

ERHA 7039

# Princípios da Modelagem e Controle da Qualidade da Água Superficial

---

REGINA TIEMY KISHI

<http://www.ufpr.br/~rtkishi.dhs/ERHA7039>

# 14 - Patogênicos

# Patogênicos

---

Aqui tratados:

Patogênicos



agentes primários de doenças contagiosas através de **água contaminada**

## Formas de contágio:

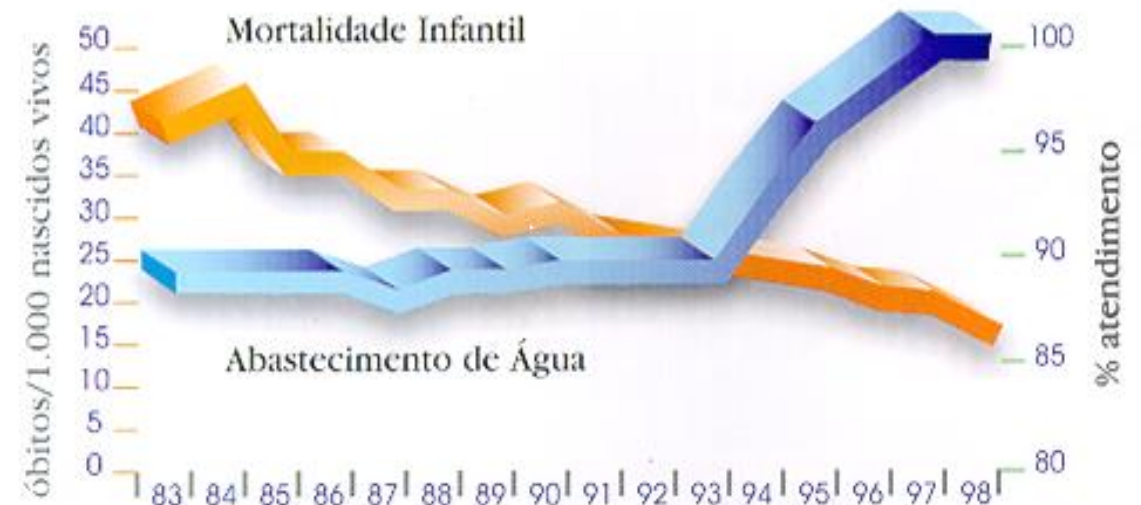
- ingestão de água/alimento contaminados
- através da higienização: infecção de pele, olhos, ouvidos, nariz

# Saneamento x Saúde pública

65% das internações hospitalares de crianças menores que 10 anos estão associadas à falta de saneamento básico (BNDES, 1998)

