

# Problemas e Desafios do RS na Manutenção da Qualidade da Água para Consumo Humano

Prof. Antônio D. Benetti



Porto Alegre, 04.12.2018



# Qualidade da Água para Consumo Humano

---

## Necessidades:

- Bebida
- Práticas Básicas de Higiene
- Preparação de Alimentos

# Qualidade da Água para Consumo Humano

Acesso a água potável segura para consumo e em quantidade suficiente para as necessidades diárias.



No Século 19, somente os pobres bebiam água.

## O Dispensário da Morte

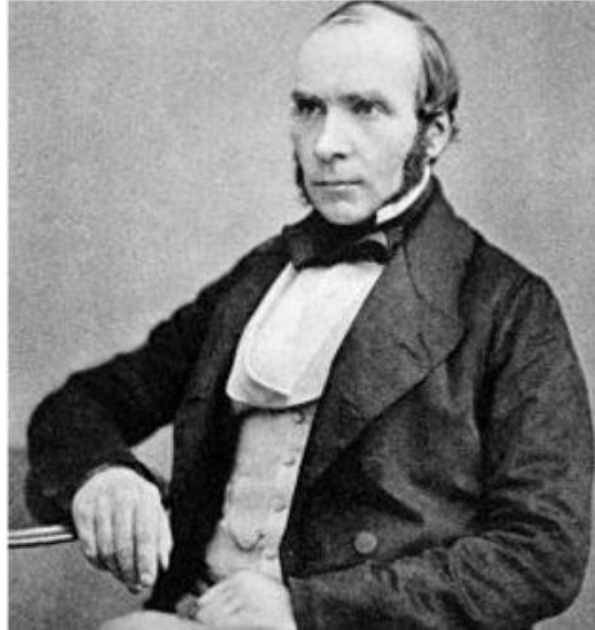
(Publicado em 1860 pelo Illustrated London News)



### DEATH'S DISPENSARY.

OPEN TO THE POOR, GRATIS, BY PERMISSION OF THE PARISH.

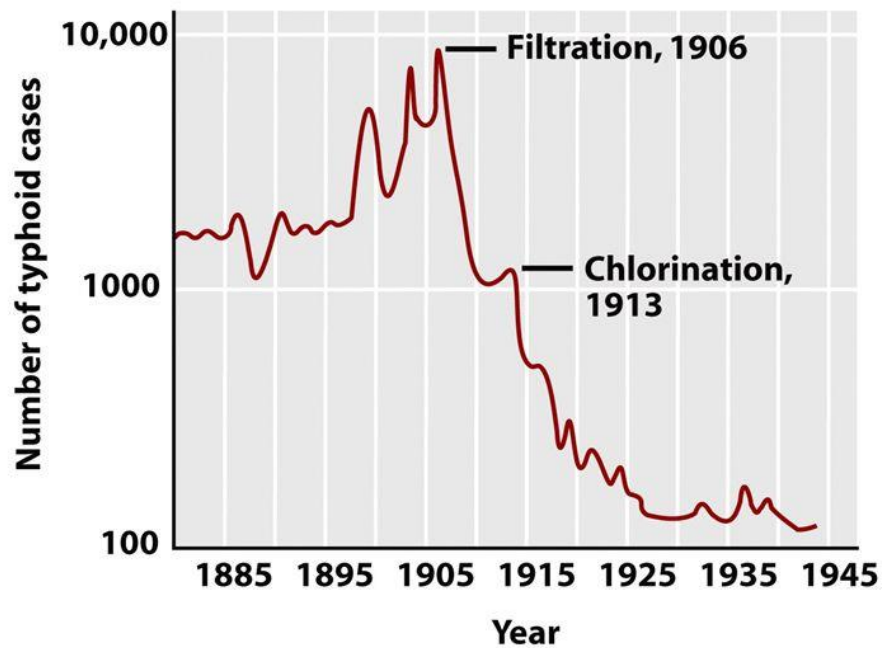
*El dispensario de la muerte. Un agudo mensaje sobre la vital importancia del aprovisionamiento de agua limpia, publicado por el Illustrated London News, en 1860.*



Dr. John Snow – Cólera e o Poço da Rua Broad (1854)

---

# Revolução Sanitária do Século 20



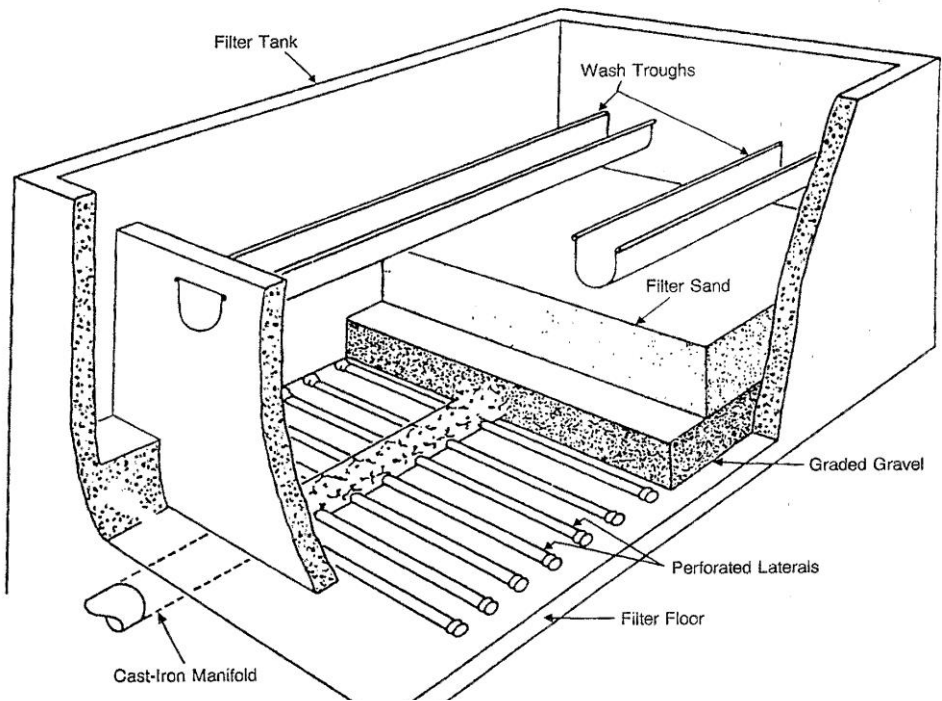
H<sub>2</sub>O16

Figure 28-2 Brock Biology of Microorganisms 11/e  
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.

Introdução da desinfecção com Cloro



Filtro Lento de Areia (Lund, Suécia)



Filtração Rápida



Floculação



Sedimentação

Leitores da Revista Britânica de Medicina elegeram a Introdução de Água Potável e Saneamento como o mais importante avanço da medicina desde 1840.

## ***BMJ* readers choose sanitation as greatest medical advance since 1840**

**Annabel Ferriman** *BMJ*

More than 11 300 readers of the *BMJ* chose the introduction of clean water and sewage disposal—"the sanitary revolution"—as the most important medical milestone since 1840, when the *BMJ* was first published. Readers were given 10 days to vote on a shortlist of 15 milestones, and sanitation topped the poll, followed closely by the discovery of antibiotics and the development of anaesthesia.

The work of the 19th century lawyer Edwin Chadwick, who

pioneered the introduction of piped water to people's homes and sewers rinsed by water, attracted 15.8% of the votes, while antibiotics took 15%, and anaesthesia took 14%. The next two most popular were the introduction of vaccines, with 12%, and the discovery of the structure of DNA (9%).

A total of 11 341 people voted on the shortlist, which was chosen by a panel of experts from a list nominated by readers. Almost a third of the voters were doctors, while a fifth were members

of the general public, and one in seven were students. Another tenth were academic researchers. Almost two fifths of the voters were from the United Kingdom, and a fifth were from the United States.

Johan Mackenbach, professor of public health at Erasmus MC Medical Center, Rotterdam, who championed the cause of sanitation, said, "I'm delighted that sanitation is recognised by so many people as such an important milestone. The general lesson which still holds is that passive protection

against health hazards is often the best way to improve population health.

"The original champions of the sanitary revolution were John Snow, who showed that cholera was spread by water, and Edwin Chadwick, who came up with the idea of sewage disposal and piping water into homes.

"Inadequate sanitation is still a major problem in the developing world."

The *Medical Milestones* supplement is distributed with this week's *BMJ*.

Mas esta não é a realidade para bilhões  
2,1 bilhões não tem água segura para beber em casa;  
4,5 bilhões não tem vaso sanitário em casa.

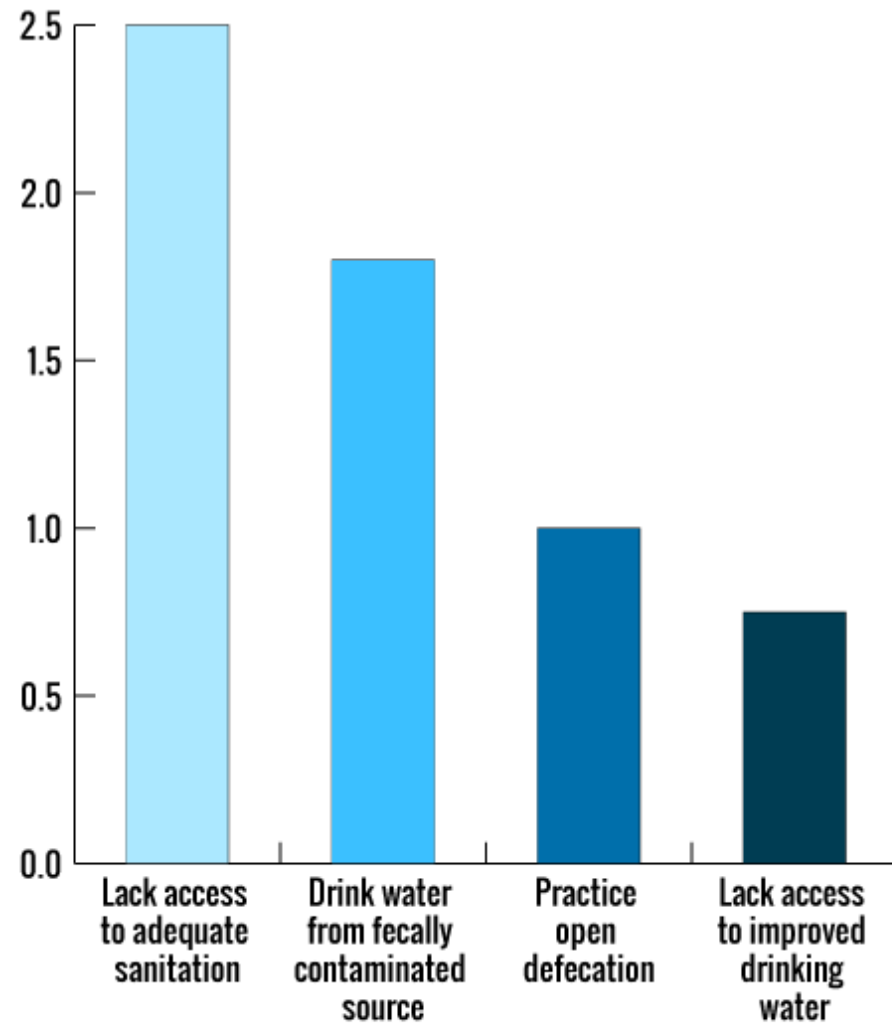


Bilhões sem  
acesso a água  
segura

---

## Billions lack safe drinking water

Number in billions of people



Source: United Nations Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water, 2014.

