



UFABC

ESTU035 – SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

PROFESSORES: Camila Clementina Arantes – camila.arantes@ufabc.edu.br

Rodrigo de Freitas Bueno – rodrigo.bueno@ufabc.edu.br

Aula 1: APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA E INTRODUÇÃO AO CONTEÚDO

Poluição das Águas e Saneamento

Considerações:

Fixação do Homem em função das disponibilidades, quantitativa e qualitativa, das fontes de energia necessárias à sua subsistência ex. (luz solar, ar, água e alimento)

Água



Principal fator de fixação do homem e formação de novas comunidades

A definição legal de **poluição** é:

Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; **d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;** e) *lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos* (BRASIL, 1981).

Usos da água

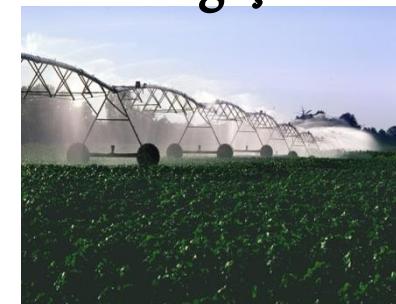
Abastecimento público



Industrial



Irrigação



Energia elétrica



Navegação



Aquicultura



Recreação



Flora



Fauna



Saneamento do meio

Saúde Pública: Ciência e arte com o objetivo de promover saúde, de maneira ampla e irrestrita.

Saneamento: Controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem estar físico, social e mental

Engenharia Sanitária: Campo da engenharia relativo às obras de saneamento.

Saneamento do Meio: Conjunto de obras e medidas que promovam o saneamento.

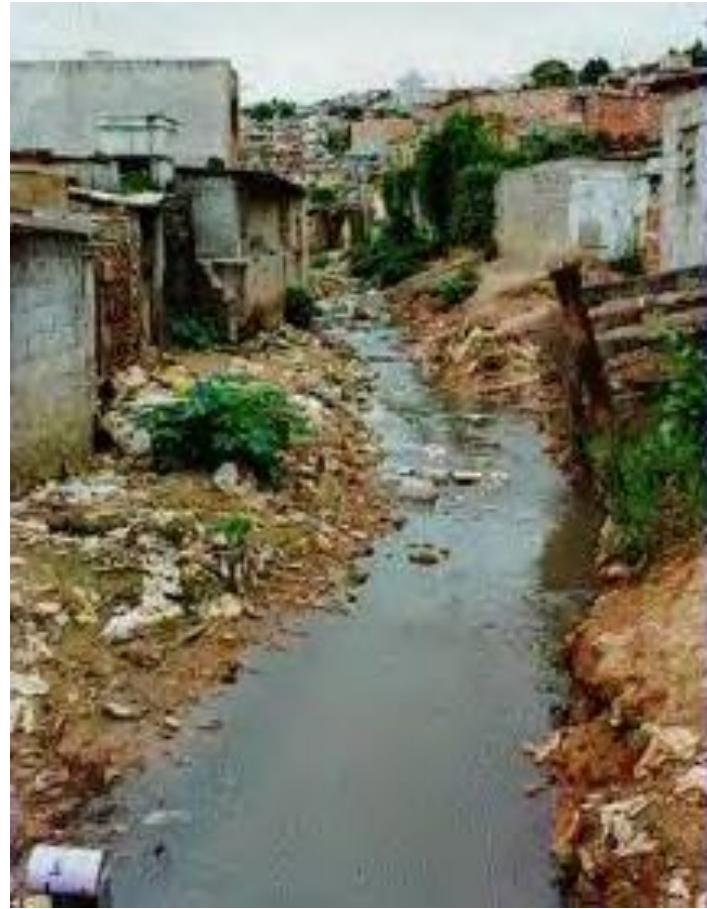
- Abastecimento de água
- Coleta, tratamento e disposição dos esgotos sanitários
- Drenagem e águas pluviais
- Proteção contra inundações
- Coleta, tratamento e disposição final do lixo
- Controle de insetos
- Poluição atmosférica
- Higiene das habitações
- Higiene industrial
- Educação sanitária

Com o crescimento populacional desordenado ...



**Doenças de veiculação
hídrica: cólera,
hepatite, etc..**

Loteamento clandestino em áreas de preservação de mananciais



Esgoto a céu aberto

Poluição das Águas e Saneamento



Principal problema: lançamento de esgotos *in natura*

Eutrofização dos corpos d'água

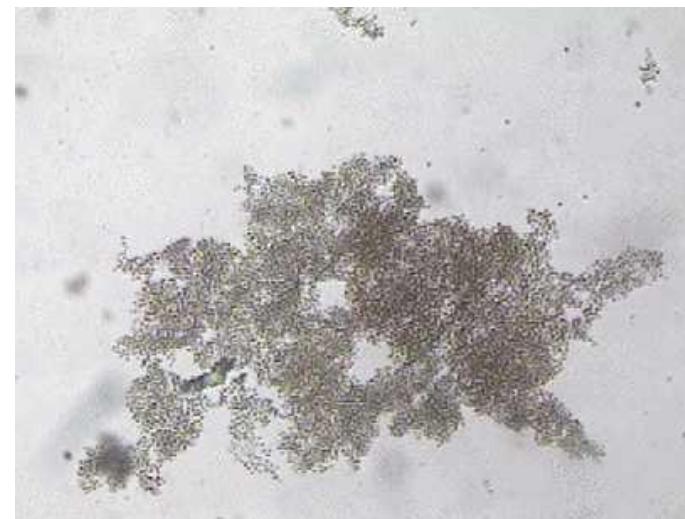
EUTROFIZAÇÃO



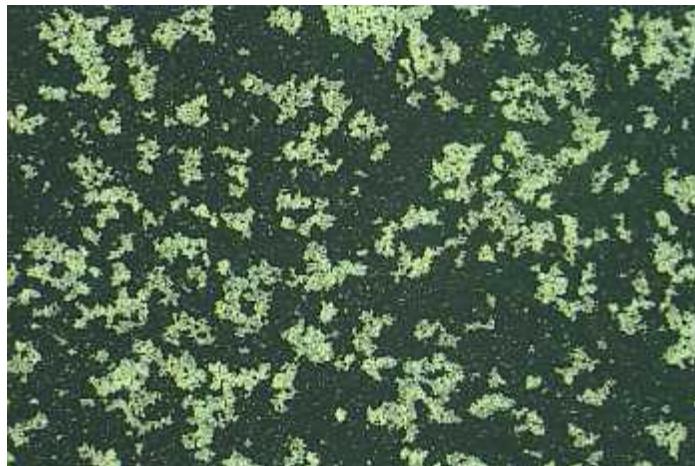
EUTROFIZAÇÃO



Diatomácea



Microcistina



Cianobactéria

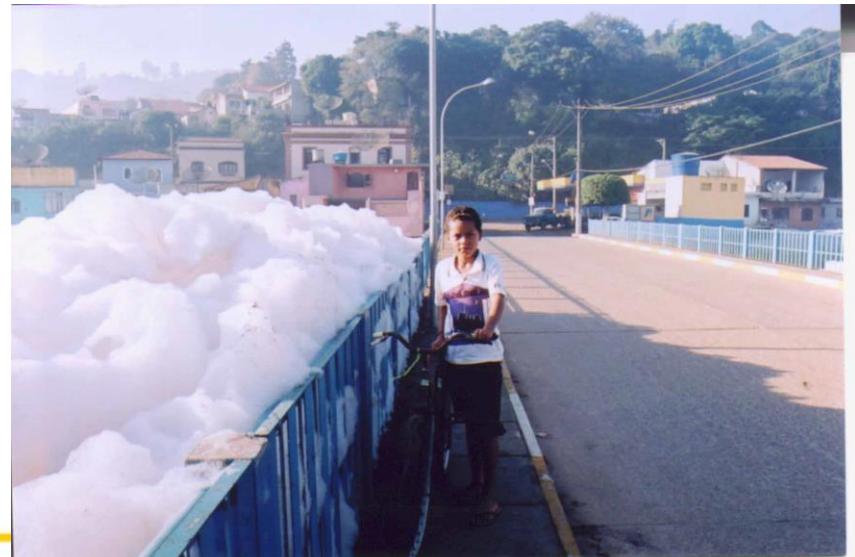
Poluição das Águas e Saneamento



**Formação de espuma no
município de Pirapora de
Bom Jesus**



Poluição das Águas e Saneamento



**Formação de espuma no
município de Pirapora
de Bom Jesus**

Poluição das Águas e Saneamento

**Disposição inadequada de resíduos sólidos
domiciliares**



Contaminação da água subterrânea

Poluição das Águas e Saneamento



**Resíduos Sólidos
Domiciliares**



Poluição das Águas e Saneamento

Com a industrialização ...

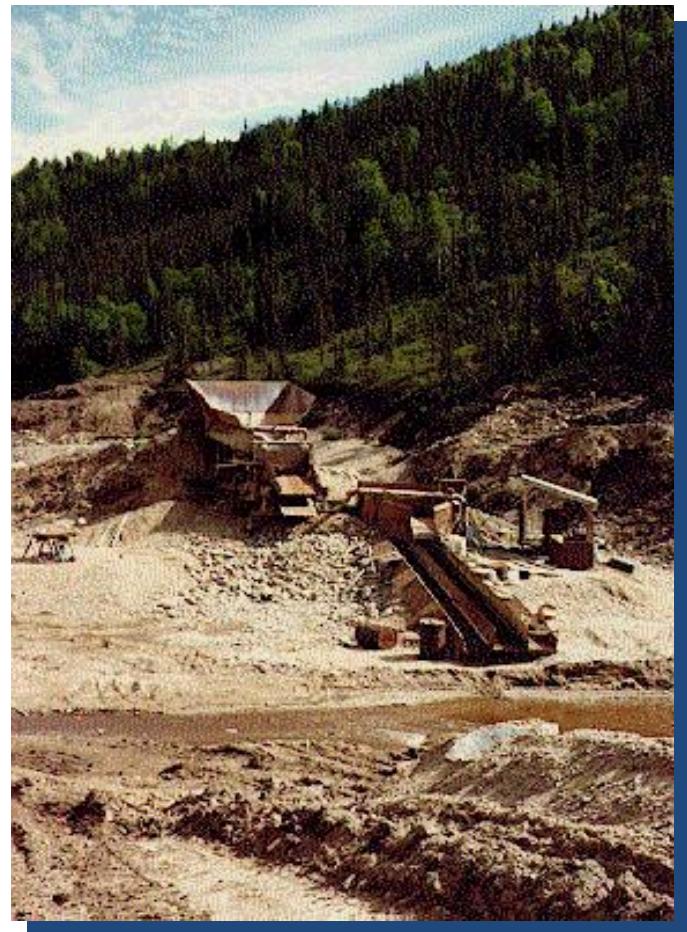
**Metais pesados e
compostos
orgânicos tóxicos
Carcinogênese e
mutagênese**



Poluição das Águas e Saneamento

Com as atividades extractivas ...

**Poluição difusa
Assoreamento**

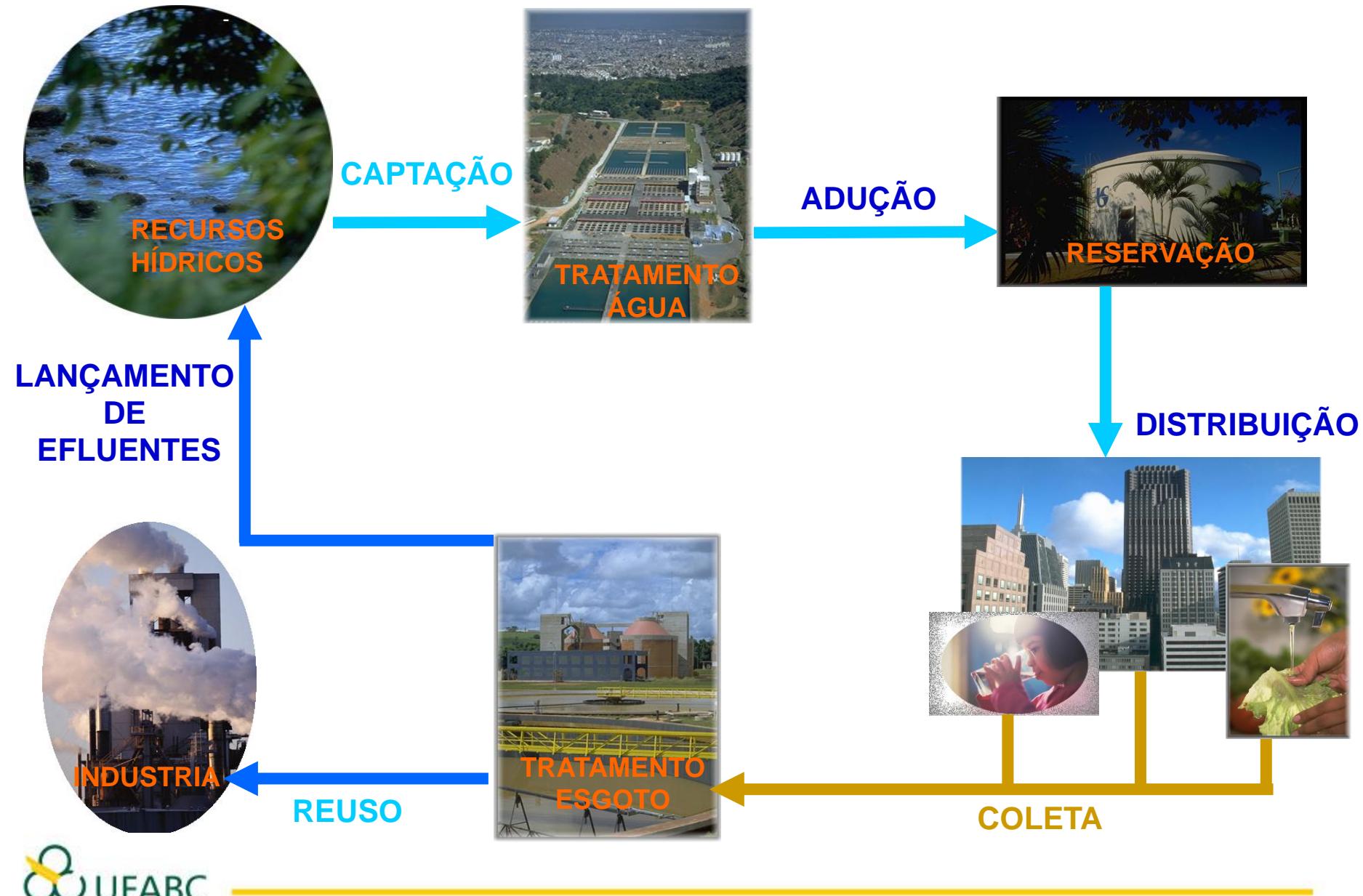


Poluição das Águas e Saneamento

**Com as
atividades
agrícolas...**



Ciclo do Saneamento



Características dos esgotos...

Esgoto:

Termo usado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas

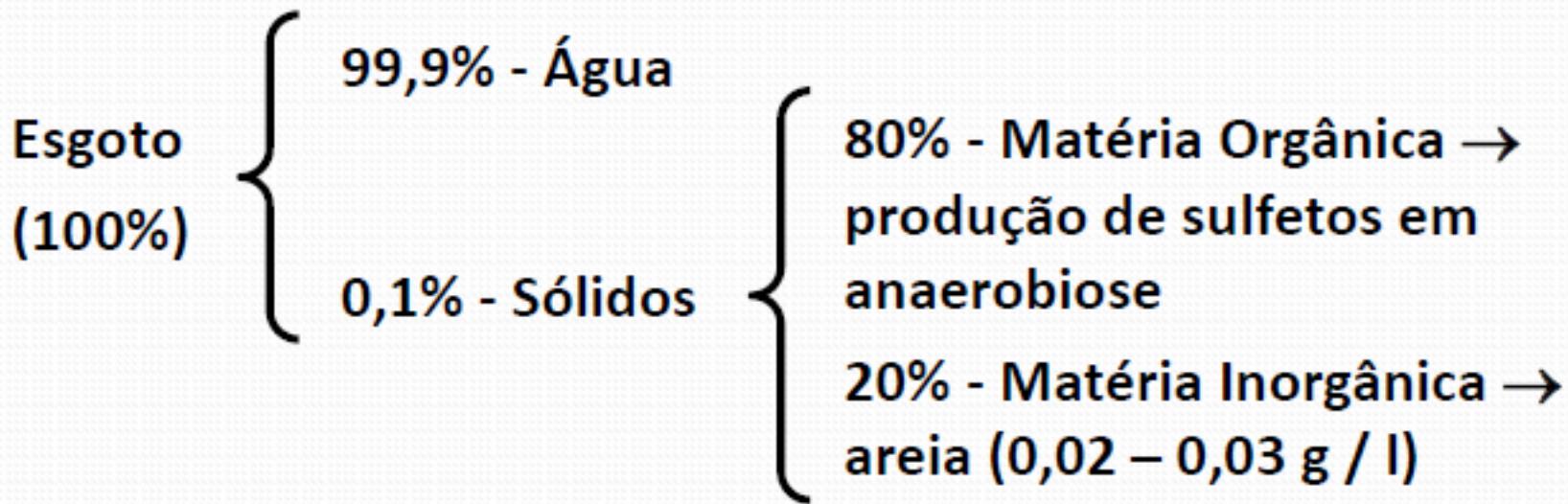
Classificação:

Esgotos Sanitários: Constituídos essencialmente de despejos domésticos , uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração, e eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais

Esgotos Domésticos: Provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições, etc. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, detergentes águas de lavagem, etc.

Esgotos Industriais: Extremamente diversos, provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado.

Características dos esgotos...



Características dos esgotos sanitários...

Parâmetro de qualidade	Descrição	Faixa de concentração mais comum
Sólidos Totais (mg/l)	Matéria orgânica e inorgânica, suspensa e dissolvida.	400 a 1.000
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	Parcela dos sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão, que sedimentam em 1h em um cone Imhoff. Representa uma medida aproximada do lodo que é removido em um decantador primário.	2 a 20
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Parcela dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não estão dissolvidos. É a parcela não filtrável. Podem ser removidos (os sedimentáveis e os não sedimentáveis) por coagulação e filtração. Pode ser estimada uma contribuição na faixa de 50 a 60 gSST/hab.dia para o esgoto sanitário brasileiro, que não utiliza triturador em pias de cozinha.	120 a 400
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	Parcela não volátil, ou mineral dos SST. Representa de 15% a 25% (média de 20%) dos SST.	20 a 150
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	Parcela volátil dos SST. Representa de 75% a 85% (média de 80%) dos SST.	100 a 300

Características dos esgotos sanitários...