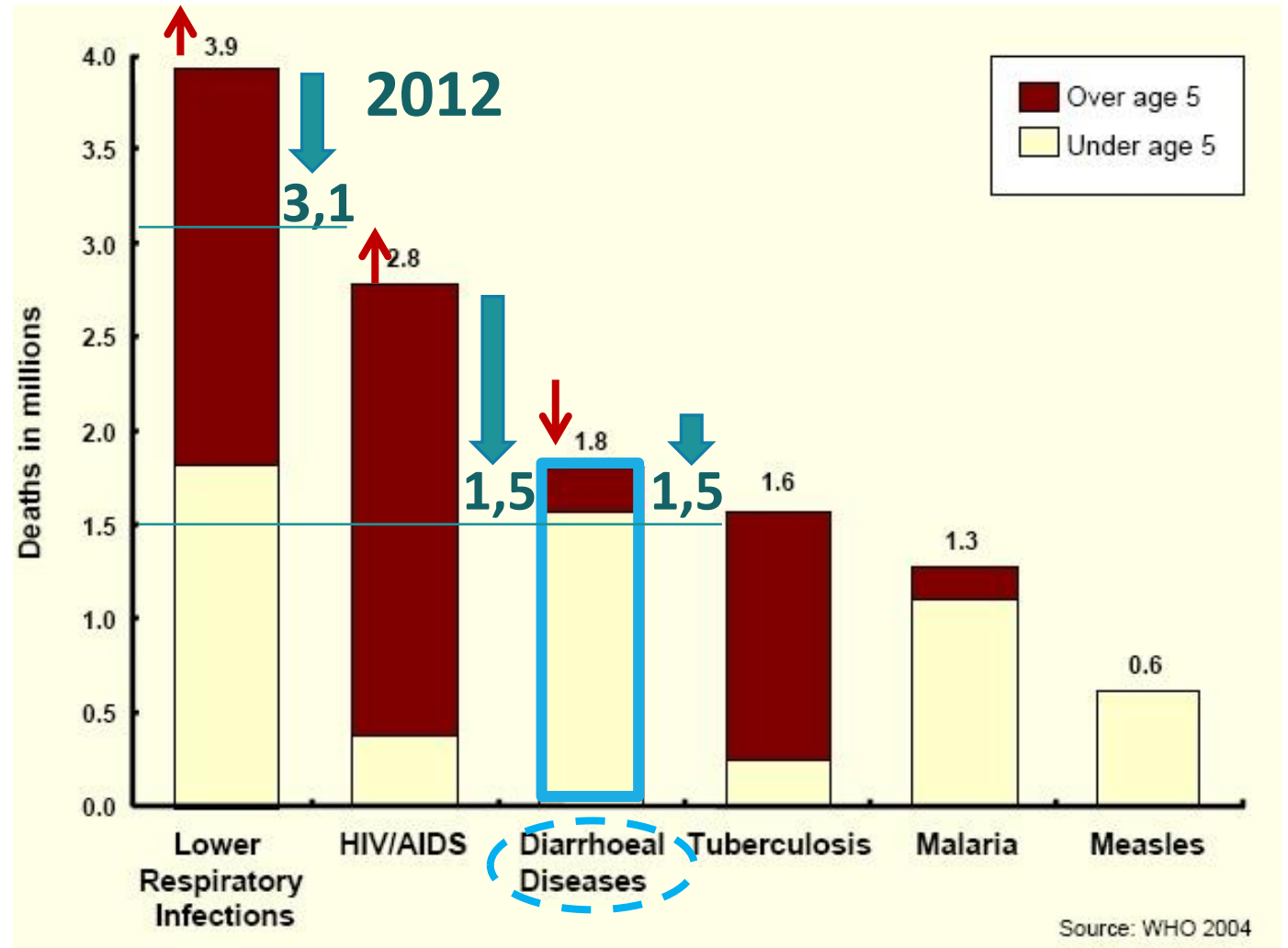
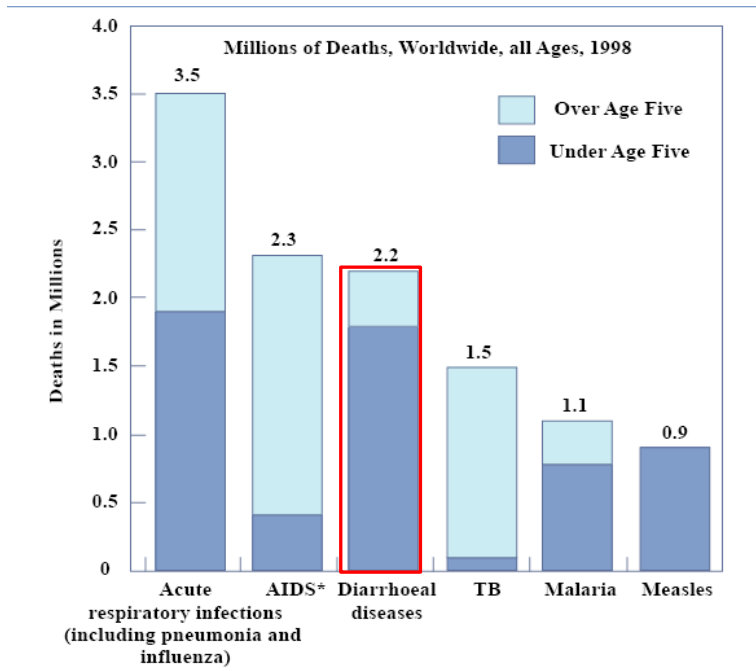
A falta de saneamento básico é a principal responsável pela morte por diarreia de menores de 5 anos no Brasil (FSP, 17/dez/99).

15 crianças de 0 a 4 anos de idade morrem por dia no Brasil em decorrência da falta de saneamento básico, principalmente de esgoto sanitário (FUNASA-FSP, 16/jul/00).



Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), para cada dólar investido em saneamento, de quatro a cinco dólares são economizados em saúde curativa.

# Mortes por infecção – 1998, 2002 e 2012



# Doenças relacionadas à água

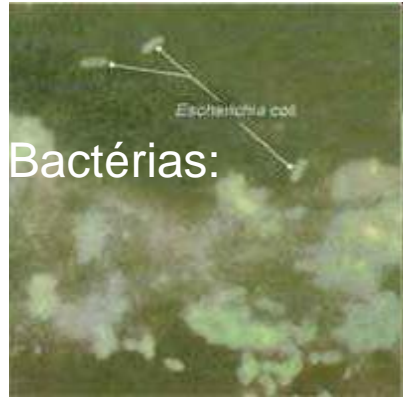
---

<b>DOENÇAS</b>	<b>AGENTES CAUSADORES</b>
Febre Tifoide	Salmonela Tifoide
Febres Paratifóides (3)	Salmonelas Paratifóides (A,B,C,)
Disenteria Bacilar	Bacilo Disentérico
Disenteria Amebiana	Entamoeba Histolítica
Cólera	Vibrião da Cólera
Diarréia	Enterovírus, E.Coli
Hepatite Infecciosa	Vírus Tipo A
Giardiose	Giárdia Lamblia

# Alguns organismos patogênicos associados à água

Category	Description	Species and groups
Bacteria	Microscopic, unicellular organisms that lack a fully-defined nucleus and contain no chlorophyll	<i>Vibrio cholerae</i> <i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> <i>Legionella</i>
Viruses	A large group of submicroscopic (10 to 25 nm) infectious agents. They are composed of a protein sheath surrounding a nucleic acid core and, thus, contain all the information required for their own reproduction. However, they require a host in which to live	Hepatitis A Enteroviruses Polioviruses Echoviruses Coxsackieviruses Rotaviruses
Protozoa	Unicellular animals that reproduce by fission	<i>Giardia lamblia</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Cryptosporidium</i> <i>Naegleria fowleri</i>
Helminths (intestinal worms)	Intestinal worms and wormlike parasites	Nematodes <i>Schistosoma haematobium</i>
Algae	Large group of nonvascular plants. Certain species produce toxins that if consumed in large quantities may be harmful	<i>Anabaena flos-aquae</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>

# Bactérias, vírus e protozoários



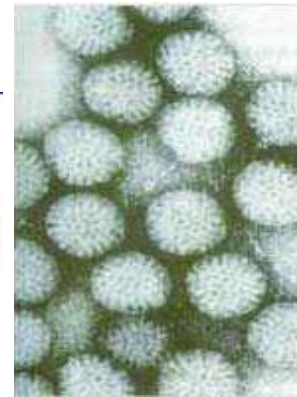
Escherichia coli



Salmonella typhi



Vibrio cholerae



Rotavírus



Vírus: Norwalk



Protozoário: Ameba



Protozoário: Giardia lamblia



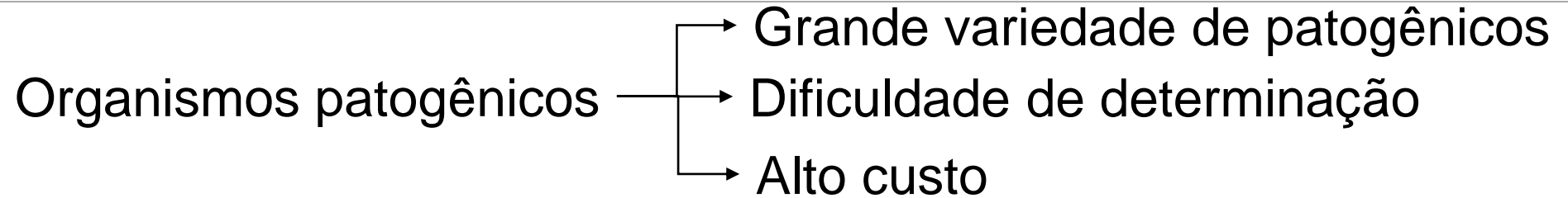
Protozoário: Criptosporídeo



Protozoário: ciliadó peduncular

# Organismos indicadores

---



## **Organismos indicadores**

- conveniente para determinar
- abundantes nos resíduos humanos e animais

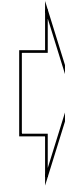
SE PRESENTE, é assumido que os **patogênicos**  
**PODEM** estar presentes.

