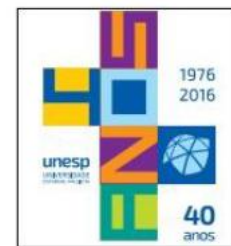




Fundação
Nacional
de Saúde



Barreiras múltiplas no tratamento de água para abastecimento



Prof. José Carlos Mierzwa

mierzwa@usp.br

Rio Claro, 14 de Junho de 2016



CIRRA / IRCWR

Fundamentos

▶ Barreiras múltiplas:

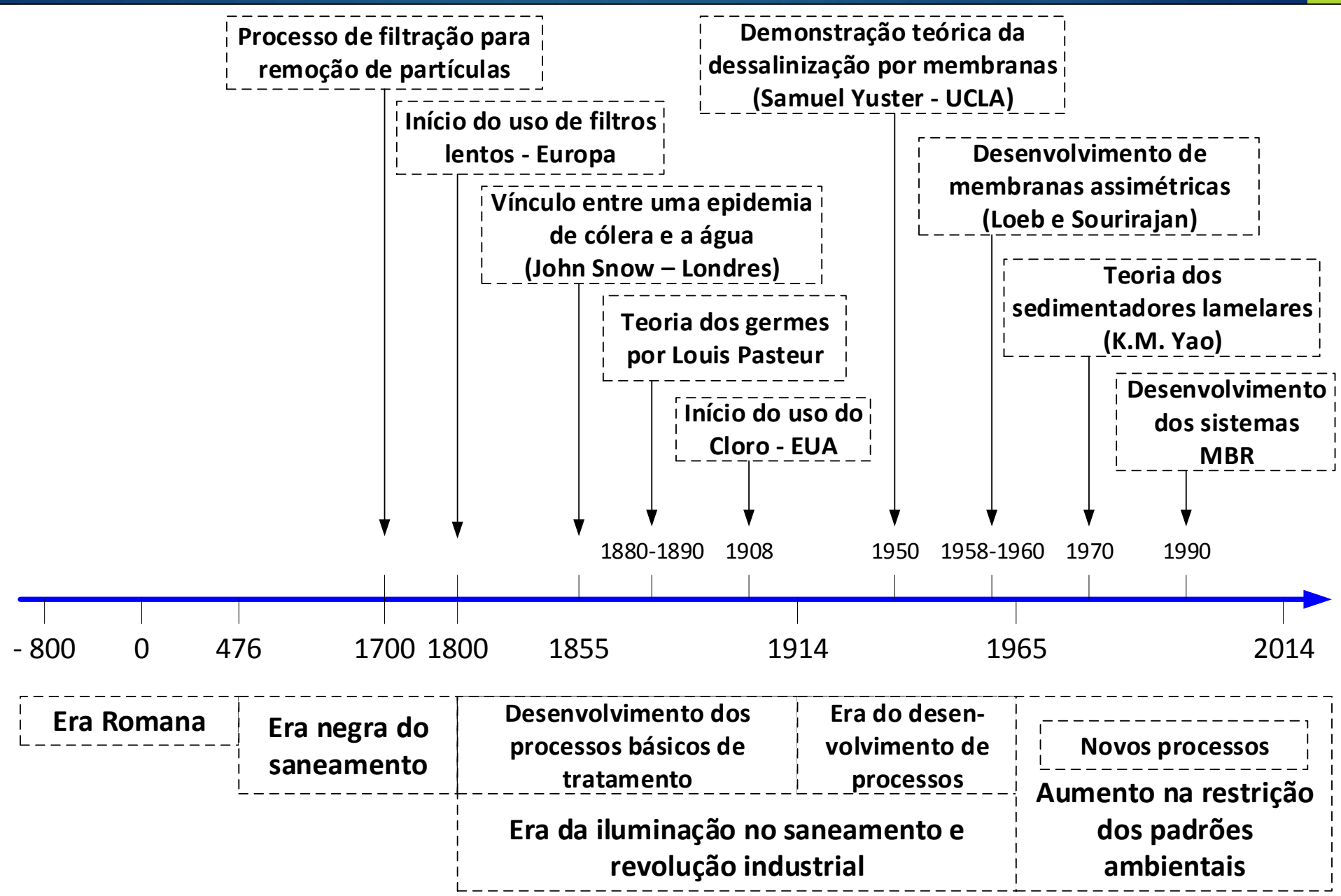
- ▶ Elementos da estrutura de abastecimento público de água para assegurar a sua qualidade para o uso final.

▶ Objetivo:

- ▶ Minimizar o risco à saúde da população, garantindo o fornecimento de uma água intrinsecamente segura dos pontos de vista:
 - ▶ Físico;
 - ▶ Microbiológico;
 - ▶ Químico.

Conceitos sobre abastecimento de água

- ▶ Como o ser humano vem se relacionando com a água ao longo do tempo?
- ▶ Que conceitos ou critérios foram utilizados no passado para a utilização de água para abastecimento?
- ▶ O que ocorreu com o passar do tempo?



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

Quais os elementos que integram o sistema público de abastecimento?



Problema de poluição dos mananciais



Imagem aérea do Reservatório Guarapiranga
(fonte: <http://vejasp.abril.com.br/materia/ciclofaixa-represa-Guarapiranga>)

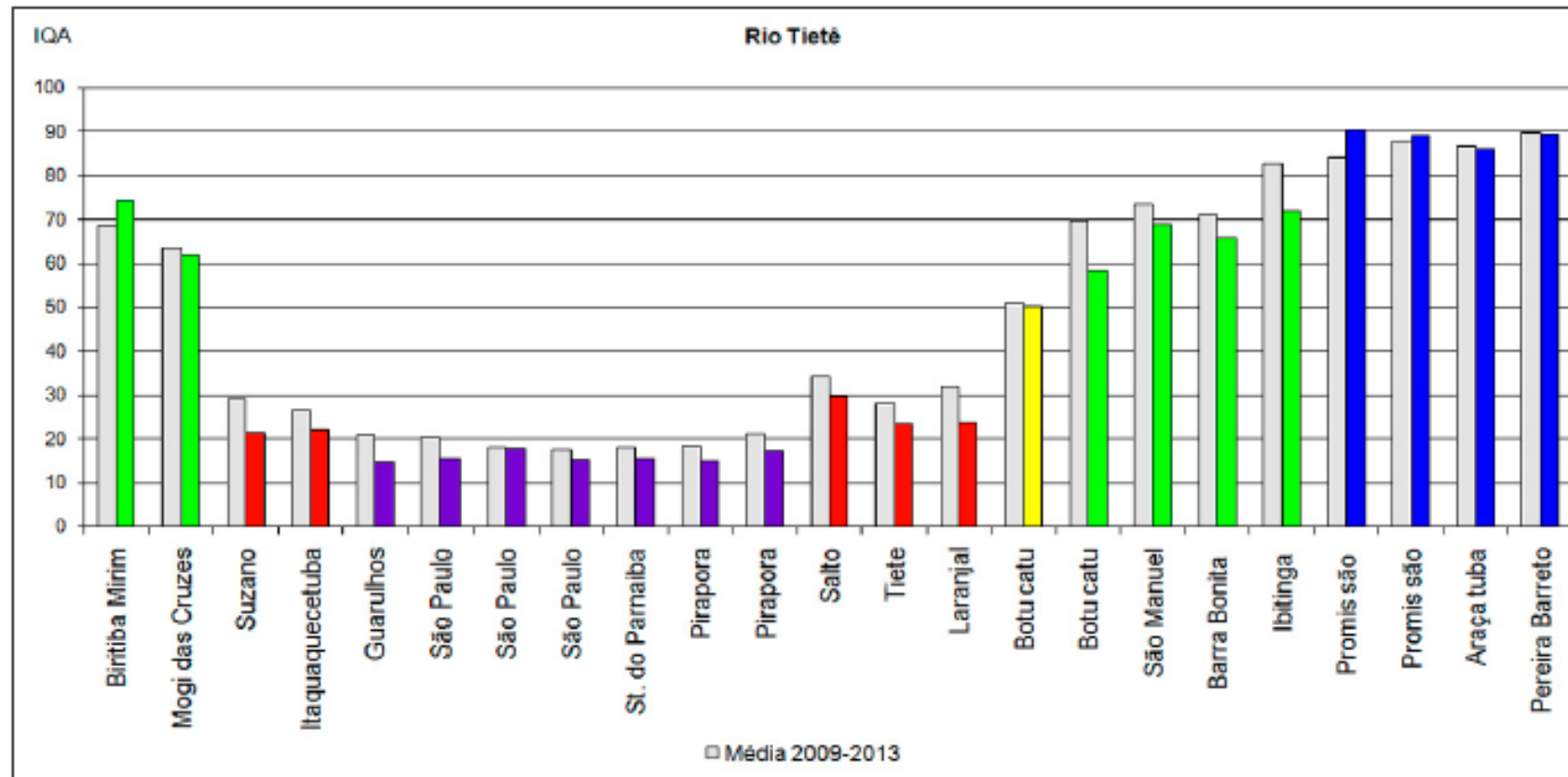
Relatório CETESB de Qualidade de Águas Superficiais - 2014

