



Variações da tecnologia MBR e o reuso de efluentes

Karina Vazquez Soares

Programa da apresentação

- Introdução – A ECOSAN e as suas soluções para o tratamento de águas e efluentes
- A tecnologia MBR
- Vantagens da tecnologia MBR
- Limitações da tecnologia
- Classificações dos sistemas MBR
- MBR aeróbico com membranas poliméricas e cerâmicas
- MBR anaeróbico
- Conclusões

A Empresa

Pioneirismo, Qualidade e Inovação

- Desde 1983 no mercado de tratamento de águas e efluentes
- A mais tradicional empresa brasileira no segmento
- Mais de 65.000 equipamentos comercializados
- Busca constante de novas tecnologias para o reúso de águas e efluentes
- Mais de 68 tipos de equipamentos
- Única com garantia estendida ECOService
- Atuação na América Latina, Europa e África
- NBR ISO 9001:2008 e ISO 26000
- Sistema SAP desde 2008



Soluções para Águas e Efluentes

- Estações de tratamento convencionais para águas e efluentes
- Sistemas com Membranas :
 - Sistemas Microfiltração
 - Ultrafiltração
 - Nanofiltração
 - Reator Biológico de Membranas (MBR)
- Tratamentos terciários (remoção de nutrientes, remoção de DQO recalcitrante, remoção de cor, etc)
- Estudos de rotas de tratamento em escalas laboratorial e piloto

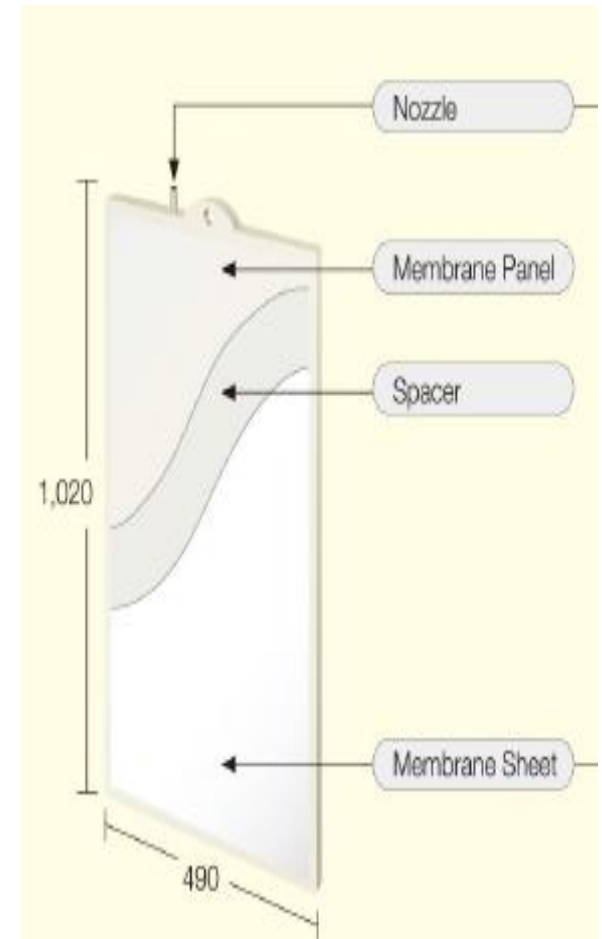
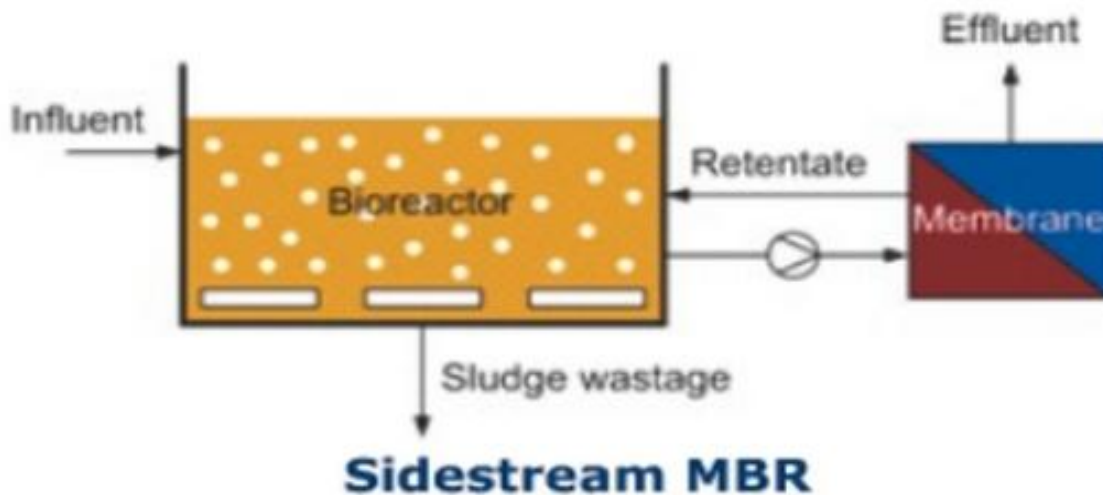
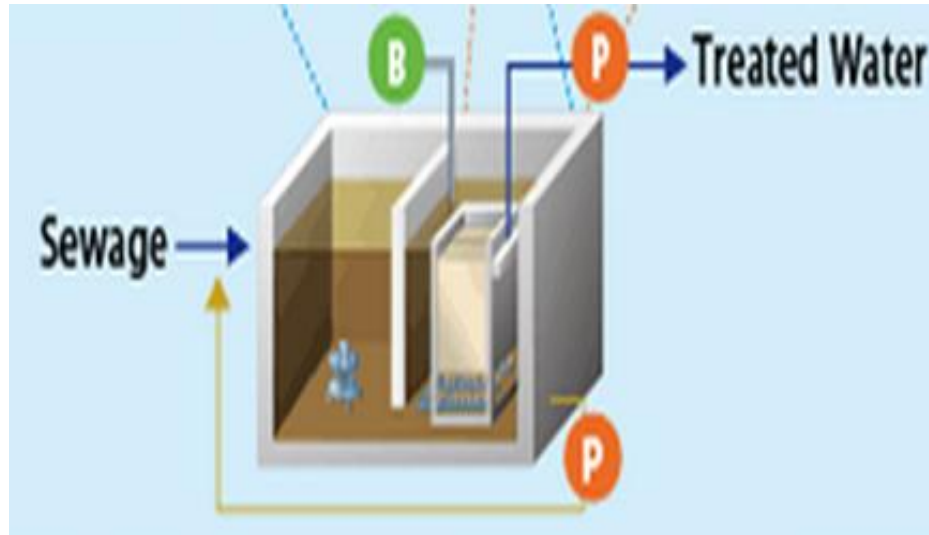


A tecnologia MBR

- MBR – “Membrane Biological Reactor” ou Reator Biológico de Membranas;
- Primeiros MBR's: anos 60 (Door – Oliver). Configurações “side stream” para efluentes sanitários de navios;
- Membranas submersas: incentivos do governo japonês nos anos 80 (plantas piloto);
- A primeira planta foi comissionada em 1991 (membranas planas **submersas** no reator);
- 1994 – Kubota desenvolve os módulos de membranas submersas com filtração por gravidade;
- Atualmente há mais de 60 fabricantes de sistemas de MBR no mundo;
- Há sistemas MBR instalados em mais de 200 países;
- Tecnologia utilizada tanto para efluentes sanitários como industriais e até chorume;
- As taxas de crescimento do mercado de sistemas MBR nos últimos anos foram da ordem de 15% (Markets and Markets, 2013; Frost and Sullivan, 2013).

A tecnologia MBR

- Consiste na combinação de um processo de tratamento biológico com membranas de micro ou de ultrafiltração.



Vantagens da tecnologia MBR

- Efluente final de ótima qualidade (reuso para fins não potáveis);
- Não é necessária a desinfecção;
- Menor produção de lodo do que os sistemas de lodos ativados convencionais;
- Sistema mais compacto (reator biológico menor e sem decantador secundário);
- Operação simples (elevado grau de automação);
- Rápida instalação e fácil aumento da capacidade de tratamento (sistema modular no qual os módulos são fornecidos montados);
- Viável para sistemas com remoção biológica de nitrogênio amoniacal e de fósforo;
- O bom desempenho da separação de sólidos é constante e superior ao obtido com decantadores.