# Organismos indicadores

---

## COLIFORMES

- Coliformes totais
- Coliformes fecais  
Abrange gênero *Klebsiella*, espécies que não são necessariamente de origem fecal



- Coliformes termotolerantes
- *Escherichia coli*

## ESTREPTOCOCOS FECAIS

- Enterococos

São usados como **indicadores de possível contaminação por esgoto e possível presença de patogênicos**, uma vez que estes são comumente encontrados nas fezes humanas e de animais.

# Melhores indicadores de risco sanitário de contato primário

**Coliformes termotolerantes:** bactérias presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que **não** tenham sido contaminados por material fecal.

**E. coli** é uma espécie de bactéria do grupo dos coliformes termotolerantes, cujo habitat **exclusivo** é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas.

**Enterococos** são um subgrupo dentro do grupo Streptococo fecal (geralmente ocorre no sistema digestivo de seres humanos e outros animais de sangue quente). São distinguidos pela sua habilidade de sobreviver em águas salinas e, portanto, considerados melhores indicadores para águas salinas. Enterococos são tipicamente mais específicos dos seres humanos que o amplo grupo Streptococo fecal.



Resolução CONAMA 357/05

# Coliformes e Estreptococos fecais

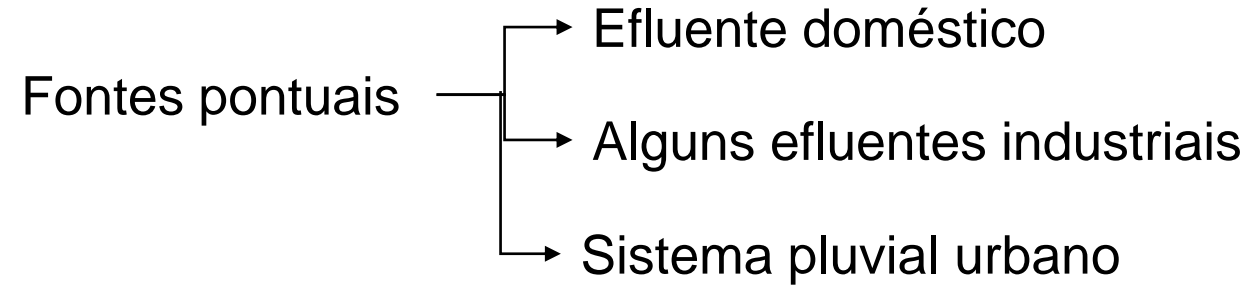
**Per capita generation rates of intestinal bacteria for warm-blooded animals (Metcalf and Eddy 1991)**

Animal	TC	FC	FS	FC/FS
	(10 <sup>6</sup> number capita <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )			
Human	100,000–400,000	2,000	450	4.4
Chicken		240	620	0.4
Cow		5,400	31,000	0.2
Duck		11,000	18,000	0.6
Pig		8,900	230,000	0.04
Sheep		18,000	43,000	0.4
Turkey		130	1,300	0.1

TC – Coliformes totais FC – Coliformes fecais FS – Estreptococos fecais

# Fontes de organismos

---



Fontes difusas → Escoamento superficial

Disposição de lodos de ETE

# Concentração no esgoto bruto

Valores em  $10^6$  org/100mL

<b>Tipo</b>	<b>Faixa</b>	<b>Média</b>	<b>Local</b>
Coliformes totais	1,6 – 47,4	21,9	14 cidades dos EUA
	70 – 733	412	2 ETE – 14 dias – México
		200	Rio de Janeiro – Brasil
		180	Lima - Peru
Coliformes fecais	0,3 - 49	8,3	21 cidades dos EUA
		30	2 ETE – 14 dias – México
		120	Lima - Peru
Estreptococos fecais	0,064 – 4,5	1,6	7 cidades dos EUA
		1,9	2 ETE – 14 dias – México

# Concentração no escoamento superficial

Variável	Local	10%	50%	90%
Coliformes totais	Cincinnati	2.900	58.000	460.000
	Ann Arbor	70.000	1.200.000	20.000.000
Coliformes fecais	Cincinnati	500	10.900	76.000
	Ann Arbor	7.000	82.000	1.000.000
Estreptococos fecais	Cincinnati	4.900	20.500	110.000
	Ann Arbor	25.000	140.000	770.000
Relação CF/EF	Cincinnati	0,1	0,5	0,7
	Ann Arbor	0,3	0,6	1,3

% tempo que o número de organismos/100mL foi igual ou menor que o valor indicado.