Tabela 1 – Porcentagem da população atendida pela coleta e pelo tratamento de esgotos e ICTEM nas áreas urbanas das 22 UGRHIs.

UGRHI		População Urbana	Atendimento (%)		Carga Remanescente kg/dia	ICTEM
Número	Descrição		Coleta	Tratamento		
1	Mantiqueira	59.451	70	100	1.060	7,14
2	Paraíba do Sul	1.994.782	91	61	58.015	5,75
3	Litoral Norte	296.457	49	68	11.046	4,36
4	Pardo	1.132.342	98	69	17.449	7,62
5	Piracicaba/Capivari/Jundiaí	5.284.029	92	66	106.290	6,94
6	Alto Tietê	20.523.764	89	50	591.174	5,53
7	Baixada Santista	1.777.861	71	53	84.315	2,61
8	Sapucaí/Grande	672.643	100	95	6.583	9,80
9	Mogi Guaçu	1.451.547	98	57	44.433	5,42
10	Sorocaba/Médio Tietê	1.771.427	88	80	32.961	7,14
11	Ribeira de Iguape/Litoral Sul	291.443	65	91	8.783	5,76
12	Baixo Pardo/Grande	333.929	100	82	7.922	6,62
13	Tietê/Jacaré	1.518.045	98	76	41.576	5,98
14	Alto Paranapanema	608.884	91	86	15.651	6,34
15	Turvo/Grande	1.221.628	98	94	17.796	7,87
16	Tietê/Batalha	495.663	96	87	10.160	6,89
17	Médio Paranapanema	641.115	97	93	8.979	7,94
18	São José dos Dourados	192.827	97	100	2.455	8,22
19	Baixo Tietê	734.423	99	99	9.450	8,17
20	Aguapeí	339.519	98	100	3.447	9,67
21	Peixe	428.935	89	97	14.005	5,05
22	Pontal de Paranapanema	455.126	97	95	5.253	8,37
Estado de São Paulo		42.225.839	90	61	1.098.802	6,04

Impacto da Falta de Tratamento de Esgotos na Disponibilidade Hídrica

Gráfico 4.51– Perfil do IQA ao longo do Rio Tietê em 2014 e nos últimos 5 anos.



Perfil do IQA ao longo do Rio Tietê em 2014

Fonte: Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014 [recurso eletrônico] / CETESB. - - São Paulo : CETESB, 2015.

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 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.

<http://www.cas.org/content/counter>

AP: Drugs found in drinking water

Updated 9/12/2008 2:02 PM

By Jeff Donn, Martha Mendoza and Justin Pritchard, Associated Press



By Matt Rourke, AP

The federal government doesn't require any testing and hasn't set safety limits for drugs in water. Of the 62 major water providers contacted, the drinking water for only 28 was tested. Of the 28 major metropolitan areas where tests were performed on drinking water supplies, only Albuquerque, Austin, Texas, and Virginia Beach, said tests were negative.

At the Orange County Sanitation District, a settling basin is used to filter water as part of the advanced secondary treatment, before the water is diverted into the ocean, in Fountain Valley, Calif. Pharmaceuticals in



waterways are damaging wildlife across the nation and around the globe, research shows.

By Ric Francis, AP

A vast array of pharmaceuticals — including antibiotics, anti-convulsants, mood stabilizers and sex hormones — have been found in the drinking water supplies of at least 41 million Americans, an Associated Press investigation shows.

To be sure, the concentrations of these pharmaceuticals are tiny, measured in quantities of parts per billion or trillion, far below the levels of a medical dose. Also, utilities insist their water is safe.

WATER DEPARTMENTS: Reports rarely released to public

BOTTLED WATER: Is it any safer?

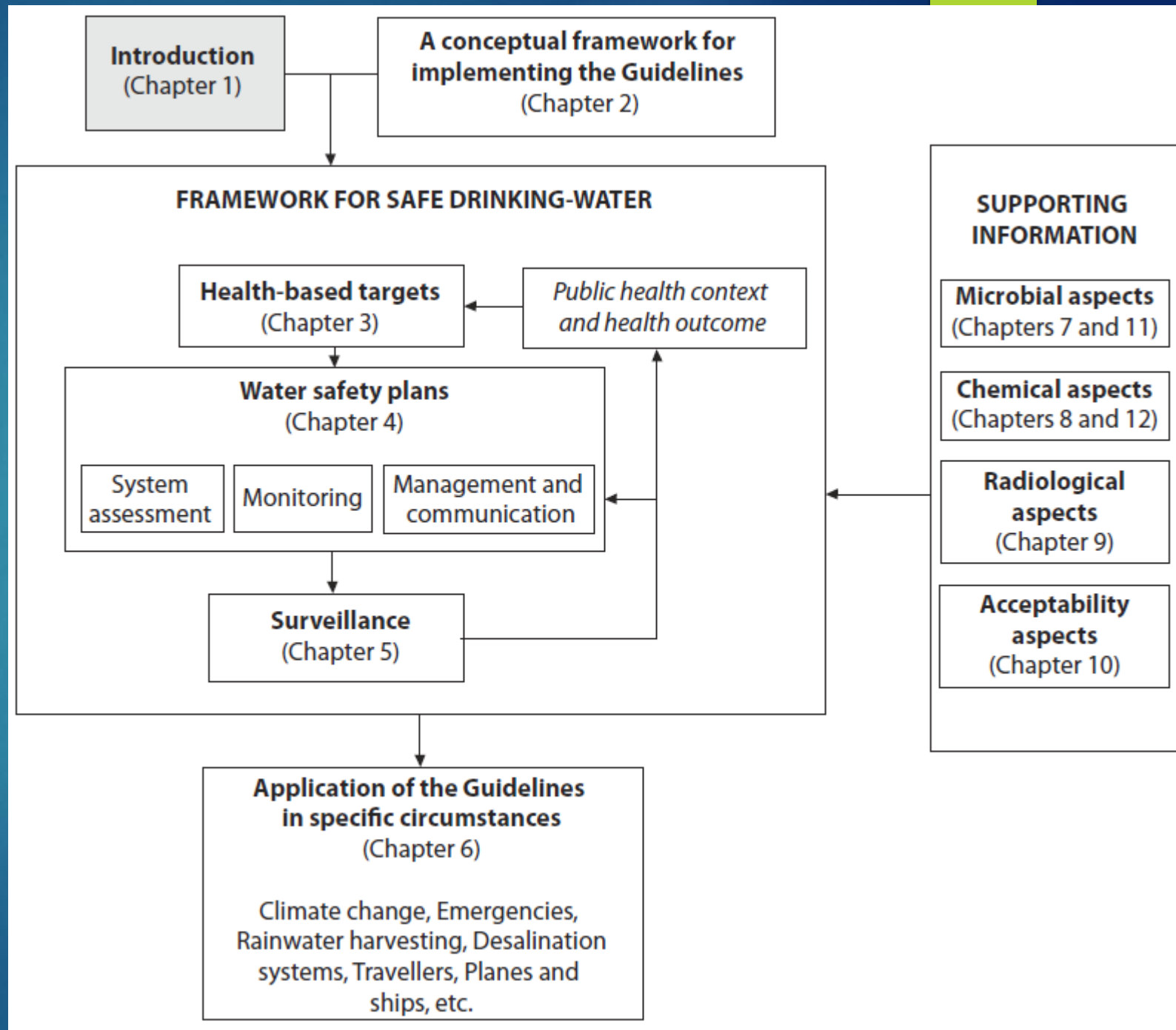
NEW YORK CITY: Sedative traces found in water

