



24 de outubro de 2019

TEMA:

Revisão da
Portaria de
Potabilidade



Realização



Parceiro Institucional

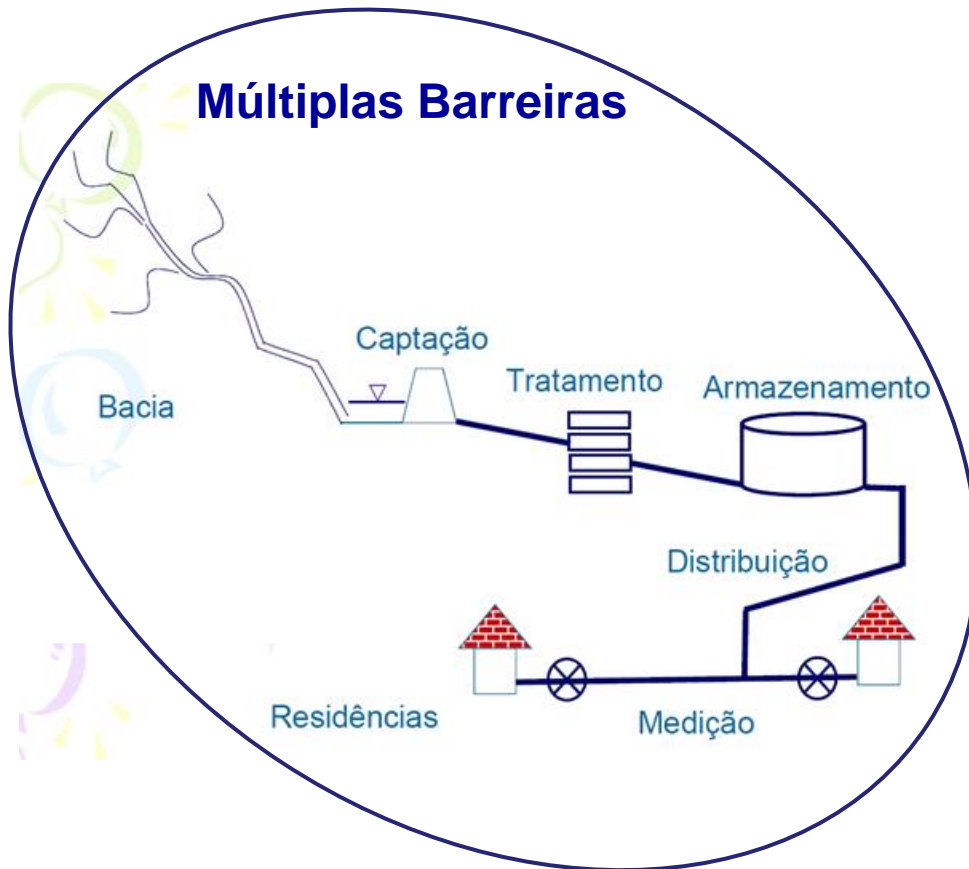


Tratamento de Água e Prevenção de Doenças

“Relação com a Revisão da Portaria de Potabilidade”

Cristina Celia Silveira Brandão
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Brasília
cbrandao@unb.br

Produção de Água Segura – Múltiplas Barreiras



Múltiplas barreiras para reduzir riscos microbiológicos ou físico-químicos associados com o abastecimento de água

- Manejo dos usos do solo na bacia (proteção de fontes de água)
- Seleção da melhor fonte possível (qualidade, quantidade, continuidade)
- Manejo adequado de esgotos, de águas residuais e resíduos sólidos.
- Tratamento de água*
- Sistemas de distribuição bem projetados, construídos, O&M
- Usuários com boas práticas higiênicas e de uso dos sistemas



Tecnologia de tratamento

Tecnologias mais
Comumente
adotadas

Tecnologias sem coagulação química

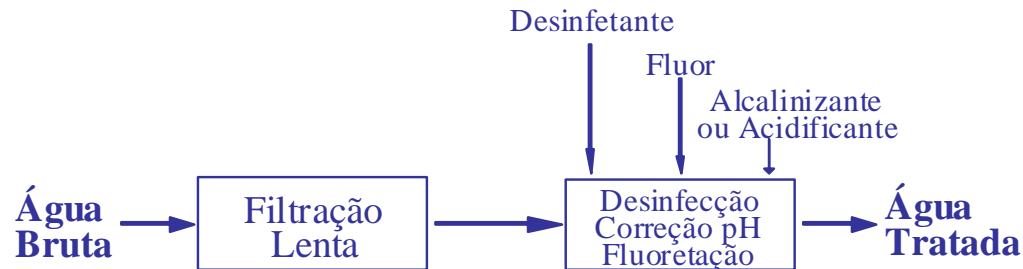
- Filtração lenta
- Filtração em múltiplas etapas

Tecnologias com coagulação química

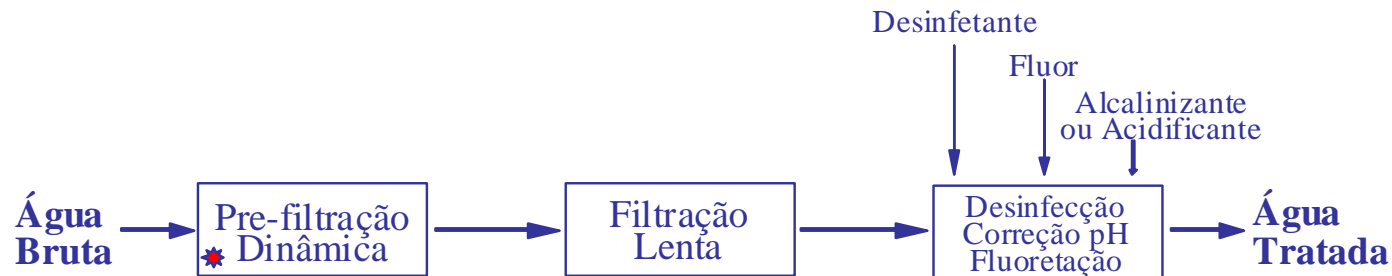
- Filtração direta ascendente
- Filtração direta descendente
- Dupla filtração
- Tratamento convencional ou de ciclo completo

