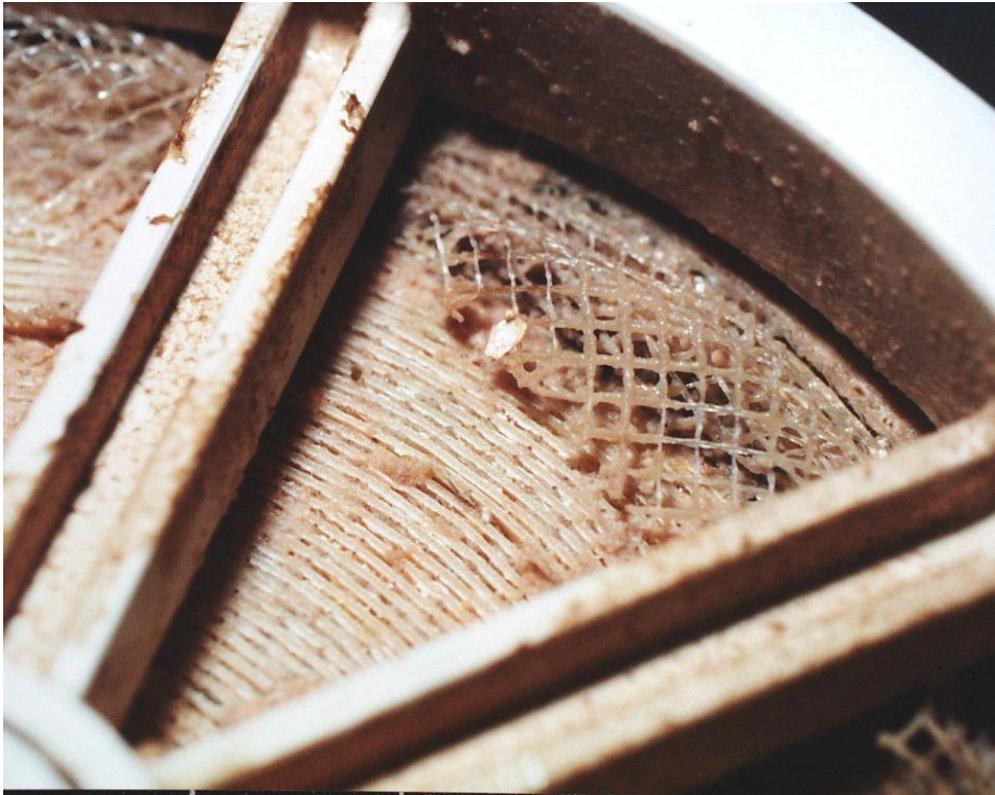
- Superfície
 - Incrustações de sais
 - Obstruções por colóides
 - Depósitos orgânicos
 - Crescimento microbiano e formação de biofilme

