

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

DEFINIÇÃO

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para tratamento de esgotos, apresentando diversas variantes com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área.

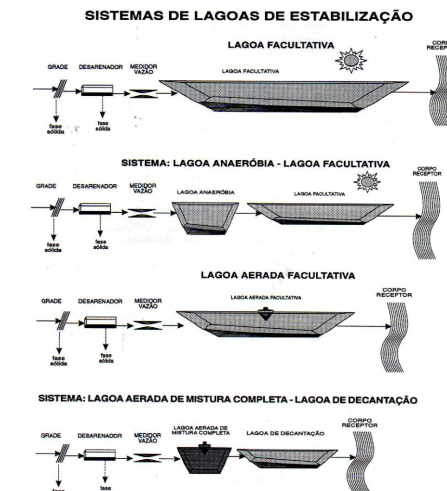
⇒ Principais Sistemas

- Lagoas Facultativas
- Lagoas Anaeróbias – Lagoas Facultativas
- Lagoas Aeradas Facultativas
- Lagoas Aeradas de Mistura Completa – Lagoas de Decantação
- Lagoa de Maturação

⇒ Aspectos Relevantes às Condições Brasileiras

- Disponibilidade de área
- Clima favorável (temperatura e insolação)
- Operação simples
- Pouca mecanização

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO



LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

INTRODUÇÃO

Descrição sucinta das lagoas de estabilização

Sistema	Descrição
Lagoa Facultativa	A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa Anaeróbia/ Lagoa Facultativa	A DBO é em torno de 50 % estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
Lagoa Aerada Facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa também é facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimentada, é decomposta anaerobiamente no fundo.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

INTRODUÇÃO

Descrição sucinta das lagoas de estabilização

Sistema	Descrição
Lagoa Aerada de Mistura Completa/ Lagoa Decantação	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção de DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.
Lagoa Maturação	O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultra-violeta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chincanas. A eficiência na remoção de coliformes é bastante elevada.

INTRODUÇÃO**Características Gerais**

Item	Parâmetro	Sistemas de Lagoas			
		LF	LA/LF	LAF	LMC/LD
Eficiência (%)	DBO	70 - 85	70 - 90	70 - 90	70 - 90
	Nitrogênio	30 - 50	30 - 50	30 - 50	30 - 50
	Fósforo	20 - 60	20 - 60	20 - 60	20 - 60
	Coliformes	60 - 99	90 - 99,9	60 - 96	60 - 99
Requisitos	Área (m ² /hab)	2,0 - 5,0	1,5 - 3,5	0,3 - 0,6	0,2 - 0,5
	Potência (W/hab)	≈ 0	≈ 0	1,0 - 1,7	1,0 - 1,7
Custos	Implantação (US\$/hab)	10 - 30	10 - 25	10 - 25	10 - 25

LF: Lagoa Facultativa

LMC: Lagoa de Mistura Completa

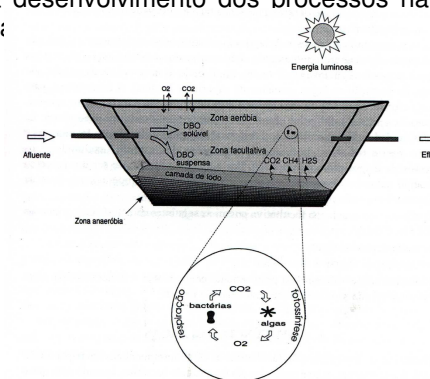
LA: Lago Anaeróbia

LD: Lagoa de Decantação

LAF: Lagoa Aerada Facultativa

LAGOAS FACULTATIVAS

- ⇒ Variante mais simples do sistema de lagoas
- ⇒ Retenção dos esgotos por um período de tempo longo suficiente para desenvolvimento dos processos naturais de estabilização d:

**LAGOAS FACULTATIVAS**ASPECTOS GERAIS⇒ **Influência das algas**

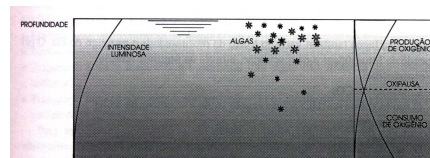
➢ Incidência de radiação solar - fotossíntese

⇒ Respiração (24 horas) - liber

oxigênio produzido (fotossíntese) e o consumido (respiração): 1:15

⇒ Algas verdes: conferem à lagoa a cor esverdeada predominante. Os principais gêneros são as *Chlamydomonas*, *Euglena* e *Chlorella*.

