



LEI Nº 2.800 DE 18 DE JUNHO DE 1956

# **SEMINÁRIO TÉCNICO: “SANEAMENTO AMBIENTAL COM ÊNFASE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES- PARTE II”**

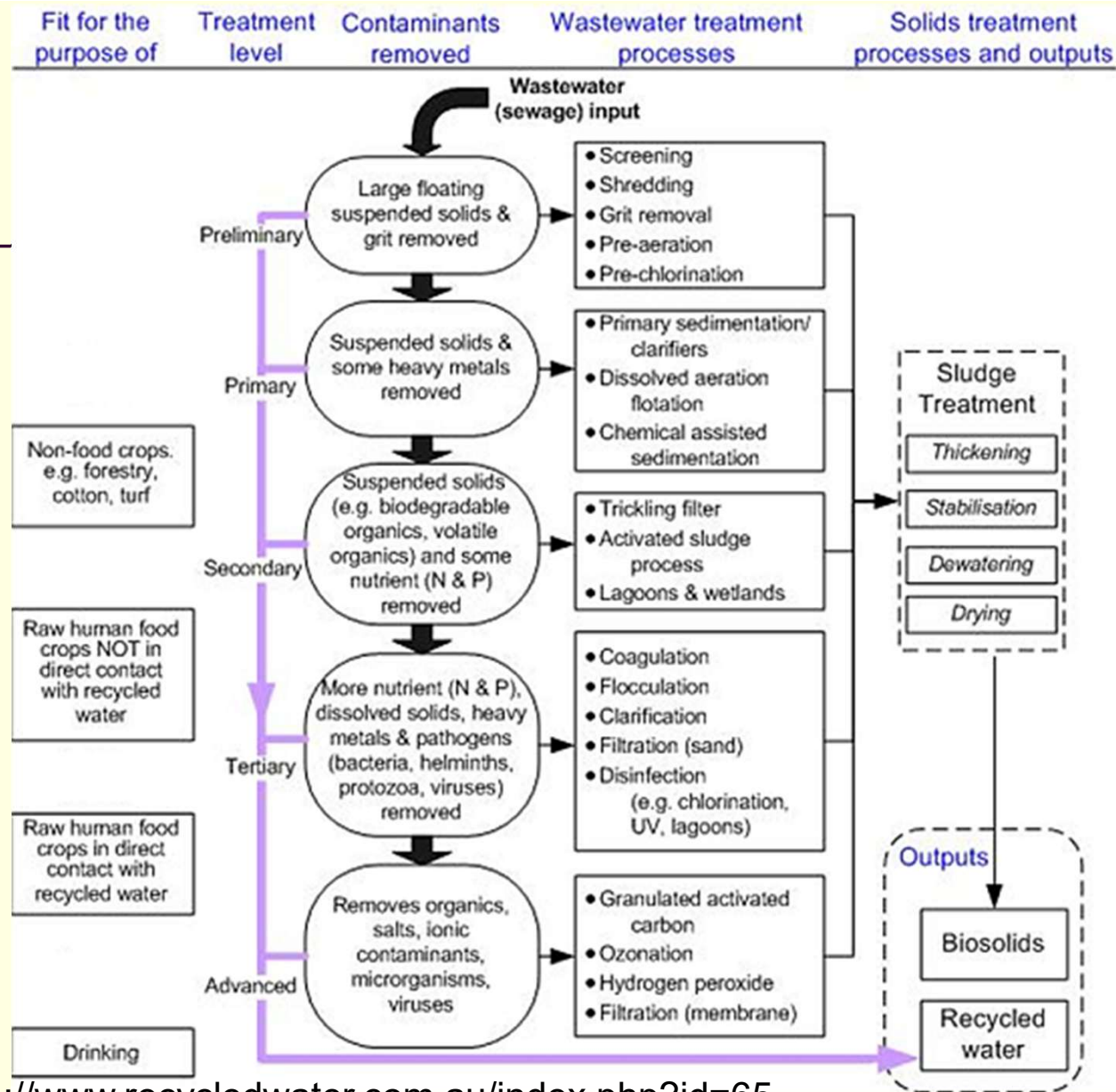
**José Jailton Marques, D.Sc. (DEAM/CCET/UFS)**

**Aracaju, 22 de setembro de 2025**

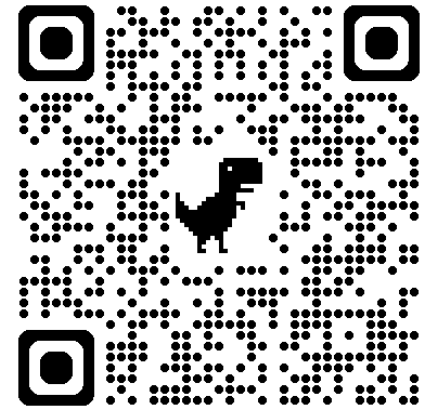
Em parceria com:



# Previamente neste minicurso...



<http://www.recycledwater.com.au/index.php?id=65>





# TRATAMENTOS PRELIMINAR/PRIMÁRIO



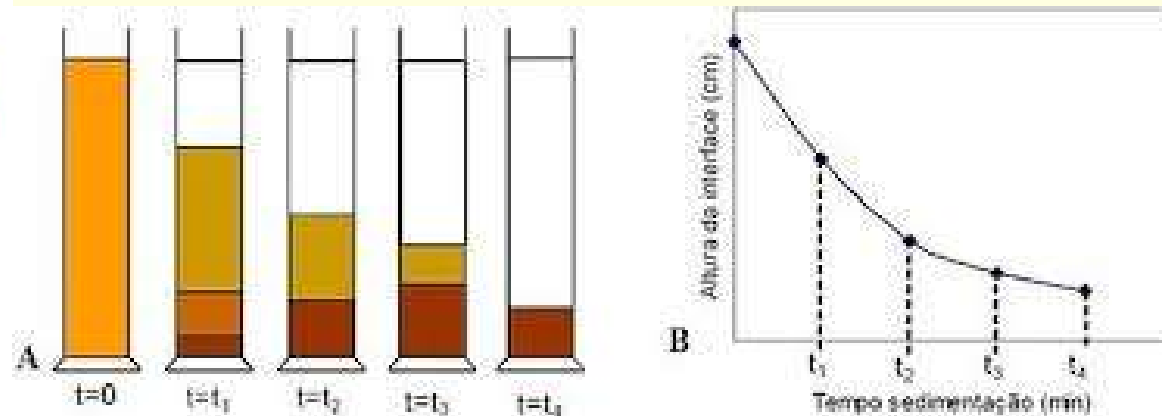
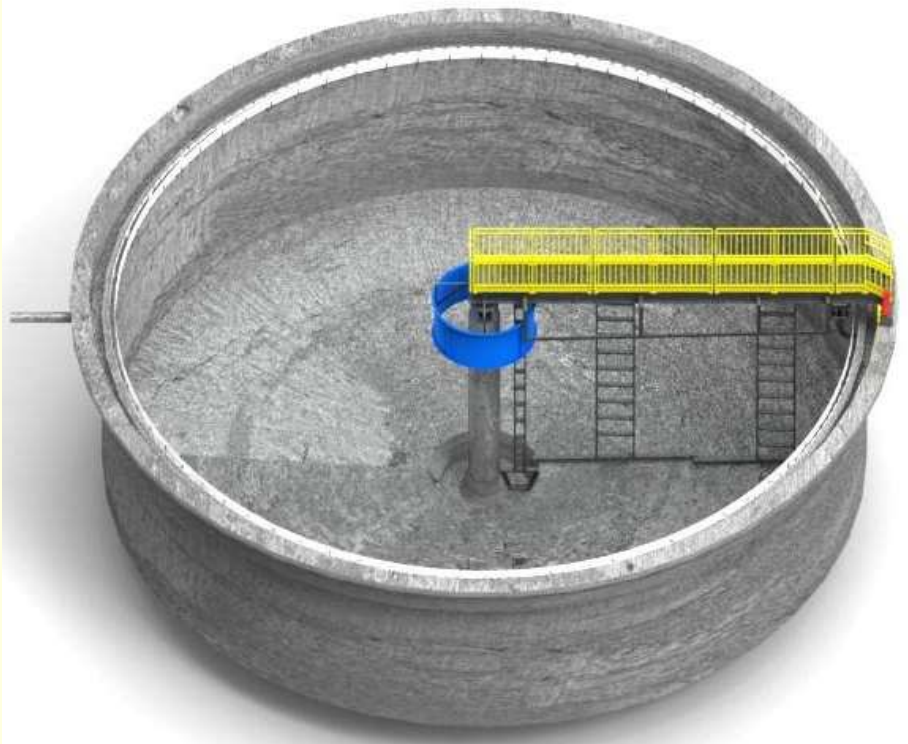
# 1. Gradeamento e Desarenação



NB5 11885:2017 – Grade de barras reta

<https://autossustentavel.com/2020/08/como-o-esgoto-e-tratado-conheca-como-funciona-uma-ete.html>

## 2.Sedimentação Primária



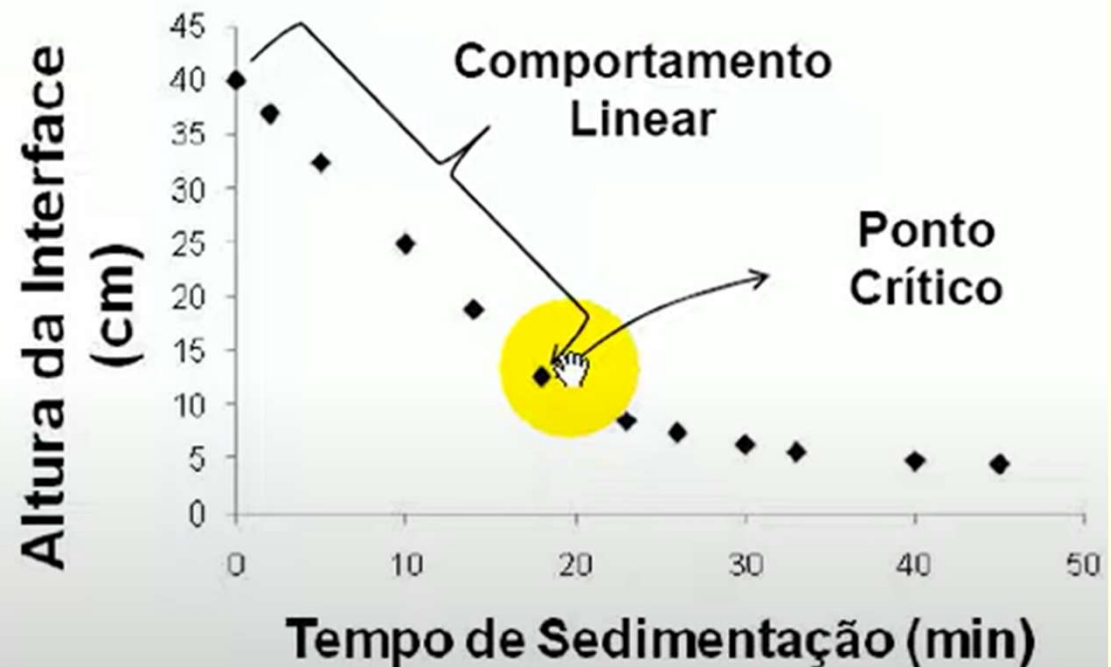
<https://www.sulmetax.ind.br/decantador-secundario>

<https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/12219/1/PDF%20-%20Carlos%20Moura%20Porto.pdf>

# Dimensionamento de Sedimentadores

Ex: Determinar o diâmetro e a altura de um espessador Dorr para operar com 20 m<sup>3</sup>/h de uma suspensão aquosa de barita ( $\rho_s=4,1\text{g/cm}^3$ ) a 30°C. A concentração de sólidos na alimentação é de 103g/L de suspensão e o lodo final deve ter 346g/L de suspensão. Ensaio de proveta a 30°C conduziu aos seguintes resultados:

| Tempo de sedimentação (min) | Altura da Interface Clarificada (cm) |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 0                           | 40                                   |
| 2                           | 37                                   |
| 5                           | 32,4                                 |
| 10                          | 24,9                                 |
| 14                          | 18,8                                 |
| 18                          | 12,6                                 |
| 23                          | 8,5                                  |
| 26                          | 7,4                                  |
| 30                          | 6,3                                  |
| 33                          | 5,6                                  |
| 40                          | 4,8                                  |
| 45                          | 4,5                                  |



<https://www.youtube.com/watch?v=0g4SAPAkjM>



# Parâmetros de Dimensionamento (esgotos sanitários)

## 1. Carga hidráulica superficial (CHS)

20 a 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·dia

## 2. Tempo de detenção hidráulica (TDH)

1,5 a 2,5 horas (comuns em projetos brasileiros)

## 3. Velocidade de escoamento (nos canais de entrada/saída)

Em torno de 0,3 a 0,6 m/min (na zona de sedimentação).

## 4. Carga orgânica superficial (DBO)

25 a 40 kg DBO/ha.dia (como verificação).

## 5. Carga de sólidos suspensos

50 a 120 kg SST/m<sup>2</sup>·dia (varia conforme características do esgoto).

## 6. Profundidade

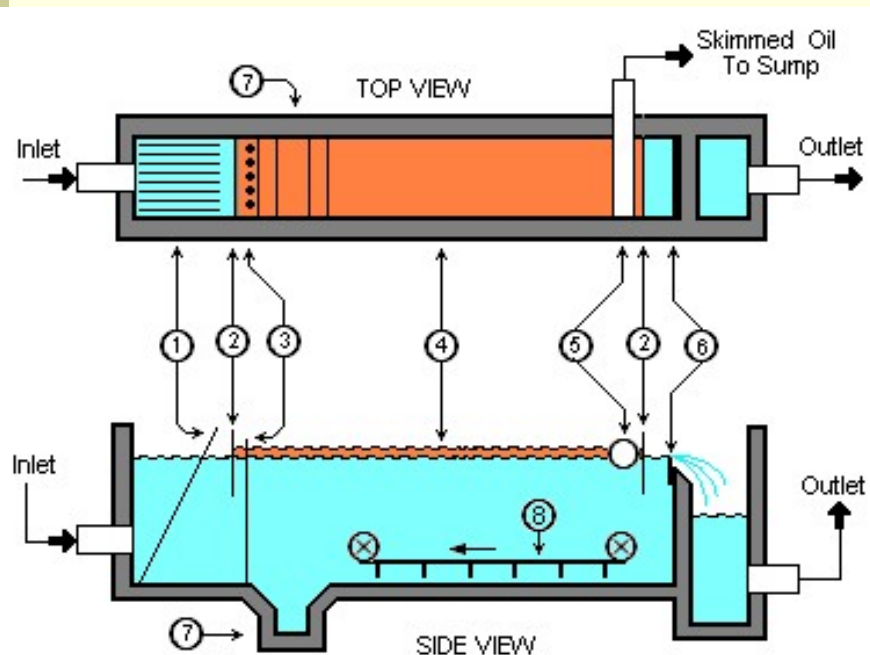
3 a 5 m (corrente em tanques retangulares ou circulares).

## 7. Eficiência típica

Remoção de 50–70% de sólidos suspensos totais (SST).  
Remoção de 25–40% de DBO<sub>s</sub>.

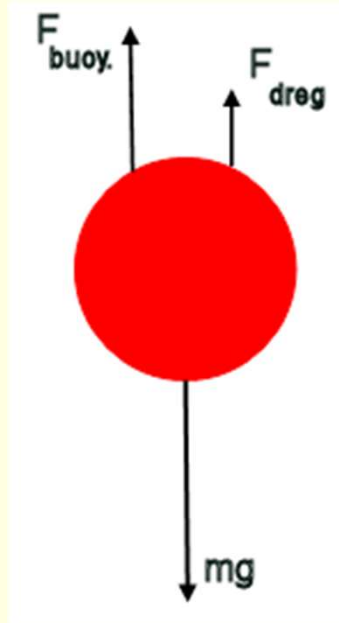
Metcalf & Eddy (2003).

## 4. Separação de Óleos e Graxas



- 1 Trash trap (inclined rods)
- 2 Oil retention baffles
- 3 Flow distributors (vertical rods)
- 4 Oil layer
- 5 Slotted pipe skimmer
- 6 Adjustable overflow weir
- 7 Sludge sump
- 8 Chain and flight scraper

[http://en.citizendium.org/images/9/9c/API\\_Separator.png](http://en.citizendium.org/images/9/9c/API_Separator.png)



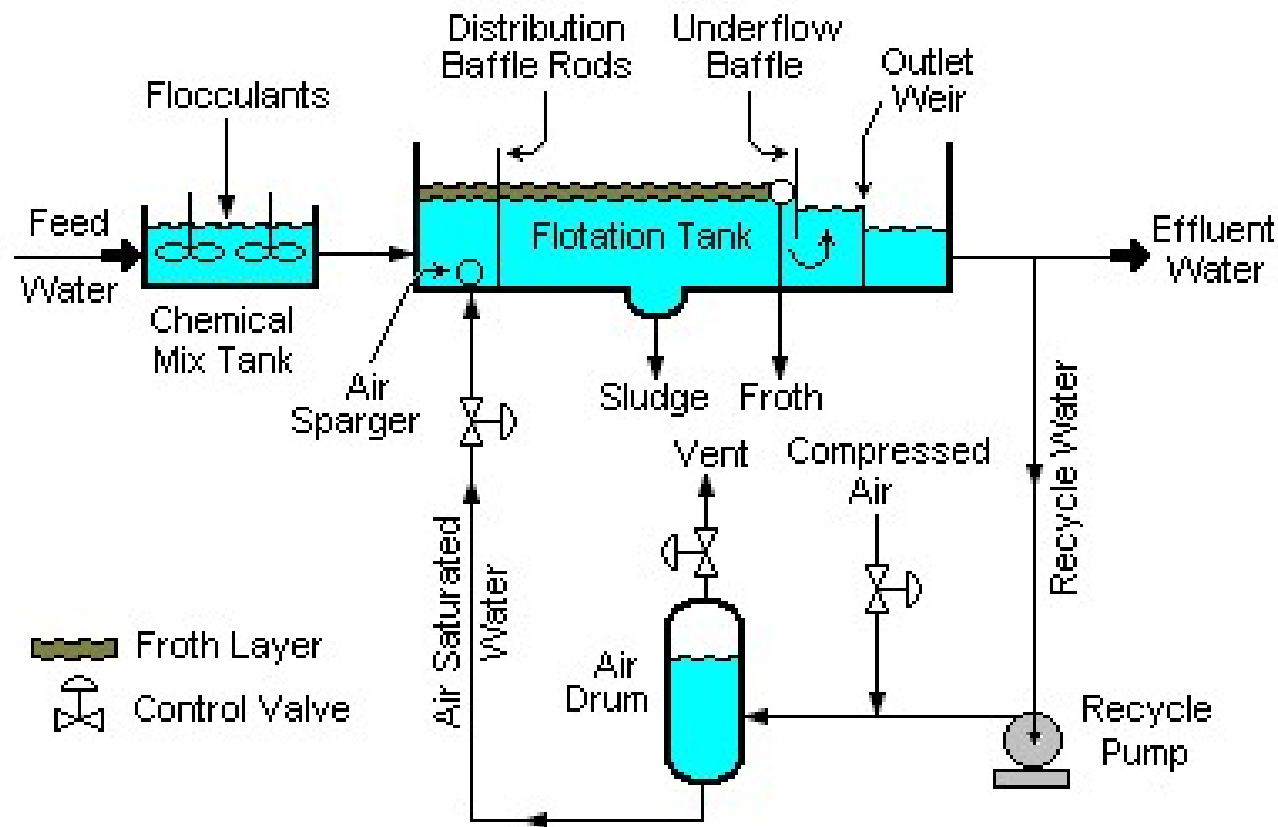
$$F_{buoy.} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_f g$$

$$F_{drag} = 6\pi \cdot r \cdot \mu \cdot u$$

$$Peso = m \cdot g$$



# Flotação por ar dissolvido (DAF)



[https://www.youtube.com/watch?v=2M\\_b7H6fN7I](https://www.youtube.com/watch?v=2M_b7H6fN7I)

