

ERHA 7039

Princípios da Modelagem e Controle da Qualidade da Água Superficial

REGINA TIEMY KISHI

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

13 – Poluição orgânica

Matéria Orgânica: Fontes, Impactos, Parâmetros

Fontes:



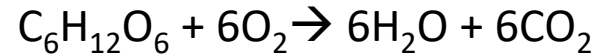
Impactos:

- Redução de OD e possível mortandade de peixes
- Relacionado com esgoto doméstico, logo potencial presença de patogênicos

Parâmetros indicadores:

- DBO
- OD
- DQO

| Gênero | Tipo | Unidade de produção | Carga específica (kg/unid) |
|-----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Alimentícia | Doces | 1 ton | 2-8 |
| | Matadouro | 1 boi/2,5 porcos | 4-10 |
| | Laticínio com queijaria | 1000 l de leite | 5-40 |
| | Produção de levedura | 1 ton | 1100 |
| Bebidas | Destilação de álcool | 1 ton | 220 |
| | Vinho | 1 m ³ | 0,25 |
| Têxtil | Algodão | 1 ton | 150 |
| | Lã | 1 ton | 300 |
| Couro e Curtume | Curtume | 1 ton pele | 20-150 |
| | Sapatos | 1000 pares | 15 |



A **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)** mede a quantidade de Oxigênio Dissolvido (OD), em mg/l de O_2 , consumida pelos **organismos heterotróficos** ao degradarem a matéria orgânica presente, numa temperatura de incubação específica (20°C).

MO biodegradável

A **Demanda Química de Oxigênio (DQO)** mede a quantidade de Oxigênio Dissolvido consumida **quimicamente** (*sem intervenção de microrganismos*) para oxidar a matéria orgânica presente.

MO biodegradável

+

MO não biodegradável

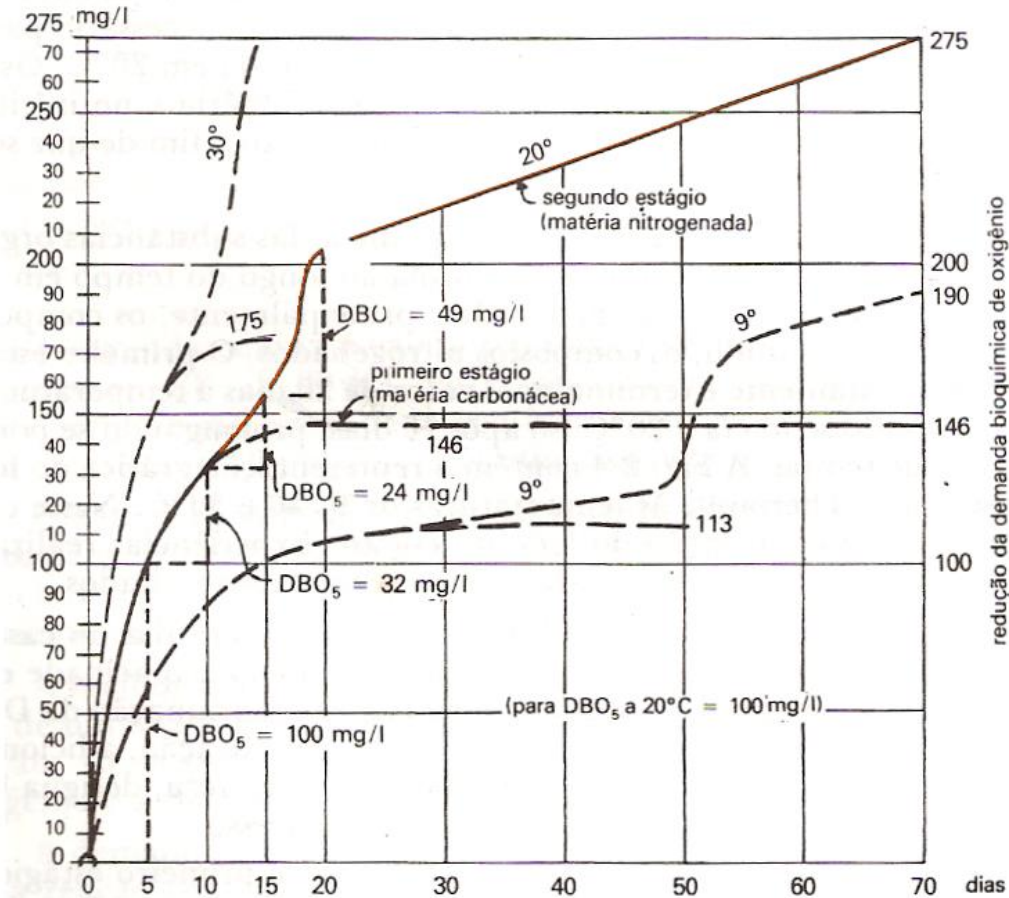
DBO

Demanda carbonácea

- Consumo de oxigênio devido degradação da MO carbonácea por bactérias heterotróficas