Thomann & Mueller, 1987

# Concentrações - Resumo

---

## Esgoto bruto:

EUA: ~  $21,9 \cdot 10^6$  coliformes totais/100 ml

Brasil: ~  $200 \cdot 10^6$  coliformes totais/100 ml

## Escoamento superficial urbano:

EUA: ~  $0,3 \cdot 10^6$  coliformes totais/100 ml

(média geométrica de 20 cidades)

# Padrões de qualidade para água doce

---

Limites: Resolução No. 357/05 do CONAMA

Em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral

## **Coliformes termotolerantes:**

### Classe 1

- Recreação de contato primário: Res. Conama 274/00
- Demais usos: < 200/100ml

### Classe 2

- Recreação de contato primário: Res. Conama 274/00
- Demais usos: < 1000/100ml

### Classe 3

- Recreação de contato secundário: < 2500/100ml
- Dessedentação de animais criados confinados: < 1000/100ml
- Demais usos: < 4000/100ml

# Padrões de balneabilidade

		Resolução CONAMA 274/2000 Águas doces, salinas e salobras		Somente para Águas marinhas ↓ Enterococos:
Avaliação:		Coliformes fecais:	Escherichia coli:	
<b>Própria*</b>	Excelente	< 250	< 200	< 25
	Muito boa	< 500	< 400	< 50
	Satisfatória	< 1000	< 800	< 100
<b>Imprópria**</b>		>2500	>2000	>400

- não atendimento aos critérios para água própria
- pH<6,0 ou pH>9,0 (águas doces)
- na região: enfermidades transmissíveis por via hídrica
- presença de resíduos/despejos capazes de oferecer riscos ou tornar desagradável a recreação
- fatores que contra-indiquem (floração de algas, organismos)

\* Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local.

\*\* Última amostragem

---

**TABLE 27.3**  
**Concentration standards for total and fecal coliform**

<b>Use</b>	<b>TC (No. / 100 mL)</b>	<b>FC (No. / 100 mL)</b>
Drinking water	0	0
Shellfish	70	14
Fishing	1000–5000	100–1000
Contact recreation	1000–5000	100–1000

Fonte: Chapra, 1997

# Coliformes fecais

Método de determinação

## Contagem padrão em placas petri

Filtração de diferentes porções de amostras usando filtros com um diâmetro e tamanho de poros padrões

Coloca-se cada filtro em meio nutritivo seletivo em uma placa petri

Incubação das placas em temperatura e tempo específicos

Contagem de colônias que cresceram no filtro.

## Tubos múltiplos

Adição de quantidades específicas de amostras em tubos contendo um meio nutritivo

