



# QFL4520 – Química Ambiental II

## *Parte III – Redução, Tratamento e Disposição de Resíduos*

Prof. Dr. Reinaldo C. Bazito

bazito@iq.usp.br



## Parte III – Resíduos

- *Emissões, Efluentes e Resíduos Sólidos;*
- *Tratamento de Emissões;*
- *Tratamento de Efluentes;*
- *Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos;*
- *Redução de Resíduos.*



# Parte III – Recursos Naturais: Energia e Água

## Aula 11:

- *Emissões, Efluentes e Resíduos Sólidos.*



# Efluentes Líquidos



# Poluição das Águas

## Efeitos na qualidade da água com seu tipo de uso

| Uso da Água                  | Efeitos na qualidade da água                                             |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Doméstico/Comercial (esgoto) | Reduz oxigênio dissolvido                                                |
| Industrial/Mineração         | Reduz oxigênio dissolvido / poluição com poluentes orgânicos ou metais / |
| Irrigação/Agricultura        | Salinização / Diminui oxigênio dissolvido / Eutrofização                 |
| Termoelétricas e similares   | Poluição térmica                                                         |

Fontes podem ser **pontuais** (localizadas) ou **não pontuais** (dispersas).



# Poluição das Águas

**TABLE 14.2A** TOP TEN INDUSTRIES FOR SURFACE WATER DISCHARGE (1999)

| Industry*            | Pounds             | Metric tons    | Percent of total |
|----------------------|--------------------|----------------|------------------|
| Chemicals            | 77,097,472         | 35,002         | 29.8             |
| Primary metals       | 62,513,740         | 28,381         | 24.2             |
| Food                 | 50,225,853         | 22,803         | 19.4             |
| Paper                | 19,118,393         | 8,680          | 7.4              |
| Petroleum            | 15,655,884         | 7,108          | 6.1              |
| Electric utilities   | 4,510,038          | 2,048          | 1.7              |
| Electrical equipment | 4,393,066          | 1,995          | 1.7              |
| Fabricated metals    | 2,429,536          | 1,103          | 0.9              |
| Measurement/photo    | 1,320,125          | 599            | 0.5              |
| Metal mining         | 447,029            | 203            | 0.2              |
| <b>Total</b>         | <b>237,711,136</b> | <b>107,921</b> | <b>91.8</b>      |

\*Note: List does not include industries with multiple codes that discharge 8,680 metric tons.



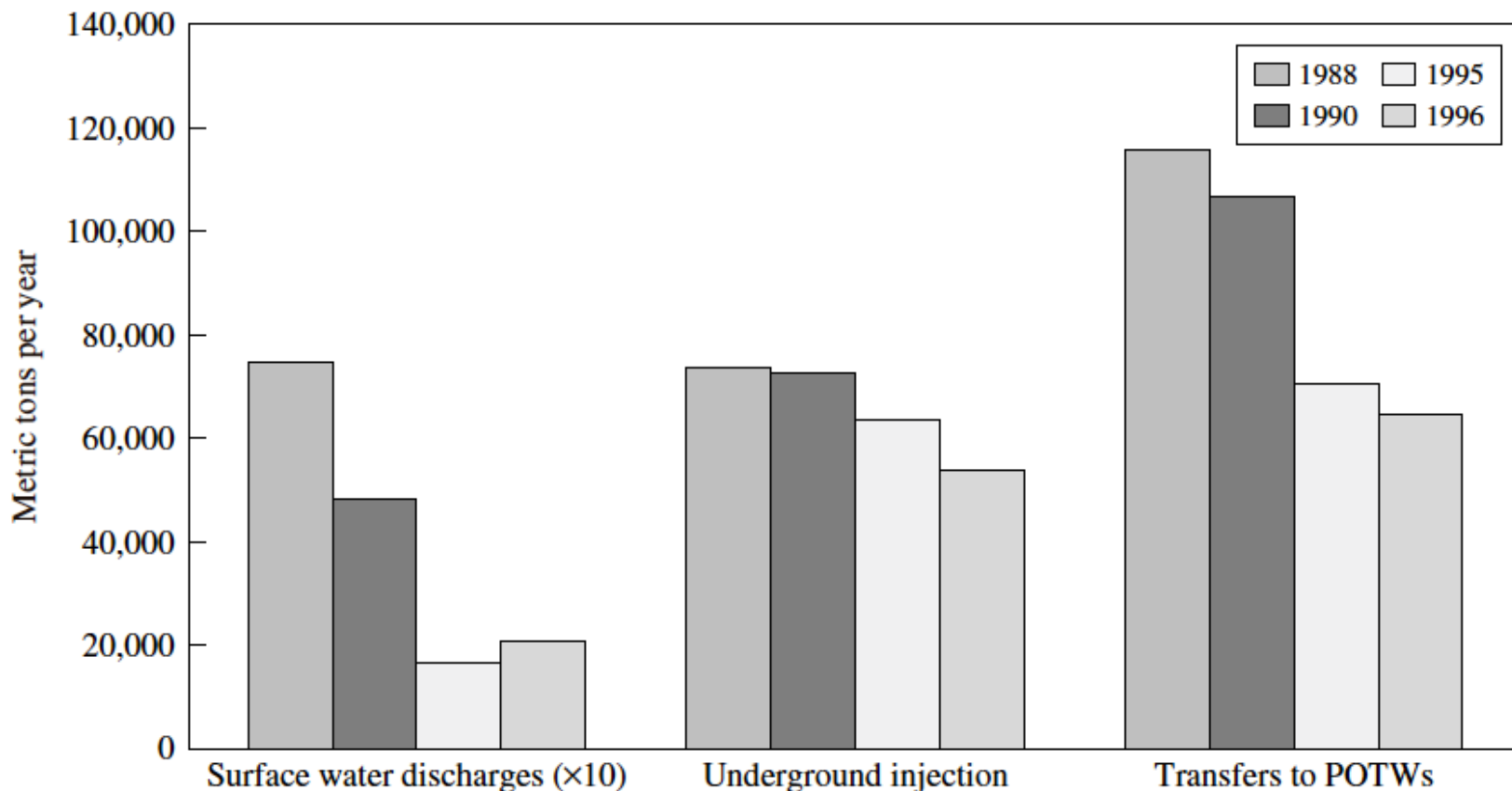
# Poluição das Águas

**TABLE 14.2B** TOP TEN CHEMICALS IN SURFACE WATER DISCHARGE (1999)

| Chemical            | Pounds             | Metric tons    | Percent of total |
|---------------------|--------------------|----------------|------------------|
| Nitrate compounds   | 231,367,165        | 105,041        | 89.4             |
| Ammonia             | 7,917,711          | 3,595          | 3.1              |
| Manganese compounds | 5,398,239          | 2,451          | 2.1              |
| Methanol            | 3,873,380          | 1,759          | 1.5              |
| Barium compounds    | 2,182,327          | 991            | 0.8              |
| Sodium nitrite      | 1,593,212          | 723            | 0.6              |
| Zinc compounds      | 1,373,162          | 623            | 0.5              |
| Ethylene glycol     | 544,047            | 247            | 0.2              |
| Chlorine            | 391,583            | 178            | 0.2              |
| Copper compounds    | 361,467            | 164            | 0.1              |
| <b>Total</b>        | <b>254,640,826</b> | <b>115,607</b> | <b>98.4</b>      |