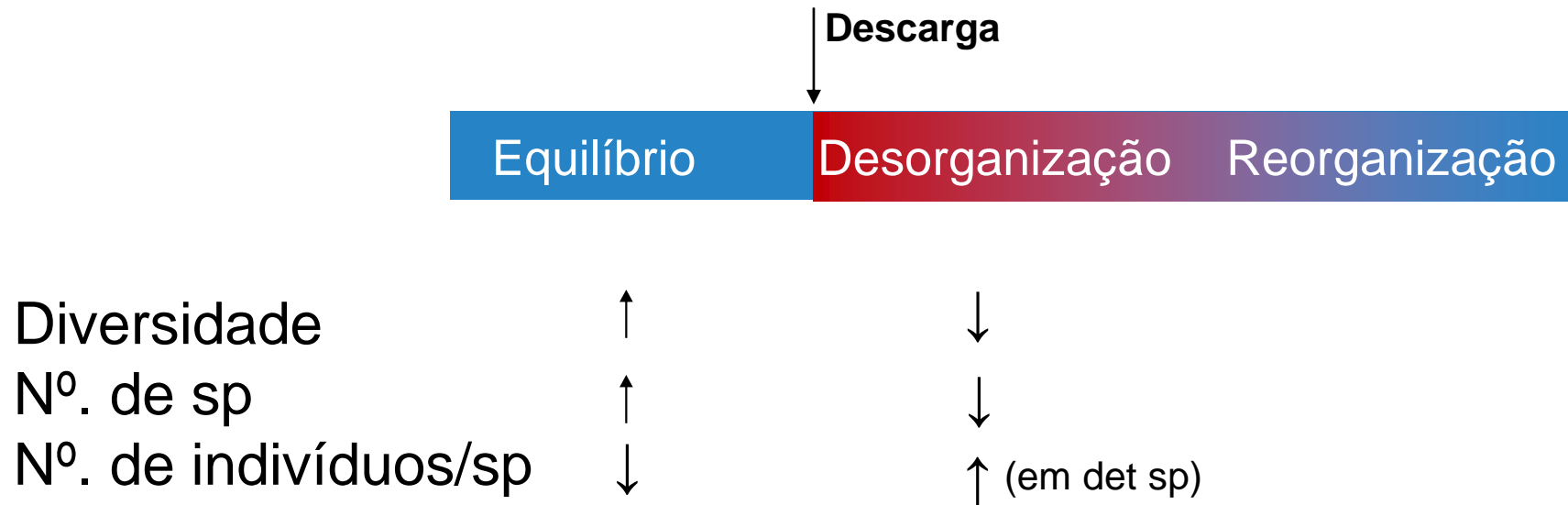
Demanda nitrogenada

- Consumo de oxigênio devido nitrificação.
- Microorganismos autótrofos quimiossintetizantes:
 - $\text{CO}_2 \rightarrow$ fonte de carbono
 - Oxidação de substrato inorgânico \rightarrow energia
- bactérias nitrificantes têm taxa de crescimento mais lento que bactérias heterotróficas.



Redução da DBO de esgoto fresco, segundo Theriault (Imhoff & Imhoff, 1986)

