I WORKSHOP INTERNACIONAL DE BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

XI SESMA
SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO E MODIFICAÇÃO DE MEMBRANAS NANOCOMPOSTAS

Prof. José Carlos Mierzwa

mierzwa@usp.br

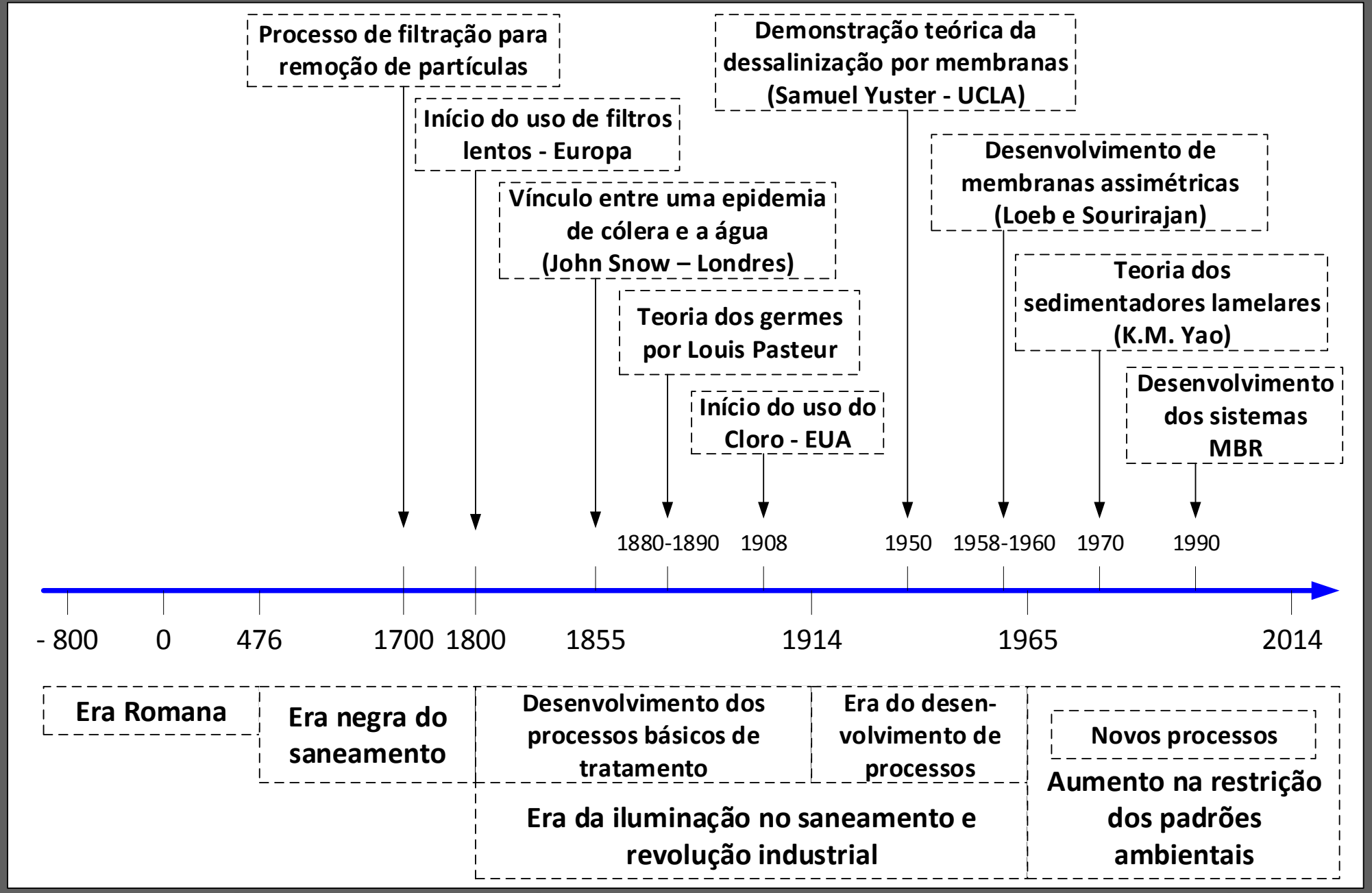
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CIRRA / IRCWR

DESAFIOS DO SETOR DE SANEAMENTO

- Escassez de água;
  - Demanda excessiva;
  - Poluição dos mananciais.
- Garantia do padrão de qualidade para abastecimento:
  - Novos grupos de contaminantes.
- Processos de tratamento com uso intensivo de energia;
- Complexidade dos sistemas de tratamento de água para abastecimento e efluentes.

A MAIOR OBRA DE SANEAMENTO DO BRASIL



Paralelo Histórico entre as práticas de Saneamento, com foco em água de abastecimento e no tratamento de esgotos

Problemas atuais associados à qualidade da água

Database Counter

acesso em 05/03/2014

In addition to organic and inorganic substances, REGISTRY has:

65,323,458 sequences

CAS RN 1562398-81-5 is the most recent CAS Registry Number

CAS also provides specialized databases of chemical reactions, regulated chemicals, commercially available chemicals and Markush substance information.

Specialized Substance Collections Count

CASREACT(1) **71,528,095** Single and multi-step reactions, and synthetic preparations

CHEMLIST **309,073** Inventoried/regulated substances

CHEMCATS **67,195,779** Commercially available chemicals

MARPAT **1,023,202** Searchable Markush structures

(1) More information on CASREACT statistics.

Em pouco mais de um ano:

Aumento de quase 50% no número de substâncias químicas disponíveis comercialmente.

Database Counter

acesso em 23/02/2016

In addition to organic and inorganic substances, REGISTRY has:

66,569,759 sequences

CAS RN 1872343-09-3 is the most recent CAS Registry Number

CAS also provides specialized databases of chemical reactions, regulated chemicals, commercially available chemicals and Markush substance information.

Specialized Substance Collections Count

CASREACT(1) **86,492,064** Single and multi-step reactions, and synthetic preparations