# Poluição das Águas

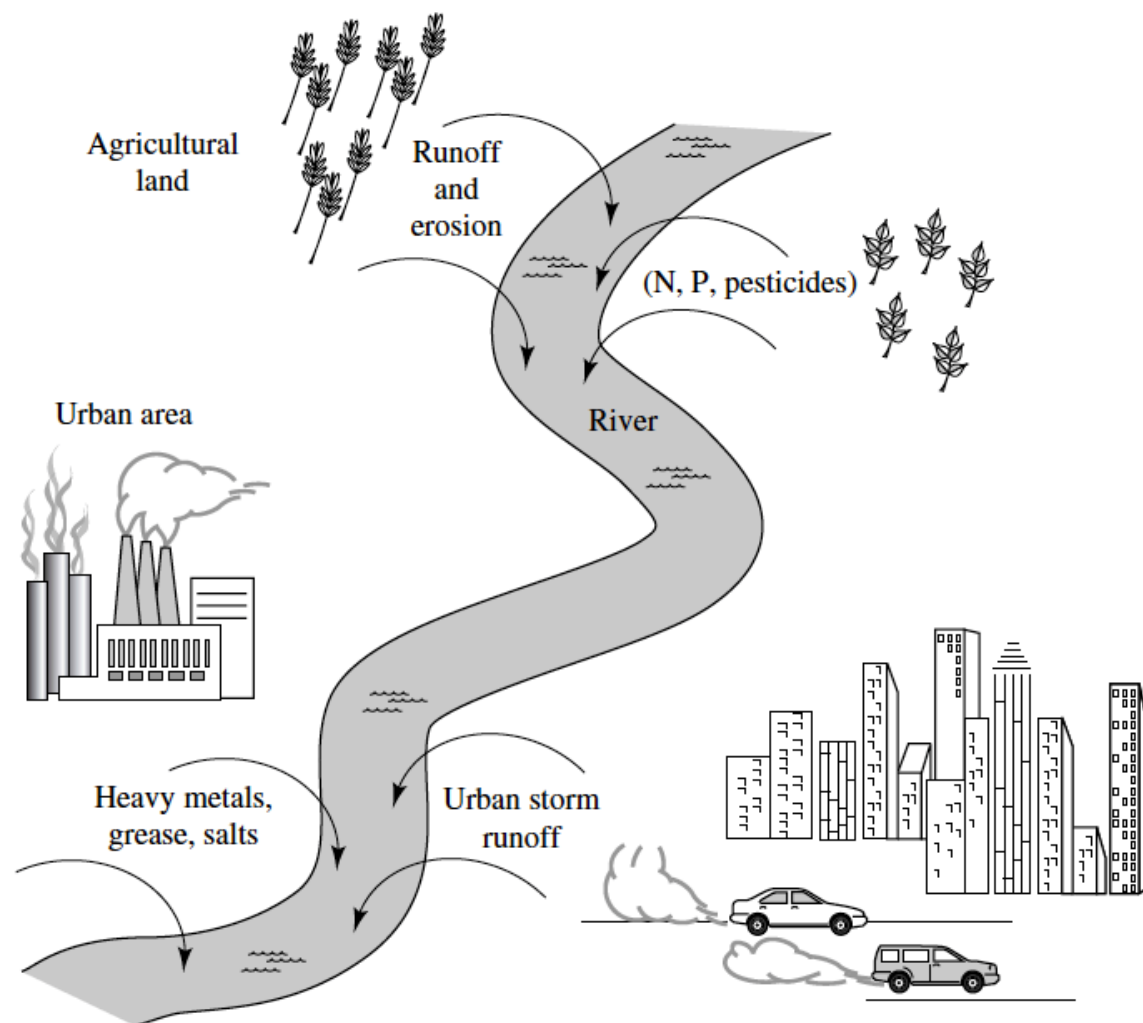


**Figure 14.1** Trends in industrial discharges of all Toxic Release Inventory (TRI) chemicals with potential impact on water quality. *Source:* U.S. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Information (1999). *1999 Toxic Release Inventory, Public Data Release* (Washington, DC: U.S. EPA).





# Poluição das Águas



**Figure 14.4** Nonpoint-source pollution from agricultural and urban areas.



# Tratamento de Efluentes

## Tratamento

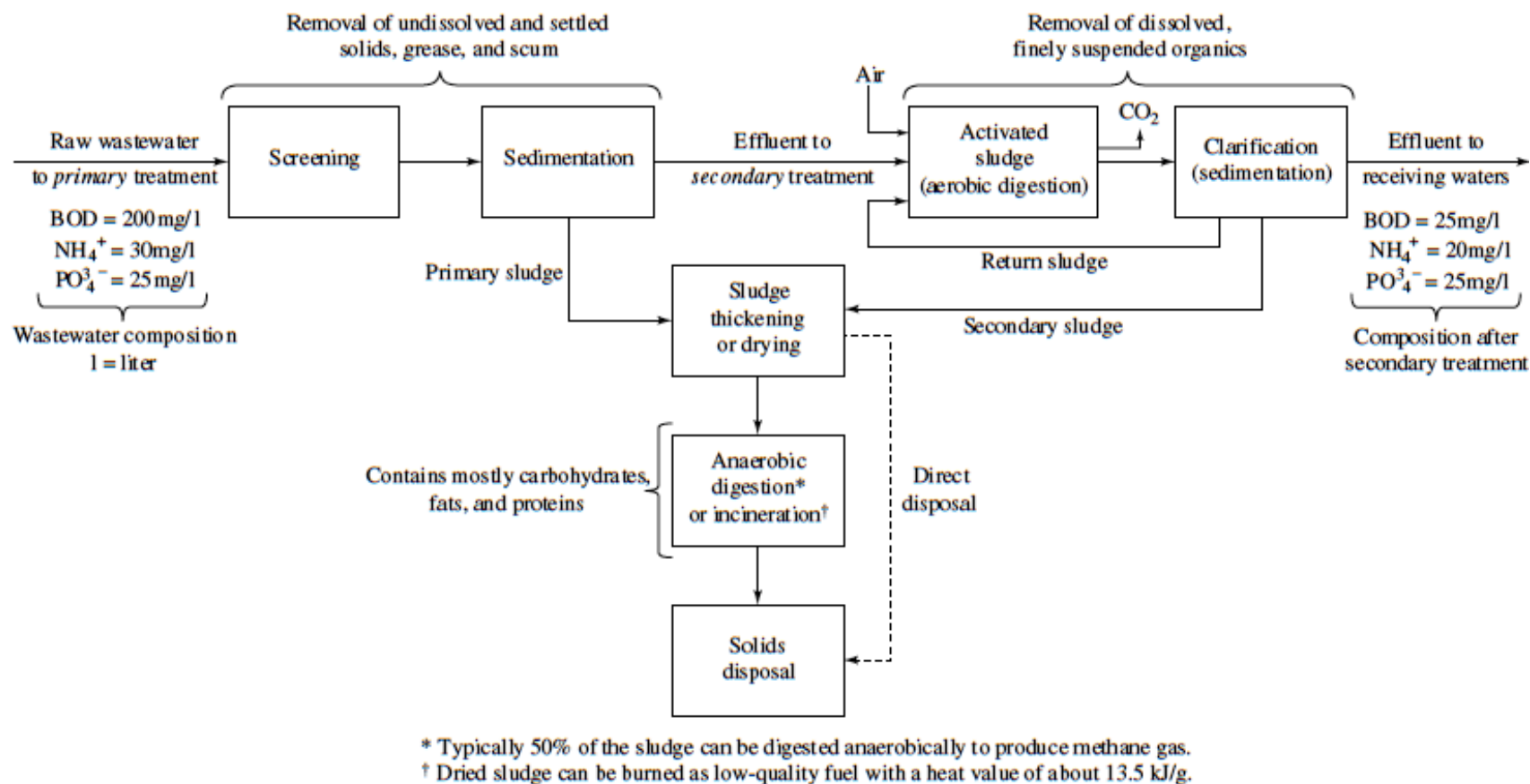
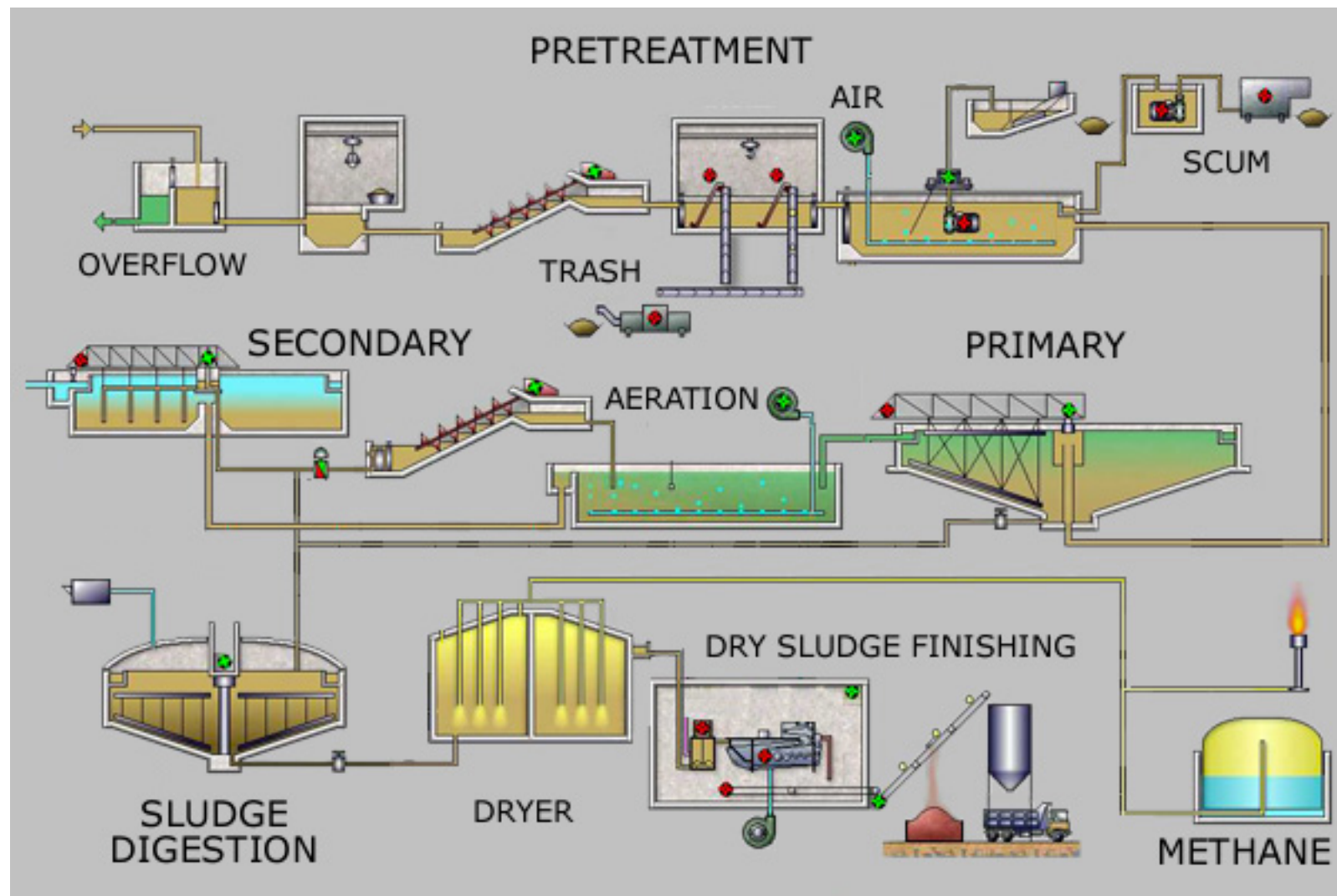