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/DAF\\_Unit.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/DAF_Unit.png)

<https://www.youtube.com/watch?v=8dJOiEyLyfg>



# TRATAMENTOS FÍSICO-QUÍMICO E QUÍMICO



# 1. Abrangência

---

- Este item abrange os principais processos químicos e físico-químicos usados no tratamento de efluentes líquidos:
  - Coagulação química;
  - Precipitação química;
  - Desinfecção química;
  - Oxidação química;
  - Processos oxidativos avançados (POA'S);
  - Troca iônica;
  - Neutralização.
- **Todas as modalidades acima podem ser aplicadas tanto em escala de laboratório quanto em plantas de tratamento.**

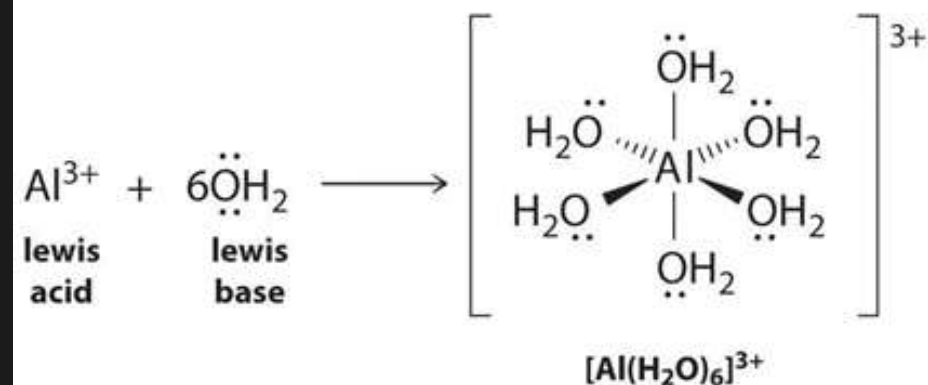
## 1.1. Coagulação Química

---

- As partículas coloidais ( $0,01$  a  $1\mu\text{m}$ ) têm normalmente carga superficial negativa → repulsão mútua;
- O movimento browniano mantém as partículas em suspensão;
- A coagulação envolve reações e interações eletrostáticas responsáveis pela agregação de partículas na faixa coloidal.

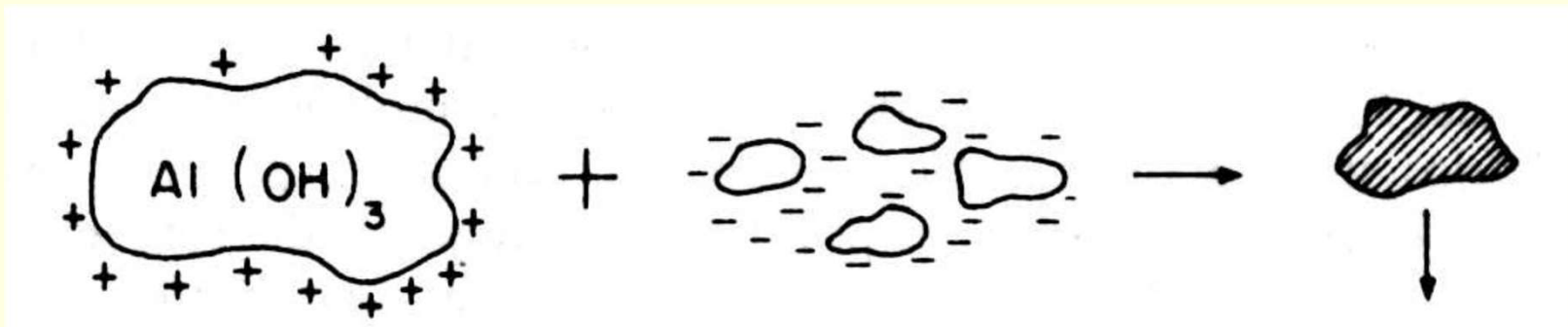
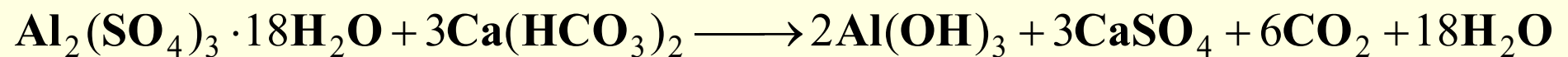


Sulfato de alumínio (5 mg/l a 100 mg/l)  
 Cloreto férrico (5 mg/l a 70 mg/l)  
 Sulfato férrico (8 mg/l a 80 mg/l)  
 Coagulantes orgânicos catiônicos (1 mg/l a 4 mg/l)



## Uso de Íons Metálicos Hidrolisáveis

- Ilustração do processo de coagulação com sulfato de alumínio:



A adição de  $\text{Al}^{3+}$  em excesso provoca a reversão do mecanismo.

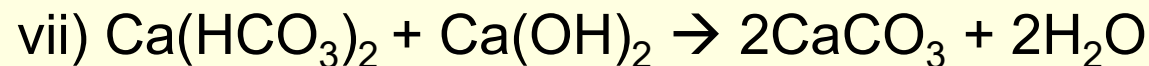
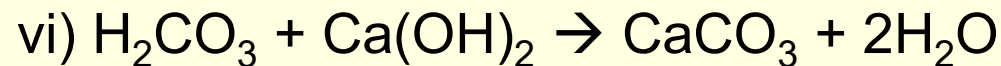
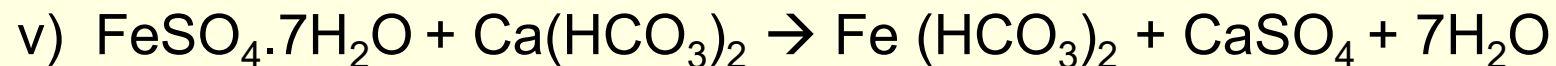
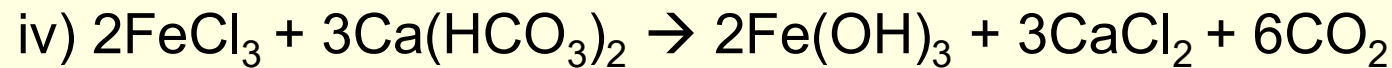
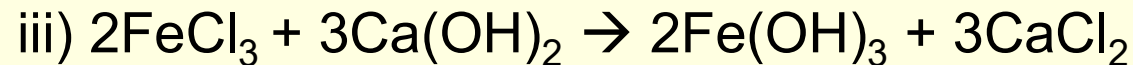
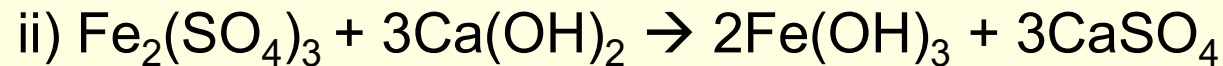
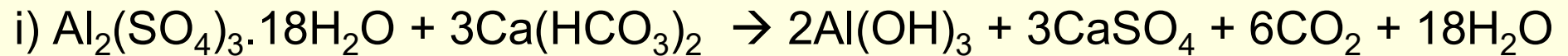


## Substâncias mais utilizadas:

- Sulfato de alumínio,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ;
- Sulfato férrico,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;
- Sulfato ferroso,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- Cloreto férrico,  $\text{FeCl}_3$ ;
- Aluminato de sódio,  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ .

# Principais reações (coagulação)

---



## Estimativa da geração de lodo físico-químico

**Exercício:** Estime a massa e o volume de lodo físico-químico produzidos no tratamento de um efluente usando cloreto férrico como agente coagulante. Estime também a quantidade de alcalinidade requerida para a dosagem de cloreto férrico indicada. Considere que a eficiência do processo seja de 85% e leve em conta os seguintes dados:

Vazão: 1000 m<sup>3</sup>/d;

Teor de SST no efluente: 220 mg/L;

Alcalinidade do efluente (como CaCO<sub>3</sub>): 136 mg/L

Dosagem de FeCl<sub>3</sub>: 40 kg/1000 m<sup>3</sup>;

Massa específica do lodo F-Q: 1050 kg/m<sup>3</sup>;

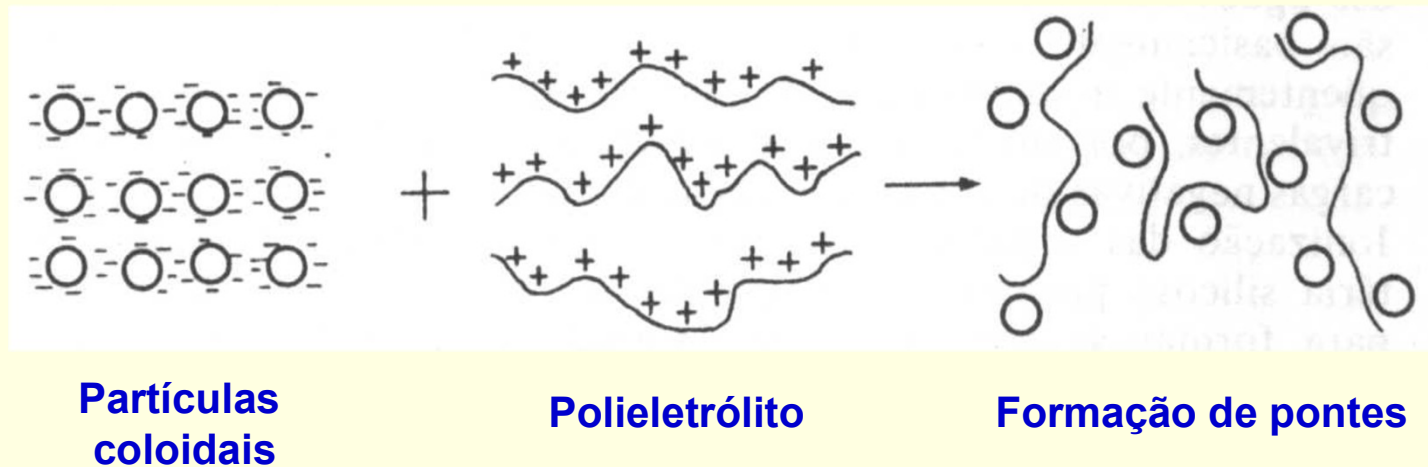
Umidade do lodo F-Q: 92,5%

# Uso de Polieletrólitos

---

- Os polieletrólitos podem ser de duas categorias:
  - Naturais (extratos vegetais, derivados de celulose e alginatos);
  - Sintéticos (polímeros).
  
- Podem ser classificados ainda em:
  - Catiônicos;
  - Aniônicos;
  - Não iônicos.

■ Ilustração da ação de um polieletrólito:



- A mistura inicial é muito importante, pois a reação de coagulação ocorre em frações de segundo:
- Hidrólise de cátions:  $\sim 10^{-3}$  s;
  - Reação com polímeros:  $\sim 10^{-2}$  s.

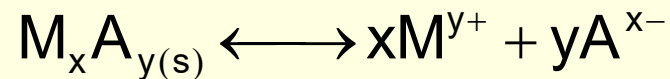
## 1.2. Precipitação Química

---

- A precipitação química envolve a adição de produtos químicos que alteram o estado físico das partículas dissolvidas ou suspensas;
- A separação por sedimentação é facilitada;
- É uma técnica muito utilizada na remoção de metais pesados e de outras espécies solúveis presentes em efluentes;
- A co-precipitação remove conjuntamente outras substâncias, inclusive matéria orgânica.

## a) Solubilidade e Produto de Solubilidade

- Para um eletrólito sólido qualquer, pouco solúvel, pode-se utilizar a seguinte expressão para converter solubilidade em produto de solubilidade:



$$K_{ps} = x^x \cdot y^y \cdot S^{(x+y)}$$

$$S = \sqrt[x+y]{\frac{K_{ps}}{x^x \cdot y^y}}$$

- Para converter a solubilidade em mol/L para mg/L, pode-se usar a expressão:

$$S\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = S\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) \times MM\left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \times 10^3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\right)$$



## b) Teores Remanescentes de Alguns Metais em Solução

| METAL    | CONC.<br>RESIDUAL, mg/L | TÉCNICA                                          |
|----------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Arsênio  | 0,05                    | Pptação como $\text{As}_2\text{S}_3$ e filtração |
|          | 0,005                   | Co- pptação com $\text{Fe}(\text{OH})_3$         |
| Bário    | 0,5                     | Pptação como $\text{BaSO}_4$                     |
| Cádmio   | 0,05                    | Pptação como $\text{Cd}(\text{OH})_2$ (pH 10-11) |
|          | 0,05                    | Co- pptação com $\text{Fe}(\text{OH})_3$         |
|          | 0,008                   | Pptação como $\text{CdS}$                        |
| Cobre    | 0,02 – 0,07             | Pptação como $\text{Cu}(\text{OH})_2$            |
|          | 0,01-0,02               | Pptação como $\text{CuS}$                        |
| Mercúrio | 0,01 – 0,02             | Pptação como $\text{HgS}$                        |
|          | 0,001 – 0,01            | Co- Pptação com $\text{Al}(\text{OH})_3$         |
|          | 0,0005–0,005            | Co- Pptação com $\text{Fe}(\text{OH})_3$         |
|          | 0,001 – 0,005           | Troca iônica                                     |
| Níquel   | 0,12                    | Pptação como $\text{Ni}(\text{OH})_2$ (pH 10)    |
| Zinco    | 0,1                     | Pptação como $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (pH 10)    |

| Parâmetro       | CONAMA 430/2011<br>Art. 16 |
|-----------------|----------------------------|
| pH              | 5,0 – 9,0                  |
| Cobre (mg/L)    | 1,0                        |
| Cádmio (mg/L)   | 0,2                        |
| Mercúrio (mg/L) | 0,01                       |
| Níquel (mg/L)   | 2,0                        |
| Zinco (mg/L)    | 5,0                        |
| Arsênio (mg/L)  | 0,5                        |
| Prata (mg/L)    | 0,1                        |
| Selênio (mg/L)  | 0,30                       |

**Fonte:** METCALF & EDDY (2003).

## 1.3. Oxidação Química

---

- A oxidação de compostos presentes em efluentes envolve o uso de agentes químicos tais como:
  - Ozônio;
  - Peróxido de hidrogênio;
  - Permanganato de sódio ou de potássio;
  - Cloro, hipoclorito ou dióxido de cloro;
  - Oxigênio.
- Alguns contaminantes críticos podem ser facilmente tornados inócuos por oxidação química, a exemplo de:
  - Cianeto;
  - Sulfeto.

## a) Potenciais Padrões Ligados a Alguns Agentes Oxidantes

| AGENTE OXIDANTE        | SEMI-REAÇÃO                                                                                         | POTENCIAL DE OXIDAÇÃO (V) |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Ozônio                 | $\text{O}_3 + 2\text{e}^- \longleftrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$                      | +2,07                     |
| Peróxido de hidrogênio | $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longleftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$          | +1,78                     |
| Permanganato           | $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \longleftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,67                     |
| Dióxido de cloro       | $\text{ClO}_2 + \text{e}^- \longleftrightarrow \text{ClO}_2^-$                                      | +1,50                     |
| Ácido hipocloroso      | $\text{HOCl} + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \longleftrightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$       | +1,49                     |
| Cloro gasoso           | $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \longleftrightarrow 2\text{Cl}^-$                                        | +1,36                     |
| Oxigênio               | $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longleftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$                    | +1,23                     |
| Hipoclorito            | $\text{OCl}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longleftrightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$    | +0,90                     |
| Clorito                | $\text{ClO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longleftrightarrow \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$ | +0,76                     |
| Iodo                   | $\text{I}_2 + 2\text{e}^- \longleftrightarrow 2\text{I}^-$                                          | +0,54                     |

TABLE 9-8

Standard electrode potentials at 25°C<sup>56-59</sup>

| Reaction                                                                                               | E <sup>0</sup> , volts |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| $\text{Cl}_{2(g)} + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$                                                     | +1.36                  |
| $\text{HOCl} + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$                         | +1.49                  |
| $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$                      | +0.90                  |
| $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{NH}_3 + \text{OH}^-$ | +0.75                  |
| $\text{NHCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{NH}_3 + 2\text{OH}^-$     | +0.79                  |
| $\text{NH}_3\text{Cl}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{NH}_4^+$                   | +1.40                  |
| $\text{NHCl}_2 + 3\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{NH}_4^+$                          | +1.34                  |
| $\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$                          | +2.07                  |
| $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$                         | +1.24                  |
| $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$                            | +1.78                  |
| $\text{HO}_2^- + 2e^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{OH}^-$                                   | +0.85                  |
| $\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 5e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$                     | +1.71                  |
| $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$                   | +1.68                  |
| $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$                 | +1.49                  |
| $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$                  | +0.58                  |
| $\text{O}_{2(g)} + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$                                 | +1.23                  |
| $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$                                     | +0.40                  |
| $\text{HBrO} + \text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$                         | +1.33                  |
| $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$                   | +1.23                  |
| $\text{ClO}_2 + e^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$                                                        | +1.15                  |
| $\text{Fe}(\text{OH})_3 + e^- + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$          | +1.06                  |
| $\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$                                                      | +0.77                  |
| $\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 5e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$                     | +0.76                  |

|                                                                                                                           |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\text{ClO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{ClO}_2 + 2\text{OH}^-$                                        | +0.35 |
| $\text{S}_{(s)} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{S}_{(g)}$                                                | +0.17 |
| $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$                                       | +0.01 |
| $\frac{1}{4}\text{CO}_{2(g)} + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{24}(\text{glucose}) + \frac{1}{4}\text{H}_2\text{O}$ | -0.20 |
| $\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_{2(g)}$                                                                 | 0     |
| $\text{Na}^+ + e^- \rightarrow \text{Na}_{(s)}$                                                                           | -2.72 |
| $\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Mg}_{(s)}$                                                                       | -2.37 |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$                      | +1.33 |
| $\text{Cr}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$                                                                         | -0.41 |
| $\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Fe}_{(s)}$                                                                       | -0.44 |
| $\text{Cu}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Cu}^+$                                                                            | +0.16 |
| $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}_{(s)}$                                                                       | +0.34 |
| $\text{Ag}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Ag}^+$                                                                            | +2.0  |
| $\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}_{(s)}$                                                                           | +0.8  |
| $\text{AgCl}_{(s)} + e^- \rightarrow \text{Ag}_{(s)} + \text{Cl}^-$                                                       | +0.22 |
| $\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Au}_{(s)}$                                                                       | +1.5  |
| $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}_{(s)}$                                                                       | -0.76 |
| $\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}_{(s)}$                                                                       | -0.40 |
| $\text{Hg}_2\text{Cl}_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2\text{Hg}_{(l)} + 2\text{Cl}^-$                                          | +0.27 |
| $\text{Mn}(\text{OH})_3 + e^- \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$                                           | +0.15 |
| $\text{Mn}(\text{OH})_3 + 2e^- \rightarrow \text{Mn} + 2\text{OH}^-$                                                      | -1.56 |
| $2\text{Hg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$                                                                     | +0.91 |
| $\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}_{(s)}$                                                                       | -1.68 |
| $\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}_{(s)}$                                                                       | -0.14 |
| $\text{PbO}_{2(s)} + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2e^- \rightarrow \text{PbSO}_{4(s)} + 2\text{H}_2\text{O}$          | +1.68 |
| $\text{Pb}_2^{+} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}_{(s)}$                                                                      | -0.13 |
| $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$                                       | +0.84 |