Tecnologias sem coagulação química

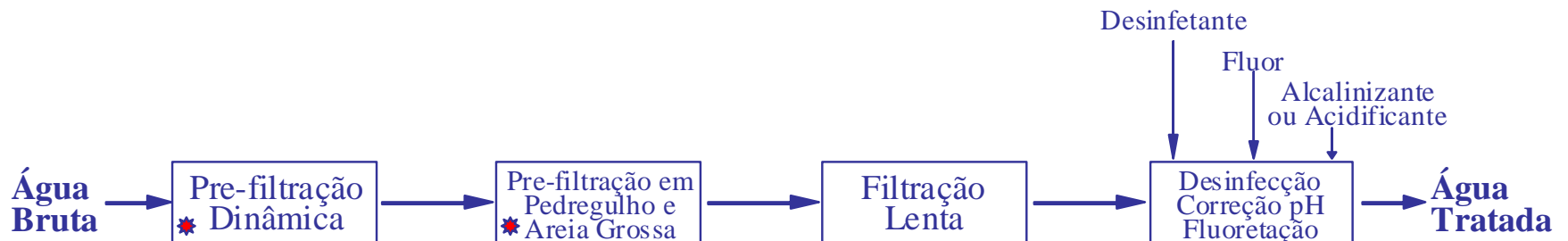
1 - Filtração lenta



2 - Filtração lenta precedida de pré-filtração dinâmica



3 - Filtração em múltiplas etapas - FIME



Tecnologias sem coagulação química - FiME



Tecnologias sem coagulação química - FiME

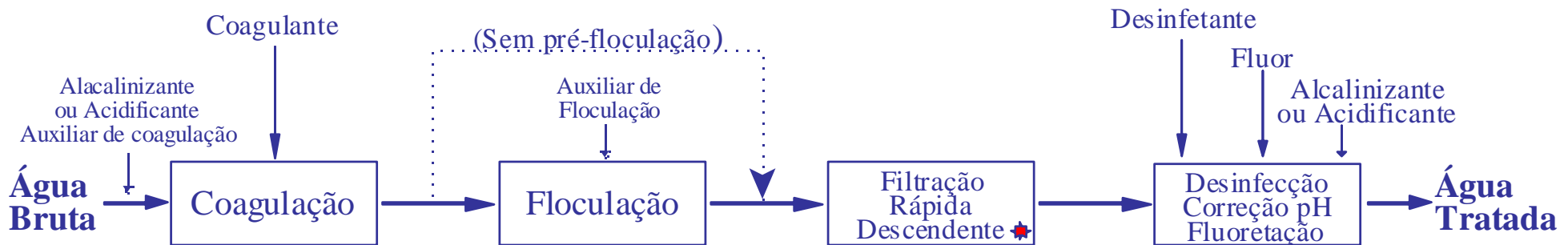


Tecnologias sem coagulação química – Simplicidade operacional



Tecnologias com coagulação química

1 - Filtração direta descendente, com ou sem pré-floculação

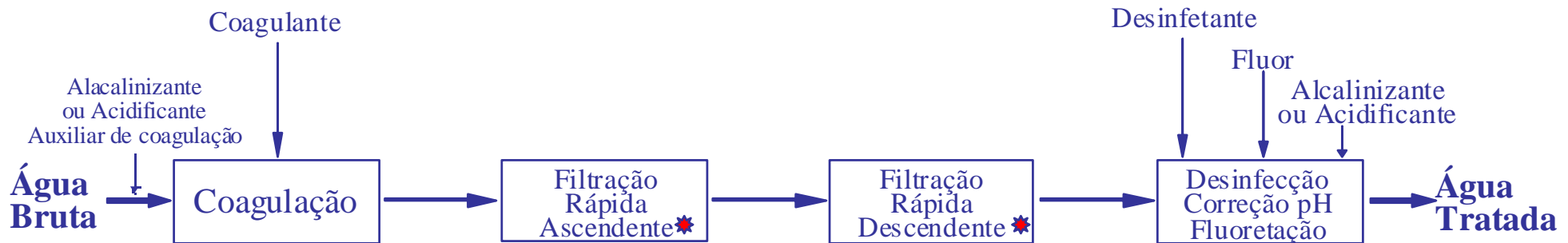


2 - Filtração direta ascendente



Tecnologias com coagulação química

3 - Dupla Filtração



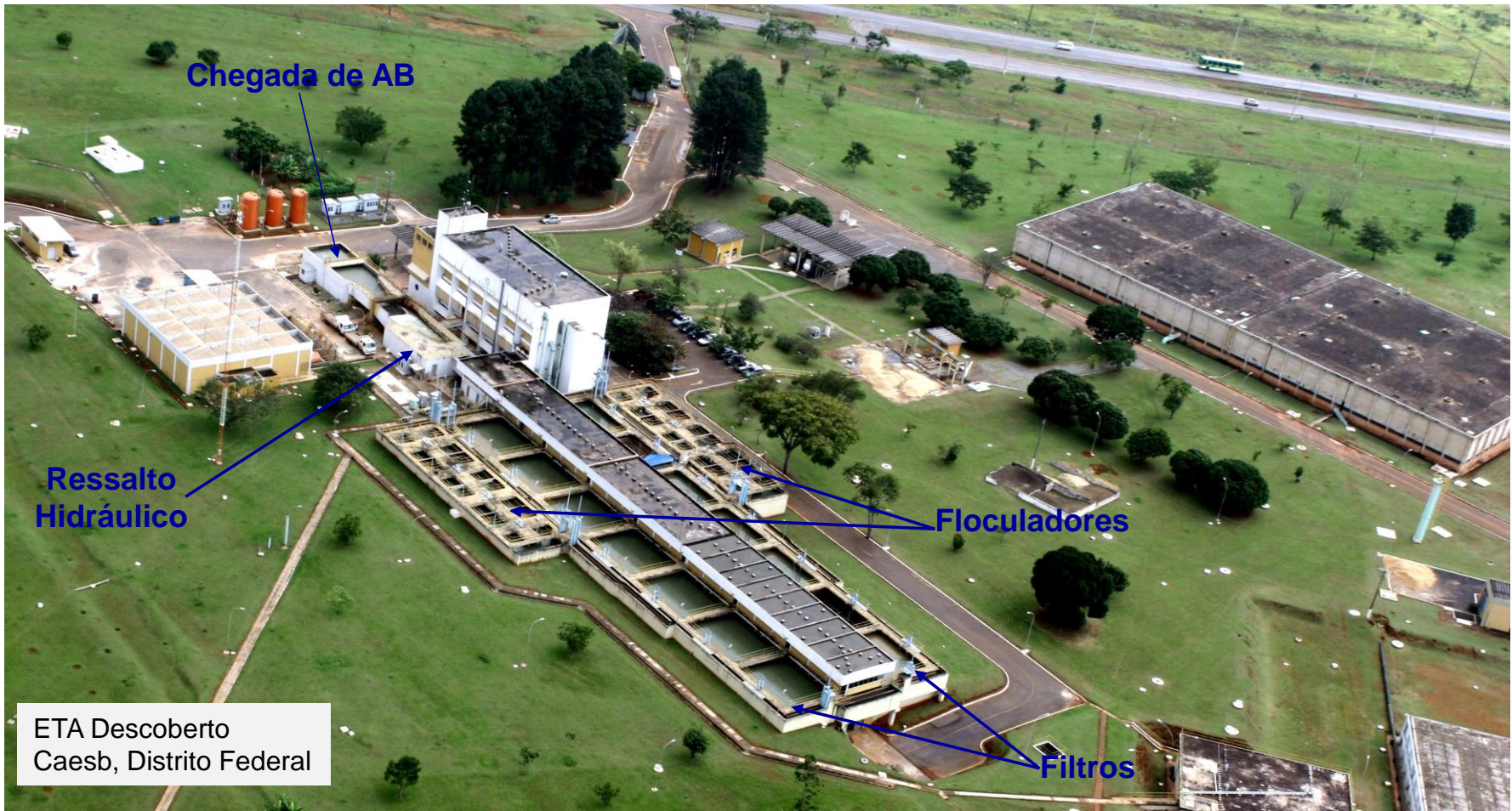
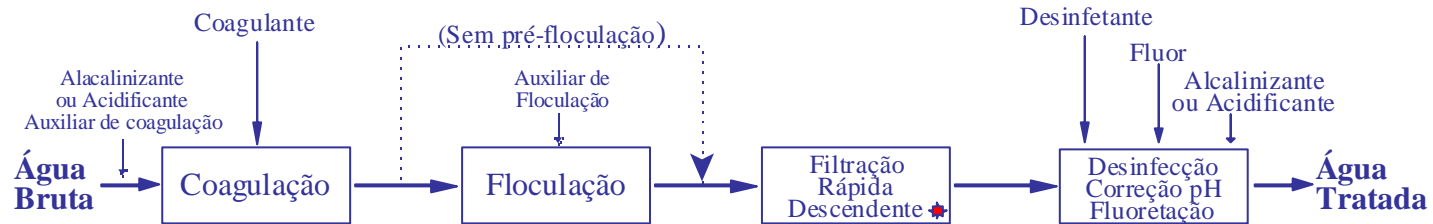
4 - Ciclo completo ou convencional



★ Processos que geram resíduos

Tecnologias com coagulação química – ETA RD Filtração direta descendente com pré-floculação

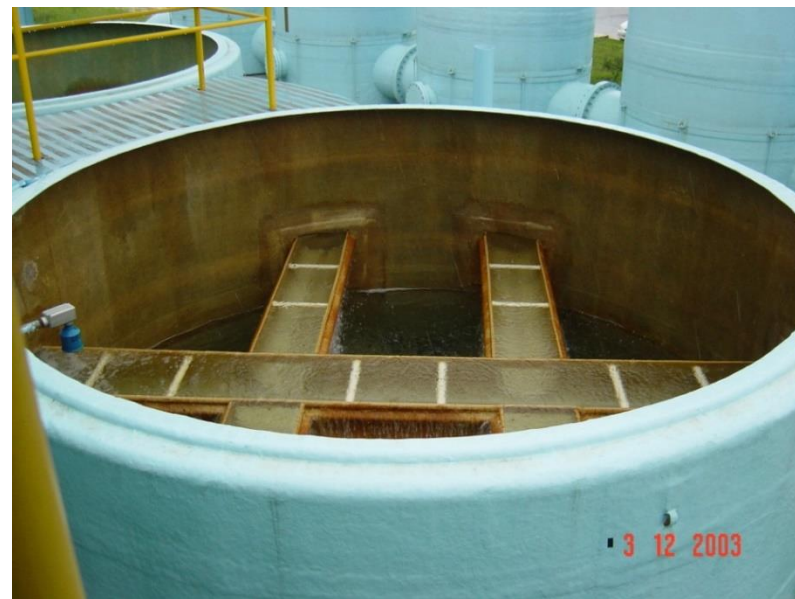
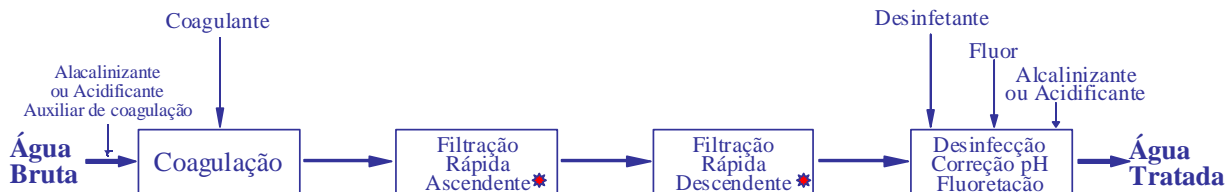
1 - Filtração direta descendente, com ou sem pré-floculação