Obstruções por material coloidal



Casos extremos de incrustações

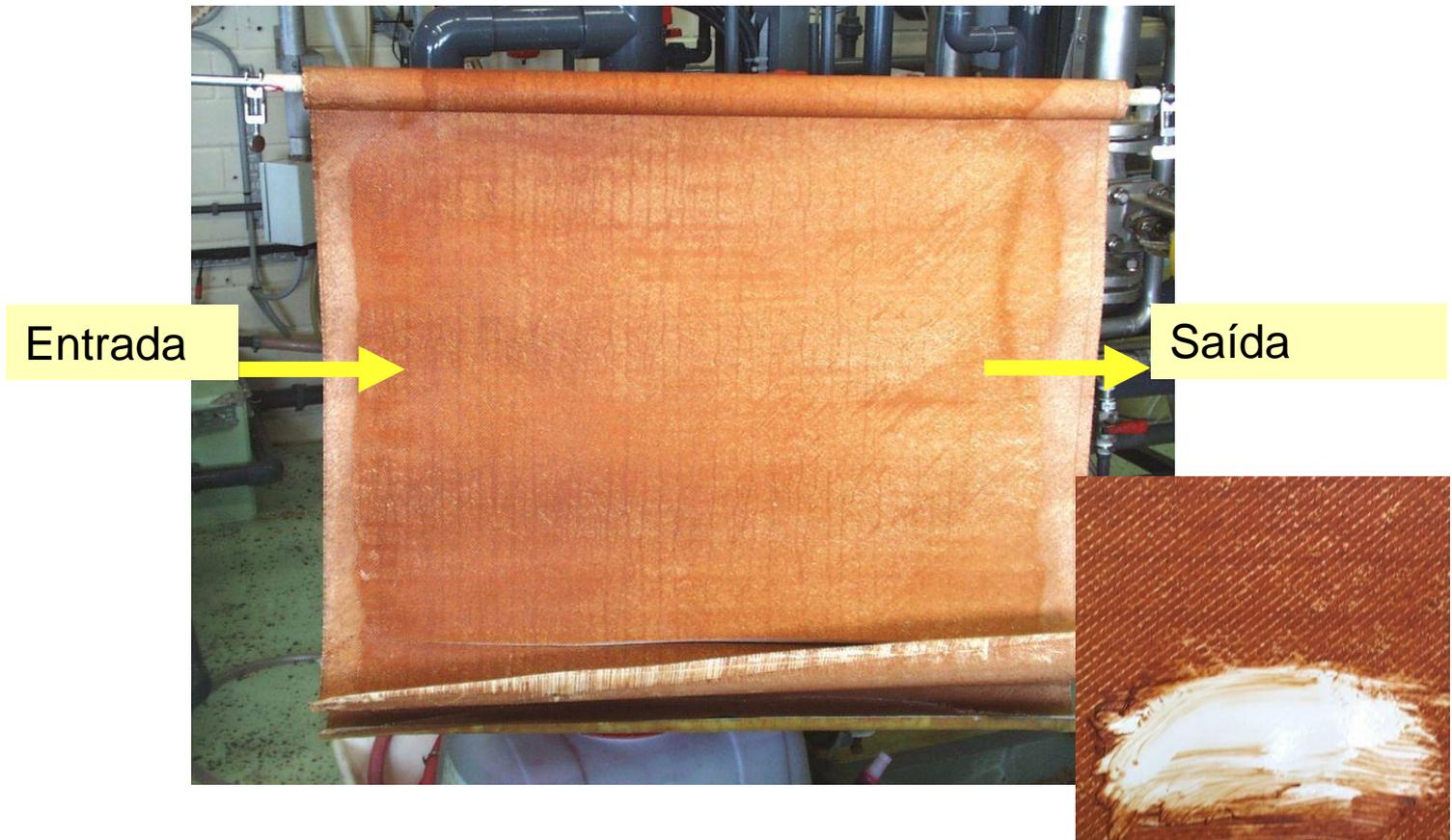
Fouling biológico (biofilmes)