LaGrega et al. (2010)

## Procedimento:

---

Critério de espontaneidade:

$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ} = -RT \ln K$$

Cálculo de  $E^{\circ}$ :

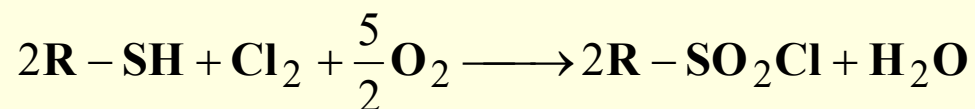
$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q$$

$$Q = \frac{\prod_i [\text{Pr oduto}_i]^{x_i}}{\prod_i [\text{Re agente}_i]^{y_i}}$$

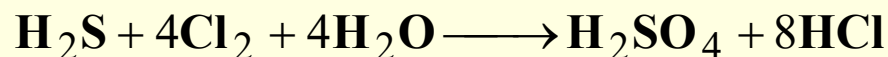
LaGrega et al. (2010)

## b) Oxidação com Cloro

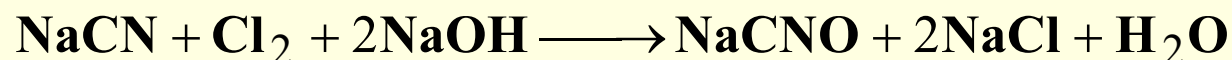
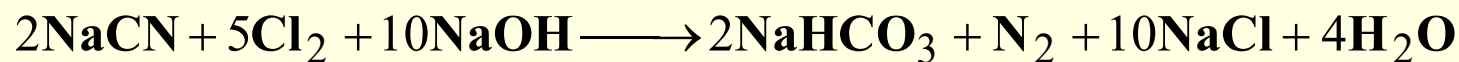
- Reação com o grupamento sufidril (desnaturação de proteínas):



- Remoção de sulfeto:

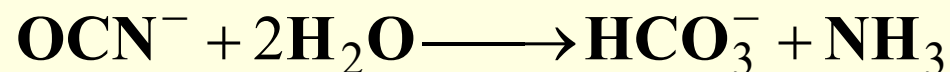
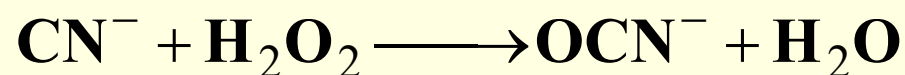


- Remoção de cianeto:



## c) Oxidação com $\text{H}_2\text{O}_2$

- O peróxido de hidrogênio destrói o cianeto de acordo com as reações:



- As concentrações de peróxido de hidrogênio não devem ser elevadas.

## 1.4. Neutralização

---

- A neutralização consiste na remoção do excesso de acidez ou alcalinidade;
- A correção do pH torna o efluente menos agressivo com respeito à corrosão;
- Normalmente utiliza-se uma substância mais barata.



## a) Substâncias mais Utilizadas

Os produtos mais utilizados são:

- Carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ ;
- Hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ ;
- Óxido de cálcio,  $\text{CaO}$ ;
- Bicarbonato de sódio,  $\text{NaHCO}_3$ ;
- Carbonato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- Hidróxido de sódio;
- Gás carbônico,  $\text{CO}_2$ ;
- Ácido clorídrico comercial,  $\text{HCl}$ ;
- Ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Bases

Ácidos

# **TRATAMENTO SECUNDÁRIO**

# 1.Generalidades

---

- Aplicado a efluentes de natureza orgânica;
- A biodegradabilidade do efluente deve ser adequada. Às vezes é necessário corrigi-la;
- Classificação:
  - Aeróbio – em presença de  $O_2$  molecular;
  - Anaeróbio – na ausência de  $O_2$  molecular;
  - Anóxico – o nitrato é convertido biologicamente a nitrogênio gasoso na ausência de oxigênio;
  - Facultativo – a microbiota atua na presença ou na ausência de  $O_2$ ;
  - Híbrido – combinação de modalidades.

## O Papel dos Microrganismos

---

C  $\longrightarrow$   $\text{CO}_2$  ou  $\text{CH}_4$

H  $\longrightarrow$   $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$  ou  $\text{CH}_4$

O  $\longrightarrow$   $\text{H}_2\text{O}$  ou ácidos orgânicos

N  $\longrightarrow$   $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2$

S  $\longrightarrow$   $\text{H}_2\text{S}$  ou  $\text{SO}_4^{=}$

P  $\longrightarrow$   $\text{PO}_4^{3-}$

## 2. Tanques Sépticos

---

NORMA  
BRASILEIRA

**ABNT NBR  
17076**

Primeira edição  
26.04.2024

---

**Projeto de sistema de tratamento de esgoto de  
menor porte — Requisitos**

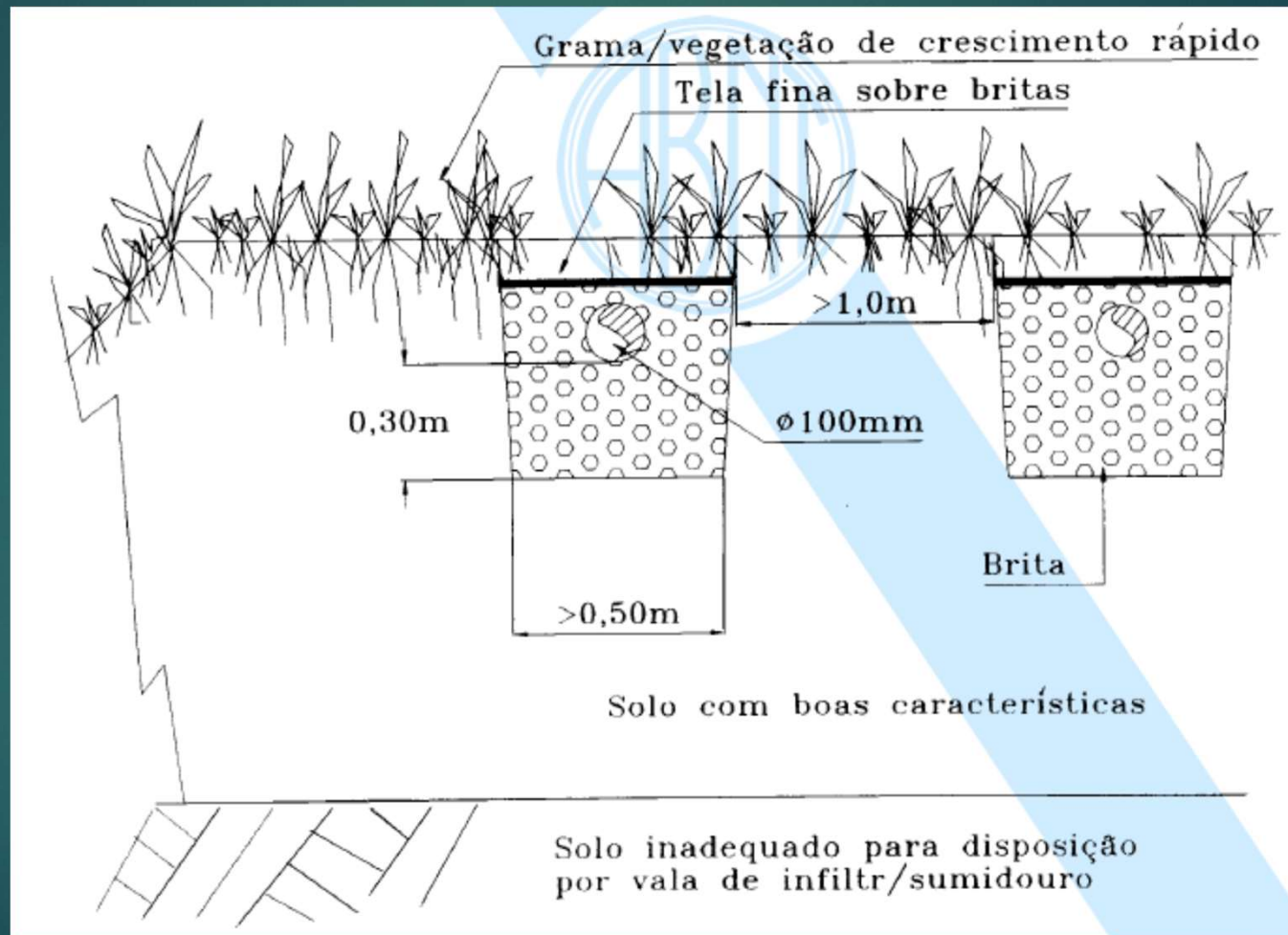
*Design Small domestic wastewater treatment systems — Requirements*

# Fossas Sépticas com Valas de Infiltração

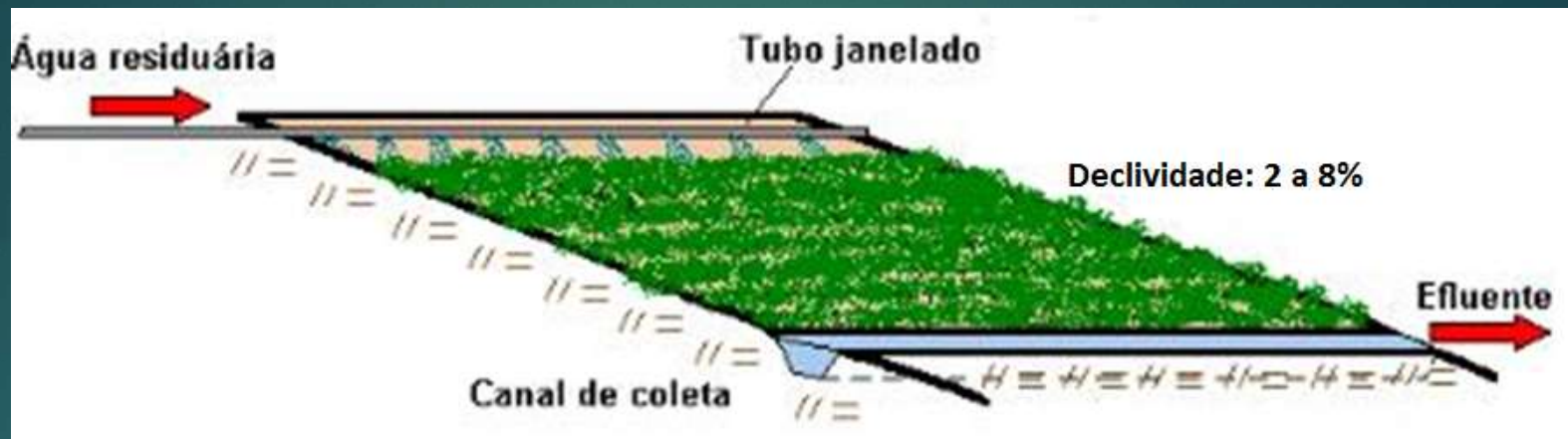
(ABNT NBR 13.969:1997)



# Valas de Infiltração em Campo Construído (ABNT NBR 13.969:1997)



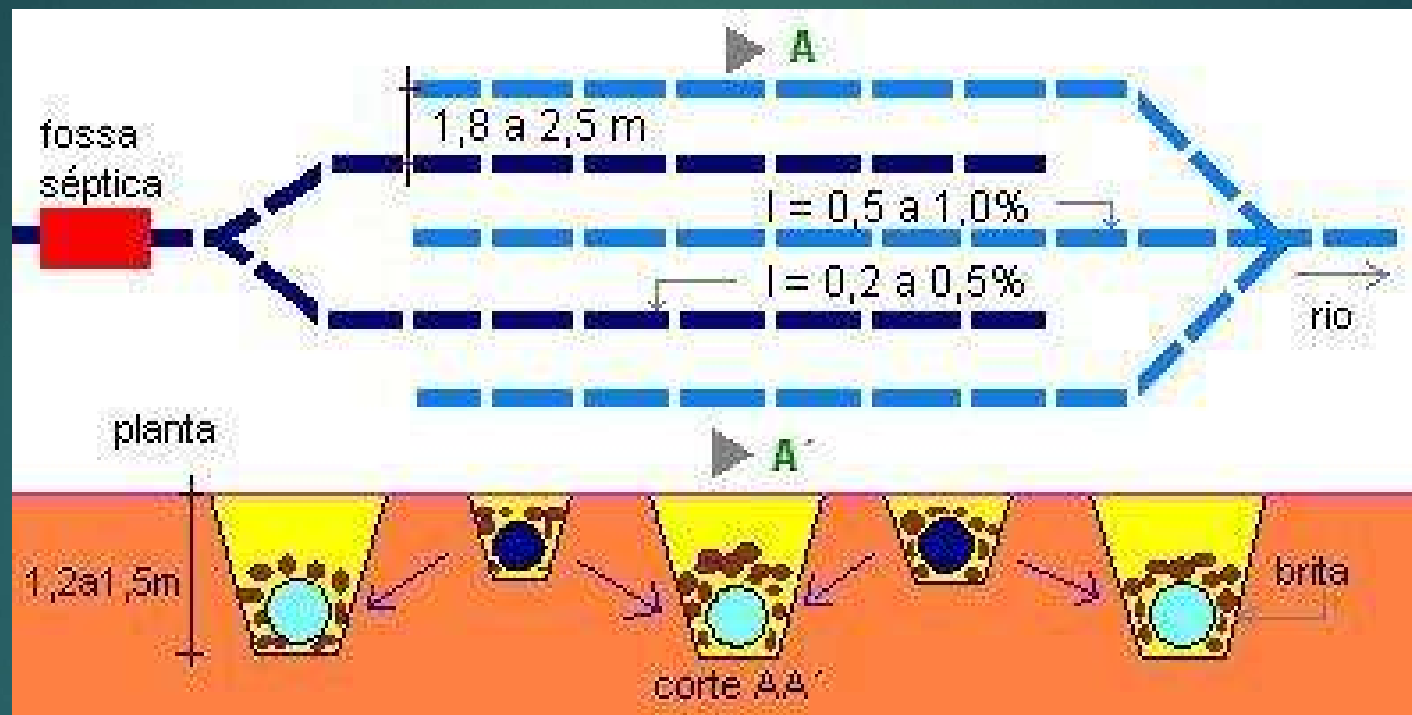
# Valas de Infiltração em Campo Construído (ABNT NBR 13.969:1997)



<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais?part=6>



# Valas de Infiltração em Campo Construído



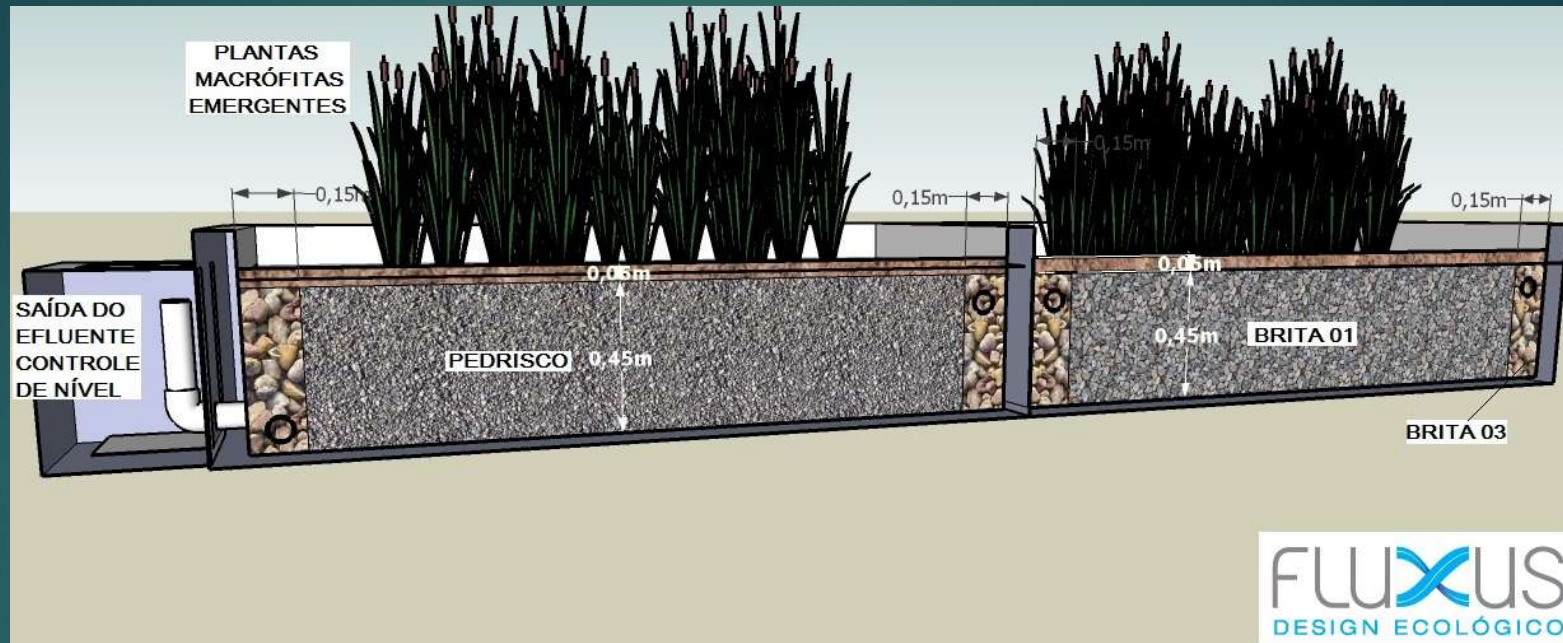
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais?part=6>