Tecnologias com coagulação química

Dupla filtração

3 - Dupla Filtração



Tecnologias com coagulação química

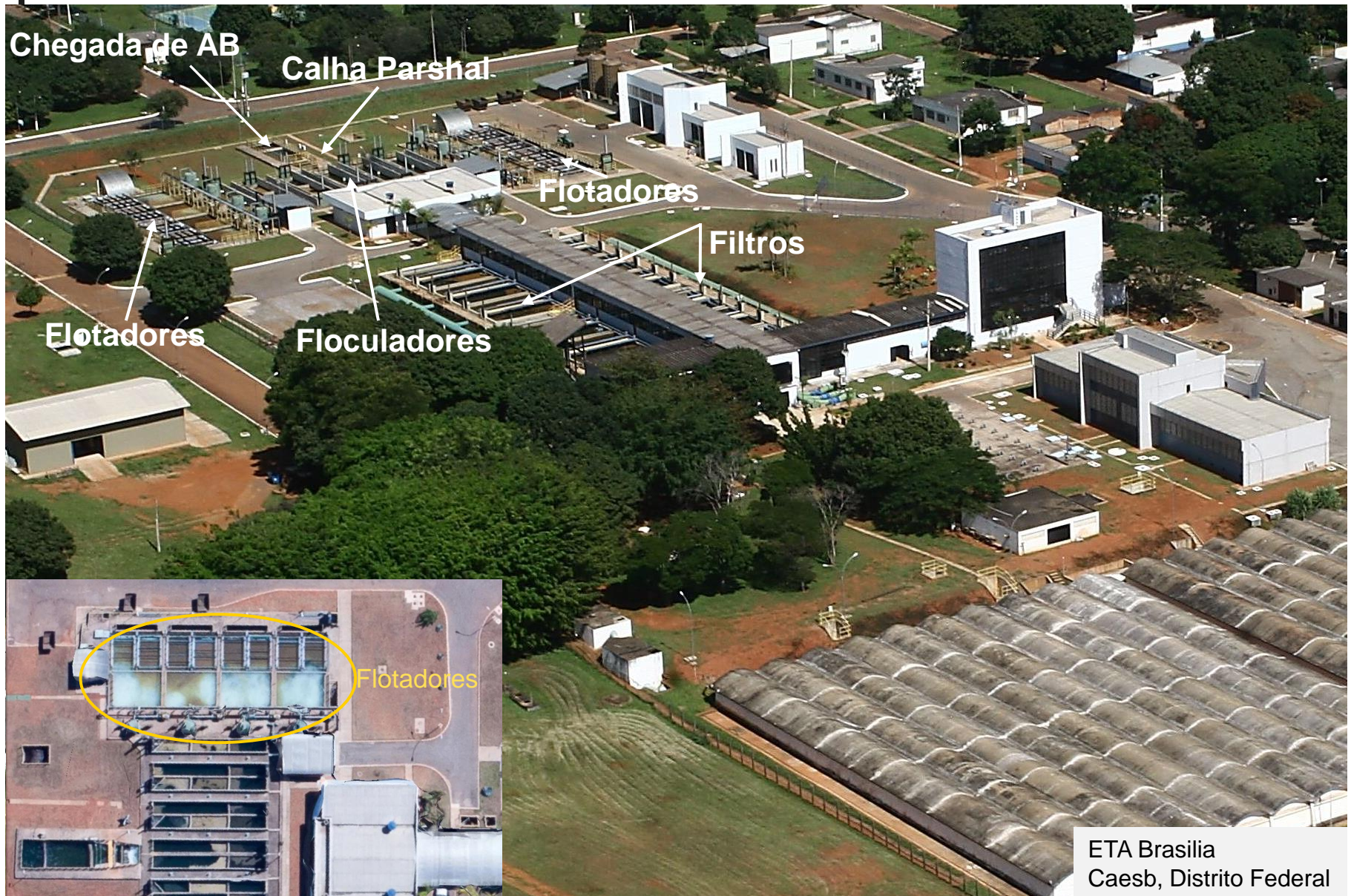
- Convencional ou ciclo completo



ETA Alto da Boa Vista
Sabesp, São Paulo

Tratamento Convencional com Flotadores

ETA Brasília

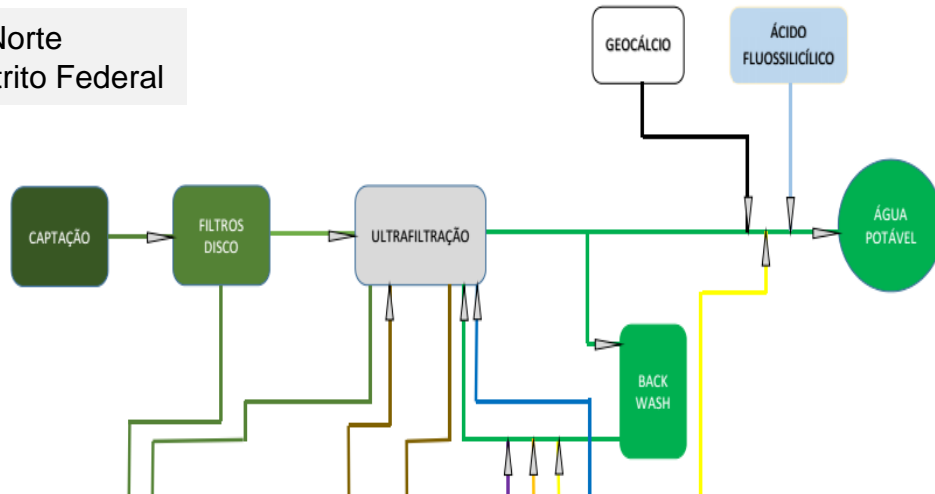


Tecnologias não convencionais

Ultrafiltração com desinfecção



ETA Lago Norte
Caesb, Distrito Federal

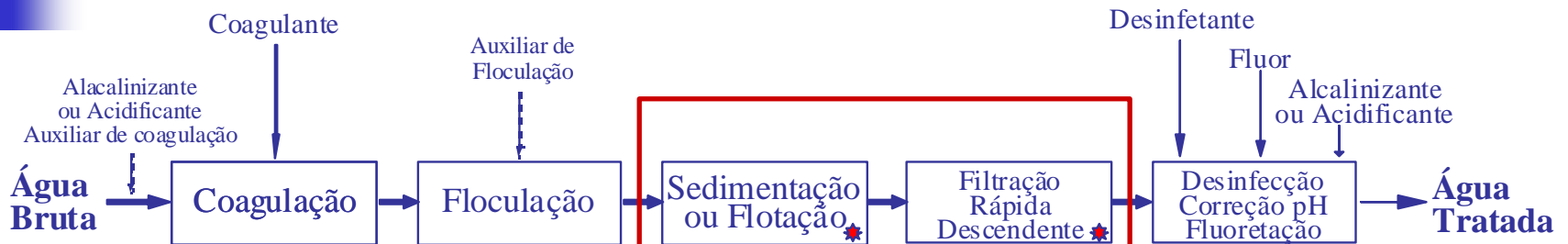


Doenças de veiculação hídrica - Alguns Organismos causadores

	ORGANISMO	DOENÇA
Bactérias	<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide
	<i>Salmonella</i> sp	Salmoneloses
	<i>Shigela</i>	Shigeloses (disenteria bacilar)
	<i>Escherichia coli</i> (patogênica)	Gastroenterites
	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculose
	<i>Víbrio cholerae</i>	Cólera
	<i>Leptospira</i> sp	Leptospirose
Vírus	Enterovírus	Poliomielite, gastroenterites
	Rotavírus	Gastroenterites
	Vírus da hepatite A	Hepatite A
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíases
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardíases
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Criptosporidiose
Helmintos	<i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Enterobius vermiculares</i> , etc.	Verminoses
	<i>Schistosoma mansoni</i>	Esquistossomose