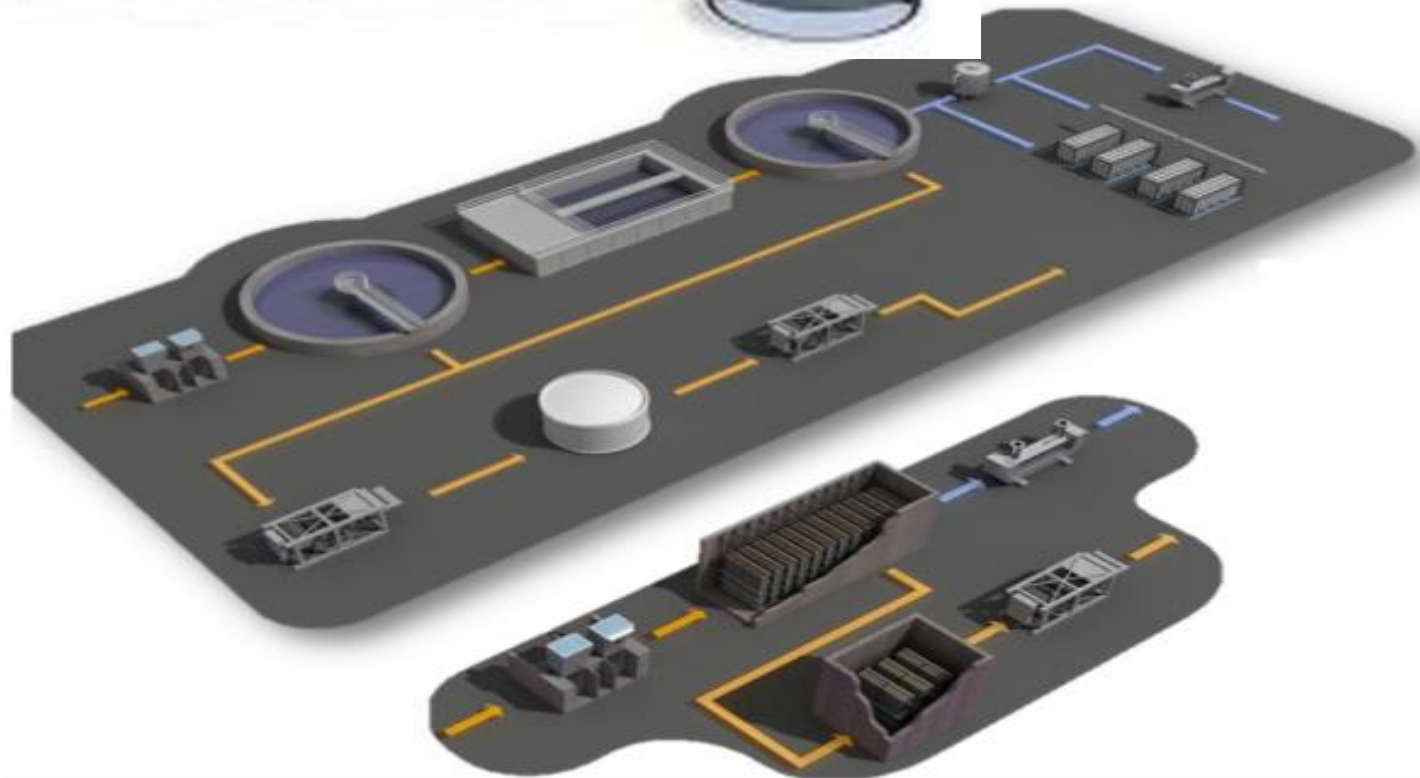
MBR X Sistemas Convencionais



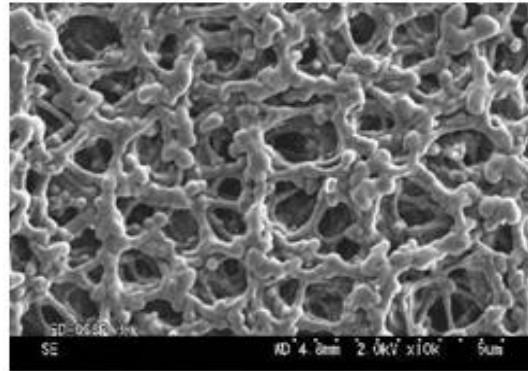
Typical
Influent

350	BOD ₅	≤ 5
300	TSS	≤ 1
35	NH ₃ -N	≤ 0.5
10	TP	< 0.1
—	Turbidity	< 1
Millions	<i>E. coli</i>	nil

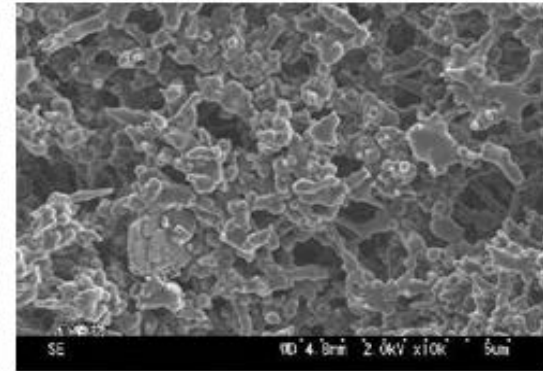
Typical
Effluent



Principal limitação dos sistemas MBR: “fouling”