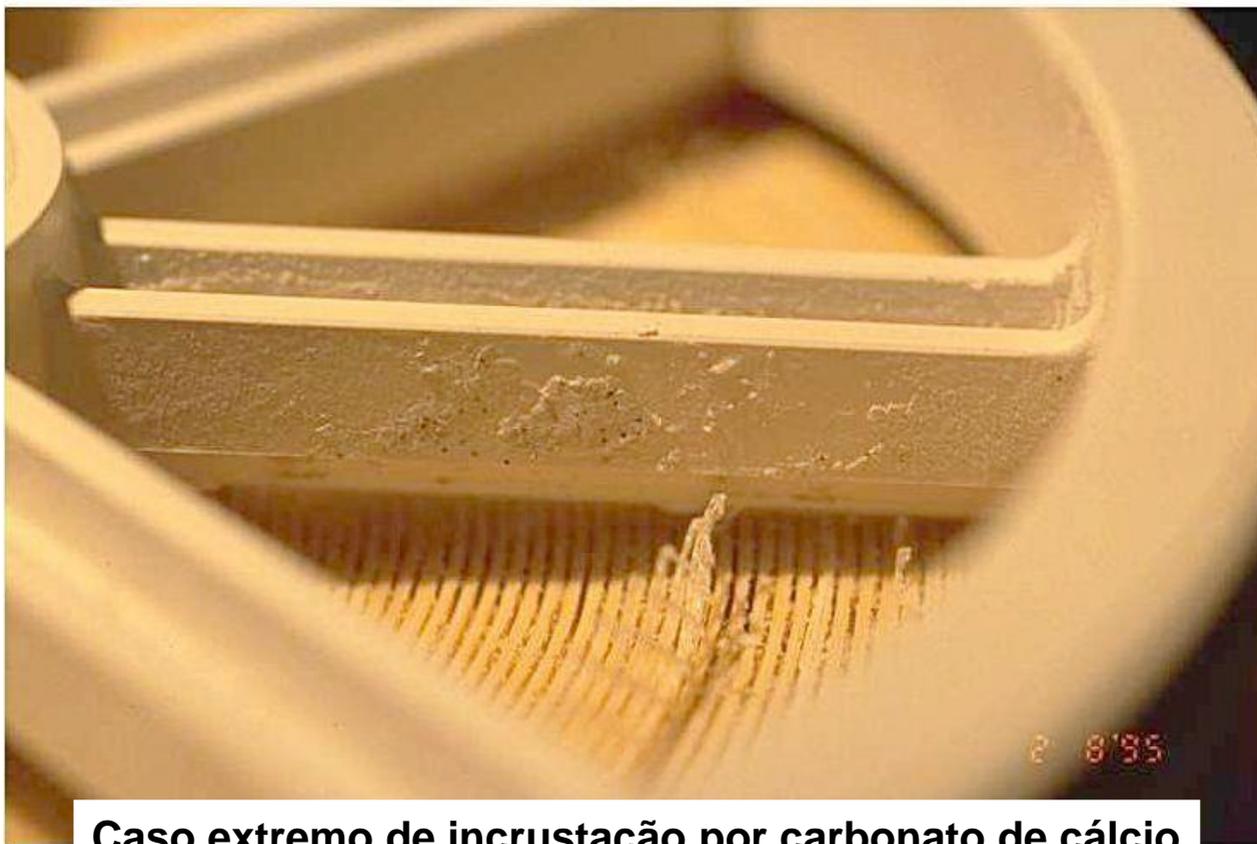
Fouling biológico (biofilmes)