CHEMLIST **345,462** Inventoried/regulated substances

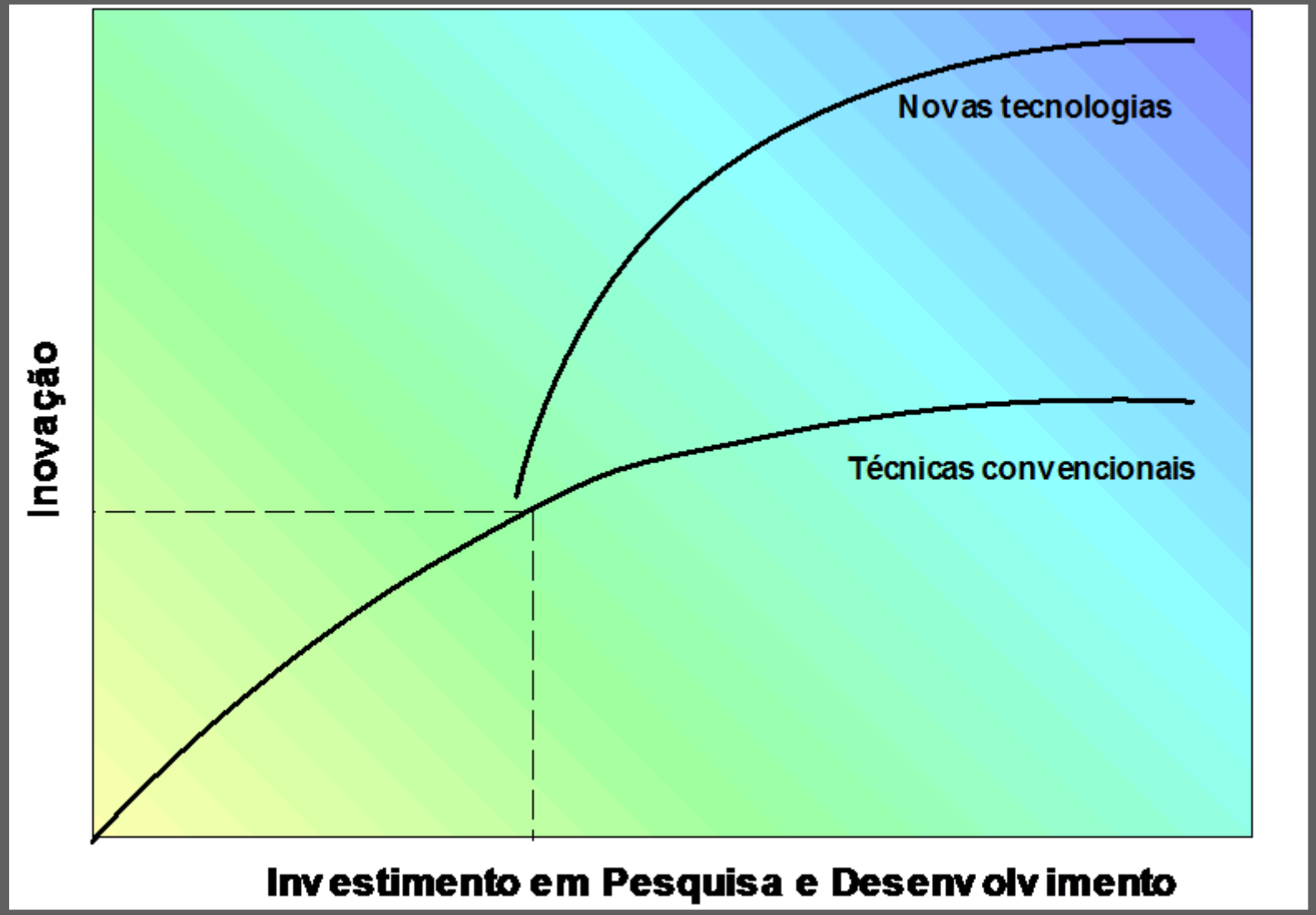
CHEMCATS **102,510,642** Commercially available chemicals

MARPAT **1,114,092** Searchable Markush structures

(1) More information on CASREACT statistics.

Fonte: http://www.cas.org/content/counter

Qual a relevância da Inovação Tecnológica para os Desafios Atuais do Saneamento?



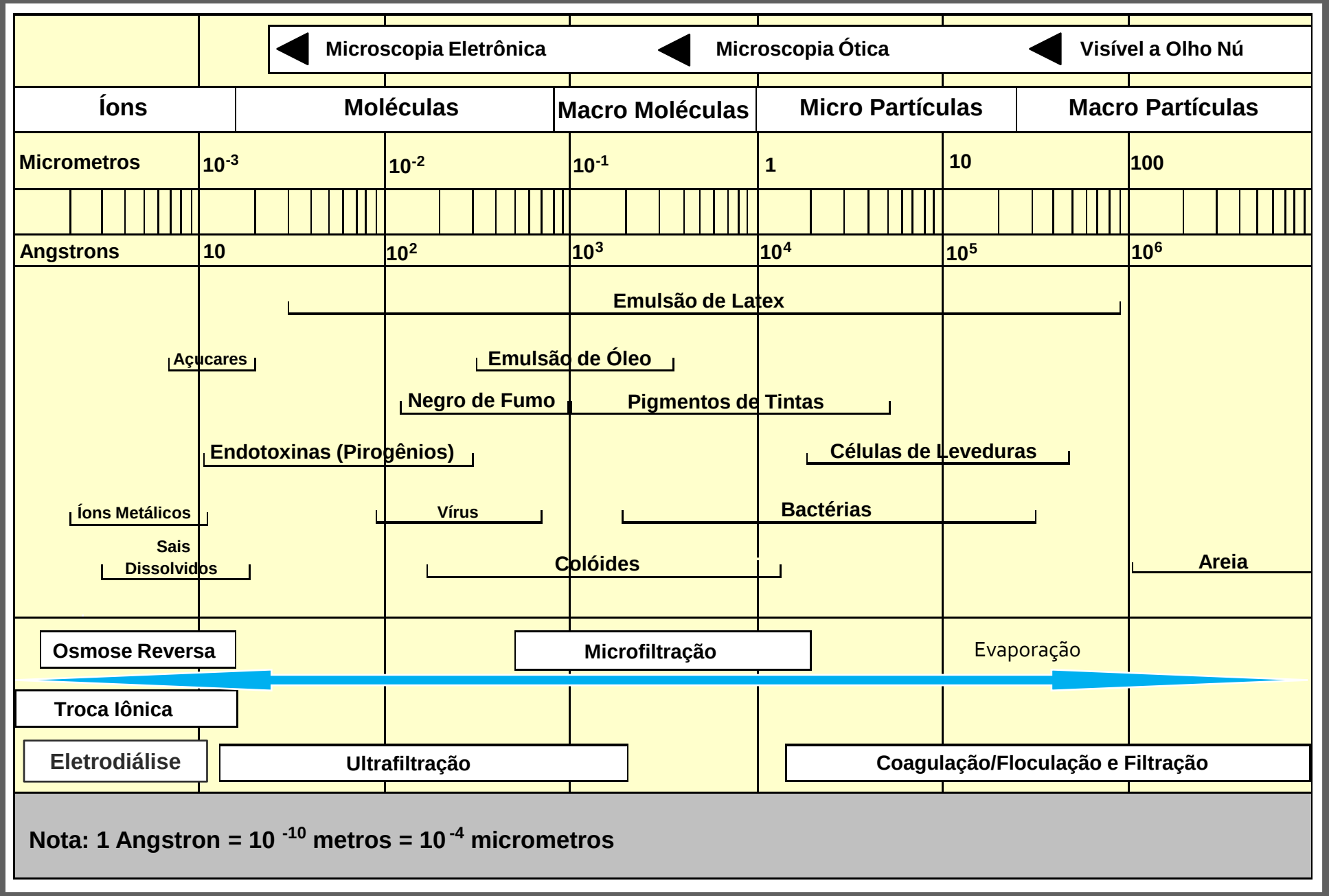
Relação entre inovação e investimento em P&D na atualidade

DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO SETOR DE SANEAMENTO

- No século XXI, os efluentes não são mais vistos, pelo menos nos países mais comprometidos com a qualidade de vida de sua população e com a sustentabilidade, como um subproduto da atividade humana que deve ser disposto, mas como uma fonte renovável de energia, como um recurso e, até mesmo, como água potável (Tchobanoglous, 2010; Tchobanoglous et al., 2011).
- Fonte: Metcalf and Eddy. Capítulo 18. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos, 5th Edition*. AMGH, 01/2016.

TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

- Microfiltração (MF);
- Ultrafiltração (UF);
- Nanofiltração (NF);
- Osmose Reversa (OR);
- Eletrodiálise e Eletrodiálise Reversa (ED/EDR);
- Pervaporação (PV).



Técnicas de Tratamento em Função do Contaminante

DESAFIOS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE MEMBRANAS

- Perda de desempenho das membranas devido à formação de depósitos;
- Necessidade de processos complementares de tratamento;
- Nacionalização de equipamentos que utilizam a tecnologia de separação por membranas.

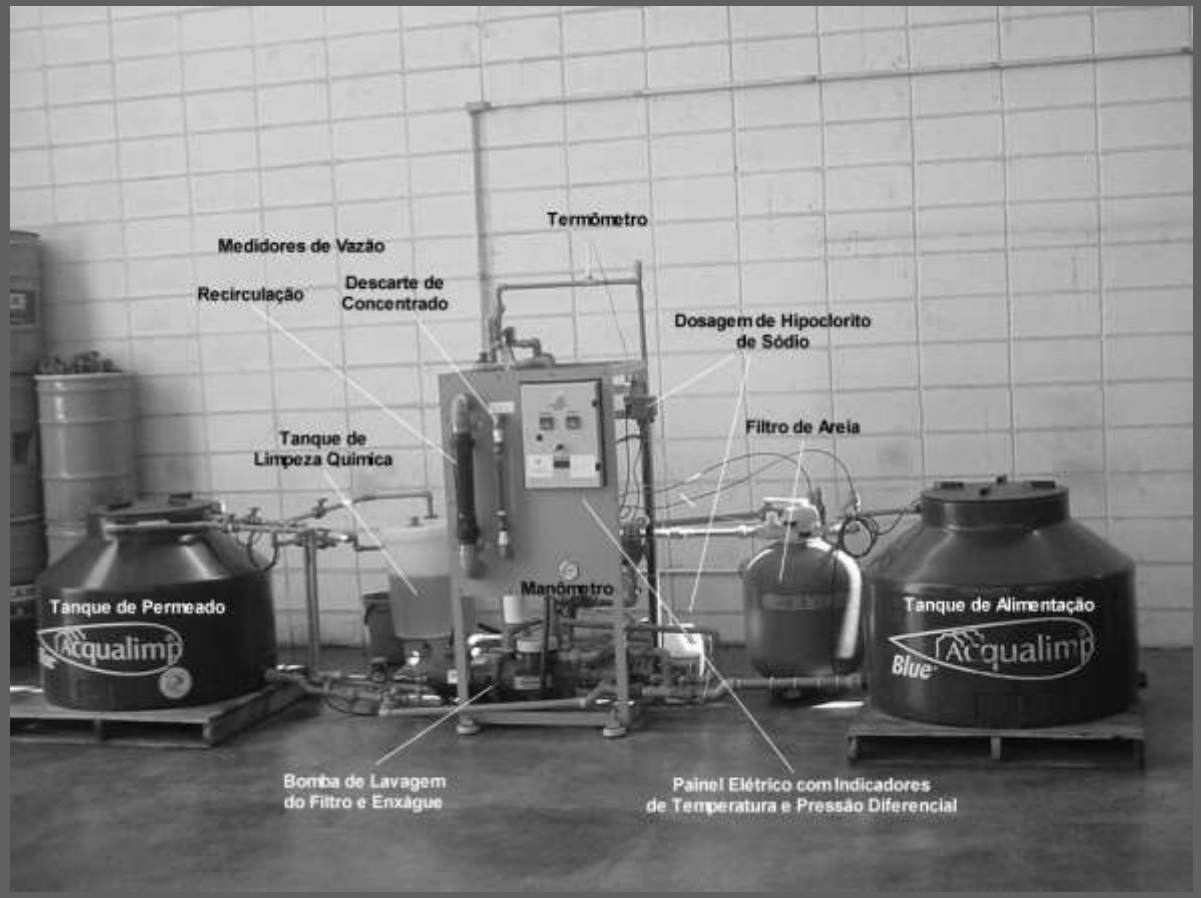
PESQUISAS RELACIONADAS À APLICAÇÃO E MODIFICAÇÃO DE MEMBRANAS - HISTÓRICO

- 2004 – Início das pesquisas com membranas para tratamento de água – PROSAB-4 e 5;
- 2008 - Pesquisa iniciada no Laboratório do Centro Internacional de Reúso de Água – CIRRA para modificação de membranas:
  - Obtenção de patente no Brasil relacionada à membranas modificadas com argila:
  - Não foram feitos ensaios de desempenho para avaliar fluxo ou capacidade de separação.
- 2011 - Desenvolvimento de pesquisa em colaboração com a Escola de Engenharia e Ciências Aplicadas de Harvard:
  - Modificação de membranas de Polietersulforma com nanopartículas de argila;
  - Obtenção de patente internacional e nos EUA.

- 2012 - Pesquisa de aplicação de membranas modificadas com nanopartículas de argila para tratamento de esgotos;
- 2014 – Início de pesquisas para a produção de membranas condutivas para processo simultâneo de oxidação eletroquímica e filtração;
- 2016 – Desenvolvimento de Pesquisa para a produção de de água potável a partir de esgotos domésticos tratados:
  - Projeto em parceria com a Companhia de Saneamento do Município de Campinas e Comitê de Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