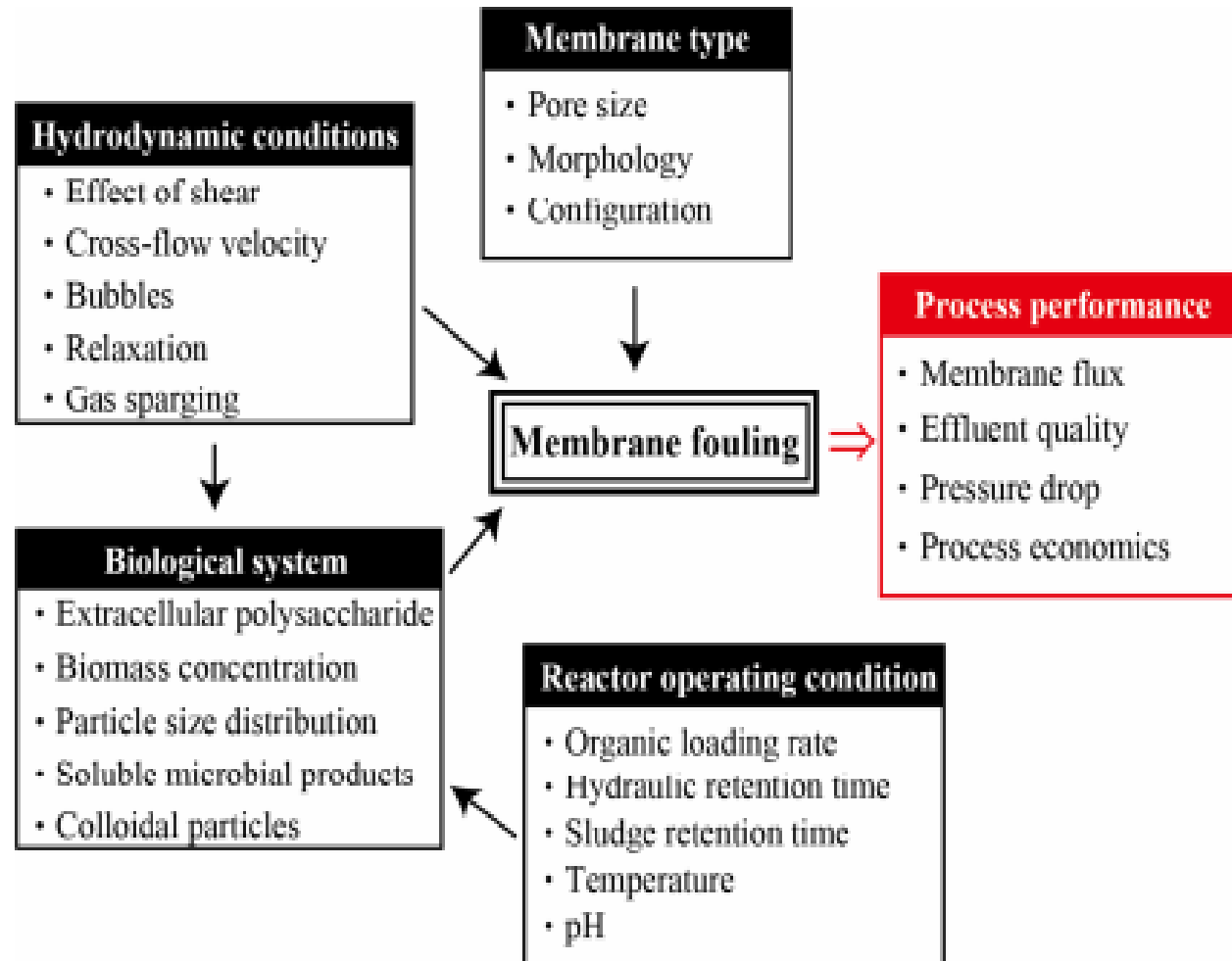
New Membrane



Fouled Membrane

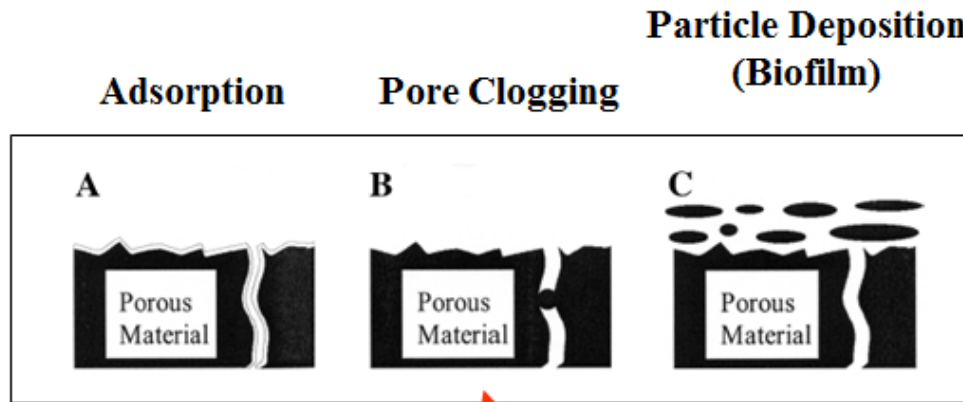


Principal limitação dos sistemas MBR: “fouling”

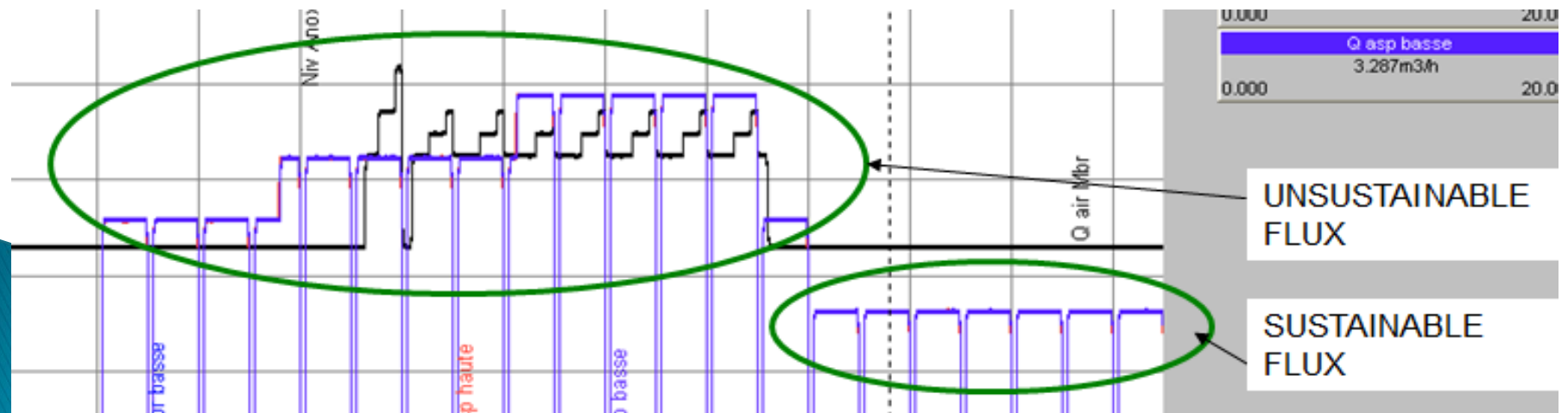


Medidas para controle e redução de “fouling” no projeto

- Pré-tratamento adequado;
- Relaxamento;
- Adotar fluxos de filtração moderados para operar a baixos valores de TMP.



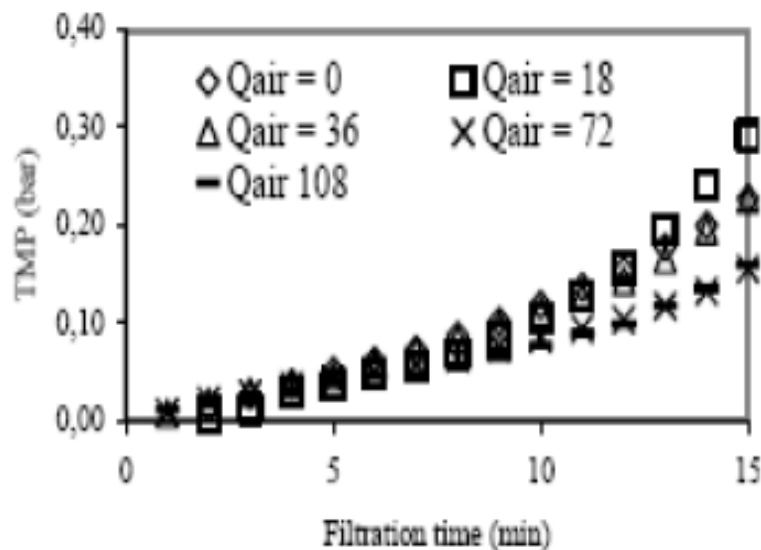
Operate at low Trans-Membrane Pressures in order to avoid permanent fouling due to deep pore clogging (B)



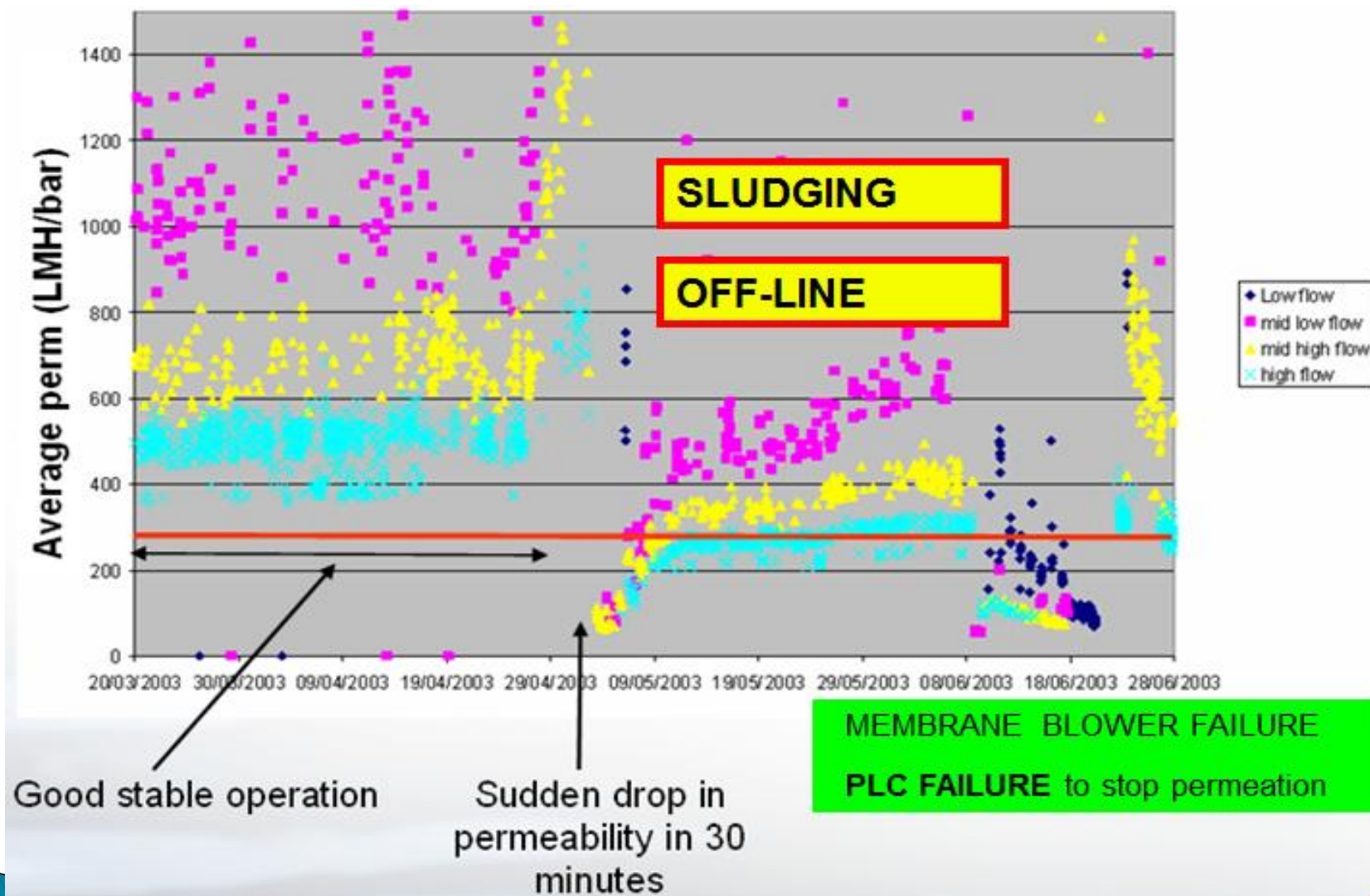
Medidas para controle e redução de “fouling” na operação

- Mecanismos mais utilizados para reduzir o “fouling” previstos no projeto dos sistemas MBR:

- Aeração (MBR aeróbico) ou borbulhamento de biogás (MBR anaeróbico);
- Velocidade tangencial (“cross-flow” velocity);
- “Backpulsing”;
- Contralavagens;
- Limpezas químicas.

