

PHA 3418 – Tecnologia de Separação por Membranas

Formação de Depósitos e Biofilme

Prof. José Carlos Mierzwa

DEPÓSITOS E OUTROS EFEITOS DE ADSORÇÃO

- As interações entre soluto/membrana e soluto-soluto podem resultar na formação de depósitos:
 - Adsorção física do soluto sobre a membrana;
 - Precipitação química.
- Estes processos podem afetar de forma negativa a capacidade de separação das membranas.

FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS

- A tendência de uma água ou efluente causar problemas de depósitos é determinada empiricamente;
- Um teste utilizado para membranas de MF, UF, NF e OR é o de determinação do Índice de Densidade de Entupimento (SDI);

FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS (CONT.)

- A medida do SDI é feita com base em um padrão da ASTM;
- Neste teste são utilizadas membranas com diâmetro de poro de 0,45 μm ;
- As condições padrão para determinar o SDI são:
 - Filtração perpendicular;
 - Diâmetro da membrana de 47 mm
 - Pressão de teste de 2,1 bar (30 psi).

FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS (CONT.)

- Procedimento do teste para determinar o SDI;
 - Determinar o tempo para filtrar 500 mL de amostra com a membrana limpa (T_1);
 - Aguardar 15 minutos, mantendo o processo de filtração (T_T);
 - Determinar o tempo necessário para filtrar o mesmo volume de amostra (T_2).

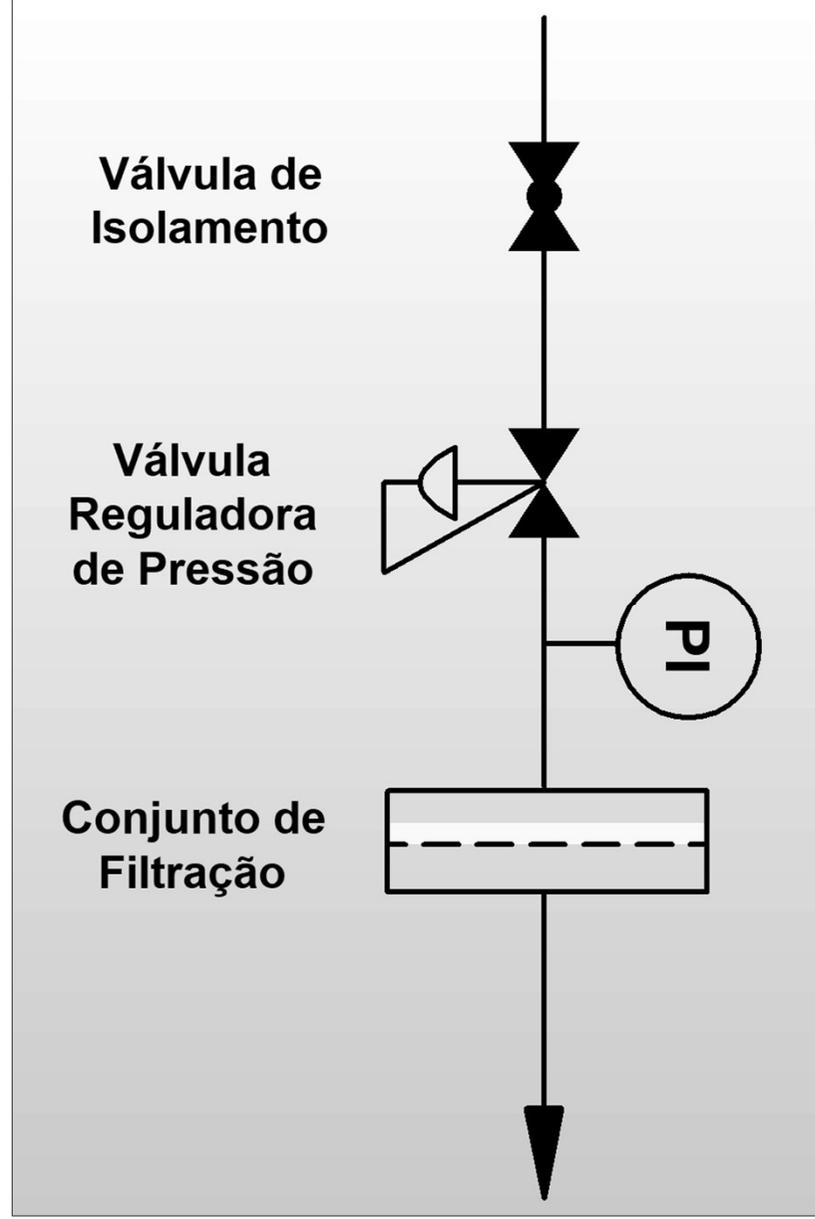
FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS (CONT.)