Figure 14.6 Primary and secondary treatment of municipal wastewater.



# Tratamiento de Efluentes





# Tratamiento de Efluentes

## Tratamento

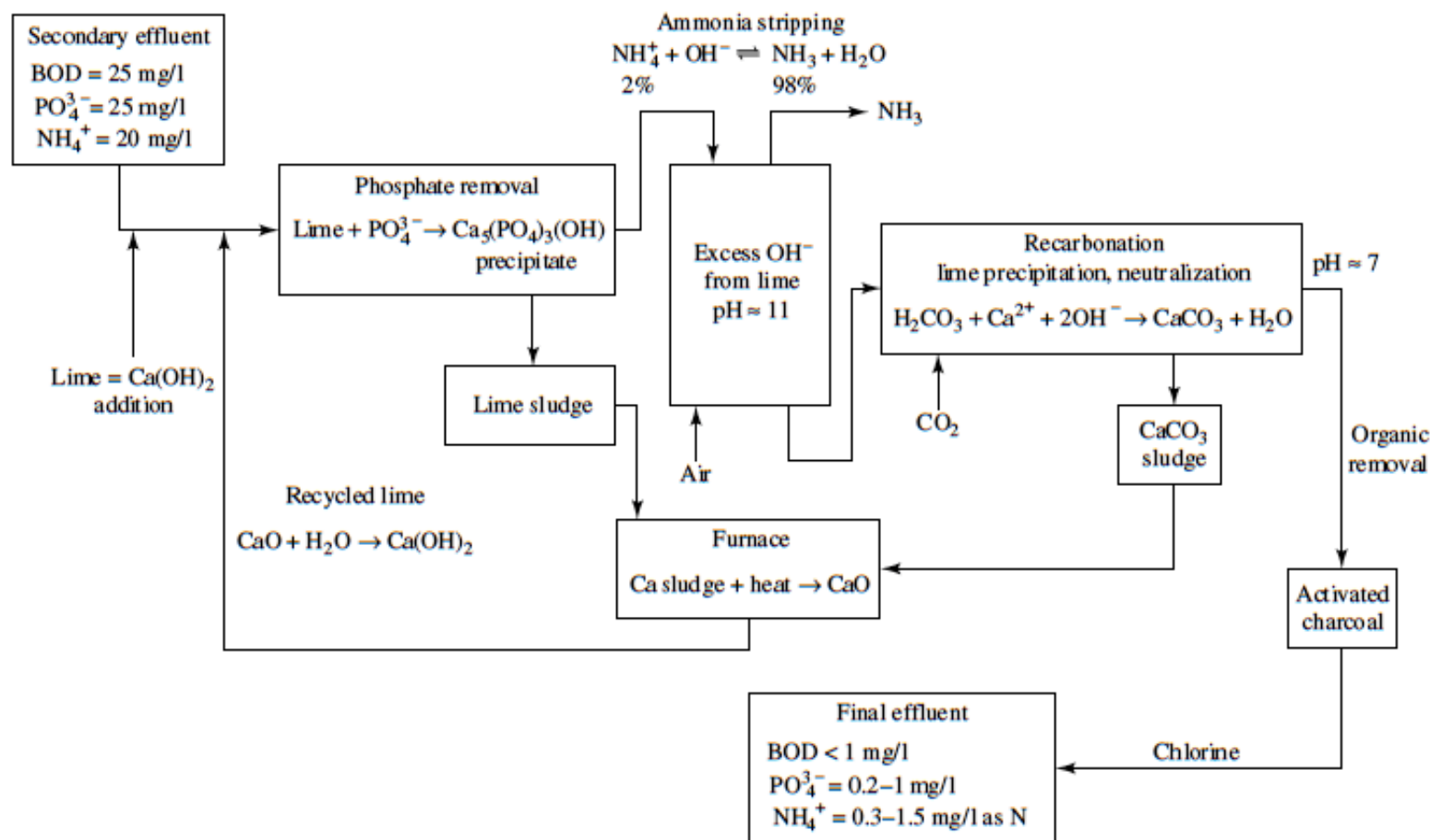


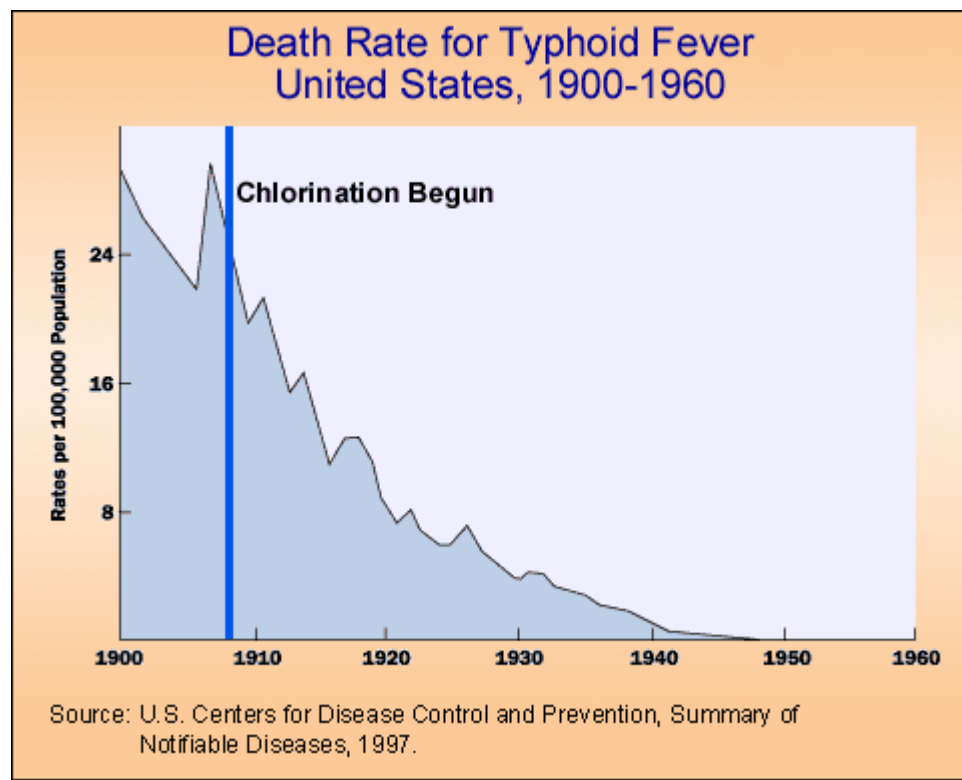
Figure 14.7 Tertiary treatment of municipal wastewater.