Incubação dos tubos em temperatura e tempo específicos

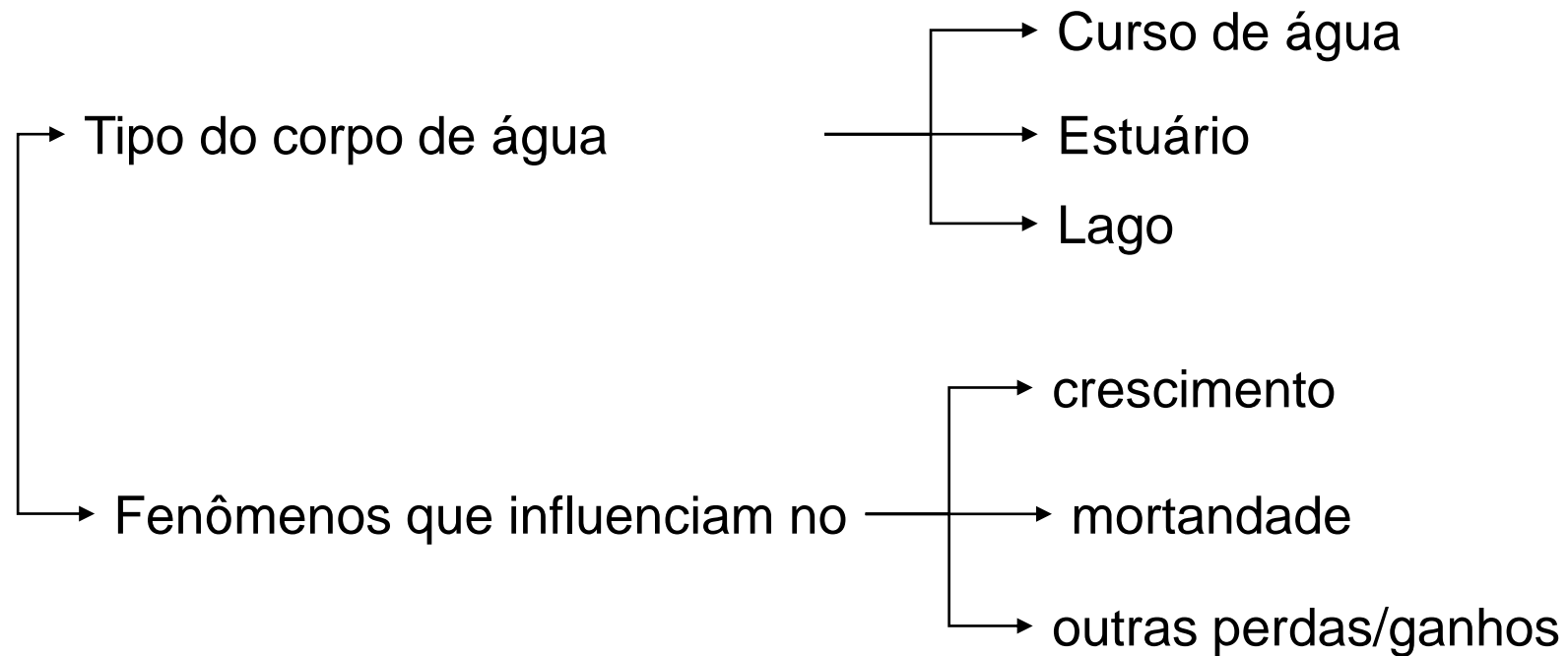
Avaliação da presença ou ausência de desenvolvimento de gás e/ou turbidez que as bactérias produzem

Cálculo do índice conhecido como NMP (Número mais provável)

# Modelagem – Bactéria

---

Variação da concentração de bactérias em águas naturais depende:



# Fatores de influência da cinética após descarga

---

- Reprodução de organismos
- Predação
- Radiação solar
- Temperatura
- Salinidade
- Deficiência de nutrientes
- Substâncias tóxicas
- Sedimentação de organismos
- Ressuspensão de particulados com organismos associados

Diferentes  
graus

# Taxa de decaimento do organismo

---

Taxa de perda (dia<sup>-1</sup>) Líquida

Taxa de crescimento

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs} - k_a$$

Diagram illustrating the components of the net loss rate ( $k_b$ ):

- $k_b$ : Taxa de perda (Net loss rate)
- $k_{b1}$ : Mortalidade natural (Natural mortality)
- $k_{bi}$ : Radiação solar (Solar radiation)
- $k_{bs}$ : Sedimentação (Sedimentation)
- $k_a$ : Taxa de crescimento (Growth rate)

# 1. Mortalidade natural

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Mancini (1978); Thomann & Mueller (1987)

$$K_{b1} = (0,8 + 0,006 P_s) 1,07^{T-20}$$

Temperatura

Percentual de água do mar

Interpretação:

Influência da temperatura

Influência da salinidade: Perda em água doce: ..... 0,8/dia

Perda em água salgada: ..... 1,4/dia

Se é assumido que a água do mar apresenta salinidade (S) de 30 a 35ppt:

$$K_{b1} = (0,8 + 0,02 S) 1,07^{T-20}$$

## 2. Perda bacteriana devido radiação solar

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Thomann & Mueller (1987)

$$k_{bi} = \alpha \bar{I}$$

Energia solar média (cal/cm<sup>2</sup>/h)