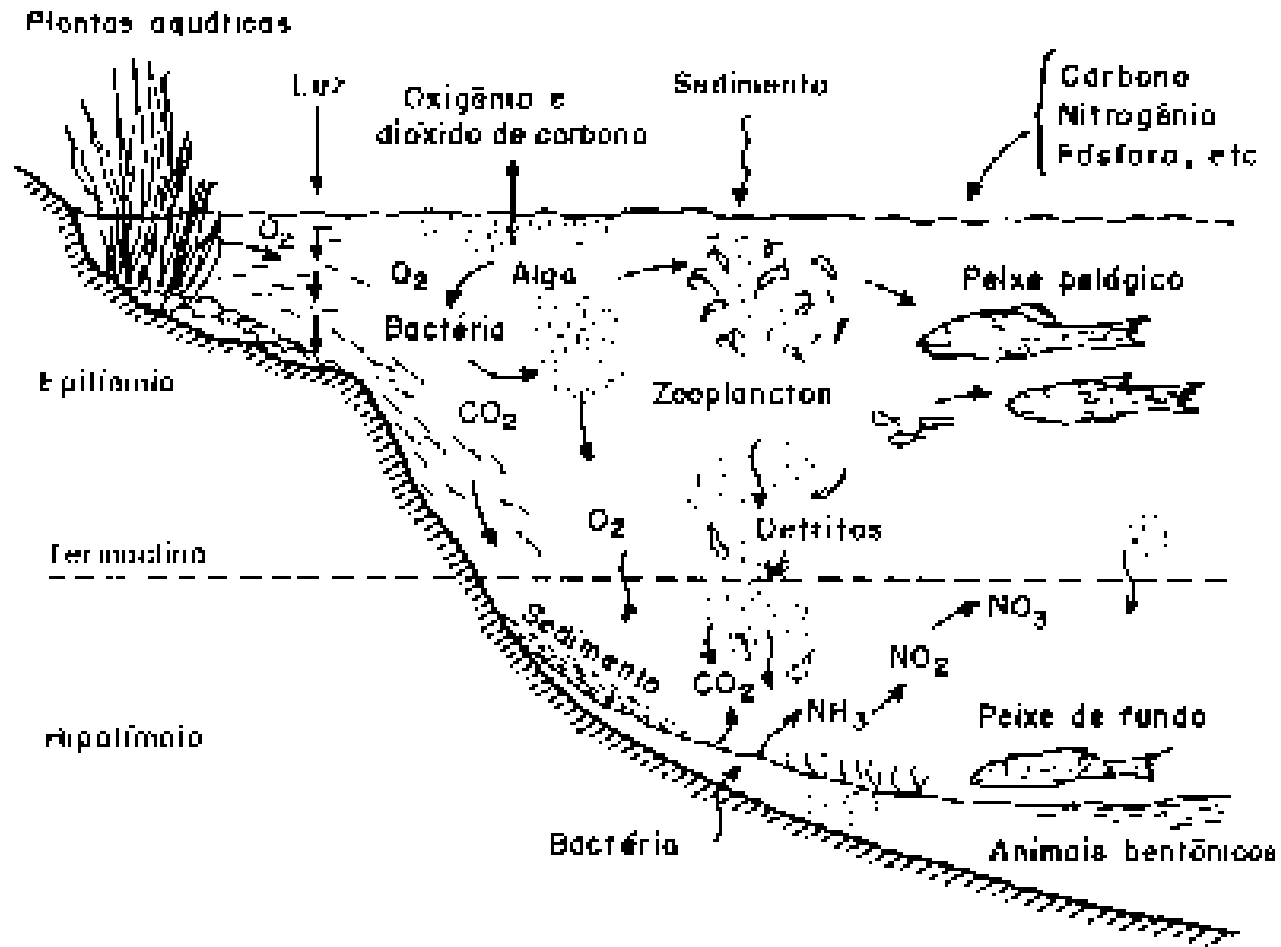
Biologicamente



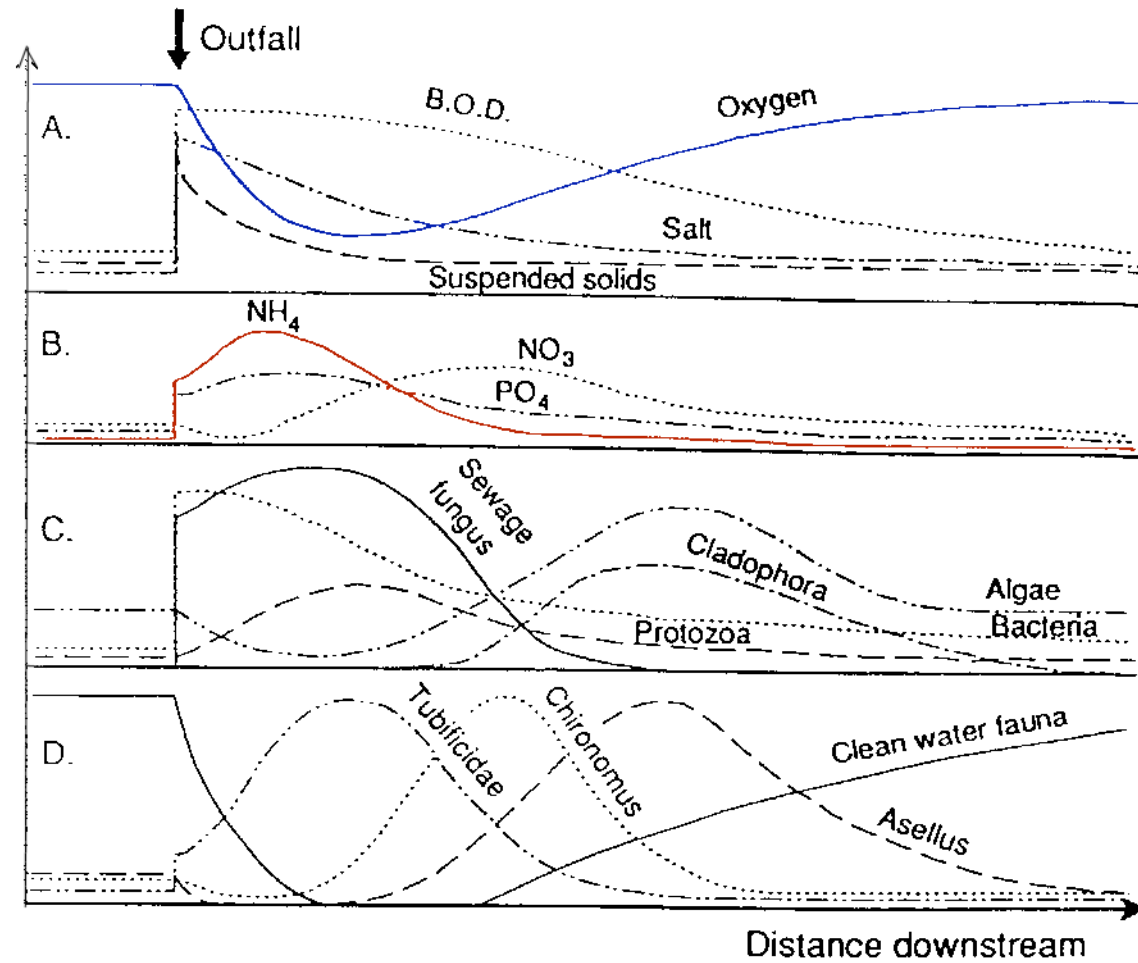
Sobrevivem as espécies bem adaptadas às novas condições, proliferando.

As demais não resistem, podendo vir a sucumbir.

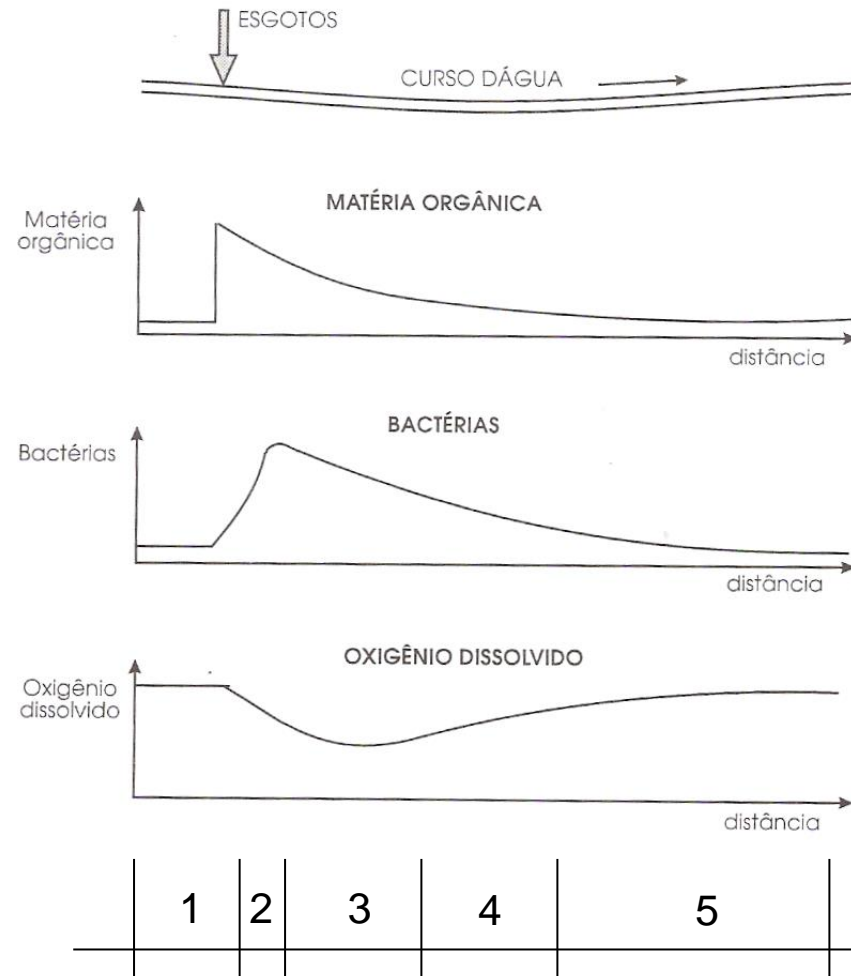
Processos



Mudanças no ecossistema após descarga orgânica



Zonas de autodepuração



Zonas

- 1 – Águas limpas
- 2 – Degradação
- 3 – Decomposição ativa
- 4 – Recuperação
- 5 – Águas limpas

Autodepuração

Restabelecimento do equilíbrio por mecanismos naturais após alterações induzidas por dejetos.

Compostos orgânicos são convertidos em compostos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico.

Processo de decomposição da MO por bactérias decompositoras, as quais utilizam OD para sua respiração.

Importância do conhecimento: Autodepuração

Ecologicamente

Impedir lançamento de despejos acima da capacidade de assimilação do corpo de água.