Parâmetro de qualidade	Descrição	Faixa de concentração mais comum
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Parcela dos sólidos orgânicos e inorgânicos que é filtrável em papel de filtro de 1,2 µm.	280 a 700
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)	Parcela mineral, ou não volátil dos SDT.	150 a 400
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	Parcela volátil dos SDT.	130 a 300
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias e 20°C). Representa a parcela biodegradável da matéria orgânica do esgoto. É uma medida do oxigênio dissolvido requerido pelos microrganismos para estabilizar a parcela da matéria orgânica que ocorre em 5 dias. A contribuição de DBO é na faixa de 40 a 60 g/hab.dia. Valores mais baixos são para áreas mais pobres. Valor tipicamente utilizado em cidades médias e grandes no Brasil é 54 g/hab.dia.	120 a 450
DQO	Demanda Química de Oxigênio. É uma medida da matéria orgânica do esgoto. Representa a quantidade de oxigênio requerido para oxidar a matéria orgânica por um oxidante químico forte (dicromato de potássio em meio ácido). A contribuição média de DQO é cerca de 2 vezes a de DBO.	240 a 900

Características dos esgotos sanitários...

Parâmetro de qualidade	Descrição	Faixa de concentração mais comum
COT	Carbono Orgânico Total – Representa a quantidade de carbono orgânico em uma amostra de líquido. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), a relação DBO/TOC = 1,2 a 2,0.(Para esgoto decantado DBO/TOC = 0,8 a 1,20 e para esgoto tratado por via aeróbia DBO/TOC = 0,2 a 0,5)	150 a 800
Nitrogênio Total	Nitrogênio Total inclui o nitrogênio nas formas orgânica, amoniacal, nitrito e nitrato. Nitrogênio e fósforo, com carbono e traços de outros elementos servem como nutrientes e aceleram o crescimento de plantas aquáticas.	15 a 70
Nitrogênio Orgânico	É o N presente nas proteínas, amino ácidos e uréa.	6 a 28
Nitrogênio Amoniacal	É produzido como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico.	7 a 42
NKT – Nitrogênio Kjeldhal Total	É a soma do nitrogênio nas formas orgânica e amoniacal. A contribuição de N-NKT é na faixa de 5 a 10 g/hab.dia. Valor típico de cidades com maior consumo de proteínas é de 8 a 9 g/hab.dia	15 a 70
Nitrogênio como nitrito e nitrato	Nitrito e nitrato são formas mais oxidadas de nitrogênio. Ambas essas formas de N são ausentes em esgoto sanitário bruto. Podem aparecer em efluentes de ETEs, especialmente os nitratos, quando se tem a oxidação biológica do N amoniacal (nitrificação)	0

Características dos esgotos sanitários...

Parâmetro de qualidade	Descrição	Faixa de concentração mais comum
Fósforo Total (P)	O fósforo existe na forma orgânica e inorgânica. Fósforo em águas naturais é uma fonte para eutrofização. A contribuição estimada no Brasil é de 0,9 a 1,3 g/hab.dia, devendo aumentar futuramente com o aumento do uso de detergentes em pó.	2 a 10
Fósforo Orgânico	É a parcela de fósforo ligado à matéria orgânica.	0,7 a 3,5
Fósforo inorgânico	Aparece nas formas de ortofosfato e polifosfato.	1,3 a 6,5
Óleos e Graxas	É a parcela da matéria orgânica que é solúvel em hexano. Suas fontes são as gorduras e óleos usados na alimentação.	50 a 150

Características dos esgotos sanitários...

CARACTERÍSTICA	FORTE	MÉDIO	FRACO
DBO _{5,20} (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
Carbono Org. Total (mg/L)	290	160	80
Nitrogênio total – NTK (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Ammoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Fósforo Orgânico (mg/L)	05	03	01
Fósforo Inorgânico (mg/L)	10	05	03
Cloreto (mg/L)	100	50	30
Sulfato (mg/L)	50	30	20
Óleos e Graxas (mg/L)	150	100	50

Contribuições Unitárias:

DBO: 54 g DBO / habitante x dia

DQO: 100 g / habitante x dia

Características dos esgotos sanitários...

CARACTERÍSTICA	FORTE	MÉDIO	FRACO
Sólidos Totais (mg/L)	1.200	720	350
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	525	300	145
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	350	220	100
Sólidos em Suspensão Fixos (mg/L)	75	55	20
Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)	275	165	80
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	20	10	05

Contribuições Unitárias:



SST: 60 g / habitante x dia

Características dos esgotos sanitários...

CARACTERÍSTICA	VALOR MÉDIO
Bactérias Totais (/100 mL)	$10^9 - 10^{10}$
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	$10^7 - 10^8$
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	$10^6 - 10^7$
Estreptococcus Fecais (NMP/100 mL)	$10^5 - 10^6$
Salmonella Typhosa (/100 mL)	$10^1 - 10^4$
Cistos de Protozoários (/100 mL)	$10^2 - 10^5$
Vírus (/100 mL)	$10^3 - 10^4$
Ovos de Helmintos (/100 mL)	$10^1 - 10^3$

PADRÕES DE EMISSÃO

Estado de São Paulo: Decreto 8.468/76

- pH: entre 5 e 9
- Temperatura: inferior a 40°C
- Sólidos Sedimentáveis: inferior a 1 mL/L
- DBO_{5,20}: inferior a 60 mg/L ou 80% de redução

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63

- Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

- pH: entre 5 e 9
- Temperatura: inferior a 40°C
- Sólidos Sedimentáveis: inferior a 1 mL/L
- Amônia total: inferior a 20 mg/L

PADRÕES DE EMISSÃO

Estado de São Paulo: Decreto 8.468/76

Exemplo: Águas Classe 2

- Oxigênio Dissolvido: não inferior a 5 mg/L
- DBO_{5,20}: inferior a 5 mg/L
- Coliformes Totais: não superior a 5.000 / 100 mL
- Coliformes Termotolerantes: não superior a 1.000 / 100 mL

PADRÕES DE QUALIDADE RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005

Aguas classe 1 - amônia total:

- 3,7 mg-N/L para pH \leq 7,5
- 2,0 mg-N/L para 7,5 < pH \leq 8,0
- 1,0 mg-N/L para 8,0 < pH \leq 8,5
- 0,5 para pH > 8,5

PADRÕES DE QUALIDADE RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005

Águas classe 1 – Fósforo Total

- 0,02 mg P/L para ambientes lênticos,
- 0,025 mg P/L para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambiente lêntico
- 0,1 mg P/L para ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários.

RESOLUÇÃO N° 410, DE 04 DE MAIO DE 2009

Publicada no DOU nº 83, de 05/05/2009, pág. 106

Correlações:

- Altera o art. 44 da Resolução nº 357/2005 e o art. 3º da Resolução nº 397/2008.

Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008.



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**

RESOLUÇÃO N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011

Correlações:

- Complementa e altera a Resolução nº 357/2005.

Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Seção II

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes

Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

ESGOTO INDUSTRIAL

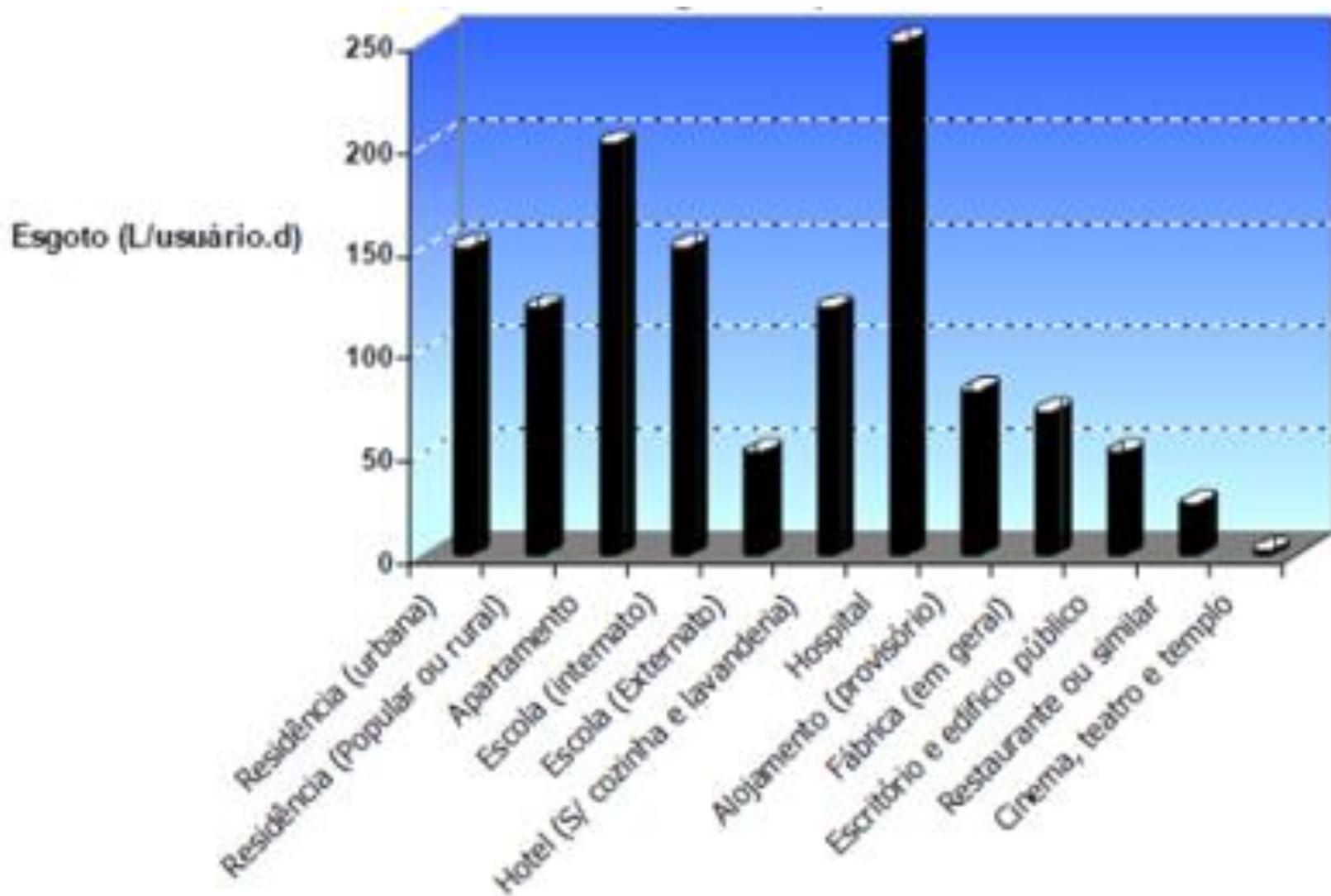
Decreto nº 8.468 (Set/1976)

- **Art. 19:** Onde houver sistema público de esgoto, em condições de atendimento, os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser neles lançados.
- **Art. 18 -VIII:** Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média diária.
- **Art. 19 A:** Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados em sistemas de esgotos, se obedecerem às seguintes condições:
 - I. pH entre 6,0 e 10,0;
 - II. Temperatura inferior a 40 °C;
 - III. Materiais sedimentáveis até 20 mL/L;...

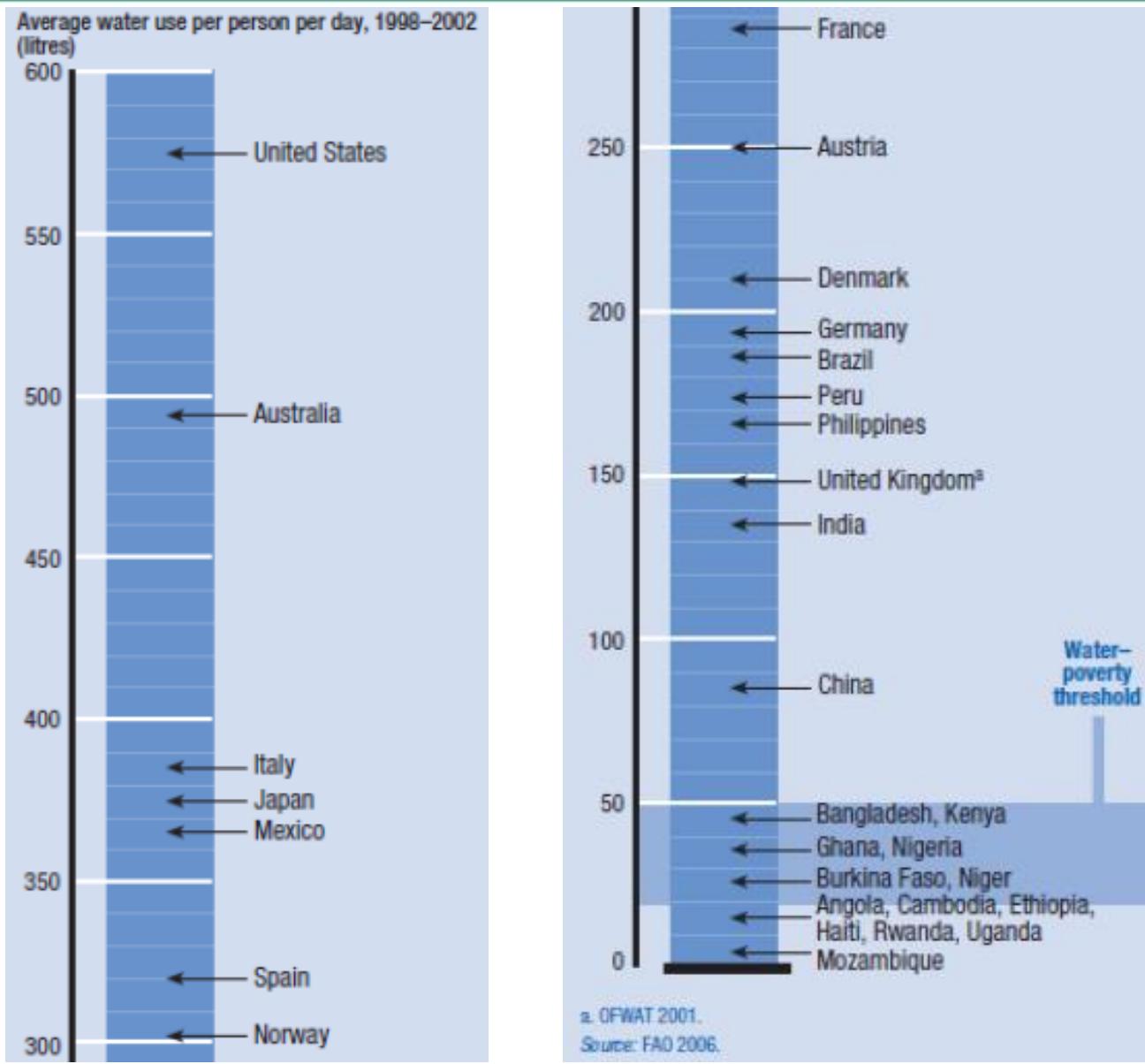
Vazões de Esgoto Doméstico

- A vazão (Q) ou descarga de esgotos expressa a relação entre a quantidade do esgoto transportado em um período de tempo.
- Trata-se da mais importante característica dos esgotos, indicando o transporte conjunto de todos os seus componentes, tais como água, matéria sólida (mineral ou orgânica), poluentes químicos, microorganismos, etc.
- A contribuição de esgotos depende de inúmeros fatores (disponibilidade de água, região atendida, atividades desenvolvidas, atividades industriais, hábitos de higiene, nível socioeconômico, nível cultural, etc.
- Estudo de crescimento populacional.

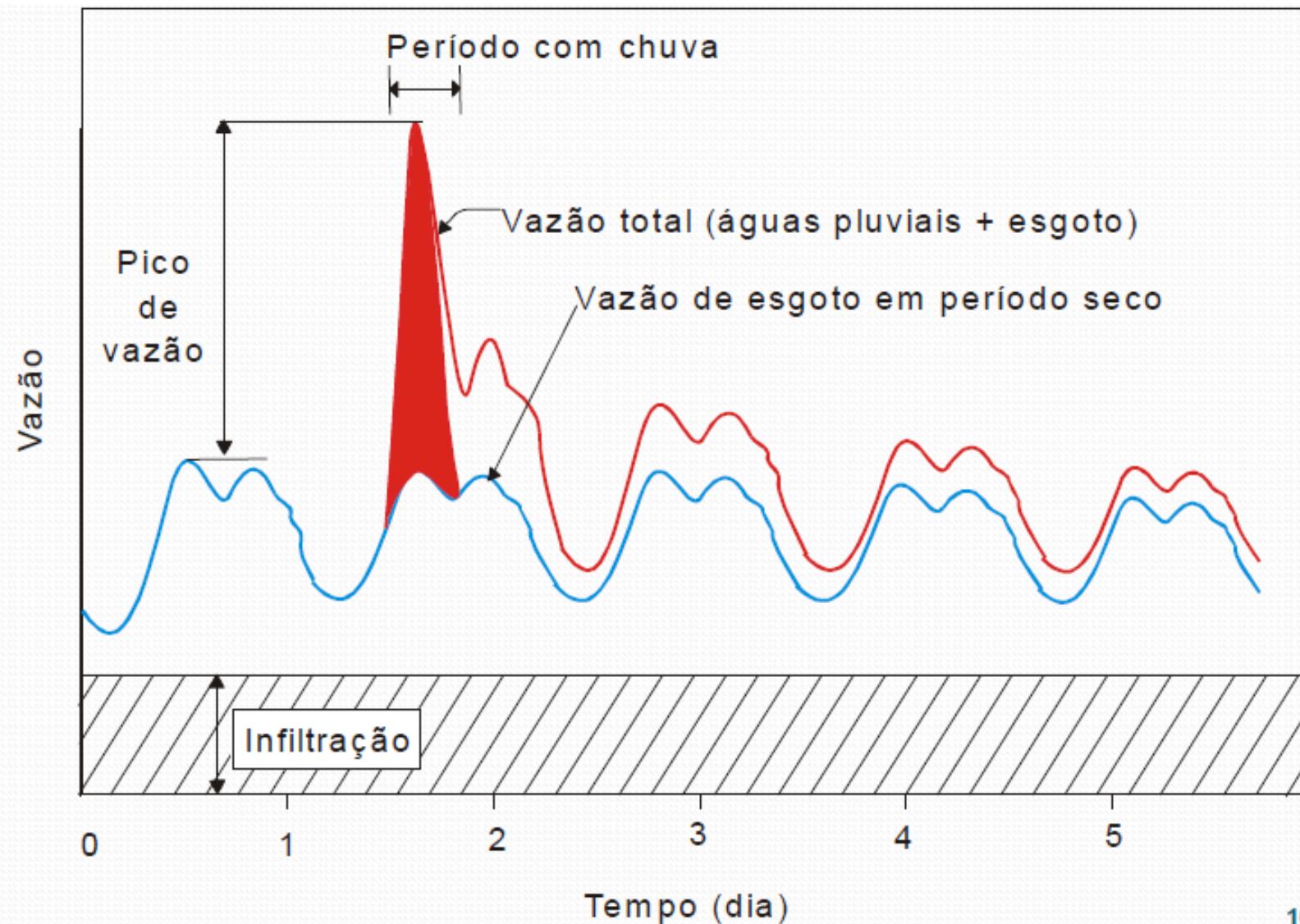
Produção de esgotos por atividade e usuário