LOS ANGELES: Water tops national taste test

msnbc News | Drugs in your drinking water?

March 10: A shocking Associated Press investigation finds various pharmaceuticals in the drinking supplies of at least 41 million Americans. NBC's Tom Costello reports.

Estrutura proposta pela OMS
para o gerenciamento da
qualidade da água para
abastecimento.
(Fonte: WHO. Guidelines for Drinking
Water Quality, 4th edition, 2011)



Abordagem para a adoção de barreiras múltiplas

- ▶ Baseada na ferramenta de avaliação de perigos e pontos críticos de controle;
- ▶ Definição da estrutura integrante do sistema de abastecimento de água;
- ▶ Identificação de perigos associados ao abastecimento de água para abastecimento;
- ▶ Definição dos pontos críticos do sistema;
- ▶ Definição de ações de controle.

Princípios da Ferramenta de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)

- ▶ Princípio 1 – Análise dos Perigos e medidas preventivas
- ▶ Princípio 2 – Identificação dos Pontos Críticos de Controle do processo.
- ▶ Princípio 3 – Estabelecimento de limites críticos.
- ▶ Princípio 4 – Estabelecimento de procedimentos de monitoração
- ▶ Princípio 5 – Estabelecimento de ações corretivas
- ▶ Princípio 6 – Estabelecimento de procedimento de verificação
- ▶ Princípio 7 – Estabelecimento de procedimento de controle de registros.

Definição de Perigo e Ponto Crítico de Controle

- ▶ **Perigo**: é um agente de natureza biológica, física, química ou condição do sistema de produção de água com o potencial de causar um efeito adverso na saúde.
- ▶ **Ponto crítico de controle**: é a etapa no processo onde um controle deve ser aplicado, essencial para prevenir, eliminar ou reduzir a um nível aceitável um perigo.

Referência: NBR 14.900/2002 – Sistemas de gestão da análise de perigos e pontos críticos de controle – Segurança de alimentos.

Perigos associados ao sistema de abastecimento público

- ▶ Presença de contaminantes químicos;
- ▶ Presença de agentes infecciosos;
- ▶ Presença de substâncias que afetem as características organolépticas da água;
- ▶ Desabastecimento;

Pontos críticos de controle no sistema de abastecimento de água

► Mais contemplados:

- Manancial;
- Sistema de adução de água até a estação de tratamento;
- Sistema de tratamento de água;
- Sistema de armazenagem e distribuição;
- Reservatórios residenciais.

► Pouco considerados:

- Coleta e tratamento de esgotos;
- Lançamento de efluentes nos mananciais;
- Drenagem de áreas urbanas e agrícolas.

Principais barreiras preconizadas nos planos de segurança da água

1. Mananciais protegidos:
 1. Planos de uso e ocupação do solo devem prever a proteção das áreas de mananciais.
2. Definição de padrões de qualidade:
 1. Ministério da saúde define padrões baseados nas diretrizes da OMS;
 2. Critérios baseados na avaliação individual dos riscos associados aos agentes de perigo.
3. Estrutura de tratamento de água:
 1. A maioria dos sistemas de tratamento no Brasil utilizam tecnologias do pré-guerra.

Principais barreiras preconizadas (cont.)

4. Integridade da estrutura de distribuição:
 1. Manutenção de pressão hidráulica positiva no interior da rede;
 2. A falha no fornecimento compromete a sua eficiência.
5. Monitoramento:
 1. Coleta e análise periódica de amostras em pontos críticos da estrutura de abastecimento;
 2. Problemas para assegurar um monitoramento adequado em todo o país.
6. Manutenção periódica de reservatórios e redes de distribuição:
 1. Necessidade de programas de sanitização das estruturas de armazenagem e distribuição de água.

Barreira 1: Manancial protegido

- ▶ A maioria dos mananciais utilizados para abastecimento não são protegidos.



Reservatório Guarapiranga

Rio Doce



Barreira 2: Definição de padrões de qualidade

- ▶ A variedade de substâncias químicas disponíveis comercialmente inviabiliza o monitoramento adequado da qualidade da água;
- ▶ Atualmente a portaria do Ministério da Saúde Controla algo em torno de 100 variáveis de qualidade.

Barreira 3: Estrutura de tratamento de água

- ▶ A maioria das estações de tratamento de água utilizam o sistema convencional de tratamento de água;
 - ▶ Desenvolvido antes da Segunda Guerra Mundial.
- ▶ As técnicas de tratamento comumente utilizadas não afetam diversos contaminantes potencialmente presentes no mananciais.

Barreiras 4 (integridade das estruturas), 5 (Monitoramento) e 6 (Manutenção de redes de reservatórios)

- ▶ Não são suficientes para assegurar a oferta de uma água intrinsecamente segura;
- ▶ Aumento no risco de doenças associados ao uso da água;
- ▶ Necessidade de uma nova abordagem para a produção e monitoramento de água para abastecimento público.

Falta de atenção aos Pontos Críticos relacionados aos esgotos

- ▶ As ações relacionadas ao abastecimento de água são completamente desvinculadas dos problemas com os esgotos;
- ▶ Os principais problemas relacionados à presença de compostos químicos e agentes biológicos nos mananciais têm a sua origem nos esgotos, ou drenagem superficial;
- ▶ A escassez de água resulta na utilização de fontes com a qualidade comprometida.

Abordagem a ser utilizada

- ▶ Estabelecimento de padrões de qualidade com base em parâmetros que representem grupos específicos de contaminantes;
- ▶ Utilização de ensaios para avaliação de efeitos potenciais na saúde humana considerando-se o efeito conjunto de diversos contaminantes:
 - ▶ Ensaio de toxicidade;
 - ▶ Ensaio de estrogenicidade e androgenicidade.
- ▶ Utilização de novas tecnologias para tratamento de água e efluentes;
- ▶ Controle na fonte de contaminantes críticos.