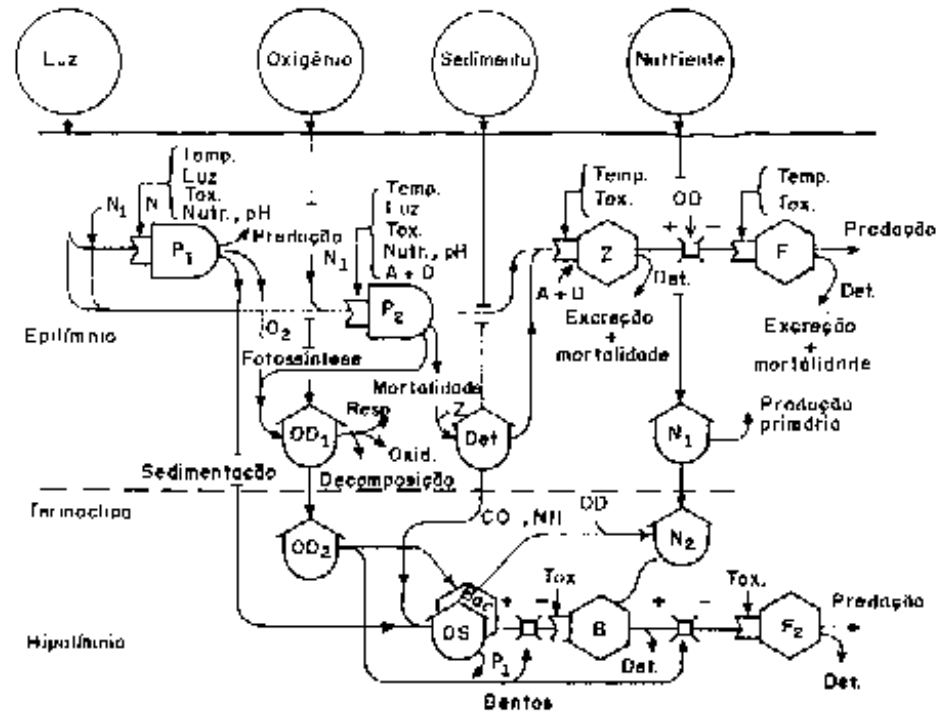
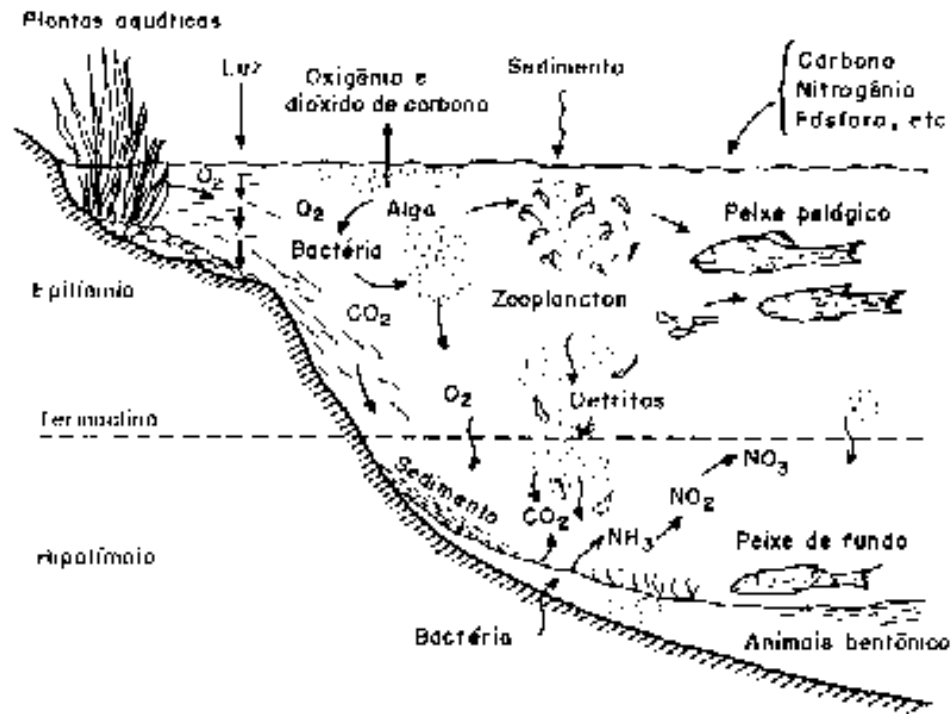
Economicamente

Explorar essa capacidade no sentido de complementação do tratamento de efluentes.

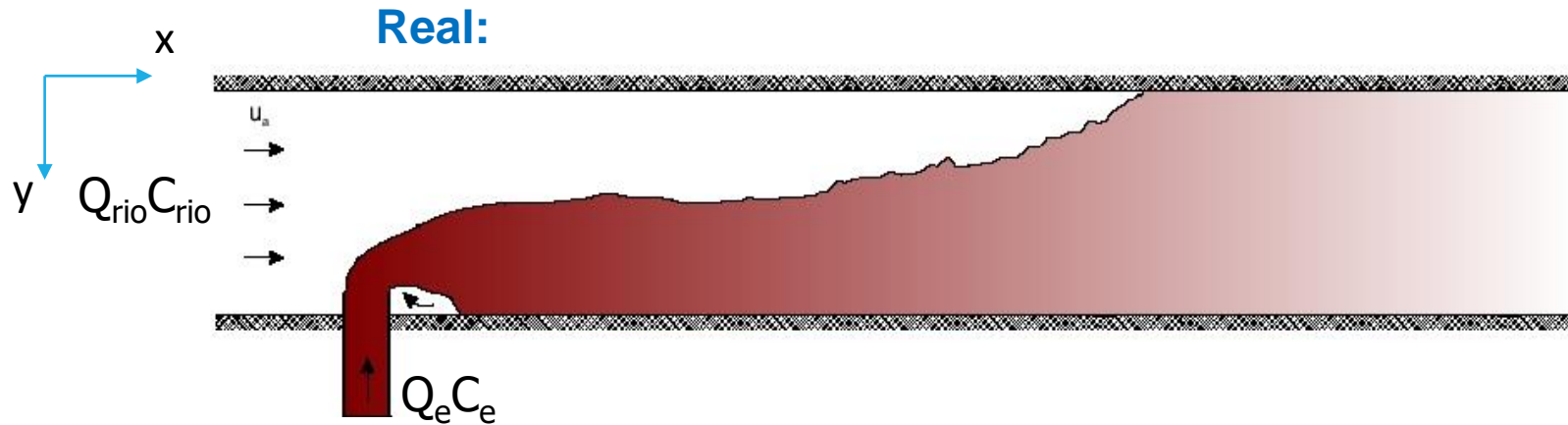
(exigidos critérios técnicos seguros e bem definidos)

Processos

Modelo

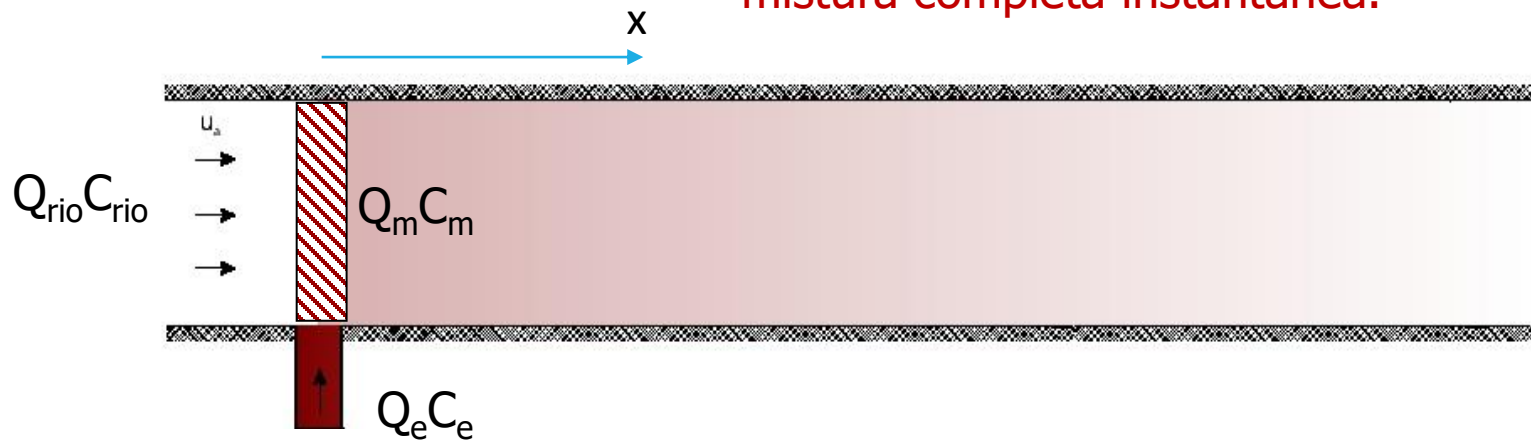


Modelo Streeter-Phelps



Simplificação no modelo:

Modelo Streeter-Phelps considera no ponto de lançamento: mistura completa instantânea.



