



Mês da Água 2021

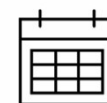
Segurança Hídrica

Reuso de Água



Fotografias: Ana Sílvia Santos - Braga/PT (14 de fevereiro/2021)

Ana Sílvia Pereira Santos
Professora do DESMA/UERJ
ana.pereira@uerj.br



15 e 17 de
março de 2021



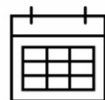
Mês da Água 2021

Segurança Hídrica



Aula 1

15/03/2021



- ✓ Conceito geral (30 minutos)
- ✓ Modalidades de reuso (30 minutos)
- ✓ Experiências práticas nacionais e internacionais (30 minutos)
- ✓ Perguntas (30 minutos)

Aula 2

17/03/2021

- ✓ Tecnologias (30 minutos)
- ✓ Aspectos legais (30 minutos)
- ✓ Estudo de potencial (30 minutos)
- ✓ Perguntas (20 minutos)
- ✓ Fechamento (10 minutos)

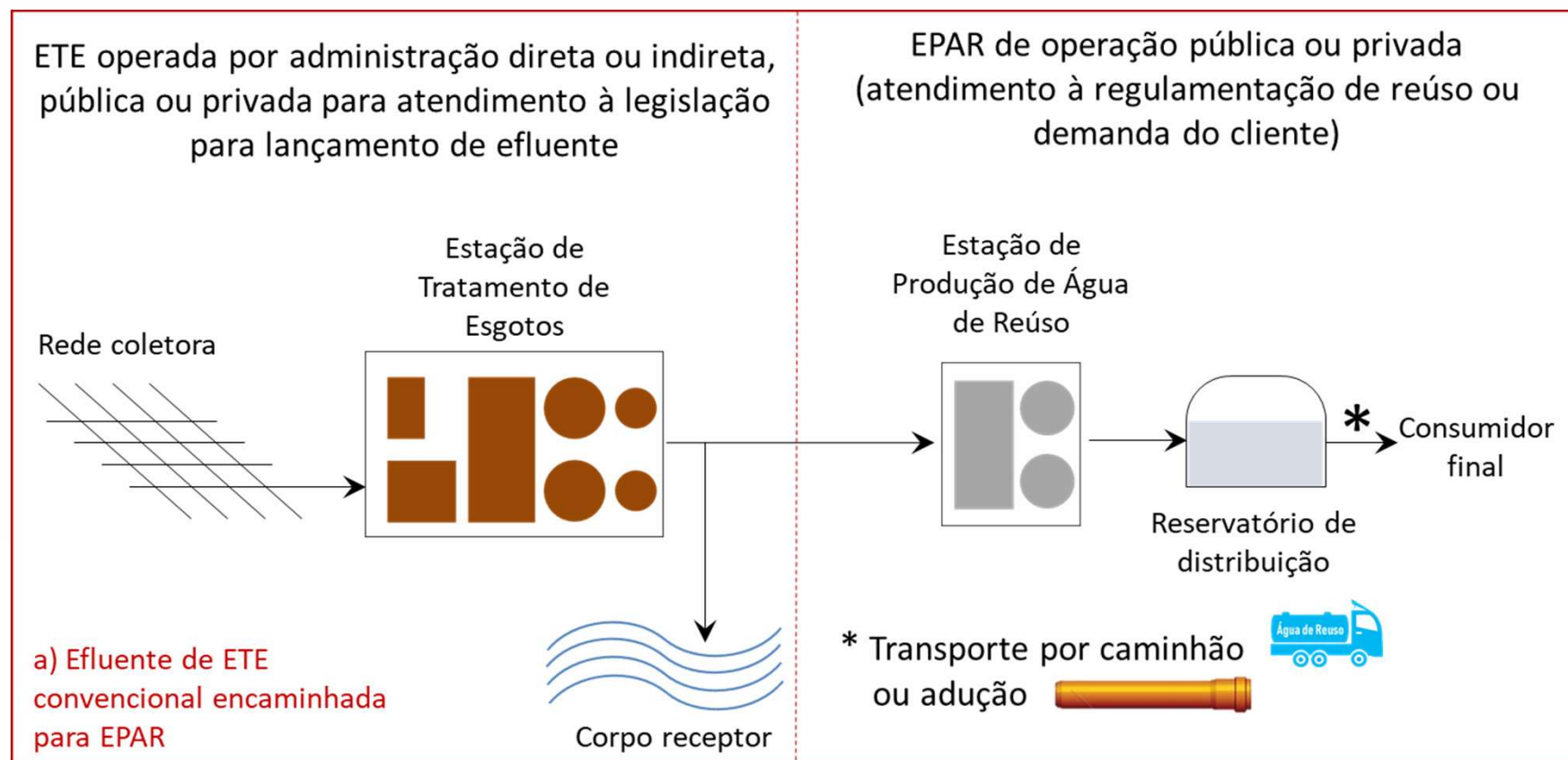
Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



- Fluxogramas possíveis



Fonte: acervo próprio

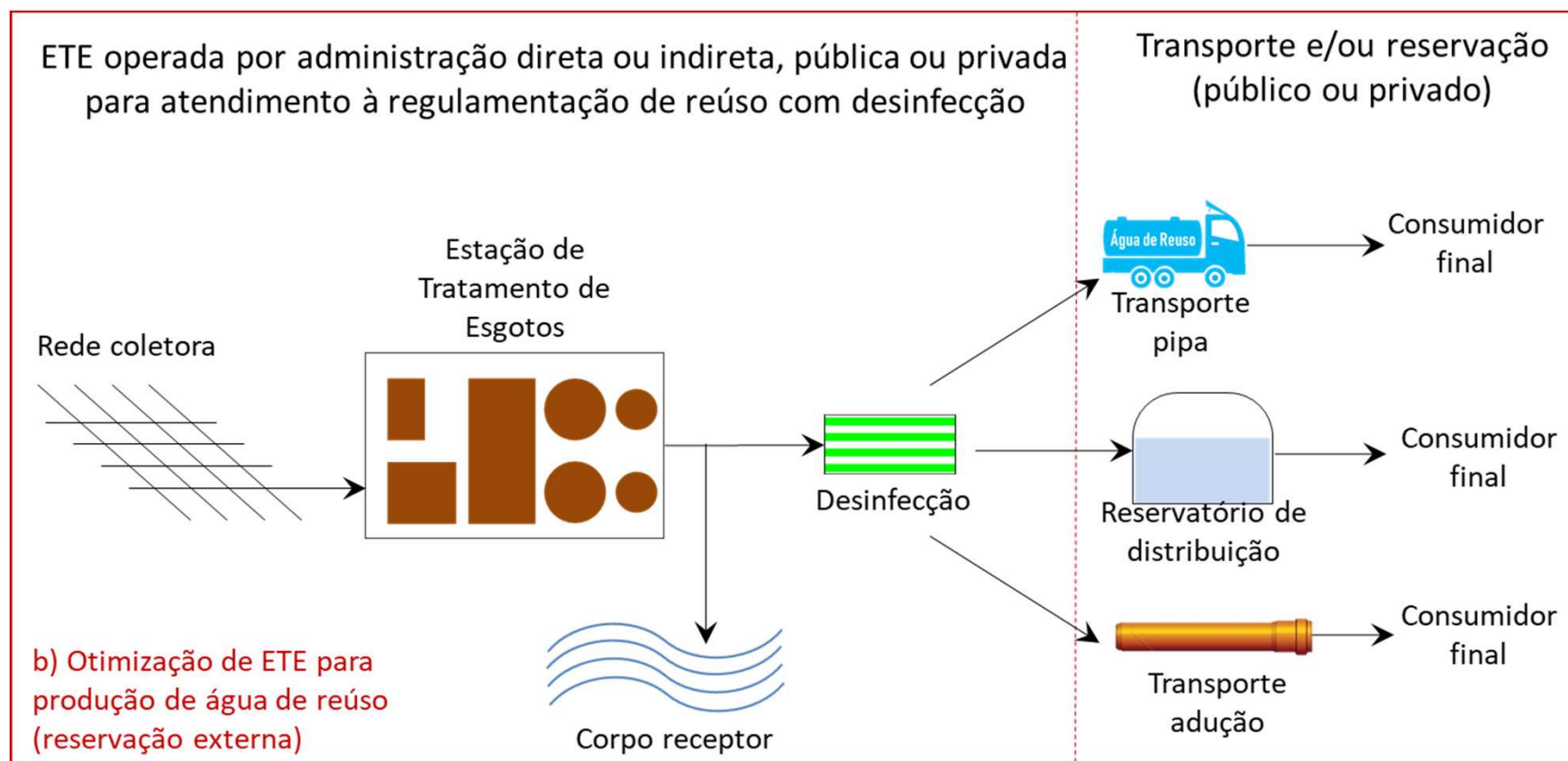
Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias

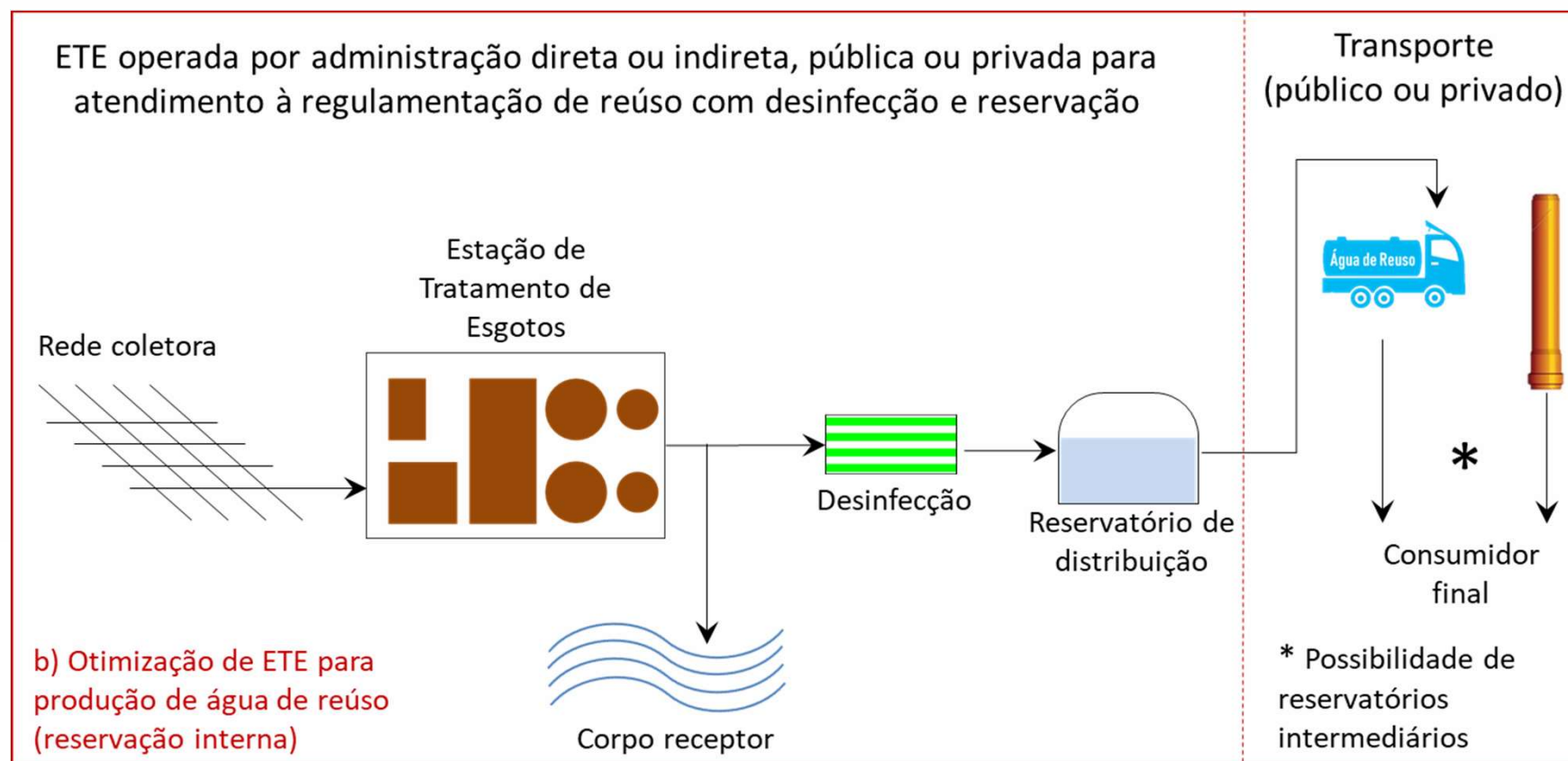


- Fluxogramas possíveis



Fonte: acervo próprio

- Fluxogramas possíveis



Fonte: acervo próprio

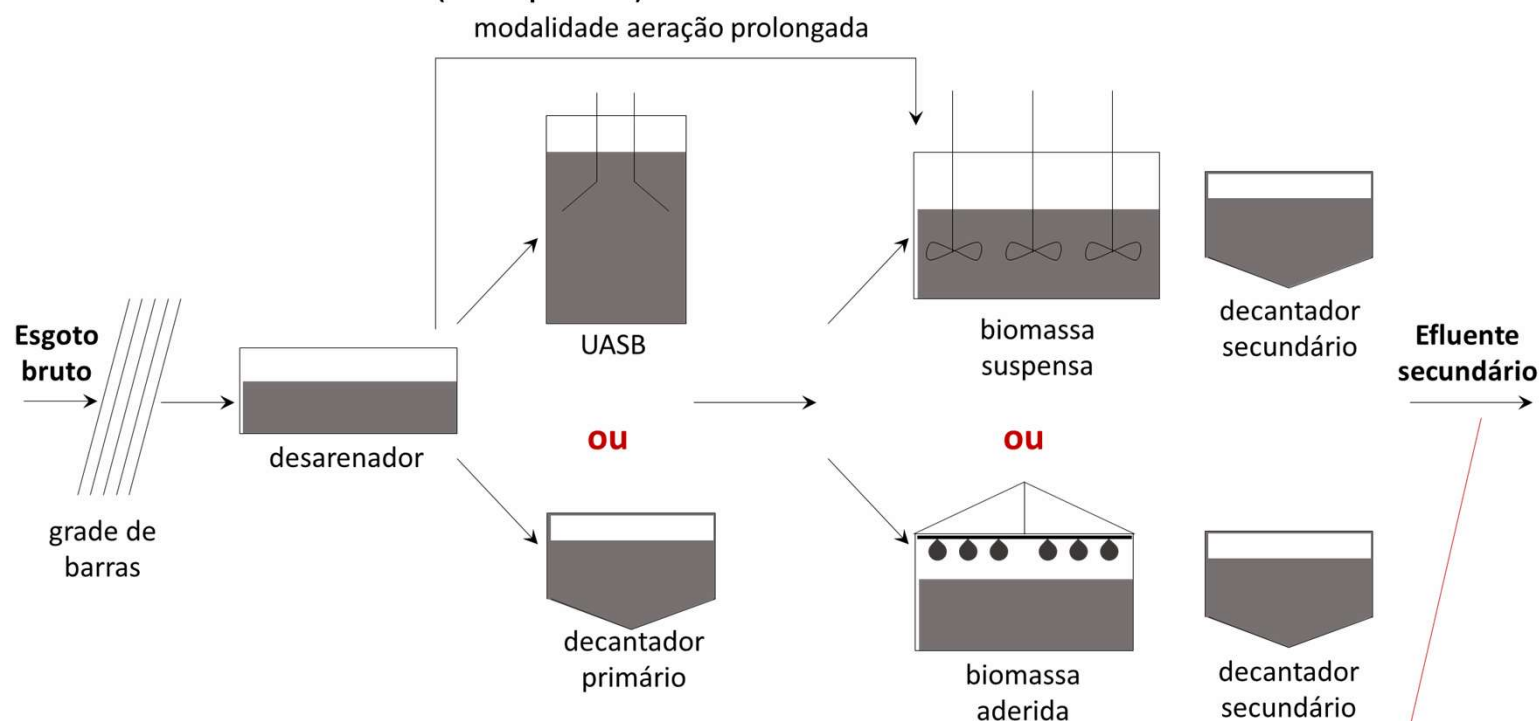
Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



- Tratamento secundário convencional (compacto)



Incluir
Desinfecção!!!

**Efluente não apto
ao reuso**
(a não ser para fertirrigação)

Concentração média no efluente final

DBO: 20-50 mg/L

P: > 4mg/L

SST: 20-40mg/L

Ctermo: 10^6 - 10^7 org/100 mg/L

N: > 20mg/L

Fonte: Sperling (2014)