# Objetivos do Desenvolvimento Sustentável -ONU



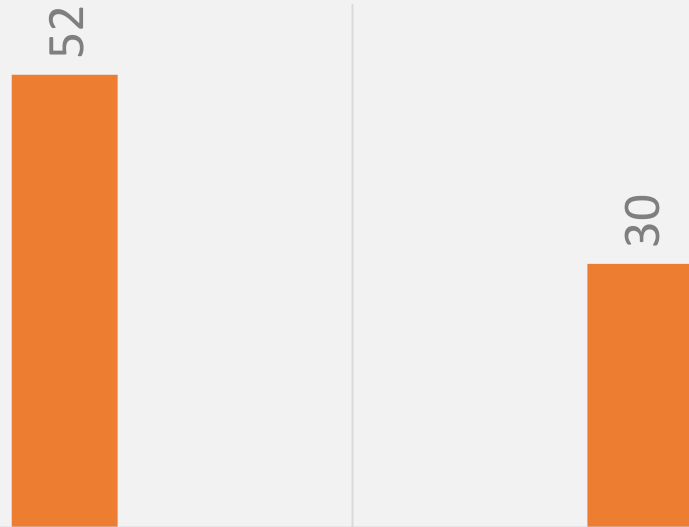
# Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos



Até 2030 alcançar o acesso universal à água potável segura, saneamento e higiene para todos

# Brasil - RS

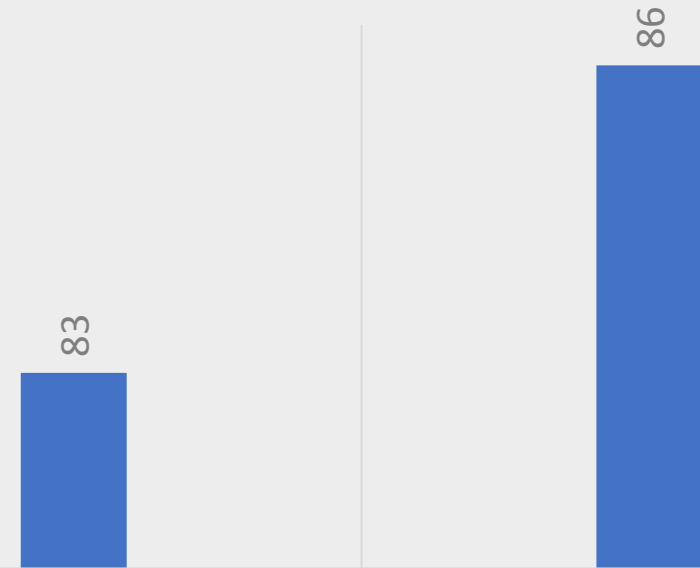
ÍNDICE DE ATENDIMENTO - ESGOTOS



BRASIL

RS

ÍNDICE DE ATENDIMENTO - ÁGUA



BRASIL

RS

Observação: RS, água, urbano = 97%; esgoto = 35%

SNIS, 2016

Acesso a água potável segura para consumo e em quantidade suficiente para as necessidades diárias.



# Objetivos do Tratamento de Água para Consumo Humano

Produzir água potável segura quimicamente e livre de microrganismos que causam doenças.

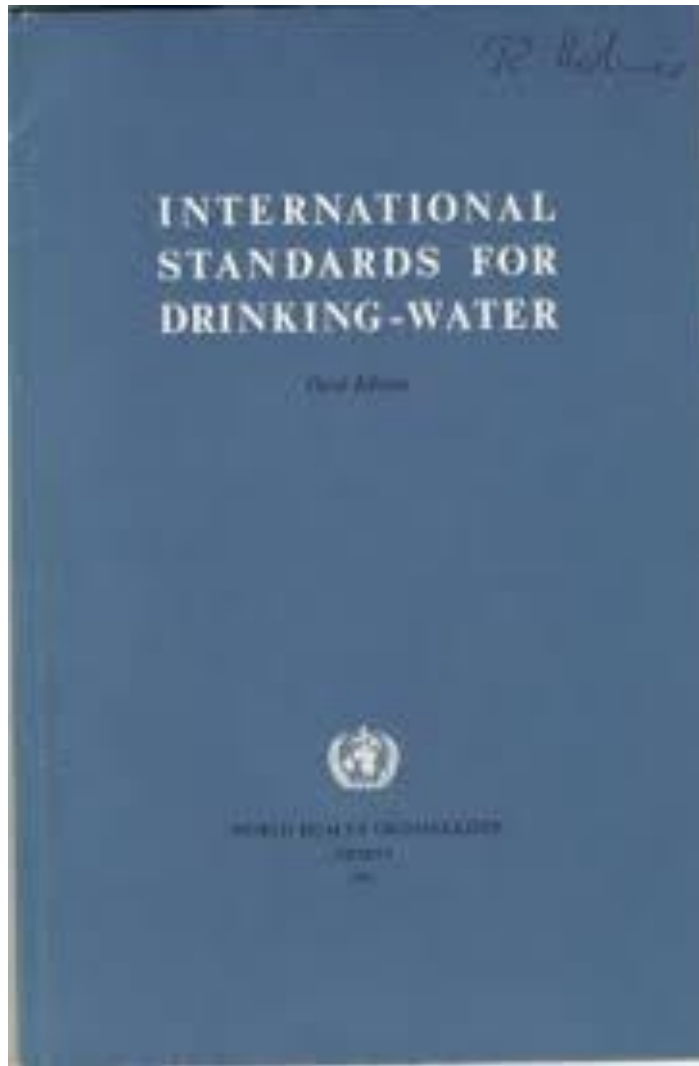
Produzir água para abastecimento contínuo da população e que seja esteticamente agradável.

Produzir água que minimize as reações com os materiais da rede de distribuição.

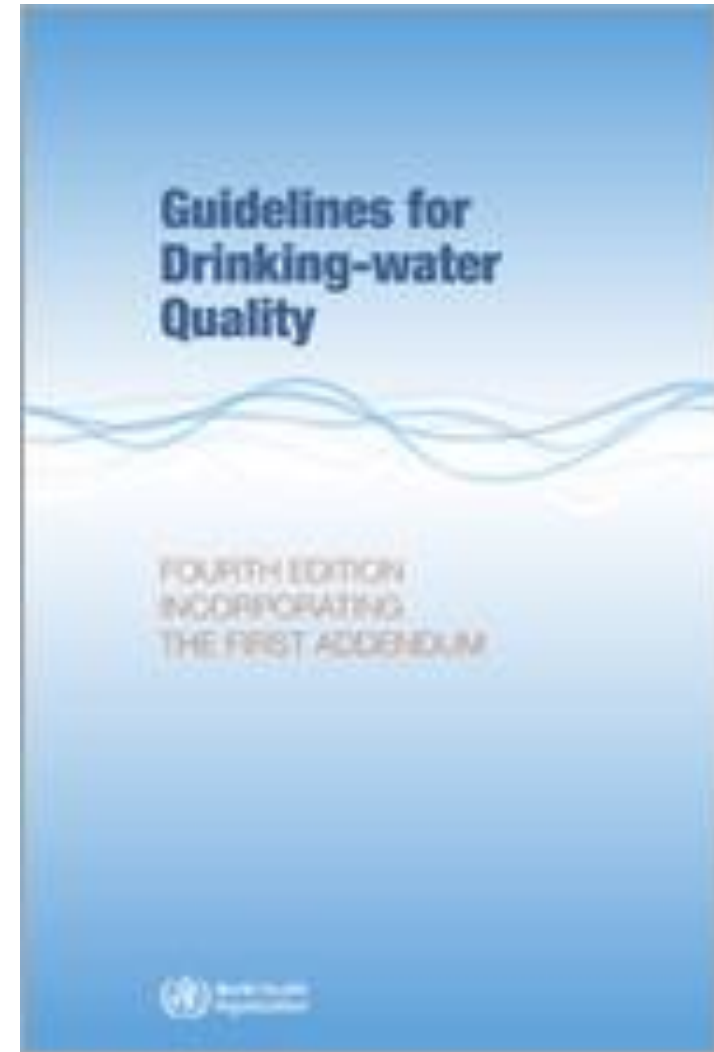
# Qualidade da Água para Consumo Humano

- Aspectos Microbiológicos
- Aspectos Químicos
- Aspectos Radiológicos
- Aspectos de Aceitabilidade