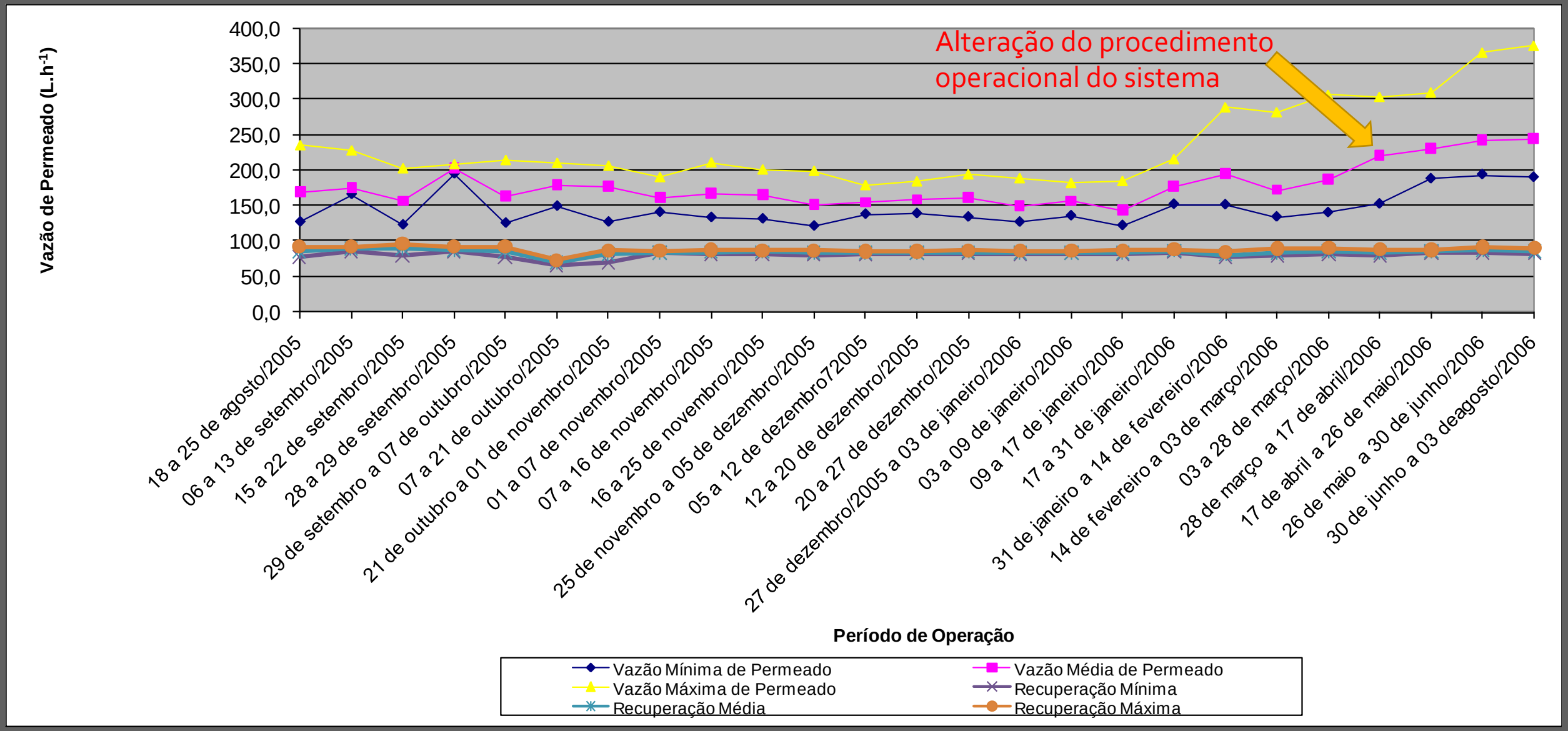
RESULTADOS PROSAB – 4 E 5

- PROSAB-4:
  - Avaliação do tratamento direto de água para abastecimento pelo processo de ultrafiltração;
  - Instalação de unidade piloto no Reservatório Guarapiranga;
  - Avaliação do desempenho do sistema por um período de 1 ano (2005/2006);
  - Identificação e adoção de procedimentos operacionais para aumento do desempenho do sistema.
- PROSAB-5:
  - Reconfiguração do sistema de ultrafiltração → membrana menos restritiva e maior nível de automação;
  - Definição de parâmetros de operação otimizados;
  - Avaliação da remoção de desreguladores endócrinos.



Unidade piloto – PROSAB -4

Unidade piloto – PROSAB -5



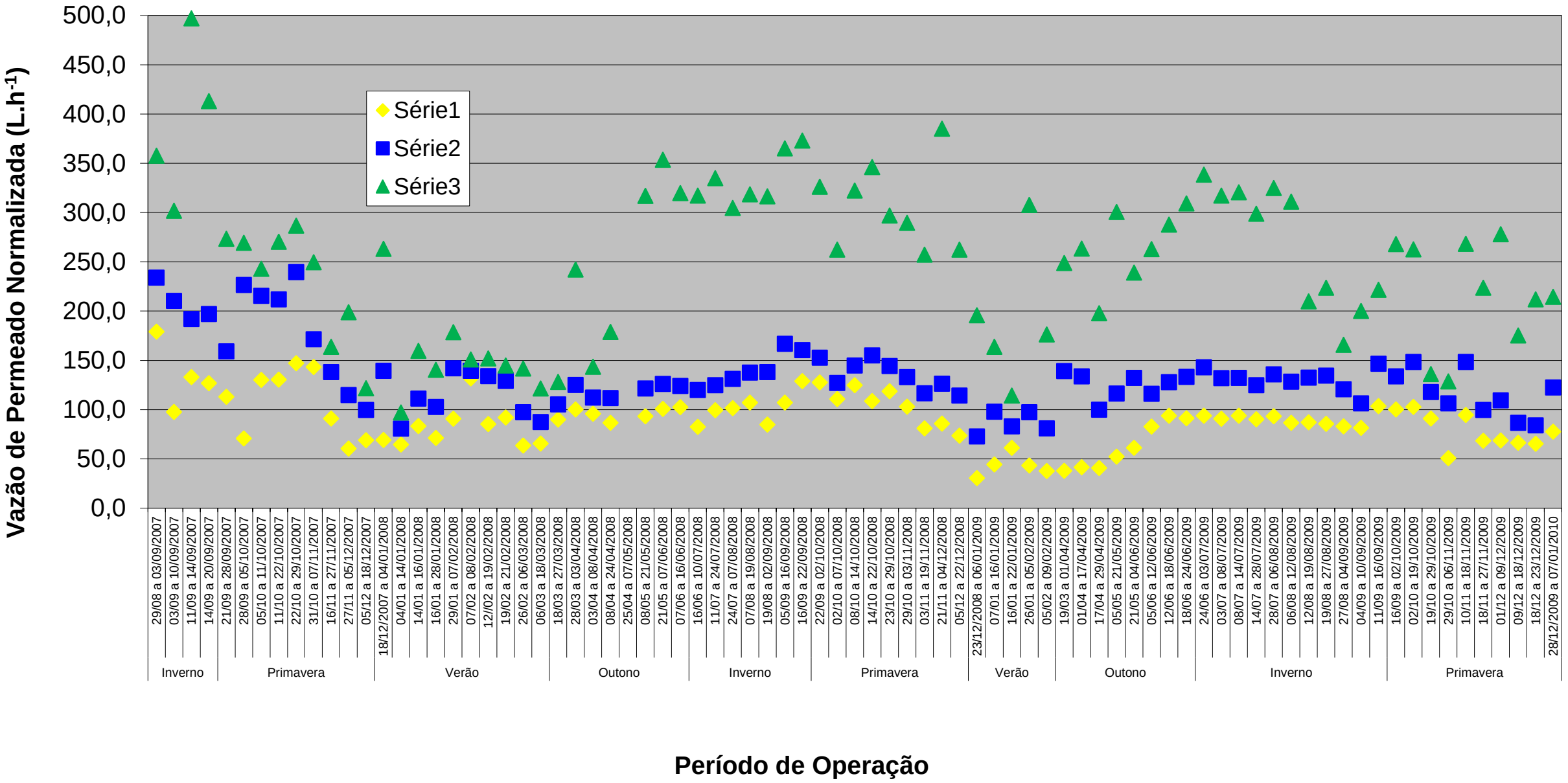
Dados de desempenho da unidade piloto PROSAB- 4