Fonte: acervo próprio

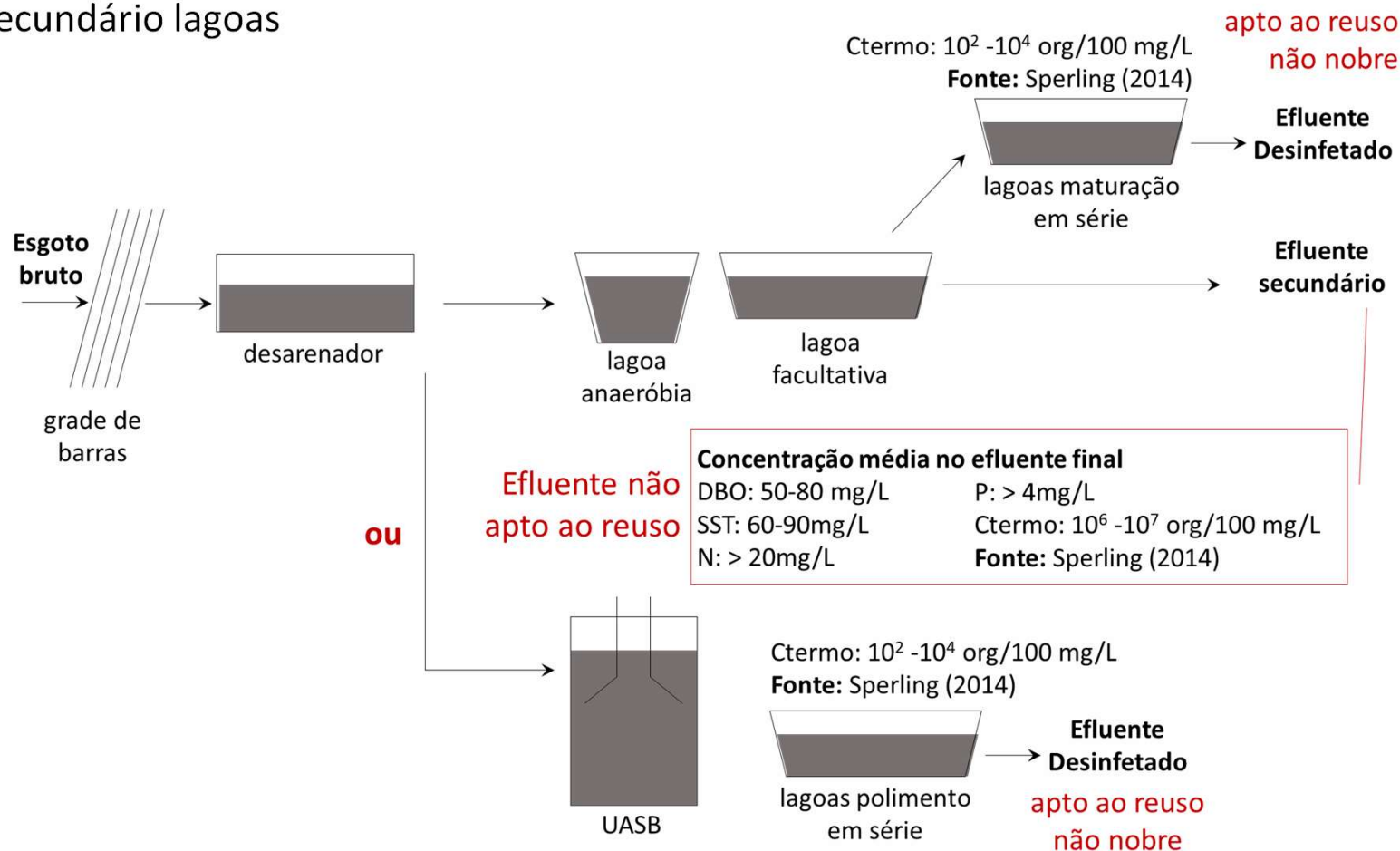
Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



- Tratamento secundário lagoas



Fonte: acervo próprio

- Sistemas avançados: remoção de contaminantes específicos, como organismos patogênicos, nitrogênio, fósforo e outros

Sistemas de Desinfecção

- Duplo estágio (FT + UV)
- Duplo estágio (FT + Cl)
- UV direto
- Cloração direta
- Ozônio
- Lagoas de maturação
- Membranas

Remoção de nutriente

- LA remoção de N e P
- Precipitação química P
- MBBR
- Lodo Aeróbio Granular

Reuso nobre

- Membranas MF
- Membranas UF
- Membranas NF
- Osmose Inversa

(Podem remover fármacos, pesticidas, metais...)

Mês da Água 2021 *Segurança Hídrica* **Tecnologias**



- Sistemas avançados: desinfecção em duplo estágio

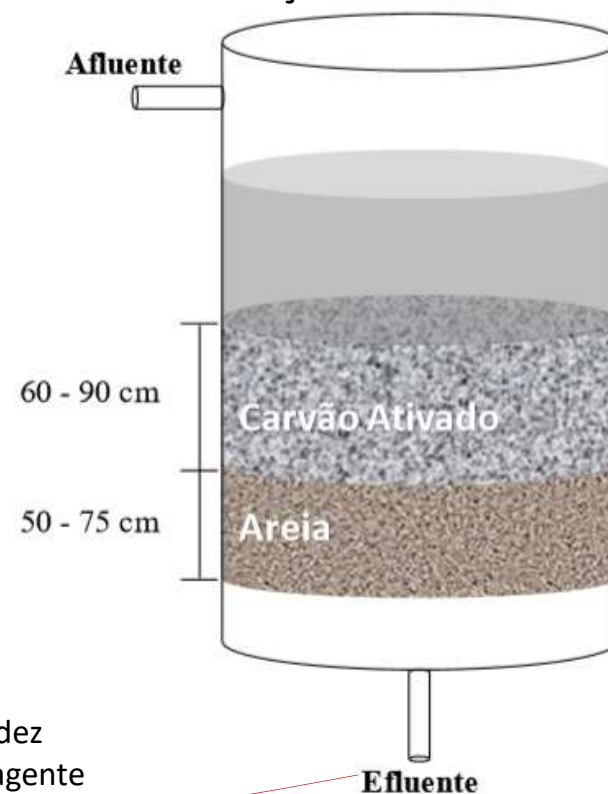
Características	Antracito	Areia	Meio duplo camada antracito	Meio duplo camada Areia
Espessura do meio, mm	600-900	500 – 750	360 – 900	180 – 360
Tamanho Efetivo, mm (D ₆₀)	0,8 - 2,0	0,4 – 0,8	0,8 - 2,0	0,4 – 0,8
Coeficiente de uniformidade (U)	1,3 – 1,8	1,2 – 1,6	1,3 – 1,6	1,2 - 1,6
Taxa de filtração, ℓ/min.m ²	80 – 400	80 – 240	80 – 400	80 – 400
Densidade	1,40 – 1,75	2,55 – 2,65	1,40 – 1,75	2,55 - 2,65

Fonte: Araujo (2019)

- Cloração, ou
- Radiação UV

Redução de turbidez
Maior eficiência do agente
desinfetante

Filtração terciária para
redução de turbidez



- Sistemas avançados: desinfecção em duplo estágio

Tabela 30 - Estatística descritiva da turbidez afluyente e efluente para o **Filtro Simples**

Turbidez (NTU)					
Ponto	Número de amostras	Média	Mín	Máx	Coefficiente de variância
Afluente	15	45	13,5	87	0,53
Efluente	15	9	1,8	27	0,89

Tabela 31 - Estatística descritiva da eficiência de redução de turbidez para o **Filtro Simples**

Número de amostras	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coefficiente de Variância
15	79	54	95	0,17

Tabela 34 - Estatística descritiva da turbidez afluyente e efluente para o **Filtro Duplo**

Ponto	Quantidade de amostras	Média (NTU)	Mín (NTU)	Máx (NTU)	Coefficiente de variância
Afluente	15	45	13,5	87	0,53
Efluente	15	5	0,99	28	1,27

Tabela 35 - Estatística descritiva da eficiência de redução de turbidez para o **Filtro Duplo**

Quantidade de amostras	Média (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coefficiente de Variância
15	88	62	99	0,10

Fonte: Araujo (2019)

SST efluente secundário entre **10 e 15 mg/L**

Turbidez final (pós filtro entre **2 e 5 NTU**)

SST efluente secundário entre **15 e 30 mg/L**

Turbidez final (pós filtro entre **5 e 15 NTU**)

Fonte: Jordão e Pessoa (2019)

- Sistemas avançados: desinfecção em duplo estágio

Tabela 43 - Resultados de Coliformes Termotolerantes realizados efluente do Filtro Simples e duplo seguido de reator UV

Filtro	Amostra	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)
Simples	12	$7,0 \times 10^{-2}$
	14	$2,8 \times 10^{-3}$
	15	$7,0 \times 10^{-2}$
Duplo	12	$3,3 \times 10^{-2}$
	14	$3,5 \times 10^{-2}$
	15	$3,3 \times 10^{-2}$

Fonte: Araujo (2019)

Efluente apto à várias possibilidades de reuso não potável



Mês da Água 2021

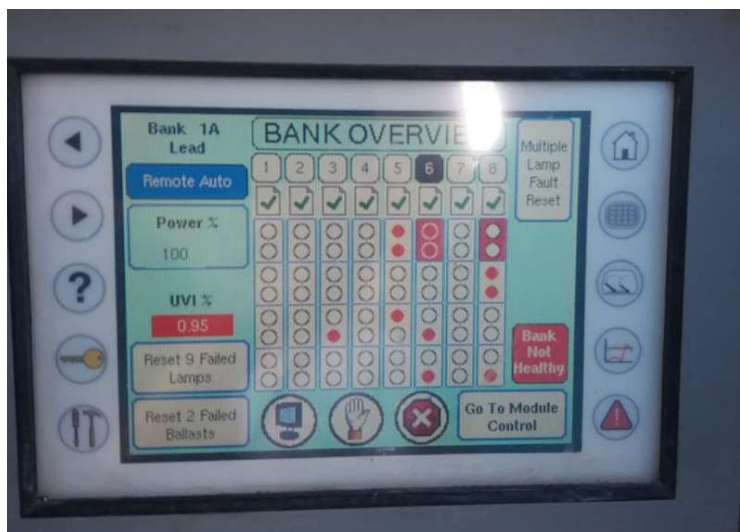
Segurança Hídrica

Tecnologias



- Sistemas avançados: desinfecção em estágio único

Fonte: Acervo próprio (ETE Mulembá – Vitória/ES)