# ETE Convencional



<http://meioambientedjc.blogspot.com.br/2011/10/ete-tratamento-secundario.html>

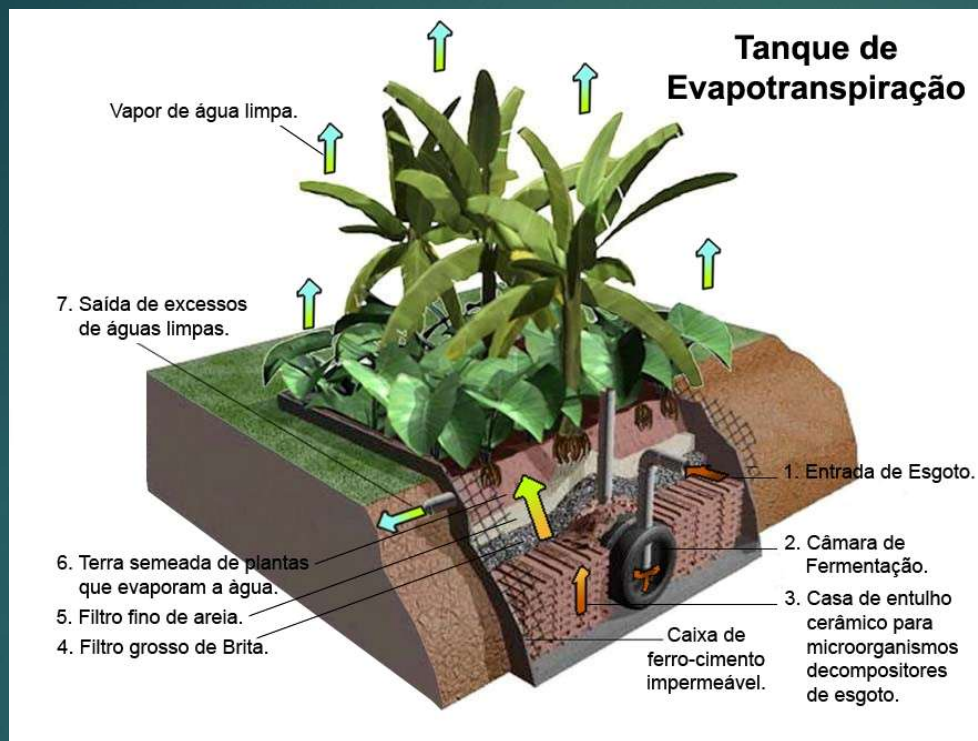
# Wetlands...



<https://fluxusdesignecologico.files.wordpress.com/2013/06/horizontal.jpg>



## ...e similares



<http://www.ecoeficientes.com.br/bet-como-tratar-o-esgoto-de-forma-ecologica/>

### 3.Sistema de Lagoas

---



<http://jorcyaguiar.blogspot.com.br/2012/04/aguas-residuarias.html>

## 4.Lodos Ativos

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
12209

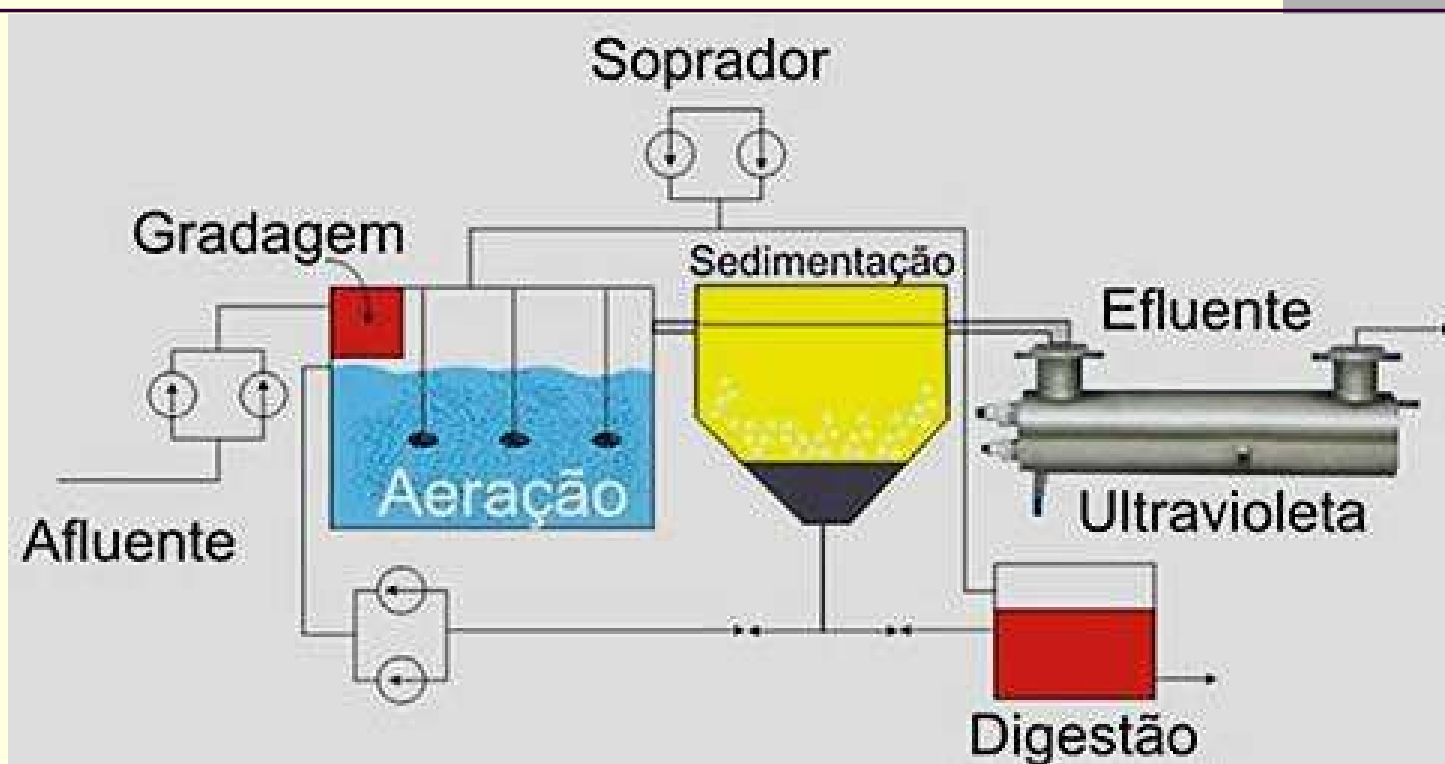
Segunda edição  
24.11.2011

Válida a partir de  
24.12.2011

---

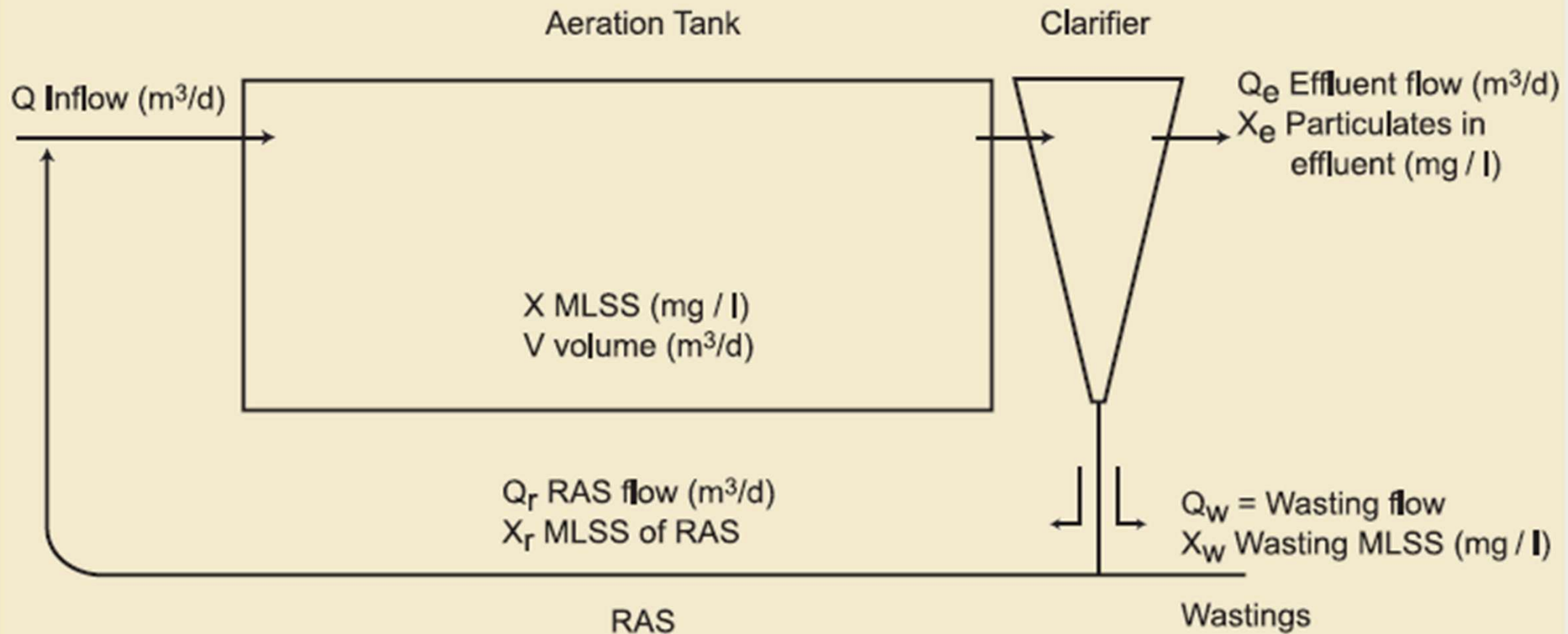
**Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de  
estações de tratamento de esgotos sanitários**

Hydraulic and sanitary engineering design for wastewater treatment plants



<http://www.snatural.com.br/Estacao-Compacta-Efluentes-Tratamento.html>

# Variáveis para o Dimensionamento





## ■ Parâmetros típicos de projeto:

| PROCESSO                                         | $\theta_c$<br>(dias) | F/M<br>(lb DBO/lb<br>MLVSS/d) | VLR<br>(lb DBO/10 <sup>3</sup> ft <sup>3</sup> /d) | MLSS<br>(mg/L)           | (V/Q)<br>(h)     | Q <sub>r</sub> /Q |
|--------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| Plug flow                                        | 3-15                 | 0,2-0,6                       | 20-40                                              | 1000-3000                | 4-8              | 0,25-0,75         |
| Mistura completa                                 | 0,75-15              | 0,2-1,0                       | 50-120                                             | 800-6500                 | 3,5              | 0,25-1,0          |
| Alimentação escalonada                           | 3-15                 | 0,2-0,5                       | 40-60                                              | 1500-3500                | 3-5              | 0,25-0,75         |
| Nitrificação em único estágio                    | 8-20                 | 0,10-0,20                     | 5-20                                               | 1500-3500                | 6-15             | 0,50-1,50         |
| Nitrificação em estágios distintos               | 15-100               | 0,05-0,20                     | 3-9                                                | 1500-3500                | 3-6              | 0,5-2,0           |
| Estabilização por contato                        | 5-15                 | 0,2-0,6                       | 60-75                                              | 1000-3000<br>(4000-9000) | 0,5-1,0<br>(3-6) | 0,5-1,5           |
| Aeração estendida                                | 20-40                | 0,04-0,10                     | 5-15                                               | 2000-8000                | 18-36            | 0,5-1,5           |
| Valo de oxidação                                 | 15-30                | 0,04-0,10                     | 5-15                                               | 2000-8000                | 8-36             | 0,5-1,5           |
| Aeração estendida com<br>decantação intermitente | 12-25                | 0,04-0,08                     | 5-15                                               | 2000-8000                | 20-40            | NA                |
| Reatores sequenciais em batelada                 | 10-30                | 0,04-0,10                     | 5-15                                               | 2000-8000                | 12-50            | NA                |

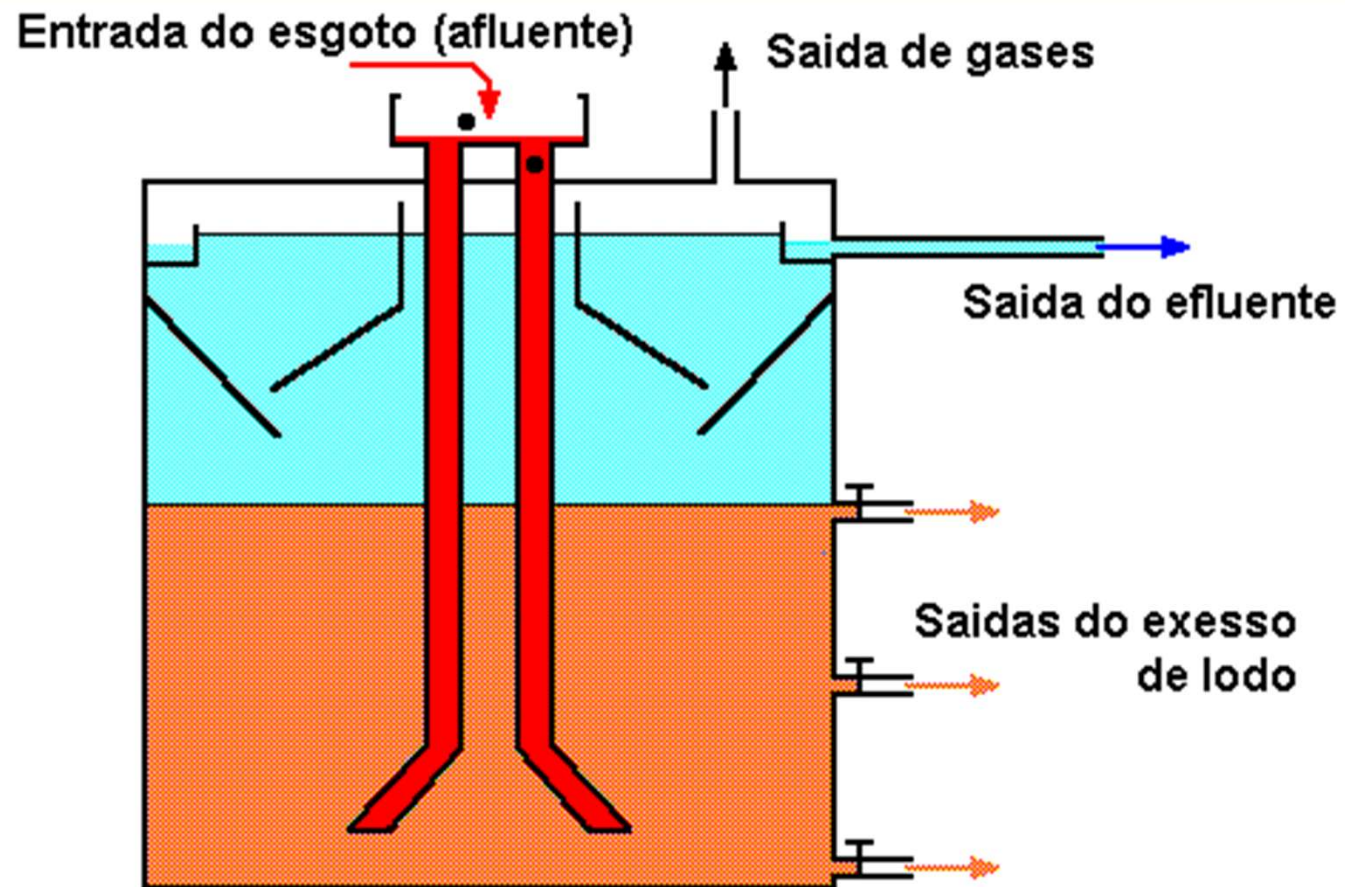
### Simbologia:

$\theta_c$  – idade do lodo;

MLVSS – Sólidos suspensos voláteis no reator;

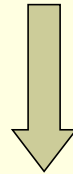
MLSS - Sólidos suspensos voláteis no reator.