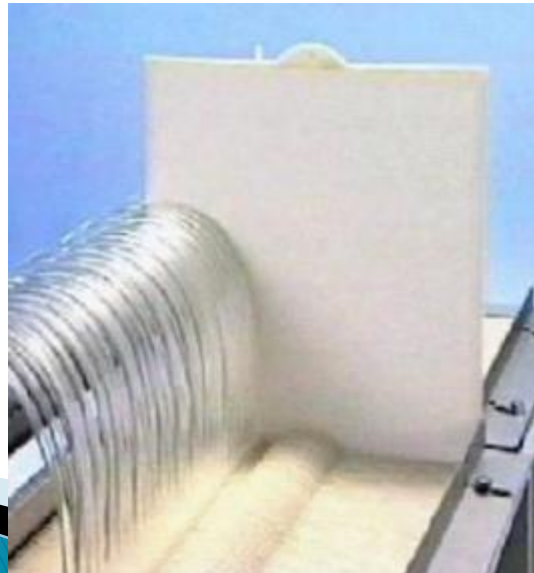
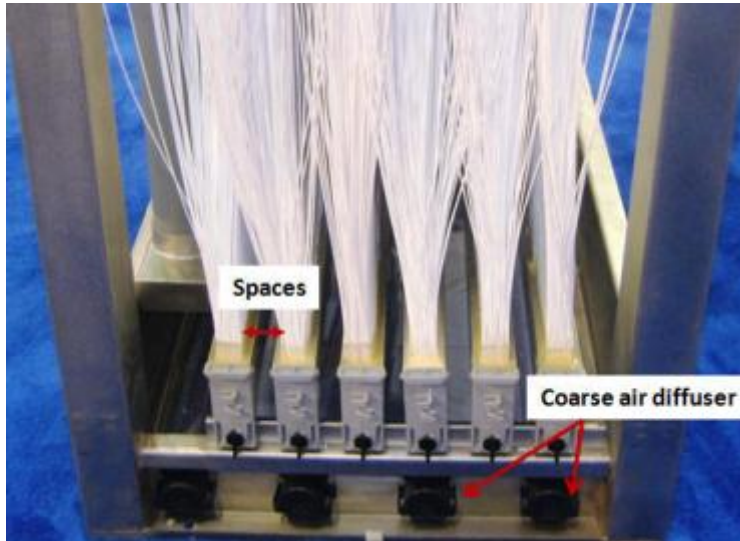


Medidas para controle e redução de “fouling” na operação



As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada ao tipo de membranas: planas, tubulares e de fibra oca;
- Classificação relacionada ao material da camada filtrante: PE, PVDF, PES, PS, cerâmica etc.



Membranas Poliméricas

- Menor resistência química (reduzir frequência de limpeza)
- Menores valores de MLSS para o projeto (tanques maiores);
- Fluxos menores (26-28 LMH ou menores);
- Custos de instalação menores (módulos) do que as membranas cerâmicas;
- Há muitos fabricantes, o que contribui para a contínua queda dos preços dos módulos desde os anos 2000;
- Sistemas inteligentes com aeração intermitente, ciclos de relaxamento e contralavagens com “backpulsing” reduzem muito o consumo energético;
- A filtração pode ser feita por gravidade;
- Mesmo quando a filtração ocorre por sucção, as pressões das bombas são menores do que as pressões das bombas de alimentação de sistemas com membranas cerâmicas (economia de energia);
- As membranas poliméricas podem ser planas, tubulares ou de fibra oca. Membranas cerâmicas são apenas tubulares (sistemas em larga escala).

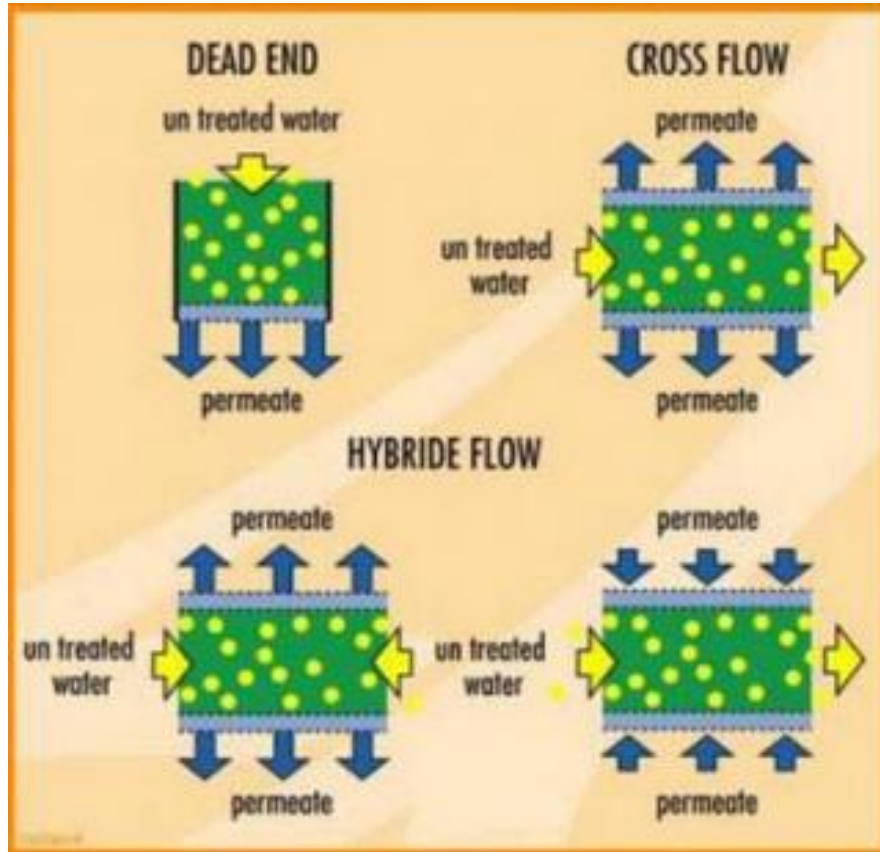
Membranas Cerâmicas

- Elevada resistência química (pH 0 - 14, incrustantes, hidrocarbonetos etc) e térmica ($> 90^{\circ}\text{C}$);
- Fluxos elevados mesmo em ambientes agressivos (óleos e graxas, alta salinidade etc);
- Concentrações de MLSS e COV maiores: reatores menores (MLSS até 30 g/l e COV até 10 kg DQO/m³);
- Pressurização e elevada velocidade tangencial para combate ao “fouling”: sem gasto energético com aeração ou biogás para “air scouring”;
- Contudo os custos podem variar de 2 a 3 vezes os custos dos módulos de membranas poliméricas (custos dos módulos x fluxo de projeto);
- Suportam picos de TPM de até 2,5 bar!