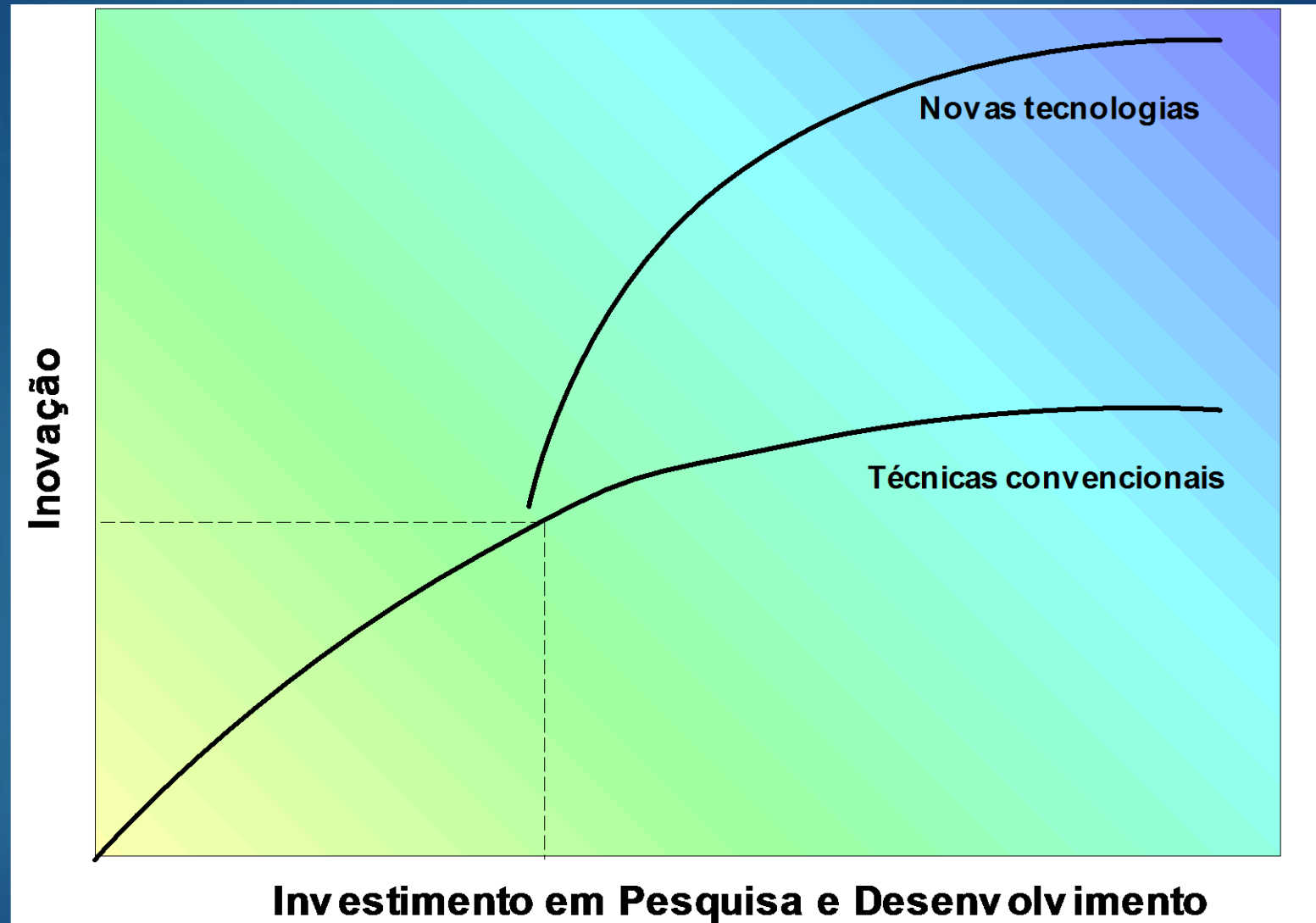
Padrões de Qualidade da Água Purificada e da Água para Injetáveis

Parâmetro	Água Purificada	Água para Injetáveis
pH	5 a 7	5 a 7
Condutividade Elétrica	Estágio 1: $\leq 1,3 \mu\text{S/cm}$	
	Estágio 2: $\leq 2,1 \mu\text{S/cm}$	
	Estágio 3: valor associado à medida do pH	
Carbono Orgânico Total*	500 partes por bilhão (ppb)	
Bactérias**	100 UFC/mL	10 UFC/mL
Endotoxinas	--	< 0,25 UE

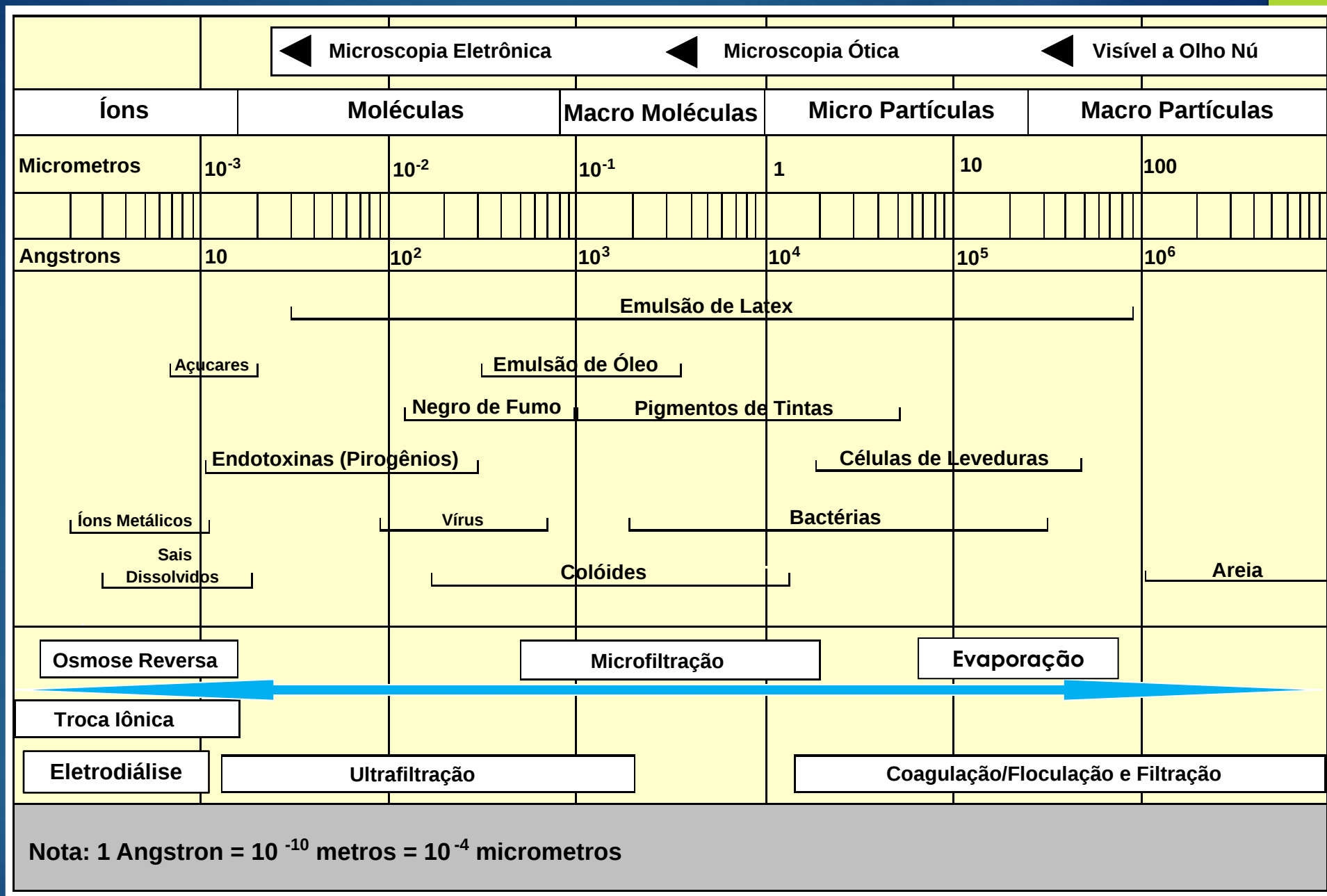
* Pode-se utilizar o teste para substâncias oxidáveis em substituição a este parâmetro.