- O SDI é obtido pela seguinte relação:

$$SDI = \frac{100 \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)}{T_T}$$

- Valores do SDI entre 3 e 5 possibilitam operar com sucesso membranas de fibra oca e enroladas em espiral;
- Contudo o SDI é mais útil como indicador da necessidade e desempenho de sistemas de pré-tratamento.

Representação do Sistema para Determinação do SDI





**Equipamentos para medida
do SDI**

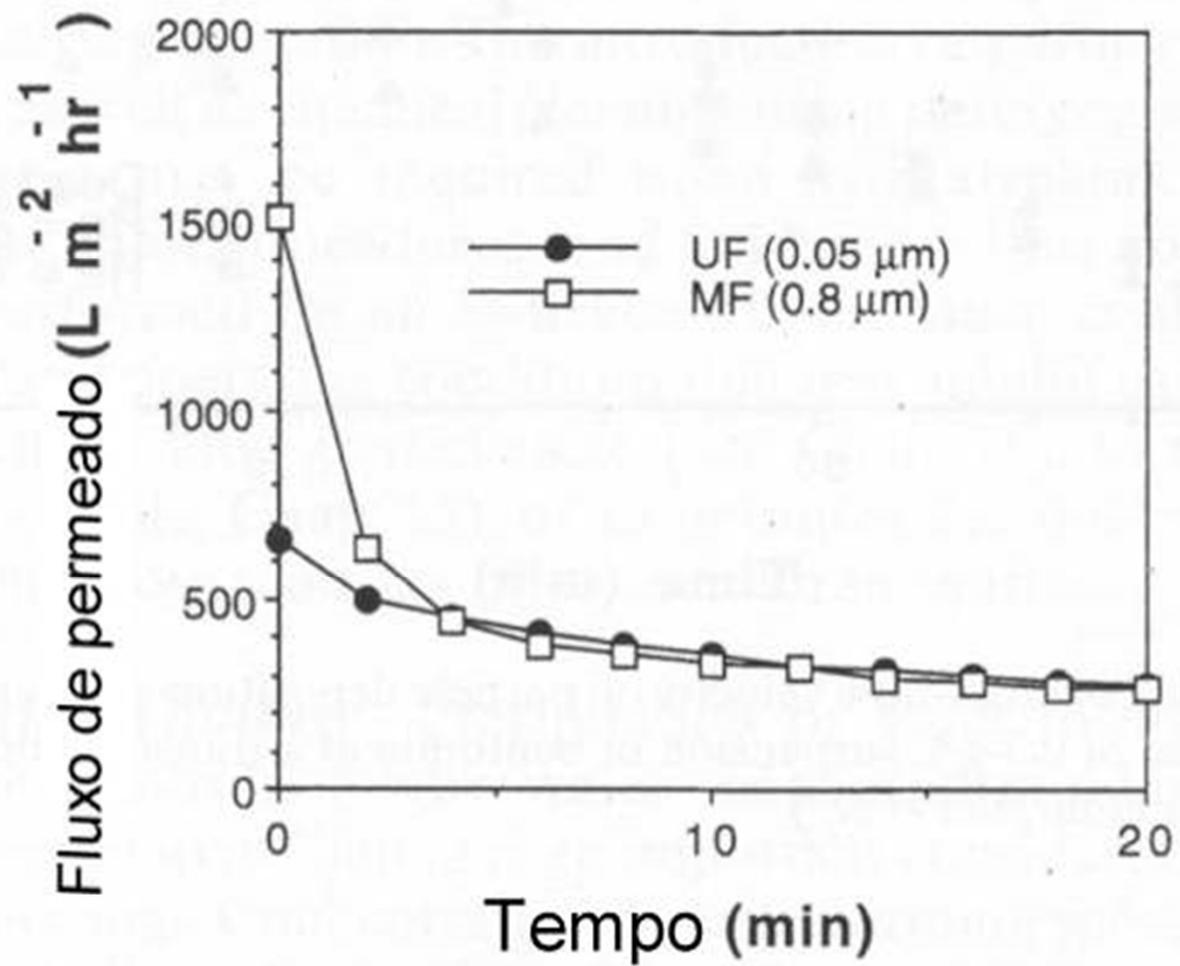


FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS (CONT.)