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



- Sistemas avançados: desinfecção em estágio único

Fonte: Acervo próprio (ETE Curado – Recife/PE)



Radiação UV



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias

- Sistemas avançados: desinfecção em estágio único

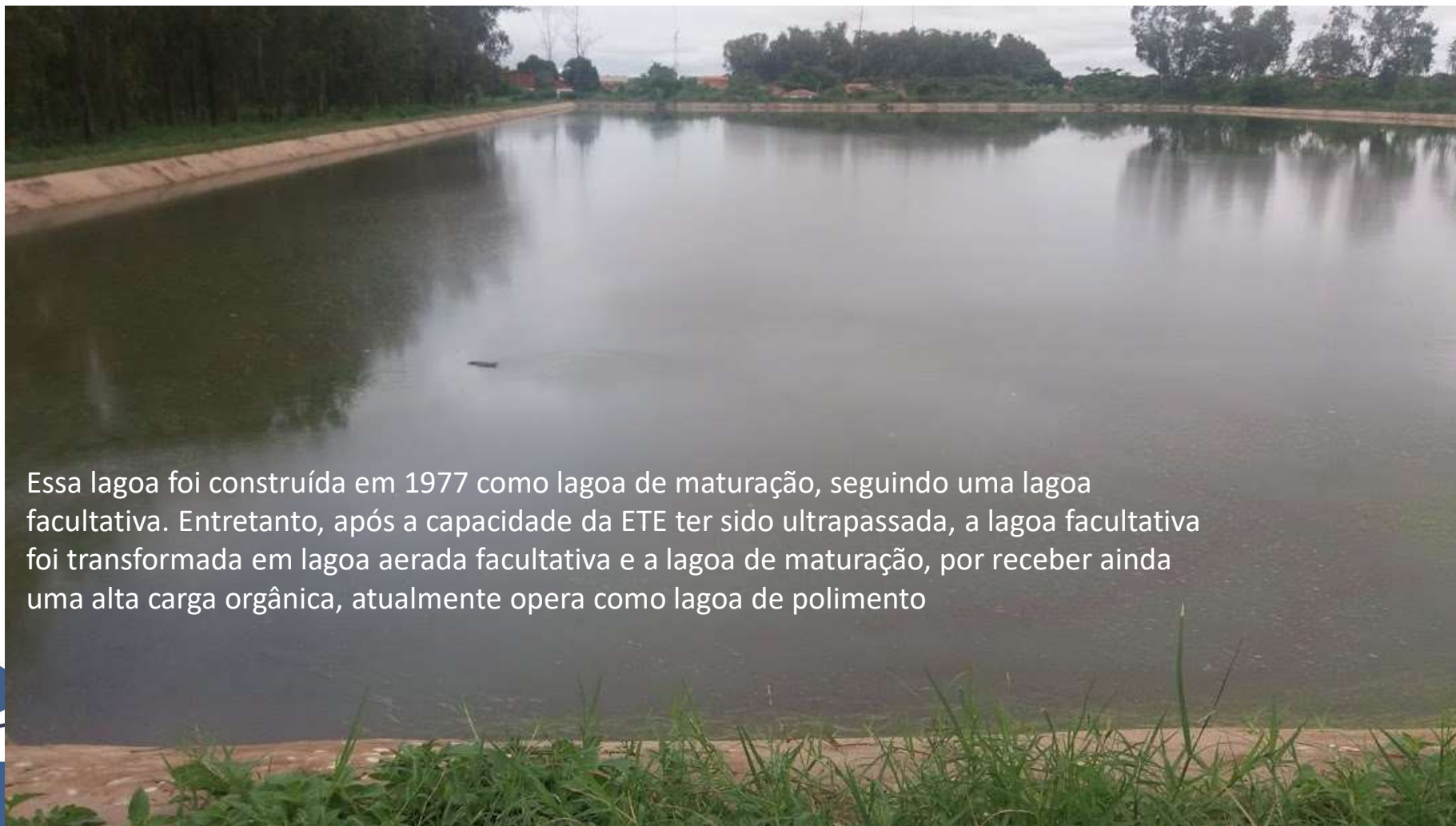


Fonte: Acervo próprio
(ETE Instituto Couto
Maia – Salvador/BA)



- Sistemas avançados: Lagoas de maturação

Fonte: Acervo próprio (ETE Pirajá – Teresina/PI)



Essa lagoa foi construída em 1977 como lagoa de maturação, seguindo uma lagoa facultativa. Entretanto, após a capacidade da ETE ter sido ultrapassada, a lagoa facultativa foi transformada em lagoa aerada facultativa e a lagoa de maturação, por receber ainda uma alta carga orgânica, atualmente opera como lagoa de polimento

- Sistemas avançados: Lagoas de maturação

Parâmetro	Sedimentação	Filtro Biológico	Lodo Ativado	UASB + L. Polimento	Lagoas em série (até LM)
Vírus entéricos	0-30	90-95	90-99	99-99,99	99,9-99,99
Bactérias	50-90	90-95	90-99	99,9-99,9999	99,9-99,9999
Protozoários	10-50	50-90	50	100	100
Helmintos	30-90	50-95	50-99	100	100

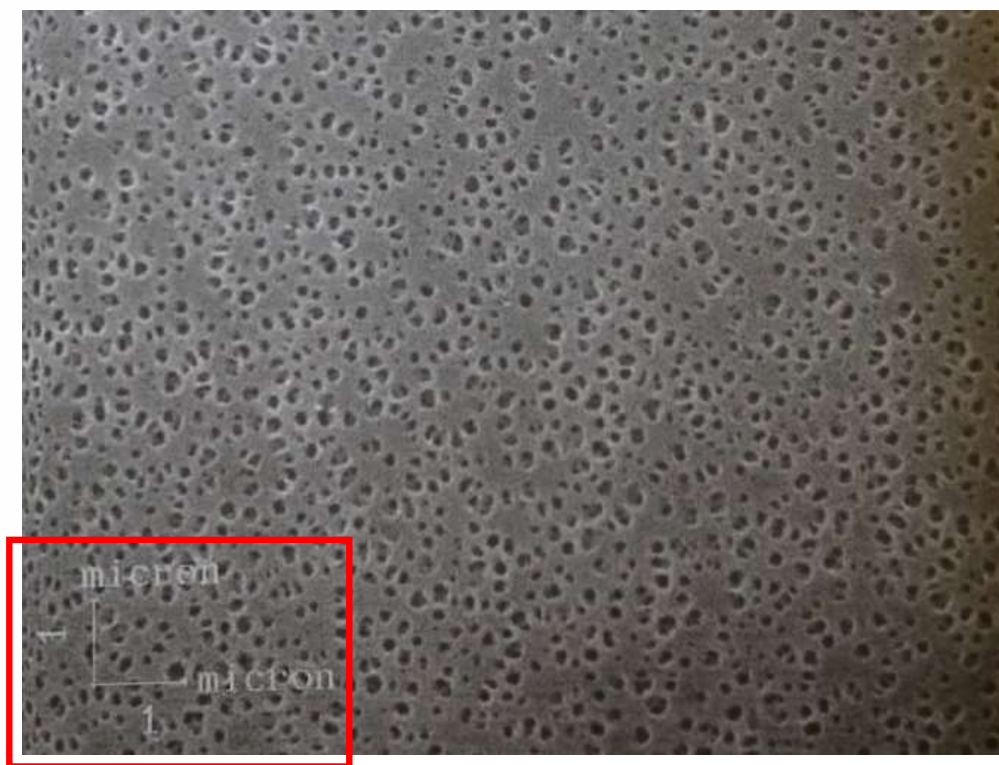
Fonte: Jordão e Pessoa (2019)

Nos casos de processos de LAn + LF ou somente de LF, as eficiências são bem mais reduzidas.