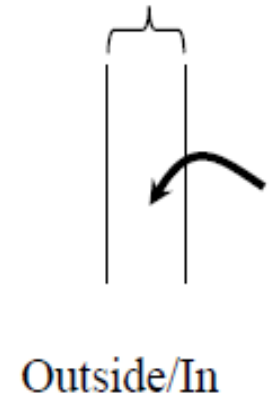
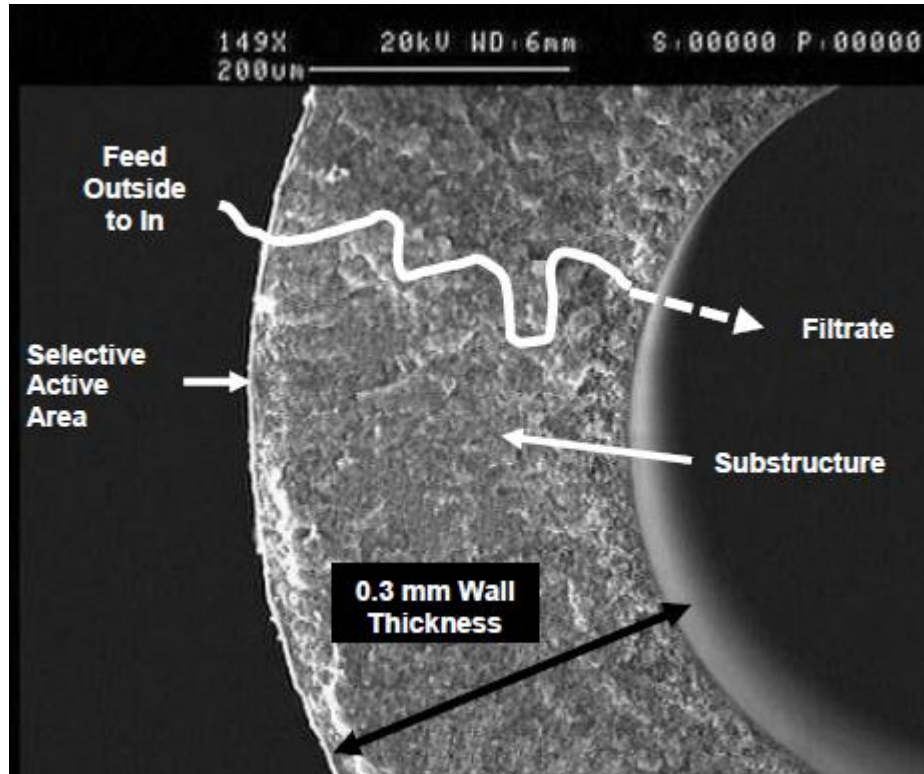
As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada ao tipo de filtração: “cross-flow” ou “dead-end flow”.



As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada ao sentido do fluxo na membrana: “inside-out” ou “outside-in”.

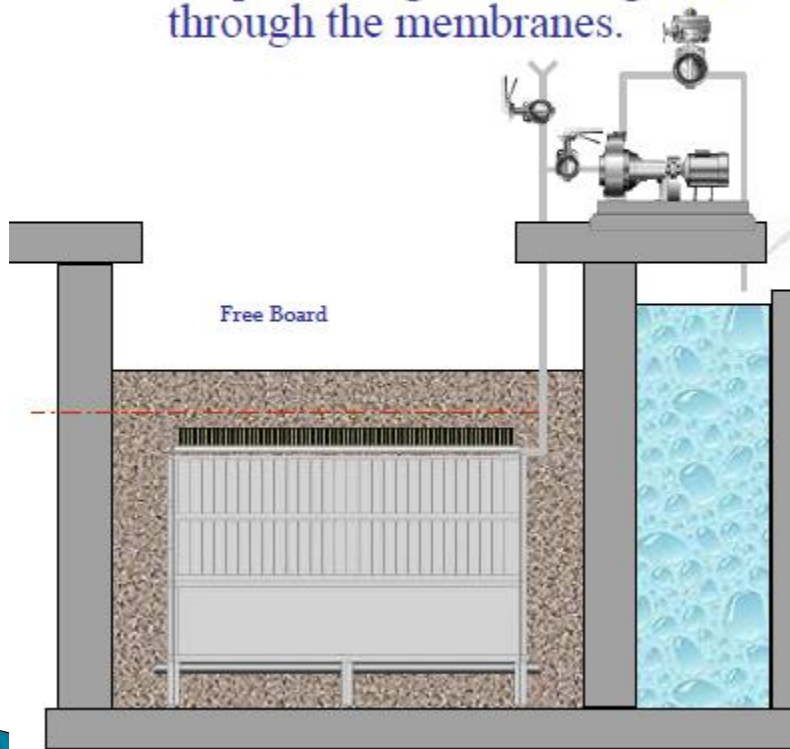


As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada à força motriz da filtração: filtração por gravidade ou por sucção.

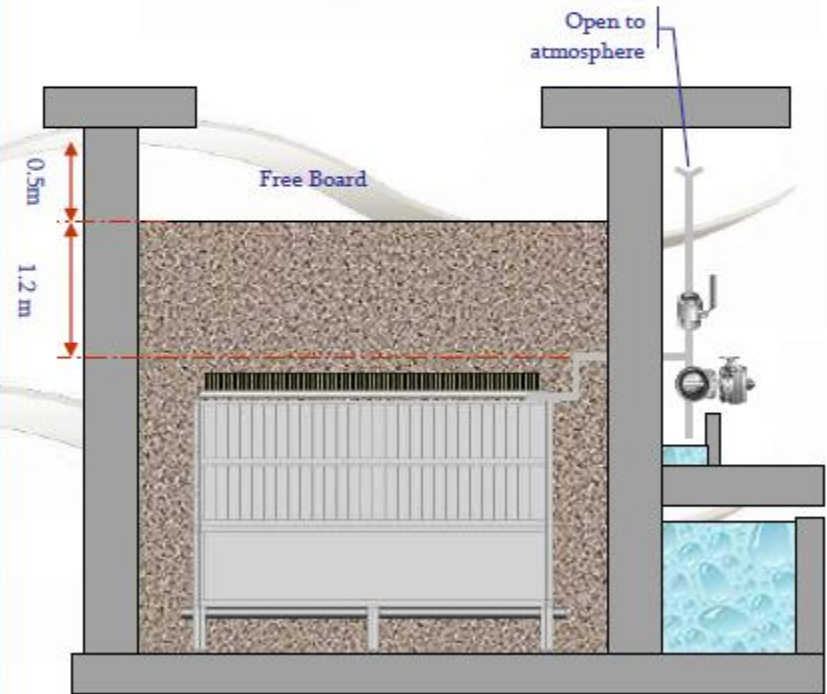
• Suction System

A suction pump can be utilized for producing the driving force through the membranes.



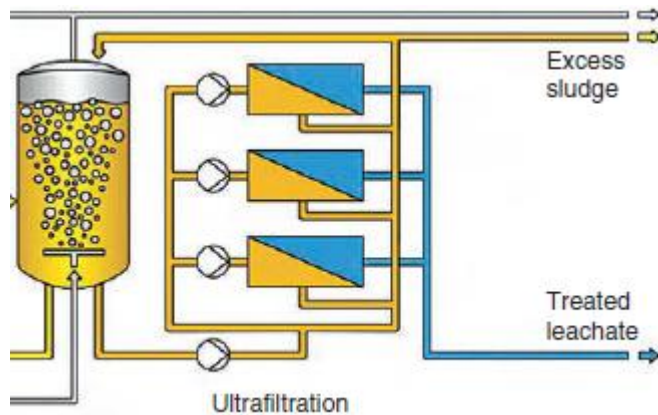
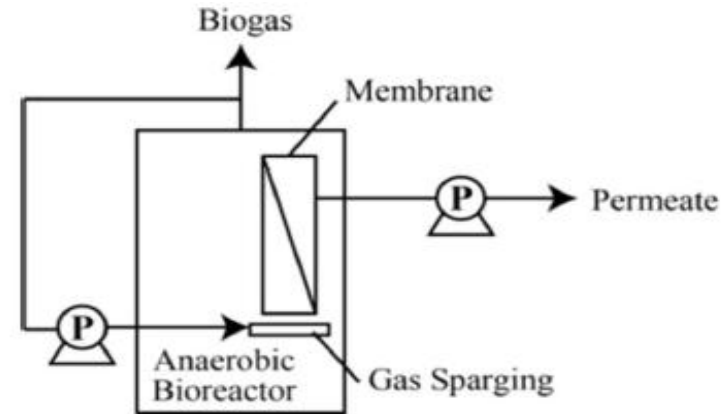
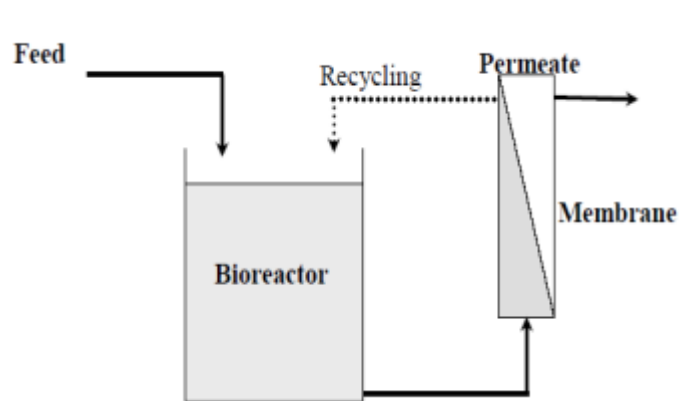
• Gravity System

Low TMP Allows Static Head to be the driving force in a worst case scenario.