Entrada = Saída

$$Q_{rio} C_{rio} + Q_e C_e = Q_m C_m$$

$$C_m = \frac{Q_e C_e + Q_{rio} C_{rio}}{Q_e + Q_{rio}}$$

$$Q_m = Q_e + Q_{rio}$$

Considerações - DBO

Sistema unidimensional

Modelo restrito a condições aeróbias

L : DBO

$$0 = -U \frac{dL}{dx} - k_1 L - k_s L$$



Condição permanente ($dC/dt=0$)

Predomínio do transporte advectivo

Decaimento da MO - reação de 1ª. ordem

Sedimentação da MO em suspensão

L : DBO



$$0 = -U \frac{dL}{dx} - k_r L$$

$$k_r = k_1 + k_s$$

L – DBO

U – velocidade média do curso de água

k_r – coeficiente de remoção

k_1 – coeficiente da taxa de decomposição da MO

k_s – coeficiente da taxa de sedimentação (v_s/h)

v_s – velocidade de sedimentação

h – profundidade do curso de água

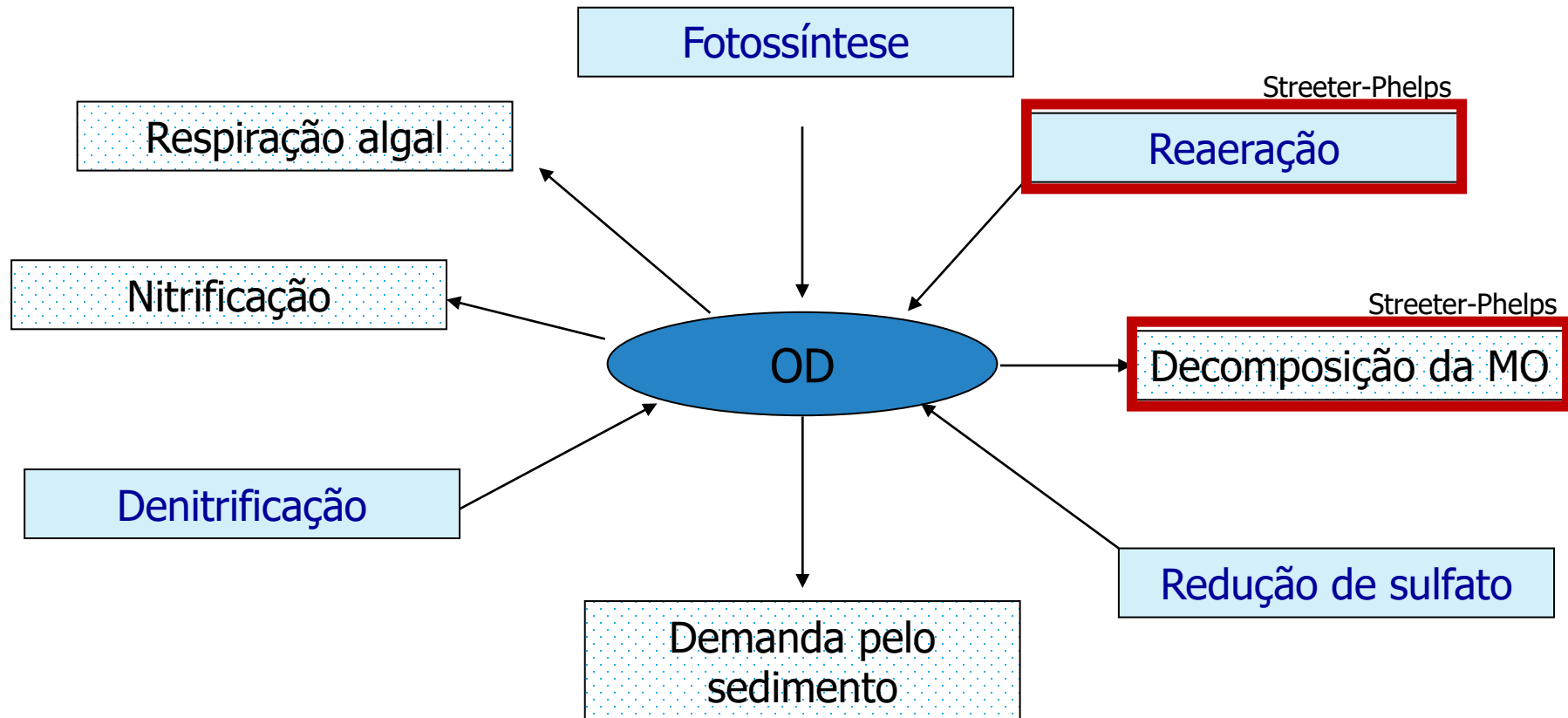
Solução analítica

$$L = L_0 \cdot e^{-(k_1 + k_s) \cdot t}$$

t = tempo de percurso

t = x/U

Oxigênio dissolvido



D : Déficit de OD 

$$0 = -U \frac{dD}{dx} + k_1 L - k_2 D$$

$$OD = OD_{sat} - D$$

D – Déficit de oxigênio
 k_2 – coeficiente de Reaeração

Solução analítica:

$$OD_t = OD_{sat} - \left\{ \frac{k_1 \cdot L_0}{k_2 - (k_1 + k_s)} \cdot (e^{-(k_1 + k_s) \cdot t} - e^{-k_2 \cdot t}) + (OD_{sat} - OD_0) \cdot e^{-k_2 \cdot t} \right\}$$

Tempo crítico de ocorrência:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_r} \ln \left\{ \frac{k_2}{k_r} \left[1 - \frac{D_0(k_2 - k_r)}{k_1 L_0} \right] \right\}$$

Déficit crítico:

$$D_c = \frac{k_1 L_0}{k_2} \left\{ \frac{k_2}{k_r} \left[1 - \frac{D_0(k_2 - k_r)}{k_1 L_0} \right] \right\}^{-\frac{k_r}{k_2 - k_r}}$$

Coeficiente da taxa de decomposição da MO

Valores de k_1 (dia^{-1}) na base "e", a 20°C

| Origem | K_1 (dia^{-1}) |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Água residuária concentrada | 0,35 – 0,45 |
| Água residuária de baixa concentração | 0,30 – 0,40 |
| Efluente primário | 0,30 – 0,40 |
| Efluente secundário | 0,12 – 0,24 |
| Rios com águas limpas | 0,09 – 0,21 |
| Água para abastecimento público | <0,12 |

FONTE: VON SPERLING (1996)

Constante k_1

- depende:

tipo de matéria orgânica
temperatura
hidrogeometria

- correção para outra temperatura: $k_T = k_{20} 1,047^{(T-20)}$

Constante k_1 (cont.)