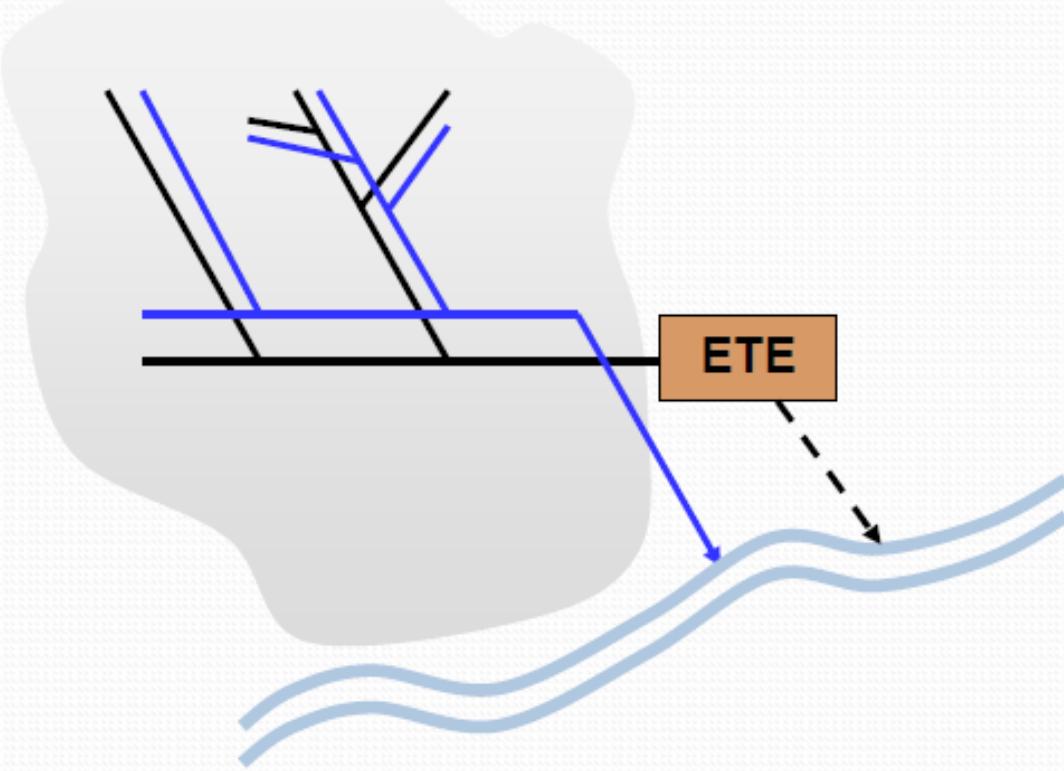
Consumo “per capita” medido em outros países



Vazões em um sistema unitário



Sistema separador absoluto



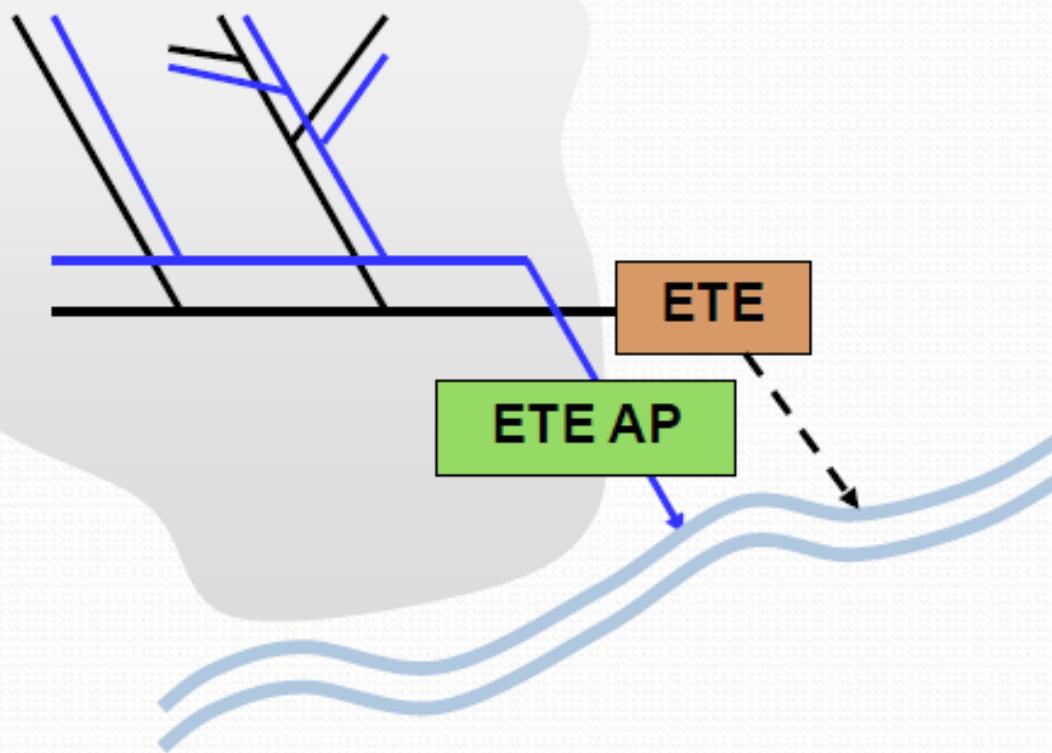
Para o rio:

- = Vazão de base
- + Águas pluviais
- + 100% Carga difusa

Para a ETE:

- = Esgoto

Sistema separador absoluto com tratamento de carga difusa



Paoletti; Orsini, 2006

Para a ETE:

= Esgoto

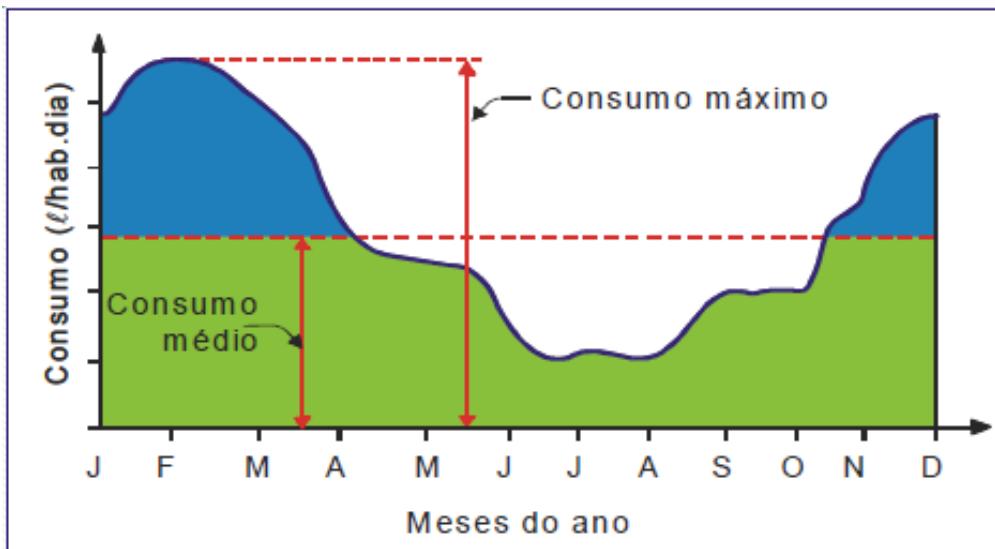
Para a ETE AP:

= Vazão de base
+ Águas de 1^a chuva

Coeficientes de retorno obtidos por medições ou recomendados para projeto

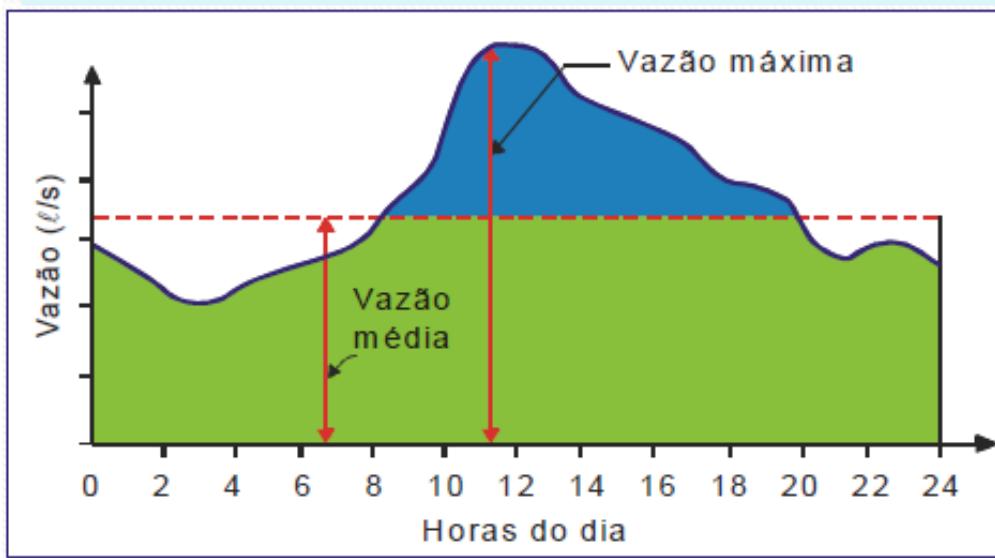
Autor	Local	Ano	Coeficiente de retorno	Condições de obtenção dos valores
José A. Martins	São Paulo	1977	0,7 a 0,9	Recomendações para projeto
Azevedo Netto	São Paulo	1981	0,7 a 0,8	Recomendações para projeto
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,8	Recomendações para projeto
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Companini & Nelson L. Silva	Cardoso, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (Estado de São Paulo)	1989	0,35 a 0,68	Medições em sistemas operando há vários anos
SABESP	São Paulo	1990	0,85	Recomendações para projeto - Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo
João B. Companini	Cardoso, Pedranópolis, Guarani D'Oeste e Indiaporã (Estado de São Paulo)	1990	0,42 a 0,73	Medições em sistemas operando há vários anos
Milton T. Tsutiya & Orlando Z. Cassettari	Tatuí (Estado de São Paulo)	1995	0,52 a 0,84	Medições em sistema operando há vários anos
Steel	EUA	1960	0,7 a 1,3	Para as condições norte-americanas
Fair, Geyer & Okun	EUA	1968	0,6 a 0,7	Recomendações para projeto
Metealf & Eddy Inc.	EUA	1981	0,7	Recomendações para projeto

VARIAÇÃO DO CONSUMO



Variação do consumo anual

$$K_1 = \frac{Q \text{ máxima diária no ano}}{Q \text{ média diária no ano}}$$



Variação do consumo diária

$$K_2 = \frac{Q \text{ máxima horária no dia}}{Q \text{ média horária no dia}}$$

$$K_3 = \frac{Q \text{ mínima horária no dia}}{Q \text{ média horária no dia}}$$

24

No caso de indisponibilidade de dados, é recomendado considerar as variações típicas indicadas na NBR-9649

ÁGUA DE INFILTRAÇÃO

A infiltração na rede depende das condições locais, tais como:

- NA do lençol freático
- Tipo de solo
- Material da tubulação
- Tipo de junta
- Qualidade de assentamento dos tubos

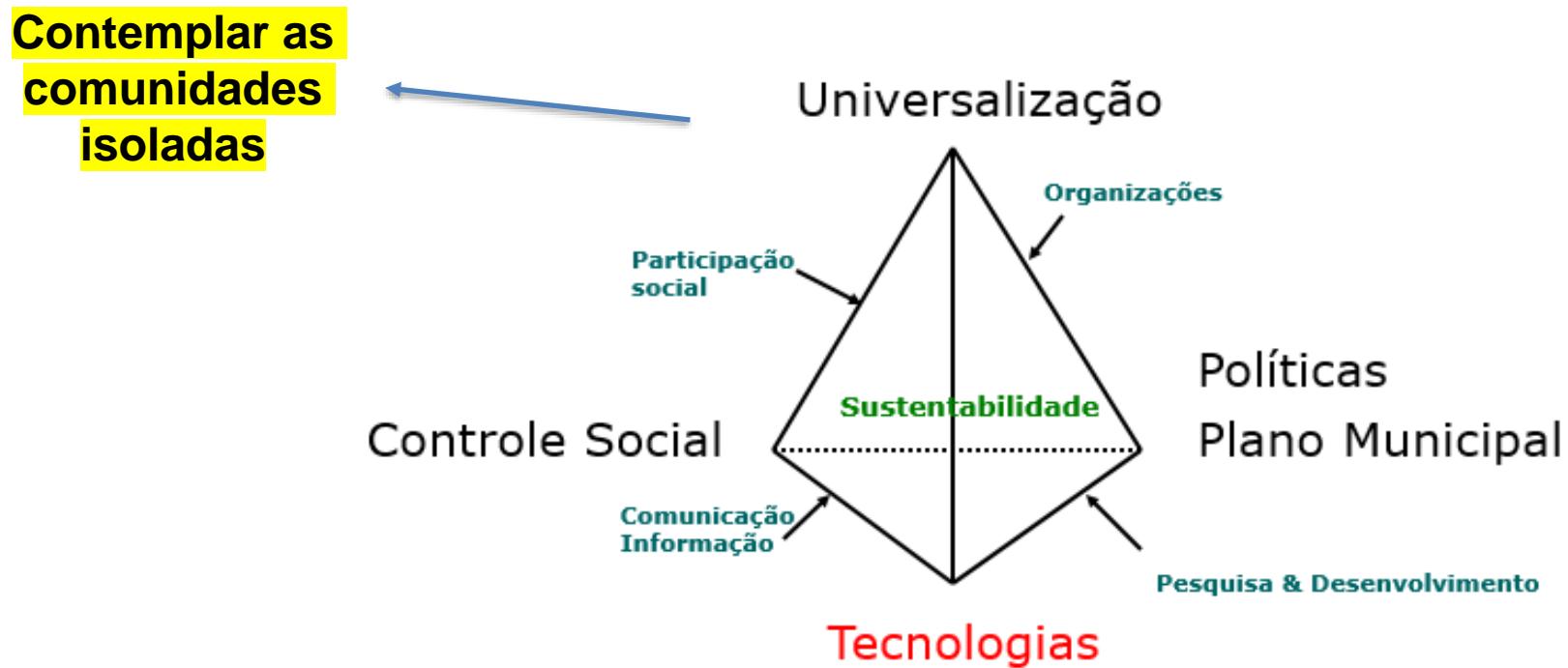
NBR 9649: Taxa de infiltração $TI = 0,05 \text{ a } 1,0 \text{ L/(s.km)}$

TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

□ Lei 11.445/2007 – Diretrizes da Política Nacional de Saneamento Básico

Conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais em quatro áreas: abastecimento de água potável, **esgotamento sanitário**, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais.



Comunidades Isoladas:

“São loteamentos ou núcleos habitacionais localizados normalmente em áreas periféricas de cidades, ou comunidades, litorâneas ou não, de difícil acesso, cuja interligação aos sistemas principais de água e de esgotos do município demonstra-se economicamente inviável e necessitam de soluções independentes desses serviços”

Fonte: (CTCISOLADAS/ABES-SP)

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

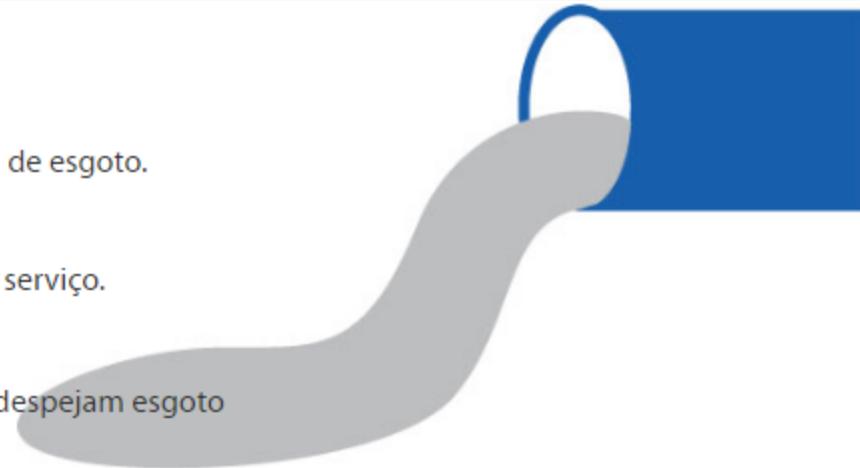
Coleta de Esgoto:



50,3%

da população têm acesso à coleta de esgoto.

Mais de **100 Milhões de brasileiros** não tem acesso a este serviço.



Mais de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletooras disponíveis.

47% das obras de esgoto do PAC, monitoradas há 6 anos, estão em situação inadequada. Apenas 39% de lá para cá foram concluídas e, hoje, 12% se encontram em situação normal.

Cerca de **450 mil pessoas** nos 15 municípios paulistas **têm disponíveis os serviços de coleta dos esgotos, porém não estão ligados às redes**, e, portanto, despejam seus esgotos de forma inadequada no meio ambiente.

Fontes

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2015)

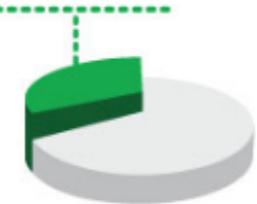
Estudo Trata Brasil " Ociosidade das Redes de Esgoto – 2015"

Censo Escolar 2014

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

Tratamento Esgoto:

42,67%



dos esgotos do país são tratados.

A média das 100 maiores cidades brasileiras em tratamento dos esgotos foi de **50,26%**.

Apenas 10 delas tratam acima de 80% de seus esgotos.



Regiões do Brasil:

Norte Apenas 16,42% do esgoto é tratado, e o índice de atendimento total é de 8,66%. A pior situação entre todas as regiões.

Nordeste Apenas 32,11% do esgoto é tratado.