# Organização Mundial da Saúde

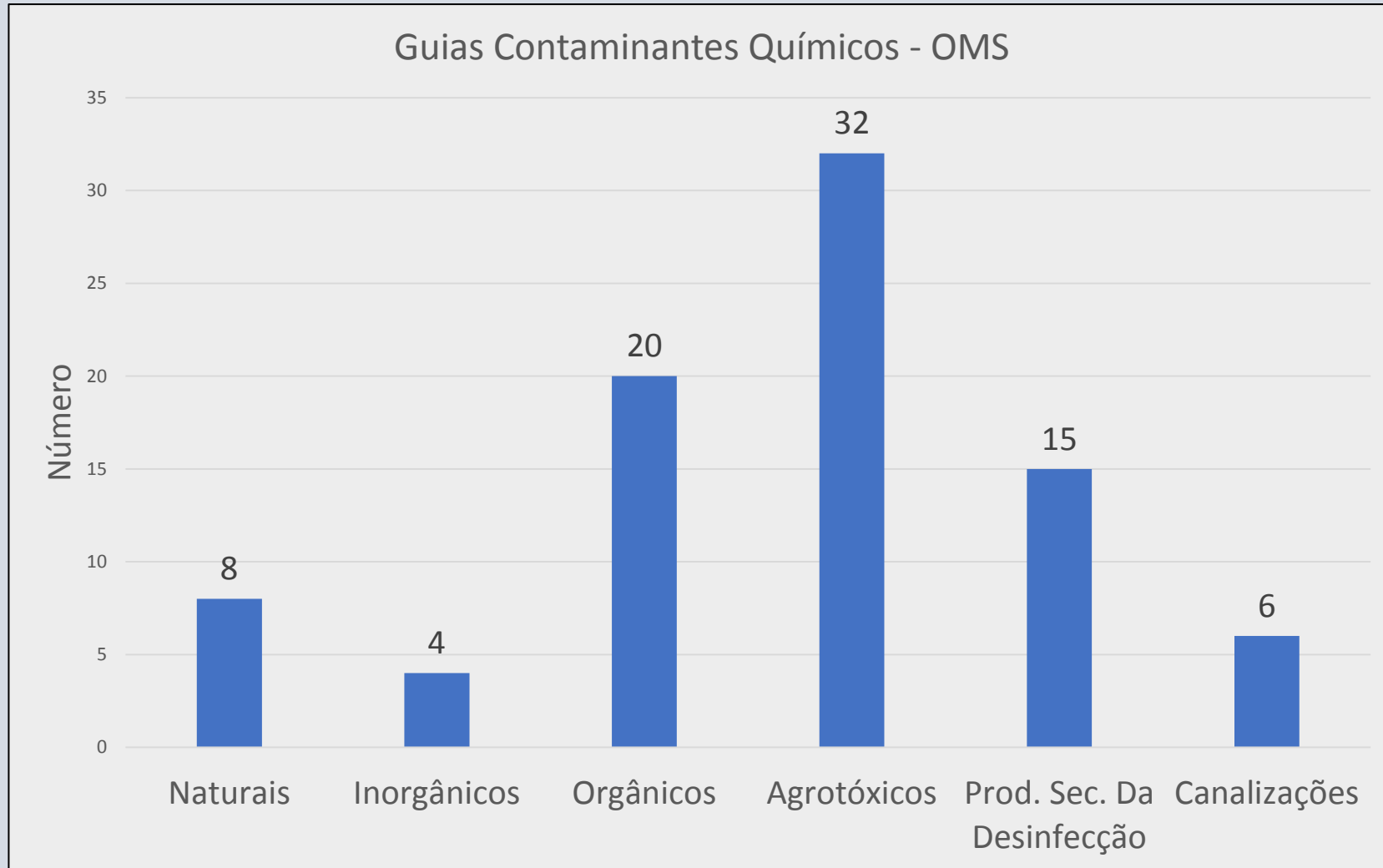


1958, 1963, 1971



1983, 1993, 2004, 2011, 2017

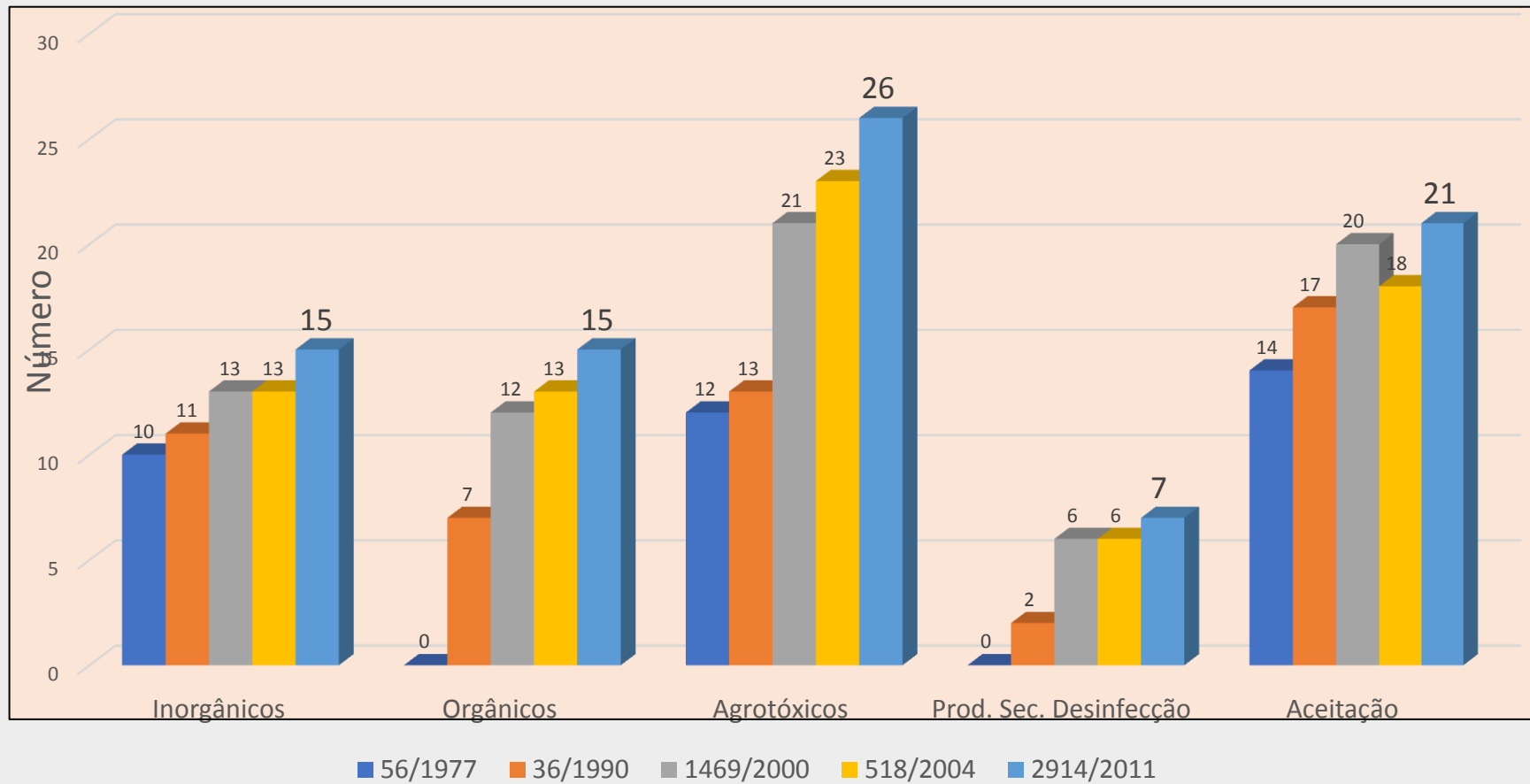
# Organização Mundial da Saúde



Recomendações para Contaminantes Químicos

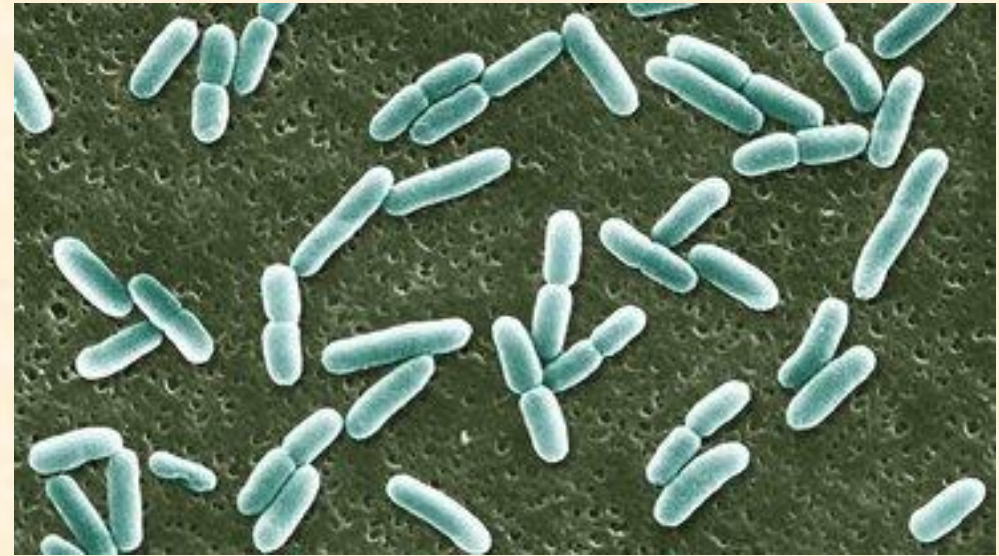
# Portarias de Potabilidade da Água - Brasil

Evolução Parâmetros de Potabilidade da Água



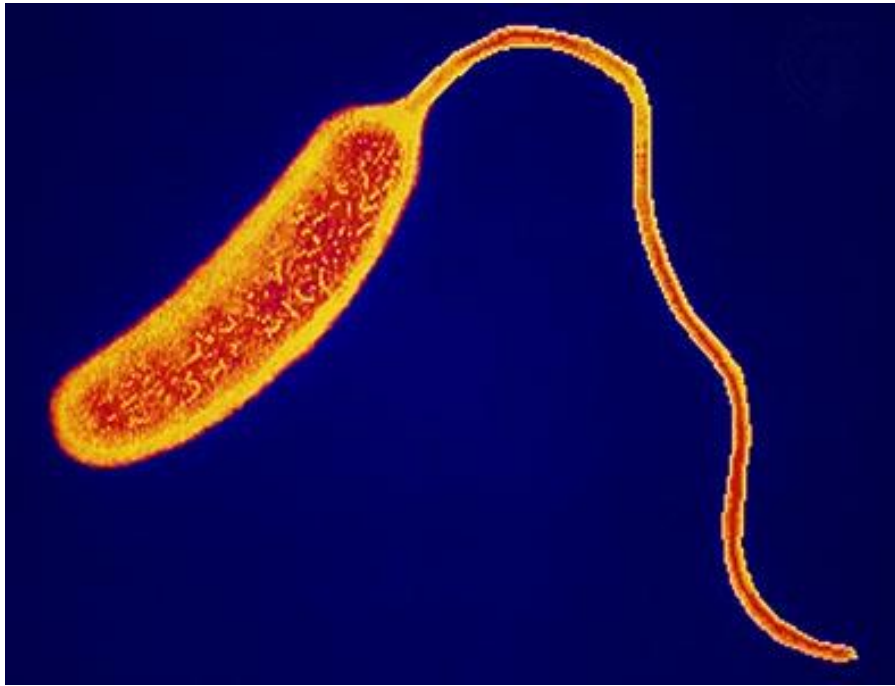
# Aspectos Microbiológicos na Água

- 1884: Prof. T. Escherich (pediatra) desenvolveu teste para identificação da bactéria que leva seu nome.



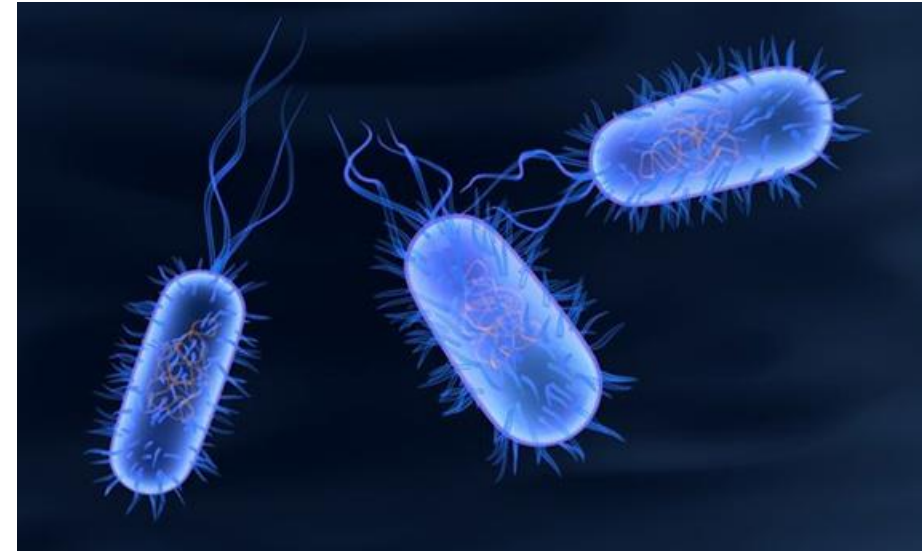
- 1914: Serviço de Saúde Pública dos EUA estabelece o teste de Coliformes e *Escherichia coli* como parâmetro da qualidade bacteriológica para água potável.