- A redução de fluxo de permeado através das membranas pode ser resultado:
 - Da formação de torta sobre a membrana;
 - Da precipitação química de solutos;
 - Da ocorrência de depósitos adsorvidos;
 - Do entupimento dos poros.
- Em muitos exemplos práticos a resistência causada pela camada de polarização de concentração é pouco significativa.

FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS (CONT.)

- As resistências produzidas pelas membranas de NF e OR são muito superiores à resistência causada pela formação de torta;
- Isto também é válido para MF e UF, caso o diâmetro das partículas seja maior que o do poro das membranas.



Efeito da formação de torta em membranas de MF e UF

INCRUSTAÇÃO

- É um fenômeno que pode ocorrer quando a concentração de alguns sais presentes supera o limite de solubilidade;
- Este fenômeno só é observado nos processos de NF, OR e ED;
- A incrustação pode ocorrer por dois fenômenos:
 - Permeação de água ou migração de íons;
 - Efeito da polarização de concentração.

Produtos de solubilidade de alguns sais

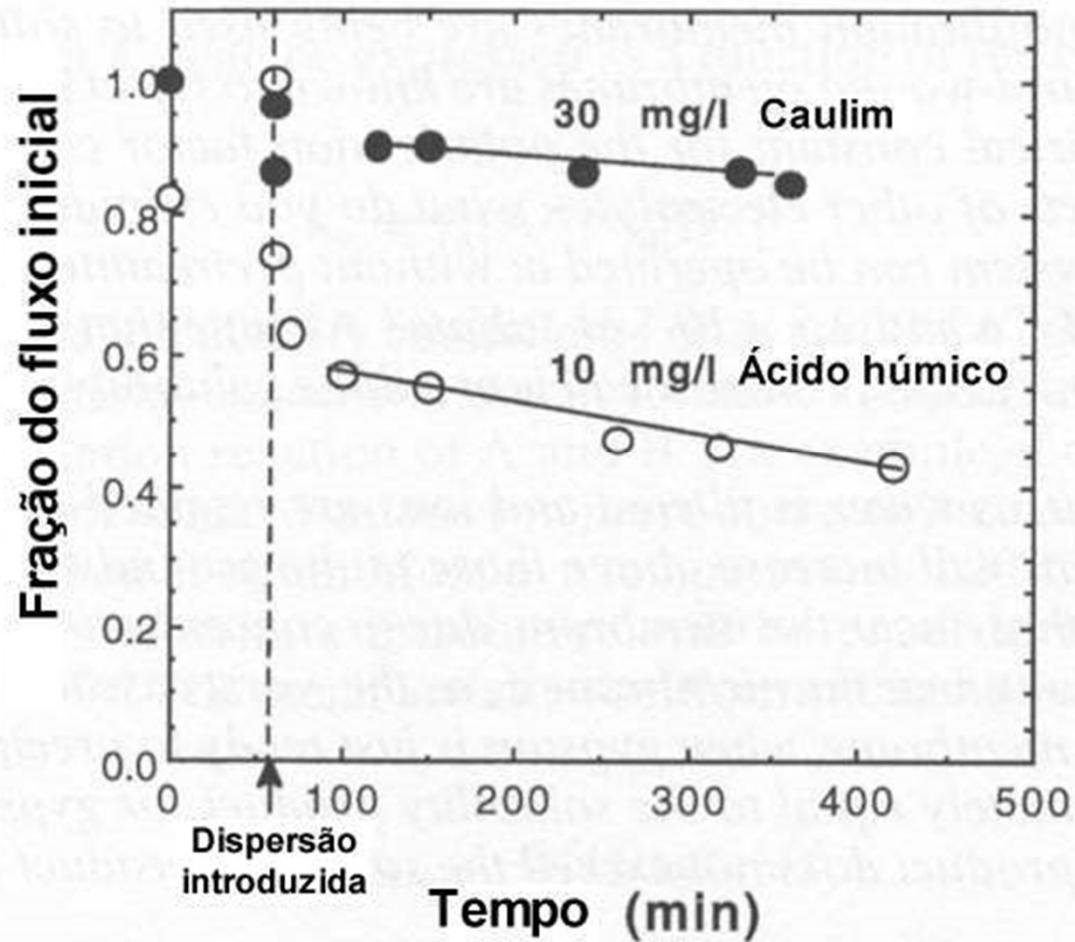
Substância	Fórmula	Kps
Hidróxido de alumínio	Al(OH)_3	$2,0 \times 10^{-32}$
Sulfato de bário	BaSO_4	$1,08 \times 10^{-10}$
Carbonato de cálcio	CaCO_3	$8,7 \times 10^{-9}$
Fluoreto de cálcio	CaF_2	$4,0 \times 10^{-11}$
Sulfato de cálcio	CaSO_4	$1,9 \times 10^{-4}$
Carbonato de estrôncio	SrCO_3	$1,1 \times 10^{-10}$
Sulfato de estrôncio	SrSO_4	$3,8 \times 10^{-7}$
Carbonato de zinco	ZnCO_3	$1,4 \times 10^{-11}$