⇒ Algas azuis: são mais resistentes às condições adversas e apresentam menor requisito nutricional. Os principais gêneros são as *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anacystis* e *Anabaena*.

**LAGOAS FACULTATIVAS**ASPECTOS GERAIS⇒ **Influência das condições ambientais**

Fator	Influência
Radiação solar	Velocidade de fotossíntese
Temperatura	Velocidade de fotossíntese Taxa de decomposição bacteriana Solubilidade e transferência de gases
Vento	Condições de mistura
	Condições de mistura Reaeração atmosférica

LAGOAS FACULTATIVAS

ASPECTOS GERAIS

⇒ Importância da mistura

- ⇒ Minimizar ocorrência de curto-circuitos hidráulico
- ⇒ Minimizar ocorrência de zonas estagnadas
- ⇒ Homogeneização da distribuição no sentido vertical da DBO, algas e oxigênio
- ⇒ Transporte para a zona fótica superficial das algas não motoras que tendem a sedimentar
- ⇒ Transporte para camadas mais profundas do oxigênio

CRITÉRIOS DE PROJETO

- ⇒ Taxa de Aplicação Superficial
- ⇒ Tempo de Detenção Hidráulica

LAGOAS FACULTATIVAS

TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL (L_s)

Baseia-se na necessidade de se Ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa para que ocorra a fotossíntese, possibilitando a produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda para a estabilização da matéria orgânica.

$$L_s = \frac{L}{A} \quad A = \frac{L}{L_s}$$

L_s = Taxa de aplicação superficial (Kg DBO/ha.d)

L = Carga de DBO afluente (Kg DBO/d)

A = Área requerida para a lagoa (ha)

⇒ L_s (temperatura, latitude, exposição solar, altitude e outros)

$$L_s = 50 * 1,072^T \quad (\text{Temperatura média do ar, } ^\circ\text{C})$$

$$L_s = 350 * (1,107 - 0,002 * T)^{(T-25)} \quad (\text{Temperatura média do líquido, } ^\circ\text{C})$$

LAGOAS FACULTATIVAS

CRITÉRIOS DE PROJETO

⇒ Tempo de Detenção Hidráulica (θ_h)

Tempo necessário para que os microrganismos procedam a estabilização da matéria orgânica

$$V = Q * \theta_h$$

V = volume da lagoa (m^3)

Q = vazão média do afluente (m^3/d)

θ_h = tempo de detenção hidráulica (d)

θ_h = 15 a 45 dias

θ_h - L_s : critérios complementares (área e volume devem ser coerentes)

⇒ $L_s \rightarrow A$ Adotar $\theta_h \rightarrow V$ obtêm-se H (verifica-se limites)

⇒ $L_s \rightarrow A$ Adotar $H \rightarrow V$ obtêm-se θ_h (verifica-se limites)

LAGOAS FACULTATIVAS

CRITÉRIOS DE PROJETO

⇒ Profundidade (H)

A profundidade é um compromisso entre o volume e a área ($H=V/A$)

Aspectos relacionados com a profundidade da lagoa

Profundidade	Aspecto
Rasa	- As lagoas rasas, com profundidades inferiores a 1 m, podem-se comportar como totalmente aeróbias
	- A área requerida é bem elevada, de forma a cumprir com o requisito do tempo de detenção
	- A penetração da luz ao longo da profundidade é praticamente total
	- A produção de algas é maximizada e o pH é usualmente elevado (devido a fotossíntese), acarretando a precipitação de fosfato (remoção de nutrientes)
	- A remoção de patogênicos é maior
	- Devido à baixa profundidade, pode haver o desenvolvimento de uma vegetação emergente, potencial abrigo para larvas de mosquitos
	- As lagoas rasas são mais afetadas pelas variações da temperatura ambiente ao longo do dia, podendo atingir condições anaeróbias em períodos quentes (aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica e maior influência da ressolubilização de subprodutos da decomposição anaeróbia no lodo do fundo)

LAGOAS FACULTATIVAS

Aspectos relacionados com a profundidade da lagoa

Profundidade	Aspecto
Profunda	- Lagoas com profundidades superiores a 1,2 m possibilitam um maior tempo de detenção hidráulica para a estabilização da matéria orgânica
	- A performance mais estável e menos afetada pelas condições ambientais
	- Há um maior volume de armazenamento do lodo
	- A camada inferior permanece em condições anaeróbias
	- A decomposição anaeróbia obviamente não consome oxigênio, sendo possível considerar a fração de matéria orgânica a ser degradada anaerobiamente no balanço de OD.
	- Os supprodutos de decomposição anaeróbia são liberados para as camadas superiores, exercendo ainda alguma demanda de OD. Os riscos de mau odores são reduzidos, pelo fato da camada aeróbia oxidar química e biologicamente o gás sulfídrico gerado.
	- As lagoas mais profundas permitem a expansão futura para a inclusão de aeradores, transformando em lagoas aeradas.