# Microrganismos Patogênicos na Água - Bactérias



***Vibrio cholerae***

Robert Koch, 1883



***Salmonella typhi***

Karl Eberth, 1880

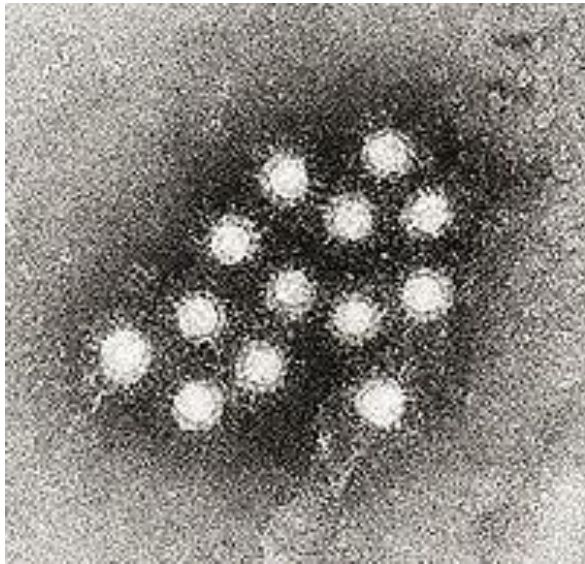


***Shigella dysenteriae***

Kiyoshi Shiga, 1898

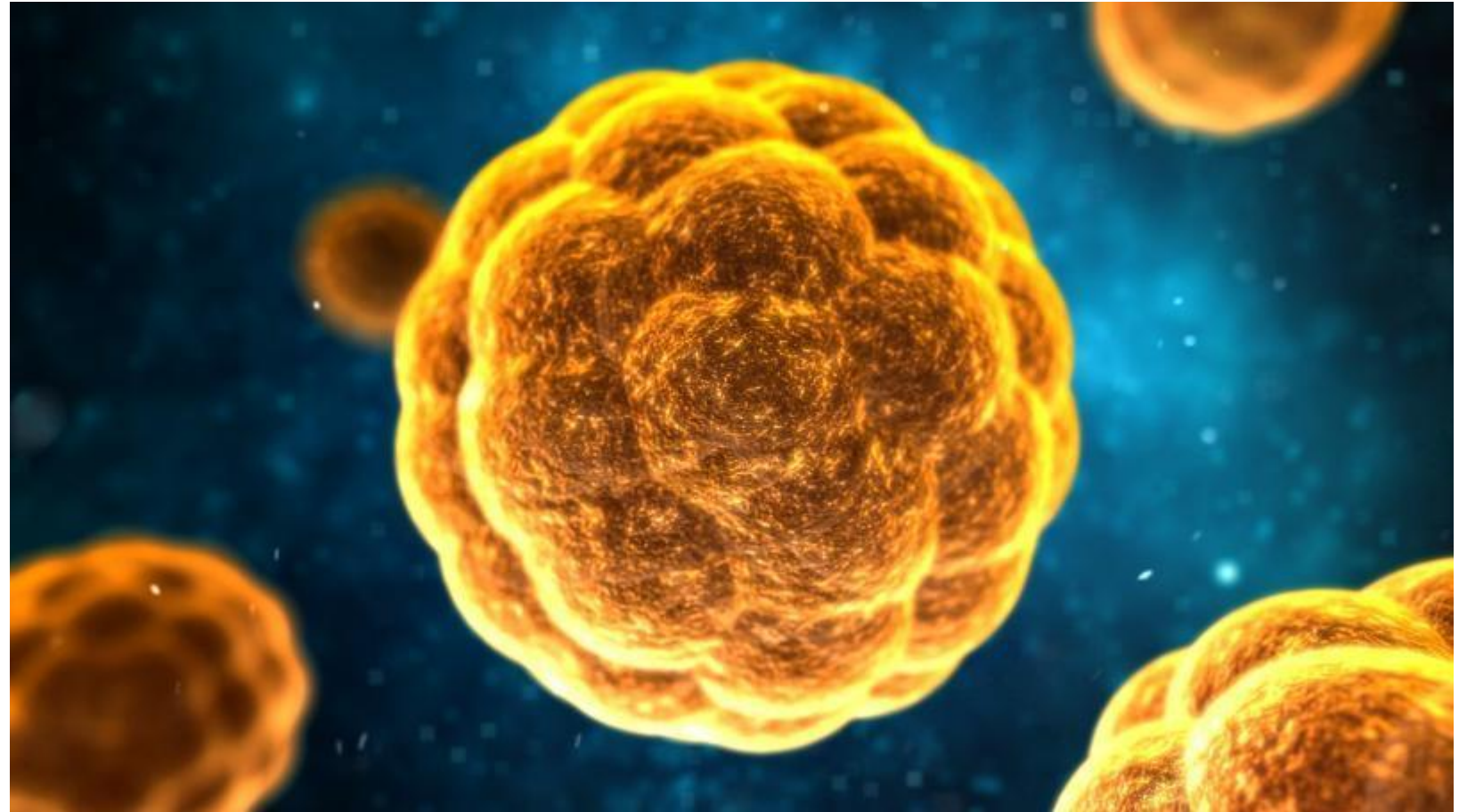
# Microrganismos Patogênicos na Água – Vírus

Detecção na água a partir da década de 1950.