- Para bactérias: 90 e 99%
- Para vírus: < 90%

- Sistemas avançados: Membranas

Fonte: Jordão e Pessoa (2019)



Escala

$1\mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$

Tipo	Intervalo de porosidade (μm)	Porosidade Típica (μm)
MF	0,008-2,00	> 0,05
UF	0,005-0,2	0,002-0,05
NF	0,001-0,01	< 0,002
OI	0,0001-0,001	< 0,002



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



- Sistemas avançados: Membranas

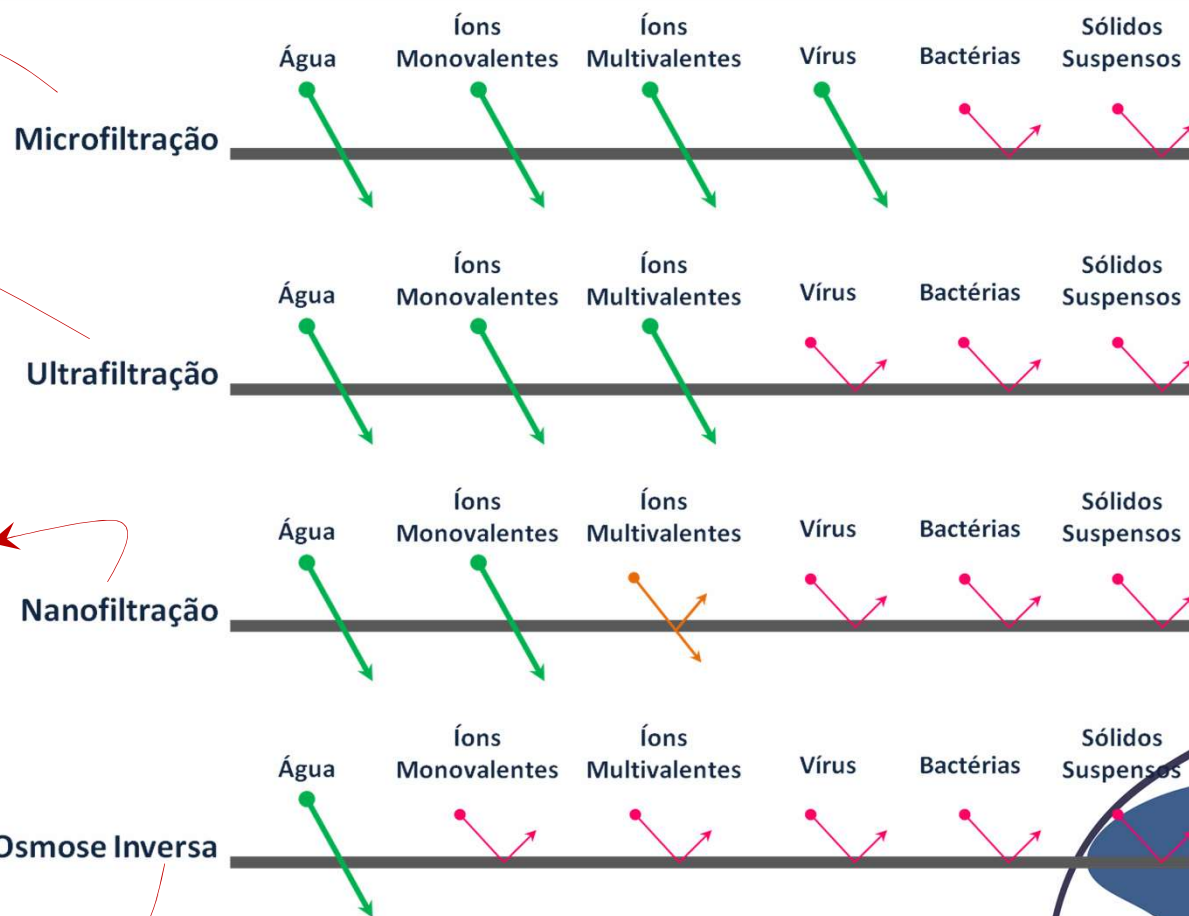
Flocos biológicos
Pigmentos

Vírus
Emulsão
Proteínas

Moléculas orgânicas com massa molecular inferior a 200 Dalton
Pesticidas
Fármacos
Corantes
Sais de metais com Nox +2 e +3
Sais de ânions com Nox -2 (sulfatos)

- Sais de metais com Nox +1 (Na e K)
- Sais de ânions com Nox -1 (Cloretos)

Fonte: Jordão e Pessoa (2017); Giordano e Andhi, 2015



- Sistemas avançados: Membranas

Fonte: Dalri-Cecato et al (2019)

Estimativa dos custos de operação de um biorreator a membrana

Operating cost assessment of a membrane bioreactor

▪ Data de entrada:
01/10/2018

▪ Data de aprovação:
07/02/2019

Leonardo Dalri-Cecato^a/André Aguiar Battistelli/Elisângela Edila Schneider/
Maria Eliza Nagel Hassemer/Flávio Rubens Lapolli

DOI: 10.4322/dae.2019.025

Resumo

O presente trabalho consistiu na aplicação da metodologia de avaliação de custo de ciclo de vida para estimar os custos de operação de um biorreator a membrana hipotético projetado para ser implementado em Santa Catarina/Brasil, visando à produção de água de reúso. Foram levantados dados de custo referentes à aquisição e troca de membranas, consumo energético, disposição final de lodo e funcionários para um biorreator a membrana dimensionado para tratar $6.060 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ (50.000 hab). Foram estimados valores equivalentes a R\$0,63/m³ ou R\$2,10 por kg de DBO removida, os quais vão ao encontro de outros estudos realizados abordando custos de biorreatores a membrana. O sistema proposto se apresentou competitivo para produzir água de reúso, apresentando custo de tratamento (R\$/m³) inferior ao valor cobrado pela água potável.
Palavras-chave: Biorreator a membrana. Avaliação econômica. Custo de operação. Avaliação de custo de ciclo de vida. Reúso. Lodos Ativados. Tratamento de esgotos.

Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias

- Sistemas avançados: Membranas

Membranas **submersas**

Reator Biológico de Membranas (MBR)



Membranas **externas**

Tubulares



Mês da Água 2021

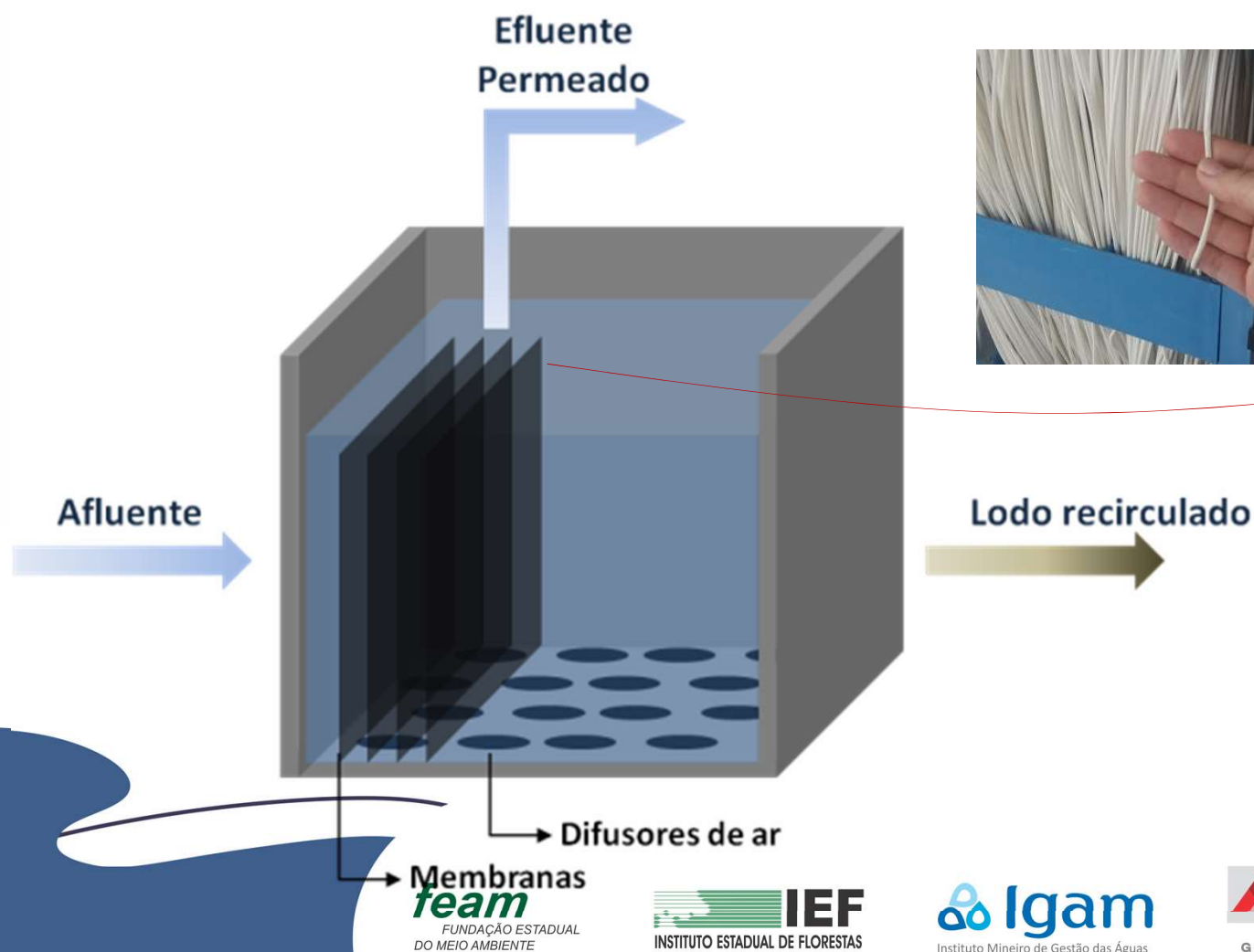
Segurança Hídrica

Tecnologias

- Sistemas avançados: Membranas



Membranas **submersas**
Reator Biológico de Membranas (MBR)



team
FUNDAÇÃO ESTADUAL
DO MEIO AMBIENTE

IEF
INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS

Igam
Instituto Mineiro de Gestão das Águas

MG
GOVERNO DIFERENTE.
ESTADO EFICIENTE.