Depósitos de ferro



Incrustações



**Caso extremo de incrustação por carbonato de cálcio
 CaCO_3 na saída do concentrado**

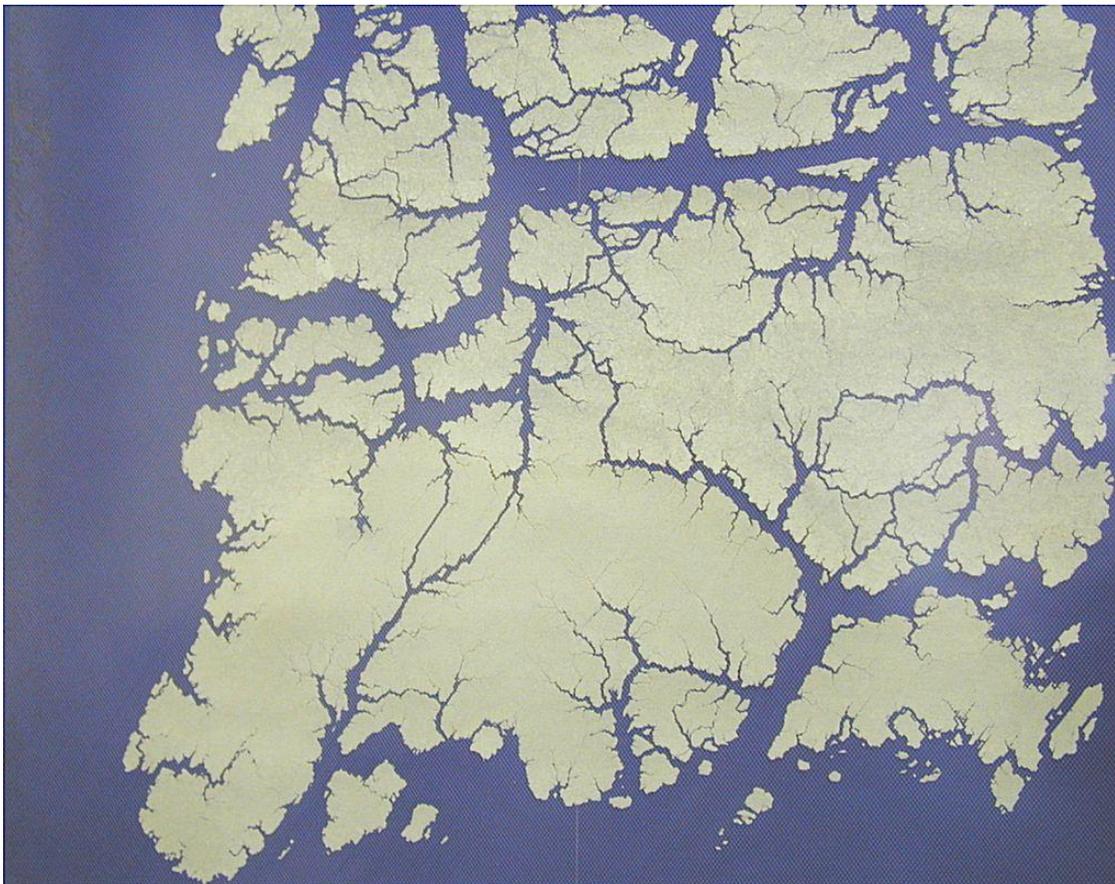
Incrustações por carbonato de cálcio



Correção: Limpeza ácida; aumento da duração da limpeza ácida