Sudeste 47,39% do esgoto é tratado. O índice de atendimento total de esgoto é de 77,23%.

Sul 41,43% do esgoto é tratado, e o índice de atendimento total é de 41,02%.

Centro-Oeste 50,22% do esgoto é tratado. A região com melhor desempenho, porém a média de esgoto tratado não atinge nem a metade da população.

Em termos de volume, as capitais brasileiras lançaram **1,2 bilhão de m³** de esgotos na natureza em 2013.

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2015)

Fonte: Estudo Trata Brasil "Ranking do Saneamento – 2015"

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

Universalização:



O custo para universalizar o acesso aos 4 serviços do saneamento (água, esgotos, resíduos e drenagem) é de **R\$ 508 bilhões**, no período de 2014 a 2033.

Para universalização da água e dos esgotos esse custo será de **R\$ 303 bilhões em 20 anos**.

O Governo Federal, através do PAC, já destinou recursos da ordem de **R\$ 70 bilhões** em obras ligadas ao saneamento

básico.

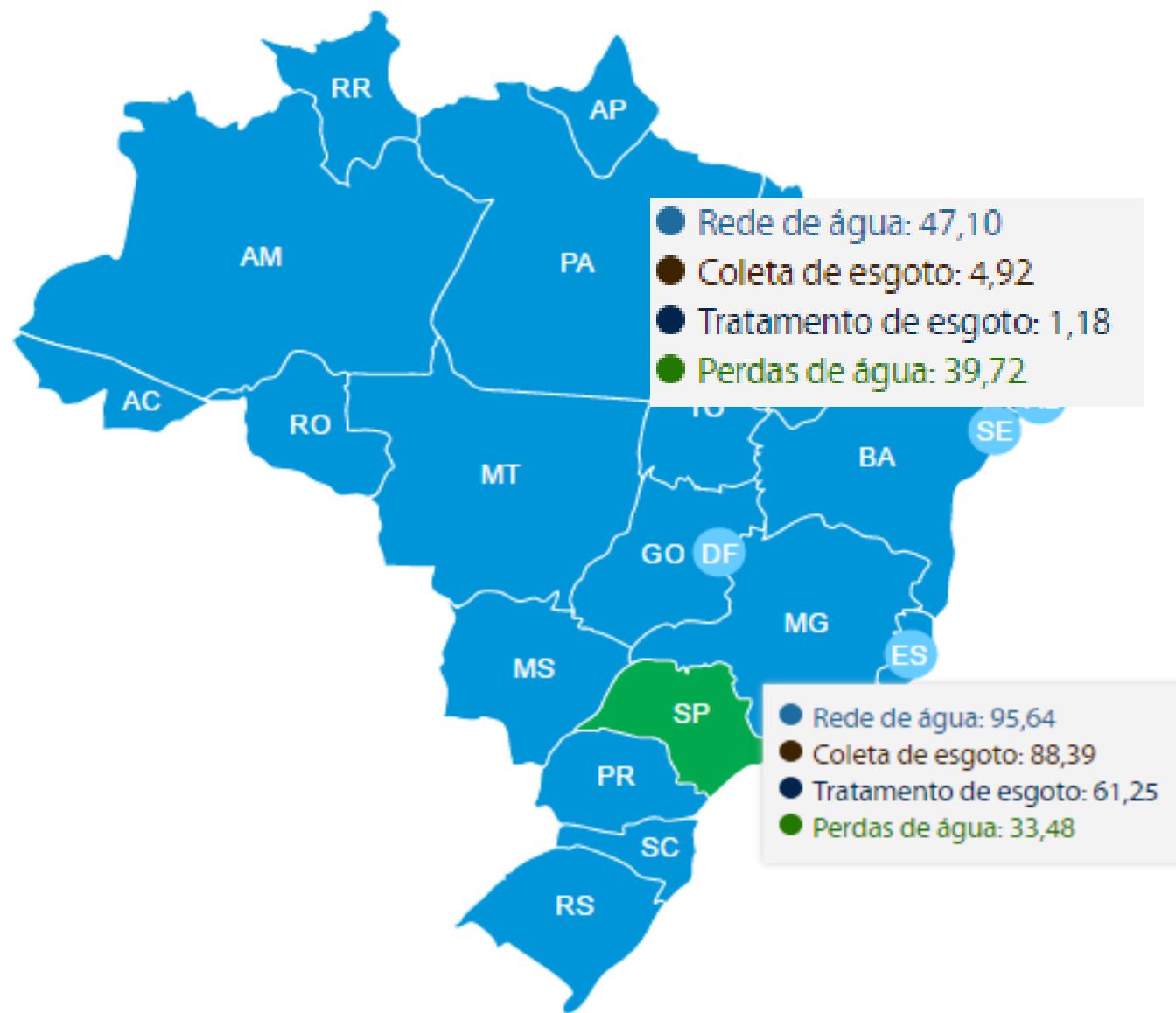
Houve um investimento de **R\$ 1.69 bilhão** a mais em 2014 comparado a 2013.

Os maiores investimentos em saneamento básico (água e esgoto), durante três anos, foram nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e Bahia, totalizando **63,3%**. Já os estados do Amazonas, Acre, Amapá, Alagoas e Rondônia são os que menos investiram em três anos, totalizando **1,7%**.

Fonte: Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)

Fonte: Ministério das Cidades

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO



CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

4 Milhões de habitantes ainda não têm acesso a banheiro.

Fonte: Progress on Sanitation and Drinking-Water", 2014 – Organização Mundial da Saúde (OMS)/ UNICEF

Nos municípios brasileiros onde não há rede coletora, os destinos mais comuns para os efluentes domésticos são sistemas compostos de fossas sépticas e sumidouros (**presentes em 60,6% dos municípios**) (IBGE,2010).

- fossas rudimentares (38,0%);
- fossas secas (2,3%);
- Lançamento em valas a céu aberto (1,2%);
- diretamente em corpos d'água (1,3%) ou outras alternativas (1,1%).

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

Comunidades isoladas urbanas

Cerca de **10 milhões de pessoas** habitam 12 áreas irregulares urbanas nas 100 maiores cidades brasileiras.

Acesso às redes de coleta de esgoto acontece em apenas **9,4%** dos casos,

Déficit de 3 milhões de ligações domiciliares necessárias para a universalização do atendimento.

Áreas favelizadas e irregulares em municípios paulistas tratam o esgoto que não é coletado de maneira similar a áreas rurais brasileiras, sendo **53,6% destinado a fossas rudimentares**, 17,5% a córregos ou mangues e 14,9% a valas à céu aberto

CONTEXTUALIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA SANEAMENTO BÁSICO

Comunidades isoladas rurais

Nessas regiões, **49% da população** ainda convive com práticas consideradas inadequadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), como por exemplo o uso de banheiros compartilhados, a **defecação ao ar livre** ou ainda o **lançamento dos dejetos sem qualquer tratamento diretamente no solo ou em corpos d'água** (WHO/UNICEF, 2015).

Mesmo com baixo percentual de habitantes (**15,7%**), vivem na zona rural brasileira cerca de 30 milhões de pessoas (IBGE 2010),

Sistemas descentralizados de tratamento de efluentes

□ Apesar de evidente o baixo índice de cobertura do Brasil rural por redes coletoras de esgotos, isso, por si só, não é um agravante para as condições sanitárias. Já que **sistemas locais de tratamento de esgoto**, também chamados de descentralizados, se bem projetados, construídos e operados podem ser uma **boa alternativa para promover a saúde da população** e ao mesmo tempo manter a integridade ambiental destas localidades (Sousa, 2004; FUNASA 2015).

□ Sistemas descentralizados x convencionais

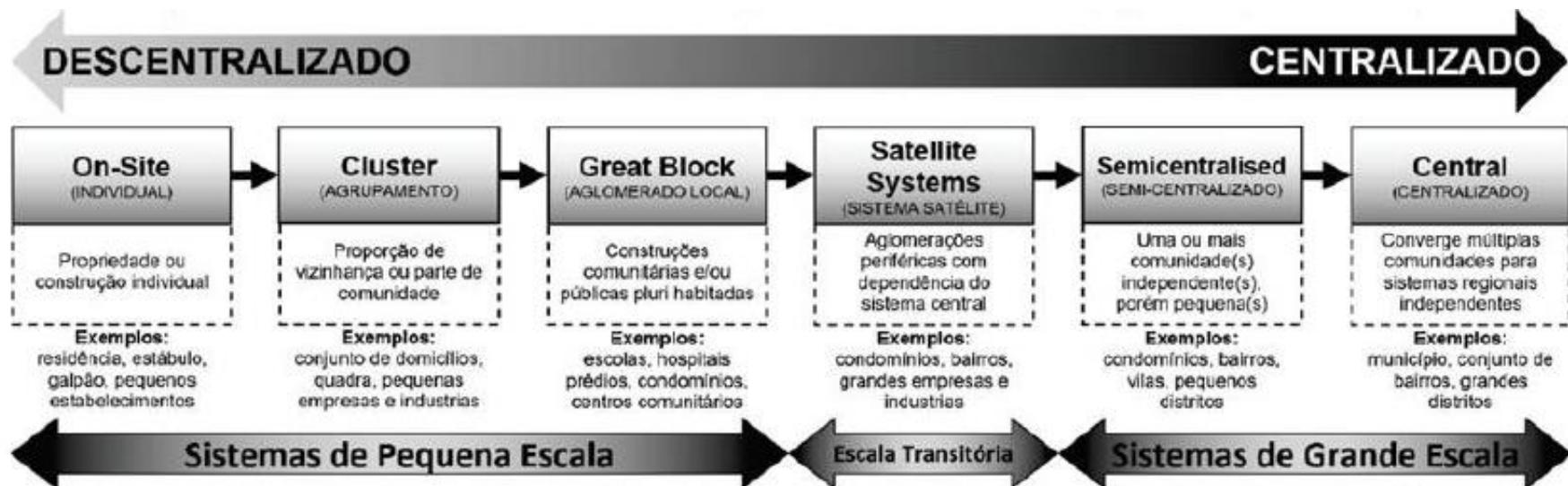
□ Sistemas descentralizados são aqueles que coletam, tratam e fazem a disposição final ou reúso do efluente em local próximo à sua geração, de modo diferente do que ocorre nos sistemas centralizados tradicionais (Libralato, Ghirardini e Avezzù, 2011).

Sistemas descentralizados de tratamento de efluentes

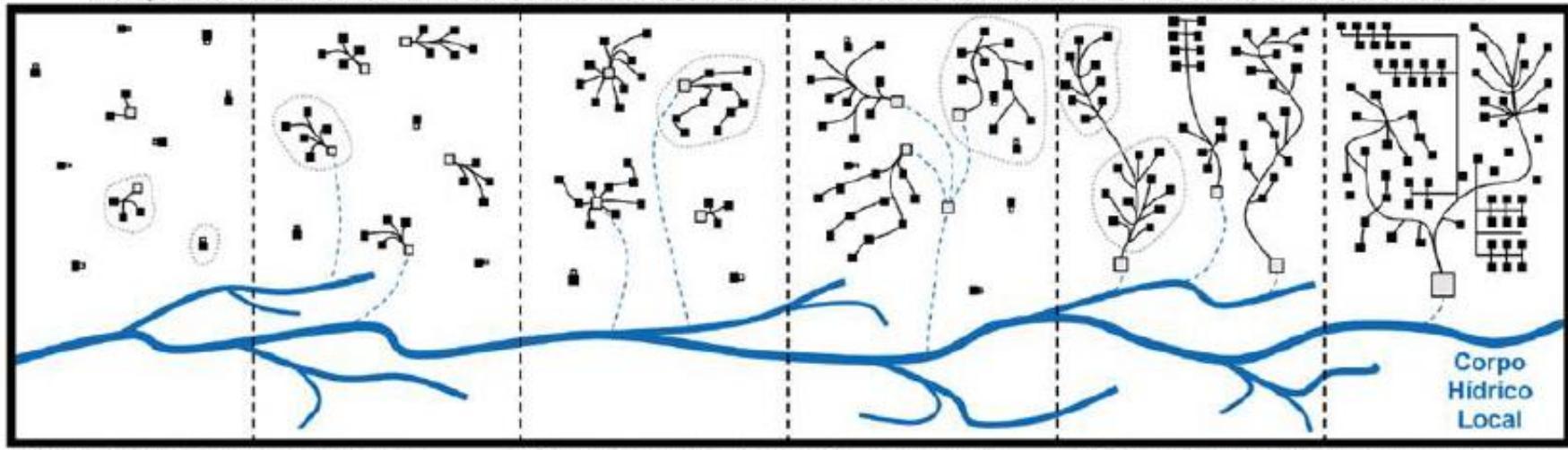
- Alguns países classificam os sistemas em centralizados ou descentralizados usando o número de habitantes atendidos, a carga orgânica do efluente e/ou o volume diário gerado;
- Na literatura há várias propostas de classificação e nomenclaturas para os sistemas descentralizados (ex: *onsite*, individual, cluster, satellite, semi-centralized), etc.

pequenos sistemas descentralizados
(sistemas individuais/ unifamiliares)
e
grandes sistemas centralizados
(estações de tratamento de esgoto)

Sistemas descentralizados de tratamento de efluentes



ESQUEMA DE UMA ABORDAGEM ESPACIAL E ORGANIZACIONAL DE SISTEMAS SANITÁRIOS



Modelo habitacional predominante

Economia contribuinte com fluxo de esgoto

Sistema local de tratamento de efluentes

Fonte: criado a partir de O'Callaghan (2008), Gikas & Tchobanoglous (2009), Bieker et al. (2010) e Libralato et al. (2012).

Vantagens dos sistemas descentralizados

Social (Antrópica)	Econômico (Financeira)	Ambiental (Poluição do Ar, Solo e Água)	Operacional (Instalação e Manutenção)
<ul style="list-style-type: none"> → Facilmente adaptável a condições rurais e de baixa densidade demográfica; → Aplicável e flexível à inúmeras condições socioeconómicas; → Capaz de se instalar em periferias com altas taxas de crescimento populacional; → Menos vulneráveis à desastres naturais (caso ocorra não há colapso total, somente isolados); → Contribuem com planejamento urbano de comunidade isoladas; → Pode-se associar a minimização de riscos à saúde humana, mesmo em ambientes catastróficos; → Uso de temáticas como reúso e ciclagem de nutrientes pode incentivar agricultores a auxiliarem na implantação; → Usualmente, bem aceito por entidades reguladoras e governamentais locais; 	<ul style="list-style-type: none"> → Em boa parte dos casos, não se cobra taxa pelo tratamento; → Menor uso de capital per capita para instalação e manutenção; → Evita a construção de sistemas muito maiores para amortização de crescimento populacional; → Reduz custos associados ao consumo d'água (reúso); → Evita transportes e custos relativos ao esgotamento; → Baixo ou nulo consumo de insumos operacionais; → Baixo ou nulo consumo energético funcional; → Minimiza custos relativos à deterioração de tubulações da rede pelos ácidos gerados em anaerobiose durante escoamento lento dos esgotos; → Satellite Systems e Great Blocks conectados ao sistema central podem reduzir variações e cargas em ETE; 	<ul style="list-style-type: none"> → Baixa necessidade de espaço para construção; → Minimiza o uso abusivo de recursos naturais hídricos, energéticos e nutrientes (N/P); → Reduz poluição por meio da minimização dos descartes irregulares (esgoto tratado); → Pouco influenciável por terremotos e enchentes; → Menos sujeita a contaminações e acidentes de grande porte; → Promove proteção do ambiente em geral, podendo levar a melhora nas condições para desenvolvimento de flora e fauna (sistemas ecológicos); → Diminui escassez hidrica devido a possibilidade de reúso; 	<ul style="list-style-type: none"> → Boa flexibilidade operacional dependendo das condições; → Construção do sistema é proporcional às necessidades; → Dispensa a construção de rede coletora local; → Autossuficiência ou independência energética é geralmente possível; → Possibilidade facilitada de ampliação e aprimoramento de sistemas simplificados somente pela adição de unidade complementar; → Em boa parte dos casos, não requer mão de obra especializada; → Separação e tratamento das águas cinzas e negras viável; → Normalmente, não há contaminação pluviométrica; → Plantas de tratamento pequenas podem ser facilmente controladas de maneira remota;

Desafios para a implantação de sistemas descentralizados

- ❑ O primeiro desafio é a própria escolha do sistema de tratamento de esgoto mais adequado para cada situação. Essa é uma tarefa complexa, que envolve avaliação de muitas variáveis simultaneamente.
- ❑ Existe hoje uma ampla variedade de sistemas descentralizados disponíveis para áreas rurais e isoladas (FUNASA, 2015), não há consenso sobre qual seria o sistema mais adequado do ponto de vista técnico.

inexistência de soluções milagrosas e generalistas que possam ser aplicadas para resolver todos os problemas relacionados ao tratamento de efluentes.

Desafios para a implantação de sistemas descentralizados

Aspectos sociais e econômicos

- Um dos fatores mais importantes para a implantação bem sucedida de sistemas descentralizados de pequeno e médio porte é a aceitação da população e seu envolvimento no processo de escolha da tecnologia;
- A escolha do sistema de tratamento de esgoto passa também pelo custo de implantação, operação e manutenção do sistema



Aspectos ambientais

- Os aspectos técnicos e ambientais são normalmente os mais abordados quando se discute a escolha de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto. Sistemas descentralizados que não operam corretamente, especialmente sistemas sépticos, são considerados a segunda maior ameaça à qualidade das águas nos Estados Unidos (USEPA, 2013).
- a sobrecarga e contaminação de solos com baixa capacidade de infiltração ou de solos com boa drenagem localizados em locais muito adensados;
- a contaminação da água por nitrato, fosfatos e patógenos por sistemas localizados muito próximos a reservas de água superficiais ou subterrâneas;
- a eutrofização de corpos d'água superficiais.