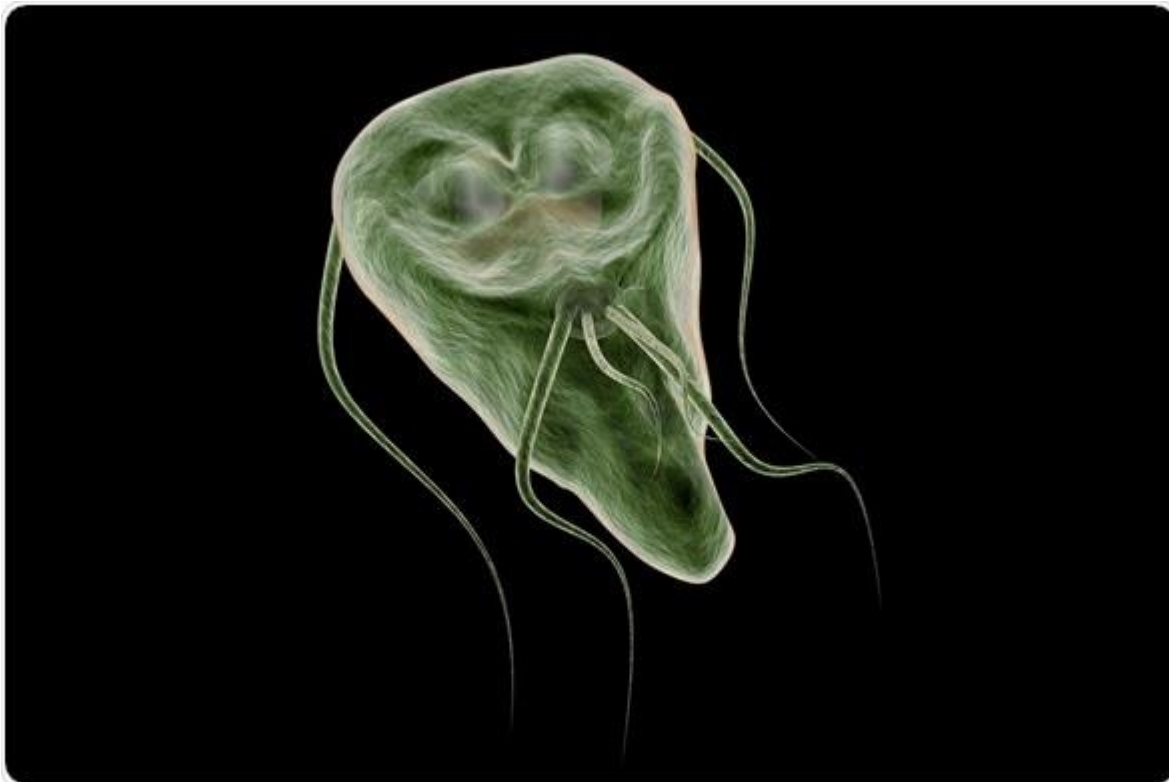
**Hepatitis A vírus**

**27 nm**

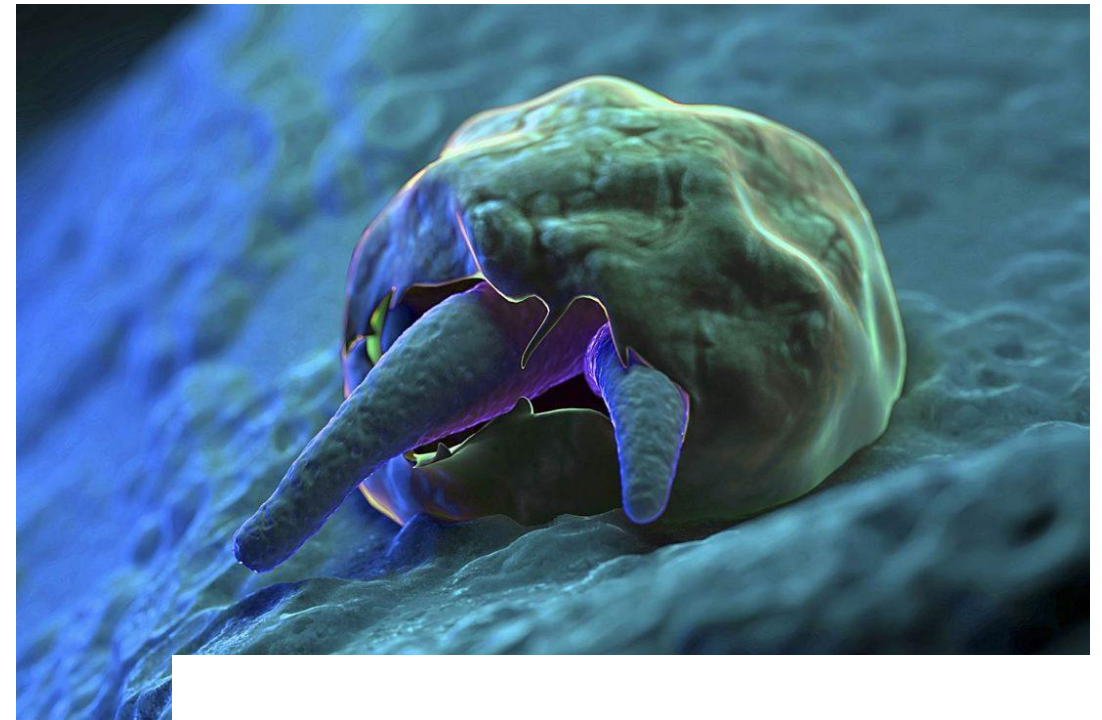


# Microorganismos Patogênicos na Água – Protozoários

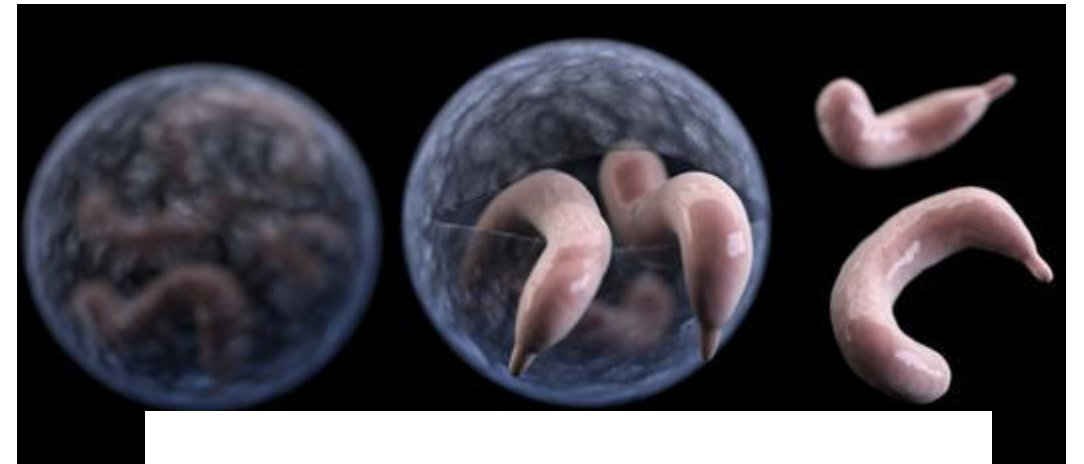
Doenças na água a partir da  
década de 1980.



***Giardia intestinalis***



***Cryptosporidium parvum***



**Emergindo do oocisto**

# Cianobactérias (algas azuis)

Procariotos como as bactérias

Fotossintetizantes como as algas



Lagoa Barra da Tijuca, 2012



Produzem compostos  
que causam:

Gosto e odor; Toxinas

# Cianobactérias (algas azuis)



Em 1996 na cidade de Caruaru, Pernambuco

Clínica de Hemodiálise: 52 mortes por perda da função hepática.

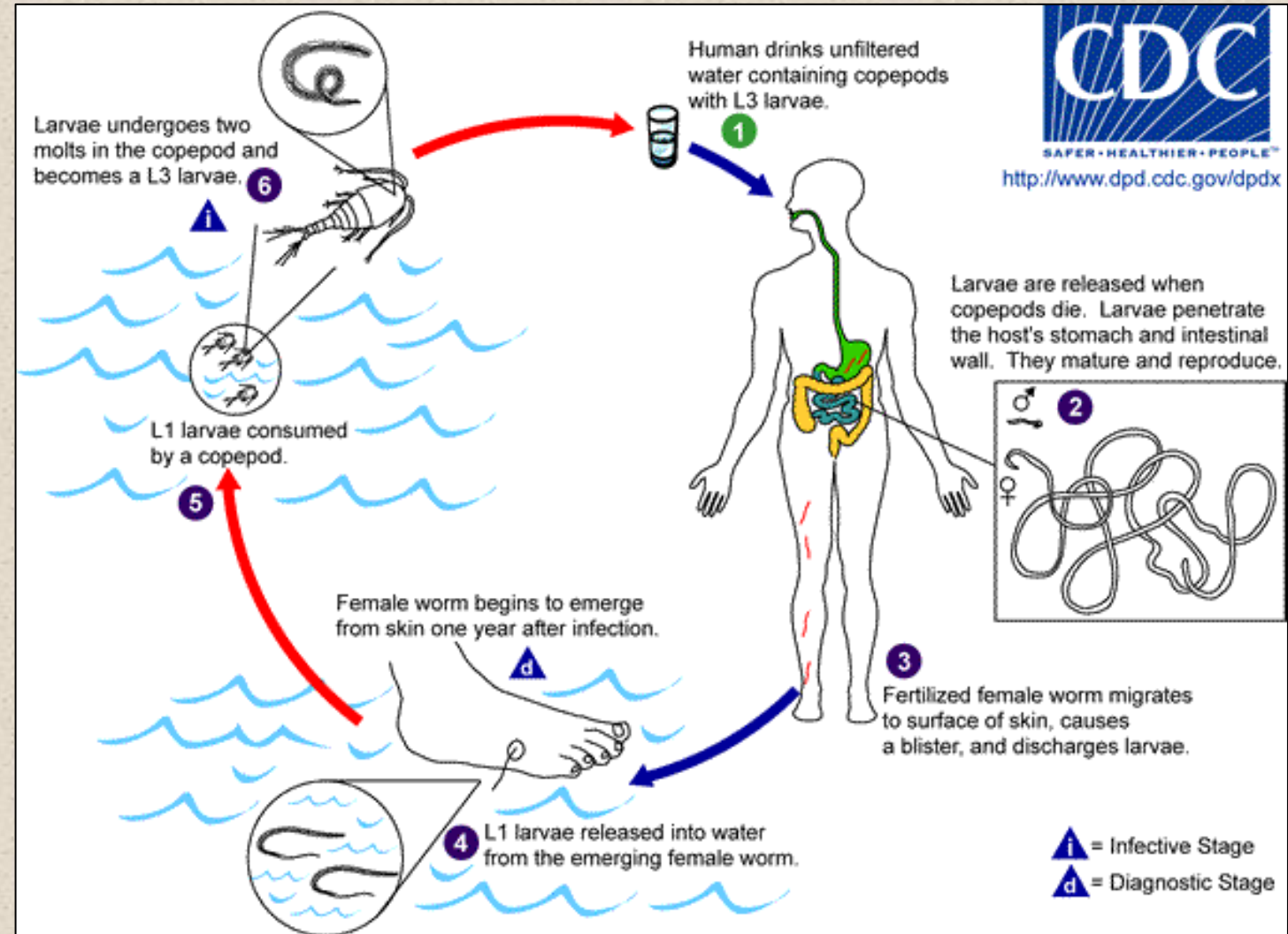
Atribuída a cianotoxinas.



# Helmintos (Vermes): Ingestão de Água

Dracunculose  
(Verme da Guiné)

Fasciolíase  
(*Fasciola hepática*)



# Microrganismos Patogênicos na Água

**Bactérias: 0,5 – 8  $\mu\text{m}$**

**Vírus: 0,02 a 0,3  $\mu\text{m}$**

**Protozoários: 5 – 20  $\mu\text{m}$**

Tipo	Organismos
Bactérias	<i>Acinetobacter, Aeromonas, Bacillus, Burkholderia pseudomallei, Campylobacter, Enterobacter sakazakii, Escherichia coli pathogenic stains, Helicobacter pylori, Klebsiella, Legionella, Leptospira, Mycobacterium, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella, Shigella, Staphylococcus aureus, Tsukamurella, Vibrio, Yersinia</i>
Virus	Adenoviruses, Astroviruses, Caliciviruses, Enteroviruses, Hepatitis A virus, Hepatitis E virus, Rotaviruses e orthoreoviruses

# Microrganismos Patogênicos na Água

<b><i>Tipo</i></b>	<b><i>Organismos</i></b>
<b>Helmintos</b>	<b><i>Dracunculus medinensis, Fasciola spp., Ascaris lumbricoides, Enterobius vermicularis, Taenia saginata, Taenia solium, Trichuris trichiura, Schistosoma mansoni, Ancylostoma duodenale</i></b>
<b>Cianobactérias</b>	<b><i>Anabaena spp., Aphanizomenon spp, Cilindropermum spp., Lyngbya spp., Microcystis spp., Nodularia spp., Nostoc spp., Oscillatoria spp., Planktothrix spp., Raphidiopsis curvata, Umezakia natans</i></b>

# Microrganismos Patogênicos na Água

Tipo	Organismos
Protozoários	<i>Acanthamoeba</i> , <i>Balantidium coli</i> , <i>Blastocystis</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Cyclospora</i> <i>cayetanensis</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>giardia intestinalis</i> , <i>Isospora belli</i> , <i>Microsporidia</i> , <i>Naegleria fowleri</i> , <i>Toxoplasma gondii</i>

# Seleção de Organismos Indicadores na Água

*Escherichia coli*: Indicador de contaminação fecal

Coliformes Totais: Integridade do Sistema de Distribuição de  
Água

Contagem Heterotrófica de Placa: Integridade do Sistema de  
Distribuição de Água

# Seleção de Organismos Indicadores na Água

*Clostridium perfringens*: Indicador da eficiência da desinfecção para vírus e protozoários.

Colifagos, *Bacterioides fragiles* e vírus entéricos: Indicadores da eficiência para vírus.

## Seleção de Organismos Indicadores na Água

Guia da OMS: *E. coli* ou Coliformes Termotolerantes não detectáveis na saída da ETA e no Sistema de Distribuição de Água.

Reconhece que vírus e protozoários mais resistentes a filtração e desinfecção podem estar presentes em água tratada sem a presença de *E. coli*.

# Indicador da Carga de Doença - OMS

## Anos de Vida Ajustados por Incapacidade (AVAI)

[Disability-Adjusted Life Year (DALY)]

Mede simultaneamente os efeitos da mortalidade e anos perdidos por incapacidade.

1 AVAI = um ano de vida sadia perdido por doença

# Indicador da Carga de Doença - OMS

$$AVAI = AVP + AVI$$

AVP = Anos de Vida Perdidos por Morte Prematura

AVI = Anos Vividos com Incapacidade

Considera Probabilidades, Severidades e Duração dos efeitos.

Pesos para a gravidade da doença: 0 para boa saúde; 1 para morte

# Exemplo de Cálculo AVAI

## Infecção com Rotavírus

- Diarreia Leve (Peso = 0,1) com duração de 7 dias em 97,5% casos.
- Diarreia Severa (Peso = 0,23) com duração de 7 dias em 2,5% dos casos.
- Morte em crianças em 0,015% dos casos.

$$\begin{aligned} \text{AVAI} &= (0,1 \times 7/365 \times 0,975) + (0,23 \times 7/365 \times 0,025) + (1 \times 70 \times 0,00015) \\ &= 0,0125 \text{ anos} \end{aligned}$$

# Carga Tolerável de Doença

OMS fixa  $10^{-6}$  AVAI por pessoa por ano

Traduzidos em:

- a) Qualidade da água
- b) Performance
- c) Tecnologia

# Objetivos de Performance para a Saúde

*Campylobacter*

AVAI =  $10^{-6}$

Concentração na Fonte  
de Água = 100 org/L

Análise de Risco

Performance Mínima  
Remoção = 6 log un.