# Poluição das Águas

## Desinfecção

Cloro livre aquoso ( $\text{HOCl}$ , ácido hipocloroso)

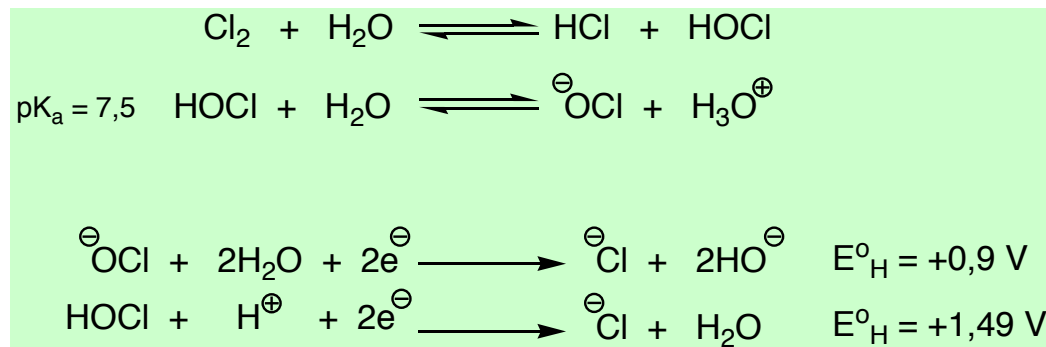




# Reações com desinfetantes

## Cloro livre aquoso (HOCl, ácido hipocloroso)

*propriedades*



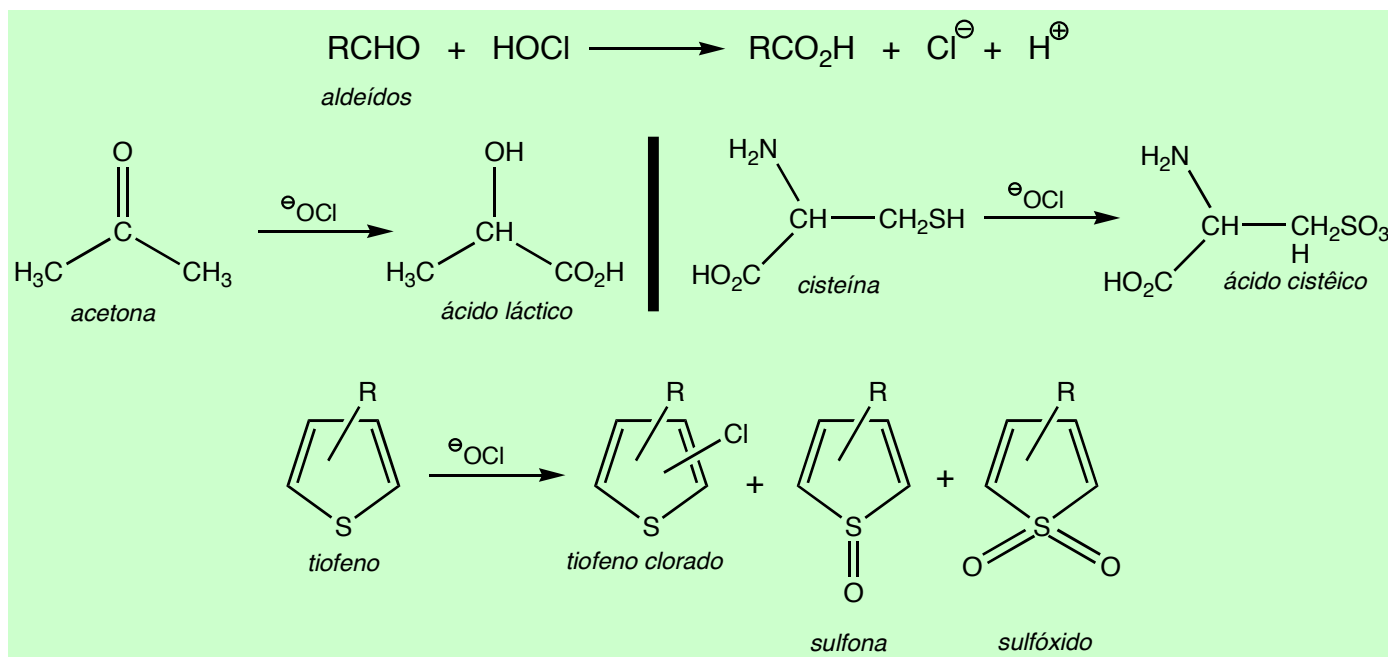
- Utilizando  $[\text{Cl}_2] \ 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  a transformação em HCl e HOCl ocorre quantitativamente em questão de segundos. Acima de pH 4,4, praticamente não há  $\text{Cl}_2$  em solução.
- A solução de NaOCl comercial (água sanitária) contém  $0,7 \text{ mol.L}^{-1}$  de  ${}^{\ominus}\text{OCl}$ .
- Nos EUA os níveis de cloro residual na água da torneira é de  $20 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$  ou menos. Para tal, deve ser adicionada uma quantia 10 vezes maior na estação de tratamento.
- Na presença de luz o NaOCl pode reagir com etanol, n-butanol, nitrobenzeno, ácidos acético, benzóico e propiônico.
- Luz solar UV-B (290-320 nm) converte HOCl em  $\text{HO}^{\bullet}$ , um potente oxidante.



# Reações com desinfetantes

## Cloro livre aquoso (HOCl, ácido hipocloroso)

*algumas reações com grupos funcionais*



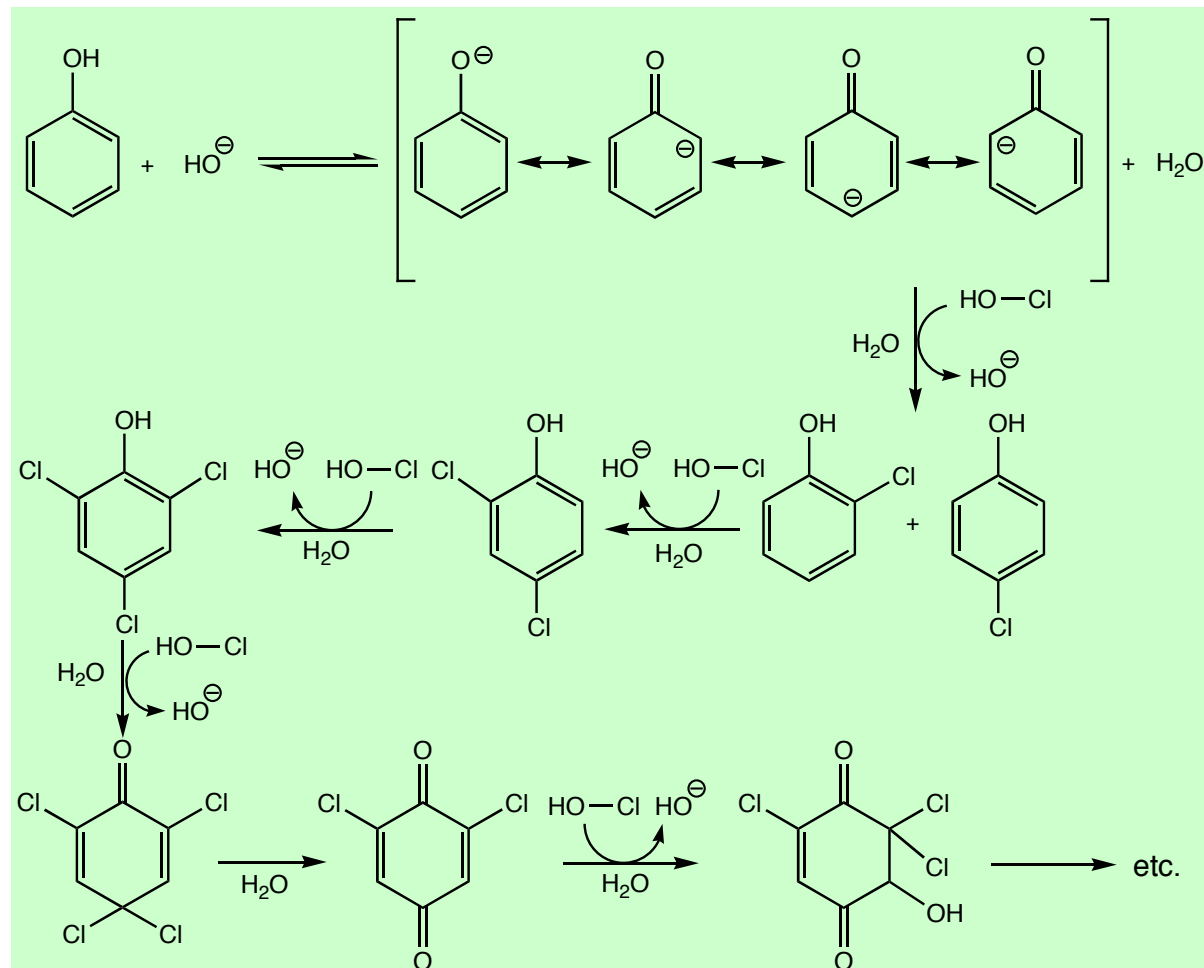


# Reações com desinfetantes

## Cloro livre aquoso (HOCl, ácido hipocloroso)

*cloração exaustiva de fenóis*

A reação de compostos fenólicos com HOCl na água tratada é um dos fatores responsáveis pelo odor e gosto degradáveis.