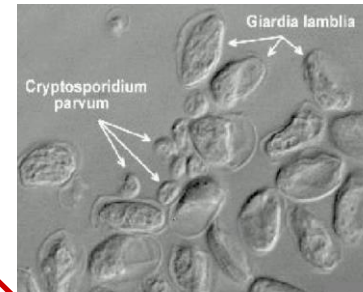
Tratamento Convencional ou Ciclo Completo

Remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*



USEPA (2006)

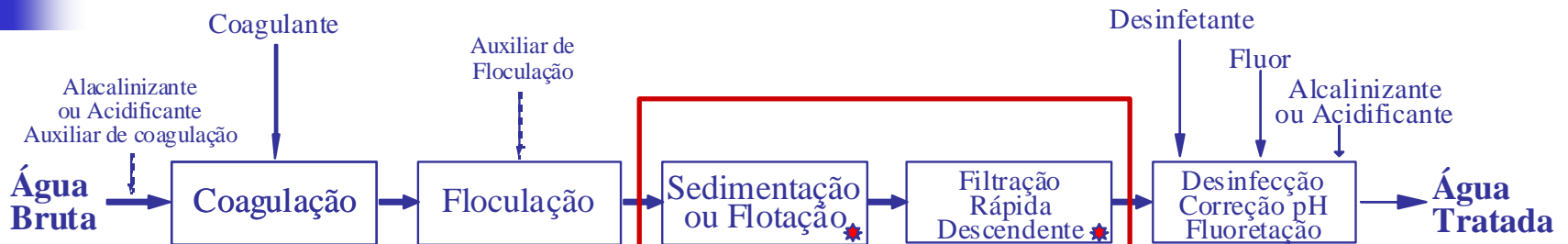
Remoção de oocistos de *Cryptosporidium*
 0,5 log sedimentação + 2,5 log filtração
 Turbidez $\leq 0,3$ uT (95% das amostras)



	Processo de Tratamento – Log de Remoção		
	Sedimentação	Flotação (FAD)	Filtração Rápida
Bactérias	0,2 - 2		0,2 – 4,4
Vírus	0,1 – 3,4		0 – 3,5
Protozoários	1 - 2	0,6 – 2,6	0,4 – 3,3
Fatores que influenciam a remoção	Coagulação (otimização)/ Floculação	Coagulação	Coagulação, Taxa de filtração, granulometria, lavagem

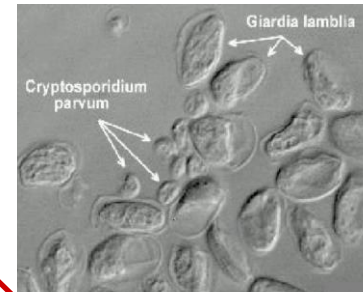
Tratamento Convencional ou Ciclo Completo

Remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*



USEPA (2006)

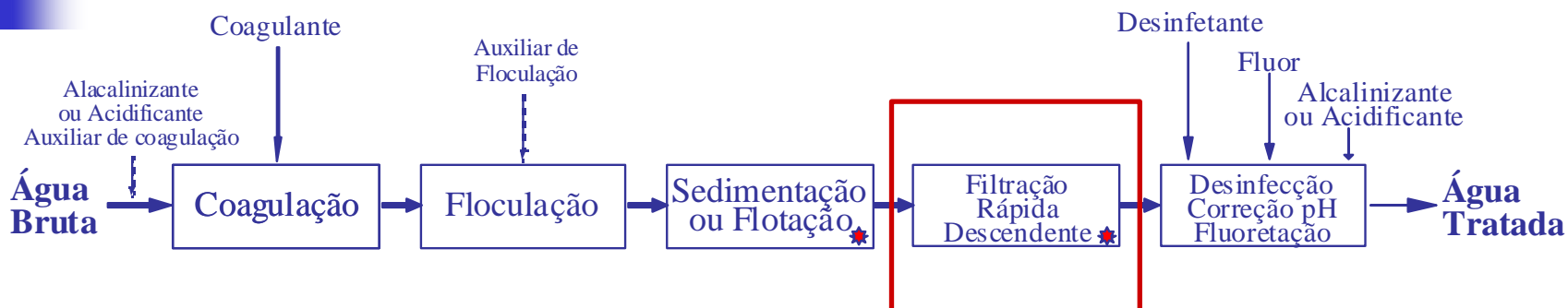
Remoção de oocistos de *Cryptosporidium*
 0,5 log sed + 2,5 log filt + 0,5
 Turbidez \leq 0,15 uT (95% das amostras)



	Processo de Tratamento – Log de Remoção		
	Sedimentação	Flotação (FAD)	Filtração Rápida
Bactérias	0,2 - 2		0,2 – 4,4
Vírus	0,1 – 3,4		0 – 3,5
Protozoários	1 - 2	0,6 – 2,6	0,4 – 3,3
Fatores que influenciam a remoção	Coagulação (otimização)/ Floculação	Coagulação	Coagulação, Taxa de filtração, granulometria, lavagem

Remoção de (oo)cistos de Giardia e Cryptosporidium

Fatores que influenciam a eficiência da filtração



Coagulação

Dosagem ótima – 4 log
Subdosagem – 2 a 3 log

Brown e Emelko, 2009

Taxa de filtração

120 m/d – 4,15 log
240 m/d – 1,95 log

Dugan e Williams, 2004

Amadurecimento

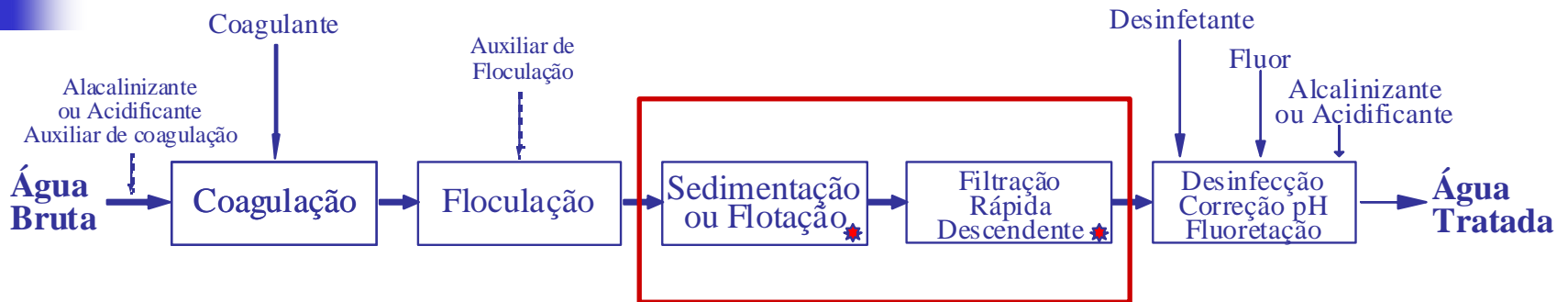
Início: 1,2 – 2,2 log
Regular: 1,4 – 3,2 log