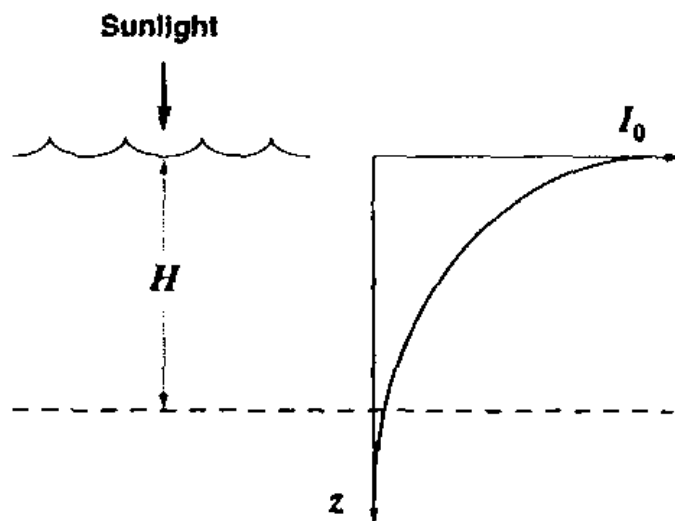
Constante de proporção  $\approx 1$

Gameson & Gould  
Thomann & Mueller

# Extinção da luz

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

$$k_{bi} = \alpha \bar{I}$$



Extinção da luz para uma coluna de água bem misturada:  
 $\approx$  decaimento exponencial

Lei de Beer-Lambert:

$$I(z) = I_0 e^{-K_e \cdot z}$$

$I_0$  : Energia solar na superfície ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{h}$ )

$K_e$  : Coeficiente de extinção da luz ( $\text{m}^{-1}$ )

$z$  : Profundidade (m)

Média da energia solar:

$$\bar{I} = \frac{\int_0^H I_0 e^{-K_e z} dz}{H}$$

$$= \frac{I_0}{K_e H} (1 - e^{-K_e H})$$

Como:  $k_{bi} = \alpha \bar{I}$

Logo:

$$k_{bi} = \alpha \frac{I_0}{K_e H} (1 - e^{-K_e H})$$

# Coeficiente de extinção

---

$K_e = f(\text{matéria particulada, cor})$

$$K_e = \frac{1,8}{DS}$$

| Profundidade do disco de Secchi (m)

$$K_e = 0,55 \text{ SS}$$

| Sólidos suspensos (mg/l)

### 3. Perda por sedimentação

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Depende da quantidade de organismos aderidos às partículas.

a) Quantidade de organismos:

$$N = N_w + N_p$$

Concentração de bactérias aderidas às partículas (org/100ml)  
Concentração de bactérias livres (org/100ml)

b) Quantidade de bactérias aderidas:

$$N_p = 10^{-4} r SS$$

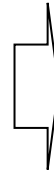
Sólidos suspensos (mg/l)  
Concentração de massa específica (org/g)  
Fator de conversão para 100 ml  
Org/100ml

# Coeficiente de partição

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Tendência da bactéria se aderir pode ser representado por um coeficiente de partição linear  $K_p$

$$K_p = 10^{-4} \frac{r}{N_w}$$



$$r = \frac{K_p N_w}{10^{-4}}$$

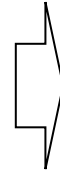
Fator de conversão de unidades

$m^3/g$

# Quantidade de organismos aderidos

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Taxa de adsorção e  
dessorção é muito rápida



Assume-se  
EQUILÍBRIO

Logo:

$$N = N_w + N_p$$

$$N = N_w + 10^{-4} r SS$$

$$N = N_w + 10^{-4} \frac{K_p N_w}{10^{-4}} SS$$

$$N = (1 + K_p SS) N_w$$

Fração de bactérias livres

$$N_w = F_w N$$

$$F_w = \frac{1}{1 + K_p SS}$$

Fração de bactérias aderidas

$$N_p = F_p N$$

$$F_p = \frac{K_p SS}{1 + K_p SS}$$

## Taxa de perda por sedimentação

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

Se a velocidade de sedimentação da partícula é  $v_s$  (m/d):

$$k_{bs} = F_p \frac{v_s}{H}$$

## Taxa de perda total

$$k_b = k_{b1} + k_{bi} + k_{bs}$$

$$k_b = (0,8 + 0,02S)1,07^{T-20} + \alpha \frac{I_0}{K_e H} (1 - e^{-K_e H}) + F_p \frac{V_s}{H}$$

Mortalidade natural

Radiação solar

Sedimentação

# Balanço de massa

---

A cinética de decaimento bacteriano é usualmente considerada ser de primeira ordem.