Resultados das análises de amostras do permeado, realizadas pela SABESP (Setembro de 2005 a Março de 2006)

Variável	Nº de Amostr	Média	Valores Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Eficiência de Remoção (%)
Alcalinidade (mg $CaCO_3.L^{-1}$)	79	31,46	26,00	36,00	2,07	5,24%
Carbono Orgânico Total (mg $C.L^{-1}$)	24	1,08	0,29	2,10	0,59	76,37%
Coliformes Totais (NMP.100 mL^{-1})	18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	100,00%
Contagems de Algas (UPA.mL^{-1})	27	7,60E-01	0,00E+00	3,73E+00	9,40E-01	99,99%
Cor aparente (mg Pt-Co/L)	80	3,7	2,5	5,0	1,25	88,79%
Escherichia Co li (NMP.100 mL^{-1})	18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	100,00%
Ferro (mg $Fe.L^{-1}$)	81	0,01	0,00	0,11	0,02	50,00%
Manganês (mg $Mn.L^{-1}$)	81	0,01	0,00	0,13	0,02	66,67%
pH (unidades)	82	7,24	6,80	7,60	0,17	--
Turbidez (uT)	82	0,13	0,07	0,55	0,07	95,50%

Resultados das análises de amostras do permeado, realizadas pelo CIRRA (Agosto de 2005 a Abril de 2006)

Variáveis	Nº de Amostras	Média	Valores Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Eficiência média de
Absorção de Radiação UV (cm^{-1})	17	0,03	0,02	0,08	0,01	66,7%
Alcalinidade (mg $CaCO_3.L^{-1}$)	20	37,02	31,35	41,28	2,15	9,7%
Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)	25	133,92	105,00	159,30	14,45	5,6%
Cor aparente (mg $Pt\text{-}Co.L^{-1}$)	22	1,8	< 1	3,5	1,27	93,7%
Dureza total (mg $CaCO_3.L^{-1}$)	22	29,80	25,26	35,90	2,27	10,7%
Fósforo Total (mg $P.L^{-1}$)	11	0,02	< 0,01	0,04	0,01	33,3%
Microcistinas ($\mu g.L^{-1}$)	12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	--x--	--x--
Nitrogênio Amoniacal (mg $N.L^{-1}$)	10	0,19	0,09	0,63	0,16	--x--
Nitrogênio Kjeldahl (mg $N.L^{-1}$)	12	0,83	0,09	2,49	0,67	54,6%
Nitrogênio orgânico (mg $N.L^{-1}$)	9	0,60	0,28	1,85	0,48	53,8%
pH (unidades)	23	7,36	6,84	7,86	0,22	--x--
Turbidez (uT)	21	0,20	0,05	0,47	0,12	93,4%