## 5. Reator anaeróbico (DAFA ou UASB)



# Polímeros

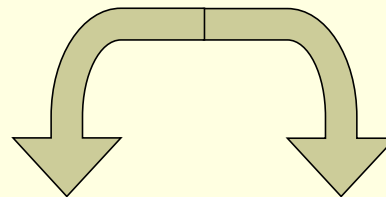
(polissacarídeos, lipídeos, proteínas)



Microrg. degradadores

## Monômeros

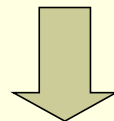
(açúcares, ácidos graxos, aminoácidos)



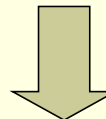
fermentação

acetato

$H_2 + CO_2$



metanogênese



$CH_4 + CO_2$

$CH_4$

## 6. Filtro percolador



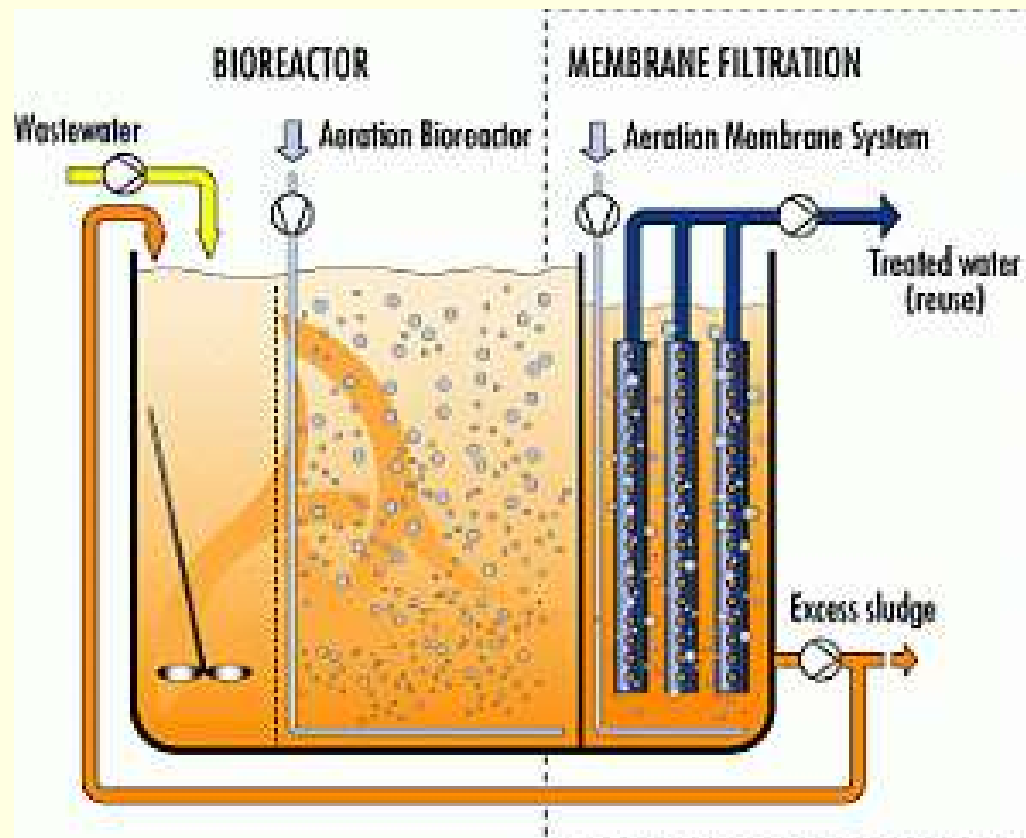
[web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4041.html](http://web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4041.html)

## 7.Reatores com Biofilme em Leito Móvel (MBBR)



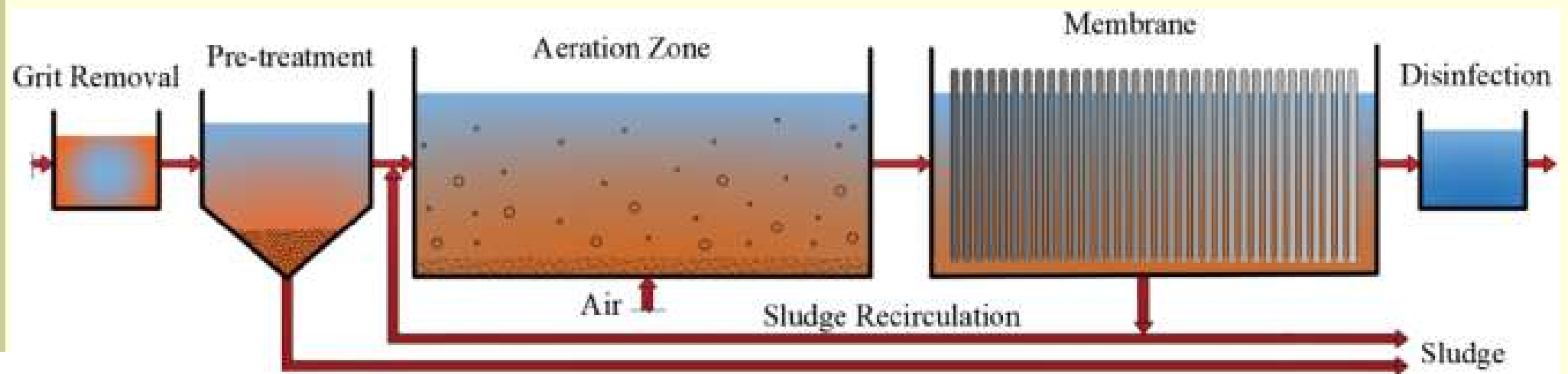
<http://www.sanying.com.tw/images/Chines10.gif>

## 8. Biorreator com Membranas (MBR)



[http://www.triqua.eu/Triqua/fs3\\_site.nsf/htmlViewDocuments](http://www.triqua.eu/Triqua/fs3_site.nsf/htmlViewDocuments)





## Desempenho dos Processos

| PROCESSO                    | TDH<br>(dias)          | DBO <sub>5</sub> limite<br>(mg/L) | REMOÇÃO DE<br>DBO <sub>5</sub> (%) |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Lodo ativo                  | 0,2–1,5 <sup>(a)</sup> | < 10.000                          | 85-95                              |
| Lagoa de estabilização      | 10-120                 | < 1.000                           | 60-90                              |
| Lagoa aerada                | 2-7                    | < 5.000                           | 70-90                              |
| Filtro percolador           | < 1                    | < 5.000                           | 70-90                              |
| Contator biológico rotativo | < 1                    | < 5.000                           | 80-90                              |
| Reator anaeróbio (UASB)     | ~1                     | < 15.000                          | 65-85 <sup>(b)</sup>               |

(a) No caso de valos de oxidação.

(b) Expresso em termos de remoção de DQO.

Fonte: QASIM & CHIANG (1994).

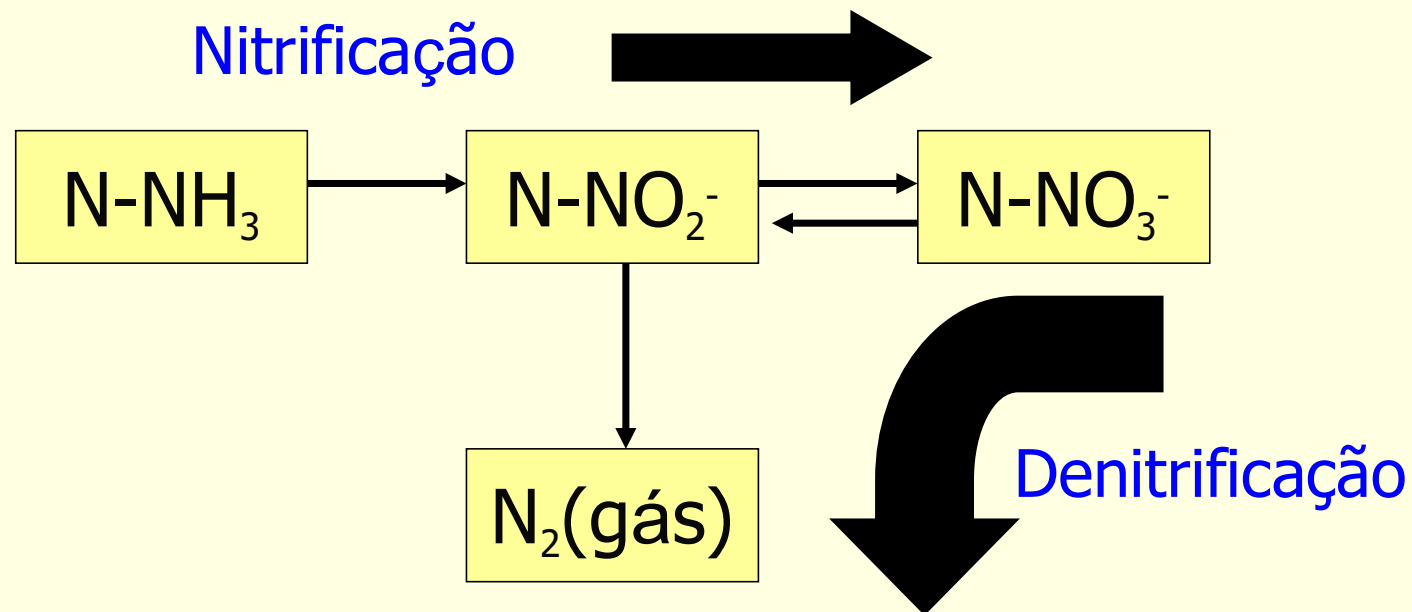




# **TRATAMENTOS TERCIÁRIO E AVANÇADO**

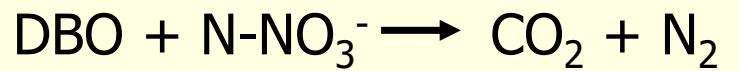


# 1. Nitrificação e Denitrificação

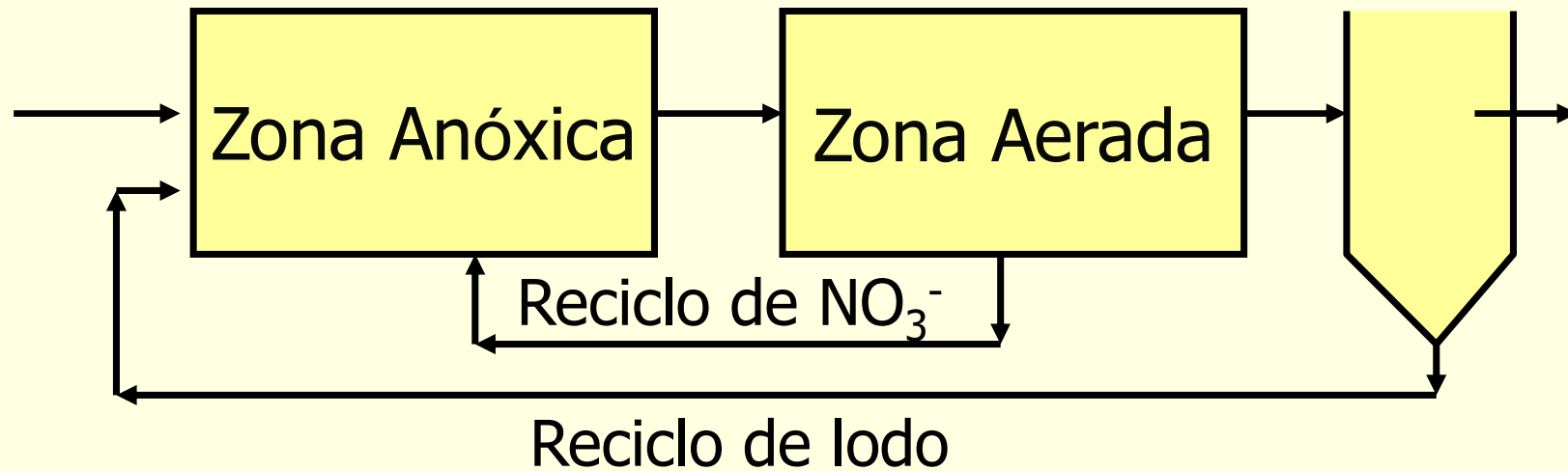


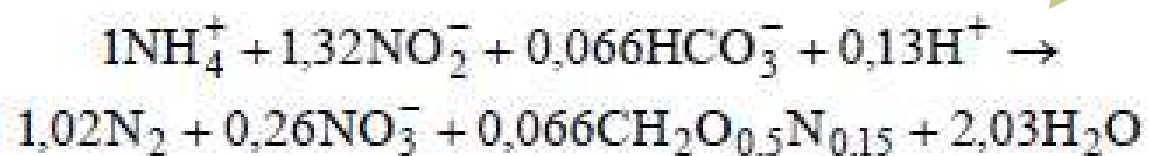
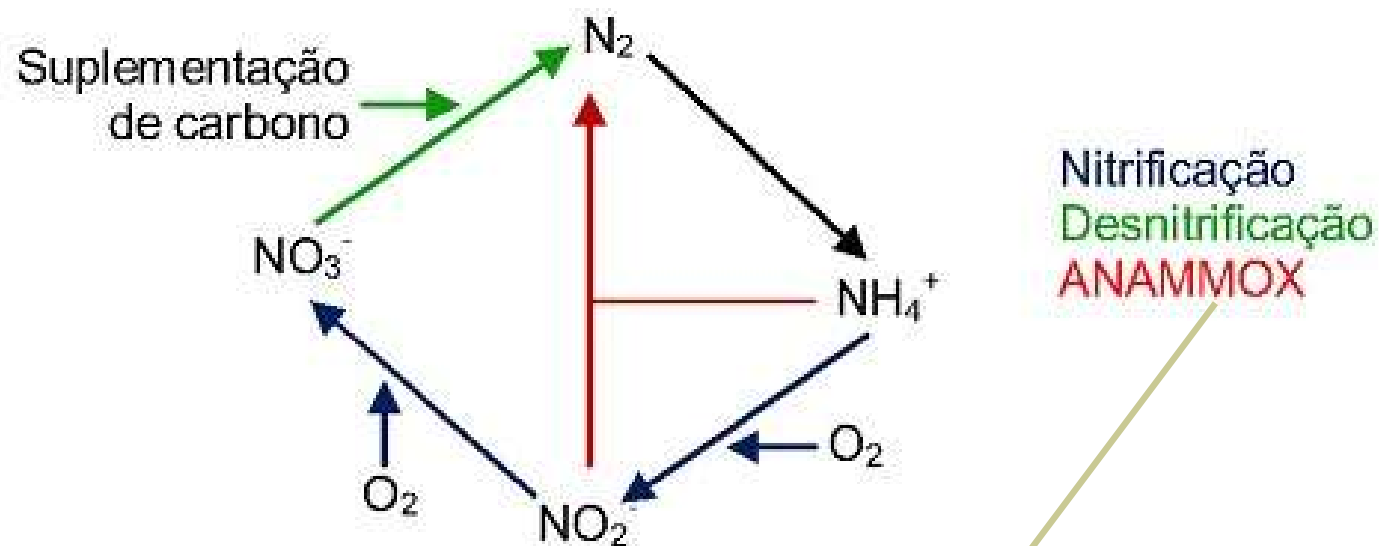
A nitrificação ocorre quando o teor de OD for suficiente;  
A denitrificação ocorre em condições anóxicas.

Denitrificação



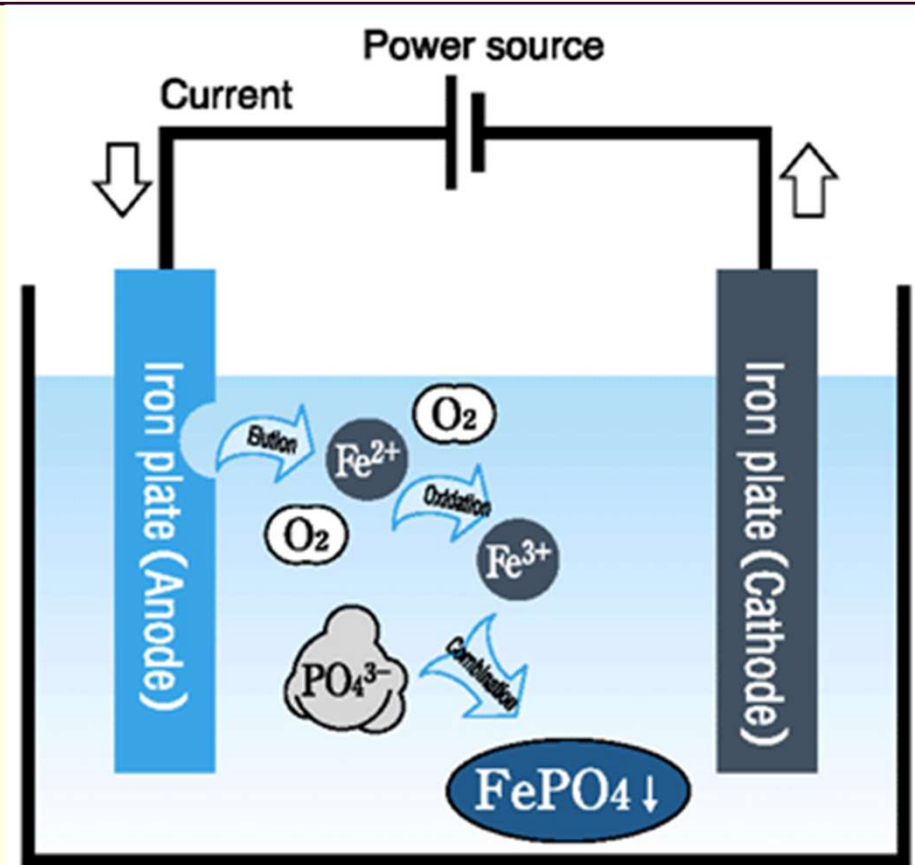
Nitrificação





[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011001200011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001200011)

## 2. Remoção de Fósforo

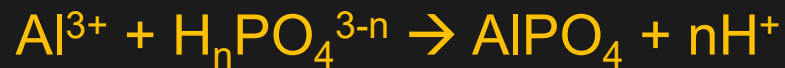


[http://www.gec.jp/water/data/img/wtfig\\_24-1-3.gif](http://www.gec.jp/water/data/img/wtfig_24-1-3.gif)

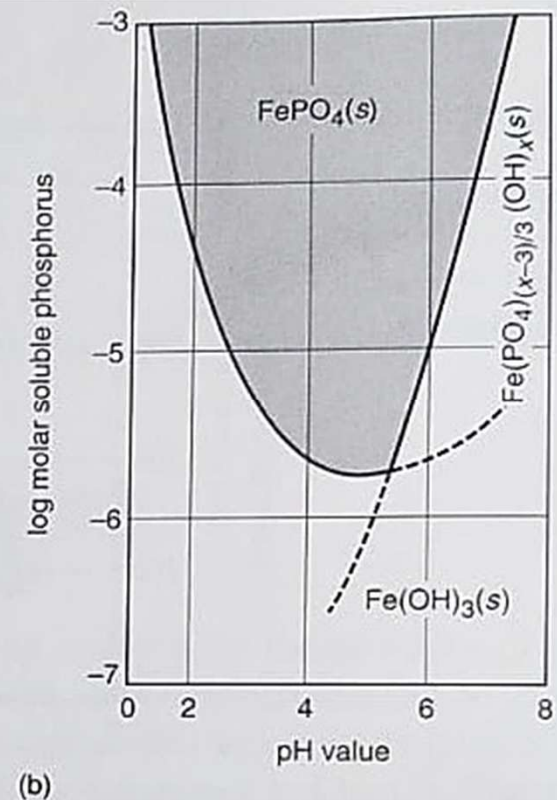
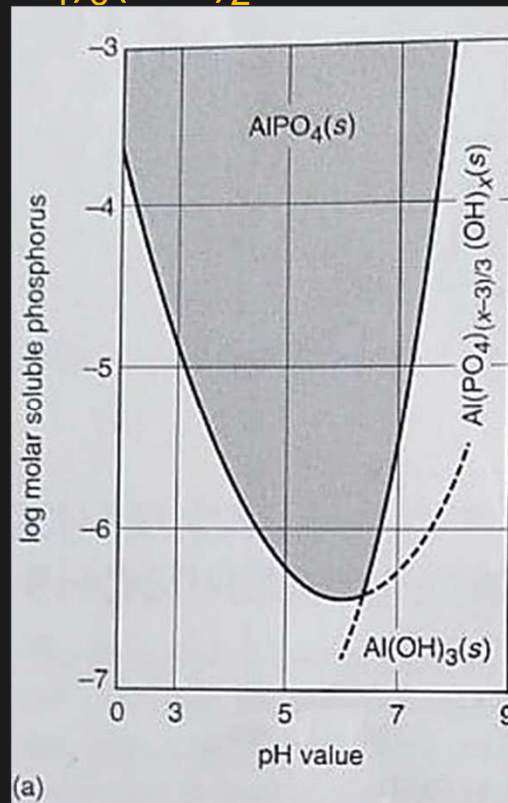
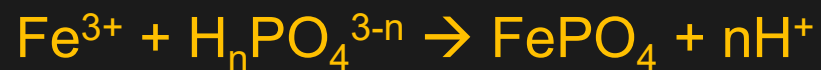
i) Precipitação do fosfato com cálcio:



ii) Precipitação com alumínio:



iii) Precipitação com ferro:



### 3. Adsorção

---



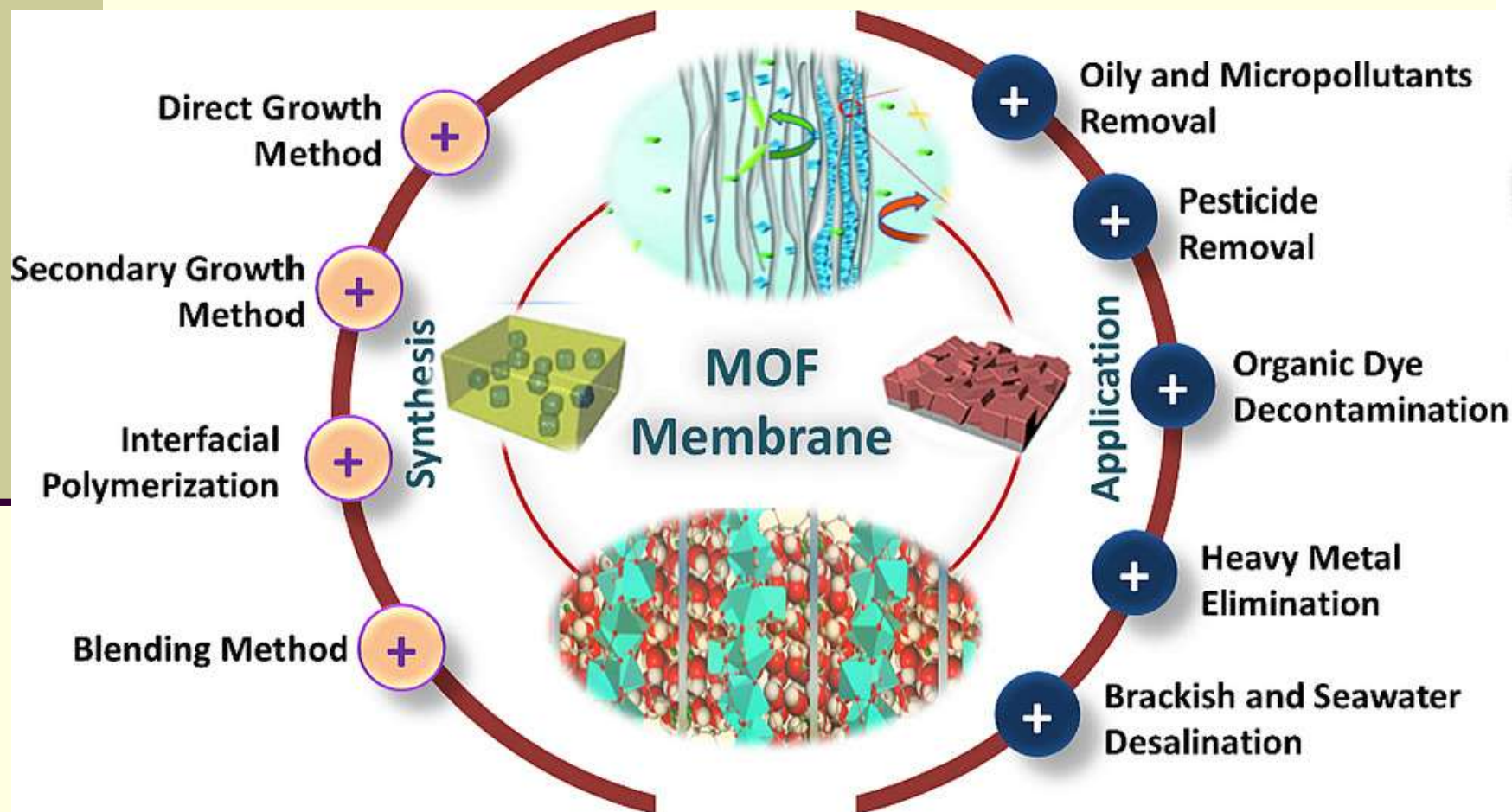
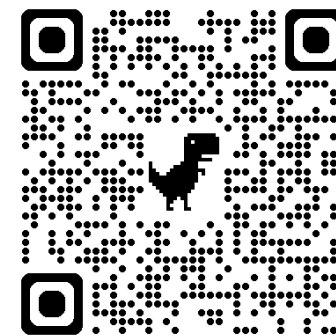
Área superficial: 900 m<sup>2</sup>/g a 1100 m<sup>2</sup>/g



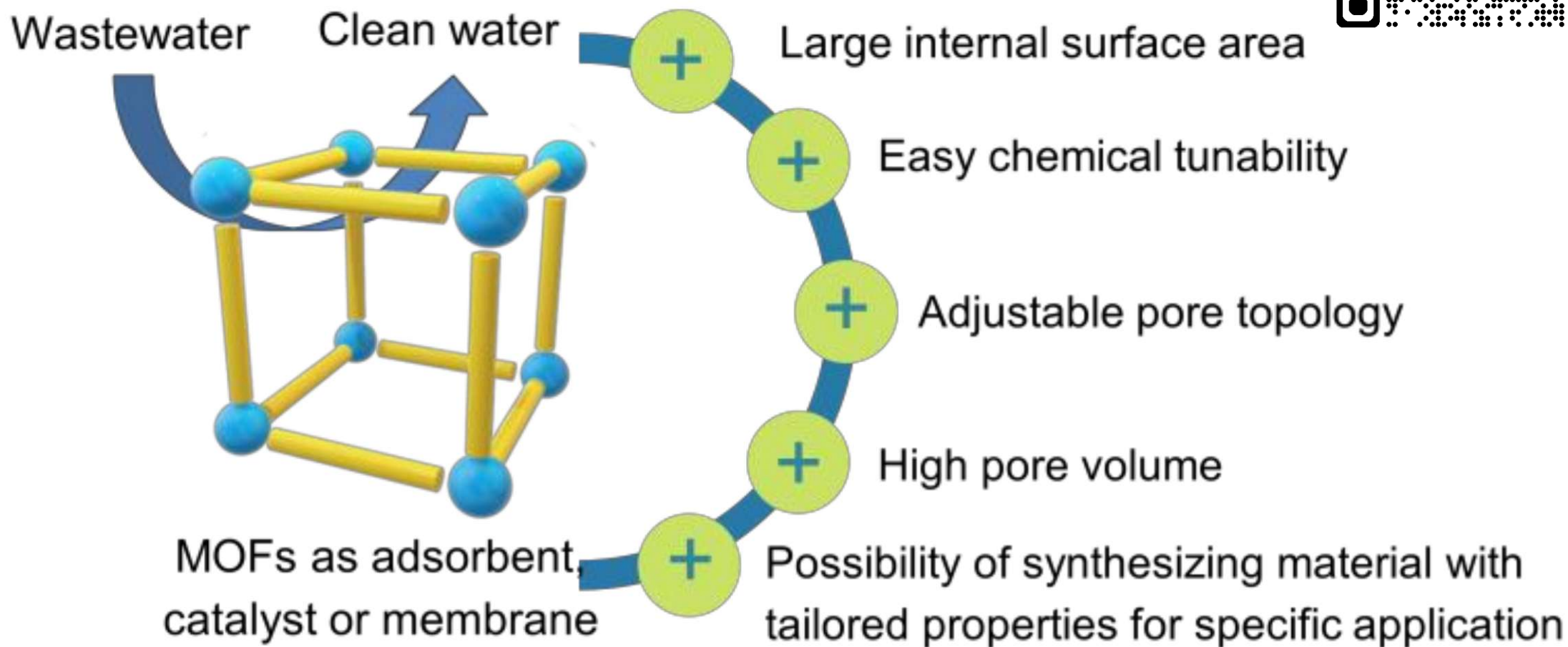
Área superficial: 900 m<sup>2</sup>/g a 1.100 m<sup>2</sup>/g



# MOFs (*Metalorganic frameworks*)



# MOFs (*Metalorganic frameworks*)



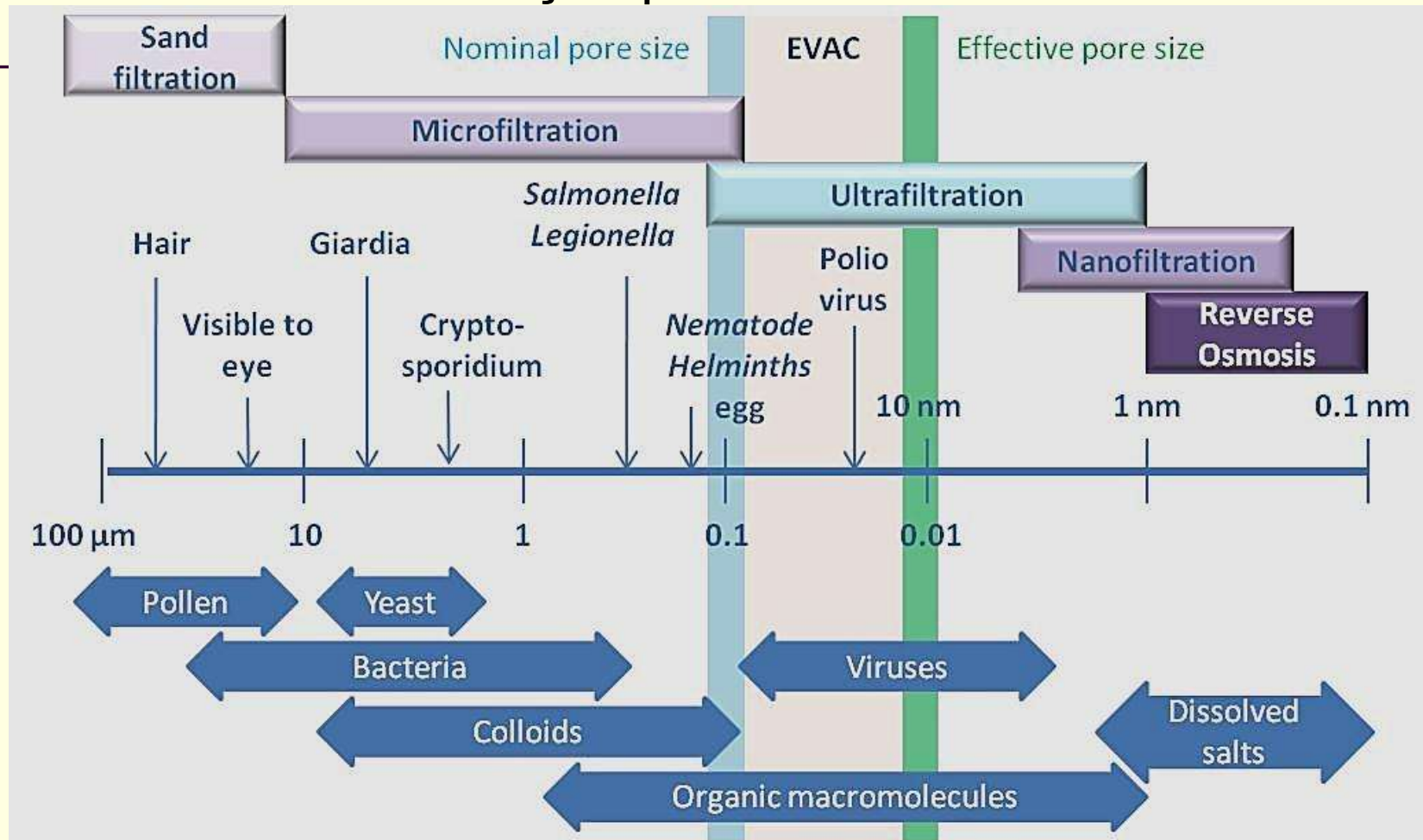
## 4.Membranas

---



[www.gec.jp/.../WATER/WATER\\_2/html/Doc\\_238.html](http://www.gec.jp/.../WATER/WATER_2/html/Doc_238.html)

# Comparação entre filtração convencional e filtração por membranas

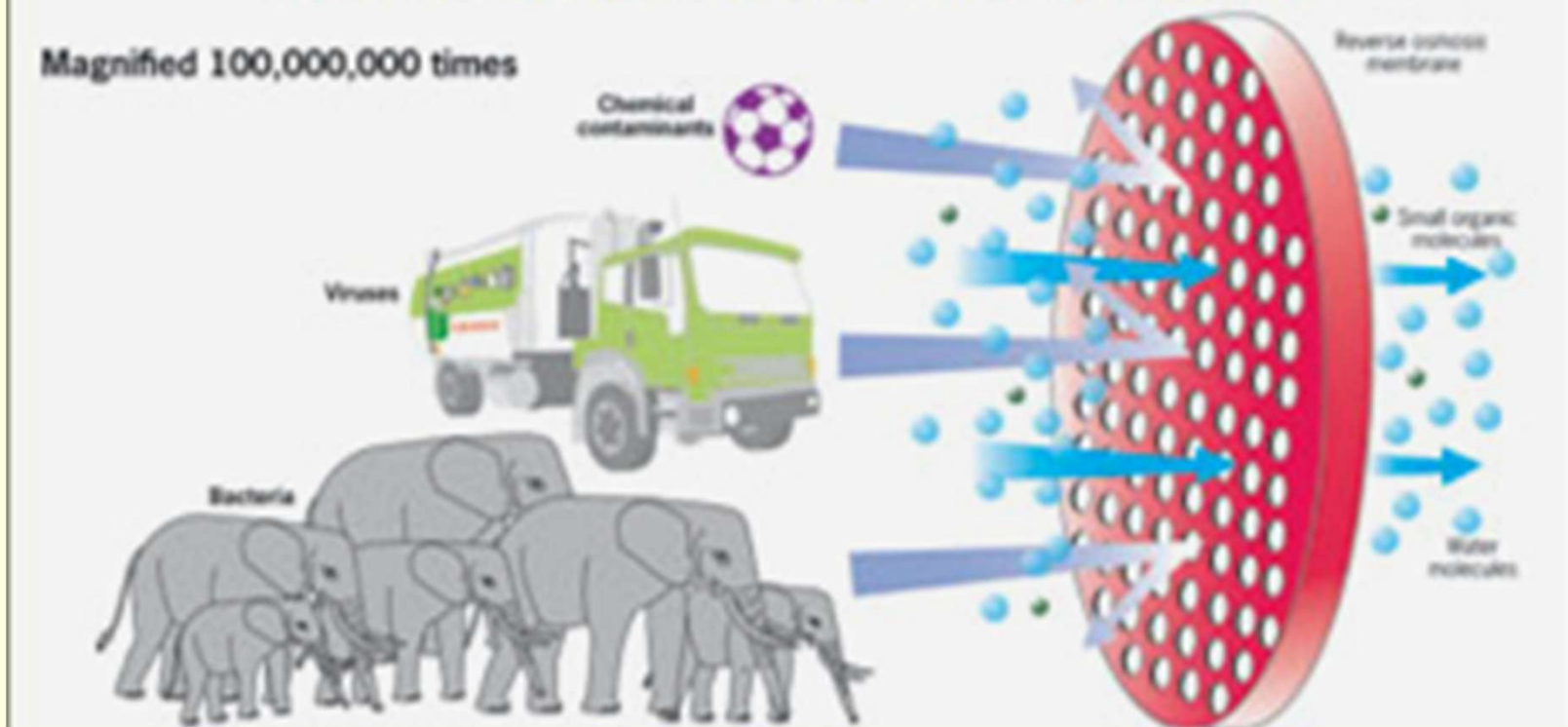


<http://evacbuilding.com/products/wastewater-treatment-plants/advanced-wastewater-treatment>

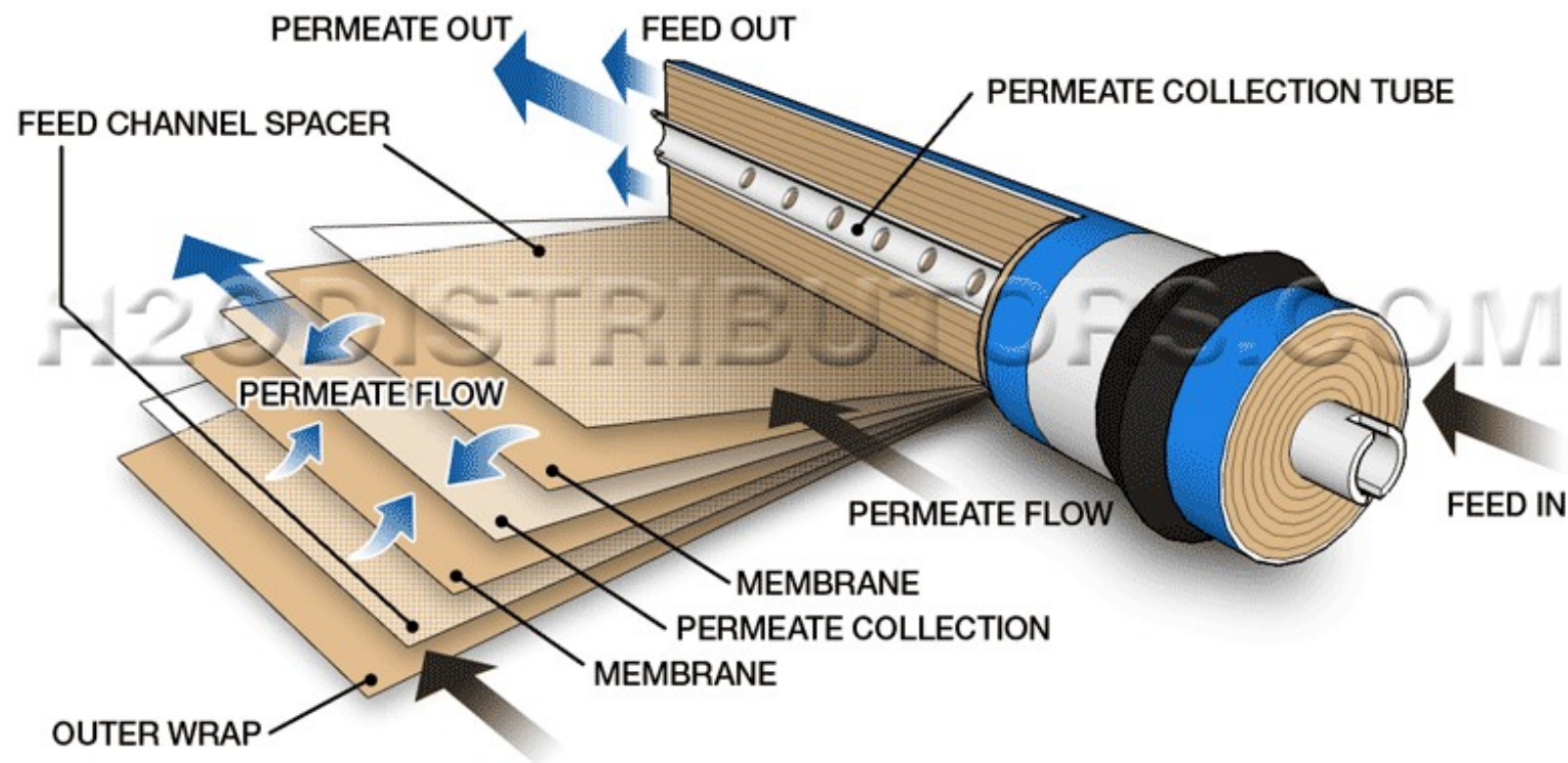


## How does reverse osmosis work?

Magnified 100,000,000 times



<http://www.hastings.nsw.gov.au/www/html/2826-the-process.asp>



<http://www.h2odistributors.com/reverse-osmosis-membranes.asp>

| Membrane             | Separation size ( $\mu\text{m}$ ) | Typical transmembrane pressure, $\Delta P$ (MPa) |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Reverse osmosis (RO) | $<0.001$                          | 5–8                                              |
| Nanofiltration (NF)  | 0.001–0.008                       | 0.5–1.5                                          |
| Ultrafiltration (UF) | 0.003–0.1                         | 0.05–0.5                                         |
| Microfiltration (MF) | $>0.05$                           | 0.03–0.3                                         |

## 5.Processos Oxidativos Avançados (POA'S)

---

- Os processos oxidativos avançados são utilizados para oxidar substâncias orgânicas complexas presentes em efluentes;
- Os produtos da oxidação são normalmente menos tóxicos ou mais facilmente biodegradáveis;
- Tais processos envolvem tipicamente a geração dos radicais hidroxila,  $\text{OH}^\bullet$
- Os radicais hidroxila têm poder oxidante superior aos demais agentes, exceto o flúor.