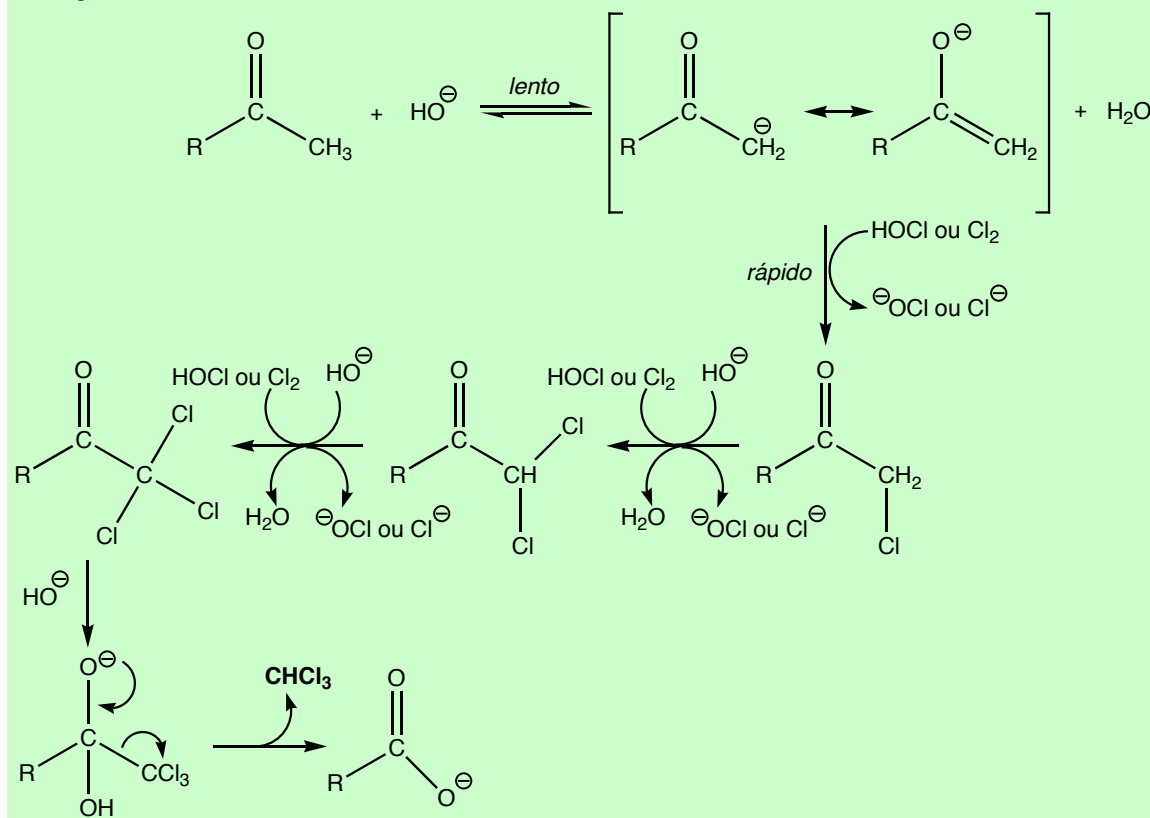
# Reações com desinfetantes

## Cloro livre aquoso (HOCl, ácido hipocloroso)

### reação halofórmio

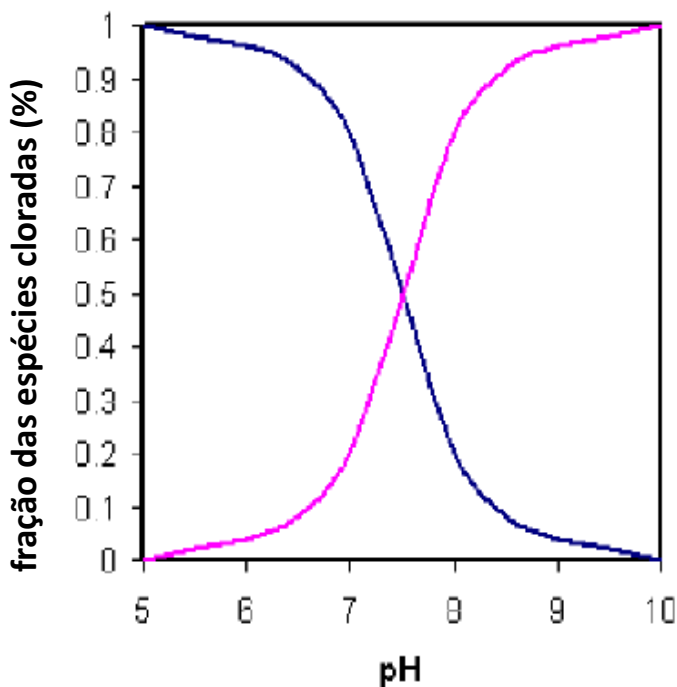
Entre as moléculas encontradas na água tratada que podem reagir desta forma encontram-se: fenóis,  $\alpha$ -dicetona, *m*-diidróxibenzeno, resorcinol,  $\alpha$ -ceto ácidos, ácido cítrico, NOM, etc.

### Reação Halofórmio





# Reações com desinfetantes



Maior ação  
desinfetante ocorre  
em pH 6 - 7, porém...

Problemas de  
corrosão  
abaixo de pH 7,5

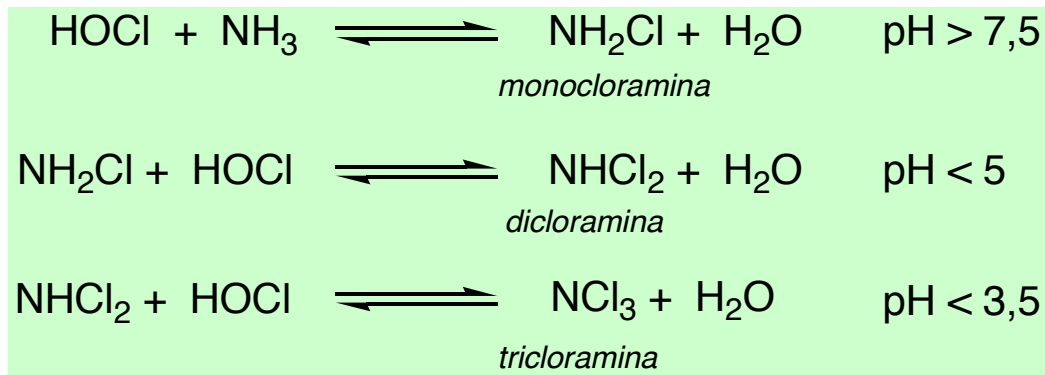
- Melhor condição para a ação desinfetante no tratamento de água é: pH 7-8 (80-20% de HOCl e 20-80% de  $\text{OCl}^-$ , corrosão minimizada e formação de mono e dicloraminas.