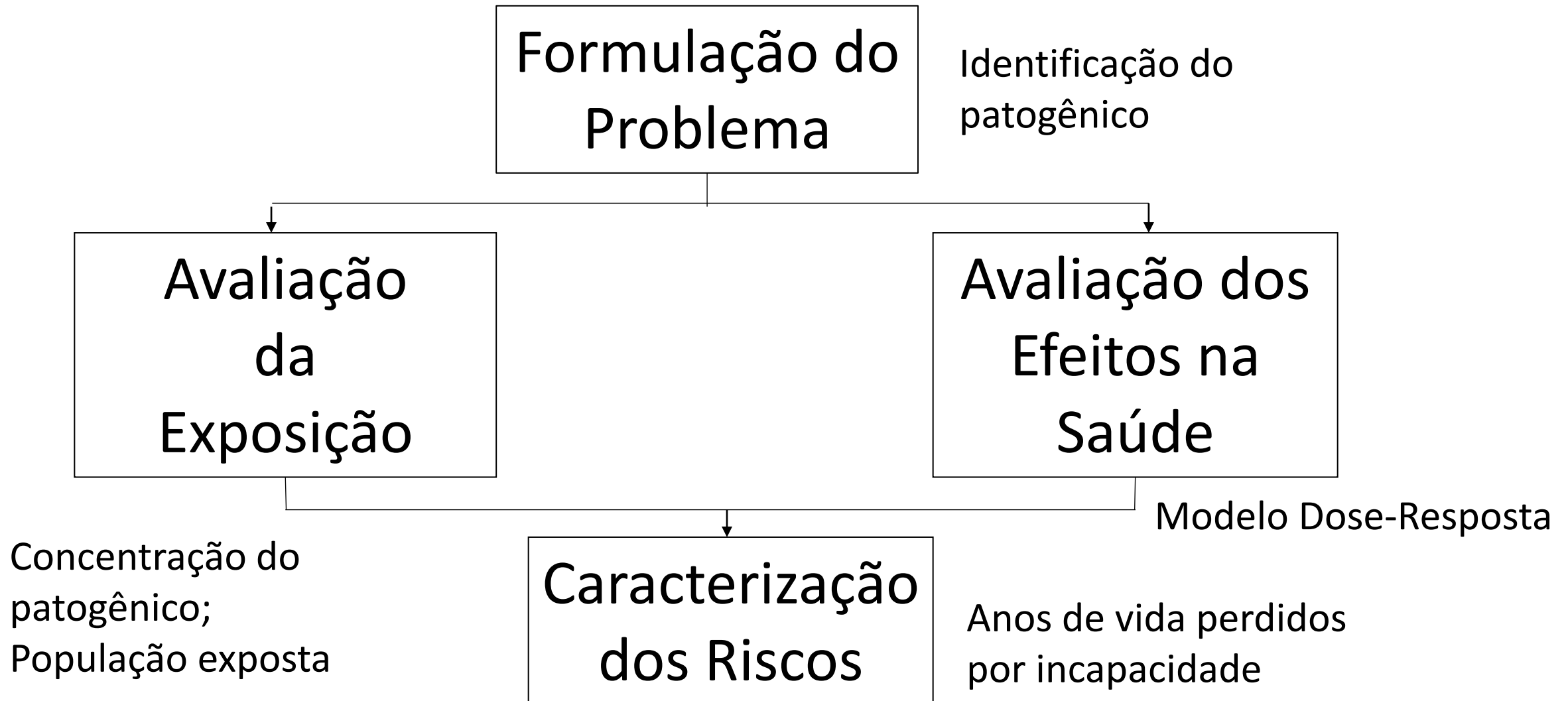
*Cryptosporidium*

AVAI =  $10^{-6}$

Não há informação  
sobre a concentração  
na fonte de água

Tecnologia Específica  
Coagulação + Filtração

# Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos



# Aspectos Químicos



Aplicação de DDT em uma praia de NJ, 1953

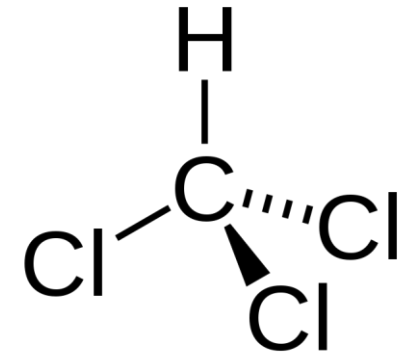
## Cromatograma

Pico A – Impureza do Solvente

Pico B – Clorofórmio

Pico C – Bromodiclorometano

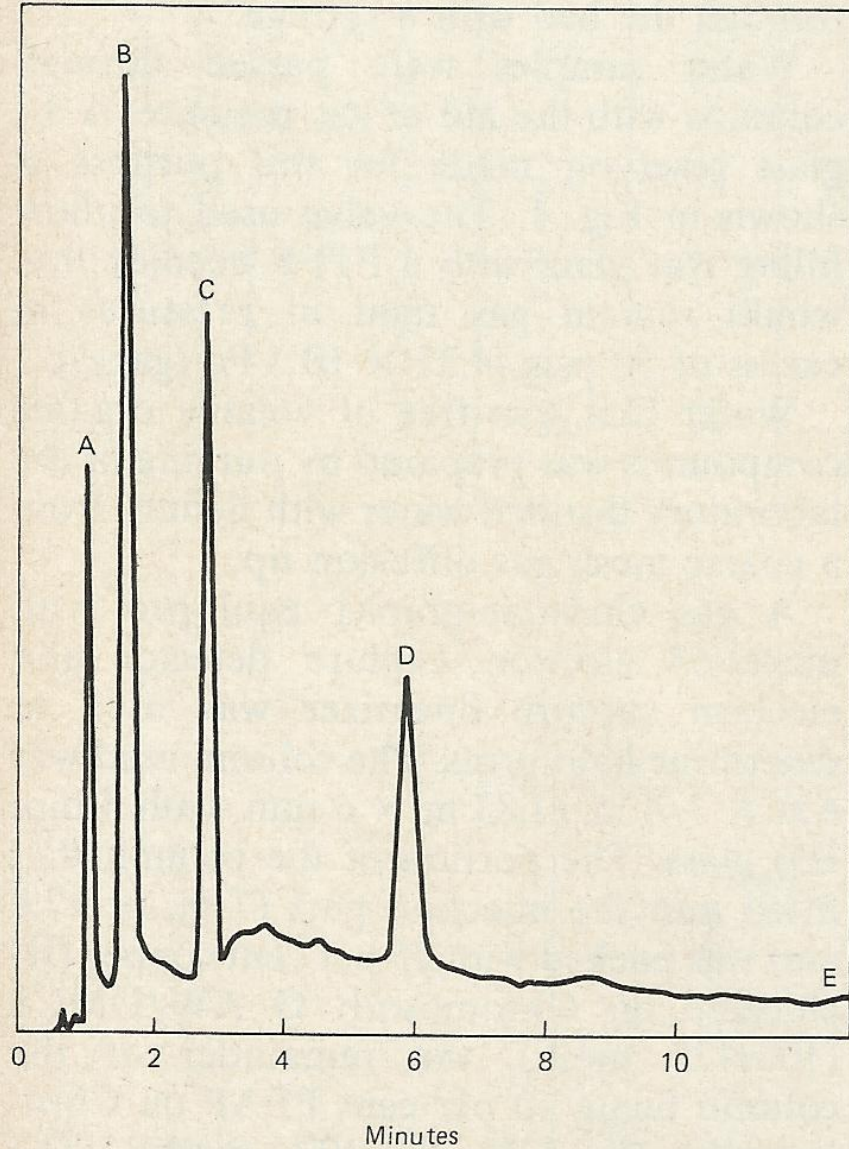
Pico D - Dibromoclorometano



Rook, 1974; Bellar *et al*, 1974

Reação do cloro com matéria orgânica produz  
Halofórmios.

EPA, 1975 – 75 cidades: clorofórmio e compostos  
correlatos apareceram.



**Fig. 2** Chromatogram of Public Water Supply,  
Huxley, Iowa

Kissinger e Fritz, 1976

# Aspectos Químicos

Cinco grupos:

- Ocorrência natural: *Arsênico, Fluoreto, Microcistina*
- Fontes Industriais e Sanitárias: *Cádmio, Benzeno*
- Atividades agrícolas: *Nitrato, Carbofurano*
- Tratamento da água e contato de materiais: *Acrilamida, Chumbo*
- Pesticidas usados na água para saúde pública: *Larvicidas*

## Aspectos Químicos

A maioria dos compostos químicos tóxicos que aparecem na água apresentam problemas à saúde somente após anos de exposição.

Exceção: *nitrate* (metahemoglobinemia)

## Aspectos Químicos

Para haver recomendação de concentração na água para consumo, um dos seguintes critérios deve ser atendido:

1º) Há ocorrência da substância na água, combinado com evidência de toxicidade;

## Aspectos Químicos

2º) A substância é de preocupação internacional;

3º) A substância está incluída ou sendo considerada para inclusão no Esquema de Avaliação de Pesticidas da WHO (WHOPES)

# Substâncias Químicas

---

Concentração recomendada

Não apresenta risco  
significativo a saúde ao longo  
de uma vida de consumo.



# Substâncias Químicas

## Enfoques para o estabelecimento de recomendações (Guias)

- 1º) Químicos com Valores Limites (Threshold Chemicals)  
(Carcinogênicos não genotóxicos)
- 2º) Químicos sem Valores Limites (Non-threshold  
Chemicals) (Carcinogênicos genotóxicos)

# Aspectos Químicos

## 1º) Químicos com Valores Limites (Threshold Chemicals)

Ingestão Tolerável Diária - concentração em que nenhum efeito adverso foi observado.<sup>TDI</sup>

Guia da OMS =  $fç$  (ITD, peso do corpo, fração alocada a água e consumo diário de água)

## Aspectos Químicos

2o) Químicos sem Valores Limites (Non-threshold Chemicals) (Carcinogênicos genotóxicos)

Valores Guias baseados em estimativas de risco a um nível particular de exposição.

Modelo Linearizado Multiestágio

## Aspectos Químicos

Risco adicional de câncer ao longo da vida de  $10^{-5}$   
= 1 caso adicional de câncer por 100.000 pessoas  
ingerindo a água contendo a substância ao longo de  
70 anos.

