

PHA 3418 - Tecnologia de Separação por Membranas para Tratamento de Água e Efluentes

Aula 10 - Principais componentes do sistema e estratégias de pré-tratamento



Prof.: José Carlos Mierzwa
mierzwa@usp.br

Introdução

- A operação adequada dos sistemas de separação por membranas só é possível mediante a utilização de componentes que permitam:
 - Operar o sistema nas condições estabelecidas;
 - Acompanhar o desempenho do processo;
 - Indicar a necessidade de intervenções.

Operação do sistema

- Para a operação adequada dos processos de separação por membranas deve-se dar atenção especial:
 - Ao subsistema de pré-tratamento;
 - Bomba de alimentação;
 - Válvulas;
 - Medidores de pressão (manômetros);
 - Medidores de vazão;
 - Dispositivos de segurança.

Acompanhamento da operação

- Para acompanhar o desempenho do sistema deve-se considerar:
 - Medidores de pressão diferencial;
 - Indicadores de temperatura;
 - Condutivímetro;
 - pH-metro.

Subsistema de pré-tratamento

- Assegurar o máximo desempenho dos processos de separação por membranas:
 - Minimizar problemas operacionais;
- Cada processo apresenta limitações com relação aos possíveis contaminantes presentes;
- Formação de depósitos, incrustação, formação de biofilme e degradação das membranas devem ser minimizados.

Subsistema de pré-tratamento (cont.)

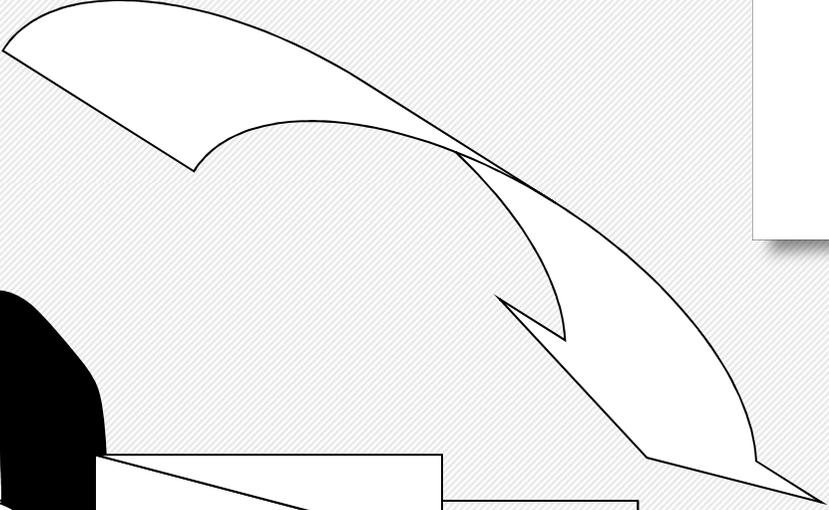
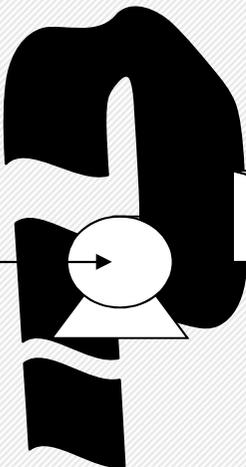
- O pré-tratamento a ser utilizada depende:
 - Do tipo de processo de separação por membranas;
 - Da configuração das membranas;
 - Das características da corrente de alimentação;
 - Dos parâmetros de operação do sistema.
- Para MF e UF são menos complexos.

Subsistema de pré-tratamento (cont.)

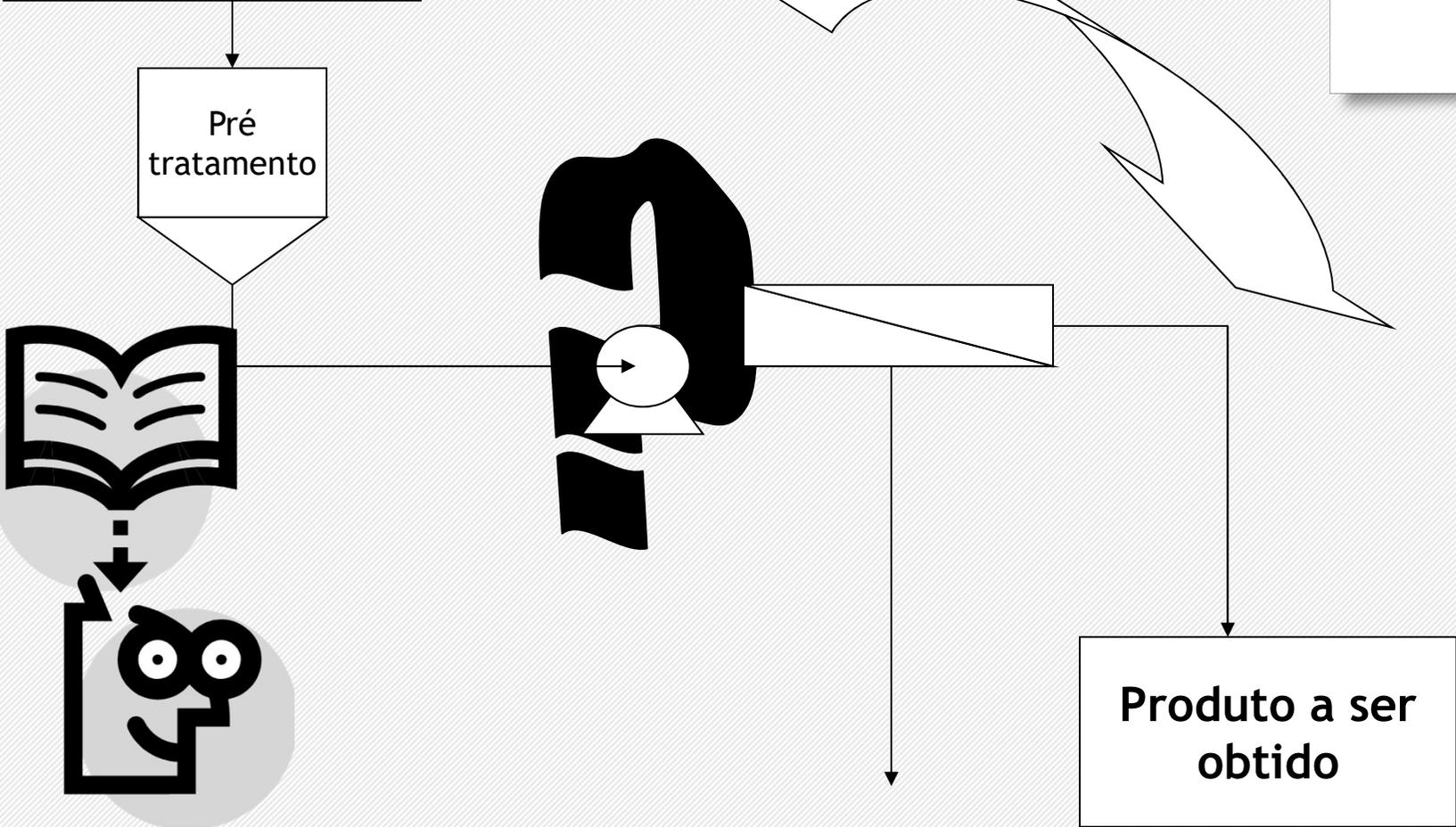
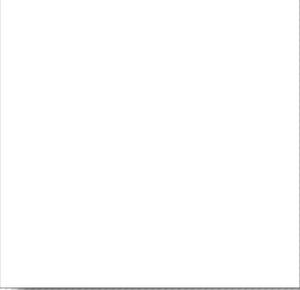
- Na MF e UF não ocorre a concentração de espécies solúveis, principalmente inorgânicas.
- Por operarem com pressões elevadas, a presença de sólidos em suspensão é uma condição crítica na NF e OR;
- O sistema de eletrodialise não possibilita a separação de sólidos suspensos e espécies não iônicas,
- O potencial de formação de biofilme e degradação das membranas deve ser considerado em todos os processos.