# Reações com desinfetantes

## Cloraminas

*propriedades*



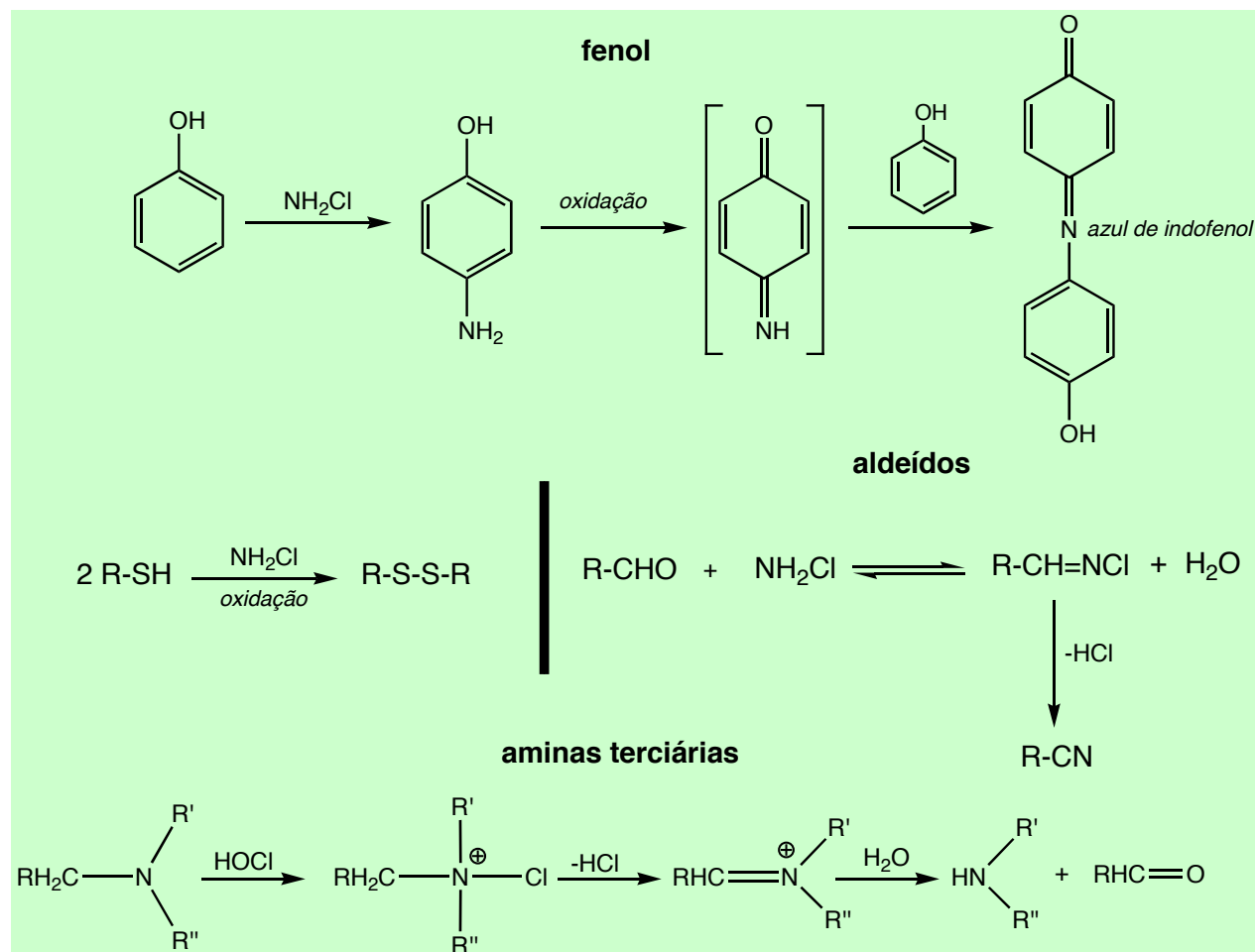
- Em altas concentrações relativas de HOCl as espécies cloradas desaparecem devido um processo complexo denominado reação no ponto limite (breakpoint), caracterizado pela diminuição das cloraminas e concomitante formação de  $\text{NH}_2\text{OH}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{N}_2$ .
- A relação da  $[\text{HOCl}]/[\text{NH}_3]$  (em mol) no breakpoint é de, aproximadamente, 2.
- Como a monocloroamina não participa na reação halofórmio, ela é utilizada como agente desinfetante em estações de tratamento de água.



# Reações com desinfetantes

## Cloraminas

reações

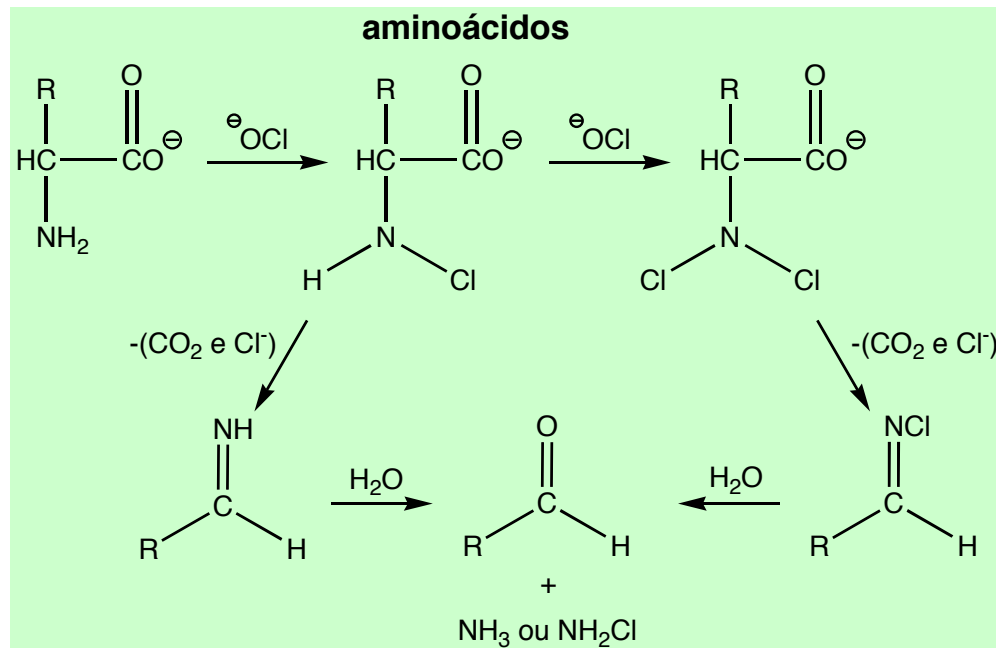




# Reações com desinfetantes

## Cloraminas

*reações*

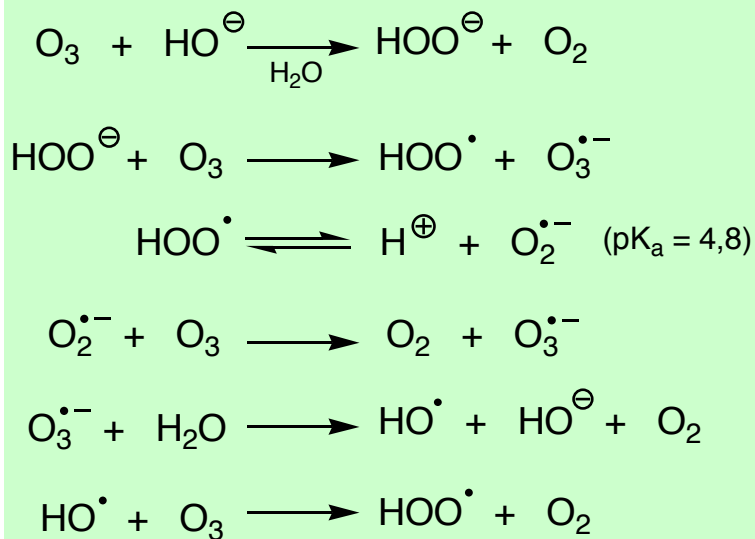




# Reações com desinfetantes

## Ozônio

propriedades



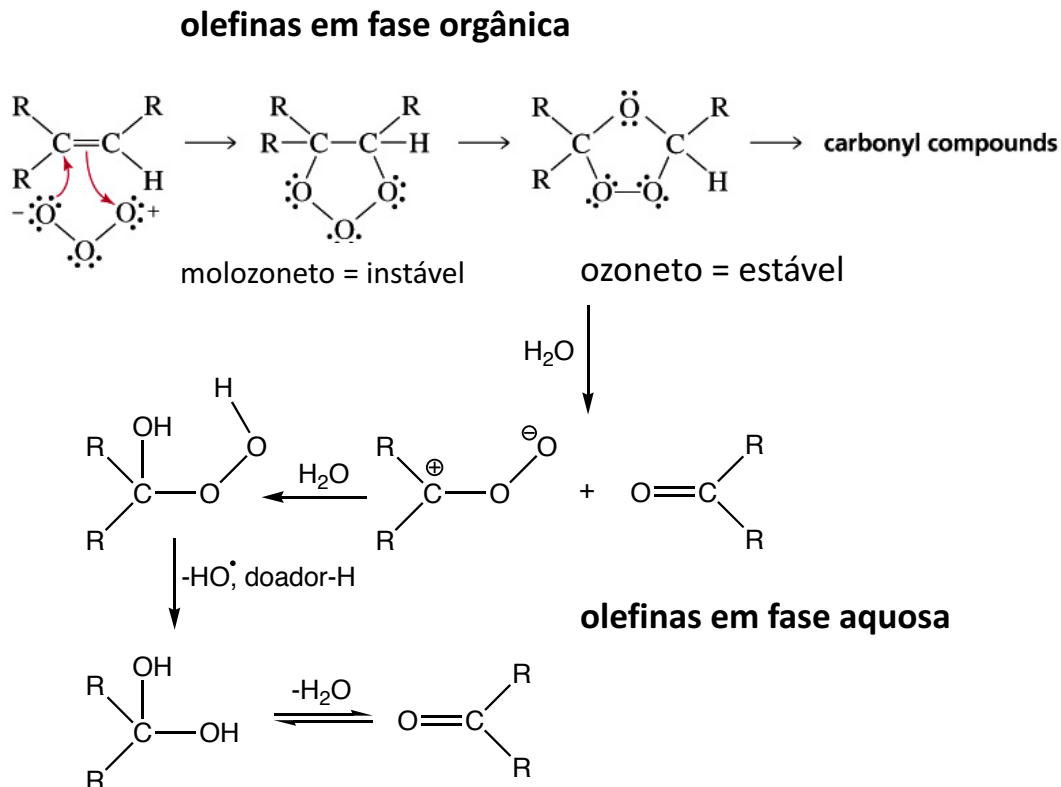
- O ozônio é um dos mais potentes oxidantes conhecidos, ideal para desinfecção, com  $E^\circ_{\text{H}} = 2,1 \text{ V}$ . Entretanto, seu uso é caro.
- Estações de tratamento de água utilizam ozônio em doses de 20-100  $\mu\text{M}$ , o qual deve ser gerado *in situ*.
- Na presença de carbonato, em concentrações suficientes, a reação de decomposição do ozônio diminui de velocidade, aumentando seu tempo de vida:  $\text{HO}^\bullet + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HO}^- + \text{CO}_3^{\bullet-}$ . Por sua vez, o radical carbonato, mais estável, reage mais seletivamente com moléculas mais ricas em elétrons, como derivados de anilina.