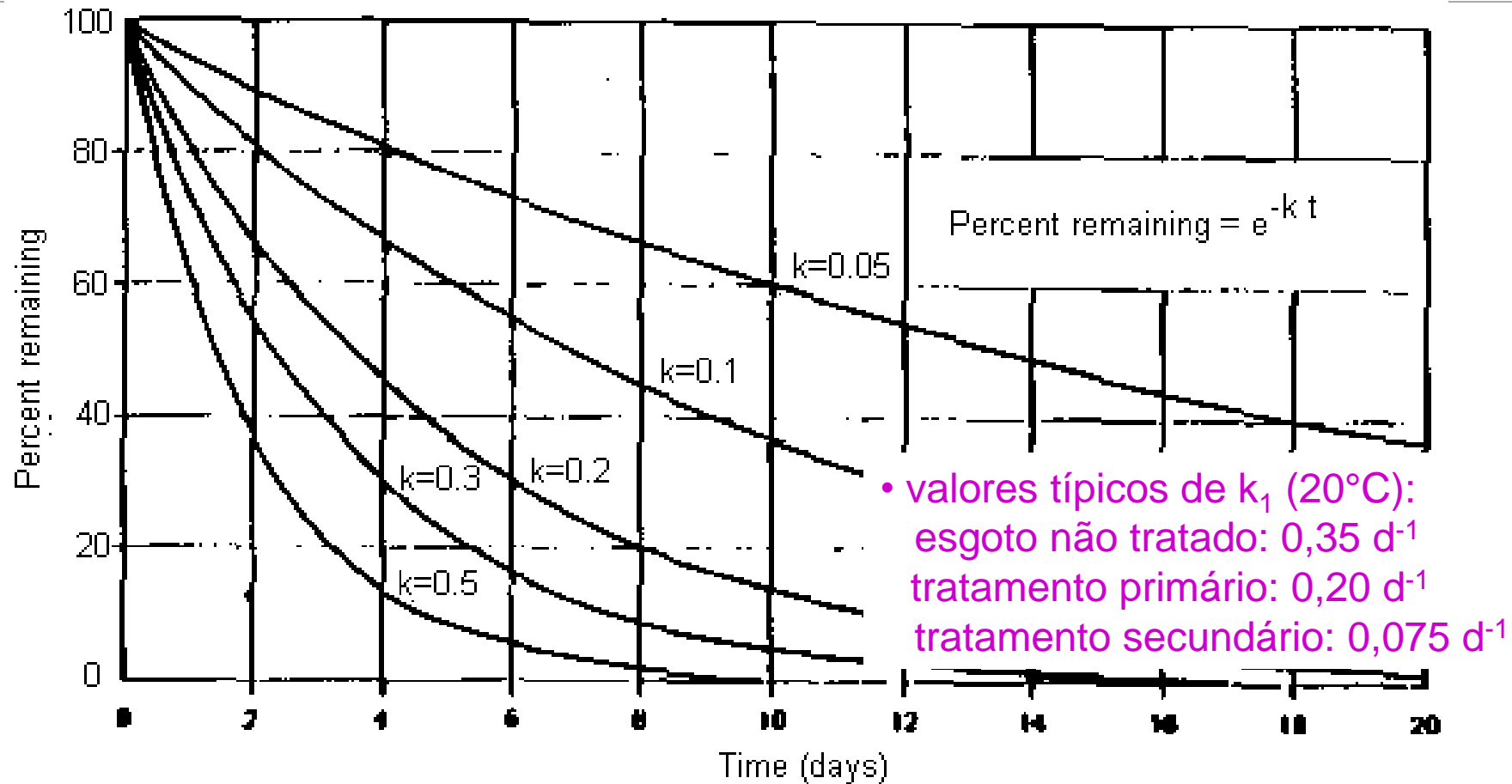
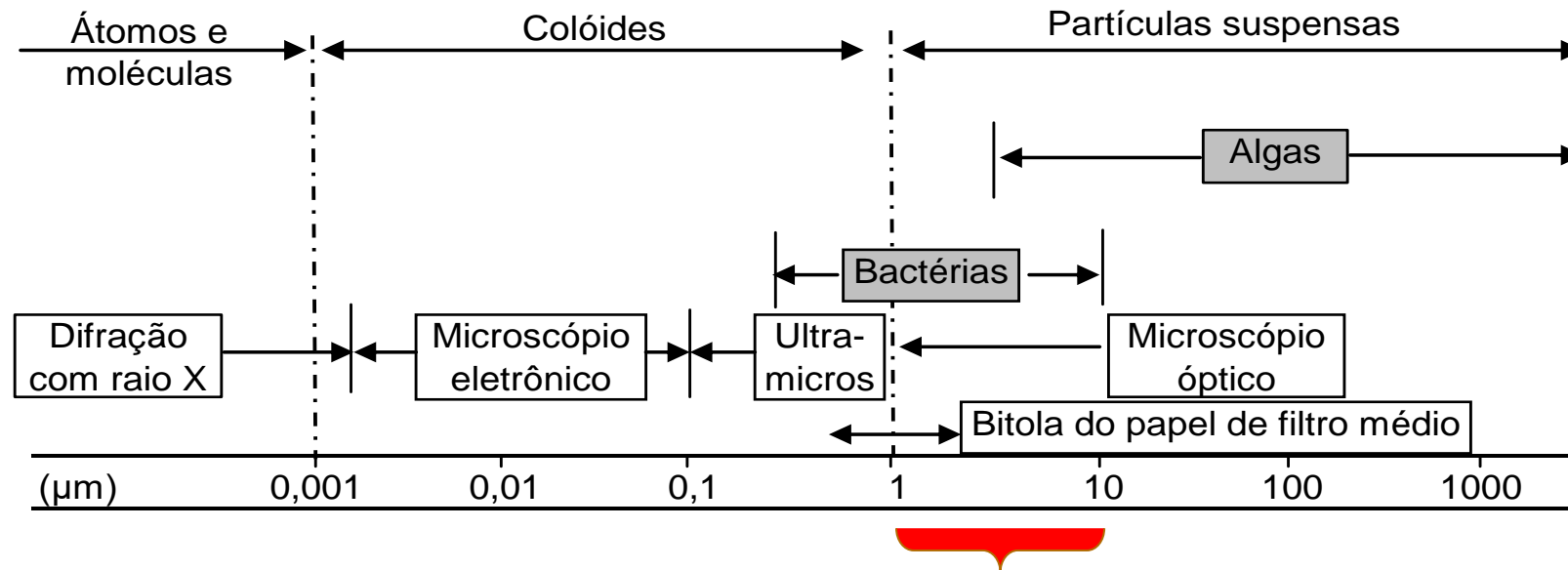


Figure 2.4. BOD decay: range of reaction rates.