** Somente como recomendação

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



Relação entre inovação e investimento em P&D na atualidade



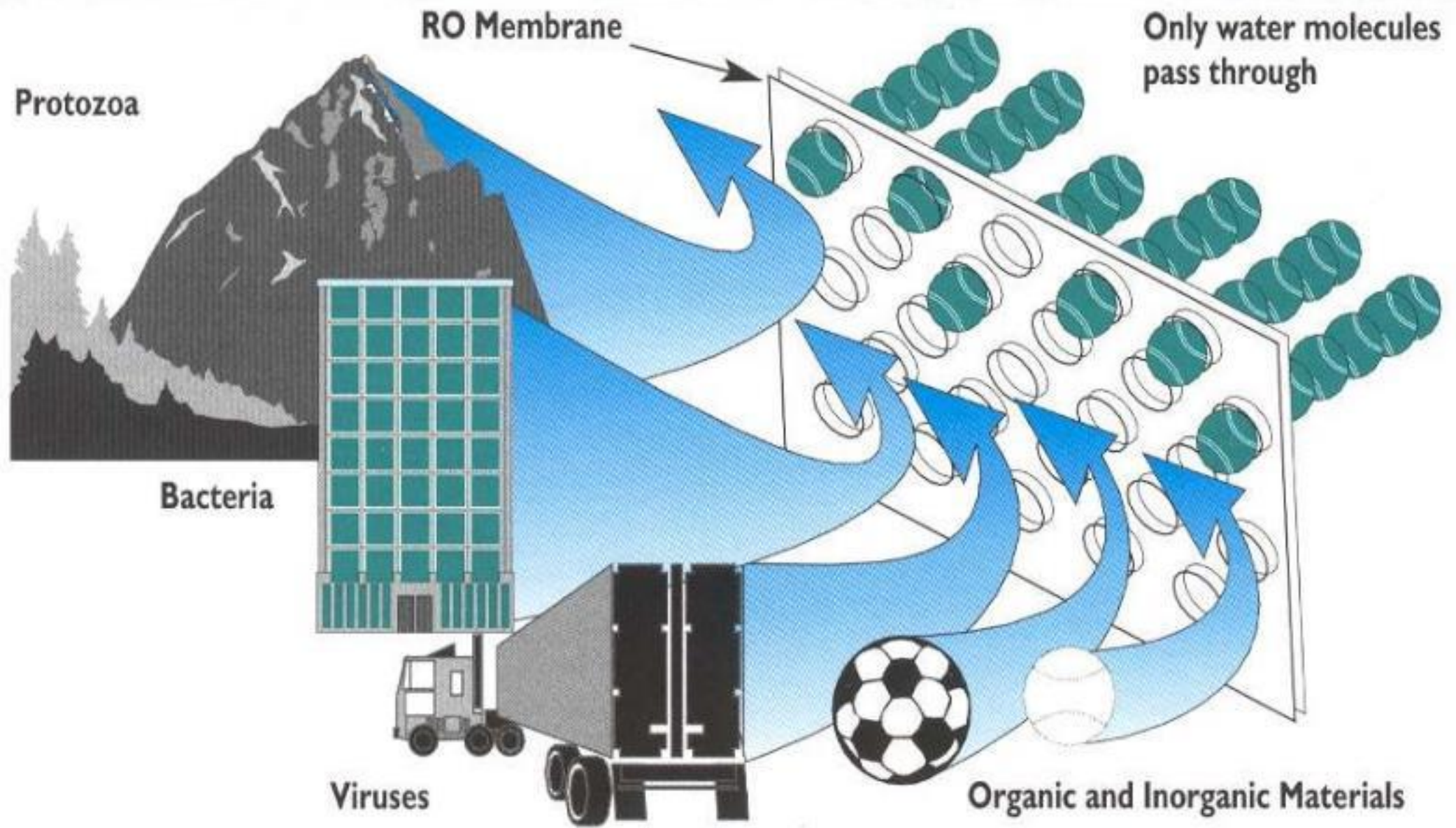
Técnicas de Tratamento em Função do Contaminante

Opções tecnológicas para tratamento de águas e esgotos

Tecnologia	Classe de contaminante				
	CID	GID	COD	SS	Bactérias e vírus
Evaporação	E / B	NE	B	E	E
Troca iônica e eletrodeionização e eletrodiálise	E	E	NA	NA	NA
Osmose reversa	B	NA	B	E	E
Adsorção em carvão ativado	NA	NA	E / B	NA	NA
Radiação ultravioleta	NA	NA	NA	NA	B / E
Sistema convencional de tratamento de água	NA	NA	NA	E	E
Micro e ultrafiltração	NA	NA	B	E	E
Oxidação química/fotoquímica	NA	NA	E / B	NA	E
Sistemas biológicos de tratamento	NA	NA	B / E	B	NA

E = Eficiente; B = Bom; NE = Não afeta o contaminante

CID – Compostos Inorgânicos Dissolvidos; GID – Gases Ionizáveis Dissolvidos; COD – Compostos Orgânicos Dissolvidos; SS – Sólidos em suspensão.



Capacidade de Separação de Contaminantes do Sistema de Osmose Reversa

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 Jundiáí.

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:

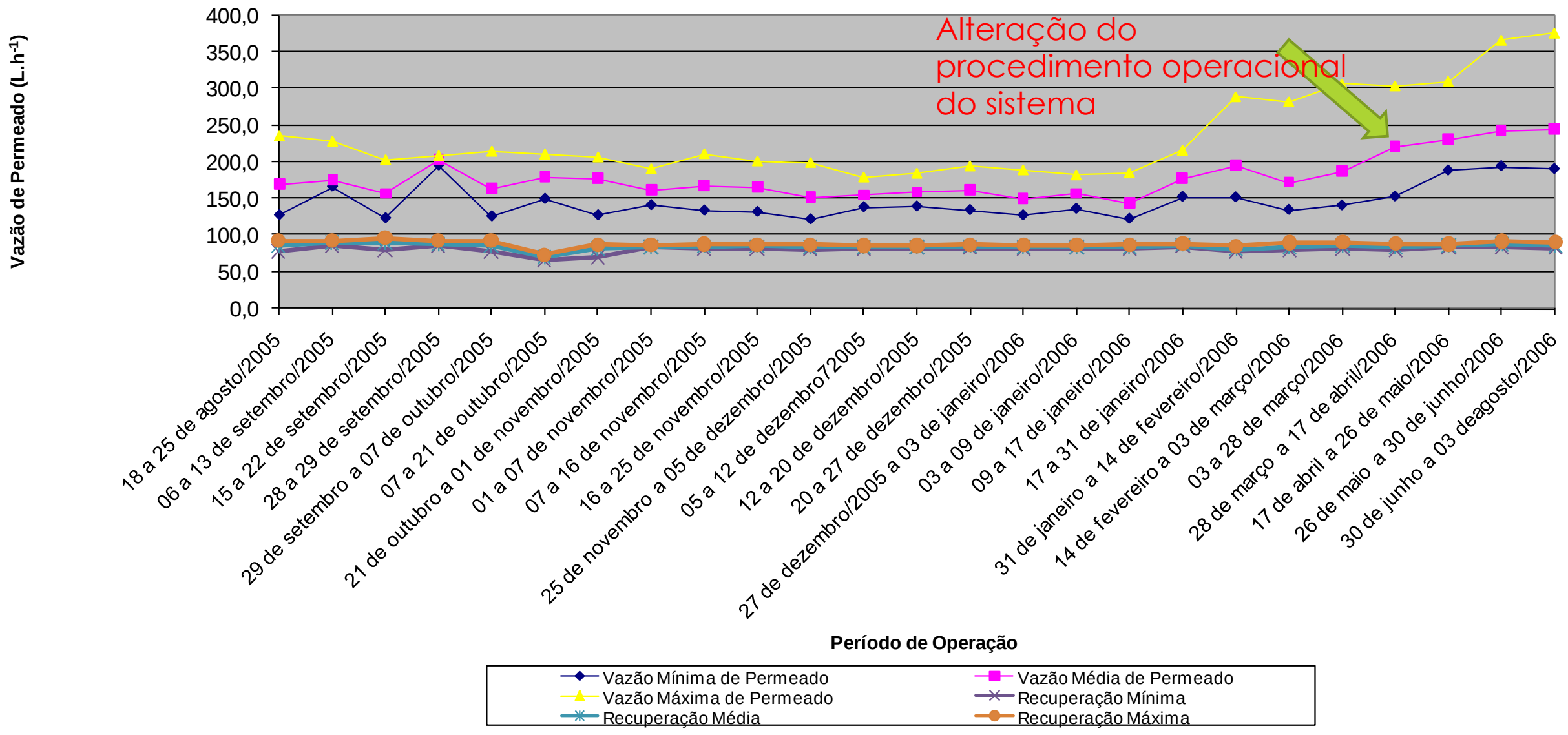
- Reconfiguração do sistema de ultrafiltração → membrana menos restritiva e maior nível de automação;
- Definição de parâmetros de operação otimizados;
- Avaliação da remoção de desreguladores endócrinos.