# Reações com desinfetantes

## Ozônio

reações



- Com derivados aromáticos substituídos a reação com ozônio é tanto mais rápida quanto melhor doador elétrons for o substituinte.
- Além dos compostos mencionados, o ozônio reage com poliaromáticos, ácidos graxos, fenóis, aminas, amidas, azo compostos e material húmico, produzindo compostos carbonílicos (aldeídos e cetonas) e ácidos carboxílicos.



## *Reuso de água:*

- *Segregação de efluentes conforme os poluentes*
- *Uso de processos alternativos (POA, etc)*
- *Resfriamento a ar*



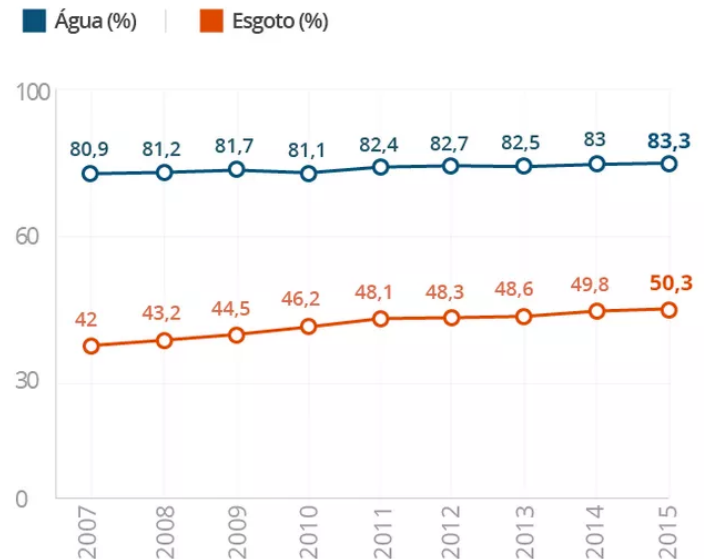


## Saneamento melhora, mas metade dos brasileiros segue sem esgoto no país

Lei do Saneamento Básico completa 10 anos em 2017. Acesso à coleta de esgoto passou de 42% para 50,3%; já o de abastecimento de água passou de 80,9% para 83,3%.

### Saneamento

Evolução da cobertura de água e esgoto no país



Fonte: Instituto Trata Brasil e SNIS



Infográfico atualizado em: 08/02/2017



# Resíduos Sólidos



# Lixão



<https://www.metropoles.com/distrito-federal/catadores-marcam-passeata-contra-fechamento-do-lixao-da-estrutural>