Sistemas descentralizados mais comuns no Brasil

Apesar de existir uma ampla gama de sistemas disponíveis para comunidades isoladas, ainda é muito comum no Brasil o uso de fossas negras, como comprovam os dados de pesquisas domiciliares realizadas nas áreas urbanas e rural (PNAD, 2013).

poço ou buraco sem impermeabilização onde é feita a disposição do esgoto *in natura* conduzido por veiculação hídrica

Os impactos ambientais relacionados a esse tipo de sistema incluem a contaminação do solo e do lençol freático por patógenos e nitrato, condição esta que torna as fossas rudimentares uma alternativa pouco eficiente e segura

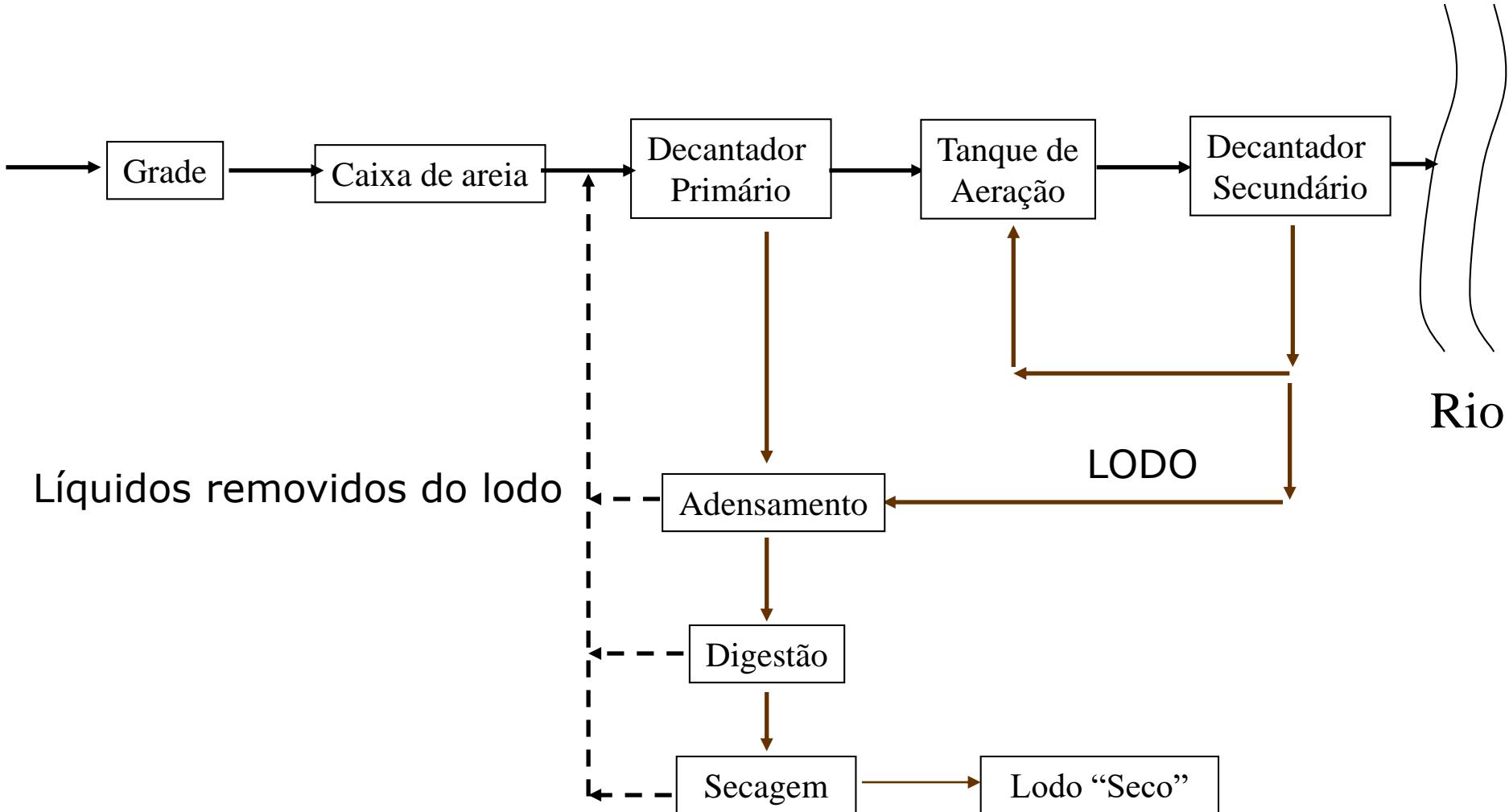
- ❖ Remover poluentes das águas residuárias
 - matéria orgânica (DBO)
 - sólidos suspensos
 - nutrientes (N,P)
 - Patógenos
 - outros constituintes



PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

“Sistemas Centralizados”