DEPÓSITO ADSORVIDO

- A adsorção ou deposição de materiais sobre as membranas aumenta a resistência ao fluxo de água;
- Este processo, geralmente, é difícil de reverter, ocasionando perda da eficiência;
- Mesmo sistemas que operam com contra lavagem estão sujeitos a este problema.

DEPÓSITO ADSORVIDO (CONT.)

- A adsorção de materiais orgânicos sobre a superfície das membranas é um parâmetro de controle do seu desempenho;
- Substâncias húmicas e outros materiais que ocorrem naturalmente podem apresentar um grande efeito sobre a capacidade de produção;
- Os efeitos sobre o fluxo de permeado é mais significativo do que os resultantes da ação sólidos em suspensão;



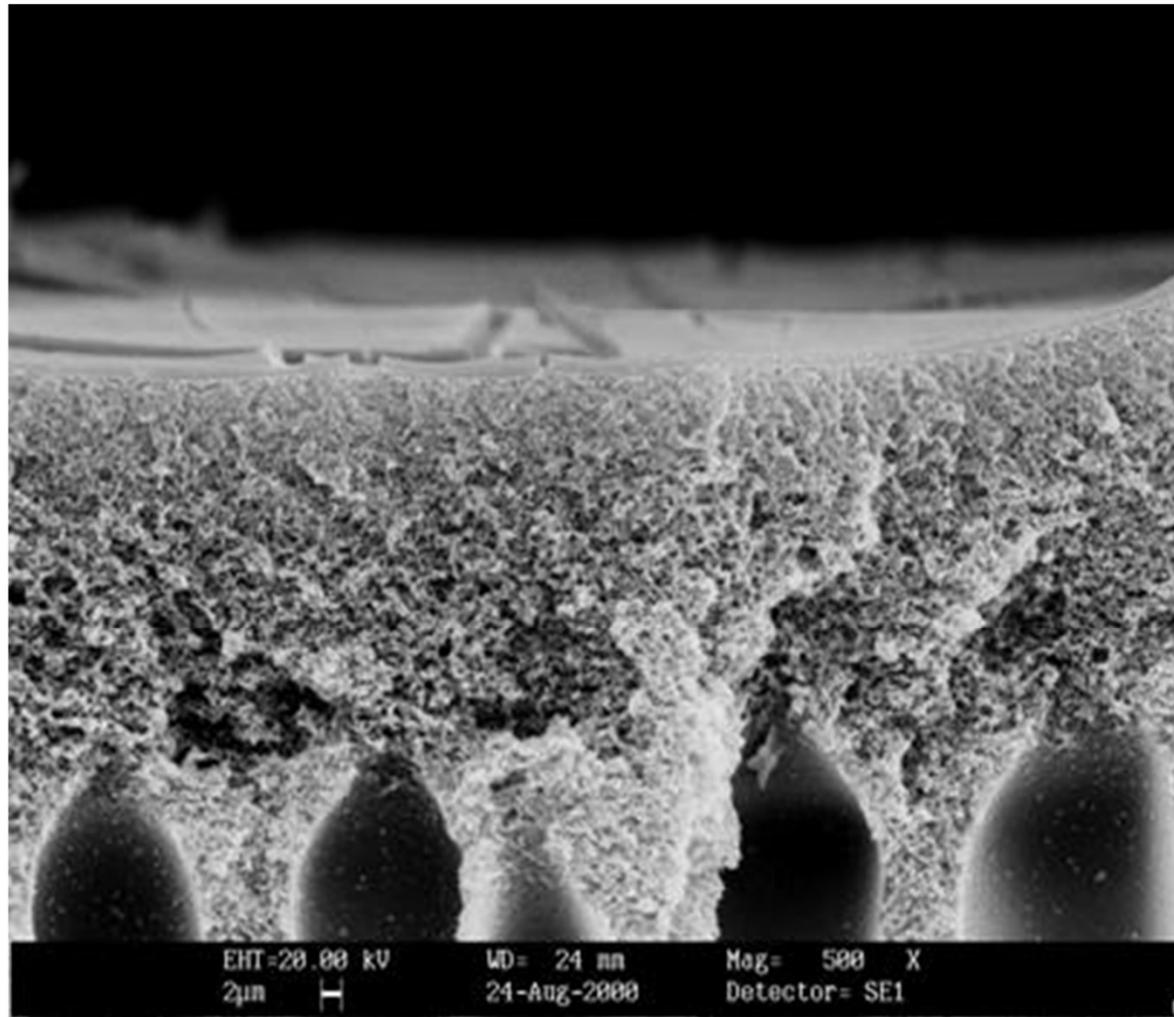
Efeitos das substâncias orgânicas no fluxo de permeado