Mês da Água 2021

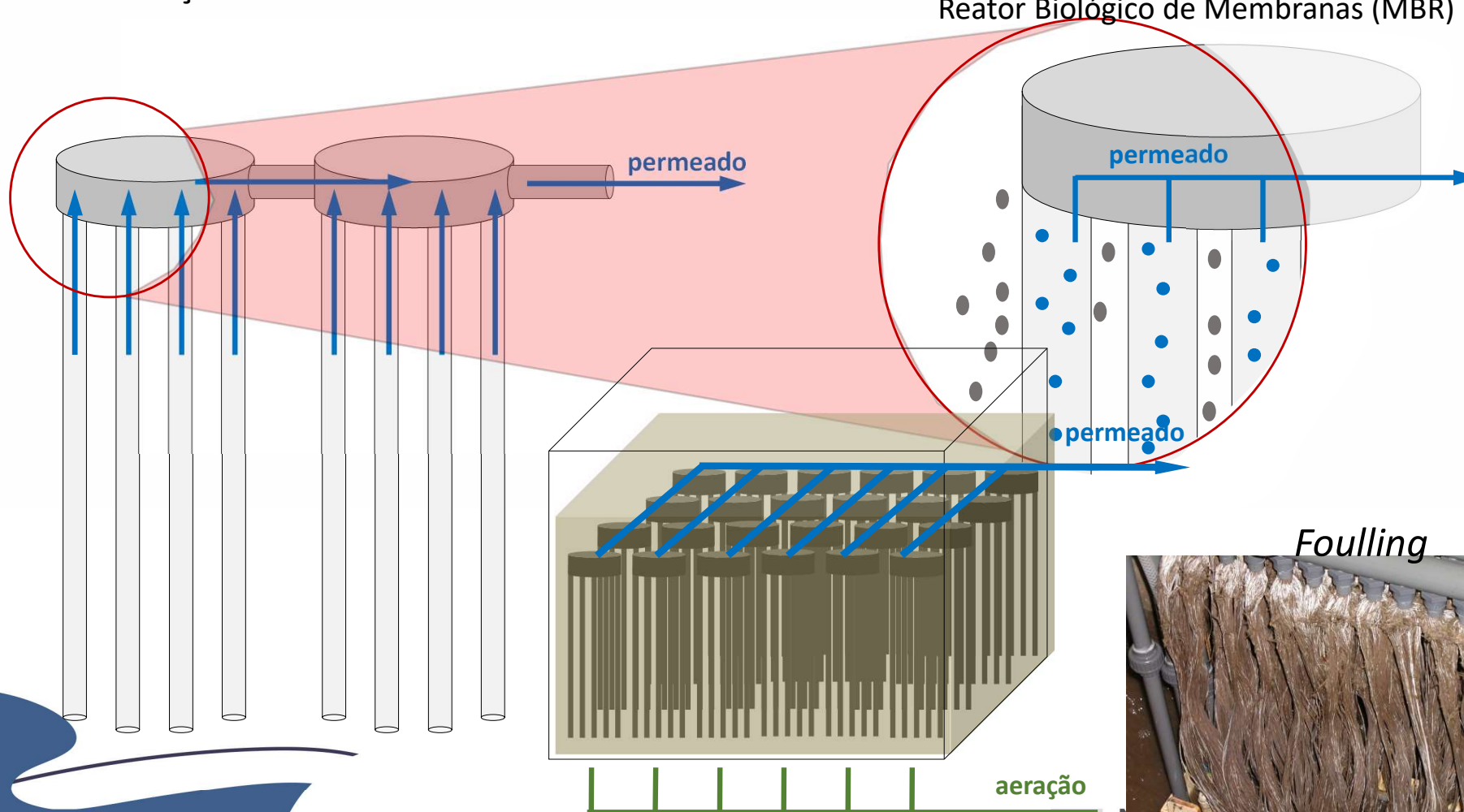
Segurança Hídrica

Tecnologias



- Sistemas avançados: Membranas

Membranas **submersas**
Reator Biológico de Membranas (MBR)

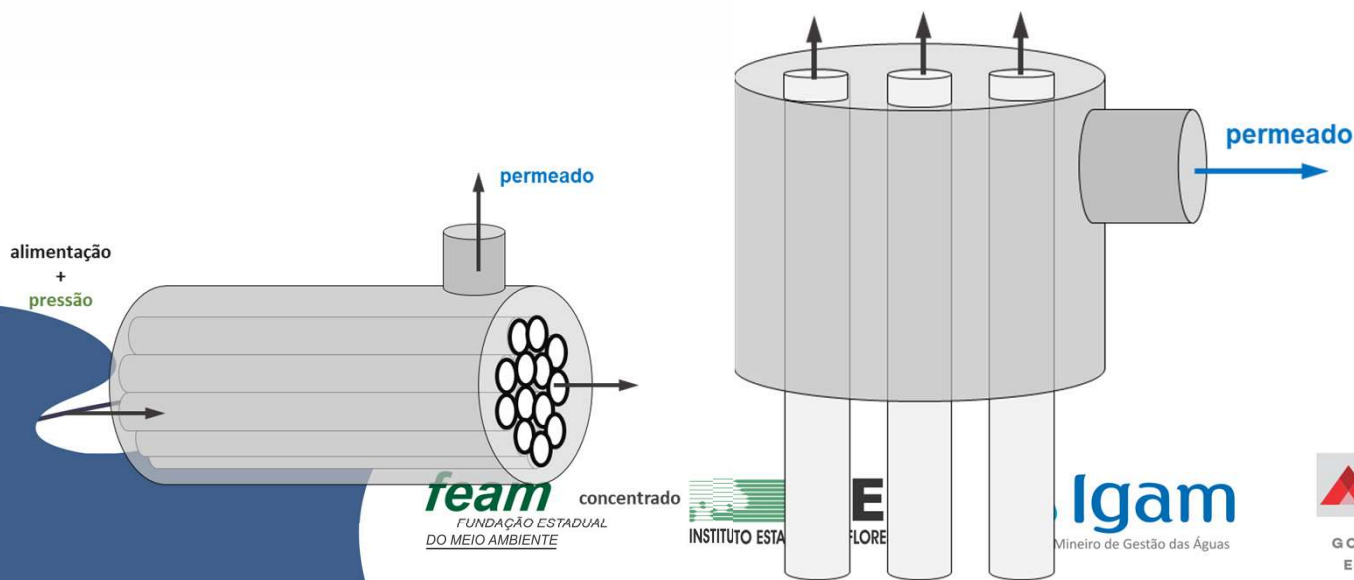
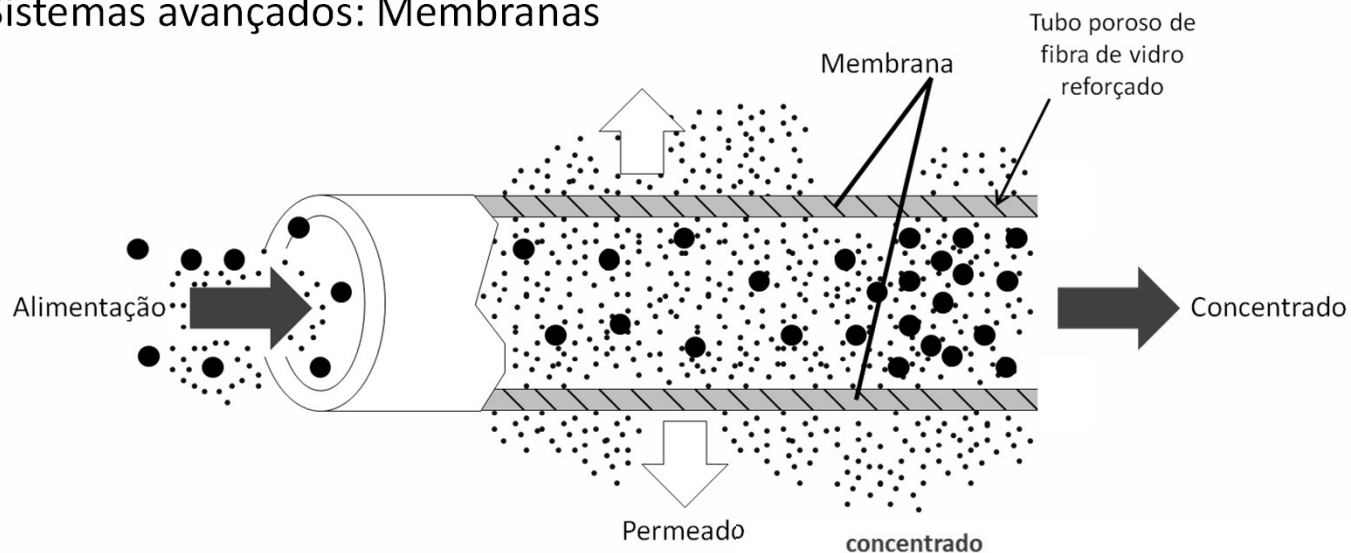


Fouling



Mês da Água 2021 *Segurança Hídrica* **Tecnologias**

- Sistemas avançados: Membranas




 Programa
Integração
 de saberes

Membranas **externas**

Tubulares



GOVERNO DIFERENTE.
ESTADO EFICIENTE.

Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Tecnologias



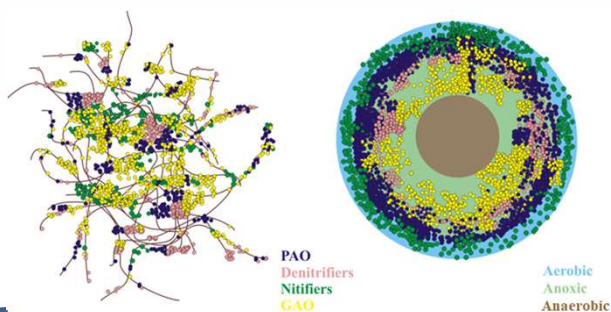
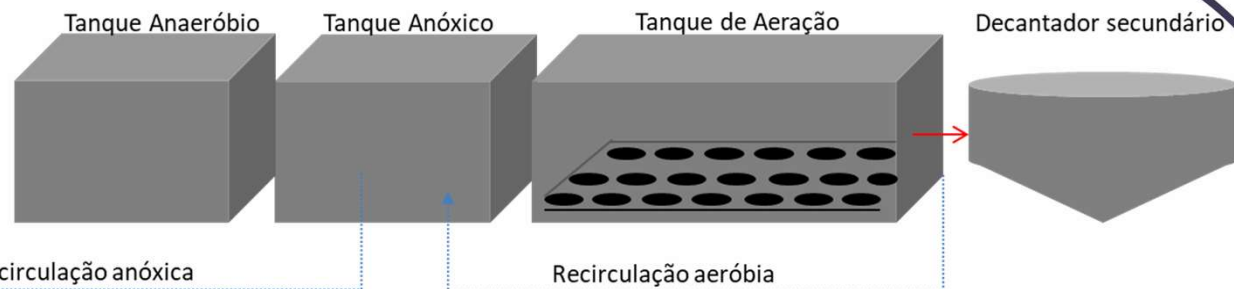
- Sistemas avançados: Outros

Lodo ativado com remoção de nutrientes

Moving Bed Biofilme Reactor (MBBR)

Lodo Aeróbio Granular

Processos Oxidativos Avançados (POA)





Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais



Fonte: The Guardian

<https://www.theguardian.com/artanddesign/2020/may/03/the-big-picture-spreading-the-message-about-the-1918-pandemic>

Em **1918**, a Califórnia (USA) lutava contra o surto de gripe espanhola e exigia o uso de máscara pelas pessoas.

Nesse mesmo período, foi promulgado o **primeiro regulamento de reuso de água no mundo**, para aplicação na irrigação de alimentos a serem consumidos após o cozimento



Um século se passou... os países se organizaram, implementaram seus regulamentos, os atualizaram e em **2020**, durante a pandemia da COVID-19 a **União Europeia** publicou o regulamento 74/2020 em 05 de junho de 2020 (com aplicação a partir de 26/05/23).

O regulamento define requisitos mínimos para reutilização agrícola de água a partir do efluente de ETE, pela primeira vez a nível da União Europeia.

Fonte: The Source Magazine IWA (agosto de 2020)

<https://www.thesourcemagazine.org/water-reuse-regulation-for-europe/>



European Council

Acesse o link para mais informações, para assistir um pequeno vídeo e para encontrar os documentos da regulação:

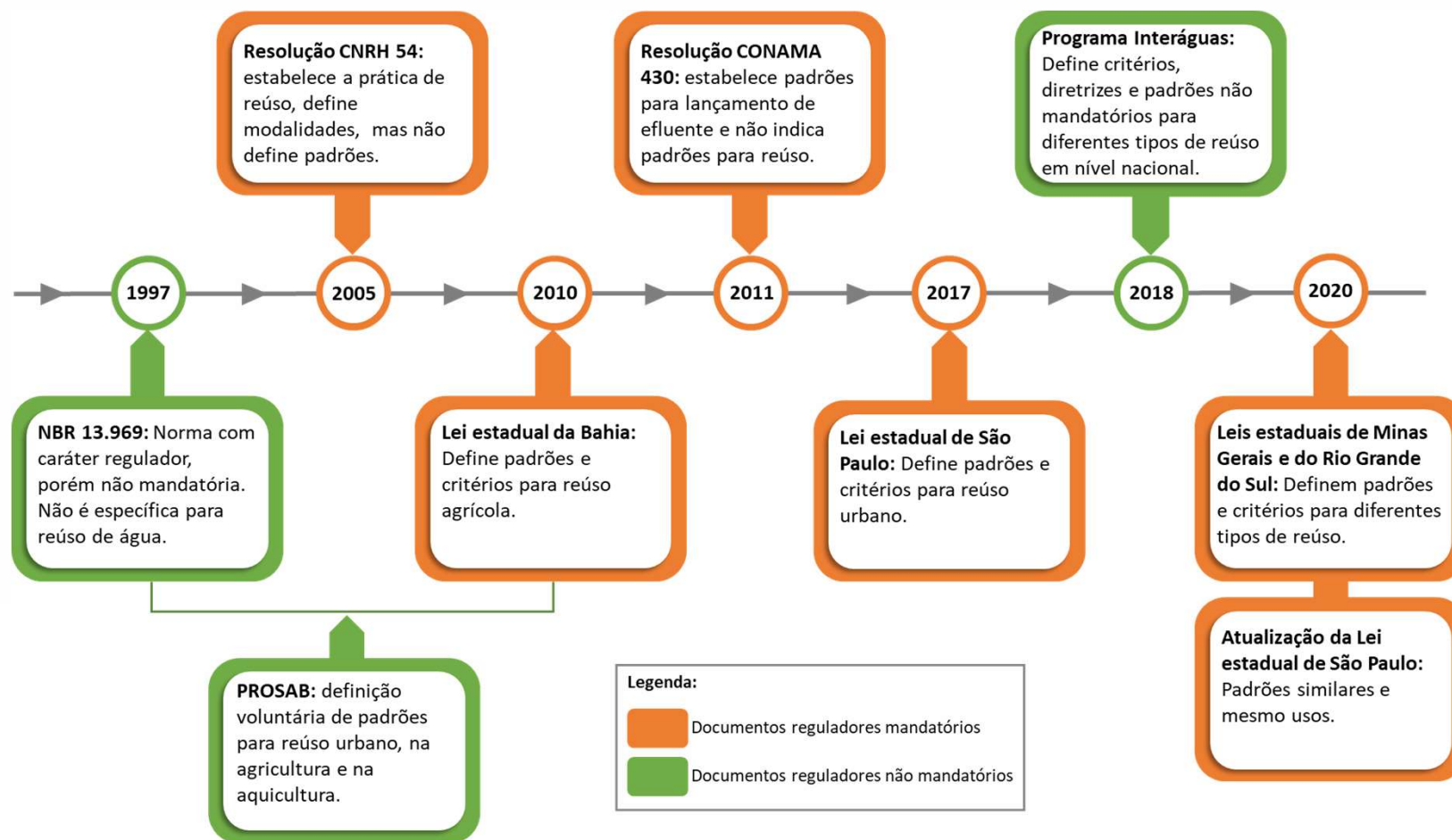
<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/04/07/water-reuse-for-agricultural-irrigation-council-adopts-new-rules/>



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais



Fonte: Santos et al. (no prelo)



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais



- Glossário

Reuso restrito: Classificação a partir do grau de restrição ao usuário. No reuso restrito, o acesso do público à água de reuso é restringido e, portanto, há maior flexibilidade em relação à qualidade exigida.

Reuso irrestrito: O acesso do público à água de reuso é liberado e, portanto, deve haver maiores rigor e exigência em relação à qualidade da água.

Critérios de reuso: Critérios desenvolvidos com base nas informações disponíveis e na opinião científica. Oferecem restrições qualitativas (limites numéricos e narrativos) e servem como base para o desenvolvimento dos padrões de qualidade.

Padrões de qualidade de água de reuso: Restrições qualitativas, com limites numéricos e até organolépticos (no caso da ausência de odor), estabelecidas como regra, princípio ou medida, pela autoridade competente.