Dados de desempenho da unidade piloto PROSAB- 5

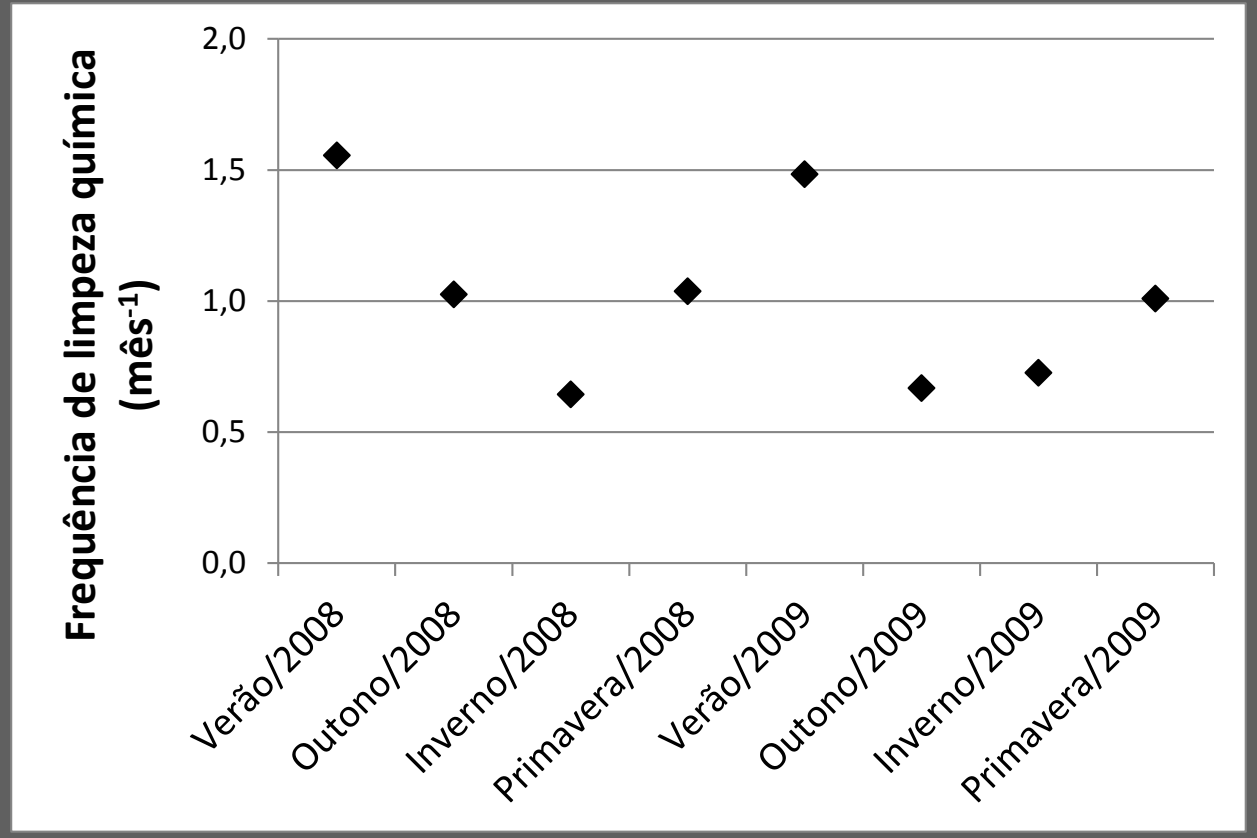


Gráfico da variação da frequência de limpeza química em função da estação do ano

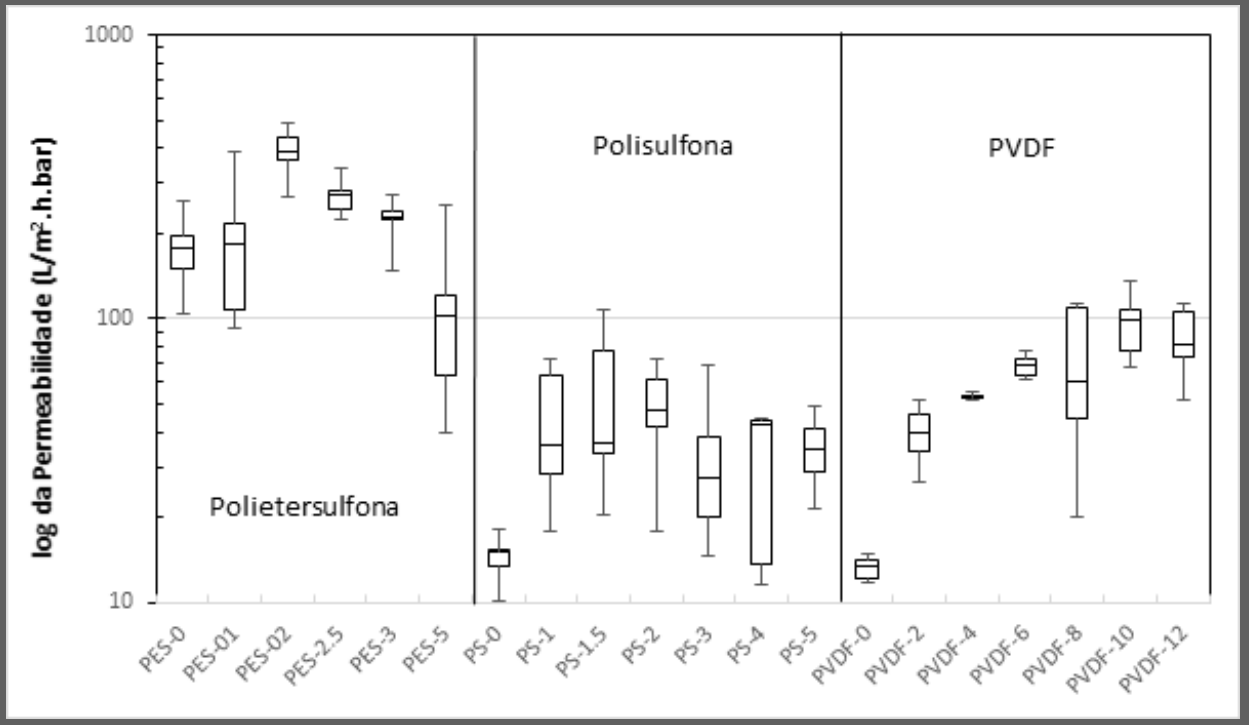
Resultados das análises para amostras de permeado para as variáveis para controle da eficiência de remoção de contaminantes

Variável	Número de amostras [a]	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	Eficiência de Remoção Média (%)
Absorção de Radiação UV_{254}	23	cm^{-1}	0,017	0,052	0,115	0,019	49,5
Alcalinidade	11	mg $CaCO_3.L^{-1}$	33,66	40,80	53,04	5,64	0
Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	23	mg $C.L^{-1}$	1,90	2,16	11,61	7,46	60,5
Coliformes Totais	14	NMP/100 mL	0	0	2	0,6	100,0
Condutividade Elétrica	23	$\mu S.cm^{-1}$	136,07	185,07	478,66	65,74	0
Cor Aparente	20	uC	2,00	5,00	13,33	3,00	91,9
Dureza	11	mg $CaCO_3.L^{-1}$	42	49	65	6,4	0
Escherichia Coli	16	NMP/100 mL	0	0	0	0	100,0
pH	24	Unidade de pH	7,0	7,4	8,0	0,2	--
Turbidez	23	uT	0,1	0,2	0,8	0,2	94,3

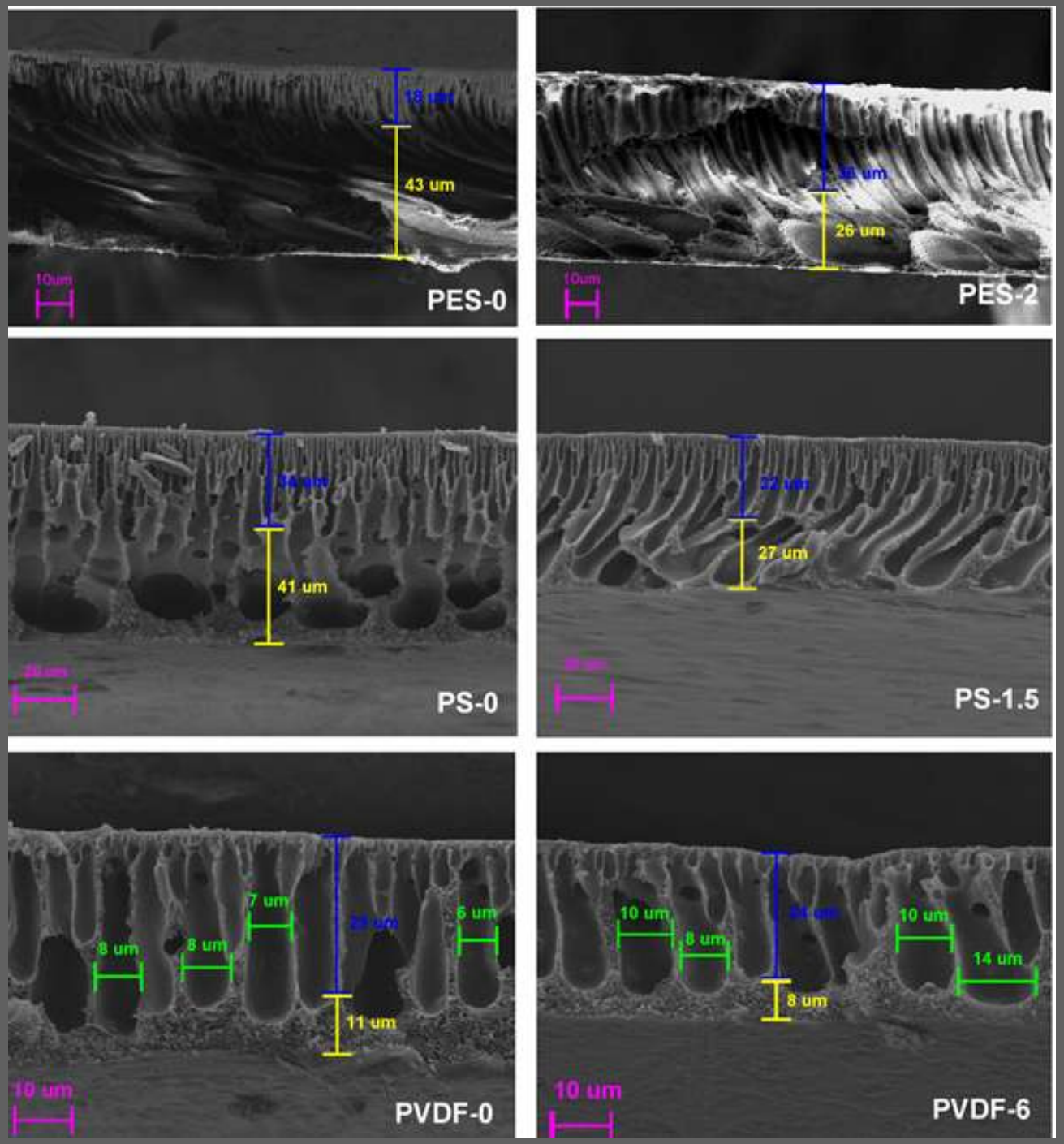
a - Amostras coletas semanalmente ou quinzenalmente.