Coeficiente de sedimentação (k_s)

$$k_s = \frac{v_s}{h}$$



FONTE: ADAPTADO DE DI BERNARDO (1993) apud NUVOLARI (2003)

Valores de v_s (m/dia) p/ diversos tamanhos de partículas, a 20°C

| Tamanho das Partículas (µm) | Densidades das Partículas (g/cm ³) | | | |
|-----------------------------|------------------------------------------------|------|------|------|
| | 1,8 | 2,0 | 2,5 | 2,7 |
| Areia Fina | | | | |
| 300 | 300 | 400 | 710 | 800 |
| 50 | 94 | 120 | 180 | 200 |
| Silte | | | | |
| 50 | 94 | 120 | 180 | 200 |
| 20 | 15 | 19 | 28 | 32 |
| 10 | 3,8 | 4,7 | 7,1 | 8 |
| 5 | 0,94 | 1,2 | 1,8 | 2,0 |
| 2 | 0,15 | 0,19 | 0,28 | 0,32 |
| Argila | | | | |
| 2 | 0,15 | 0,19 | 0,28 | 0,32 |
| 1 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,08 |

FONTE: KISER (1979) apud CHEN (2001)

Coeficiente de reaeração (k_2) a 20°C (dia⁻¹)

| Autores | Equações | Faixa de aplicação |
|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| O'Connor e Dobbins (1958) | $3,95 \cdot U^{0,5}/H^{1,5}$ | $0,6\text{m} < H < 4,0\text{m}$ $0,05\text{m/s} < U < 0,8\text{m/s}$ |
| Churchill et al. (1962) | $5,03 \cdot U^{0,969}/H^{1,673}$ | $0,6\text{m} < H < 4,0\text{m}$ $0,8\text{m/s} < U < 1,5\text{m/s}$ |
| Owens et al. (1964) | $5,34 \cdot U^{0,67}/H^{1,85}$ | $0,1\text{m} < H < 0,6\text{m}$ $0,05\text{m/s} < U < 1,5\text{m/s}$ |

FONTE: ADAPTADO DE BROWN & BARNWELL (1987)

- correção para outra temperatura: $k_{2,T} = k_{2,20^\circ\text{C}} 1,024^{(T-20)}$

OD – Concentração de saturação

OD saturação = f(temperatura, pressão, salinidade)

Para águas com salinidade=0:

$$OD_{sat} = (14,62 - 0,3898 \times T + 0,006969 \times T^2 - 0,00005897 \times T^3) \times (1 - 0,0000228675 \times L)^{5,167}$$

Onde:

T: Temperatura (°C)

L: altitude em relação ao nível do mar (m)

| Temperatura (°C) | Salinidade da água (g/L) | | | | |
|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 0 | 14,60 | 13,64 | 12,74 | 11,58 | 11,11 |
| 2 | 13,81 | 11,91 | 11,07 | 11,29 | 10,55 |
| 4 | 13,09 | 12,25 | 11,47 | 10,73 | 10,04 |
| 6 | 12,44 | 11,05 | 10,91 | 10,22 | 9,57 |
| 8 | 11,83 | 11,09 | 10,40 | 9,75 | 9,14 |
| 10 | 11,28 | 10,58 | 9,93 | 9,32 | 8,73 |
| 12 | 10,77 | 10,11 | 9,50 | 8,92 | 8,38 |
| 14 | 10,29 | 9,68 | 9,10 | 8,53 | 8,04 |
| 16 | 9,84 | 9,28 | 8,73 | 8,21 | 7,73 |
| 18 | 9,41 | 8,90 | 8,38 | 7,90 | 7,44 |
| 20 | 9,08 | 8,54 | 8,04 | 7,60 | 7,17 |
| 22 | 8,73 | 8,23 | 7,77 | 7,33 | 6,91 |
| 24 | 8,40 | 7,93 | 7,49 | 7,07 | 6,68 |
| 26 | 8,09 | 7,65 | 7,23 | 6,83 | 6,44 |
| 28 | 7,81 | 7,38 | 6,98 | 6,61 | 6,23 |
| 30 | 7,54 | 7,14 | 6,75 | 6,39 | 6,05 |
| 32 | 7,29 | 6,90 | 6,54 | 6,19 | 5,87 |
| 34 | 7,05 | 6,68 | 6,33 | 6,01 | 5,69 |
| 36 | 6,82 | 6,47 | 6,14 | 5,83 | 5,53 |
| 38 | 6,61 | 6,28 | 5,94 | 5,64 | 5,37 |
| 40 | 6,41 | 6,09 | 5,79 | 5,50 | 5,22 |

Exercício 1 – Modelo Streeter-Phelps

Um rio tem uma concentração de OD de 7,3 mg/l, antes do ponto de lançamento de uma carga poluidora (orgânica) de DBO=500mg/l, T=28°C e vazão de 200 L/s. A temperatura do rio antes do lançamento do efluente é de 20°C, a vazão de 5m³/s e DBO igual a 2 mg/l.