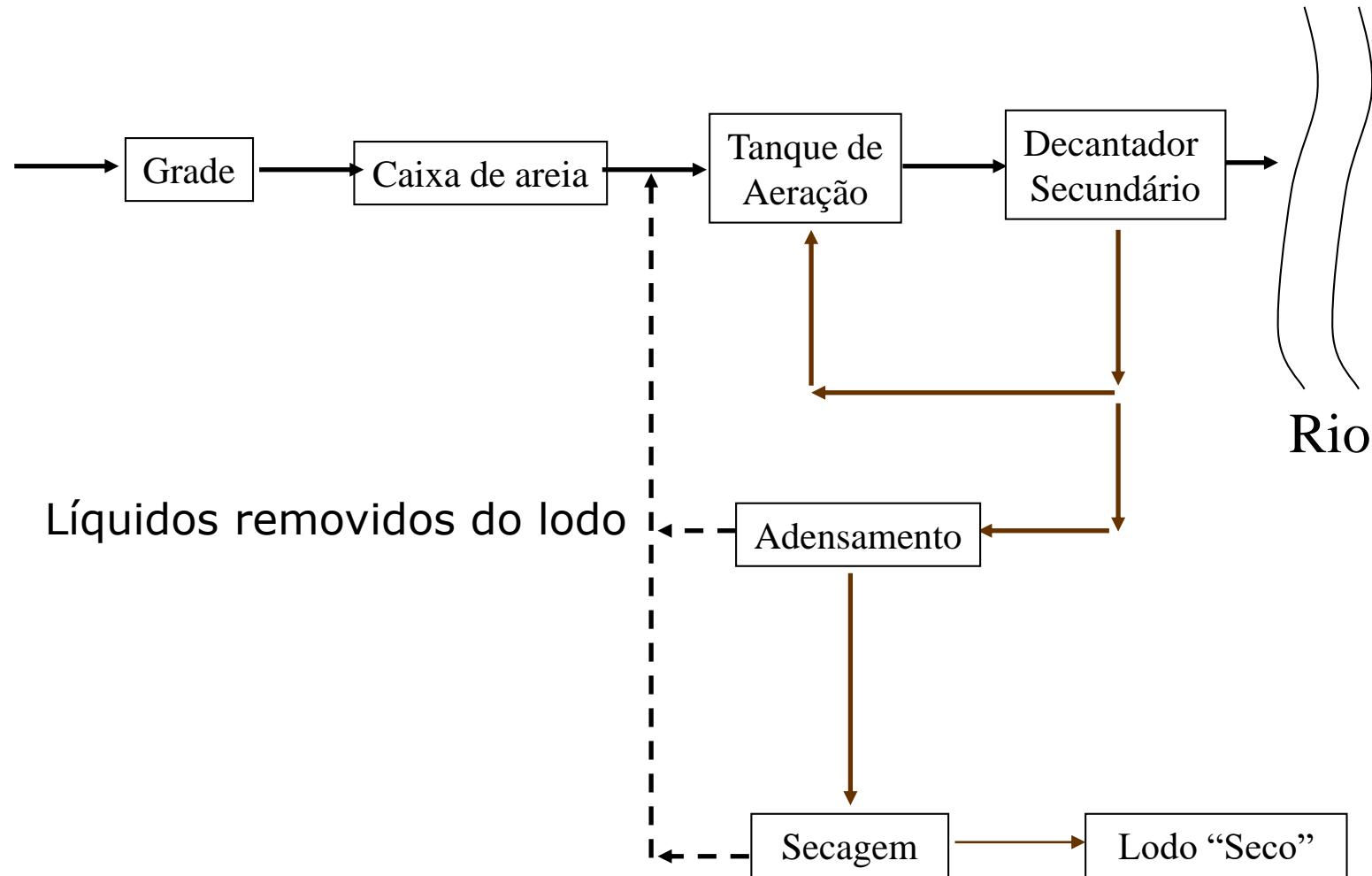
PROCESSO DE LODO ATIVADO CONVENCIONAL



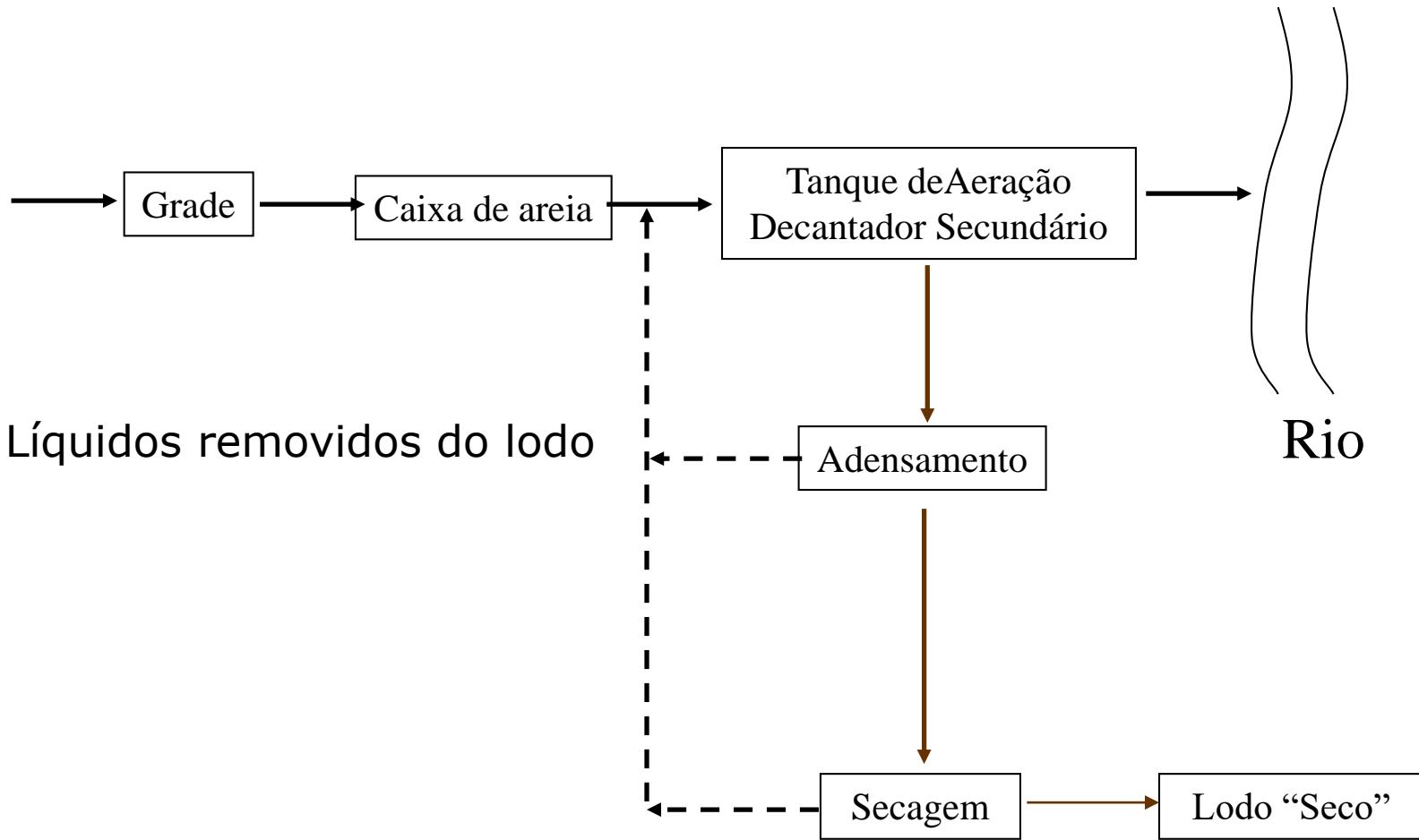
ETE BARUERI



PROCESSO DE LODO ATIVADO COM AERAÇÃO PROLONGADA



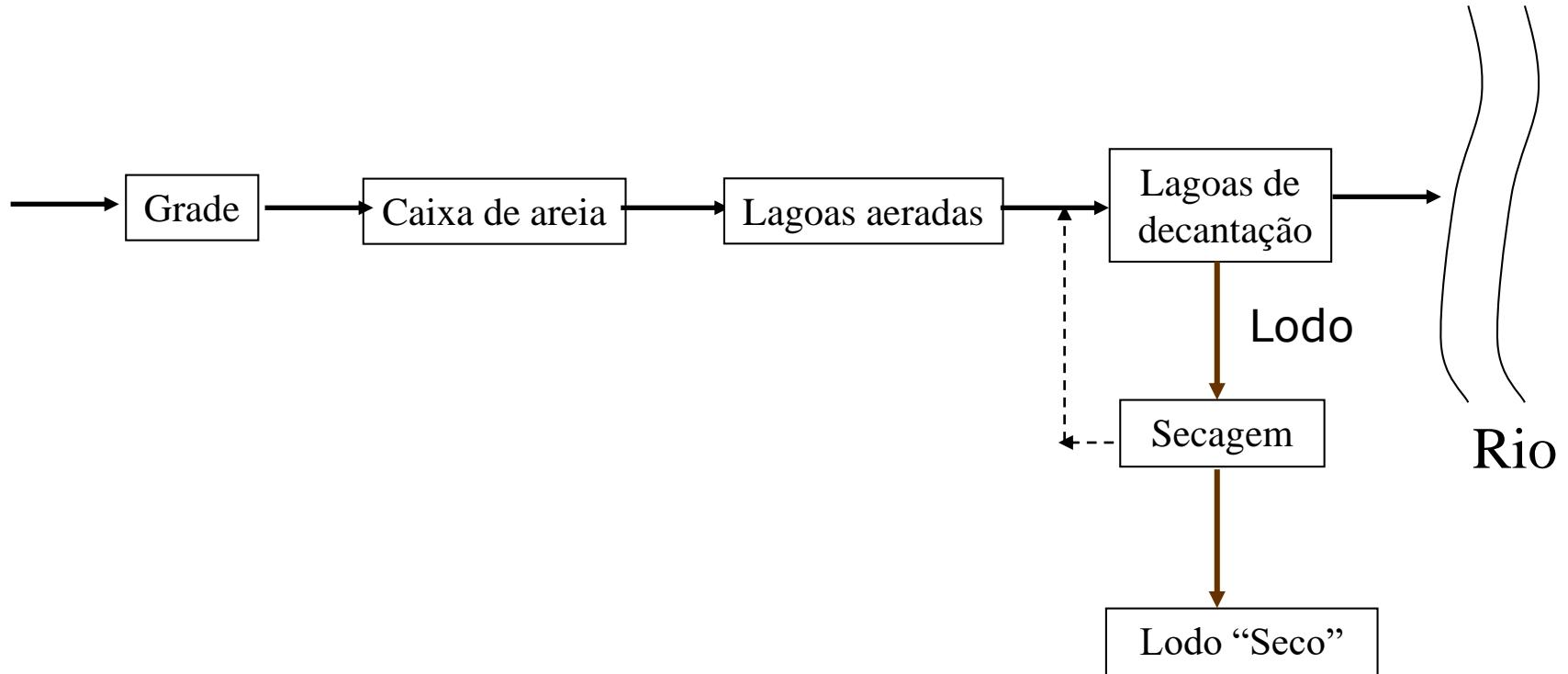
PROCESSO DE LODO ATIVADO COM AERAÇÃO PROLONGADA EM BATELADA



PROCESSO DE LODO ATIVADO COM AERAÇÃO PROLONGADA EM BATELADA



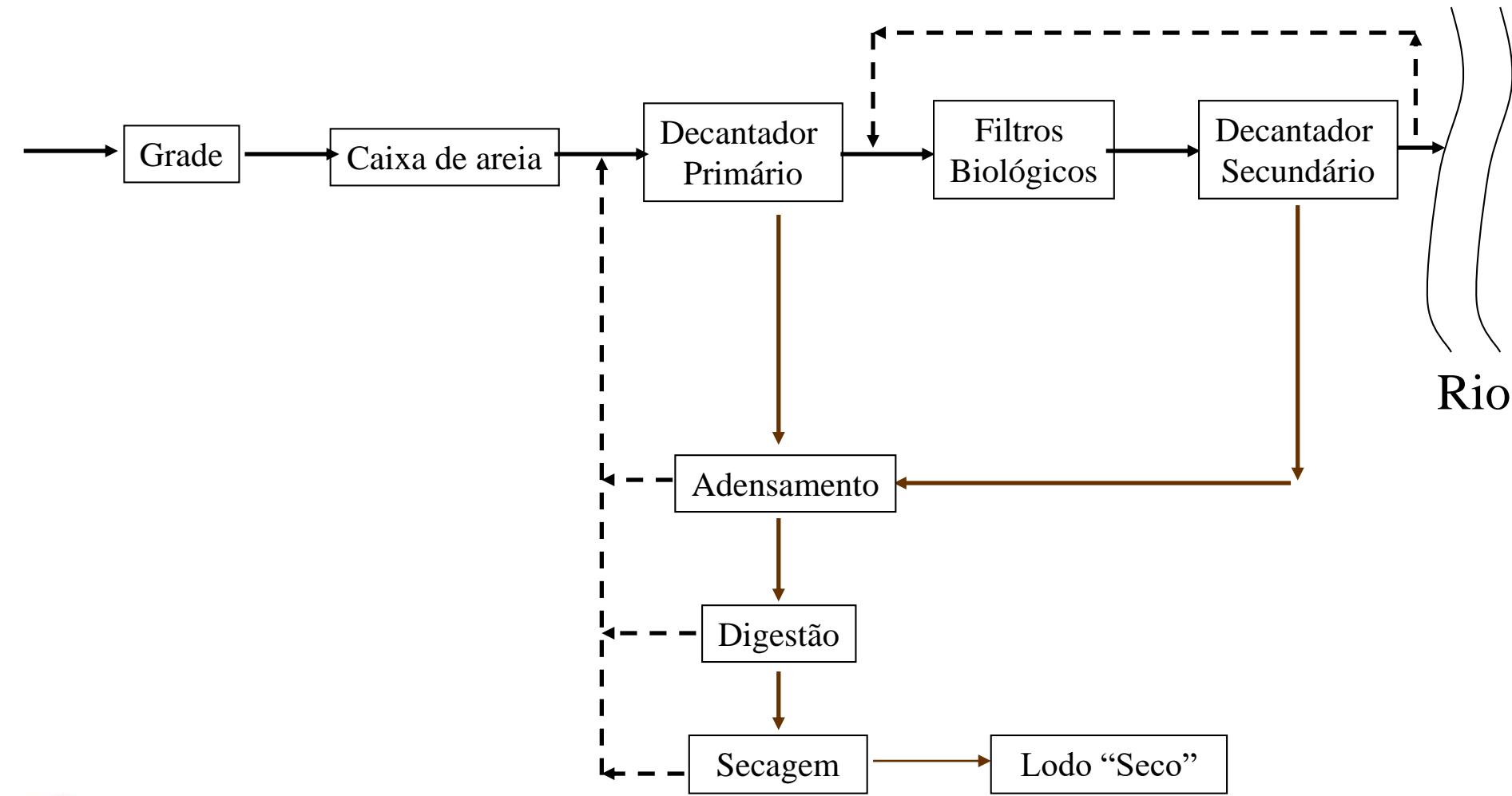
PROCESSO DE LAGOA AERADA MECANICAMENTE E LAGOA DE DECANTAÇÃO



LAGOA AERADA MECANICAMENTE



PROCESSO DE FILTRO BIOLÓGICO AERÓBIO

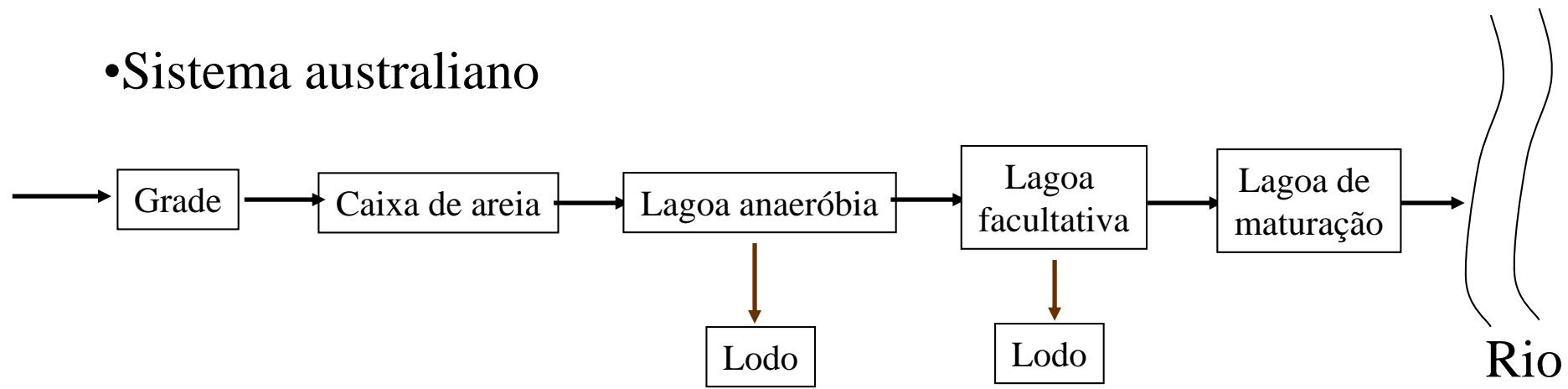


FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR

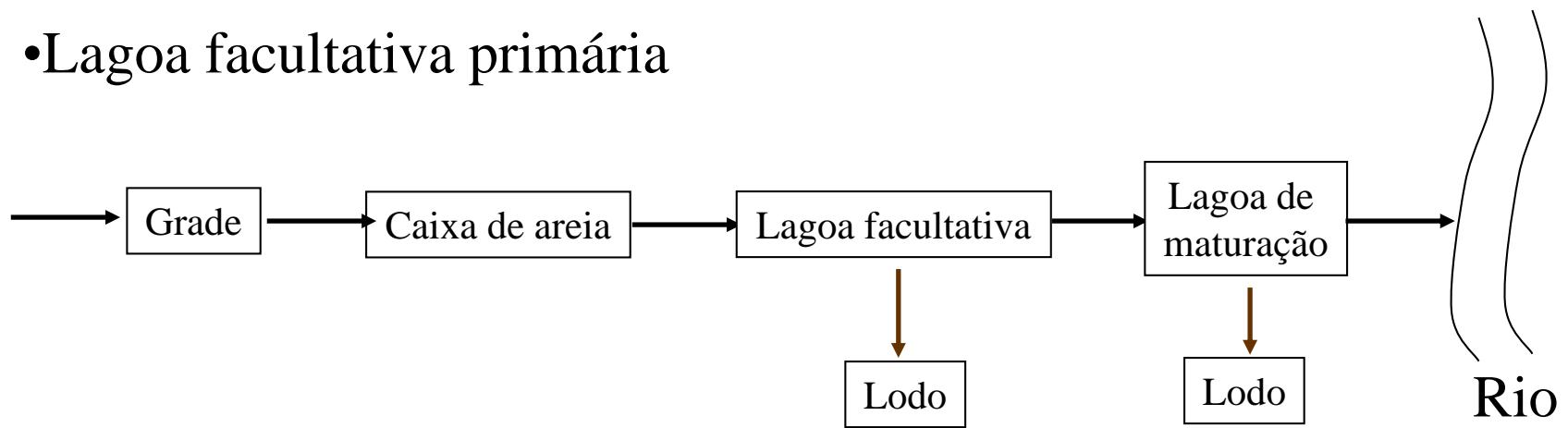


PROCESSO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

- Sistema australiano



- Lagoa facultativa primária

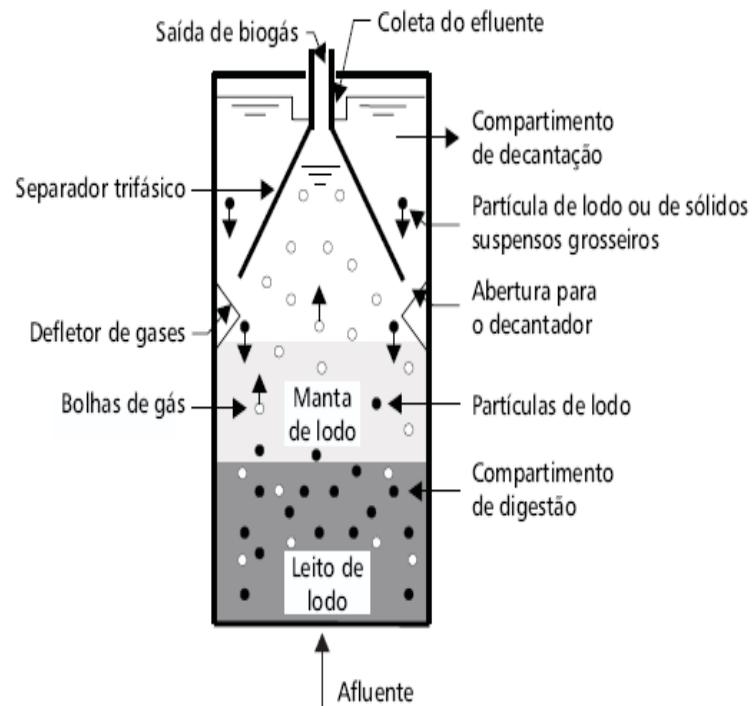


SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO



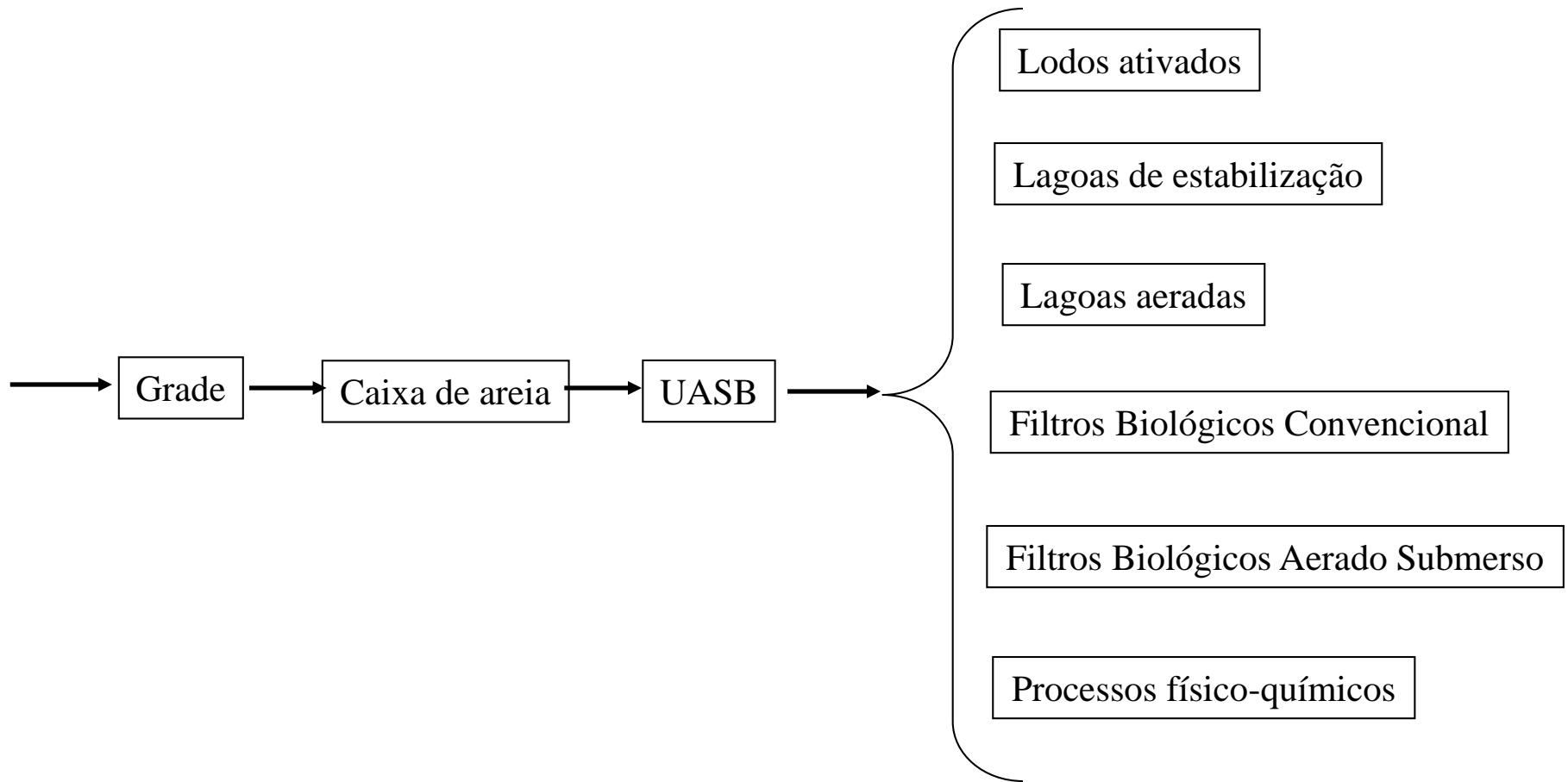
REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE COM MANTA DE LODO

UASB – Upflow anaerobic sludge blanket reactor



Desenho esquemático de um reator UASB.

SISTEMAS DE TRATAMENTO CONJUGADO ANAERÓBIO-AERÓBIO



Tecnologias de tratamento de esgoto para comunidades isoladas: Limites e Possibilidades

Privilegiar as alternativas:

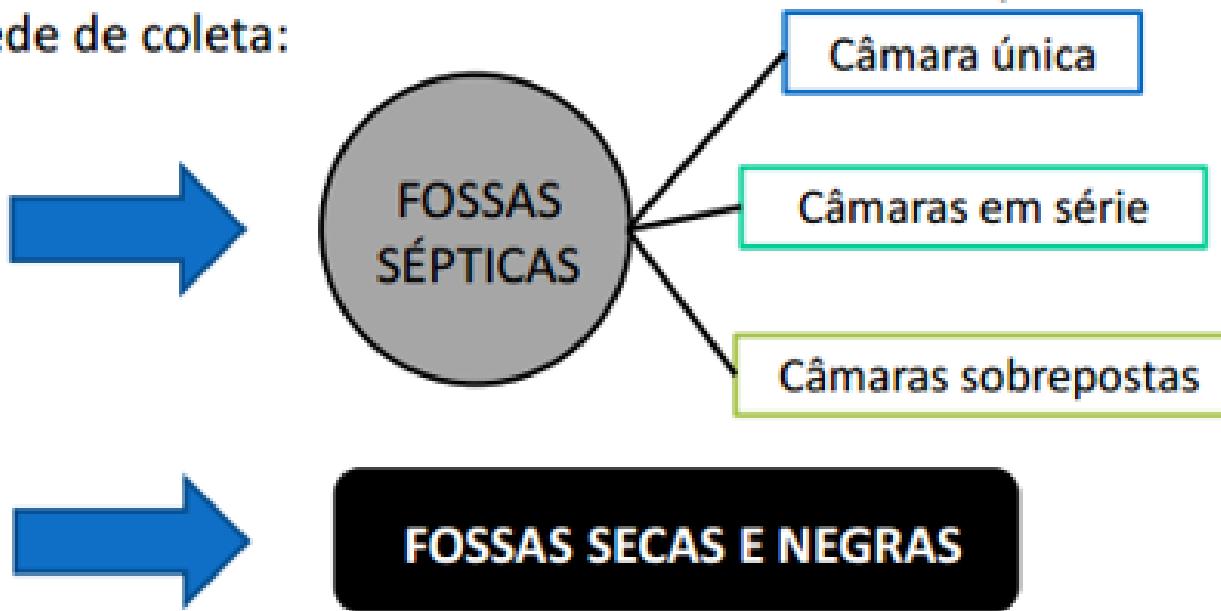
- mais simplificadas;
- de menores custos;
- e de maior sustentabilidade;
- Novo enfoque de soluções para saneamento em uma sociedade, cujo paradigma é baseado nos **caminhos naturais dos ecossistemas e no ciclo fechado de materiais**;
- As excretas humanas (fezes e urina) bem como as demais águas residuárias domésticas são reconhecidas como um **recurso e não como um resíduo**, que pode ser disponível para reuso.

SISTEMAS INDIVIDUAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Caracterizado pela coleta e/ou tratamento de pequena contribuição de esgoto sanitário proveniente de imóveis domiciliares, comerciais e públicos de locais normalmente desprovidos de coleta de esgoto.

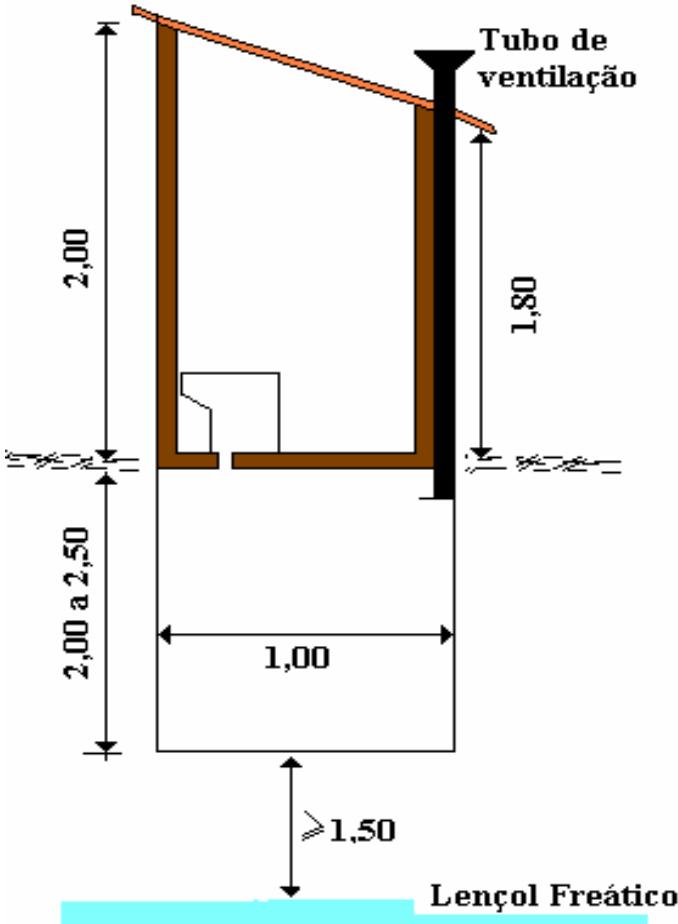
DISPOSIÇÃO DESCENTRALIZADA DE DEJETOS

- Localidades afastadas dos centros urbanos ou que não dispõem de rede de coleta:



- Promovem o afastamento dos dejetos da população, com retenção e redução de sólidos e certo grau de tratamento, equivalente a um tratamento primário
- Podem representar risco de contaminação de lençóis freáticos, devendo ser dimensionados com cautela e somente quando não há possibilidade de sistemas mais eficientes de tratamento.

Fossa Seca ou Privada Higiênica



Edificações sem Instalações Hidráulicas

Profundidade:

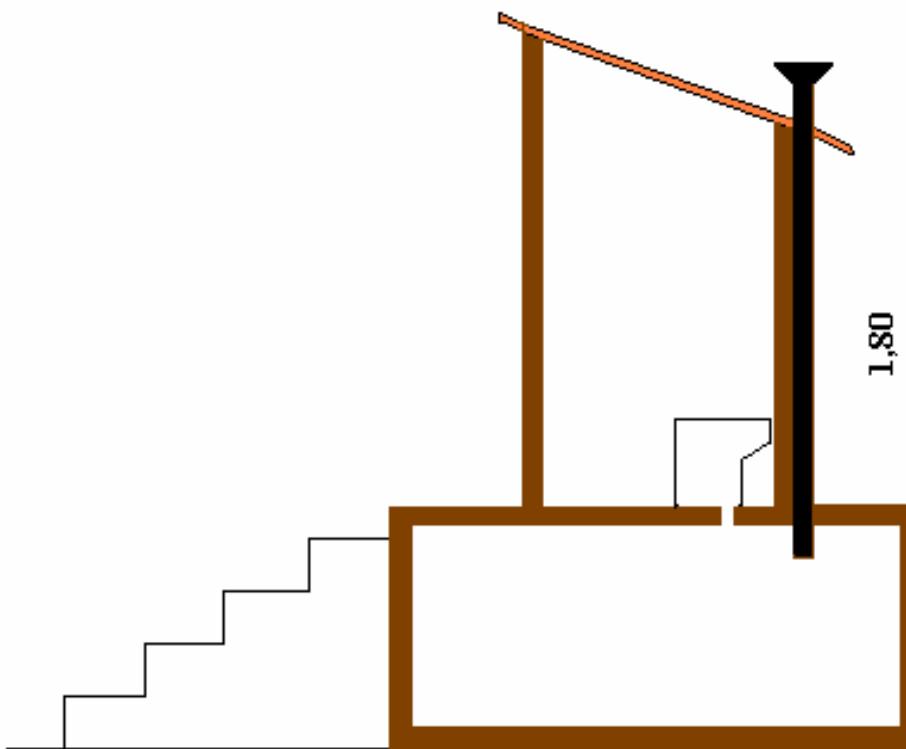
- Condições de escavações do solo;
- Nível do lençol freático.