Fernandes, 2007

Lavagem - variação brusca da taxa de filtração - desprendimento

Tratamento Convencional ou Ciclo Completo

Remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*



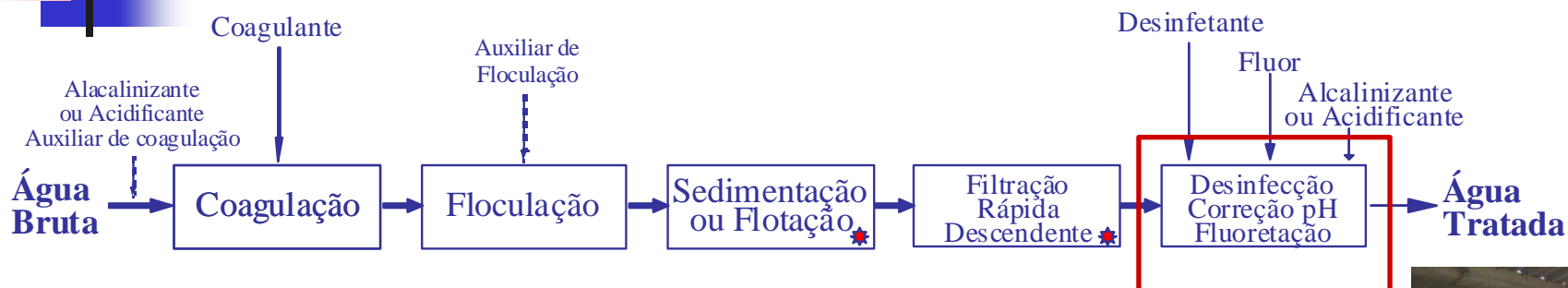
Remoção de oocistos de *Cryptosporidium*
 0,5 log sedimentação + 2,5 log filtração
 Turbidez $\leq 0,3$ uT (95% das amostras)

Remoção de oocistos de *Cryptosporidium*
 0,5 log sed + 2,5 log filt + 0,5
 Turbidez $\leq 0,15$ uT (95% das amostras)

USEPA (2006) – Risco 10^{-4}

Categoria	Conc (C) de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> no manancial (oocistos/L)	Remoção adicional requerida	
		Ciclo Completo	Filtração Direta
1	$C \leq 0,075$	NR	NR
2	$0,075 \leq C < 1,0$	1,0 log	1,5 log
3	$1,0 \leq C < 3,0$	2,0 log	2,5 log
4	$C \geq 3,0$	2,5 log	3,0 log

Desinfecção



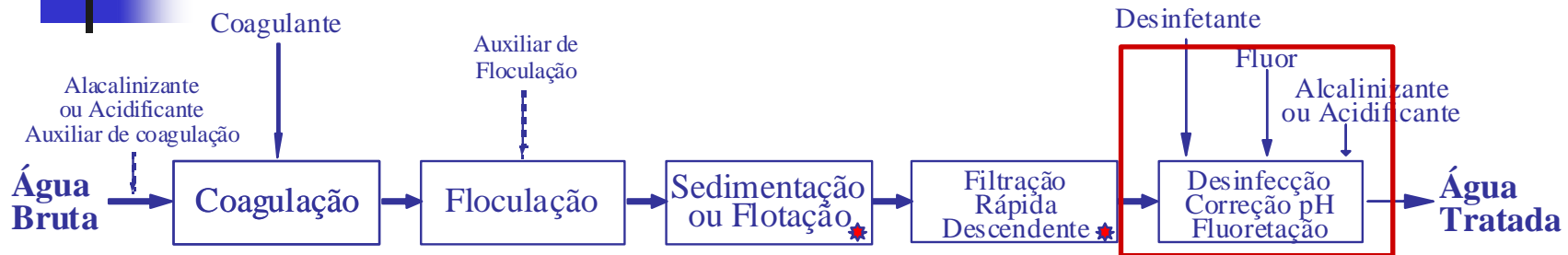
Microorganismo	Ct Cloro livre (mg.min/L)
<i>E. coli</i>	0,04
<i>Adenovirus</i>	0,023 – 0,067
Poliovírus 1	1,7
Rotavírus Humano	5.55 – 5.59
Cistos <i>E. histolística</i>	90
Cistos <i>Giardia</i>	50 - 250
Oocistos <i>Cryptosporidium</i>	3.700 - > 7.200*

$$Ct (99\%) = 7.200 \text{ mg.min/L} \left\{ \begin{array}{l} C - 1 \text{ mg/L} \\ t - 7200 \text{ min} = 5 \text{ dias} \end{array} \right.$$



Tratamento Convencional ou Ciclo Completo

Remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*



Faixa de variação de $C \cdot t$ para diversos desinfetantes

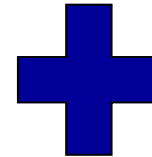
Microorganismos	Cloro livre pH 6 a 7	Cloraminas pH 8 a 9	ClO_2 pH 6 a 7	Ozônio pH 6 a 7
<i>E. Coli</i>	0,034-0,05	95-180	0,04-0,075	0,02
<i>Pólio I</i>	1,1-2,5	760-3.740	0,2-6,7	0,1-0,2
<i>Rotavírus</i>	0,01-0,05	3.806-6.478	0,2-2,1	0,006-0,6
<i>Cistos de G. lamblia</i>	47-150	2.200	26	0,5-0,6
<i>Criptosporídium</i>	7.200	7.200	78	5-10

Richter (2009)



Mananciais Superficiais

Segurança microbiológica - Portaria



- Turbidez $\leq 0,5$ uT ou $\leq 0,3$ uT
- Remoção de oocistos de *Cryptosporidium*

- Definição de Ct para inativação de cistos de *Giardia* e vírus
- Residual de desinfetante na rede

Desafios

- Monitoramento de oocistos de *Cryptosporidium*
- Aferição de eficiência de remoção de oocistos

} Uso de indicadores
E. coli e Esporos Bact. Aeróbias



Monitoramento e Eficiência de Remoção de Oocistos de Cryptosporidium

Art. XX. Os sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água que utilizam mananciais superficiais devem realizar monitoramento mensal de Escherichia coli no(s) ponto(s) de captação de água.

§ 1º Quando for identificada média geométrica móvel dos últimos 12 meses de monitoramento maior ou igual a 1.000 E. coli/100mL deve-se avaliar a eficiência de remoção da ETA por meio do monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias (EBA).

§ 2º A amostragem para o monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias citada no § 1º deste artigo, deve ser realizada na água bruta, na entrada da ETA, e na água filtrada, preferencialmente no efluente individual de cada unidade de filtração.

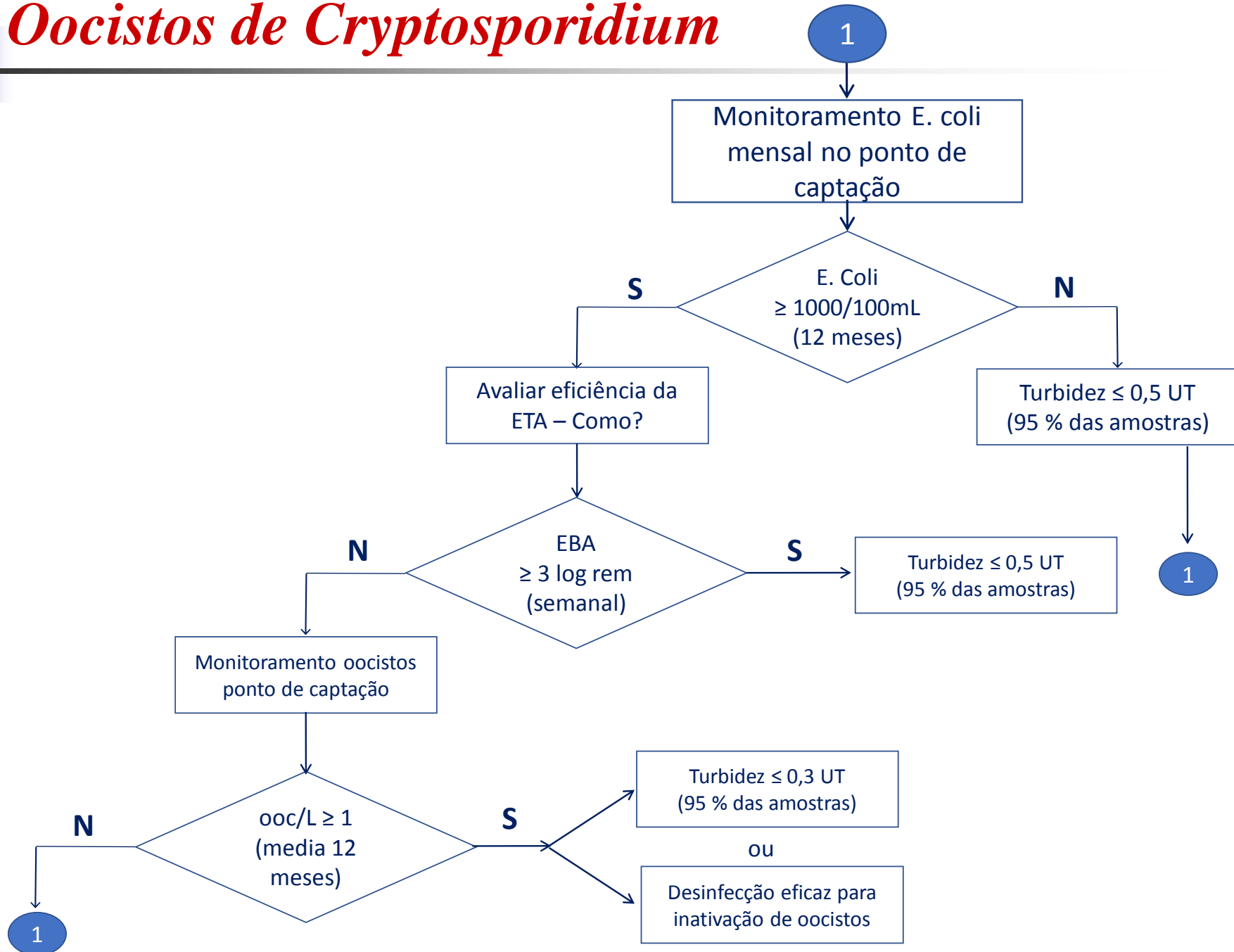
§ 3º O monitoramento de EBA para avaliação da eficiência de remoção da ETA deve ser mantido semanalmente, enquanto permanecerem as condições estabelecidas no § 1º deste artigo.