**Fonte de água
ou efluente**

**Pré
tratamento**



**Produto a ser
obtido**



Problemas com sólidos em suspensão

- Sistemas de MF e UF apresentam maior tolerância
- Sistemas de NF, OR e ED são restritivos;
- A configuração das membranas apresenta grande influência sobre esta tolerância.

Problemas com sólidos em suspensão (cont.)

- Membranas tubulares e capilares permitem:
 - Operação com maior concentração de partículas;
 - Alimentação com partículas de maior diâmetro;
- Membranas de fibra oca, enroladas em espiral e planas são mais restritivas;
- Membranas em espiral podem ser especificadas com espaçadores especiais.

Problemas com sólidos em suspensão (cont.)

- Membranas NF e OR alimentadas com correntes com sólidos em suspensão podem sofrer depósitos irreversíveis;
- Em decorrência das restrições de cada processo é necessário utilizar um pré-tratamento adequado;
- A redução do potencial de formação de depósitos pode ser obtida com a utilização de dispersantes.

Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos

- Os processos de pré-tratamento disponíveis para remoção de sólidos são:
 - Filtração;
 - Clarificação;
 - Microfiltração ou ultrafiltração.
- O pré-tratamento a ser utilizado depende da capacidade do sistema e concentração de sólidos suspensos;
- A MF e UF são opções de pré-tratamento para os processos de NF e OR.

Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos (cont.)

- Membranas tubulares ou de fibra oca ($\phi > 1$ mm):
 - Filtros com capacidade de retenção de partículas com 1/10 do diâmetro interno da membrana;
- Membranas planas ou enroladas em espiral:
 - Filtros com capacidade de retenção de partículas com diâmetro de 1/30 a 1/20 da espessura do espaçador.

Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos (cont.)

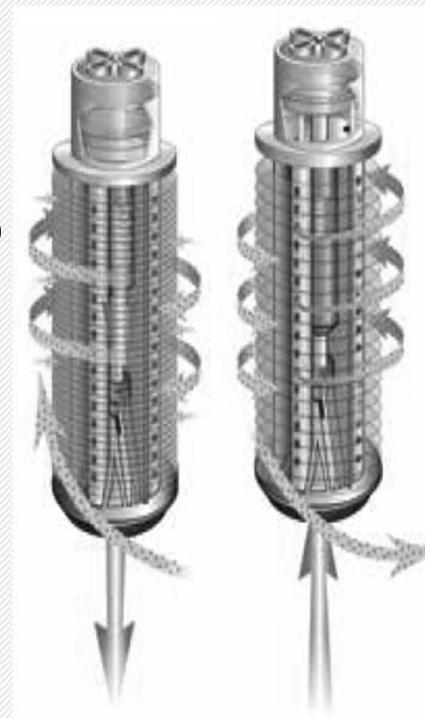
- Processos de NF e OR:
 - O sistema de pré-tratamento deve possibilitar a obtenção de uma corrente com as seguintes características:
 - Turbidez → < 1 UNT;
 - Índice de densidade de obstrução (SDI):
 - Tratamento de água < 5
 - Tratamento de efluentes < 3.
 - As técnicas de pré-tratamento dependem da característica da alimentação;
 - Como componente final do pré-tratamento utiliza-se um sistema de filtração, para reter partículas com diâmetro de até 5 μm .

Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos (cont.)

- Filtros de disco:
 - Para retenção de partículas com diâmetro de até 20 mm;
 - A corrente de alimentação deve ter baixa concentração de sólidos em suspensão (<0,01% em massa).
- Filtros tipo cartucho ou tipo bolsa (Bag):
 - Indicados para sistemas de baixa capacidade, como elementos principais ou finais de pré-tratamento;
 - A corrente de alimentação deve apresentar baixa concentração de sólidos (< 0,01 % em massa).
- Filtros de meio granular:
 - Indicados para sistema de grande capacidade;
 - A concentração de sólidos na corrente de alimentação deve ser baixa < 10 mg/L,
 - Os filtros podem ser de camada única ou dupla.



Modos de filtração e
contralavagem



Disc material type availability according to filtration degree:

Color Code	Gray	Purple	Green	Brown	Black	Red	Yellow	Blue
Micron	20	40	55	70	100	130	200	400
PP Disc PA (Nylon) Disc	PP, PA	PP						

Filtros tipo disco

(http://www.amiad.com/files/4_Spin_Klin_Galaxy.pdf)



Filtros BAG e Cartucho

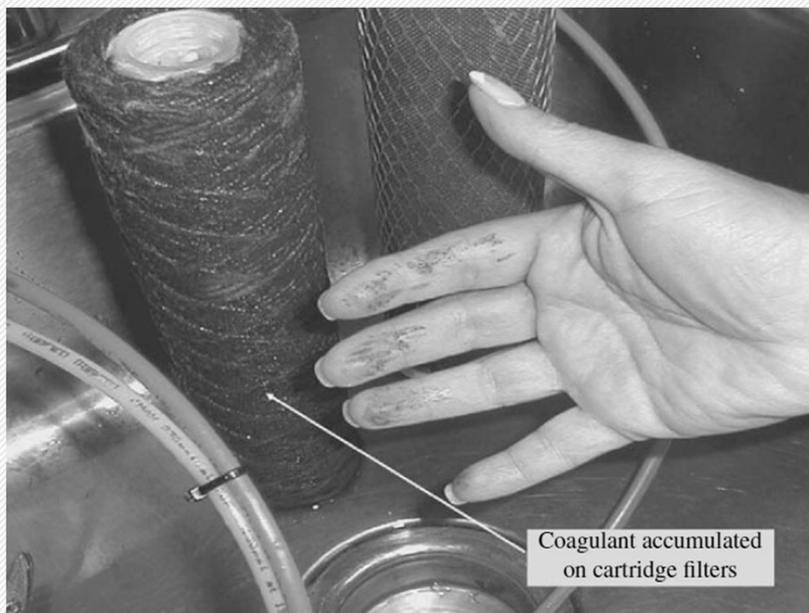


Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos (cont.)