Unidade piloto – PROSAB -4



Unidade piloto – PROSAB -5



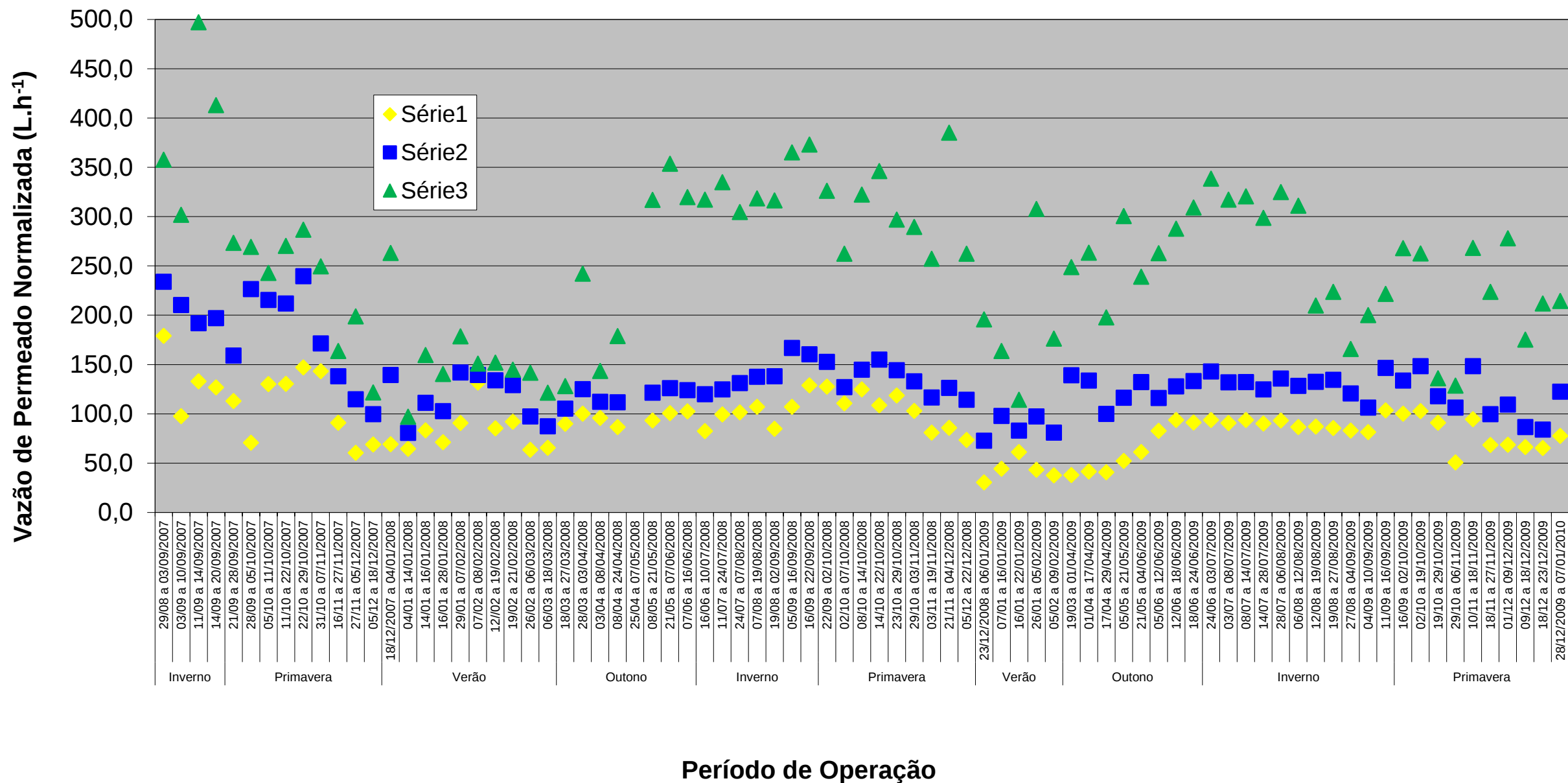
Dados de desempenho da unidade piloto PROSAB- 4

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%
Contagens 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%
<i>Escherichia Co li</i> (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 (µS.cm ⁻¹)	25	133,92	105,00	159,30	14,45	5,6%
Cor aparente (mg Pt-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 (µg.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