§ 4º Quando a média aritmética da avaliação da eficiência de remoção da ETA , com base no mínimo em 4 amostragens no mês, for inferior a 3 logs, deve ser realizado monitoramento de cistos de Giardia spp. e oocistos de Cryptosporidium spp. em cada ponto de captação de água com frequência mensal ao longo do ano subsequente.

§ 5º Quando a média aritmética da concentração de oocistos de Cryptosporidium spp. for $\geq 1,0$ oocistos/L no(s) pontos(s) de captação de água, deve-se obter efluente em filtração rápida com valor de turbidez $\leq 0,3$ uT em 95% das amostras mensais ou uso de processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de remoção de oocistos de Cryptosporidium spp. Entre os 5% (cinco por cento) das amostras que podem apresentar valores de turbidez superiores a 0,3 uT o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser menor ou igual a 1,0 uT para filtração rápida.

§ 6º A concentração média de oocistos de Cryptosporidium spp., referida no § 5º deste Art., deve ser calculada considerando um número mínimo de 12 (doze) amostras uniformemente coletadas ao longo de um período de um ano.

Monitoramento e Eficiência de Remoção de Oocistos de *Cryptosporidium*

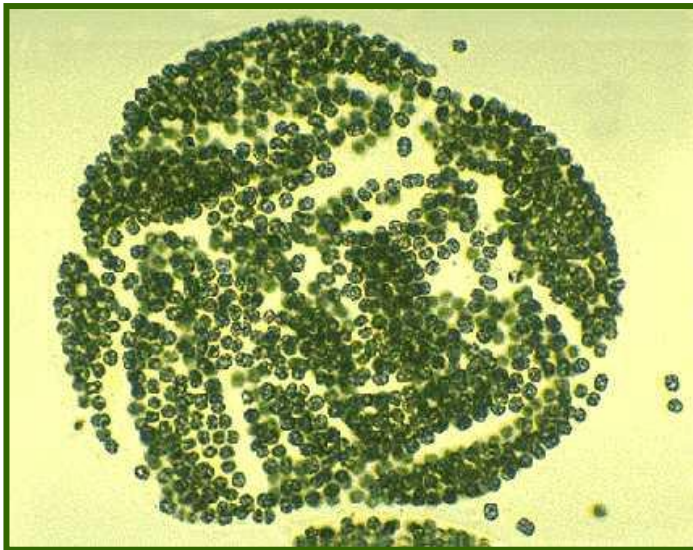


Cianobactérias e Cianotoxinas

Cianobactérias

- seres autotróficos
- fixadores de nitrogênio
- espécies produtoras de toxinas

Lise celular



Microcystis aeruginosa



Cylindrospermopsis raciborskii

Cianobactérias e Cianotoxinas

Síndrome de Caruaru (PE), 1996

- 130 casos de hepatotoxicoses em pacientes renais crônicos
- 60 pacientes faleceram após 10 meses do início dos sintomas

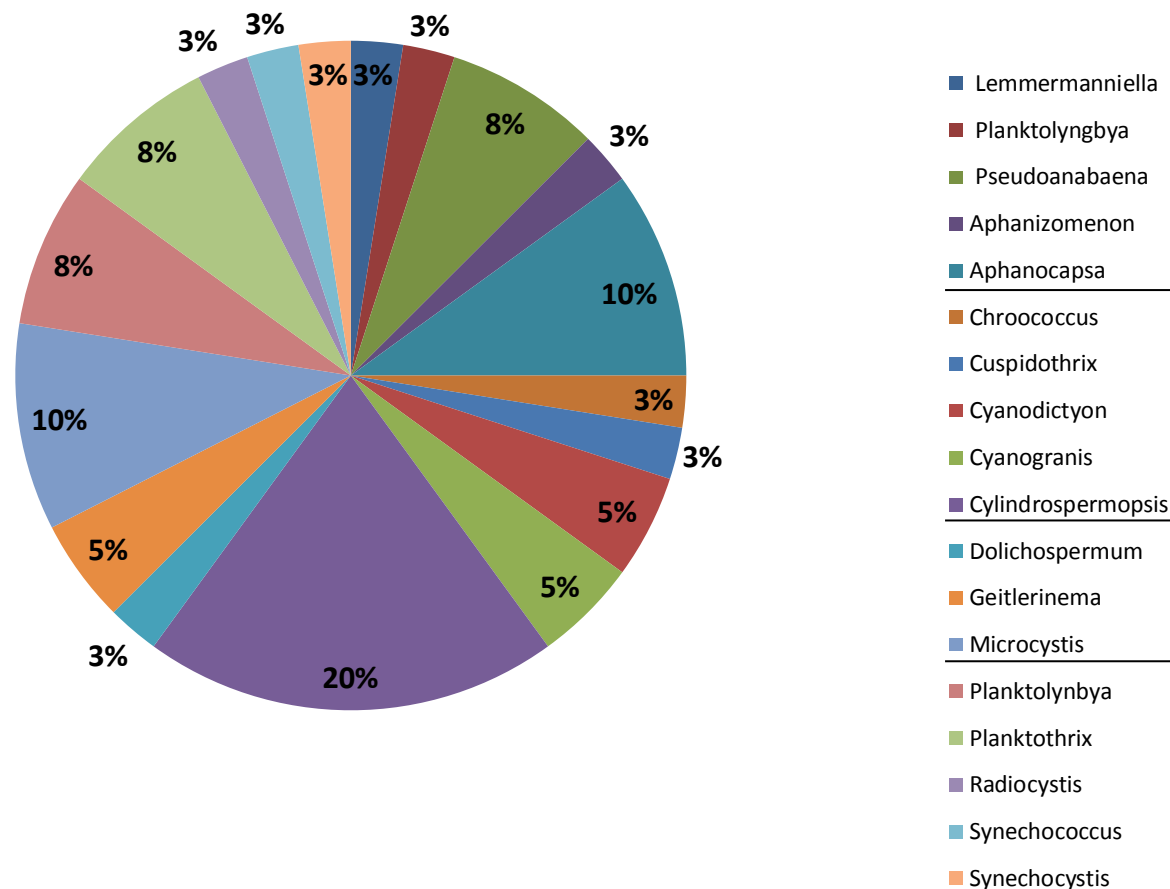


Cianobactérias e Cianotoxinas

2353 pontos amostrados no Brasil (NE, SE, CO, S) – em **358** pontos (**15,2%**) foi registrado de pelo menos uma ocorrência com 20.000 cel/mL (Jardim, 2018)

% acima de 20.000 cels/mL:	15,2
Microcistinas acima de 1 µg/L:	40
Saxitoxinas acima de 3 µg/L:	0
Cilindrospermopsina acima de 1 µg/L	33

Gêneros predominantes





Cianobactérias e Cianotoxinas

Parâmetro	Unidade	VMP
Microcistina	μ/L (equivalente de MCYST-LR)	1,0
Saxitoxinas	μ/L (equivalente STX)	3,0
Cilindropermopsinas	μ/L	1,0

- ❖ Monitoramento obrigatório de cianobactérias em cada ponto de captação com frequência trimestral;
 - Quando densidade de células de cianobactérias no monitoramento trimestral for maior ou igual a 10.000 cél/mL, deve-se monitorar cianobactérias no ponto de captação, com frequência semanal.
 - Quando a densidade de células de cianobactérias for maior ou igual a 20.000 cél/mL, deve-se também monitorar cianotoxinas no ponto de captação, ou na água bruta, com frequência semanal.