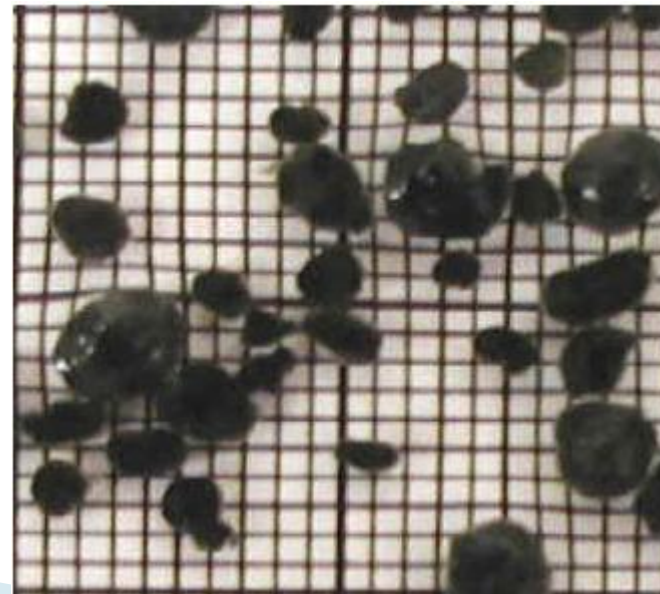
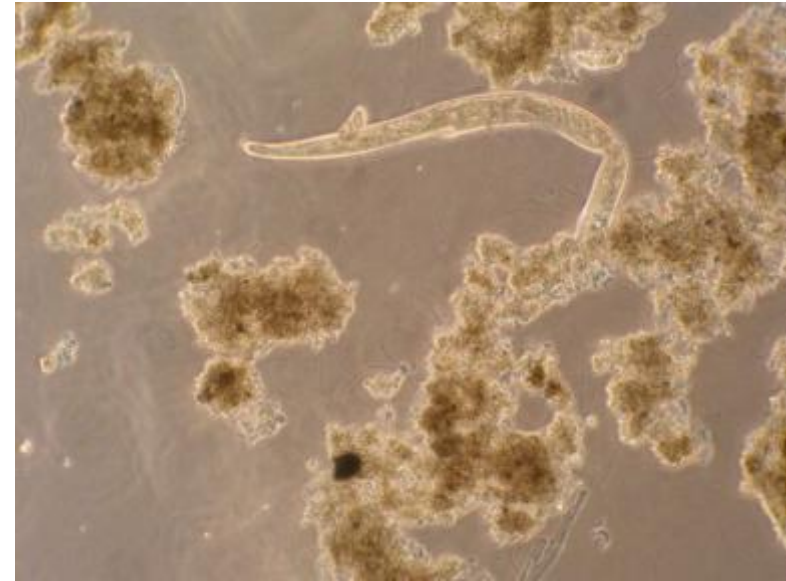
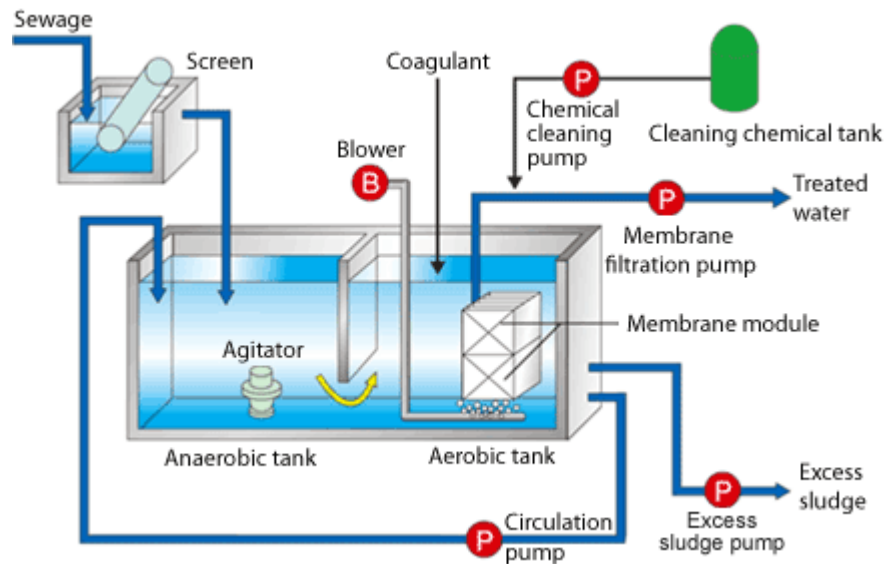
As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada à posição dos módulos em relação ao reator biológico: submerso or “side stream”

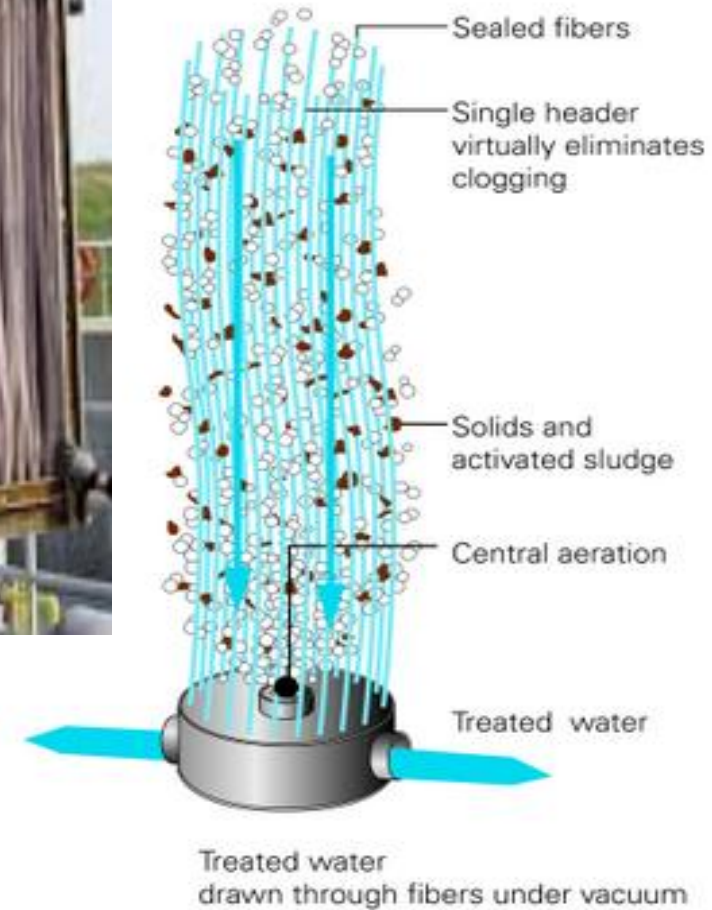
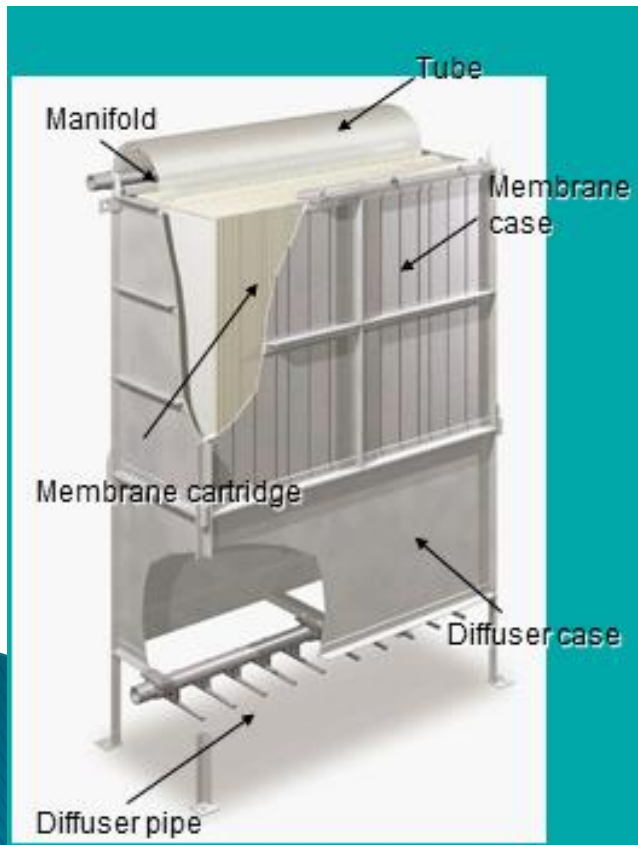


As variações da tecnologia MBR

- Classificação relacionada ao tipo de tratamento biológico:
 - MBR aeróbico para remoção de carga orgânica carbonácea;
 - MBR anaeróbico para remoção de C;
 - MBR aeróbico combinado com BNR ou remoção físico-química de P.