MODIFICAÇÃO DE MEMBRANAS COM NANOPARTÍCULAS DE ARGILA

- Uso de nanopartículas de argila para melhoria do desempenho de membranas de ultrafiltração;
- Polímeros utilizados:
  - Plietersulfona;
  - Polisulfona;
  - Fluoreto de polivinilideno.
- Objetivo:
  - Alterar a morfologia das membranas e suas propriedades físico químicas para reduzir a ocorrência de depósitos e aumentar a sua permeabilidade;
  - Avaliar as membranas para o tratamento de água e esgotos.



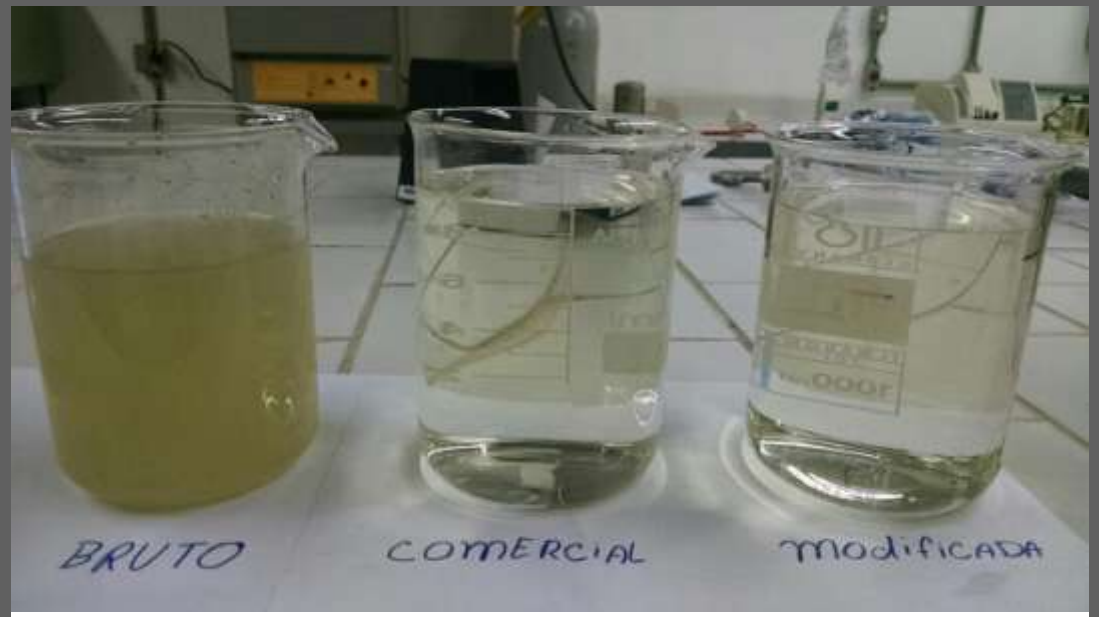
Resultados de permeabilidade das membranas com a adição de nanopartículas de argila

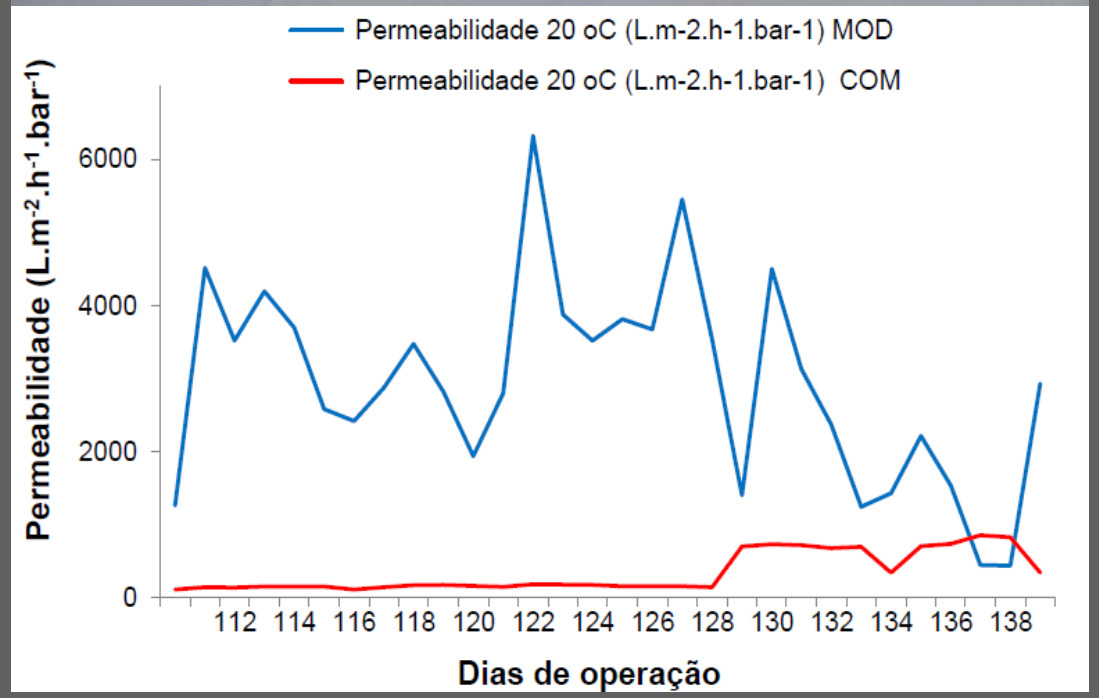


Alteração na morfologia interna das membranas com a adição de nanopartículas de argila

MONTAGEM DO MÓDULO DE MEMBRANAS (PLACAS PLANAS)

Unidade Piloto com Membranas Modificadas e Comerciais
(antes e depois o início da operação com esgoto)