Cor, Gosto e Odor

---

# Aspectos de Aceitabilidade



# Aspectos de Aceitabilidade

- Geosmina
- 2 Metilisoborneol
- Sulfeto de Hidrogênio
- Amônia
- Clorofenois
- Ferro e Manganês

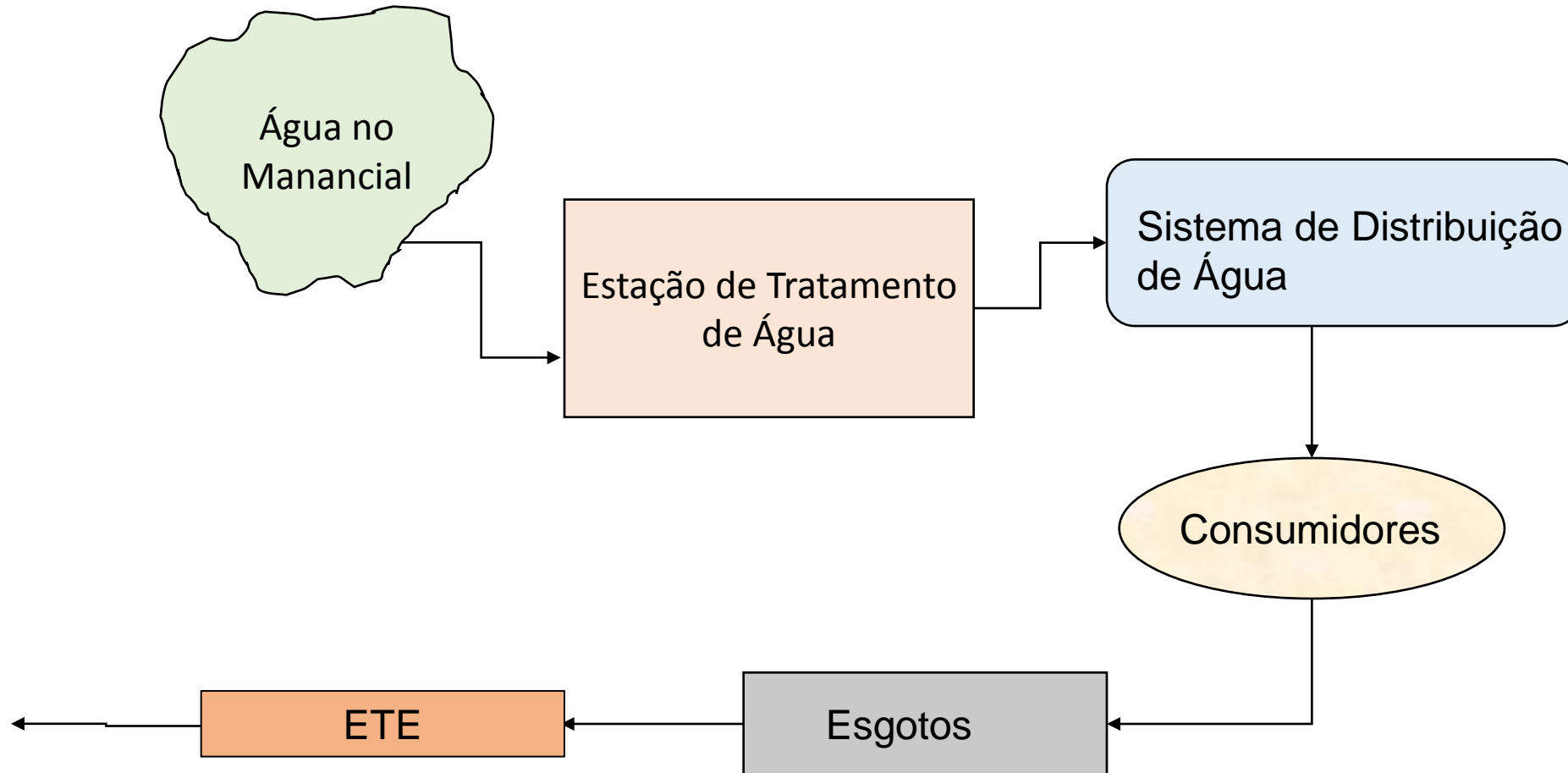


Desafios para o RS

1º Desafio:  
Fontes de  
suprimento  
de água

Proteção  
contra a  
poluição.

# Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água



# Desafios para o RS – Fontes de Suprimento



Fontes Pontuais: esgotos sanitários, efluentes industriais



Fontes Difusas:  
Agricultura

Fontes Difusas:  
Drenagem Urbana



## 2º Desafio: Tratamento da Água para Consumo Humano

- Assegurar a qualidade microbiológica da água frente a patógenos resistentes a desinfecção;
- Assegurar a qualidade química da água frente a presença de contaminantes complexos presentes em concentrações muito pequenas.



## 2º Desafio: Tratamento da Água para Consumo Humano

Como manter os padrões de aceitabilidade da água potável?



# 2º Desafio: Tratamento da Água para Consumo Humano

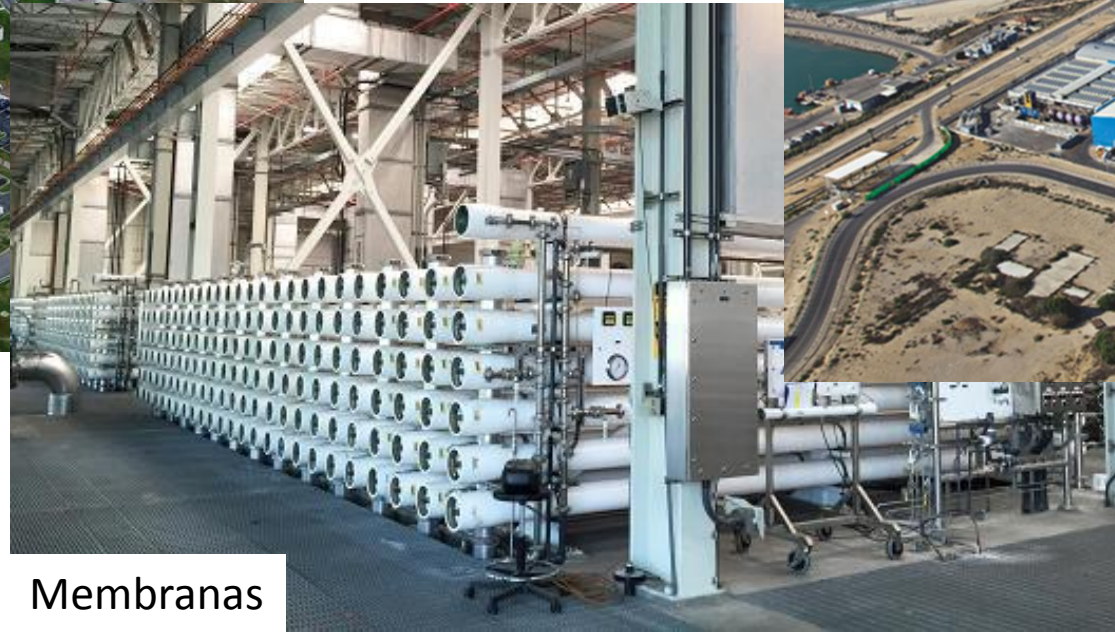
Como incorporar outras tecnologias de tratamento da água?



Radiação UV



Dessalinização



Membranas

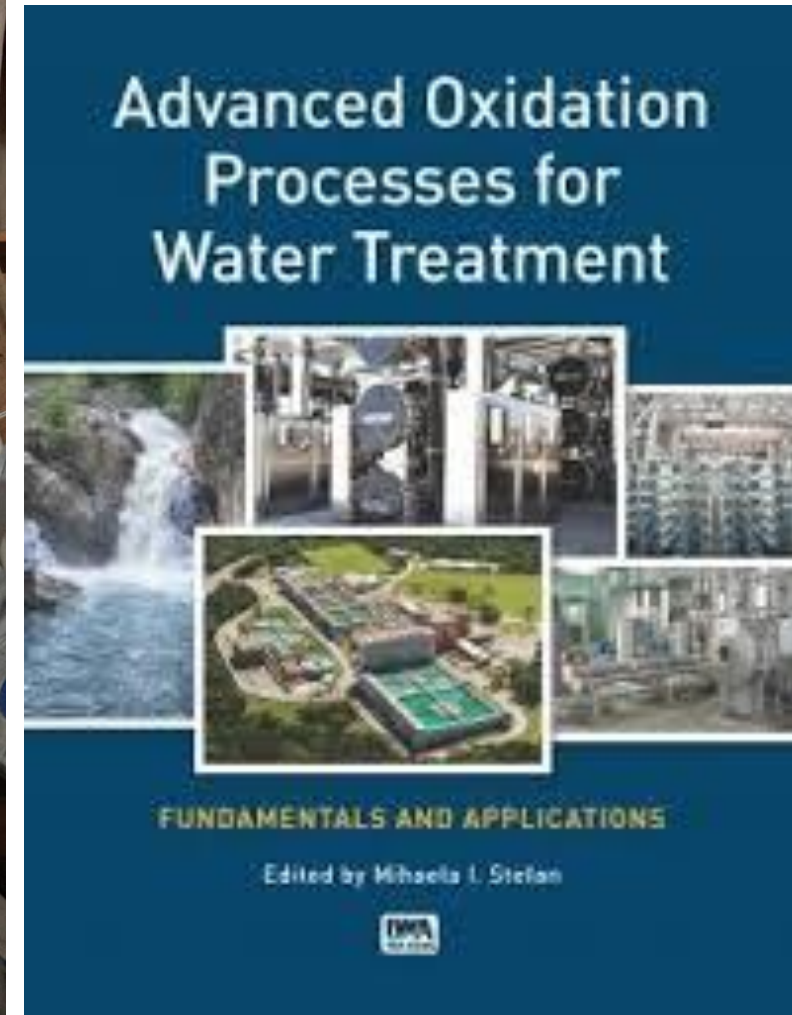
# 2º Desafio: Tratamento da Água para Consumo Humano



Ozônio

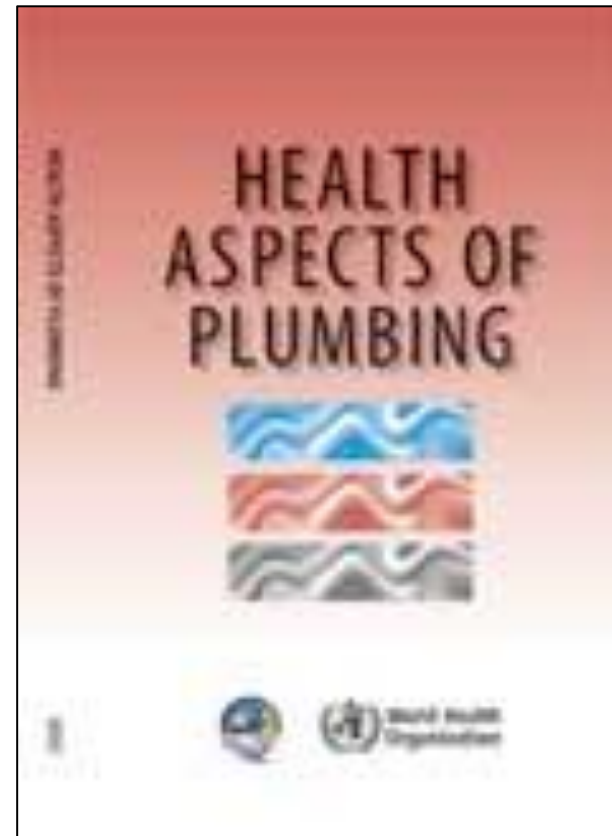


Adsorção CAG



## 3º Desafio: Sistemas de Distribuição de Água

- Reduzir o número de paralisações e intermitências no abastecimento de água.



## 3º Desafio: Sistemas de Distribuição de Água

- Baixa pressão afeta a qualidade da água – risco de ingresso de água contaminada no sistema de abastecimento.
- Controle de colonização do sistema de distribuição com biofilmes.
- Diminuir as perdas nos sistemas de distribuição de água.