- ⇒ Conhecimento disponível limitado para otimizar a profundidade
- ⇒ Tendência de se adotar lagoas não muito rasas
- ⇒ H = 1,5 a 3,0 m

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

⇒ Influência do Regime Hidráulico

Mod. Hidráulico	Esquema	Características
Fluxo em pistão		Fluxo se processa como um êmbolo, sem misturas longitudinais. As partículas mantêm a sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao tempo de detenção hidráulico. (tanques longos, elevada relação comprimento-largura)
Mistura completa		As partículas que entram no tanque são imediatamente dispersas em todo o corpo do reator. O fluxo de entrada e saída é contínuo (tanques circulares ou quadrados)
Mistura completa em série		Os reatores de mistura completa em série são utilizados para modelar o regime hidráulico que existe entre os regimes ideais de fluxo em pistão e mistura completa. Série uma unidade (mistura completa), série infinita (fluxo em pistão)
Fluxo disperso		O fluxo disperso é obtido em um sistema qualquer com grau de mistura intermediário entre os dois extremos de fluxo pistão e mistura completa

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

⇒ Cálculo da concentração de DBO solúvel efluente

Mod. Hidráulico	Fórmula	Onde:
Fluxo em pistão	$S = S_0 e^{-k \cdot t}$	S_0 = concentração de DBO total afluente (mg/L) S = concentração de DBO solúvel efluente (mg/L)
Mistura completa	$S = \frac{S_0}{1 + k \cdot t}$	K = constante de remoção de DBO (d^{-1}) t = tempo de detenção total (d)
Mistura completa em série	$S = \frac{S_0}{\left(1 + k \cdot \frac{t}{n}\right)^n}$	n = número de lagoas em série d = número de dispersão
Fluxo disperso	$S = S_0 \cdot \frac{4ae^{\frac{1}{2}d}}{(1+a)^2 e^{\frac{1}{2}d} - (1-a)^2 e^{-\frac{1}{2}d}}$ $a = \sqrt{1 + 4k \cdot t \cdot d}$ $d = \frac{D}{U \cdot L} = \frac{D \cdot t}{L^2}$	D = coeficiente de dispersão longitudinal (m^2/d) U = velocidade média de percurso no reator (m/d) L = comprimento do percurso longitudinal no reator (m)

Eficiência: fluxo pistão > lagoas em série > fluxo disperso > mistura completa

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

 ⇒ Regime hidráulico mistura completa
 ➤ Coeficiente de remoção de DBO (k)

$$K = 0,30 - 0,35 \text{ (d}^{-1}\text{)} \quad (20^\circ \text{C})$$

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{T-20}$$

$$\theta = 1,085 \text{ para } k_{20} = 0,35 \text{ (EPA, 1983)}$$

$$\theta = 1,05 \text{ para } k_{20} = 0,30 \text{ (Silva e Mara, 1979)}$$

- Usualmente tem sido adotado nos dimensionamentos o modelo de mistura completa, devido:
 - Os cálculos com o modelo de mistura completa são mais simples
 - O dimensionamento com os cálculos assumindo mistura completa leva a um posicionamento a favor da segurança, já que o reator de mistura completa é o de menor eficiência.

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

⇒ Regime hidráulico mistura completa

EXEMPLO 1

Calcular a concentração de DBO efluente (S) e a eficiência de remoção de DBO nos seguintes sistemas de lagoas facultativas: a) uma célula de fluxo em pistão; b) duas células de mistura completa em série; c) uma célula de mistura completa. Dados:

- DBO afluente $S_0 = 300$ mg/L
- $K = 0,30$ d⁻¹ (adotado para todos os sistemas)
- Tempo de detenção total $t = 30$ dias
- Temperatura do líquido: 20° C

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

⇒ Regime hidráulico de fluxo disperso

Modelagem mais complexa por necessitar de dois parâmetros.