Prevenção: Melhoria do pré-tratament

Incrustações minerais



CaCO₃ no espaçador

Incrustações minerais



**Carbonato de cálcio (CaCO_3)
no espaçador**

Incrustações por sulfatos

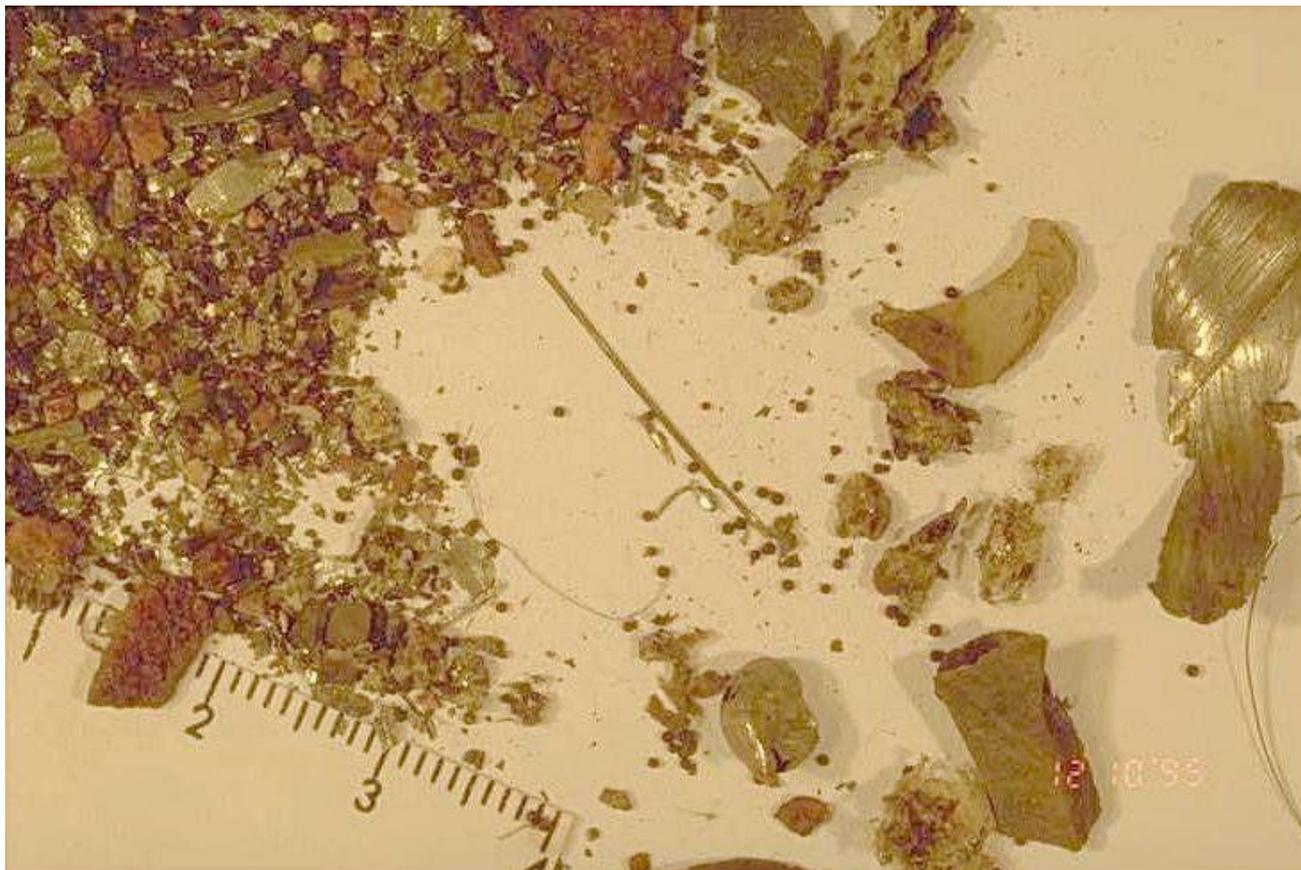


Correção: pH alto e limpeza com EDTA (difícil)