Índice de Perdas no RS = 37% (SNIS, 2017)

# 3º Desafio: Sistemas de Distribuição de Água

Corrosão: dissolução parcial de materiais no sistema de distribuição, tanques, válvulas e bombas.

Importante, por exemplo, para chumbo, cobre e crescimento de microrganismos.



3º Desafio:  
Sistemas de  
Distribuição de  
Água



Manganês depositado em Rede de  
Abastecimento de Água



## 3º Desafio: Sistemas de Distribuição de Água

---

Manter a integridade do Sistema de Distribuição de Água

## 4º Desafio: Instalações hidráulicas prediais

Reservatório Residencial com Corrosão



Reservatório sem Tampa



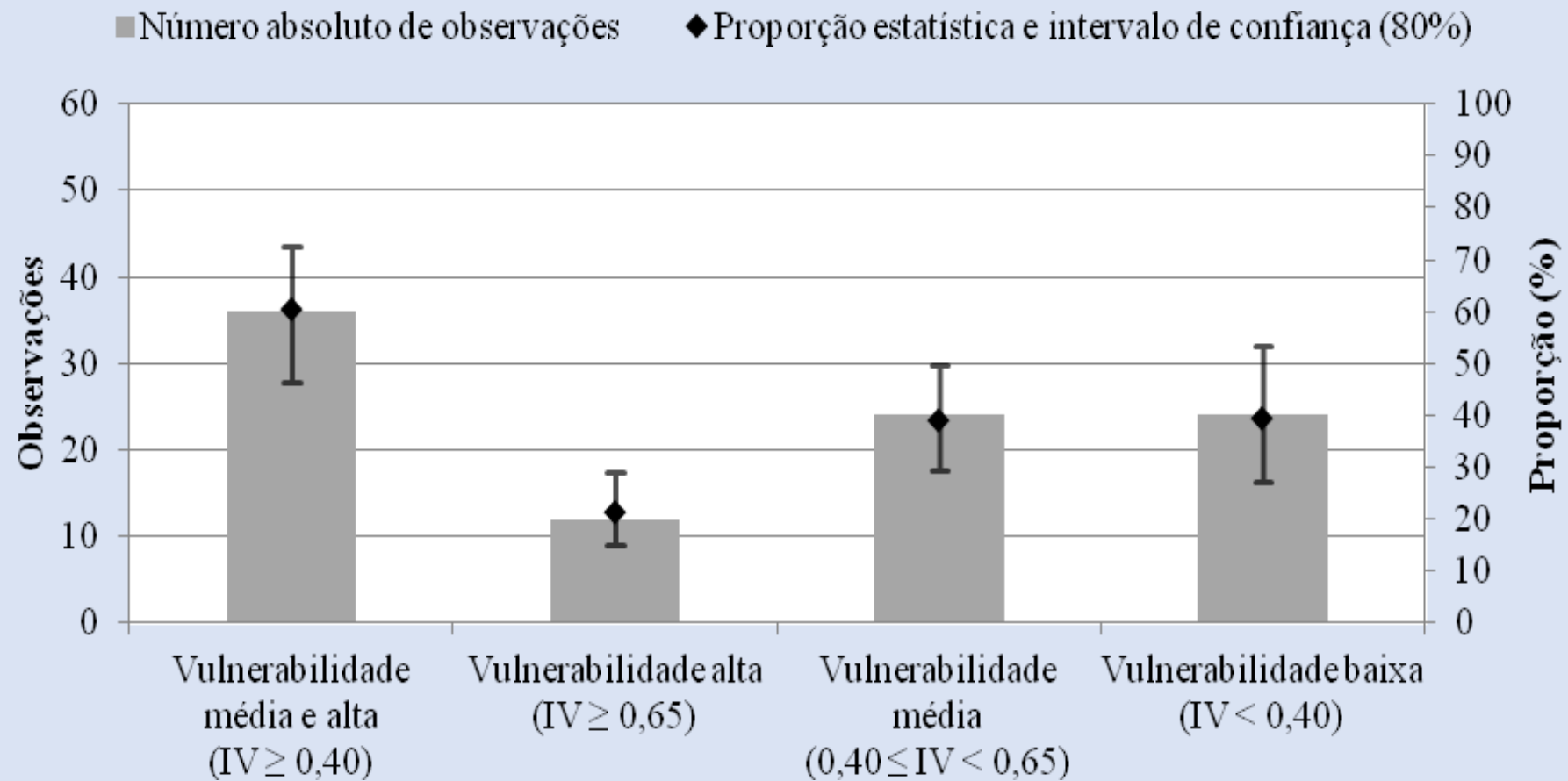
Rotor de uma Bomba de Recalque de reservatório predial



# 5º Desafio: Desastres Ambientais

---

# 6º Desafio: Qualidade da Água em Pequenos Sistemas de Abastecimento



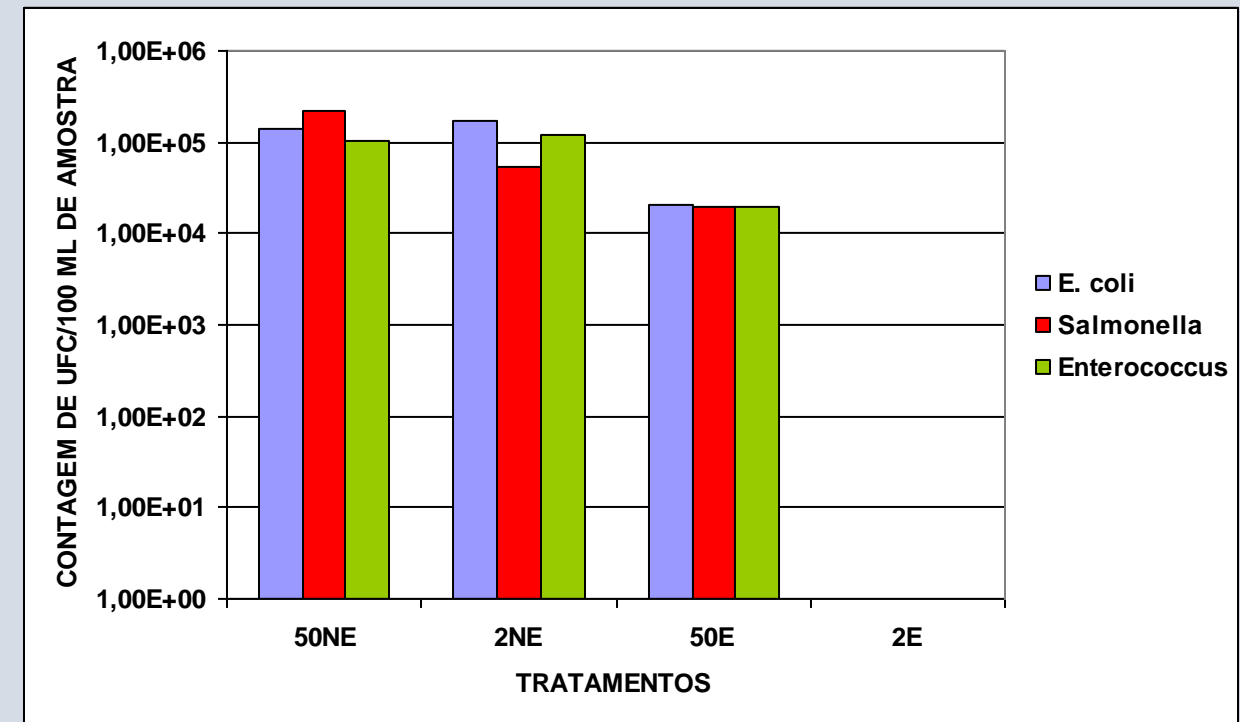
Resultado da proporção dos sistemas por nível de vulnerabilidade (Debiasi, 2016)

## 6º Desafio: Qualidade da Água em Pequenos Sistemas de Abastecimento



a) Poço sem proteção sanitária; b) Sistema de Desinfecção inoperante; c) Sistema de Distribuição precário (Debiasi, 2016)

# 7º Desafio: Tratamento Domiciliar da Água



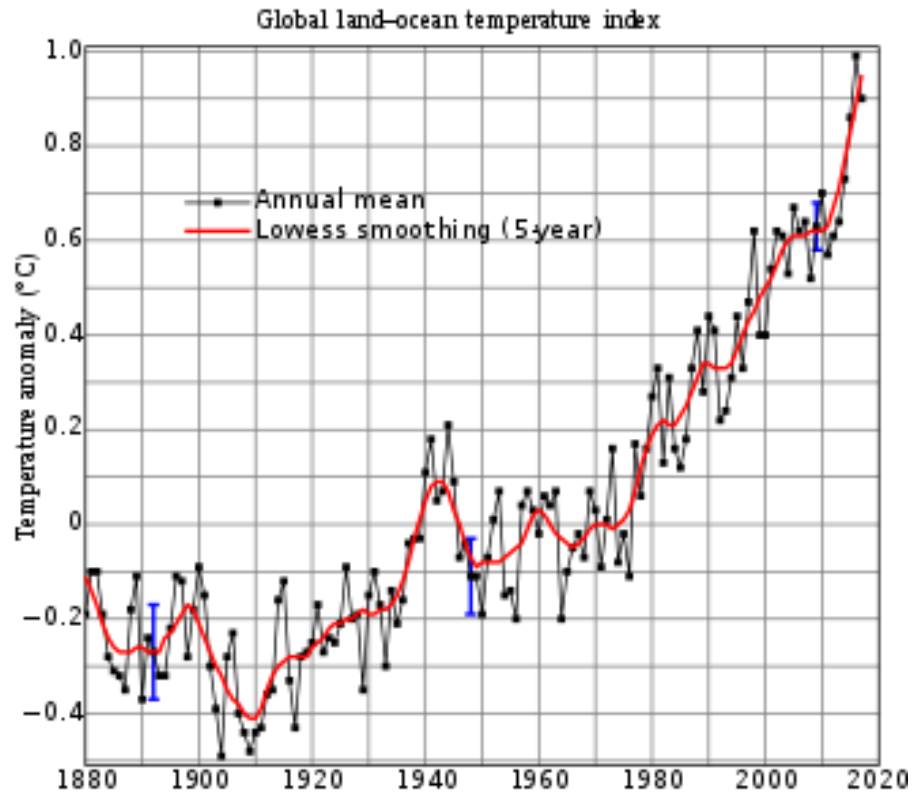
Desinfecção Solar da Água - SODIS

## 8º Desafio: Monitoramento On-Line de Patogênicos na Água

Metagenômica detecta organismos múltiplos com identificação de patogênicos e virulência.

Aplicações em Saúde Pública, Diagnóstico de Doenças Infecciosas, Indústrias, entre outras.

# 9º Desafio: Adaptação as Mudanças Climáticas



Impactos na Quantidade e Qualidade da Água

# Revisão de parâmetros de Potabilidade da Água

- Novos conhecimentos científicos;
- Novos métodos analíticos;
- Novas tecnologias de tratamento de água.



ICP-MS



Aqueduto em  
Segóvia, Espanha

Benetti@iph.ufrgs.br

Parque dos  
Aquedutos, Roma