Diretrizes de reuso: Orientações, normalmente voluntárias, consultivas e não obrigatórias. Servem como base para o desenvolvimento de um instrumento legal mandatório e envolvem critérios e padrões de qualidade.

Regulamento de reuso: Documento com padrões, critérios ou diretrizes adotados oficialmente pelo órgão competente regional (municipal, estadual, federal).

Avaliação de risco microbiológico: O reúso de água traz uma característica inerente à sua prática que é o risco microbiológico de contaminação (de seres humanos e meio ambiente), ao se tratar da reinserção de um efluente no meio, mesmo que tratado, para diferentes usos. Dessa forma, a avaliação (quantitativa, semiquantitativa ou qualitativa) de risco microbiológico estima os possíveis riscos associados à prática de reúso, com o objetivo de reduzi-los até um nível mínimo considerado aceitável.

Fonte: Santos et al. (no prelo)



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais

- Padrões de uso da água



Tabela 1 – Limites estabelecidos para parâmetros de qualidade de água em **documentos legais federais** relacionados aos **usos múltiplos da água** no Brasil.

Documento	Coliformes	Turbidez	DBO*	Sólidos	Cloro residual
	Org/100mL	NTU	mg/L	mg/L	mg/L
CONAMA 357/2005 (Classe I)	200 (Ct)	40	3	-	-
CONAMA 357/2005 (Classe II)	1000 (Ct)	100	5	-	-
CONAMA 357/2005 (Classe III)	4000 (Ct)	100	10	-	-
CONAMA 274/2000	1000 (Ct)	-	-	-	-
	800 (E. coli)				

Fonte: Brasil (2000); Brasil (2005). **Legenda:** Ct – Coliformes termotolerantes; E. coli – *Escherichia coli*. * DBO = DBO₅ em todo o texto.

Fonte: Santos et al. (2020)



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais

- Padrões de reúso da água

Tabela 2 – Limites estabelecidos para parâmetros de qualidade de água em documentos normativo/norteadores federais relacionados ao reúso de água no Brasil.

Documento	Coliformes Org/100mL	Turbidez NTU	DBO mg/L	Sólidos mg/L	Cloro residual mg/L
Interáguas (Agricultura restrita)	10 ³ (Ct)	-	30	-	> 1,0
Interáguas (Agricultura irrestrita)	10 (Ct)	5	15	-	> 1,0
Interáguas (Urbano restrito)	10 ³ (Ct)	5	30	-	> 1,0
Interáguas (Urbano irrestrito)	10 (Ct)	5	15	-	> 1,0
Interáguas (Aquicultura)	10 ³ (Ct)	-	60	-	-
PROSAB (Agricultura com irrigação irrestrita)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Agricultura com irrigação restrita)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Urbano irrestrito)	200 (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Urbano restrito)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Descarga de vaso sanitário)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Piscicultura afluentes ao tanque)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
PROSAB (Piscicultura dentro do tanque)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
NBR 16783/2019	200 (E. coli)	5	20	2000 ⁽¹⁾ (SDT)	0,5-5,0 ⁽²⁾ (L)

Fonte: INTERÁGUAS (2018); Bastos *et al.*, (2008); ABNT (2019). **Legenda:** Ct – Coliformes termotolerantes; E. coli – *Escherichia coli*; SDT – Sólidos Dissolvidos Totais; L – cloro residual livre. **Notas:** ⁽¹⁾ ou 3.200 µS/cm de condutividade elétrica; ⁽²⁾ recomendável máximo = 2,0 mg/L.

Fonte: Santos et al. (2020)

Tabela 3 – Limites estabelecidos para parâmetros de qualidade de água em documentos legais sub federais relacionados ao reúso de água no Brasil.

Documento	Coliformes Org/100mL	Turbidez NTU	DBO mg/L	Sólidos mg/L	Cloro residual mg/L
Campinas (Classe A)	100 (Ct / E. coli)	1	5	5 (SST)	> 1,5 (T) > 1,0 (L)
Campinas (Classe B)	200 (Ct / E. coli)	5	30	30 (SST)	< 3,0 (T) < 2,0 (L)
BA (Categoria A)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
BA (Categoria B)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
CE (Urbano)	5000* (Ct)	-	-	-	-
CE (Agricultura/florestal-a)	ND (Ct)	-	-	-	-
CE (Agricultura/florestal-b)	1000 (Ct)	-	-	-	-
CE (Aquicultura)	1000 (Ct)	-	-	-	-
SP (Irrestrito)	ND (Ct / E. coli)	2	10	-	≥ 1,0
SP (Restrito)	200 (Ct) 120 (E. coli)	-	30	30 (SST)	≥ 1,0 (T)
RS (Urbano Classe A)	200 (Ct)	-	-	-	< 1,0 (T)
RS (Urbano Classe B)	10 ³ (Ct)	-	-	-	-
RS (Agricultura/florestal)	10 ⁴ (Ct)	-	-	-	-
MG (Agrossilvipastoril amplo)	10 ⁴ (Ct / E. coli)	-	-	-	-
MG (Agrossilvipastoril limitado)	10 ⁶ (Ct / E. coli)	-	-	-	-
MG (Urbano amplo)	10 ³ (Ct / E. coli)	-	-	-	-
MG (Urbano limitado)	10 ⁴ (Ct / E. coli)	-	-	-	-

Fonte: Campinas (2014); Bahia (2010); Ceará (2017); São Paulo (2020); Rio Grande do Sul (2020); Minas Gerais (2020). **Legenda:** Ct – Coliformes termotolerantes; E. coli – *Escherichia coli*; SST – Sólidos Suspensos Totais; L – cloro residual livre; T – cloro residual total; ND – Não detectável; BA – Bahia; CE – Ceará; SP – São Paulo; RS – Rio Grande do Sul; MG – Minas Gerais. **Notas:** *para fins de irrigação paisagística, o parâmetro “Coliformes termotolerantes” deve ser até 1000/100 mL.



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Aspectos Legais



- Níveis de restrição

Tabela 5 – Nível de restrição para cada tipologia de reúso urbano em diferentes documentos reguladores e seus respectivos padrões de indicadores de contaminação fecal.

Uso	Documentos reguladores (indicadores de contaminação fecal – org/100 mL)					
	Interáguas	PROSAB*	Campinas	SP	RS	MG**
Lavagem ruas	I (10)	I (200)	R (200)	R (200)	I (200)	I (10 ³)
Lavagem veículos	R (10 ³)	-	I (100)	R (200)	I (200)	***
Desobstrução redes	R (10 ³)	-	R (200)	R (200)	R (10 ³)	R (10 ⁴)
Construção civil	R (10 ³)	R (10 ⁴)	R (200)	R (200)	R (10 ³)	-
Combate incêndio	R (10 ³)	-	I (100)	I (ND)	-	R (10 ⁴)
Vaso sanitário	I (10)	-	-	-	-	I (10 ³)

Legenda: SP – São Paulo; RS – Rio Grande do Sul; MG – Minas Gerais; I – Irrestrito; R – Restrito. **Notas:** * PROSAB aborda padrão para descarga de vaso sanitário = 10³ org/100 mL); ** Minas Gerais não aborda os termos “restrito” e “irrestrito” e sim “limitado” e “amplo”; *** lavagem de veículos especiais (limitado) e de veículos comuns (amplo).

Fonte: Santos et al. (2020)



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica

Estudo de Potencial



- Concepção do projeto (delineamento e organização)
- Delimitação da área de estudo
- Levantamento e caracterização das possíveis ofertas (ETEs em operação ou em projeto)
- Levantamento e caracterização das demandas (possíveis consumidores)
- Avaliação do potencial: quantitativo de oferta e demanda, qualidade atual dos efluentes, qualidade requerida nas demandas, otimização da ETE, distâncias entre oferta e demanda, tipos de transporte, reservatórios,
- Tipo de metodologia adotada: prioridade, otimização da ETE, cenários de escassez, demandas específicas, planejamento
- Análise espacial para tomada de decisão...



Mês da Água 2021

Segurança Hídrica



- Baixos índices de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgotos sanitários
- Baixa qualidade operacional das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)
- Cultura histórica de abundância de água
- Ausência de regulamentação federal sobre reúso de água com o estabelecimento de padrões para diferentes fins
- Entraves burocráticos para o desenvolvimento e financiamento de projetos de reúso
- Falta de estudos técnico-científicos de viabilidade de implantação de projetos de reúso de água
- Insegurança em relação aos riscos epidemiológicos
- Falta de transparência das companhias de água e esgoto

- Reúso potável de água (direto ou indireto)
- Gestão integrada de águas residuais
- Gestão integrada de águas e águas residuais
- Tratamento avançado e dessalinização (outras fontes alternativas)
- Regulamentação adequada
- Sociedade inteligente em termos de água (Water Smart Society) (WE, 2020)





Mês da Água 2021

Segurança Hídrica



Então, já falei demais...



...Vamos conversar juntos?