## a) Comparação Entre Agentes Oxidantes

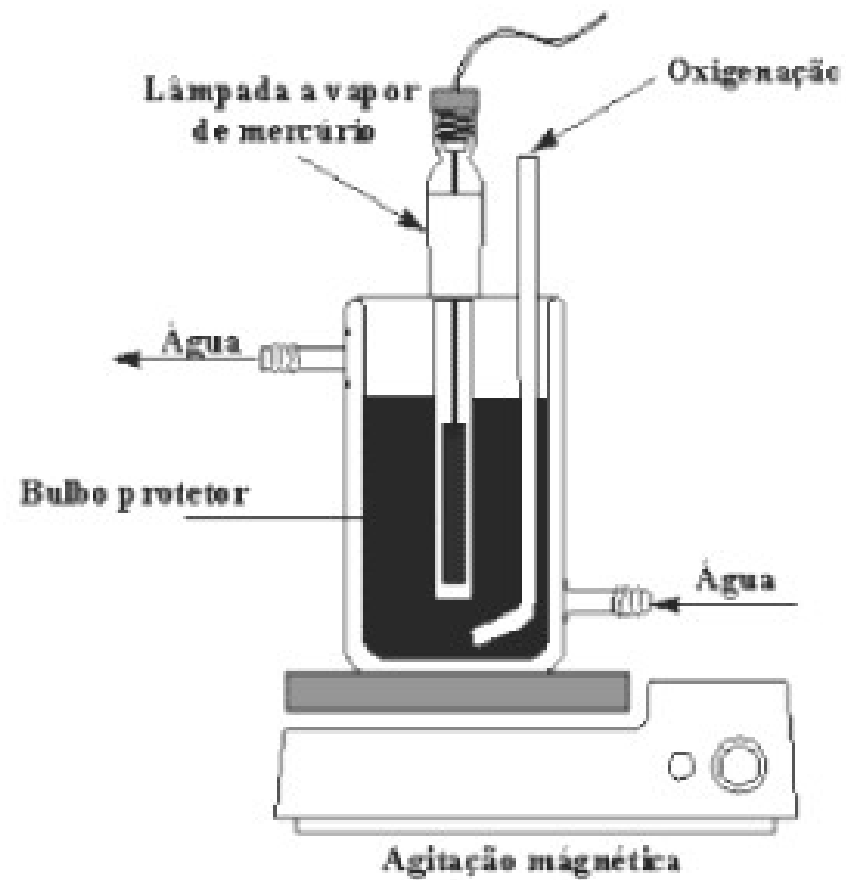
| AGENTE<br>OXIDANTE            | E° (V) | PO Relativo ao<br>Cloro |
|-------------------------------|--------|-------------------------|
| Flúor                         | 3,06   | 2,25                    |
| Radicais hidroxila            | 2,80   | 2,05                    |
| Oxigênio atômico              | 2,42   | 1,78                    |
| Ozônio                        | 2,08   | 1,52                    |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 1,78   | 1,30                    |
| Hipoclorito                   | 1,49   | 1,10                    |
| Cloro                         | 1,36   | 1,00                    |
| Dióxido de cloro              | 1,27   | 0,93                    |
| Oxigênio molecular            | 1,23   | 0,90                    |

## b) Tecnologias Utilizadas

| PROCESSOS BASEADOS NO OZÔNIO  | PROCESSOS NÃO BASEADOS NO OZÔNIO   |
|-------------------------------|------------------------------------|
| $O_3$ (pH 8 – 10)             | $H_2O_2$ + UV                      |
| $O_3$ + $UV_{254}$            | $H_2O_2$ + UV + $Fe^{2+}$ (Fenton) |
| $O_3$ + $H_2O_2$              | Irrad. com feixe de elétrons       |
| $O_3$ + $UV_{254}$ + $H_2O_2$ | Ultrassônicos                      |
| $O_3$ + $TiO_2$               | Efeito corona                      |
| $O_3$ + $TiO_2$ + $H_2O_2$    | Fotocatálise (UV + $TiO_2$ )       |
| $O_3$ + Irrad. com elétrons   | Oxidação catalítica                |
| $O_3$ + Ultrassom             |                                    |

## c) Ilustração

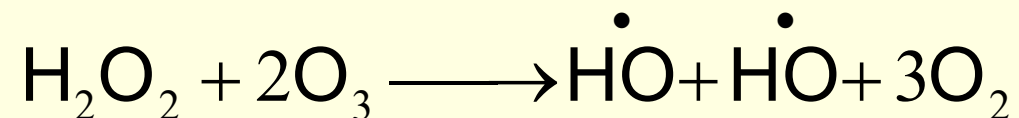
Oxigênio + UV



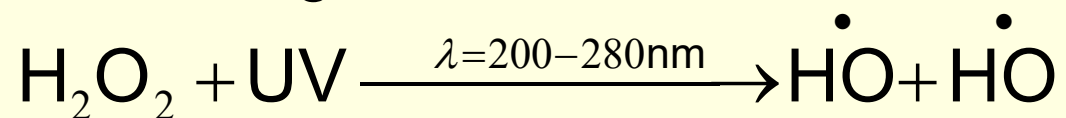
**Fonte:** <http://www.scielo.br/img/revistas/esa/v9n4/a06fig01.gif>

## d) Reações

- Ozônio/Peróxido de hidrogênio:



- Peróxido de hidrogênio/UV:

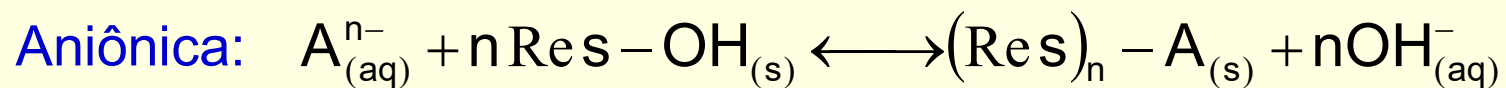
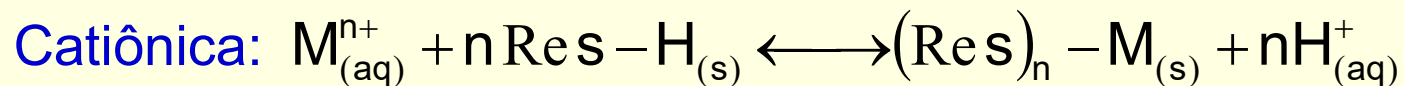
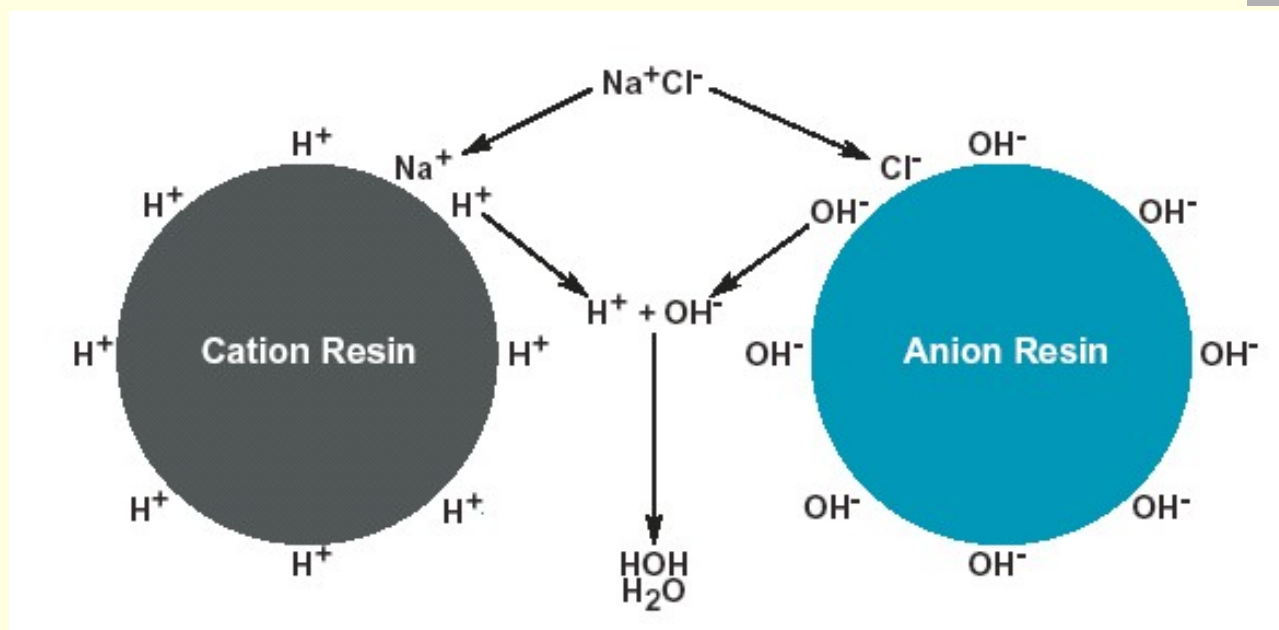


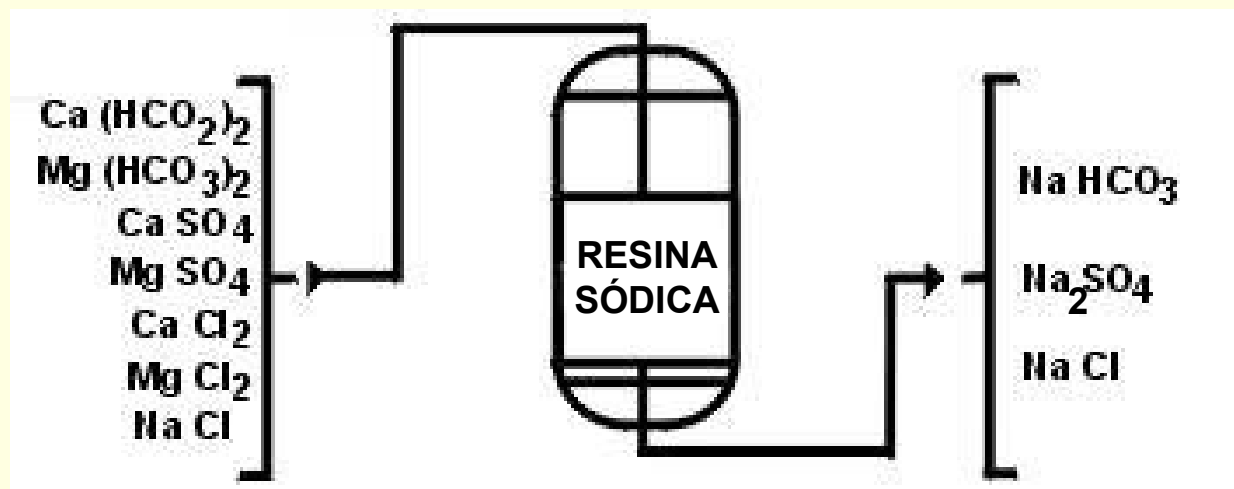
## 6.Troca Iônica

---

- A troca iônica pode ser definida como um intercâmbio reversível de íons entre uma fase aquosa e uma fase sólida, na qual não há mudança permanente na estrutura da fase sólida;
- No passado, os materiais mais utilizados no abrandamento de águas por troca iônica foram as zeólitas;
- A “desmineralização” consiste na troca de íons minerais por  $H^+$  e  $OH^-$  oriundos das resinas catiônica e aniônica, respectivamente.

## a) Mecanismo de Troca Iônica

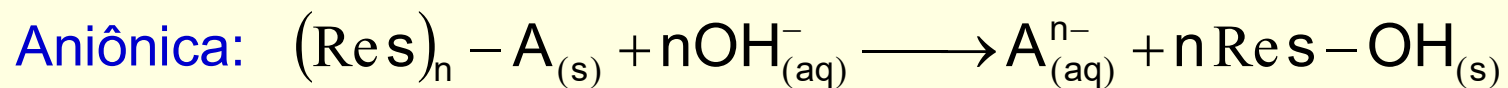
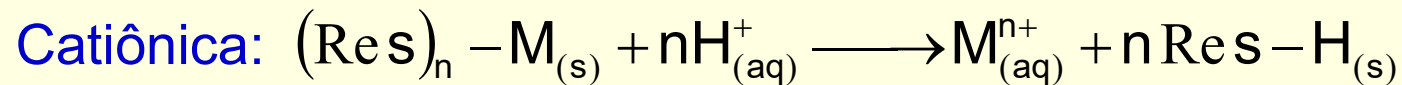
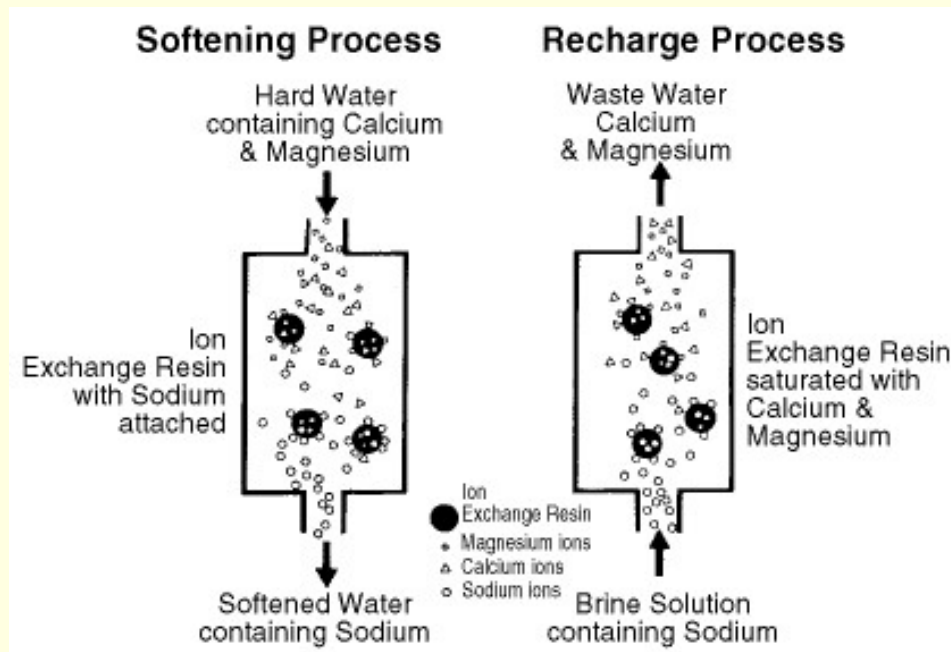




- A técnica ilustrada acima serve como meio para remover metais pesados de efluentes;
- Após saturação da resina, os metais retidos podem ser lixiviados, produzindo um pequeno volume de efluente.



## b) Mecanismo de Regeneração



## c) Tipos de Resinas

### ■ Resinas catiônicas:

- Fortemente ácidas – comportam-se como um ácido forte; ↑ ionização.  
Exemplo:  $\text{R-SO}_3\text{H}$  (grupo sulfônico)
- Fracamente ácidas – comportam-se como ácidos fracos; ↓ ionização; sofre grande influência do pH.  
Exemplo:  $\text{R-COOH}$  (grupo carboxila).

### ■ Resinas aniônicas:

- Fortemente básicas – comportamento de bases fortes; ↑ ionização.
  - Exemplo:  $\text{R-NH}_3\text{OH}$  (derivada de hidroxilaminas)
- Fracamente básicas – comportamento similar ao de bases fracas; ↓ ionização; grande influência do pH.
  - Exemplo:  $\text{R-NH}_2$  (derivada de aminas)

## c) Tipos de Resinas

---

- Resinas quelantes (seletivas para metais pesados):
  - Derivadas de agentes quelantes, principalmente o EDTA;
  - Possuem custo muito elevado.