- Processo de clarificação:
 - Indicados para sistemas com elevada capacidade de tratamento;
 - A concentração de sólidos é superior a 10 mg/L;
 - Nos casos em que a concentração de sólidos resulta em um SDI ligeiramente superior a 5 pode-se utilizar as variantes do processo de clarificação:
 - Coagulação em linha;
 - Filtração direta.

Tipos de pré-tratamento para remoção de sólidos (cont.)

- Processo de clarificação (cont.):
 - Na clarificação deve ser dada atenção especial ao tipo de coagulante e floculante utilizados;
 - Coagulantes e floculantes catiônicos podem resultar na formação de depósitos - interação com as membranas ou reação com dispersantes;
 - O uso de sais de ferro ou alumínio exige a redução do pH antes da passagem pelas membranas;
 - Recomenda-se evitar o uso de floculantes catiônicos;
 - A presença de ferro e manganês na forma solúvel requer oxidação preliminar.



Filtro cartucho com depósito de ferro em função da dosagem excessiva no sistema de pré-tratamento



Amostra de filtro cartucho com deposição de ferro devido à corrosão de equipamentos à montante da sua instalação

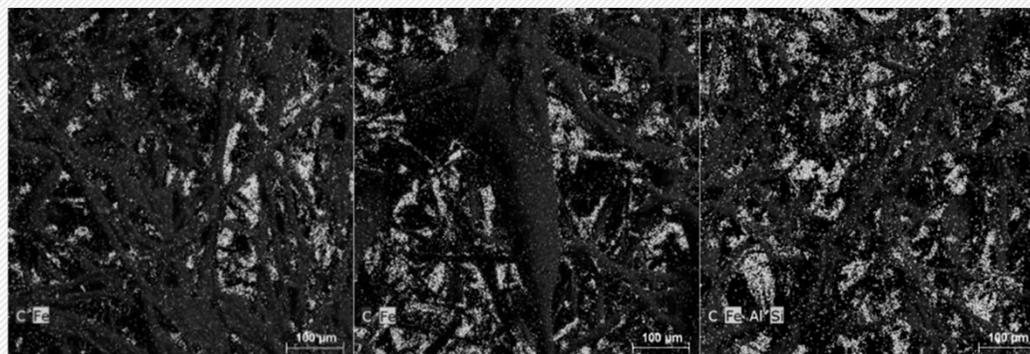


Imagem obtida por espectroscopia de raios-x com energia dispersiva (coloração verde indica a presença de ferro)

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade

- Quando ocorre a concentração de espécies dissolvidas o efeito de precipitação deve ser considerado;
- Para o tratamento de água os compostos que despertam maior preocupação são:
 - Carbonato, sulfato e fluoreto de cálcio;
 - Sulfato de bário;
 - Sulfato de estrôncio;
 - Sílica solúvel.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- A precipitação de carbonato de cálcio pode ser controlada com base no Índice de Saturação de Langelier (ISL);
- Este índice tem aplicação para correntes com concentração de sais dissolvidos inferior a 10.000 ppm,
- Para concentrações de sais acima de 10.000 deve-se utilizar o índice de Estabilidade de Stiff & Davis (IES&D).

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- O IS de Langelier é calculado pela seguinte expressão:
 - $ISL = pH_c - pH_s$
 - pH_c = pH do concentrado;
 - pH_s = pH de saturação do carbonato de cálcio.
 - $pH_s = pCa + pAlcalinidade + C$
 - C é função da concentração de sais dissolvidos.
- No caso do cálculo do IES&D, a variável C é substituída por K, que é função da força iônica do concentrado.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- Para evitar a precipitação de carbonato de cálcio o ISL deve ser ajustado para valores negativos;
- Em casos específicos é possível operar o sistema com o ISL positivo, utilizando-se dispersantes:
 - $ISL < 0 \rightarrow$ nenhuma medida é necessária;
 - $ISL \leq 1 \rightarrow$ uso de dispersante inorgânico (HMFS);
 - $ISL > 1 \rightarrow$ é possível utilizar inibidores orgânicos.
- Na maioria dos casos o valor máximo do ISL é de 1,8.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- Como alternativa aos inibidores de incrustação pode-se adotar os seguintes procedimentos:
 - Reduzir a taxa de recuperação de água;
 - Reduzir a concentração de cálcio na alimentação;
 - Reduzir o pH da corrente de alimentação.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