➤ Coeficiente de remoção de DBO (k)

Correlações empíricas

$$k = 0,132 \cdot \log L_s - 0,146 \quad (\text{Arceivala, 1981})$$

$$k = 0,091 + 2,05 \times 10^{-4} \cdot L_s \quad (\text{Vidal, 1983})$$

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{T-20} \quad (\theta = 1,035)$$

 L_s = taxa de aplicação superficial (KgDBO/ha.d) L_s : 100 – 200 KgDBO/ha.d

LAGOAS FACULTATIVAS

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO EFLUENTE DE DBO

⇒ Regime hidráulico de fluxo disperso

➤ Número de dispersão (d)

$$d = \frac{D}{U \cdot L} = \frac{D \cdot t}{L^2}$$

t = tempo de detenção total (d)

d = número de dispersão

D = coeficiente de dispersão longitudinal (m²/d)

U = velocidade média de percurso no reator (m/d)

L = comprimento do percurso longitudinal no reator (m)

d → infinito: reator tende para regime de mistura completa

d → zero: reator tende ao regime de fluxo de pistão

LAGOAS FACULTATIVAS

⇒ Regime hidráulico de fluxo disperso

➤ Número de dispersão (d)

Correlações empíricas

(Agunwamba, 1992)

$$d = 0,102 \cdot \left(\frac{3 \cdot (B + 2 \cdot H) \cdot t \cdot v}{4 \cdot L \cdot B \cdot H} \right)^{-0,410} \cdot \left(\frac{H}{L} \right) \cdot \left(\frac{H}{B} \right)^{-(0,981 + 1,385 \cdot H/B)}$$

(Yanez, 1993)

$$d = \frac{\left(\frac{L}{B} \right)}{-0,261 + 0,254 \cdot \left(\frac{L}{B} \right) + 1,014 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^2}$$

t = tempo de detenção (d)

H = profundidade da lagoa (m)

B = largura da lagoa (m)

L = comprimento da lagoa (m)

v = viscosidade cinemática da água (m²/d)

T água (°C)	v (m ² /d)
10	0,113
15	0,098
20	0,087
25	0,077
30	0,069

LAGOAS FACULTATIVAS

EXEMPLO 1

Dimensionar uma lagoa facultativa, calcular a concentração de DBO efluente (S) e a eficiência de remoção de DBO, com base nos seguintes dados;

- ⇒ População: 20.000 habitantes
- ⇒ Vazão afluente: $Q = 3.000 \text{ m}^3/\text{d}$
- ⇒ DBO afluente: $S_o = 350 \text{ mg/L (g/m}^3\text{)}$
- ⇒ Temperatura: $T = 23^\circ \text{ C}$ (líquido no mês mais frio)

EXERCÍCIO 1

Dimensionar uma lagoa facultativa, calcular a concentração de DBO efluente (S) e a eficiência de remoção de DBO com base nos seguintes dados;

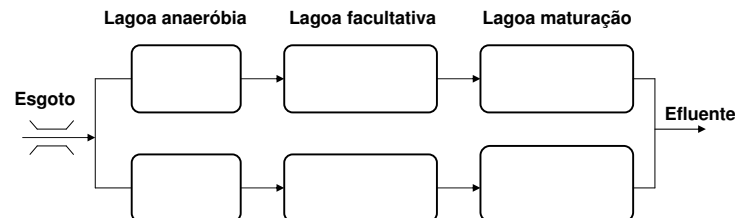
- ⇒ População: 50.000 habitantes
- ⇒ DBO afluente: $S_o = 350 \text{ mg/L (g/m}^3\text{)}$
- ⇒ Temperatura: $T = 22^\circ \text{ C}$ (líquido no mês mais frio)

LAGOAS ANAERÓBIAS

INTRODUÇÃO

- ⇒ **recebimento de elevadas cargas orgânicas**
- ⇒ **remoção de poluentes**
 - ⇒ forças físicas - sedimentação
 - ⇒ ação microrganismos anaeróbios - ausência O_2
- ⇒ **concentração microrganismos no fundo**
 - ⇒ liberação gasosa → mistura fase líquida
- ⇒ **eficiência remoção M. O. → 50 – 60 %**
- ⇒ **necessidade etapa posterior de tratamento**
- ⇒ **camada flotante**
 - ⇒ diminui o contato entre a massa líquida e O_2 atmosférico, reduz perdas de calor do líquido e minimiza emissão de odor
 - ⇒ promove a proliferação de insetos e apresenta aspecto visual indesejável

LAGOAS ANAERÓBIAS

CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

LAGOAS ANAERÓBIAS



**Sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização
Porto Alegre (260 mil)**



Sistema de tratamento de lixo por lagoas de estabilização
Aterro Sanitário Santa Tecla - Gravataí