Obs.: velocidade média do rio=0,22 m/s

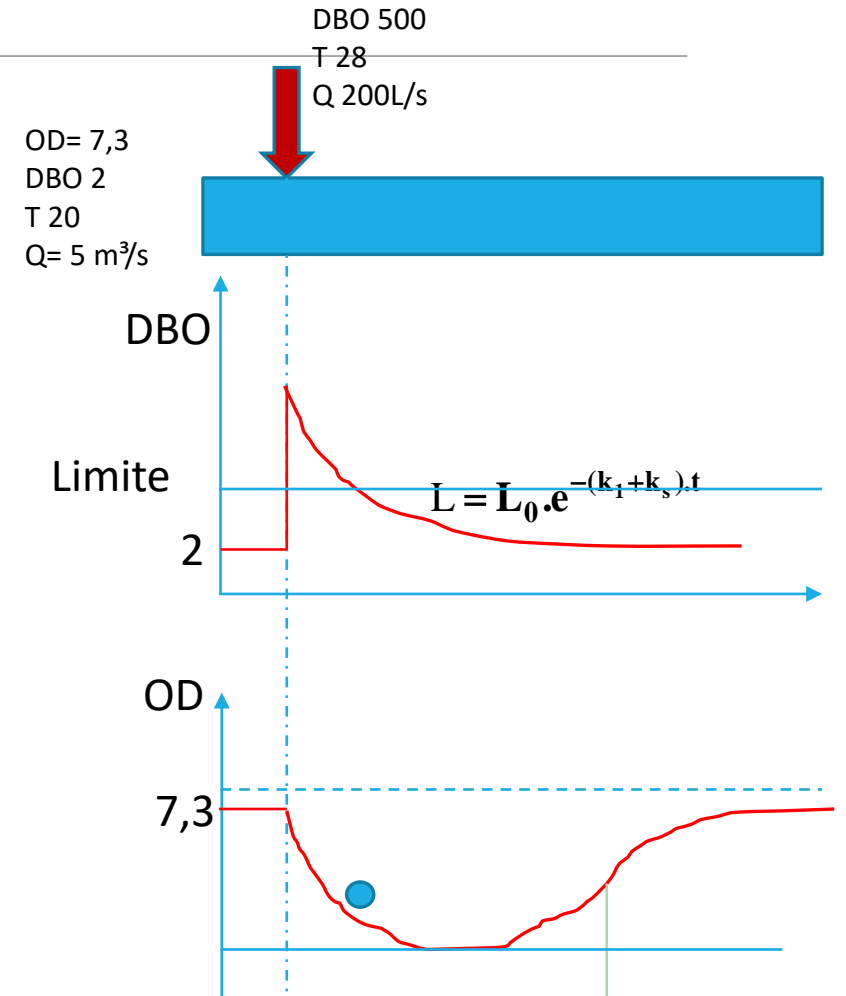
Profundidade média=1,5m

$K_r = 0,5d^{-1}$ e $K_1 = 0,3d^{-1}$

Considere que a temperatura após a mistura se mantém constante no trecho simulado.

- Traçar as curvas de redução de DBO e de OD.
- Calcular o déficit crítico e o tempo crítico de OD.
- O rio, estando enquadrado na classe 2, tem seu nível de OD satisfeito?

- Mistura instantânea: DBO, OD e T
- Supor que T permanece constante após mistura



$$OD_t = OD_{sat} - \left\{ \frac{k_1 \cdot L_0}{k_2 - (k_1 + k_s)} \cdot (e^{-(k_1 + k_s)t} - e^{-k_2 t}) + (OD_{sat} - OD_0) \cdot e^{-k_2 t} \right\}$$

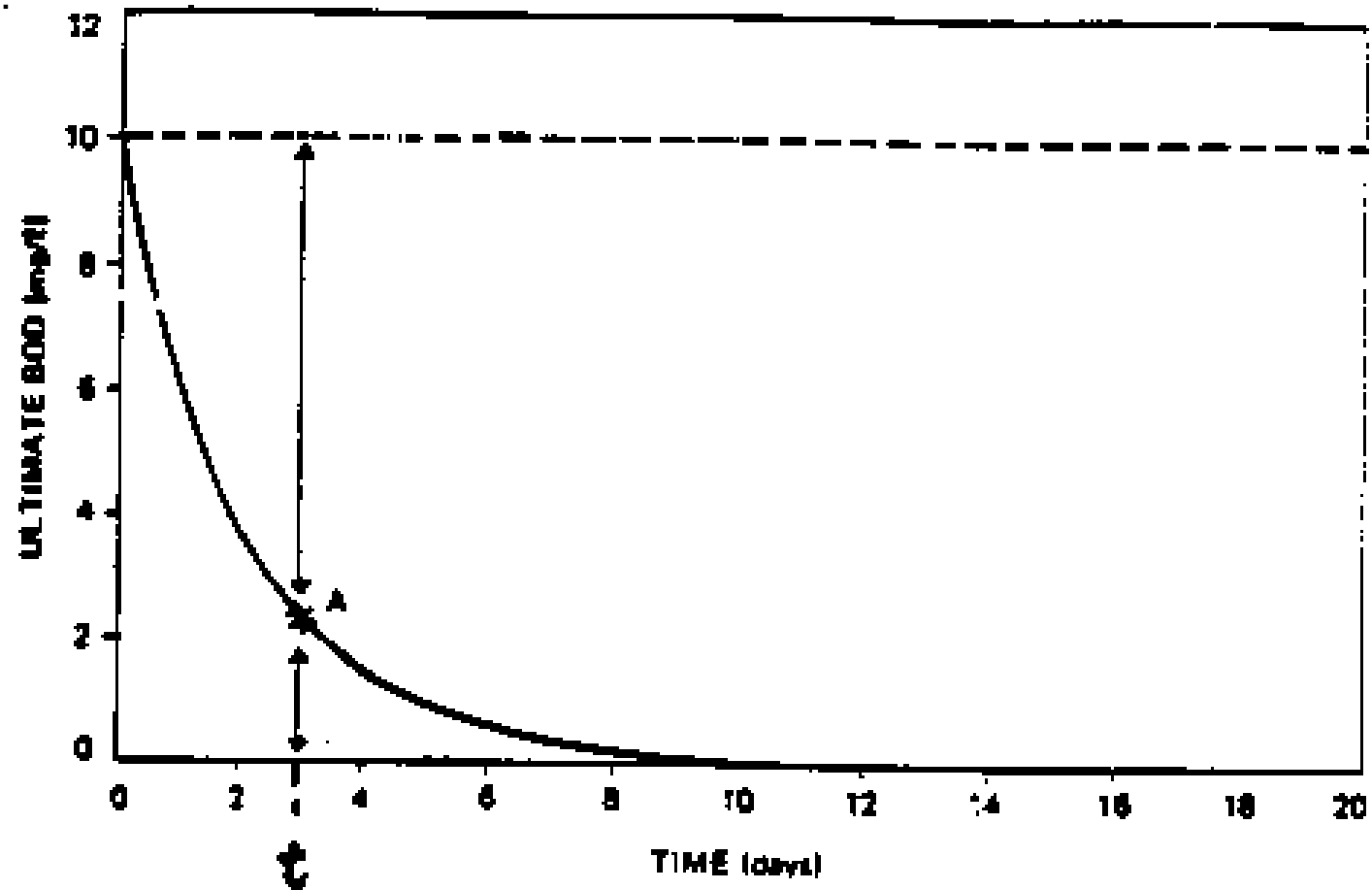
Exercício 2 - DBO

Indique no gráfico:

$L = \text{DBO}$
remanescente

$L_0 = \text{DBO}$ última

OD consumido
pelas bactérias



Exercício 3 - Reaeração num curso d'água

Indique no gráfico:

Curva de OD com reaeração

Curva de OD sem reaeração

Saturação

Déficit

OD consumido pelas bactérias

Ganho de OD pela reaeração