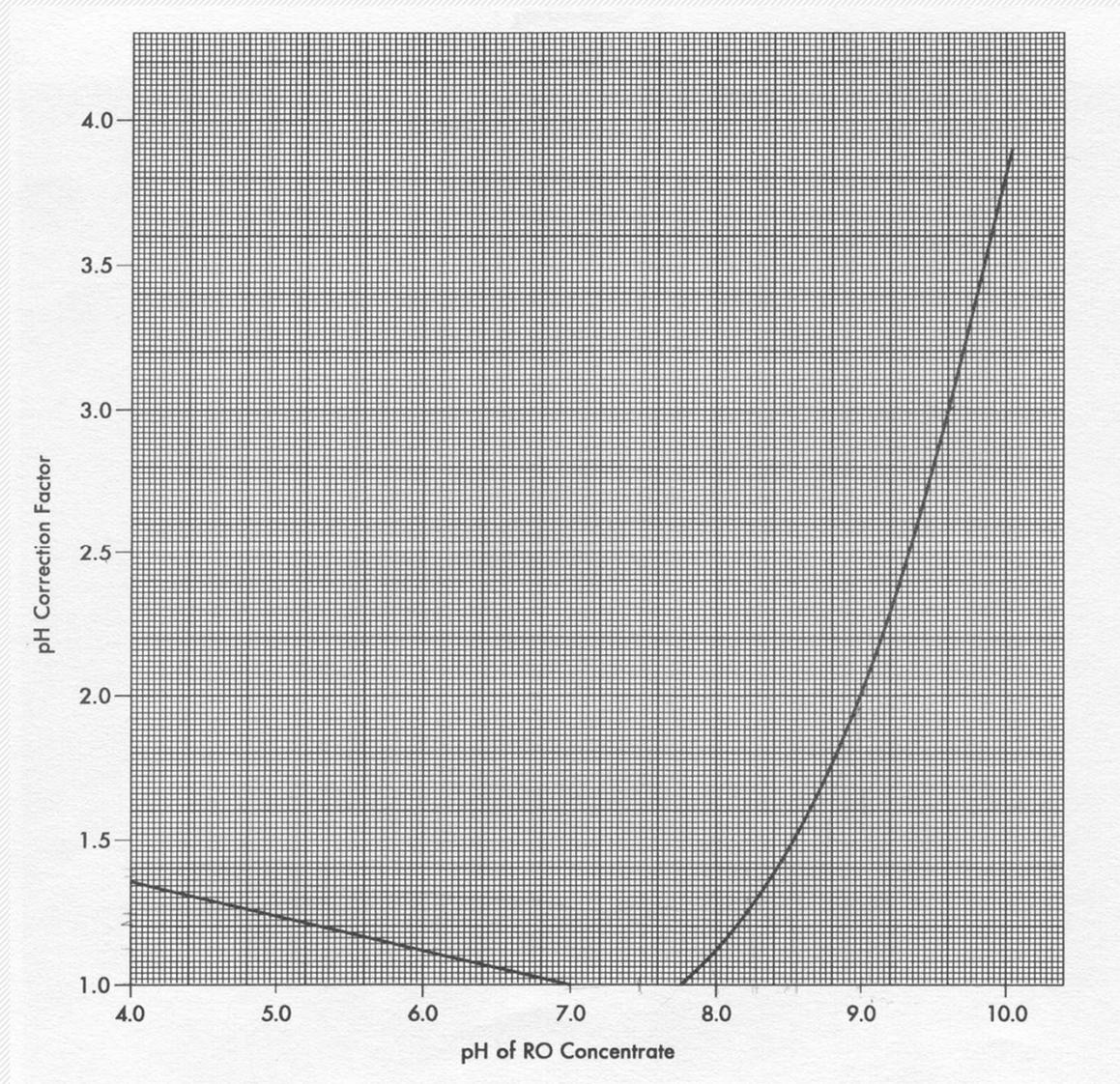
- Os mesmos cuidados aplicam-se a outros sais como CaSO_4 ; BaSO_4 , SrSO_4 e CaF_2 :
 - O pH tem pouco efeito;
- O produto de solubilidade é bastante importante para o controle da incrustação por estes compostos.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- Quando se utiliza inibidores de incrustação os limites tolerados são:
 - Sulfato de cálcio:
 - $[Ca^{2+}].[SO_4^{2-}] \leq 1,0 \times 10^{-3}$
 - $[Ca^{2+}].[SO_4^{2-}] \leq 1,5 \text{ Kps}$
 - Sulfato de bário $\rightarrow [Ba^{2+}].[SO_4^{2-}] \leq 50 \text{ Kps}$
 - Sulfato de estrôncio $\rightarrow [Sr^{2+}].[SO_4^{2-}] \leq 50 \text{ Kps}$
 - Fluoreto de cálcio $\rightarrow [Ca^{2+}].[F^-]^2 \leq 100 \text{ Kps}$
- O produto de solubilidade dos compostos presentes varia com a força iônica da solução.

Problemas com compostos que apresentam baixa solubilidade (cont.)

- A sílica solúvel é de grande preocupação para os processos de separação por membranas;
- Águas naturais podem apresentar teor de sílica variando de 1 a 100 mg/L;
- Quando o limite de saturação é atingido ocorre formação de sílica coloidal insolúvel, ou sílica gel.



Fator de correção da solubilidade da Sílica em função do pH

Problemas com adsorção de compostos orgânicos

- Compostos orgânicos podem conduzir à redução do fluxo de água;
- A adsorção de compostos orgânicos é favorecida quando:
 - Sua massa molecular é elevado;
 - São hidrofóbicos;
 - Apresentam carga positiva quando em solução.

Problemas com adsorção de compostos orgânicos (cont.)

- Valores elevados de pH reduzem o potencial de adsorção :
 - A maioria das membranas e substâncias orgânicas apresentam carga negativa em $\text{pH} > 9$,
 - A presença de óleos e graxas também pode conduzir à redução de fluxo de algumas membranas;
 - Estes contaminantes são mais críticos para processos de NF, OR e ED.

Problemas com adsorção de compostos orgânicos (cont.)

- Substâncias húmicas apresentam potencial para reduzir o fluxo através das membranas;
- Como opção de pré-tratamento para remoção de compostos orgânicos pode-se lançar mão:
 - Processo de coagulação floculação;
 - Adsorção em carvão ativado;
 - Ultrafiltração.

Problemas com microrganismos

- Os microrganismos, principalmente bactérias, podem resultar na formação de biofilme;
- Este problema não se restringe apenas às membranas:
 - Qualquer componente do sistema pode ser afetado.
- Como medida de controle dos microrganismos utiliza-se o processo de desinfecção.

Problemas com microrganismos (cont.)

- Como processos de desinfeção pode-se considerar:
 - Tratamento de choque:
 - Uso de elevadas doses do agente de desinfeção em um pequeno intervalo de tempo;
 - É comum a utilização do bissulfito de sódio como inibidor do crescimento microbiológico;
 - Dosagem contínua de um biocida:
 - Cloração ou ozonização;
 - As membranas devem ser resistentes.

Problemas com microrganismos (cont.)

- Uso de radiação ultravioleta:
 - A radiação com comprimento de onda de 254 nm apresenta efeito germicida;
 - É um processo físico, não requer o uso de produtos químicos;
 - Não é indicado para águas com elevada turbidez ou que apresentam cor;
- Como opção é possível utilizar leitos de carvão granular de grande profundidade.

Problemas com microrganismos (cont.)

- Utilizando-se condições operacionais adequadas é possível obter uma boa remoção de microrganismos:
 - Taxa de aplicação → 2 a 10 m/h;
 - Profundidade do leito → 2 a 3 m.
- O processo de remoção é similar àquele que ocorre nos filtros lentos;
- Não existem dados práticos que demonstrem a eficiência deste método de controle.