Variações de MBR e referências



REFERÊNCIA EM MBR AERÓBICO COM MEMBRANAS DE CERÂMICA PRESSURIZADAS



MBR EM INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

- Vazão média – 14,6 m³/h (350 m³/d);
- DQO – 18000 mg/l;
- COV – 4,5 kg COD/m³ .d;
- MBR F/M – 0,3 kg DQO / kg SSV.d-1;
- MBR MLSS – 15 a 20 g/l;
- SRT – 23 a 30 d;
- Planta comissionada em 2002 com membranas planas poliméricas;
- Contudo a presença de solventes orgânicos e T entre 30 e 35°C exigiu uma tecnologia mais robusta;
- Sistema de aeração com oxigênio puro: menor stripping de VOC's;



MBR EM INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

- TMP nominal: 1,8 bar (range 0,5 – 2,5 bar);
- CFV – 3,0 m/s;
- Net flux – 87 LMH;
- Ciclo de filtração / relaxamento: 120 min / 30 s;
- Limpeza química alcalina: 8 x por ano;
- Limpeza química básica: 3 x por ano.

QUALIDADE DO PERMEADO

- DQO < 1500 mg/l (92% de remoção).



REFERÊNCIA EM MBR AERÓBICO COM MEMBRANAS POLIMÉRICAS SUBMERSAS



MBR AERÓBICO ROBUSTO

Usina de açúcar – África do Sul (2005)

- Vazão: 1.200 m³/d;
- DQO: 17.500 ppm;
- TDS: 7.500ppm;
- pH = 2.7,
- T = 38°C a > 55⁰C;
- Efluente deficiente em N e P;
- Eventuais cargas de choque (ceras e substâncias do processo de refino).



MBR AERÓBICO ROBUSTO

Usina de açúcar – África do Sul (2005)

- 12 módulos “double deck”
- 400 placas por módulo;
- 3840 m² de área de filtração (fluxo 0,31 m/d);
- Filtração por gravidade (6,5 m altura líquida);
- Picos de temperatura >55°C durante 9 meses / ano;
- Baixíssima produção de lodo
(0,062 kg DS/kg DQO removida);
- 95% de remoção de DQO;
- O efluente tratado é reutilizado no processo produtivo.



ESTAÇÃO DE PORLOCK (UK)

- A mais antiga planta de MBR com membranas submersas da Europa (start up em 1999);
- 6 módulos ES 150 por tanque de aeração;
- Fluxo de operação: 20 a 27 LMH (efluente sanitário);
- Filtração por gravidade com TMP entre 0,02 a 0,11 bar;
- Limpezas químicas a cada 8 – 9 meses;
- Idade de lodo de 30 a 60 dias.

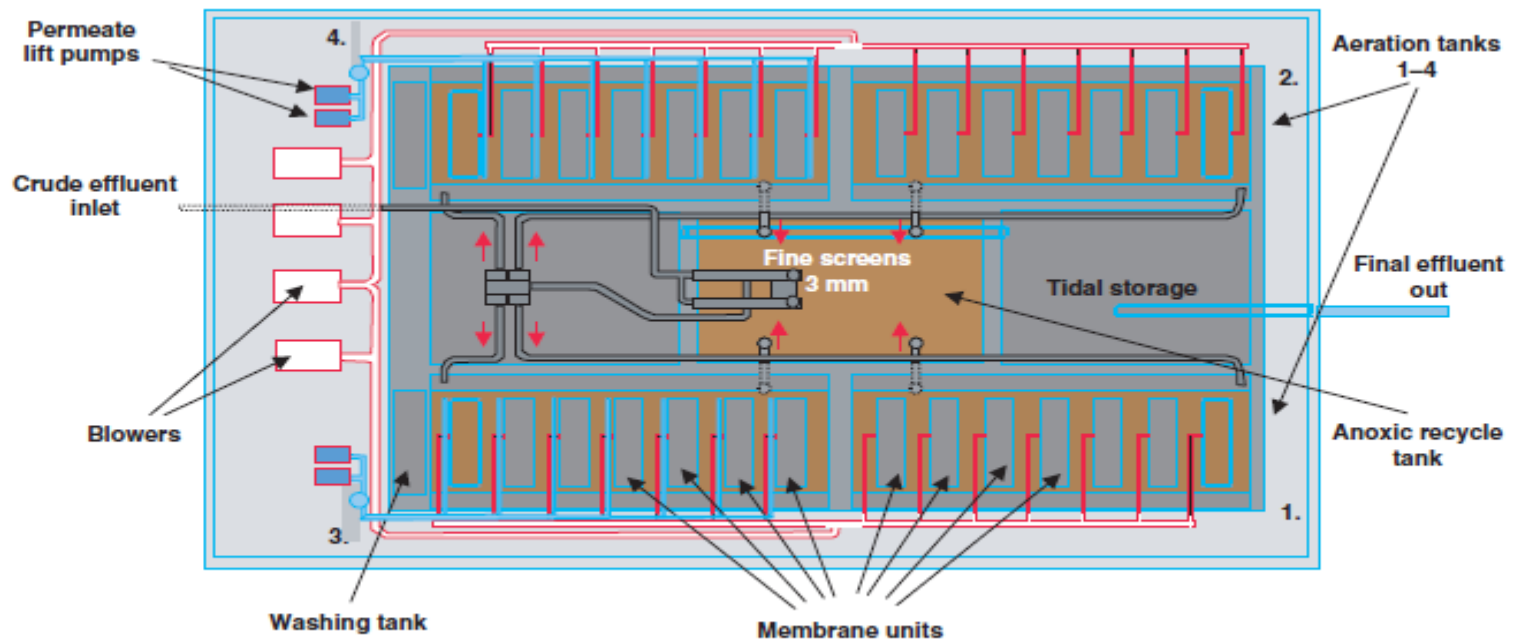


Figure 5.3 A schematic of the MBR plant at Porlock

PORLOCK (UK)

- 0,38 – 0,5 kg de DS/ kg DBO removida;
- Lodo extraído do reator a 2,0 % DS;
- MLSS se mantém em 20 g/l com picos de 28 g/l;
(projeto com 12 g/l)
- Pré-tratamento: peneira de 3,0 mm (atual);
- Apenas 230 placas foram trocadas entre as 3600 originais após 10 anos de operação;
- Os tubos de permeado foram trocados apenas após seis anos de operação;
- Os módulos e as placas foram retirados para inspeção pela primeira vez após nove anos.



MBR ANAERÓBICO

MBR ANAERÓBICO

- Pesquisas iniciais: início da década de 80 na África do Sul;
- Empresa americana Door-Oliver (1982): implementação de um sistema de reator anaeróbico combinado com uma unidade de UF externa ao reator em uma indústria alimentícia;
- Japão (1985): “Acqua Renaissance project” – projeto de seis anos no qual se estudou um reator anaeróbico CSTR com uma membrana de UF (“sidestream MBR”).
- **Objetivo: usufruir das vantagens dos tratamentos anaeróbicos convencionais e ao mesmo tempo superar os limites das tecnologias anaeróbicas !**
- Principais limitações :
 - Remoção limitada de carga orgânica;
 - Separação de SST limitada aos desempenhos dos clarificadores secundários;
 - Dificuldade de se utilizar altos valores de COV em reatores CSTR devido à menor eficiência;
 - Baixa robustez do tratamento biológico (picos hidráulicos e variações de carga) devido à dependência da granulação do lodo;
 - Maior demora para atingir as condições ótimas do reator devido à espera para a granulação.