Cianobactérias e Cianotoxinas

- ❖ Monitoramento obrigatório de clorofila-a em cada ponto de captação com frequência mensal;
 - Quando concentração de clorofila-a no monitoramento mensal for maior ou igual a de 10 µg/L, deve ser realizada análise quali-quantitativa de fitoplâncton
 - Se mais de 10% do fitoplâncton for referente à cianobactérias:
 - deve-se monitorar cianobactérias em cada ponto de captação com frequência semanal.
 - quando a densidade de células de cianobactérias for maior ou igual a 20.000 cél/mL, deve-se também monitorar cianotoxinas em cada ponto de captação, ou na água bruta, com frequência semanal.
 - O monitoramento mensal de clorofila-a pode ser substituído pelo monitoramento mensal de cianobactérias no ponto de captação, respeitando a sequência de ações determinadas para o monitoramento de cianobactérias.
 - O monitoramento trimestral de cianobactérias deve ser acompanhado pelo monitoramento mensal de clorofila-a



Cianobactérias e Cianotoxinas

- ❖ Alternativamente ao monitoramento de cianobactérias pode ser realizado o monitoramento semanal de cianotoxinas na água bruta (entrada da ETA);
 - Quando o monitoramento de cianotoxinas for realizado semanalmente na água bruta, fica dispensada a realização do monitoramento de cianobactérias e clorofila-a no ponto de captação;
- ❖ Quando a análise de cianotoxinas realizada na água bruta (entrada da ETA) ou em pelo menos um ponto de captação for superior ao VMP, será obrigatória a realização da análise de cianotoxinas na saída do tratamento com frequência semanal.
- ❖ Quando a análise de cianotoxinas na água bruta (entrada da ETA) ou em todos os pontos de captação for inferior ao VMP, será dispensada a realização desta análise na saída do tratamento.
- ❖ O Monitoramento de cianobactérias deve ser realizado em cada ponto de captação e deve identificar os gêneros presentes.

Para ser coerente com o próximo item. Foi meu entendimento que no caso de cianotóxina é aceitável monitorar na água bruta. Lembrando que no caso de cianobactéria é sempre no ponto de captação.

Remoção de Cianobactérias

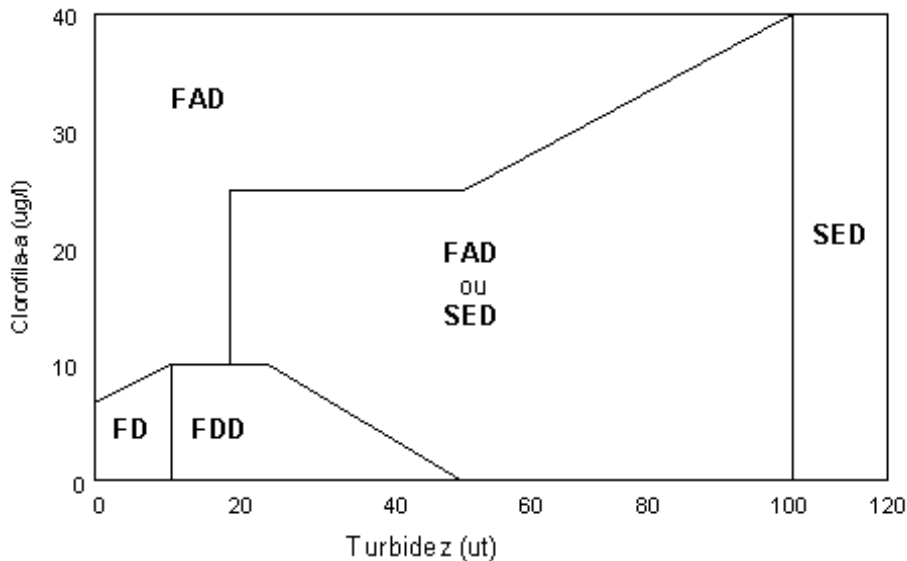
Tratamentos com coagulação química

- Altamente dependente da morfologia
- Otimização da coagulação

Eficiências de remoção de cianobactérias podem atingir valores superiores a 99% no tratamento convencional ($10^6 \rightarrow 10^4$)

Filtração Direta - Carreiras de filtração curtas

Sedimentação *versus* Flotação



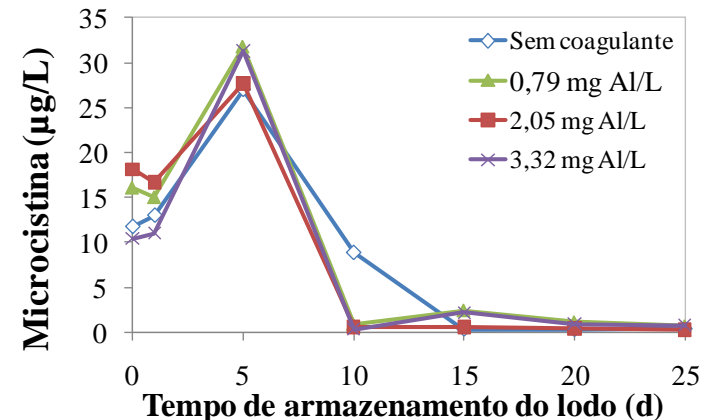
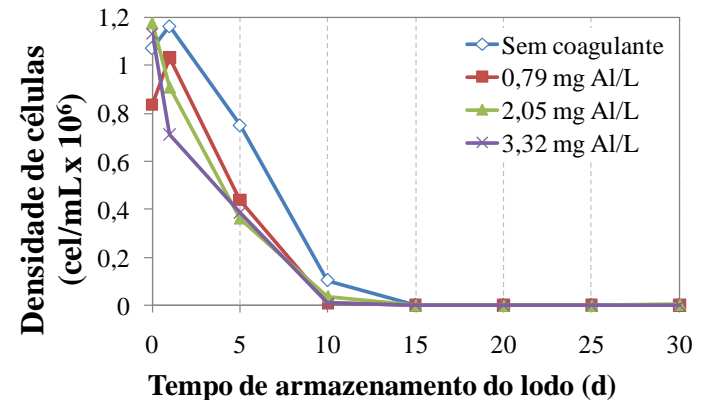
FD - Filtração Direta

FAD - Flotação por Ar Dissolvido

FDD - Filtração Direta Dupla

SED - Sedimentação

Janssens e Buekens (1993)





Remoção de Cianobactérias

Tratamentos sem coagulação química

- Altamente dependente da morfologia
- Maturidade biológica do filtro é fundamental