Local de execução:

- Não sujeitos a inundações;
- Afastamento mínimo 15 m de captações de água.

Forma mais rudimentar de disposição de dejetos humanos

Fossa Seca Estanque

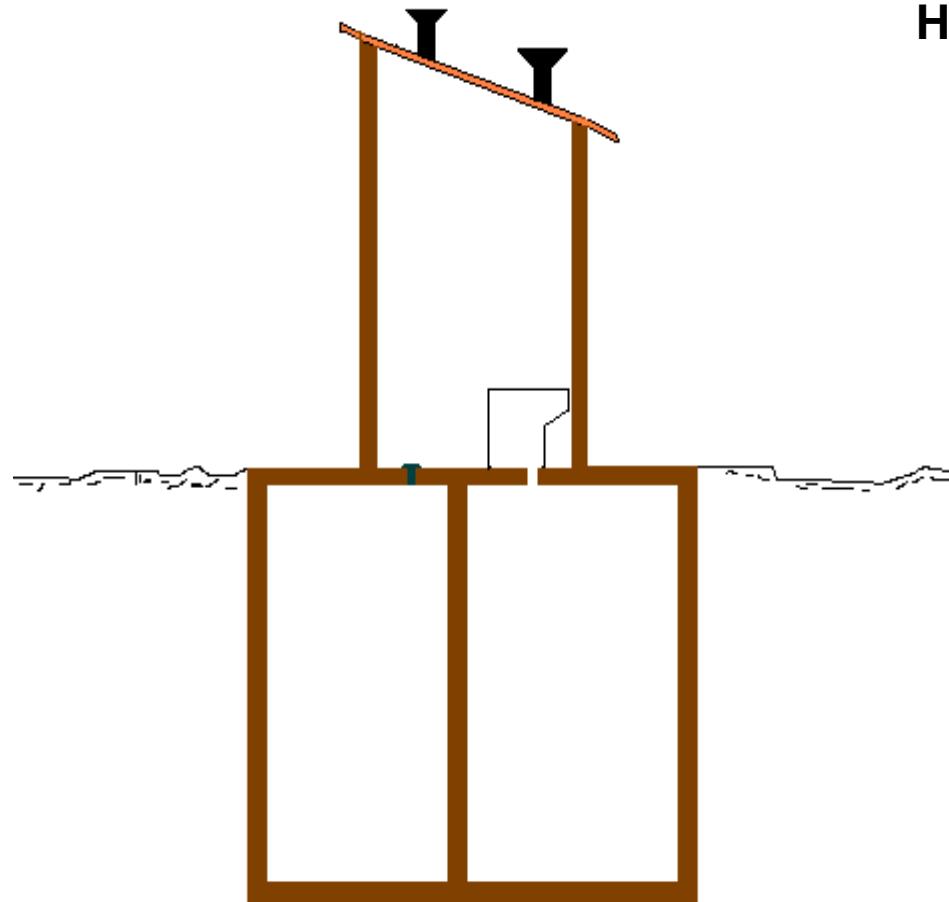


Edificações sem Instalações Hidráulicas

- ❑ Locais de difícil escavação;
- ❑ Lençol freático elevado.
- ❑ zonas rochosas ou terrenos muito duros;
- ❑ terrenos desmoronáveis;
- ❑ lotes de pequenas proporções, onde há perigo de poluição de poços de suprimento de água.

Fossa Seca de Fermentação

**Edificações sem Instalações
Hidráulicas**



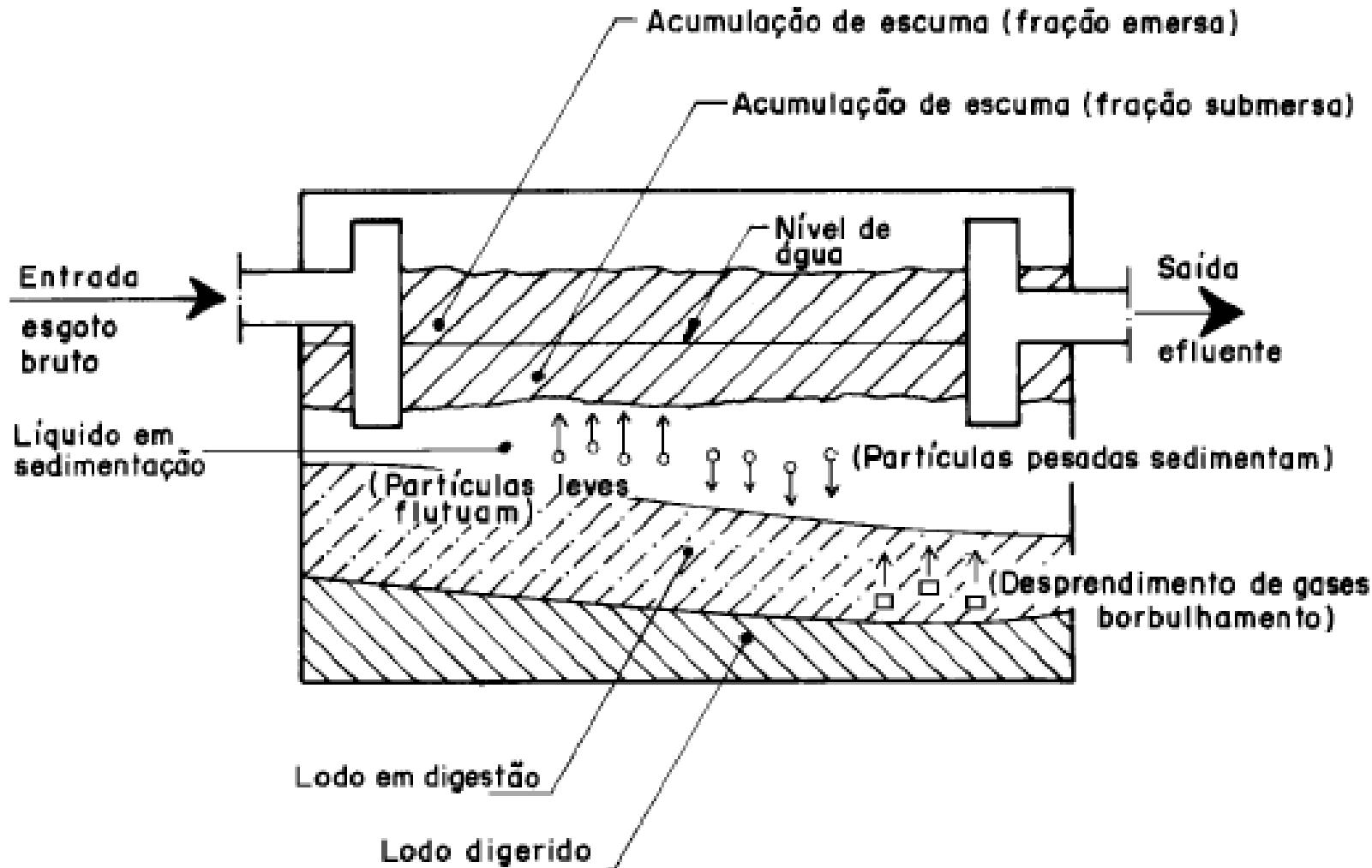
Fossa Seca ou Privada Higiênica

- Dimensionamento baseado na produção per capita de excretas e na redução anual de sólidos armazenados
- Períodos de utilização de 4 a 8 anos
- O material acumulado pode ser removido periodicamente ou a fossa seca pode ser abandonada e recoberta
- Cuidados devem ser tomados com relação ao lençol freático e poços próximos: distância mínima de 1,5 m em relação ao lençol, e de 15 m em relação a poços. O poço deve estar a montante da fossa.
- Quando o lençol freático está em contato com o fundo da escavação, a unidade é chamada de “fossa negra”. O risco de contaminação é maior neste caso

Fossa Séptica

- Câmara construída abaixo da superfície para reter os sólidos dos esgotos domésticos (lodo e escuma)
- Domicílios ou pequenas populações (conjuntos de casas, pequenos edifícios) não atendidos por rede coletora de esgoto
- Dimensionadas para sedimentação e digestão de sólidos, promovendo tratamento equivalente ao primário
- Necessidade de limpeza periódica
- Tipos: câmara única, câmaras em série, câmaras sobrepostas

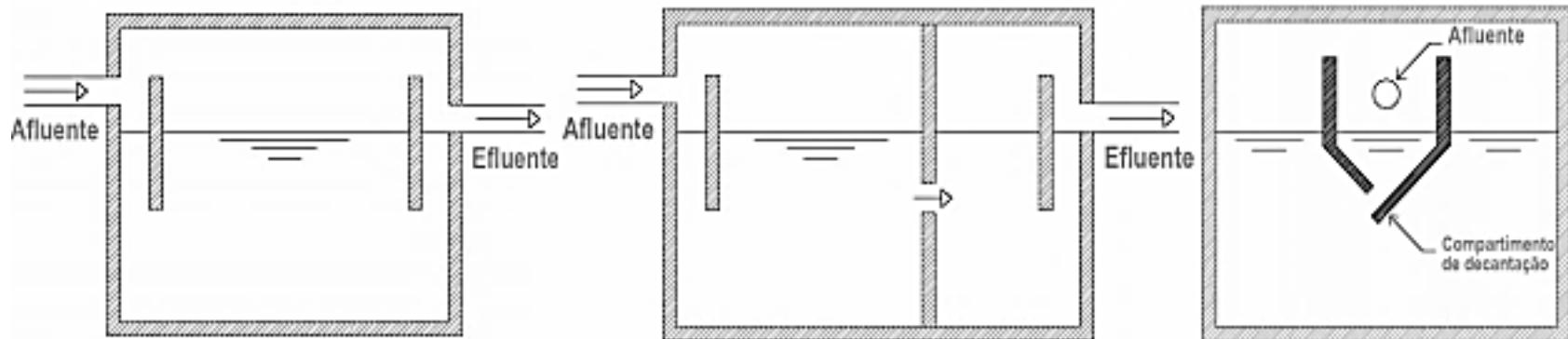
Funcionamento – Fossa Séptica



Tipos – Fossa Séptica

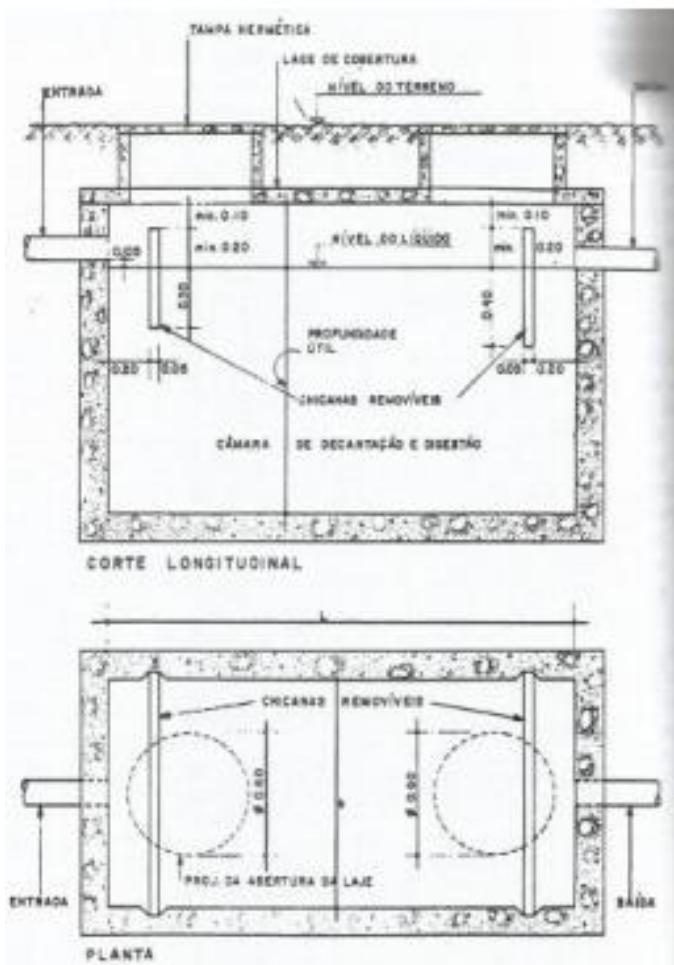
Tipos de Tanques Sépticos

A NBR 7229, (1993) - Projeto, construção e operação de tanques sépticos – prevê opção de uso dos tanques sépticos em seções prismáticas (retangulares) e circulares. Também prevê a opção de operação em câmara única ou múltipla.