DEPÓSITO ADSORVIDO (CONT.)

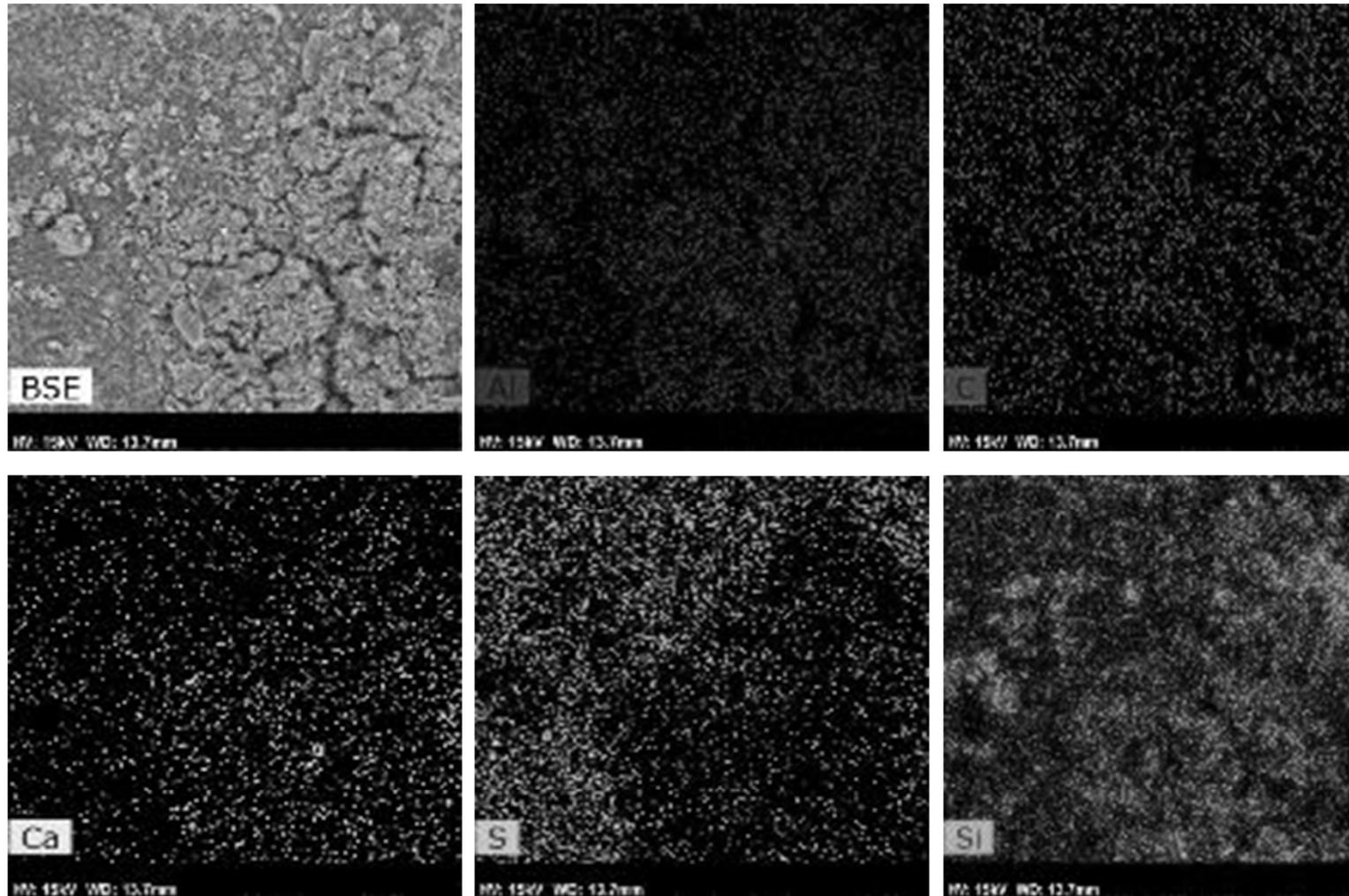
- As características que determinam a propensão à formação de depósitos são:
 - Afinidade pelo material da membrana;
 - Massa molar;
 - Grupos funcionais presentes;
 - Conformação das moléculas.