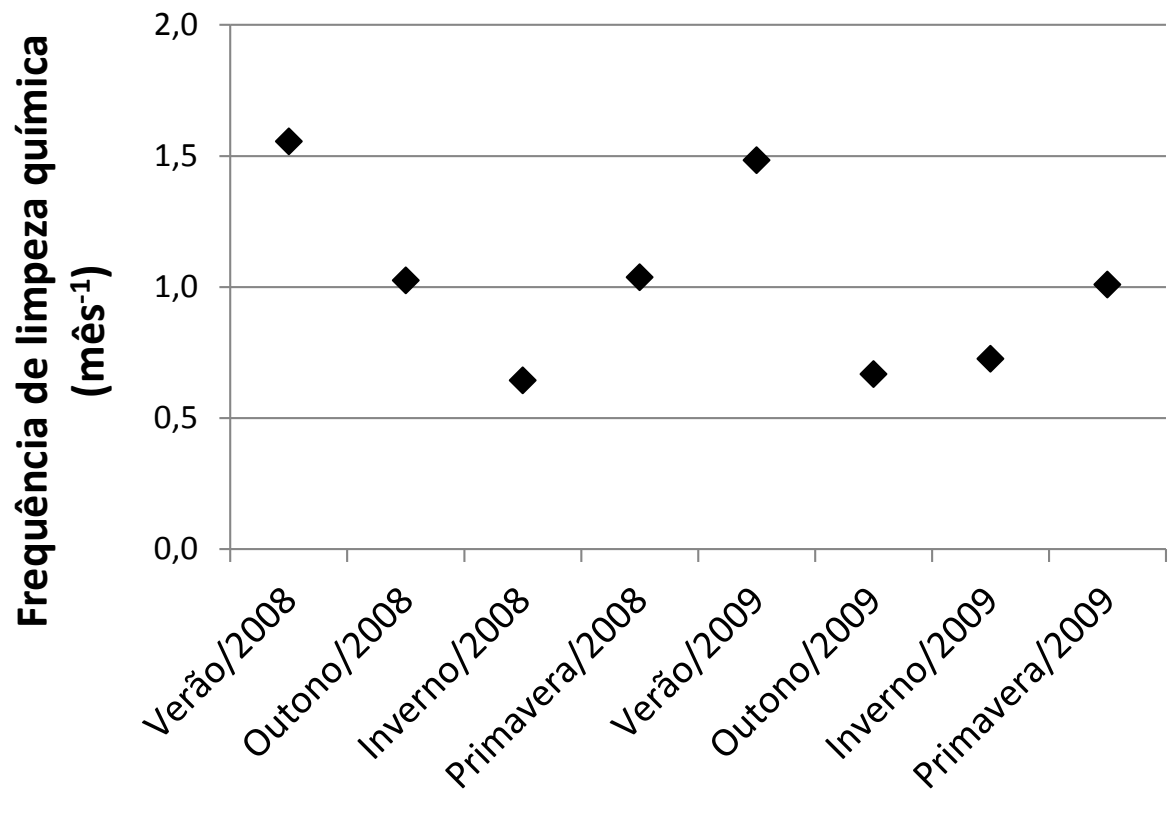


Gráfico da variação da frequência de limpeza química em função da estação do ano

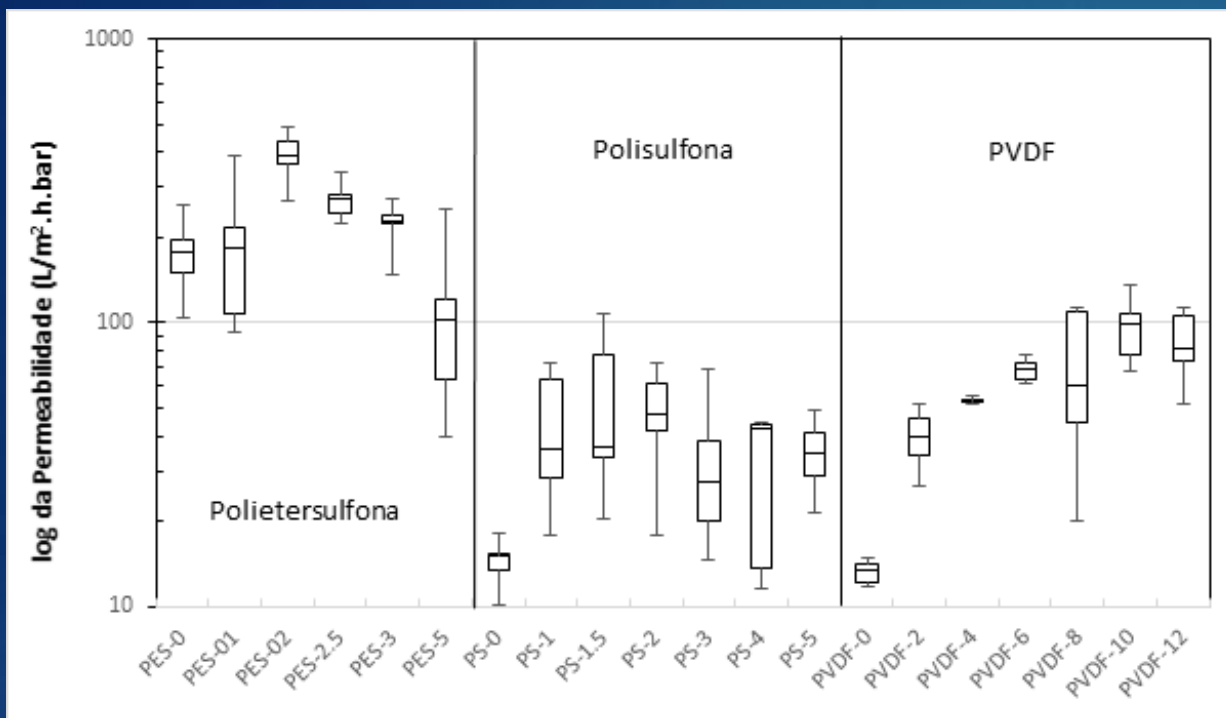
Resultados das análises para amostras de permeado para as variáveis para controle da eficiência de remoção de contaminantes

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	µS.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
<i>Escherichia Coli</i>	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.

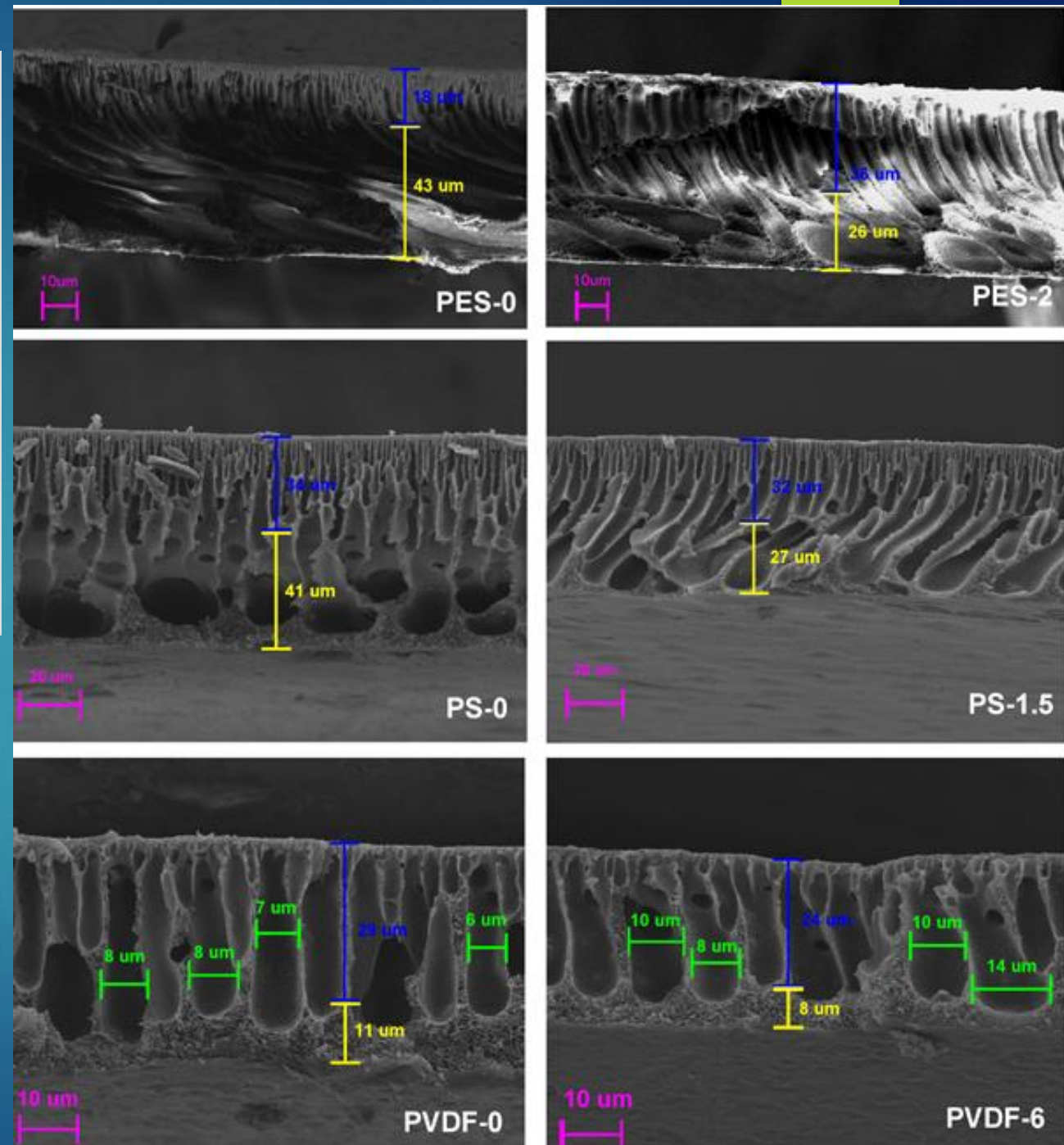
Modificação de membranas com nanopartículas de argila

- ▶ 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.