MBR ANAERÓBICO

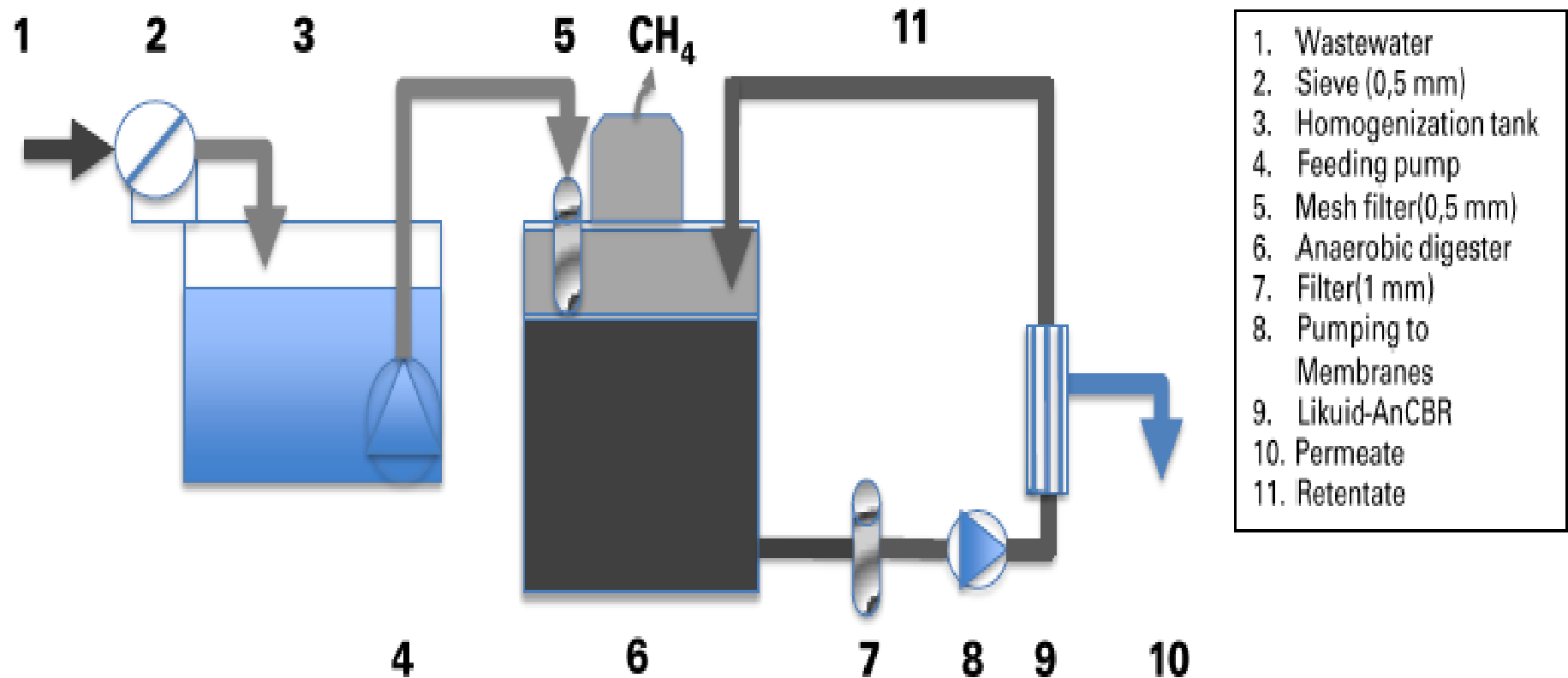
- Melhor remoção de sólidos em suspensão;
- Baixa dosagem de nutrientes;
- Produção de lodo muito reduzida (alta idade de lodo + metabolismo lento);
- Energia gerada com a queima do biogás (3,7 kWh / kg COD removed);
- Reatores menores devido às elevadas concentrações de MLSS e às altas COV's;
- Elevadas eficiências utilizando-se reatores anaeróbicos CSTR;
- Reatores CSTR: menores custos de instalação e manutenção mais simples.



MBR ANAERÓBICO COM MEMBRANAS DE CERÂMICA

- Membranas cerâmicas altamente hidrofílicas DESENVOLVIDAS ESPECIALMETNE PARA SISTEMAS ANAERÓBICOS (formulação diferente das membranas cerâmicas utilizadas nos MBR's aeróbicos);
- Formulação: suporte composto por uma mistura a base de alumina e camada filtrante formada por uma mistura de óxidos e compostos para aumentar a hidrofilicidade;
- Pré-tratamento: peneira com tela trapezoidal ou com chapa perfurada (abertura de 0,5 - 1,0 mm);
- Ciclo de filtração e relaxamento: 30 min filtração e 30 s de relaxamento;
- Limpezas químicas efetuadas por aumento da TMP (Δ TMP = 1,5 bar);
- Retorno do concentrado para o reator anaeróbico CSTR.

MBR ANAERÓBICO COM MEMBRANAS DE CERÂMICA



Planta piloto em escala de bancada



- Volume do digestor anaeróbico CSTR: 12 l;
- A temperatura foi mantida na faixa mesofílica ($35 \pm 2^{\circ}\text{C}$) durante os testes;
- Membranas cerâmicas tubulares com área total de filtração igual a $0,02 \text{ m}^2$;
- Velocidade tangencial: 3 m/s;
- MLSS: 20 a 25 g/l;
- Lodo anaeróbico obtido de uma planta municipal em Valência (usado para os testes em escalas laboratorial e semi-industrial).

Planta piloto em escala semi-industrial



- Volume do digester anaeróbico CSTR: $2,5 \text{ m}^3$;
- 4 módulos de membranas L07 ;
- Área total de filtração igual a $0,02 \text{ m}^2$;
- Velocidade tangencial: 2 m/s ;
- MLSS: 17 a 20 g/l ;
- COV: $4 \text{ kg DQO/m}^3\text{.d.}$

TESTES EM ESCALA SEMI-INDUSTRIAL

- Efluente de processamento de milho
(testes preliminares em escala laboratorial foram realizados)
- **DQO solúvel = 24400 mg/l;**
- **DQO total = 35100 mg/l);**
- Vazão = 0,9 m³/h;
- Fluxo = 45 LMH;
- TMP = 0,25 bar;
- 85 a 93% de remoção de DQO (DQO total < 1000 mg/l);
- SST < 1,0 mg/l;
- Produção de CH₄: 0,29 a 0,32 Nm³ CH₄ / kg DQO removida;
- Porcentagem de CH₄ no biogás: 56%;
- Produção de lodo biológico excedente: 0,03 kg SSV / kg DQO removida.



PLANTAS SEMI-INDUSTRIAIS E PROJETOS ATUAIS

- Planta piloto com bons resultados na indústria de processamento de peixes (grupo PESCANOVA – ES);
- Bons resultados obtidos com plantas piloto instaladas em indústrias de doces, laticínios, tintas fotográficas e de outros segmentos;
- Atualmente um sistema com vazão de 300 m³/d está em construção (Colômbia).



Quando o MBR anaeróbico é especialmente interessante ?

- Quando a granulação do lodo for difícil (alta salinidade, óleos e graxas, SST elevado etc);
- Vazões moderadas e cargas orgânicas elevadas;
- Efluentes incrustantes (membranas cerâmicas);
- Quando a remoção biológica de nutrientes não for necessária;
- Quando um sistema robusto e com mínima intervenção humana é requerido;
- Quando a remoção de DQO, DBO_5 e TOC necessária é elevada;
- Quando um bom tratamento preliminar para nanofiltração ou OR for requerido;
- Quando se deseja um processo com baixíssima produção de lodo excedente;
- Quando se necessita converter lagoas ou tanques existentes em reatores anaeróbicos CSTR.

CONCLUSÕES

- Todas as variações da tecnologia MBR propiciam efluente tratado com ótima qualidade;
- O reuso não potável é possível para diversas aplicações;
- O efluente sanitário tratado por MBR atende às recomendações da norma ABNT NBR 13969 para as classes ;
- Para o reuso potável de efluentes sanitários e industriais tratamento complementares ao MBR serão necessários;
- O reuso potável de efluentes sanitários é uma prática consolidada em diversos países (EUA, Namíbia, Israel, México etc) e em todas as plantas modernas o MBR é a alternativa preferencial;
- Sistemas pequenos e transportáveis de MBR (todos os tanque em PRFV) são de instalação fácil e rápida, minimizando obras civis e o tempo requerido até o “turn key”;
- Para cada efluente o corpo técnico da ECOSAN avalia o tipo de membrana e a configuração de reator MBR mais apropriada e econômica.

PERGUNTAS ?

OBRIGADA PELA ATENÇÃO!

karina.soares@ecosan.com.br



Grupo ECOSAN

Escritório Central: Rua das Monções, 420 – 9º andar
Bairro Jardim – Santo André / SP

Fone : +55 11 3468-3800

Central de Relacionamento: 0800-777.5151

contato@ecosan.com.br

www.ecosan.com.br



17 anos consecutivos