Técnicas de Pré Tratamento Utilizadas para processos de separação por membranas

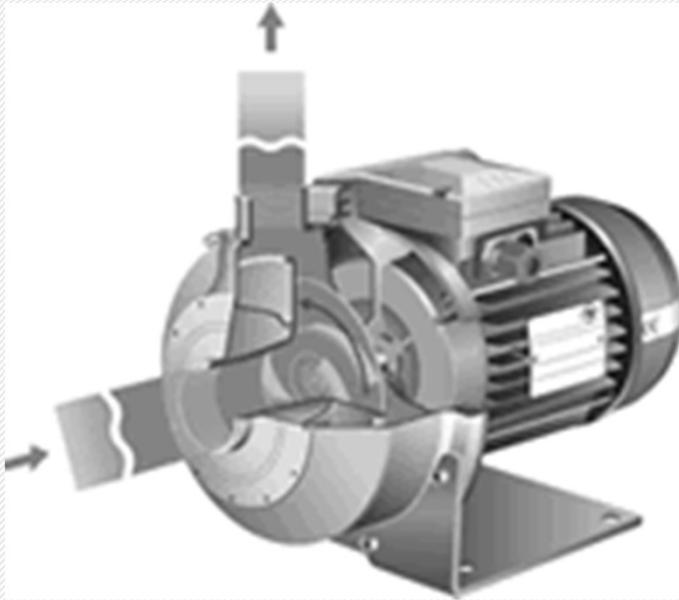
Pré Tratamento	Contaminante										
	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe	Al	Bactéria	Agentes Oxidantes	Matéria Orgânica
Acidificação	E						P				
Inibidor de Incrustação	P	E	E	E	E	P					
Abrandamento por Troca Iônica	E	E	E	E	E						
Dealcalinização por Troca Iônica	P	P	P	P	P						
Abrandamento com Cal	P	P	P	P	P	P	P				
Limpeza Preventiva	P					P	P	P	P		P
Ajuste dos Parâmetros de Operação		P	P	P	P	E					
Filtro de Areia						P	P	P			
Oxidação / Filtração							E				
Coagulação em linha							P	P			
Coagulação / Floculação						P	P	P			
Microfiltração ou Ultrafiltração						E	P	P	P		
Filtro Cartucho						P	P	P	P		
Cloração									E		
Remoção de Cloro										E	
Tratamento de choque									P		
Desinfecção Preventiva									P		
Adsorção em Carvão Ativado Granular									P	E	E

P – Possível

E – Efetivo

Outros componentes do sistema

- Bombas:
 - São vitais para os processos de separação por membranas;
 - São os pontos fracos dos sistemas de tratamento;
 - Os principais tipos utilizados nos processos de separação por membranas são:
 - Centrífugas → estágio simples ou múltiplos estágios;
 - Bombas de deslocamento positivo → pistão , diafragma, engrenagens e eixo helicoidal.



**Bomba centrífuga de
simples estágio**



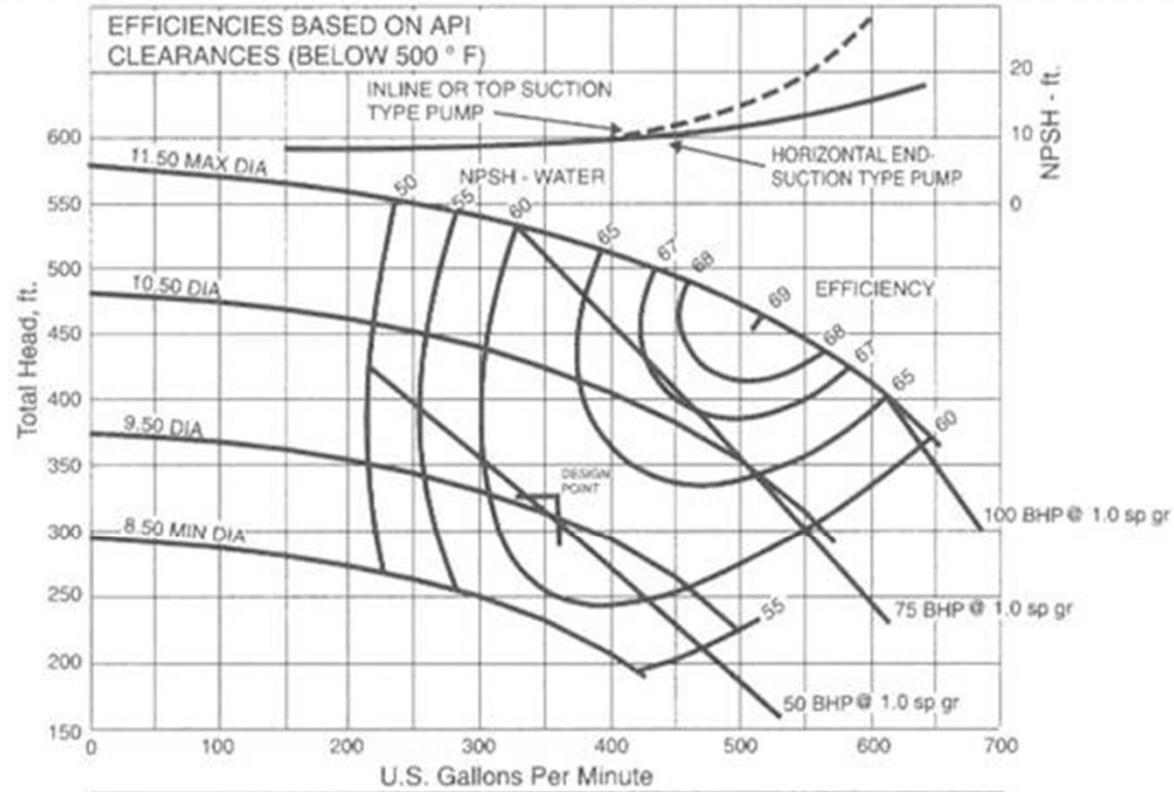
**Bomba centrífuga de
múltiplos estágios**

Bombas (cont.)

- Preferencialmente são utilizadas bombas centrífugas;
- Bombas de deslocamento positivo podem causar danos ao sistema;
- Caso as bombas de deslocamento positivo sejam utilizadas deve-se prever dispositivos de segurança.

Bombas (cont.)

- Bombas de simples estágio e baixa rotação não possibilitam a obtenção de pressões elevadas (máximo de 10 bar);
- Bombas de múltiplos estágios permitem obter pressões de até 26 bar, sendo possível em alguns projetos pressões da ordem de 70 bar;
- Nas bombas centrífugas a vazão varia com a pressão de descarga;



DEPROPANIZER REFLUX PUMP			
IMPELLER	3 X 4 X 11.5 SINGLE STAGE PUMP		
MAX DIA	11.50 IN	DIA IMPELLER	9.75 IN
MIN DIA	8.50 IN	IMPELLER PATT	3,560 RPM
EYE AREA	14.2 SQ IN	NPSH REQUIRED	9 FT
		REFERENCE	CURVE NO. CA-307-3

Exemplo de curvas de bombas centrífugas

Válvulas

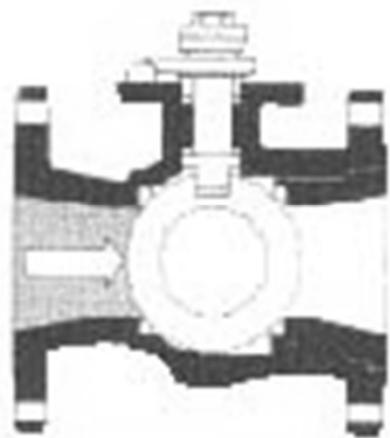
- As válvulas também são importantes no sistemas de separação por membranas;
- Elas possibilitam controlar o fluxo através dos componentes e a realização de manobras com o fluído;
- Algumas válvulas podem ser utilizadas como dispositivo de segurança.