DEPÓSITO ADSORVIDO (CONT.)

- Grupos funcionais negativamente carregados tendem a ser repelidos pelas membranas com carga líquida negativa;
- Além de sua influência direta sobre o fluxo, os compostos orgânicos influenciam na coesão de depósitos coloidais;
- Produtos utilizados na limpeza química devem ser eficientes para dissolver ou degradar os compostos orgânicos.



Formação de depósito orgânico sobre uma membrana de UF



Micrografia de uma membrana com depósitos e resultados da análise de caracterização dos depósitos por EDX

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O desempenho dos sistemas de separação por membranas é afetado por vários fatores;
- Cada tipo de processo irá responder de maneira diferente a cada um destes fatores;
- Para sistemas de MF e UF não há modelos padronizados que garantam o seu desempenho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (CONT.)

- Assim, apenas o conhecimento teórico não garante o sucesso do projeto de um sistema de MF e UF;
- Processos de NF, OR e ED, apresentam menor complexidade para o desenvolvimento do projeto:
 - Restrições impostas para a corrente de alimentação.

Métodos para reduzir a formação de depósitos

- ◆ Em função da complexidade do fenômeno de formação não há uma descrição precisa dos métodos indicados para a sua redução;
- ◆ Cada problema requer uma abordagem e tratamento específicos;
- ◆ Dentre as opções disponíveis destacam-se:
 - Seleção adequada da membrana;
 - Pré-tratamento da corrente de alimentação;
 - Tipo de módulo e condições de processo;
 - Operações periódicas de limpeza.

Formação de biofilme

- ◆ É um problema crítico nos processos de separação por membranas;
- ◆ Refere-se à formação de uma camada viscosa sobre a superfície da membrana, resultante do acúmulo de microrganismos;
- ◆ É um processo resultante dos mecanismos de adesão e crescimento.

Formação de biofilme (cont.)

◆ Adesão:

- Mecanismo responsável pela fixação dos microrganismos na superfície da membrana;

◆ Crescimento:

- Após a sua fixação os microrganismos se multiplicam utilizando os nutrientes que são transportados para superfície da membrana.

Processo de formação do biofilme

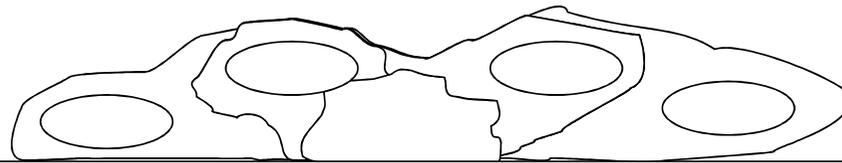
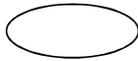
Condicionalmento da Membrana