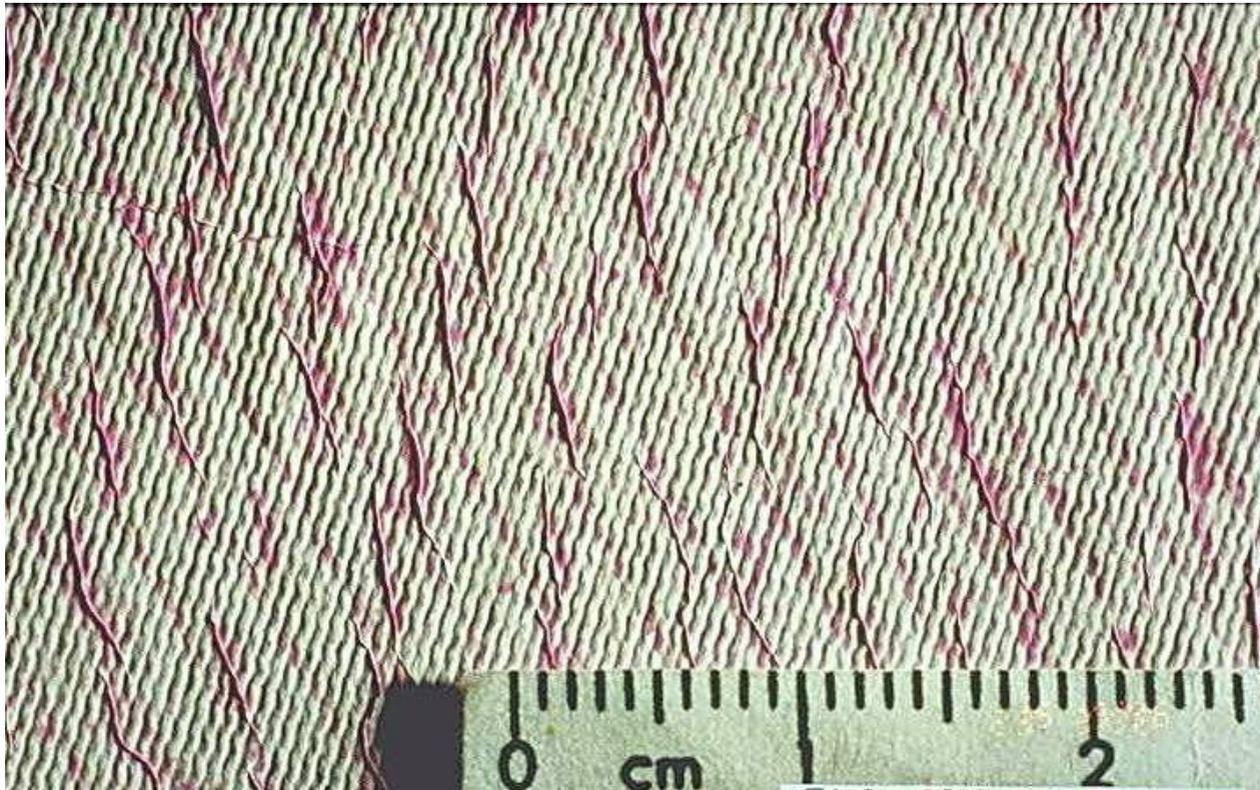
Prevenção: Melhorar o pré-tratamento

Reduzir a recuperação

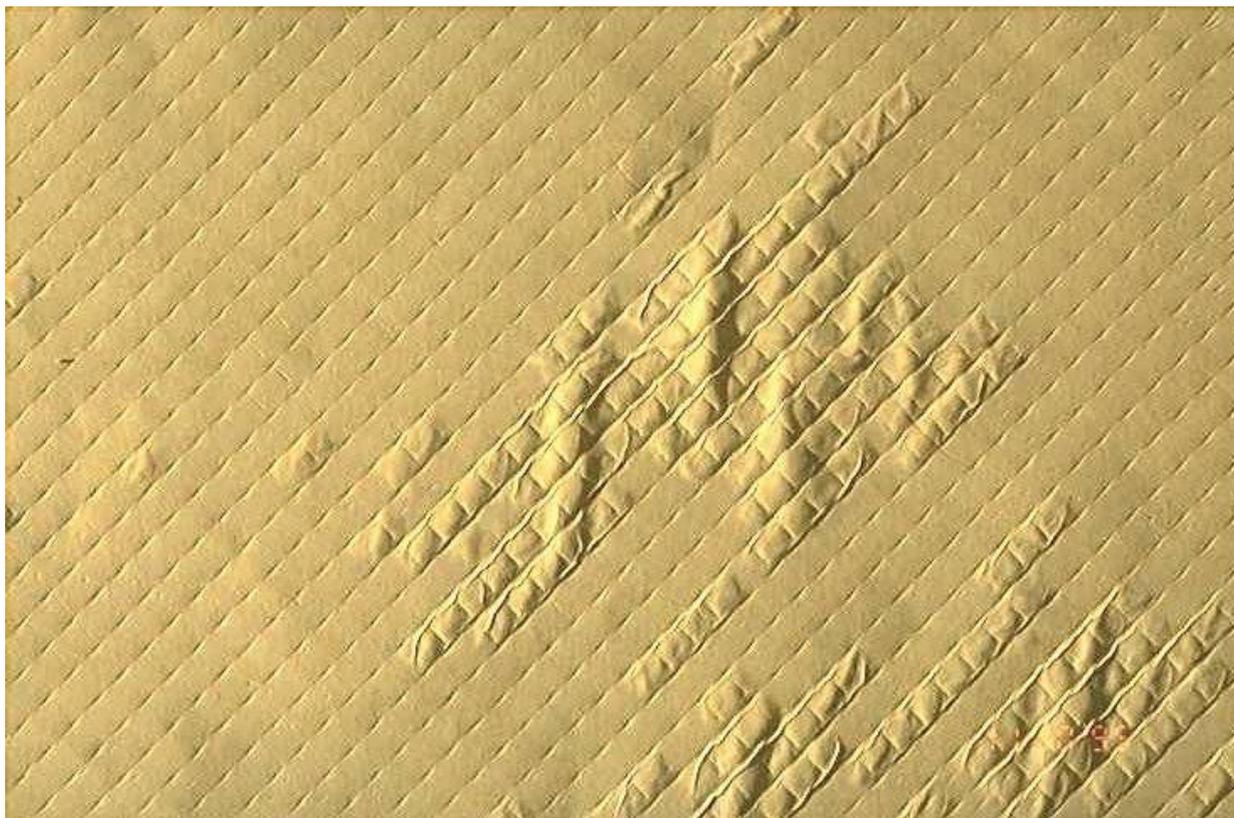
Abrasão por material particulado



Intrusão das membranas



Contrapressão no canal de permeado



Partida com ar nos vasos



Pressão diferencial elevada e/ou golpe de aríete



Resumo do diagnóstico e solução de problemas

Origem dos problemas	Efeito nas membranas	Sintomas observados			Medidas corretivas
		Vazão de permeado	Passagem de sais	Perda de carga	
Água de alimentação	Incrustações, depósitos	↓	↑	↑	Limpar
	Dano mecânico (compactação)	↓	↓	Normal	Substituir membranas
Pré-tratamento: dosagem química e coagulantes	Incrustações, depósitos	↓	↑	↑	Limpar ou substituir as membranas
Pré-tratamento: dosagem química	Oxidação da membrana	↑	↑	Normal	Substituir as membranas
Pre-tratamento: pré-filtração	Depósitos de colóides	↓	↑	↑	Limpar ou substituir as membranas
Operação: armazenagem das membranas	Biofouling, hidratação inadequada	↓	Normal	↑	Limpar / re-umedecer
Operação: instalação e partida	Vazamentos, dano mecânico	Normal	↑	Normal	Reparar vazamentos, substituir conectores
Operação: controle e monitoramento	Incrustações, depósitos	↓	↑	↑	Limpar
Operação: desligamento	Biofouling ou sulfatos	↓	Normal	↑	Limpar

Problema	Medida corretiva	Sugestões de medidas preventivas
Biofouling	Limpeza	<p>Renovar a solução de preservante das membranas em estoque.</p> <p>Verificar o potencial de formação de biofilme da água de alimentação.</p> <p>Tratamento de choque com biocida não oxidante na alimentação do sistema.</p> <p>Considerar a instalação de um biorretor na entrada.</p> <p>Utilizar ultrafiltração como pré-tratamento.</p> <p>Utilizar sistema de oxidação e posterior neutralização como pré-tratamento</p> <p>Uso de membranas resistentes ao fouling (FR, XFR)</p>