Válvulas (cont.)

- Entre os principais tipos de válvulas disponíveis no mercado destacam-se:
 - Válvulas de bloqueio:
 - Esfera, borboleta, gaveta e diafragma.
 - Válvulas de controle:
 - Globo, agulha e reguladora de pressão.
 - Válvulas de segurança:
 - Retenção, alívio e quebra vácuo.

Figure 1 - Manual Valves

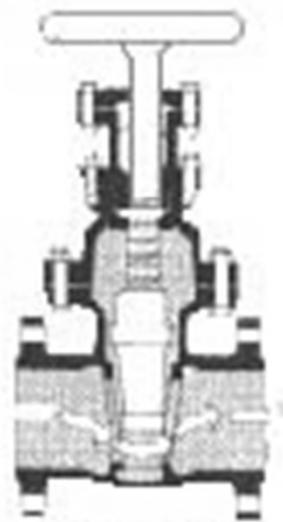
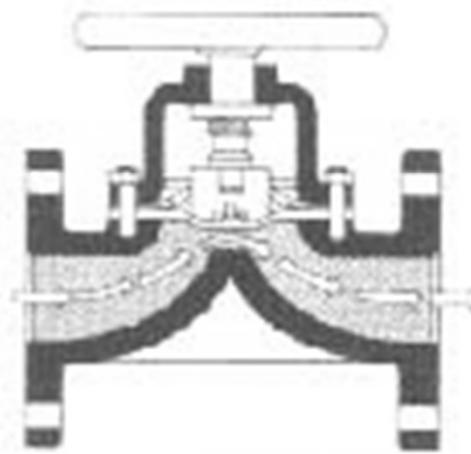
Ball Valve



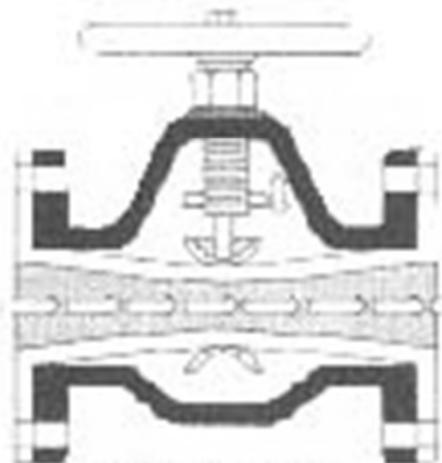
Butterfly Valve



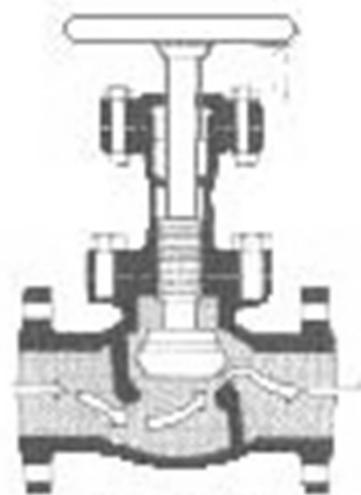
Diaphragm Valve



Gate Valve



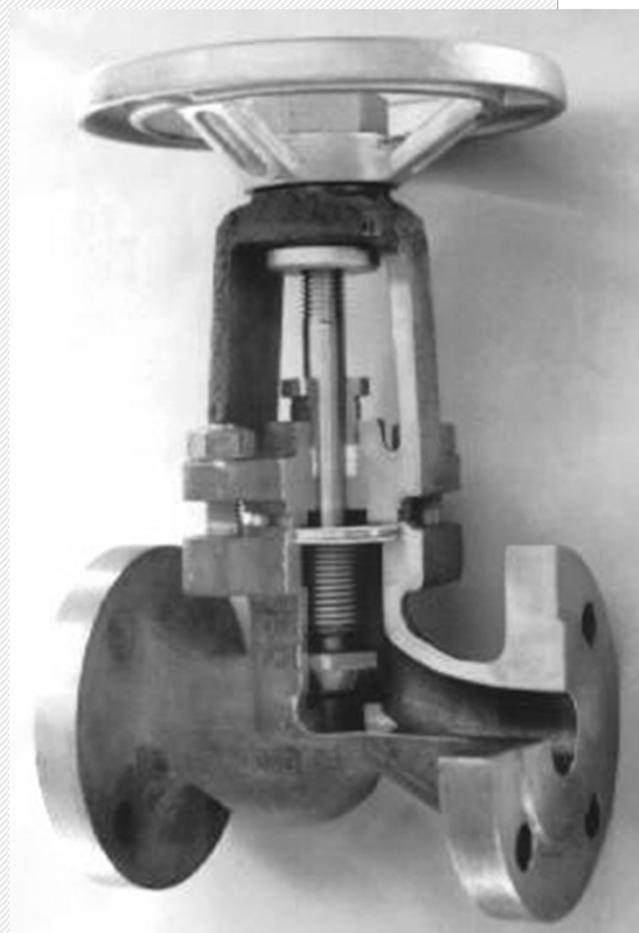
Pinch Valve



Globe Valve



Válvula esfera



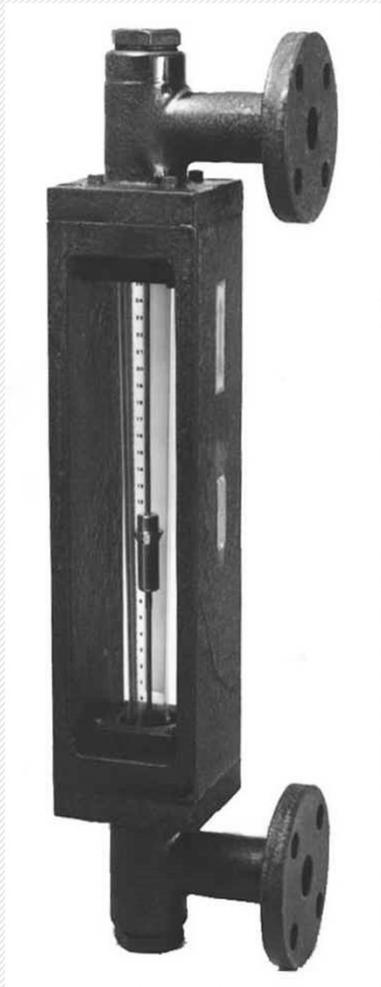
Válvula globo

Medidores de vazão

- Acompanhar o desempenho do sistema, assim como fornecer informações para ajuste das condições operacionais;
- Por meio dos medidores de vazão é possível verificar a taxa de recuperação de água do sistema;
- São instalados na linha de alimentação, concentrado, recirculação e permeado.