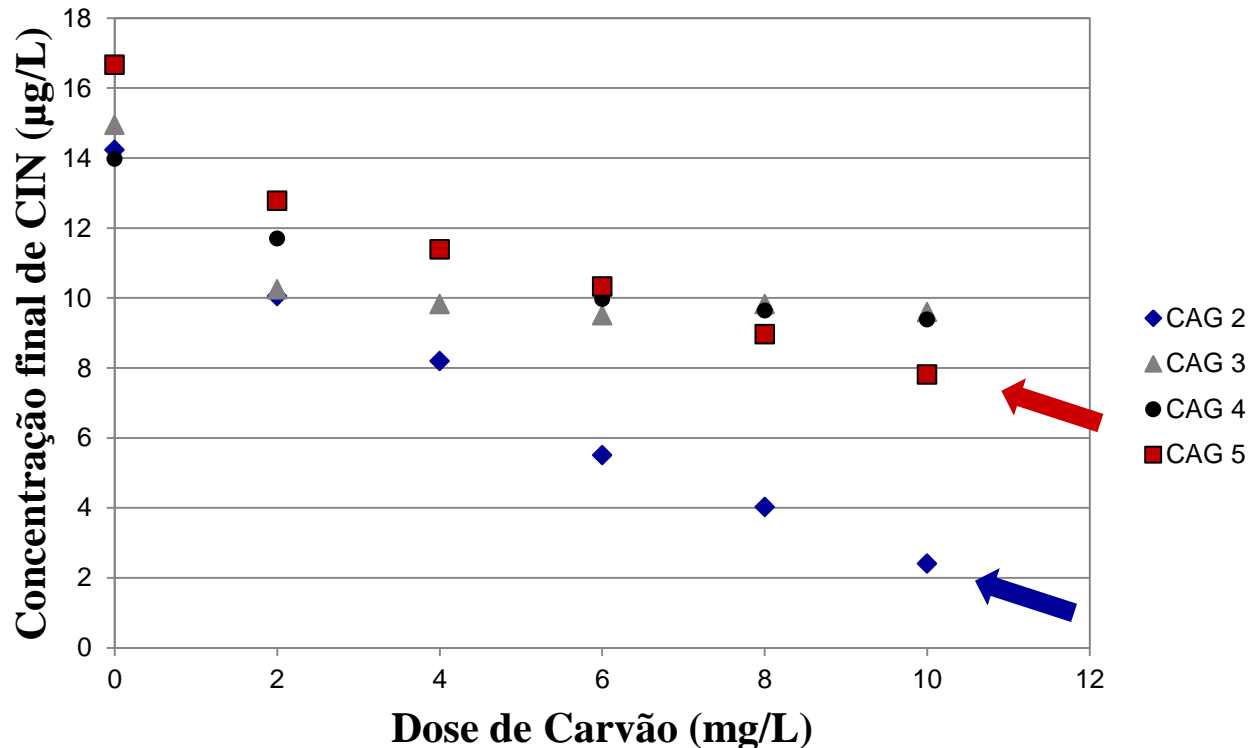
- Remoção de algas e cianobactérias pode atingir valores superiores a 90%;
- O problema de rápida colmatação dos filtros pode exigir a adoção de pré-tratamentos - Filtração em múltiplas etapas é promissora;
- Ocorre a lise celular após a retenção das células viáveis no filtro;
- A remoção de cianotoxinas é significativa em função da atividade biológica do filtro.

- Remoção de células de *M. aeruginosa* foi superior a 99%, quando a água bruta apresentava concentração $\leq 10^5$ cél/mL, adotando-se taxa de filtração de 3 m/d

- Remoção de células de 90%, para água bruta com 10^6 cél/mL e taxa de filtração de 2m/d

Remoção de cianotoxinas

Carvão Ativado



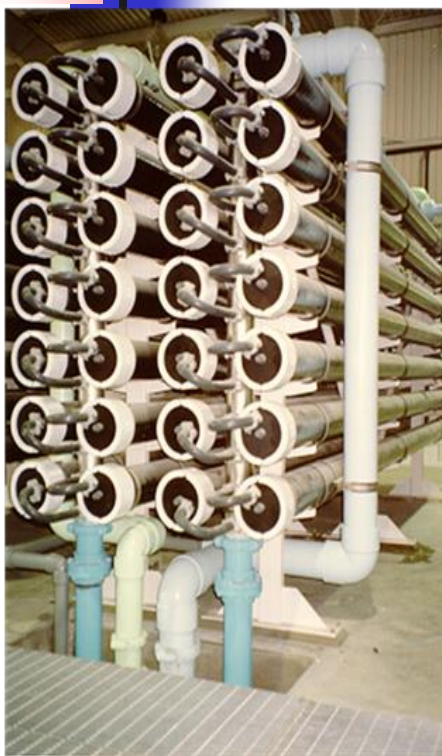
Fatores intervenientes

- Superfície disponível para adsorção e características químicas
- Distribuição de tamanho dos poros
- Dimensões da molécula
- Competição
- pH e temperatura

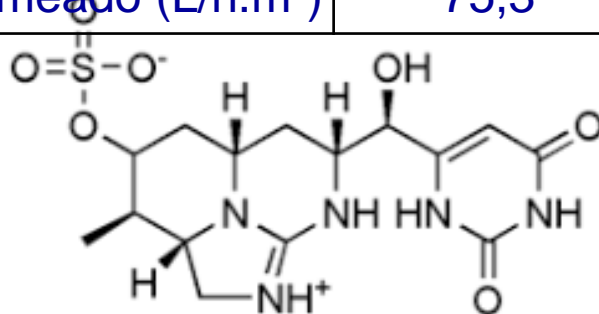
Características	CAG 2	CAG 3	CAG 4	CAG 5
Matéria Prima	Betuminoso	Coco	Coco	Pinho
Área BET (m ² /g)	1107	605	782,2	1091
Volume Microporos (cm ³ /g)	1,09	0,78	1,04	1,77
Volume Mesoporos (cm ³ /g)	0,47	0,08	0,13	0,34
Volume Macroporos (cm ³ /g)	0,12	0,05	0,06	0,05

Remoção de cianotoxinas

Membranas



Parâmetro	NF270		NF90
	Matriz água filtrada	Matriz água ultrafiltrada	Matriz água ultrafiltrada
Rejeição de CYN (%)	97,4	98,9	99,8
Recuperação (%)	49,5	57,9	32,4
Fluxo permeado (L/h.m ²)	75,3	72,9	47,2



PM 415,43 Da

Propriedades	NF90	NF 270
Material	Poliamida sobre polissulfona(c)(d)	Poliamida sobre polissulfona(c)(d)
Diâmetro médio do poro (nm)	0,68(a)	0,84(a)
Rugosidade (nm)	76,8(a); 57,2(c)	8,55(a); 4,5(c)
Ângulo de contato (°)	42,2(a)	23,4(a)
Peso molecular de corte, (Da)	200(c); 100 (e)	300(c)(e)

Nghiem et al. (2008) (a); Yüksel et al. (2013) (b); Escalona et al. (2014)©; FILMTEC™ (2015 a, b) (d) Dixon et al. (2011)

Remoção de cianotoxinas

Oxidação e Processos Oxidativos Avançados

Oxidação Química Convencional

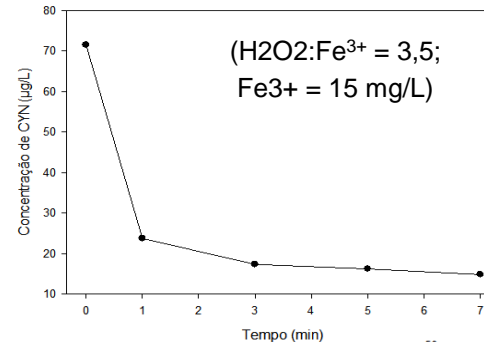
- Cloro
- Cloraminas
- Dióxido de Cloro
- Ozônio (O₃)
- Permanganato de potássio
- Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂)
- Ferrato
- Ácido Peracético

Processos Oxidativos Avançados (POA)

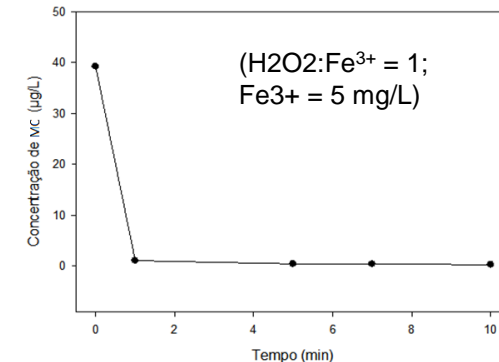
Geração de radicais hidroxila (OH•)

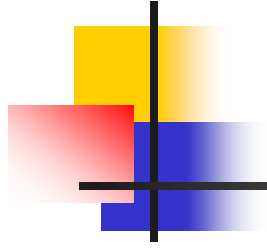
- O₃/H₂O₂ (Peroxônio)
- O₃/ OH•
- H₂O₂/Fe²⁺ (Fenton)
- O₃/ UV
- H₂O₂/UV
- Outros

SISTEMAS HOMOGÊNIOS		SISTEMAS HETEROGÊNIOS	
COM IRRADIAÇÃO	SEM IRRADIAÇÃO	COM IRRADIAÇÃO	SEM IRRADIAÇÃO
O ₃ , UV	O ₃ , H ₂ O ₂	TiO ₂ , O ₂ e UV	Eletro-Fenton
H ₂ O ₂ , UV	O ₃ , OH ⁻	TiO ₂ , H ₂ O ₂ e UV	
Feixe de elétrons	Fenton		
US			
Foto-Fenton			
H ₂ O ₂ , US			
UV/US			



Fenton





Obrigado !