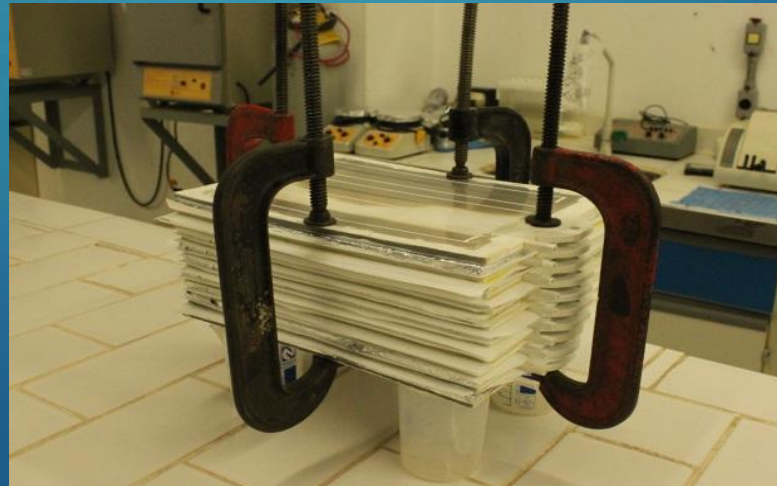


Resultados de permeabilidade das membranas com a adição de nanopartículas de argila

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

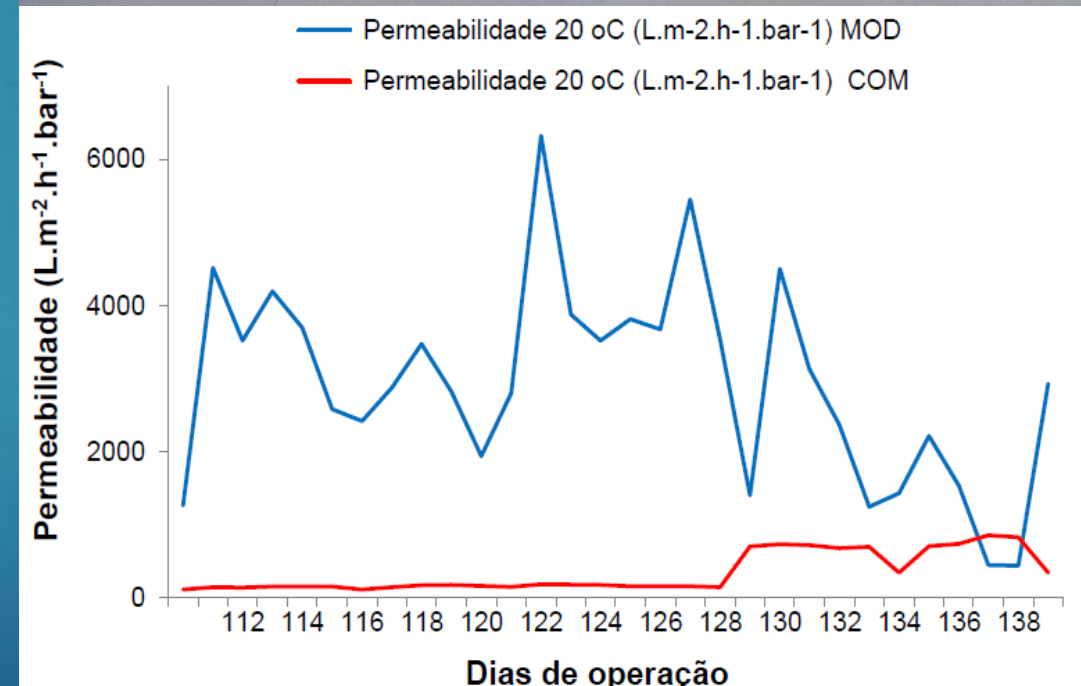
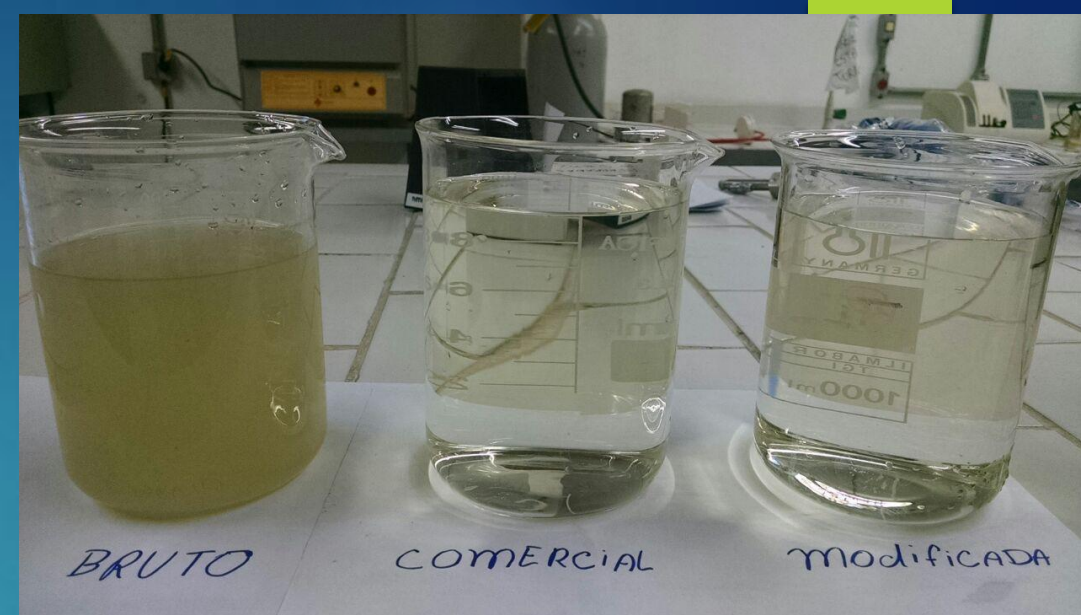


MONTAGEM DO MÓDULO DE MEMBRANAS (PLACAS PLANAS)





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

<http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/#v/5252343>

Projeto de Reúso de Água Potável da SANASA/Campinas

- ▶ Proposta de avaliação de sistema de tratamento para produção de água de reúso potável a partir de esgotos domésticos tratados;
- ▶ Instalação de um sistema piloto para avaliar processos complementares de tratamento do efluente de um sistema MBR;
- ▶ Avaliar a eficiência de tratamento e remoção de compostos orgânicos com potencial estrogênico e androgênico.

Agência das Bacias PCJ

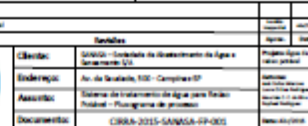




Imagem da Unidade Piloto para Produção de Água de Reúso Potável

Desafios de uma nova legislação para controle da qualidade da água para abastecimento

- Compreensão da complexidade para assegurar a qualidade da água dos mananciais;
- O fato de se monitorar um conjunto específico de variáveis de qualidade não assegura a sua adequação para uso;
- A legislação deve levar em consideração os avanços tecnológicos e incentivar o seu desenvolvimento.
- Necessidade de programas de monitoramento baseados em ensaios capazes de avaliar o efeito sinérgico dos contaminantes sobre a saúde humana;
- Uso de tecnologias mais eficientes para enfrentar os desafios relacionados à proteção de mananciais e tratamento de água para abastecimento.



Muito obrigado
pela atenção!