Medidores de vazão (cont.)

- Os medidores disponíveis no mercado são dos seguintes tipos:
 - Rotâmetro (indicação visual);
 - Tipo turbina;
 - Por ultra-som;
 - Magnético.
- Os medidores tipo rotâmetro e turbina são mais indicados para fluídos limpos.



Rotâmetro



Medidor de vazão magnético



Medidor de vazão turbina

Manômetros

- Vitais para os sistemas que utilizam a pressão hidráulica como força motriz;
- Fornecem informações utilizadas para o ajuste de válvulas e para a realização de procedimentos de parada;
- São instalados na descarga de bombas, alimentação e saída de concentrado dos vasos de pressão;

Manômetros (cont.)

- Manômetros utilizados para controle da perda de carga em filtros e outros componentes?
- Não é o procedimento mais adequado quando as pressões são elevadas e os manômetros são analógicos;
- Imprecisão na leitura e o erro inerente ao dispositivo utilizado;
- A melhor opção são os transmissores de pressão diferencial.



Manômetros com leitura analógica e digital



Manômetro e Termômetro Digital

Manômetro Digital MDR-2000



Caixa
Tipo bialmetálica, em aço inoxidável AISI 304, diâmetro nominal de 100mm

Sistema Eletrônico
Constituído por circuito que faz toda a conversão mecânica em eletrônica proporcionando alta robustez

Tomada de Pressão
Inferior ou Traseira

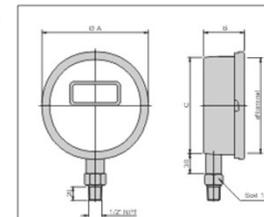
Display
3,1/2 dígitos, de cristal líquido

Amostragem
3 leituras por segundo

Faixa de Indicação
Módulos: 1, 15, 25, 4, 6, 10, 15, 25, 40, 60, 100, 150, 200, 400, 600, 1000
Variações: -1, 0
Multiplicadores: -0,5, -1, -1, -40, 6, -1, -1, 5, -1, -1, -4, 3, -1, -4, 6, -1, -4, 6, -1, -4, 6, -1, -4, 24

Exatidão
A2, com desvio admissível de 0,25%
A2, com desvio admissível de 0,50%

Alimentação
Uma bateria alcalina de 9V
Temperatura de operação
0 a 60°C



Ø Nominal	A	B	C
100	108	51	100
114	128	48	114

Termômetro Digital TDR-2000



Caixa
Tipo bialmetálica, em aço inoxidável AISI 304, diâmetro nominal de 100mm

Sistema Eletrônico
Constituído por circuito que faz toda a conversão eletrônica proporcionando alta robustez

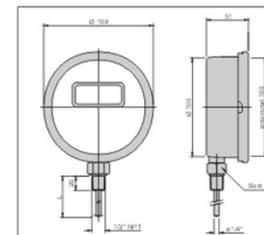
Display
3,1/2 dígitos, de cristal líquido

Amostragem
3 leituras por segundo

Faixas de Indicação
-40 a +100,0°C, resolução de 0,1°C
-40 a +500°C, resolução de 1°C
-40 a +1000°C, resolução de 1°C

Exatidão
±0,5% do total da escala (último dígito)

Alimentação
Uma bateria alcalina de 9V



Consulte-nos sobre outros diâmetros



FÁBRICA DE MANÔMETROS RECORD S.A.
Rua Orfanato, 1387 - V. Prudente - Cep 03.131-010 - São Paulo - SP - Brasil
Tel: (011) 6805-2533 - Fax: (011) 69.05-7449 / 6905-0000
email: record@record.com.br
homepage: <http://www.record.com.br>

A Fabrica de Manômetros Record S.A. se reserva o direito de alterar de tempos em tempos produtos e as especificações sem prévio aviso

Dispositivos de segurança

- São utilizados para garantir a integridade dos componentes do sistema;
- Podem ser utilizados para manter o sistema operando dentro das condições estabelecidas;
- Os próprios componentes utilizados para acompanhar o desempenho do sistema podem ser utilizados como dispositivos de segurança.

Dispositivos de segurança (cont.)

- Neste caso é necessário que o componente disponibilize um sinal elétrico ou digital para elementos de controle;
- Alguns dispositivos podem ter função exclusiva, caso dos pressostatos e válvulas de alívio ou quebra vácuo.

Automação e Controle

- Com o avanço da eletrônica, houve uma redução significativa nos custos de instrumentos para automação de sistemas;
- Uso de Controladores Lógicos Programáveis, é imprescindível para sistemas que operam com contralavagem;
- Uso de data loggers para armazenagem e coleta de dados.

Componentes para automação e controle

- **Transdutores e transmissores diversos:**
 - Transformam uma propriedade física, ou química do sistema em sinal elétrico, transmitindo-as para um outro dispositivo.
- **Indicadores:**
 - Recebem o sinal do transmissor e o apresenta em um display ou tela de computador.