Dados de desempenho das membranas

Superfície das membranas após operação

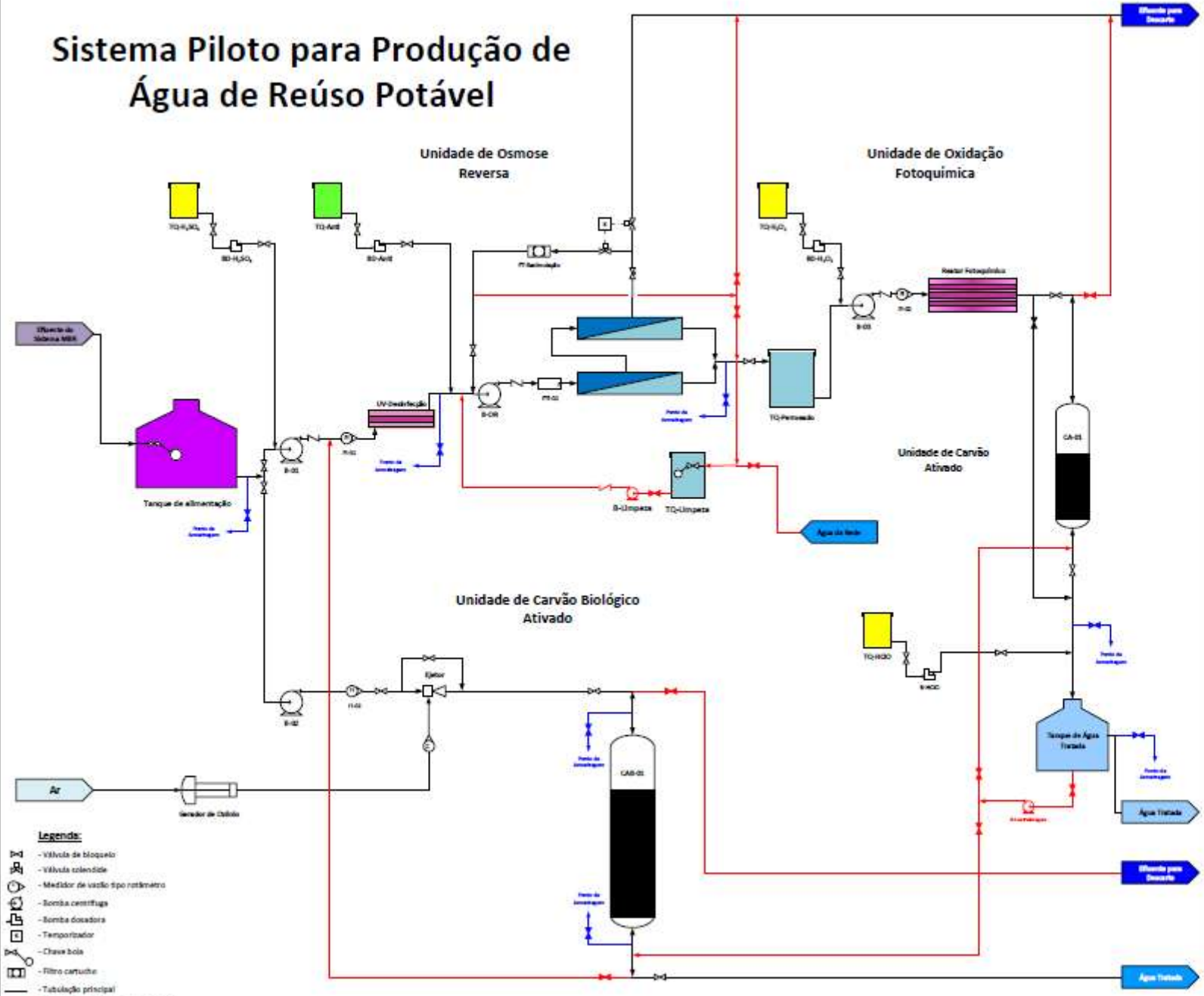
Membrana modificada

Membrana comercial

PESQUISAS EM ANDAMENTO

- Produção de membranas condutivas para oxidação eletroquímica e filtração simultânea;
  - Síntese de um polímero condutor a base de Polianilina;
  - Polimerização interfacial em nanopartículas de argila;
  - Produção de membranas compostas.
- Reúso potável direto a partir de esgotos domésticos tratados em sistemas MBR.

Sistema Piloto para Produção de Água de Reúso Potável



SANASA CAMPINAS

Agência das Bacias PCJ

Descrição geral:

Esta unidade piloto, com capacidade de produção de 350 L/h, tem por objetivo avaliar diferentes processos de tratamento para produção de água de reúso potável a partir do efluente tratado da ETE Capivari II.
O Sistema concebido permite a avaliação das seguintes configurações de tratamento:

1) Osmose reversa;
2) Osmose reversa e oxidação fotoquímica avançada;
3) Osmose reversa e adsorção em carvão ativado granular;
4) Osmose reversa oxidação fotoquímica avançada e adsorção em carvão ativado granular;
5) Carvão biológico ativado combinado com as configurações de tratamento indicadas acima.

A Unidade de Osmose Reversa visa promover a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no efluente ao sistema. Consiste de um sistema de dois estágios precedido de um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, que possibilita uma dose de radiação de 60,6 mJ/cm^2 e tempo de contato de 14,2 segundos. São utilizados dois módulos de membranas fornecidos pela Empresa Dow para uma taxa de recuperação de água de 70%, o que é obtido com a recirculação de concentrado. Também faz parte da unidade o sistema de limpeza química.

A Unidade de Oxidação Fotoquímica tem por finalidade oxidar qualquer contaminante orgânico que não tenha sido retido pela unidade de osmose reversa. Esta unidade é constituída por um tanque de alimentação e pelo reator com 12 lâmpadas ultravioleta de baixa pressão, o que possibilita a obtenção de uma dose de radiação de 1450 mJ/cm^2 e tempo de contato de 186 segundos. Para viabilizar o processo de oxidação é feita a dosagem de peróxido de hidrogênio na alimentação de reator UV.

A Unidade de Adsorção em Carvão Ativado tem como função remover compostos orgânicos remanescentes no permeado da osmose reversa ou no efluente da unidade de oxidação fotoquímica. Esta unidade é constituída por um leito de carvão ativado granular, dimensionado para um tempo de contato de 10 minutos (leito vazio), e opera com uma taxa de aplicação de 10 m^3/h.m^2.

A Unidade de Carvão Ativado Biológico visa a oxidação biológica de compostos orgânicos presentes no efluente ao sistema, assistida pelo processo de oxidação química com ozônio. Esta unidade é constituída por um sistema de ozonização e um leito de carvão ativado granular, dimensionado para um tempo de contato de 20 minutos (leito vazio), e opera com uma taxa de aplicação de 7 m^3/h.m^2.

Concepção, Projeto e Coordenação	Montagem e Operação
Centro Internacional de Referência em Reúso de água	Invict Proaqua

Revisões			
0	Emissão Inicial		
Nº		Data	Visto

Cliente:	SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A	Projeto Água de reúso potável
Endereço:	Av. da Saudade, 550 - Campinas-SP	
Assunto:	Sistema de tratamento de água para fins potável – Fluxograma de processo	
Documento:	CIRRA-2015-SANASA-FP-001	

CIRRA

Imagem da Unidade Piloto para Produção de Água de Reúso Potável

DESAFIOS

- Nacionalizar a produção de membranas;
- Desenvolver equipamentos e sistemas;
- Capacitar os profissionais para a sua utilização;
- Demonstrar para as Companhias de Saneamento e profissionais o potencial de utilização das tecnologias de separação por membranas;
- Aprimorar os processos de tratamento de água e efluentes por meio da inovação.

MUITO OBRIGADO!