Aproximação e fixação

Adesão

Crescimento

Bactéria



Membrana

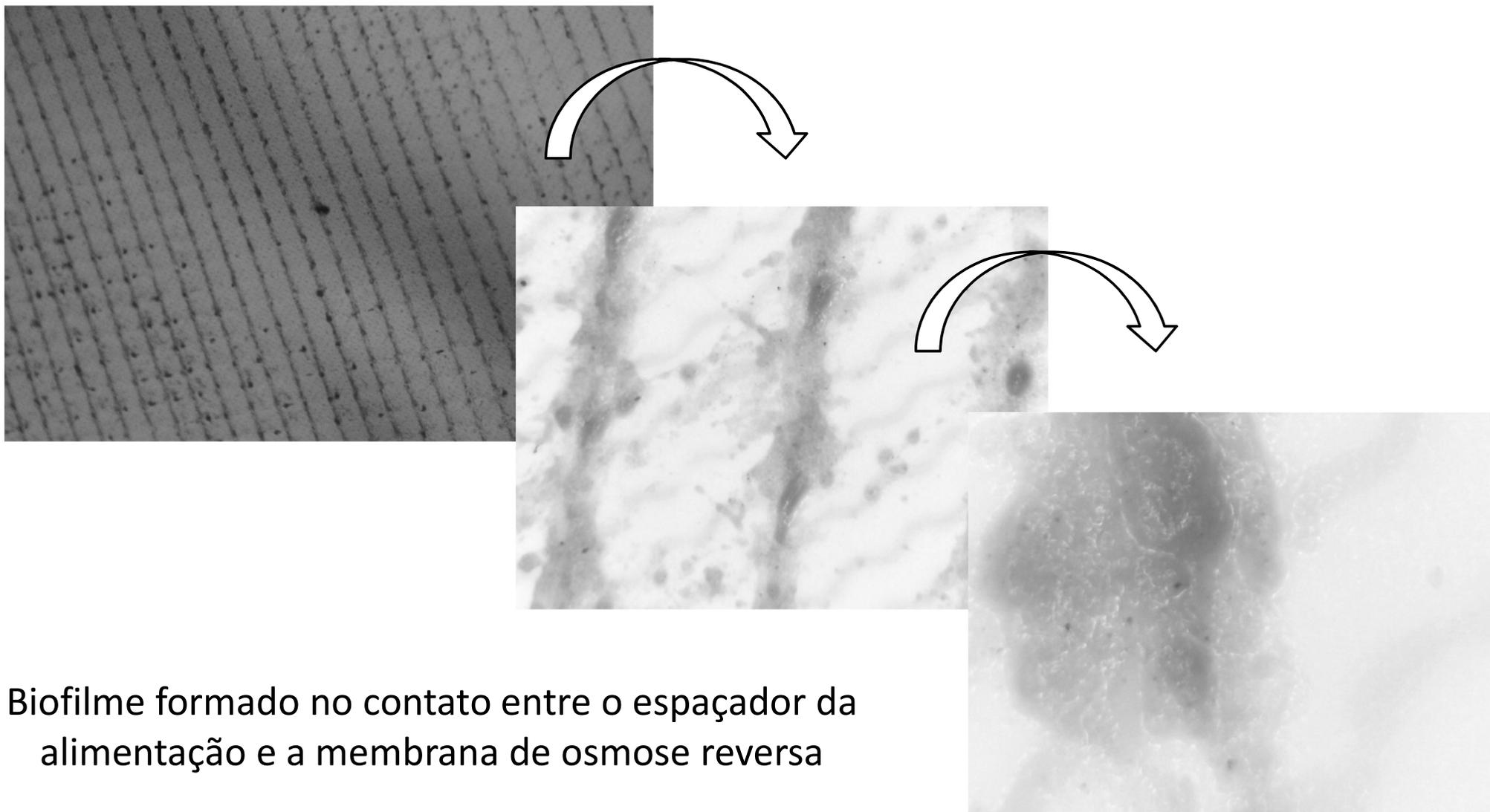
Biofilme Estabelecido

PRINCIPAIS EVENTOS NA FORMAÇÃO DE BIOFILME

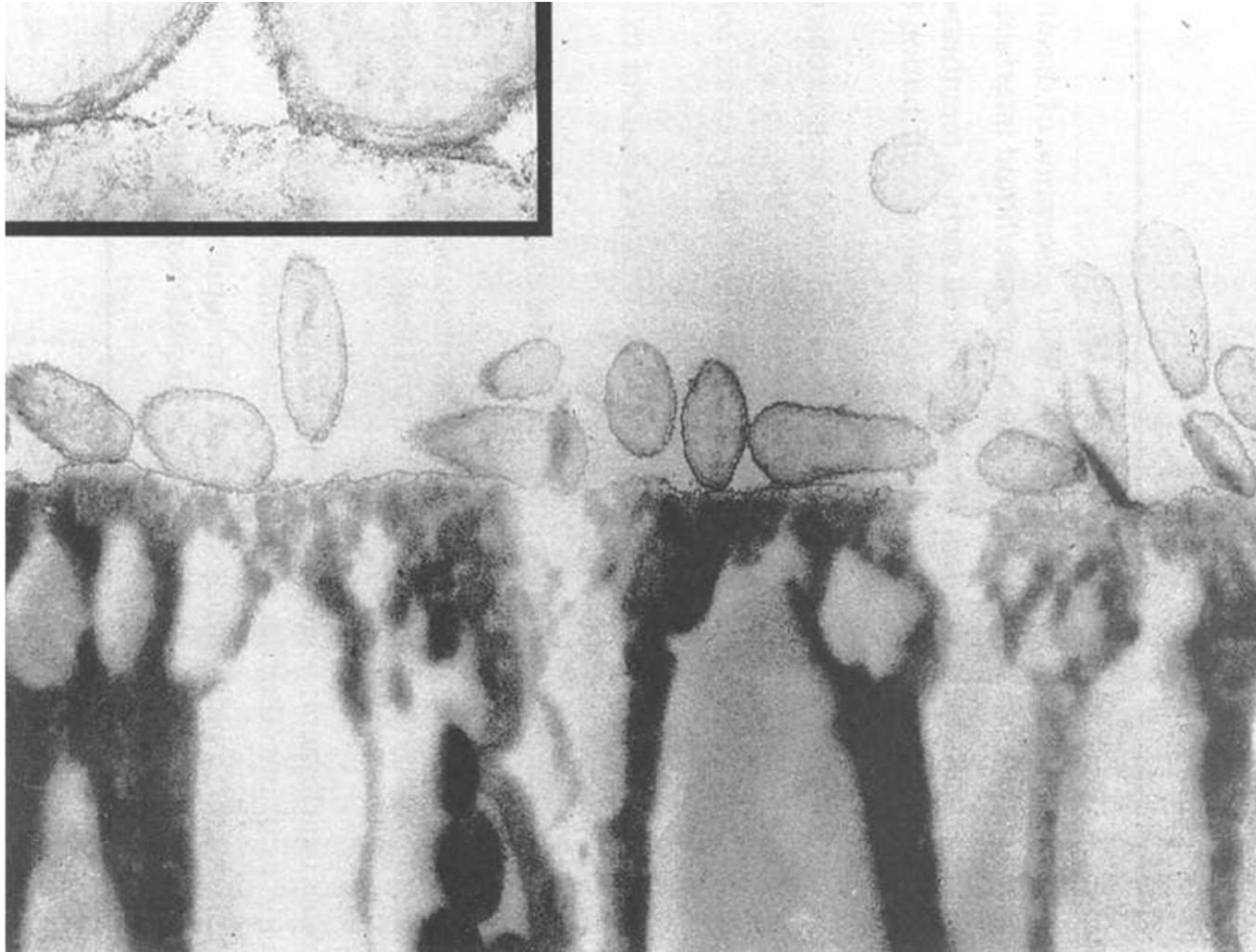
Evento	Tempo	Descrição
Filme orgânico	Seg. ou min.	Condicionamento da membrana
Adesão física	Seg. ou min.	Fixação da bactéria pioneira
Síntese de SPE	Min. ou horas	Processo de adesão químico e aumento da estabilidade estrutural.
Proliferação	Min. Ou horas	Multiplicação celular utilizando nutrientes disponíveis.
Aprisionamento de partículas	Seg. ou min.	Efeito secundário da ocorrência do biofilme.
Adesão secundária	Dias ou sem.	Refere-se ao processo de aumento do biofilme .
Desprendimento	Dias ou sem.	Perda de células e biomassa do biofilme.

Consequências para os processos de separação por membranas

- ◆ Em qualquer situação a ocorrência de biofilme reduz o desempenho do sistema;
- ◆ Os seus efeitos são mais pronunciados em sistemas de NF e OR;
- ◆ A razão para isto é a pequena espessura e a fragilidade das membranas;



Biofilme formado no contato entre o espaçador da alimentação e a membrana de osmose reversa



**Representação do processo de formação de biofilme em uma membrana de OR
(AWWA, 1996)**