Incrustações de sais	Limpeza	<p>Calcular o potencial de incrustações para a recuperação utilizada.</p> <p>Analisar a água de alimentação periodicamente.</p> <p>Inspecionar a saída de concentrado para sinais de incrustações.</p> <p>Instalar e otimizar o sistema de dosagem de ácido e antiincrustante.</p> <p>Adicionar um abrandador.</p> <p>Enxágues e limpezas químicas periódicas.</p> <p>Abaixar a recuperação para diminuir o risco de precipitação</p>
Matéria orgânica	Limpeza (difícil)	<p>Adicionar pré-tratamento se o TOC > 3 mg/L.</p> <p>Instalar/otimizar a UF, filtros de carvão ou biorreatores.</p> <p>Coagulação, flotação e/ou carvão ativado se óleos & graxas > 0.1mg/L.</p> <p>Considerar separadores de água e óleo no pré-tratamento</p>

Problema	Medidas corretivas	Possibilidades de prevenção
Incrustação por partículas e/ou colóides	Limpeza (difícil)	Substituir peças enferrujadas do sistema. Instalar ou otimizar o pré-tratamento. Utilizar coagulantes e sedimentadores para colóides de Ferro. Pré-tratamento insuficiente pode ser compensado com limpezas mais agressivas e frequentes.
Dano mecânico	Substituir os elementos	Partida e desligamento em rampa com pressurização gradual e remoção de todo o ar antes da operação. Para evitar abrasão: verificar os filtros de cartucho e sempre enxaguar as linhas após manutenção. Para evitar a delaminação das membranas: utilize um vent atmosférico associado a válvulas de retenção em série. Desenvolver e aplicar um protocolo de instalação adequado.
Oxidação das membranas	Substituir os elementos	Remover os oxidantes da alimentação utilizando, por exemplo, bissulfito de sódio. Filtro de carvão ativado. Substituir componentes oxidados pois os metais agem com catalisadores da oxidação das membranas.
Vazamentos	Reparar ou substituir elementos danificados	Partida suave em rampa e com purga de ar. Programa de inspeção e substituição de o-rings. Protocolo para instalação adequada dos elementos. Medição da condutividade por vaso.