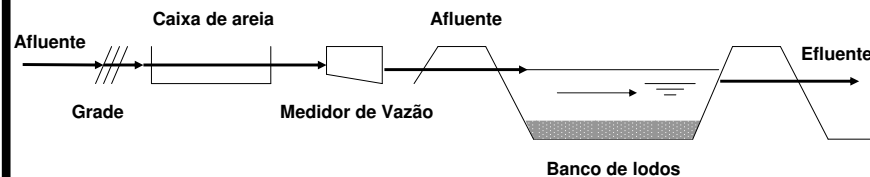
INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS

- ⇒ ação dos ventos
- ⇒ temperatura
- ⇒ insolação
- ⇒ precipitação pluviométrica

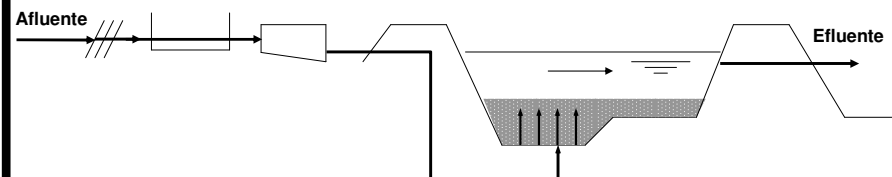
CONFIGURAÇÕES

- ⇒ garantir mistura adequada
- ⇒ minimização de curto-circuitos hidráulico
- ⇒ relação comprimento/largura → 3
 - otimizar a distribuição do afluente
 - redução acúmulo de lodo zona entrada
 - minimizar ação de ventos
 - mecanismo para promover mistura

CONVENCIONAIS



ALTA TAXA



CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

- ⇒ Taxa de aplicação volumétrica
- ⇒ Tempo de detenção hidráulica
- ⇒ Profundidade ($H = 3,5 - 5,0 \text{ m}$)

- ⇒ Tempo de detenção hidráulica (θ_h)

Baseado no tempo necessário para a reprodução das bactérias anaeróbias

$$\theta_h = 3 - 6 \text{ dias}$$

- ⇒ ↓ 3 dias poderá ocorrer que a saída das bactérias metanogênicas com o efluente seja inferior à sua própria taxa de reprodução
- ⇒ ↑ 6 dias a lagoa poderia se comportar como lagoa facultativa, sendo o oxigênio letal para as bactérias metagênicas

LAGOAS ANAERÓBIAS

CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO⇒ **Tempo de detenção hidráulica (θ_h)**

$$V = Q \cdot \theta_h$$

Q = Vazão média afluyente (m^3/d) θ_h = Tempo de detenção hidráulica (d)V = Volume requerido para a lagoa (m^3)

Temperatura média mensal (°C)	(θ_h) (dias)	Remoção de DBO_5 (%)
10 – 15	4 – 5	30 – 40
15 – 20	3 – 4	40 – 50
20 – 25	2,5 – 3	50 – 60
25 – 30	2 – 5	60 – 70

LAGOAS ANAERÓBIAS

⇒ **Taxa de Aplicação Volumétrica (L_v)**

Critério estabelecido em função da necessidade de um determinado volume da lagoa para estabilização da carga de DBO aplicada, sendo uma função da temperatura.

Temperatura média mensal (°C)	L_v $\text{g DBO}_5 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$	Remoção de DBO_5 (%)
< 10	100	40
10 – 20	$20 \cdot T - 100$	$2 \cdot T + 20$
> 20	300	60

$$L_v = 0,1 \text{ kg DBO}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

 $V = L/L_v$ L = carga de DBO afluyente (KgDBO/d)

 L_v = Taxa de aplicação Volumétrica (kg DBO/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}$)

V = volume requerido para a lagoa

LAGOAS ANAERÓBIAS

EXEMPLO 1

Dimensionar uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa, com base nos seguintes dados:

- ⇒ População: 20.000 habitantes
- ⇒ Vazão afluyente: Q = 3.000 m^3/d
- ⇒ DBO afluyente: S_o = 350 mg/L (g/m^3)
- ⇒ Temperatura: T = 14,5° C (líquido no mês mais frio)

EXERCÍCIO 1

Dimensionar uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa para as seguintes condições:

- ⇒ **População:** 50.000 habitantes
- ⇒ **DBO:** 190 mg/L (g/m^3) Volume “per capita”: 160 L/dia.hab.
- ⇒ Temperatura: 20° C (líquido no mês mais frio)