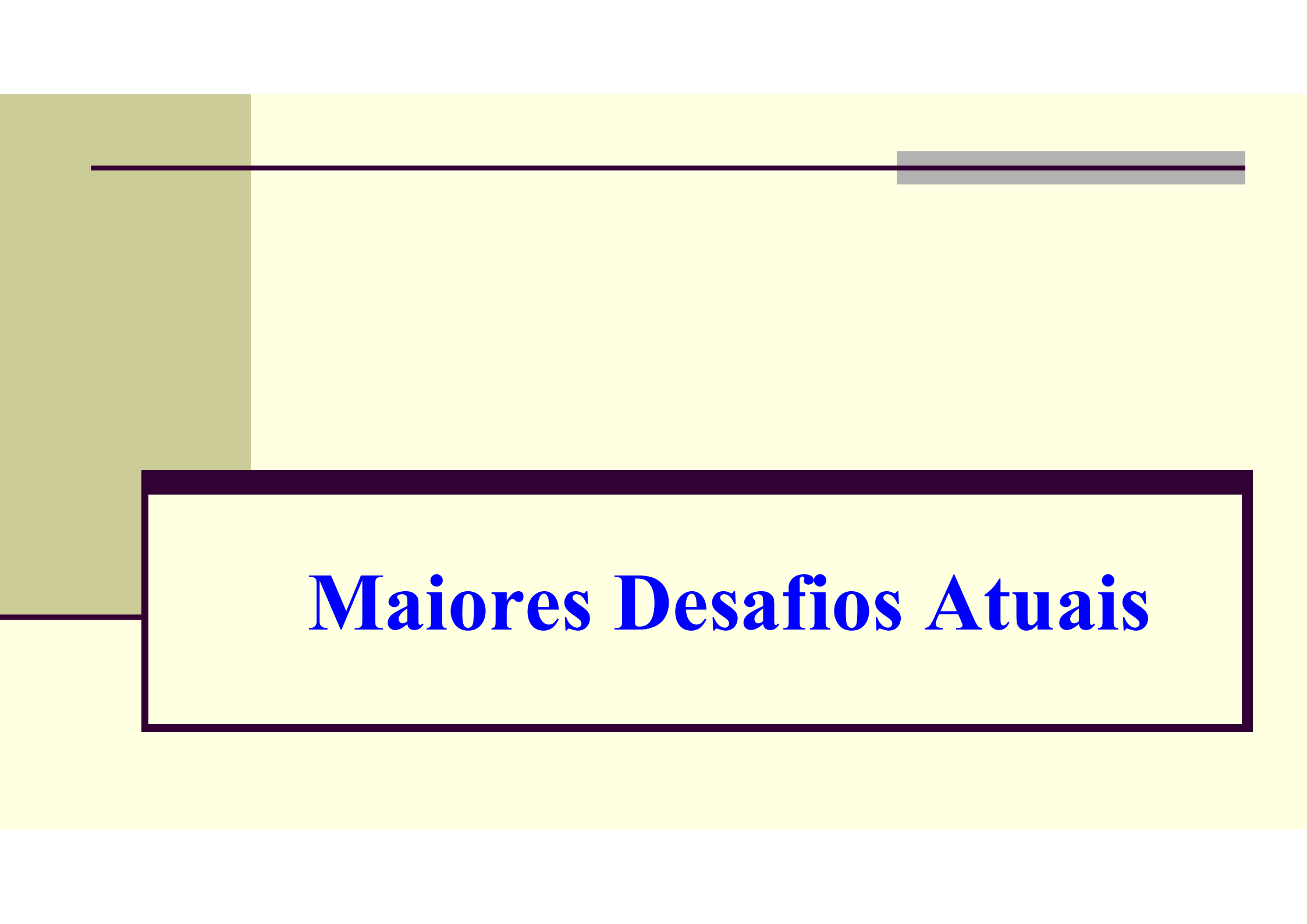
## d) Equipamentos



Fonte: <http://www.remco.com/ix.htm>

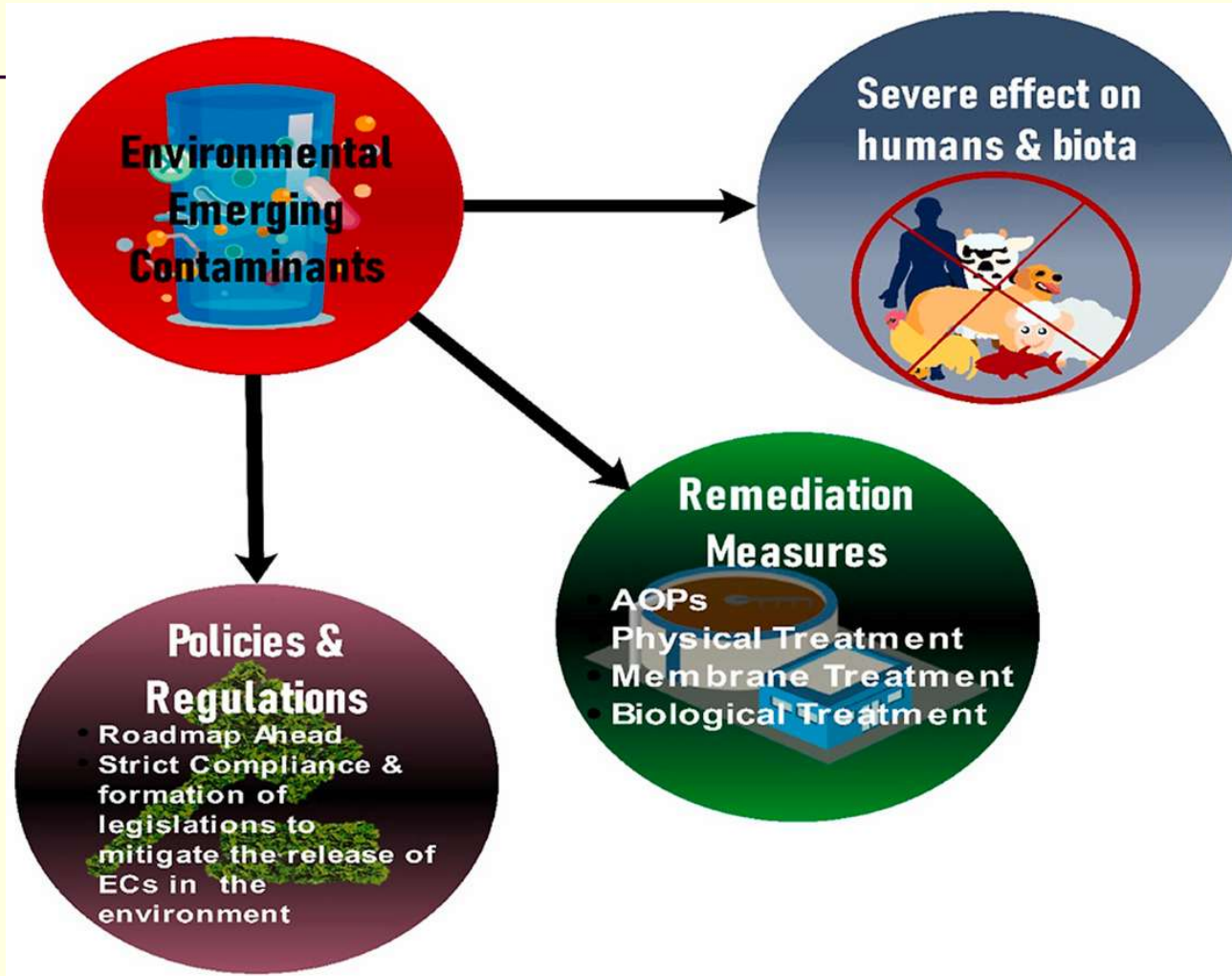
**Unidade compacta composta por:**

- Filtro de carvão ativo;
- Coluna de troca catiônica;
- Coluna de troca aniônica;
- Dispositivos de regeneração.



# **Maiores Desafios Atuais**

# CONTAMINANTES EMERGENTES

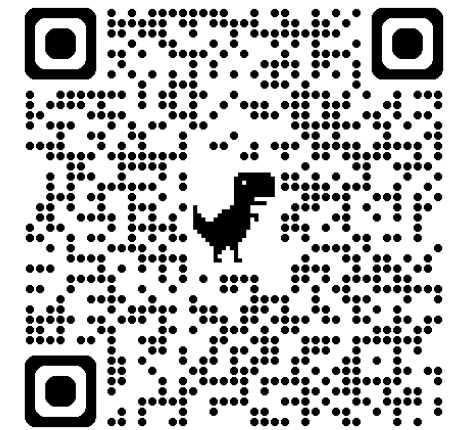
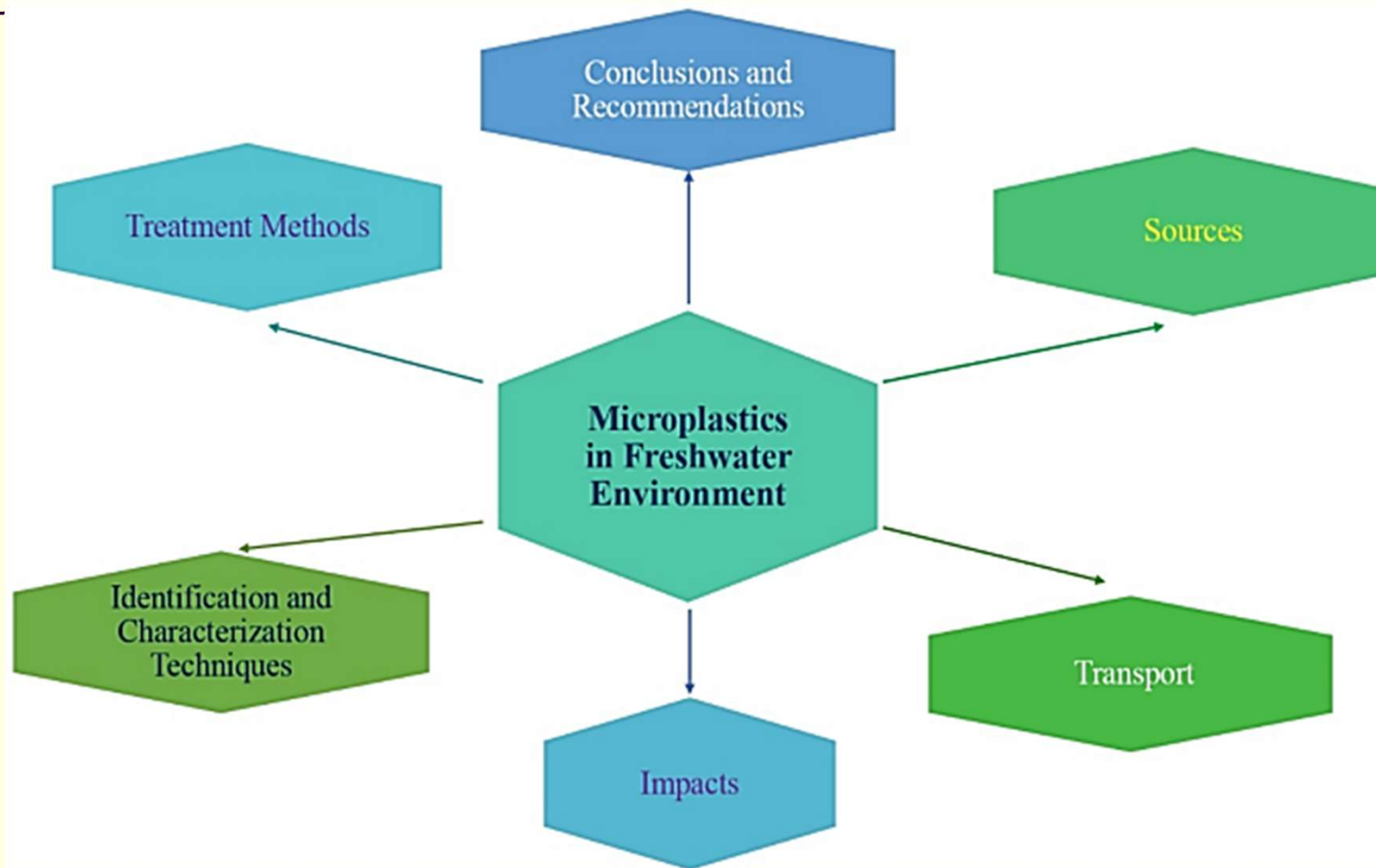


# CONTAMINANTES EMERGENTES

---

- Descobertos após o desenvolvimento de técnicas analíticas mais sensíveis, capazes de detectar níveis tão baixos quanto partes por trilhão (ppt);
- Incluem mais de 3000 tipos de compostos e seus derivados, como: agrotóxicos, fertilizantes, metais pesados, microplásticos, compostos farmacologicamente ativos (PhACs), produtos de cuidados pessoais (PPCPs), hormônios naturais e sintéticos, nanopartículas (1 a 100 nm) etc.;

# MICROPLÁSTICOS



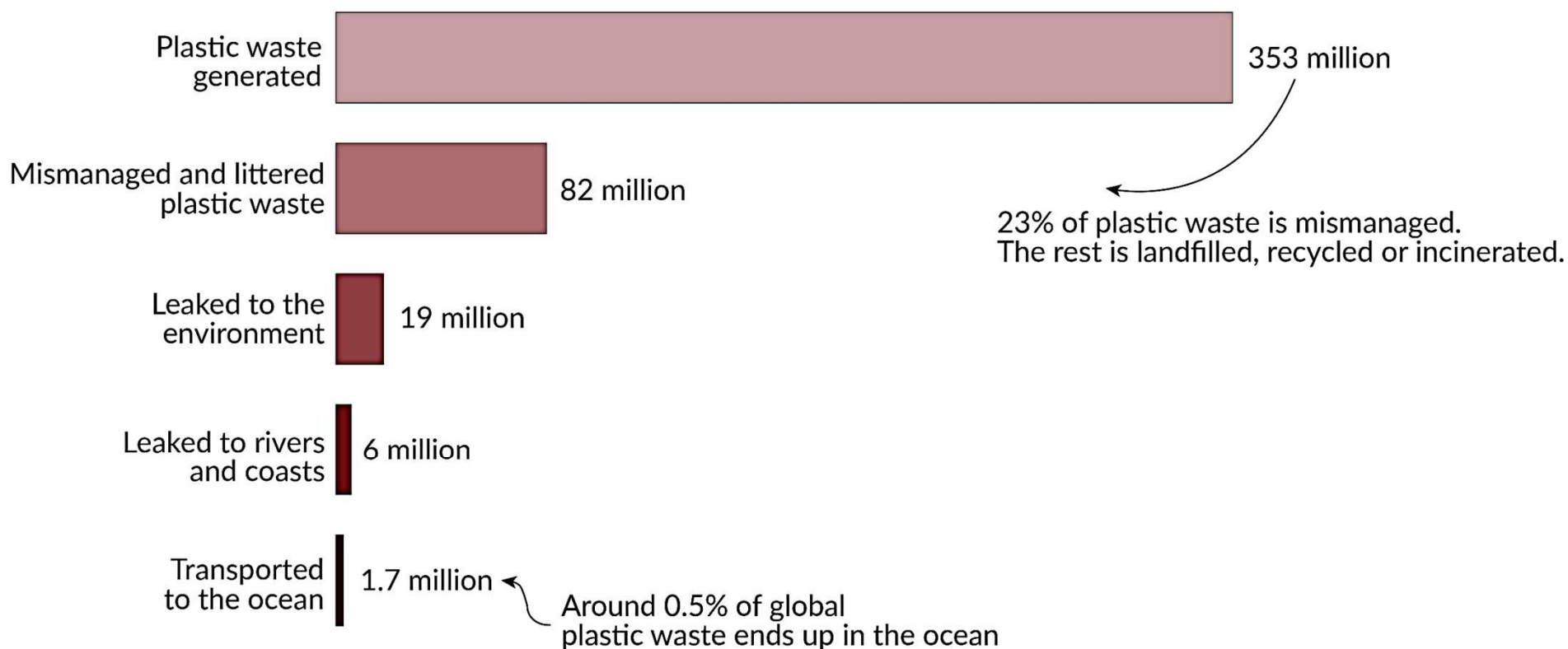


# Poluição por plásticos

## Around 0.5% of plastic waste ends up in the ocean

The pathway of global plastic waste to the ocean. Each stage of the chain is measured in million tonnes of plastic per year.

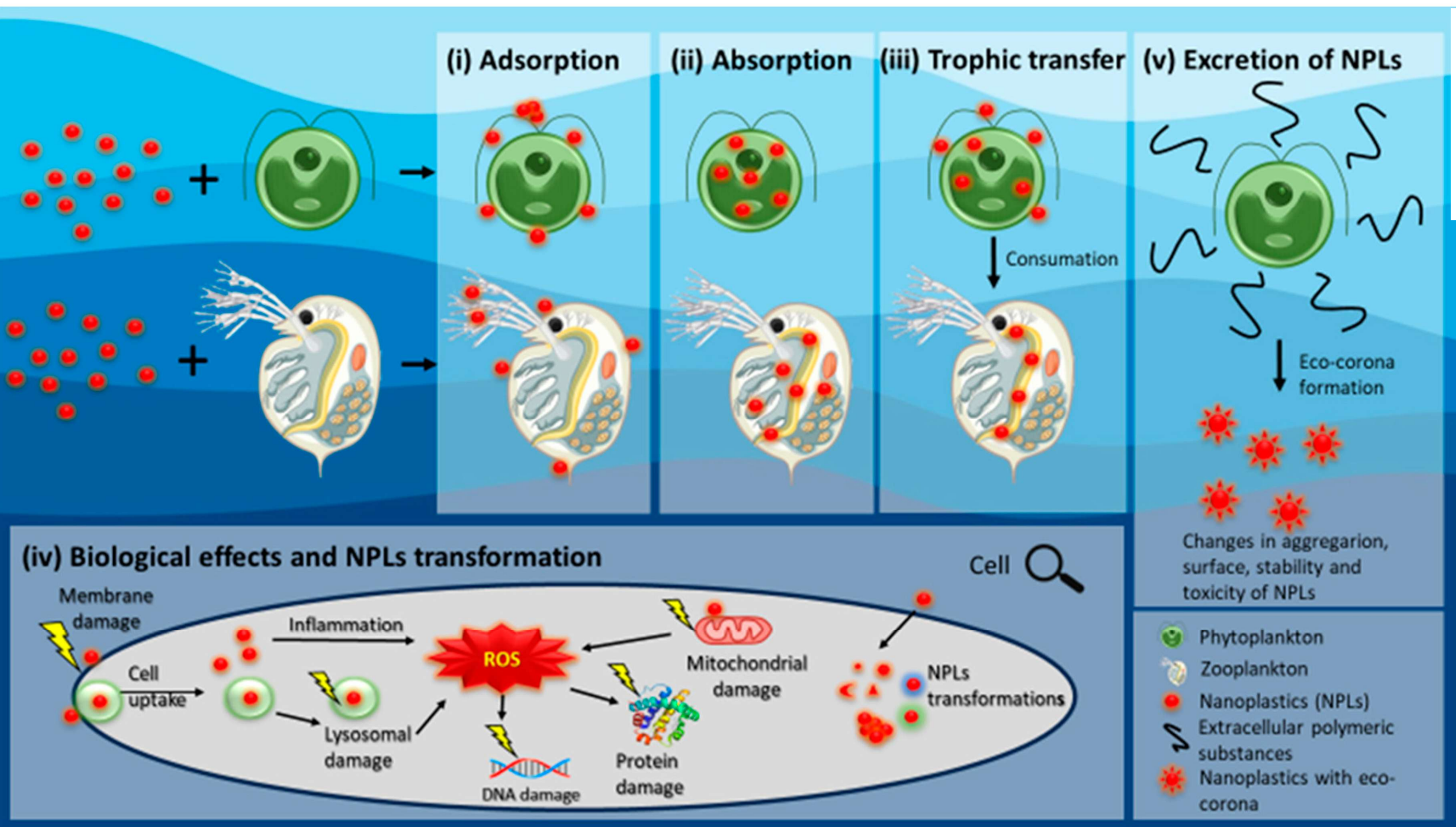
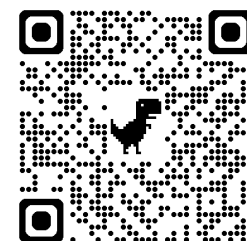
Our World  
in Data



Data source: OECD Global Plastic Outlook (2022).

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.





Vamos ao debate!