## Balanço de massa – Sistema bem misturado

$$V \frac{dN}{dt} = Q_{in} N_{in} - Q_{out} N - \underbrace{F_p V_s A_s N}_{\text{Sedimentação}} - \underbrace{k_b V N}_{\text{Mortalidade natural e por radiação solar}} + \underbrace{V_r A_s N_{sed}}_{\text{Ressuspensão}}$$

Sedimentação

Ressuspensão

Mortalidade natural  
e por radiação solar

# Algumas taxas de decaimento - Coliformes

Organismo	$K_b$ (dia <sup>-1</sup> )	
Coliforme total	1-5,5 0,8 1,4 (0,7-3,0) 48 (8-84)	7 locais, águas doces – verão (ou 20°C) Média água doce, 20°C Água do mar, 20°C 14 oceanos (temperatura variável)
Coliforme total ou fecal	0-2,4 2,5-6,1	New York Harbor Salinidade:2-18‰, escuro New York Harbor Salinidade:15‰, luz solar
Coliforme fecal	37-110	Água do mar, luz solar
<i>E. coli</i>	0,08-2,0	Água do mar, 10-30‰

Fonte: Thomann & Mueller, 1987.

# Algumas taxas de decaimento - Fecal streptococci

Organismo	$K_b$ (dia <sup>-1</sup> )	
<i>S. faecalis</i>	0,4-0,9	Águas doces, 20°C
	0,1-0,4	Águas doces, 4°C
	0-0,8	Kanawa river, 20°C
	0,3	Stormwater, 20°C, 0-3 dias
	0,1	Stormwater, 20°C, 3-14 dias
	1,0-3,0	Hamilton Bay, Lake Ontario, 18°C, 0-10 dias
	0,05-0,1	Hamilton Bay, Lake Ontario, 18°C, 10-28 dias
<i>S. bovis</i>	1,5	Stormwater, 20°C
Fecal streptococci	18-55	Água do mar, luz solar

Fonte: Thomann & Mueller, 1987.

## Exercício

---

Uma comunidade de 10000 habitantes.

Produção de efluente per capita: 250 l/d

Taxa de coliformes totais per capita:  $10^{11}$  org/d

Taxa de sólidos suspensos per capita: 100g/d

Antes da descarga do efluente no rio, passa por um lago com as seguintes características:

$$V = 2,4 \cdot 10^4 \text{ m}^3 \quad H = 4\text{m} \quad A_s = 6 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

Velocidade de sedimentação da partícula: 0,4 m/d

$$T = 25^\circ\text{C}$$

Radiação solar diária na superfície: 350 cal/cm<sup>2</sup>/d

$$K_p = 0,04 \text{ m}^3/\text{g}$$

Supondo situação de calmaria, ou seja, ressuspensão nula.

Determine concentração de bactérias na saída do lago, considerando lago bem misturado e condição permanente.

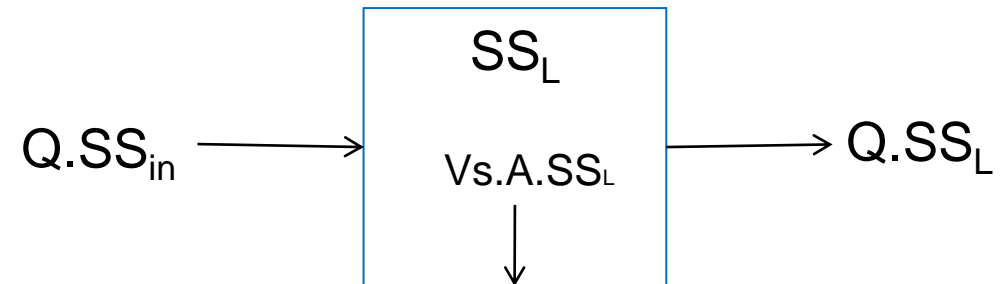
# Solução

Vazão de esgoto:  $Q_w =$

**Sólidos suspensos:**

$SS_{in} =$

No lago: balanço de massa



**Patogênicos:**