# Aterro Sanitário



<http://geofoco.com.br/wp-content/uploads/2014/08/aterro-sanitario1.jpg>





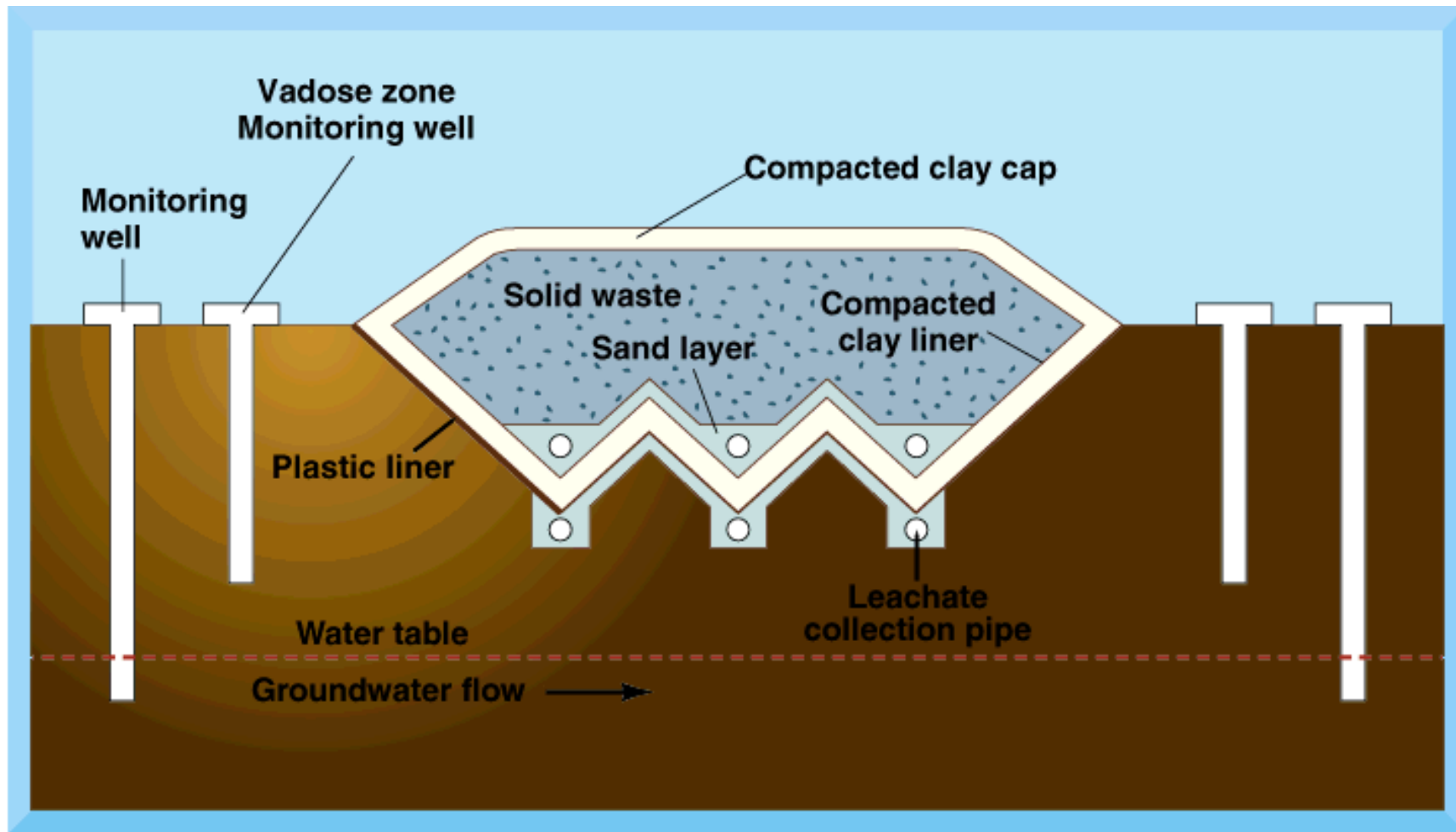
# Aterro Sanitário



<http://www.engepol.com/wp-content/uploads/aterro-sanitario.jpg>



# Aterro Sanitário

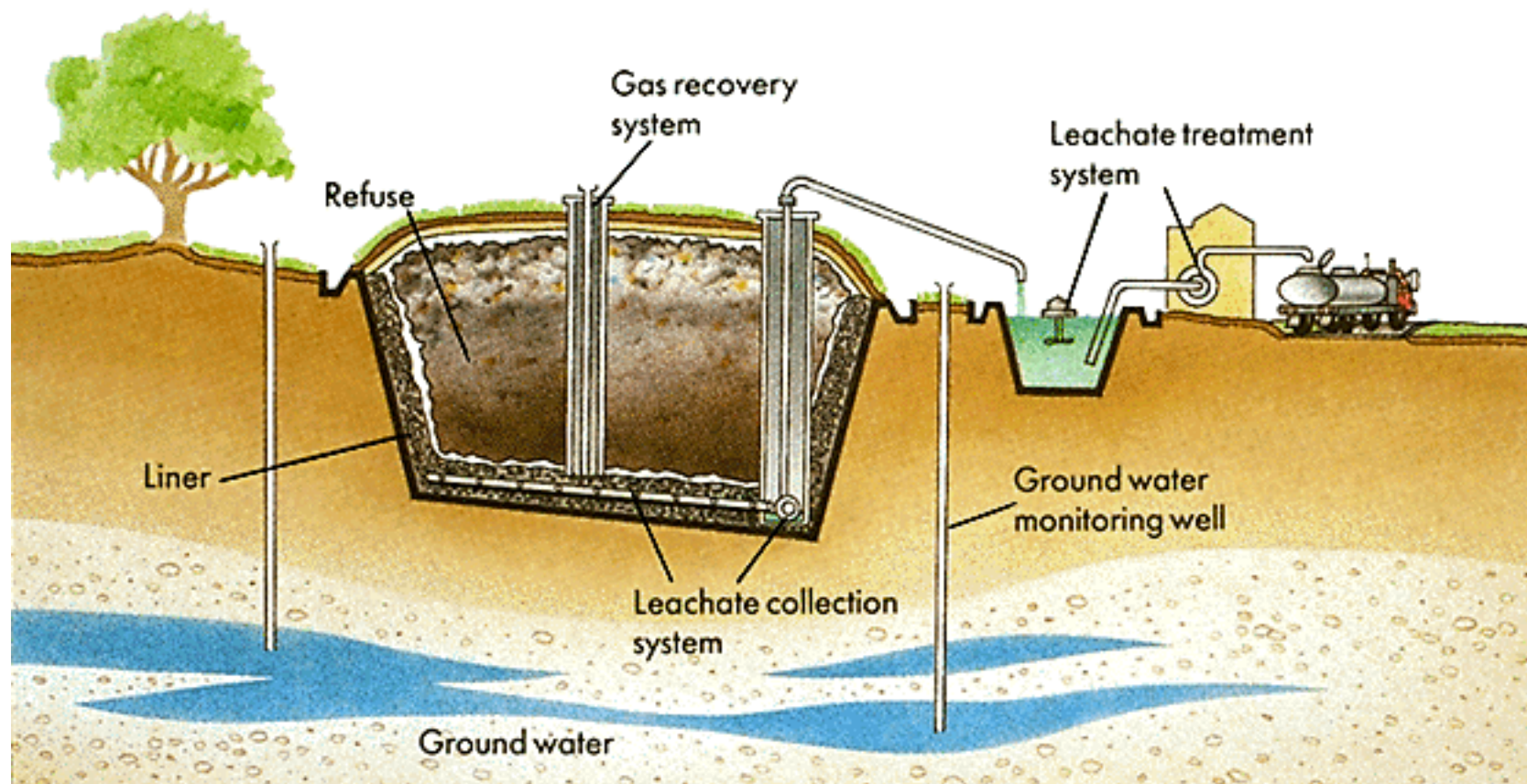


**Idealized diagram of a solid waste facility (sanitary landfill) illustrating multiple barrier design, monitoring system, and leachate collection system.**

<https://www.colorado.edu/GeolSci/courses/GEOL1070/chap28/Image1.gif>



# Aterro Sanitário



[https://whyfiles.org/wp-content/uploads/2http://www.oocities.org/green\\_juris/Image2.gif011/03/ecomaine\\_processsdiagram.gif](https://whyfiles.org/wp-content/uploads/2http://www.oocities.org/green_juris/Image2.gif011/03/ecomaine_processsdiagram.gif)





# Incineração



<http://www.waste360.com/sites/waste360.com/files/uploads/2015/01/waste-incineration.jpg>





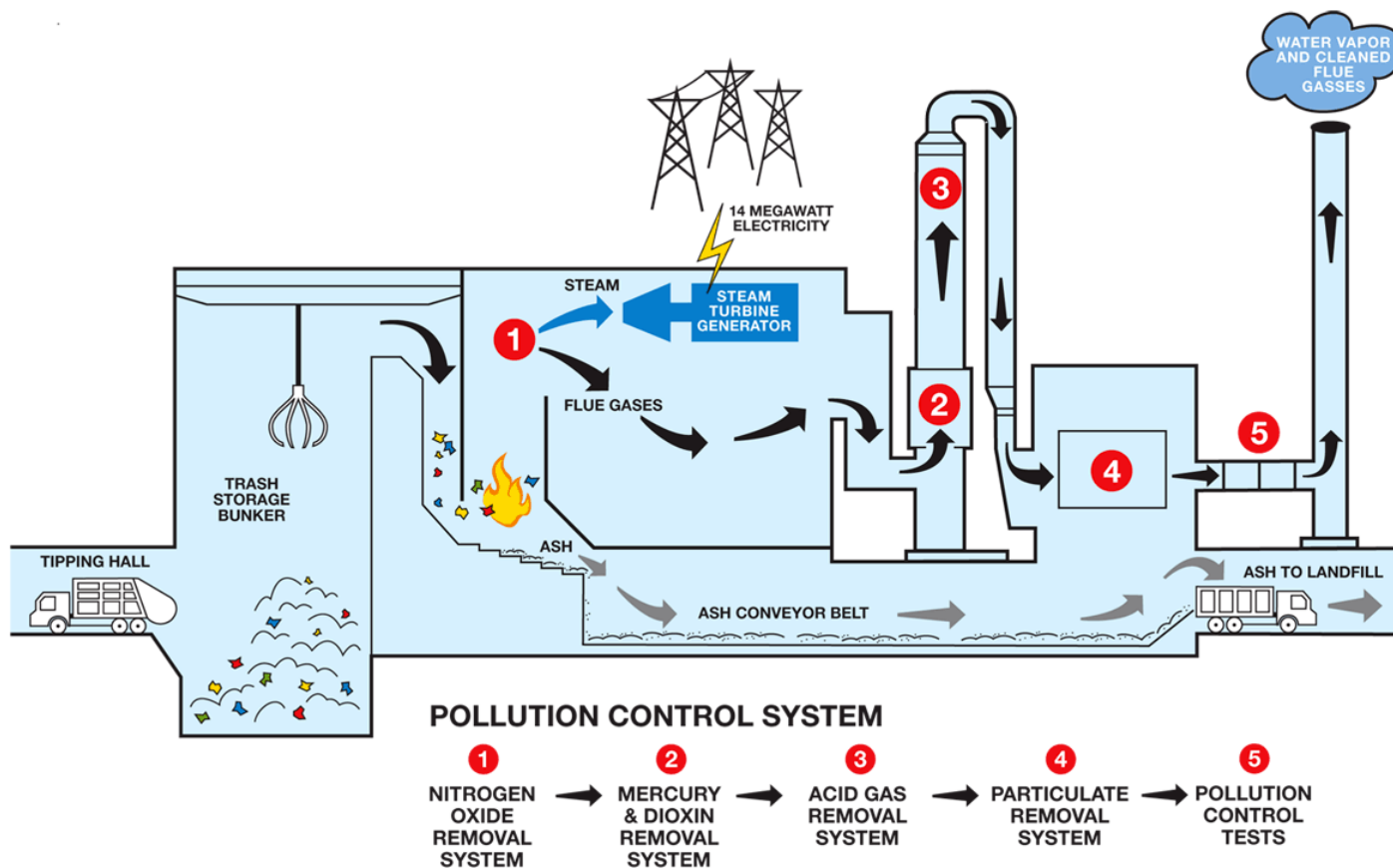
# Incineração



[https://img.washingtonpost.com/rf/image\\_1484w/2010-2019/WashingtonPost/2011/04/26/Local/Images/greengarbage3\\_1303851783.jpg?t=20170517](https://img.washingtonpost.com/rf/image_1484w/2010-2019/WashingtonPost/2011/04/26/Local/Images/greengarbage3_1303851783.jpg?t=20170517)



# Incineração



## Waste-to-Energy

- 90% reduction of trash volume
- Power generation
- Pollution control

**ecomaine**  
the future of regional waste systems

[www.ecomaine.org](http://www.ecomaine.org)