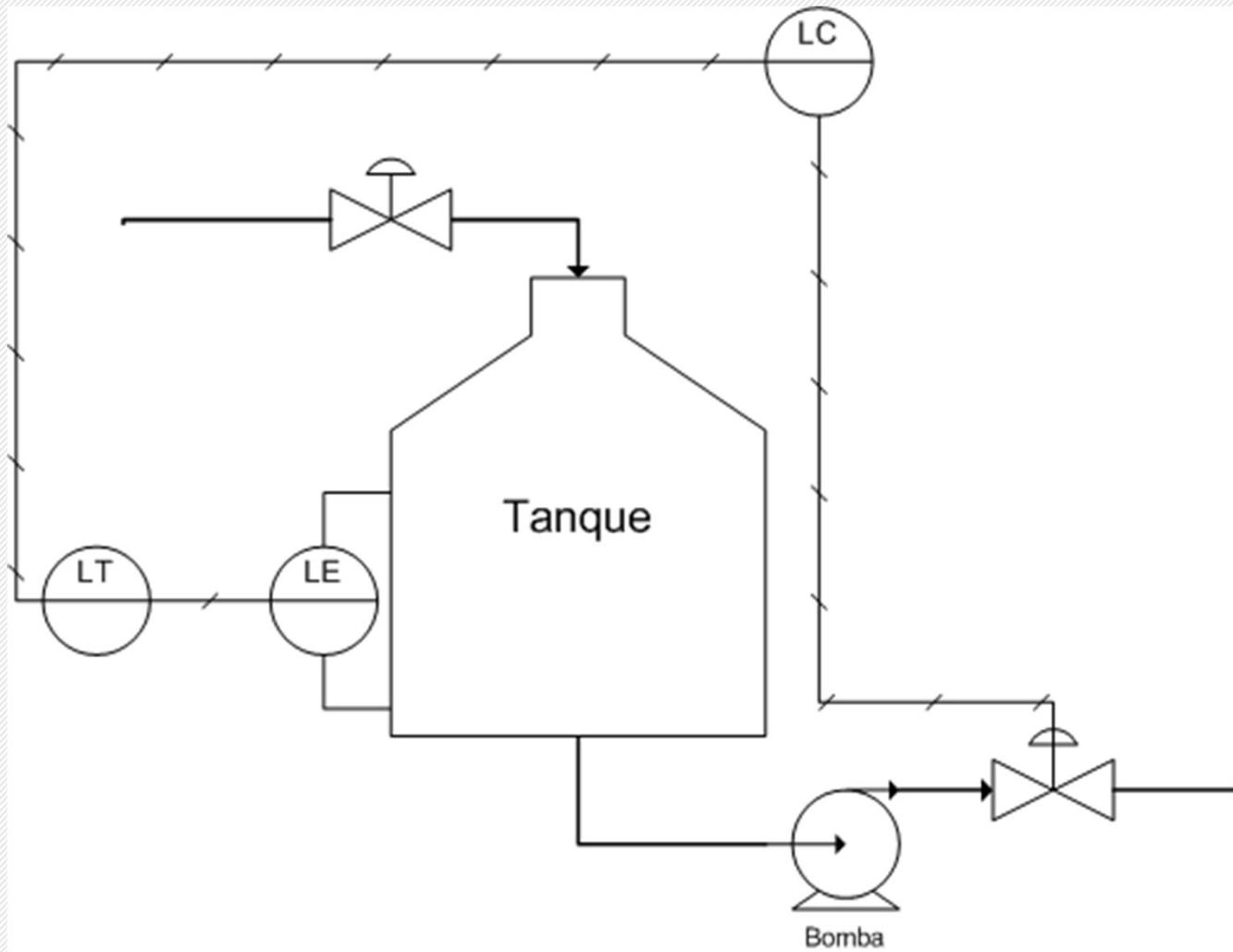
Componentes para automação e controle (cont.)

- **Controladores:**

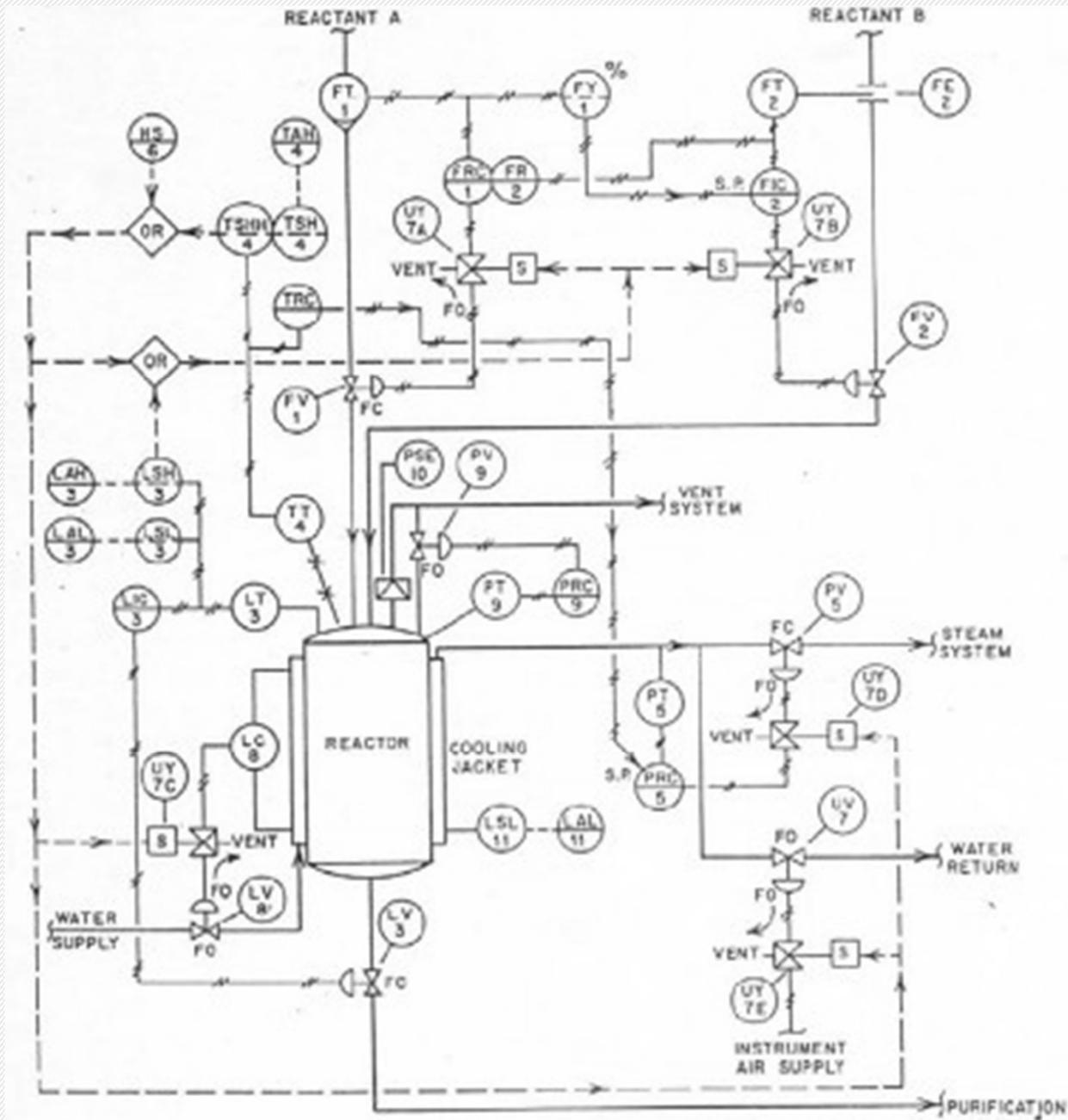
- Recebem o sinal do transdutor e comparam com um valor pré-estabelecido (set-point), enviando ou não um sinal para o atuador.

- **Atuadores:**

- A partir do sinal recebido do controlador, atua no dispositivo final.



Exemplo de uma malha de controle de vazão
na descarga de uma bomba



Modelo de um fluxograma de engenharia