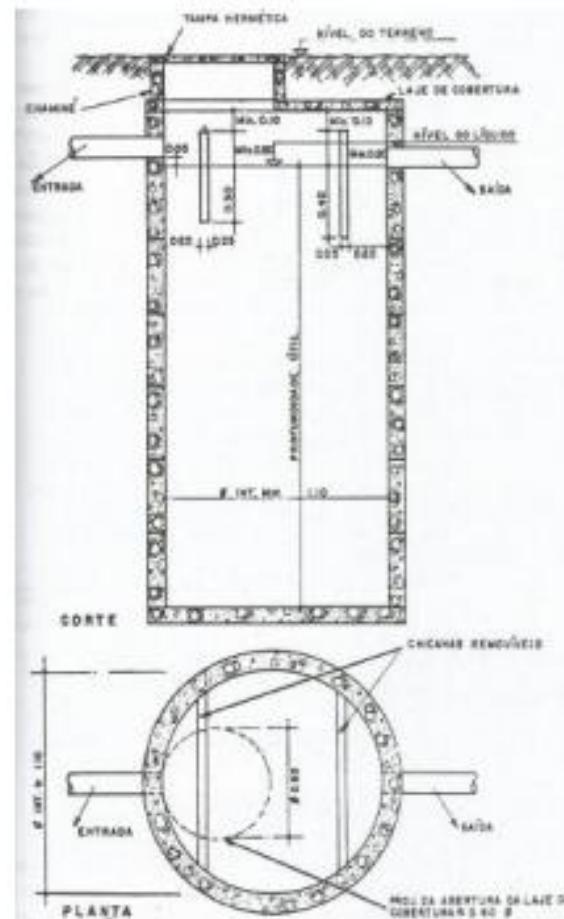


Fossa séptica de câmara única

PRISMÁTICA

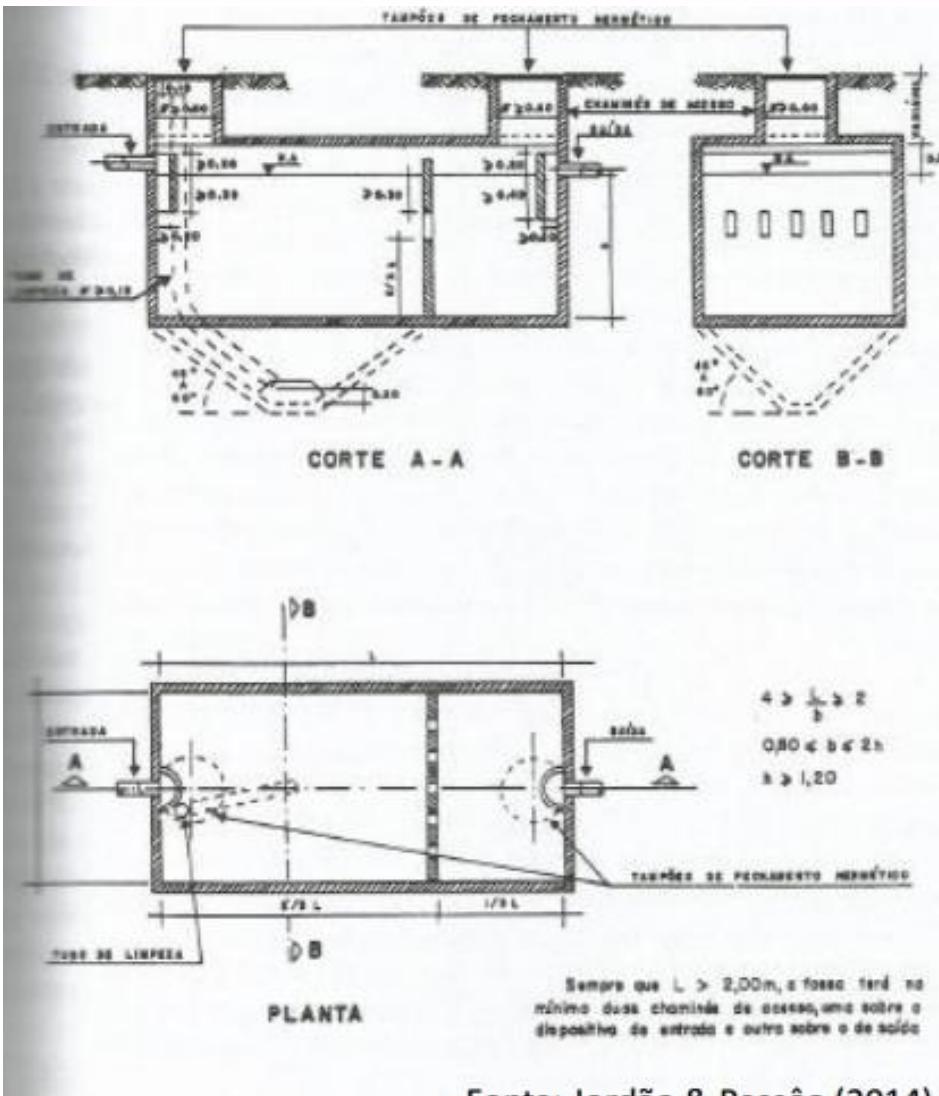


CILÍNDRICA



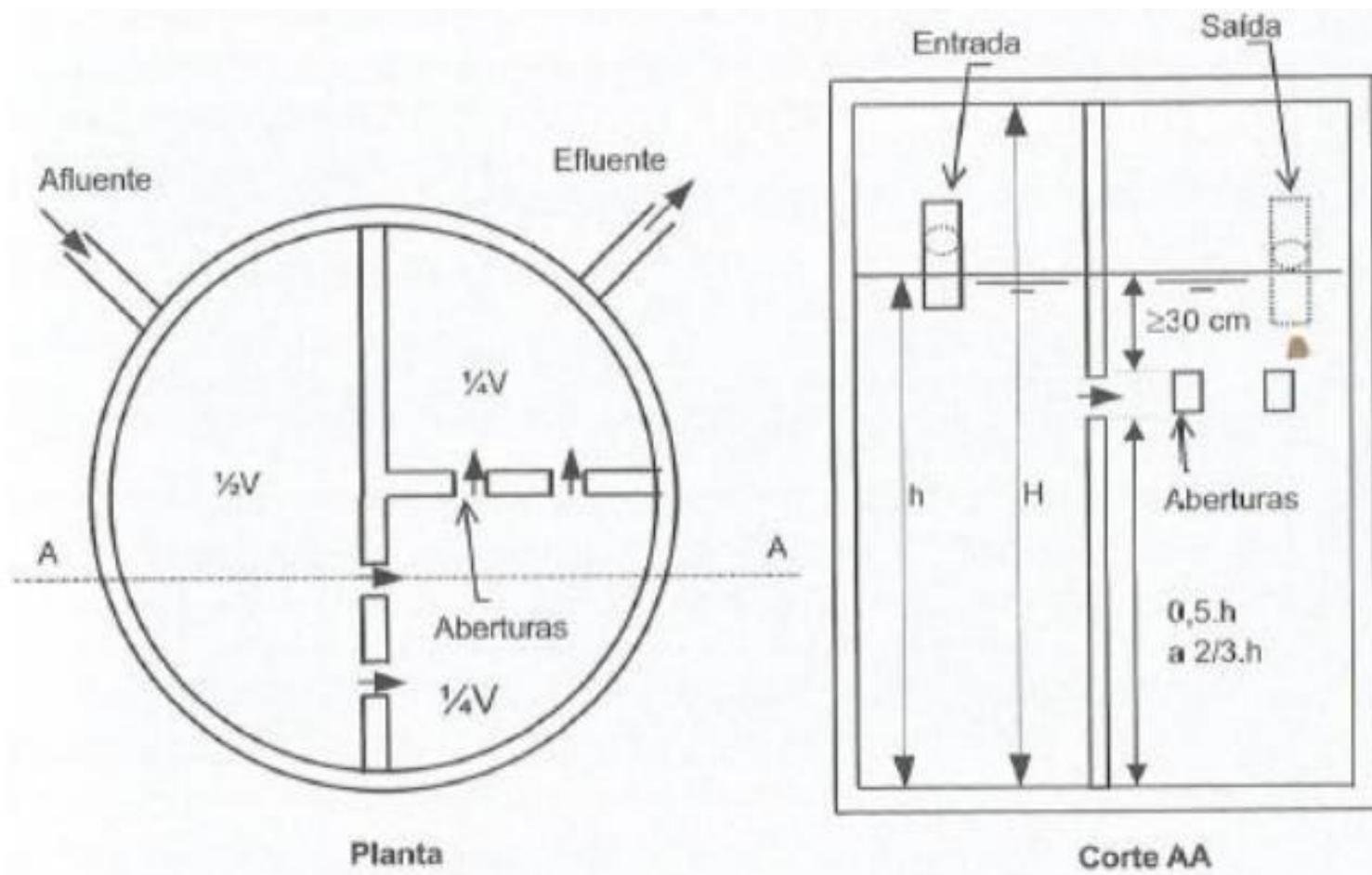
Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

Fossa séptica de câmara em séries



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

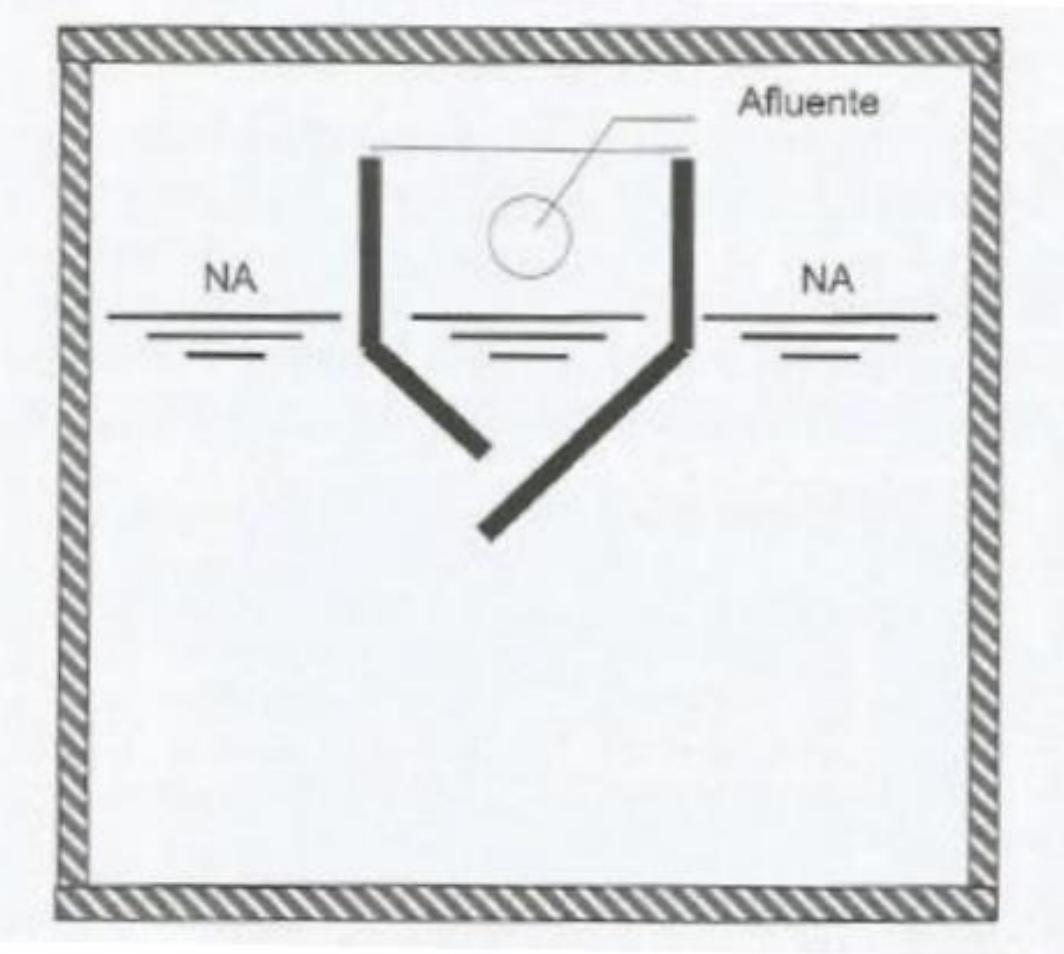
Fossa séptica de câmara em séries



Fonte: Chernicharo (2016)

Fossa séptica de câmaras sobrepostas

Semelhante aos Tanques Imhoff



Fonte: Chernicharo (2016)

Decanto digestores com filtro acoplado

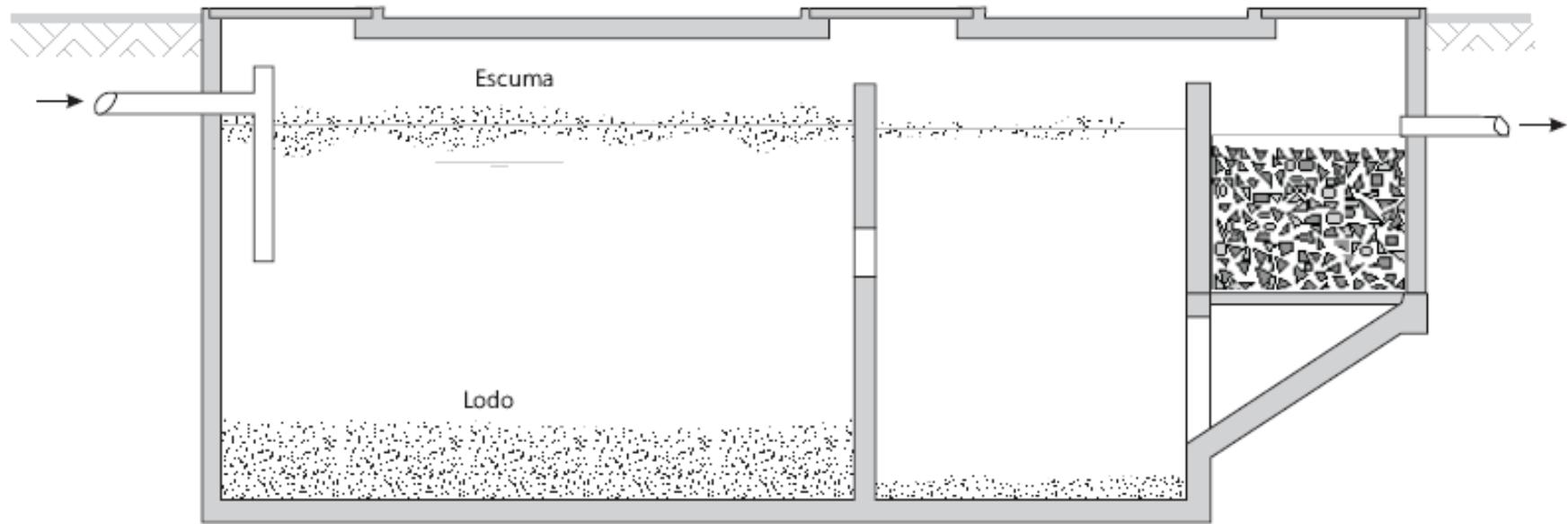


Figura 5.4 Decanto-digestor com filtro acoplado (sistema RN)

Decanto digestores com filtro acoplado

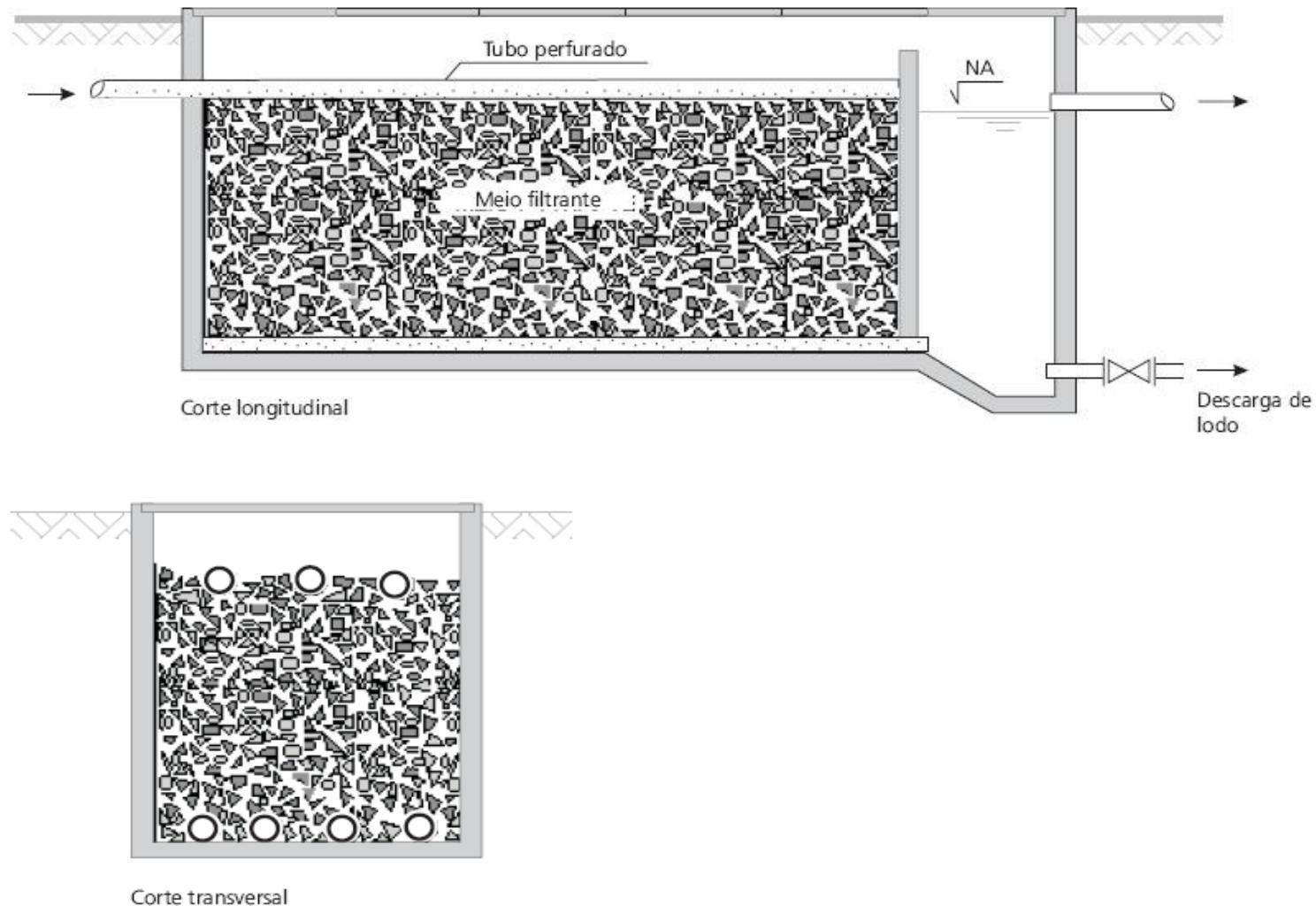


Figura 6.1 Filtro de fluxo descendente afogado, com entrada e saída por tubos perfurados.

Decanto digestores com filtro acoplado

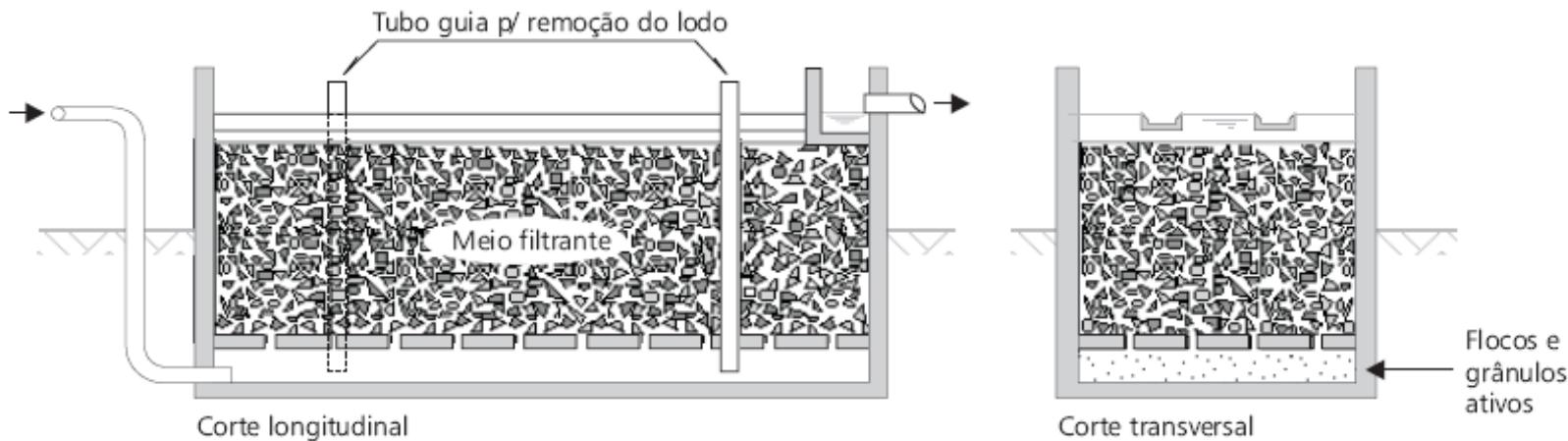


Figura 6.2 Filtro de fluxo ascendente, fundo falso, coleta do efluente em calhas e remoção do lodo em excesso por sucção, por meio de tubos-guia.

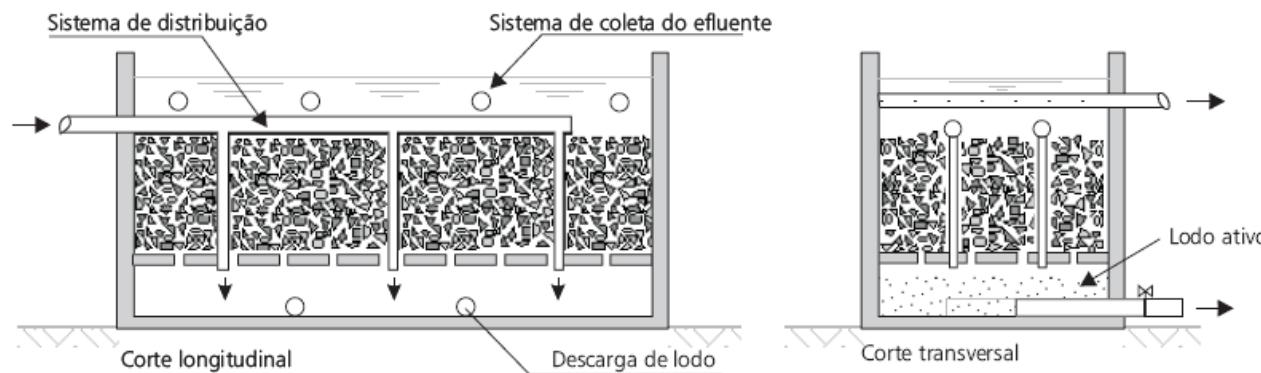


Figura 6.3 Filtro de fluxo ascendente, com entrada distribuída, fundo falso e coleta do efluente em tubos afogados e descarga de fundo do lodo.

Fossas sépticas de câmara única: Dimensionamento

- NBR7229:1993
- Volume útil da fossa: (mínimo de 1250 L)

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f)$$

Onde:

V = volume útil (L)

N = número de contribuintes

C = contribuição per capita de esgoto (L/hab.d)

T = tempo de detenção hidráulica (d)

K = taxa de acumulação de lodo (d), em função da temperatura média do mês mais frio.

L_f = contribuição per capita de lodo fresco (L/hab.d)

Tabela 1 - Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante

Unid.: L

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Tabela 5.1 Taxa de acumulação total de lodo (K) em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio (ABNT – NBR 7229/93).

Intervalo entre limpezas (ano)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t em °C)		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t ≥ 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Tabela 2 - Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fossas sépticas de câmara única: Dimensionamento

- Cálculo do volume útil – Exemplo:

- Para conjunto de casa totalizando 25 moradores de padrão socioeconômico baixo, em região de clima quente, e com limpeza da fossa a cada 3 anos:

$$N = 25$$

$$C = 100 \text{ L/hab.d (Tabela)}$$

$$T = 22 \text{ h} = 0,92 \text{ d (Tabela)}$$

$$L_f = 1 \text{ L/hab.d (Tabela)}$$

$$K = 137 \text{ d (Tabela)}$$

$$Q = N \times C = 25 \times 100 = 2500 \text{ L/d}$$

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f)$$

$$V = 1000 + 25 \times (100 \times 0,92 + 137 \times 1)$$

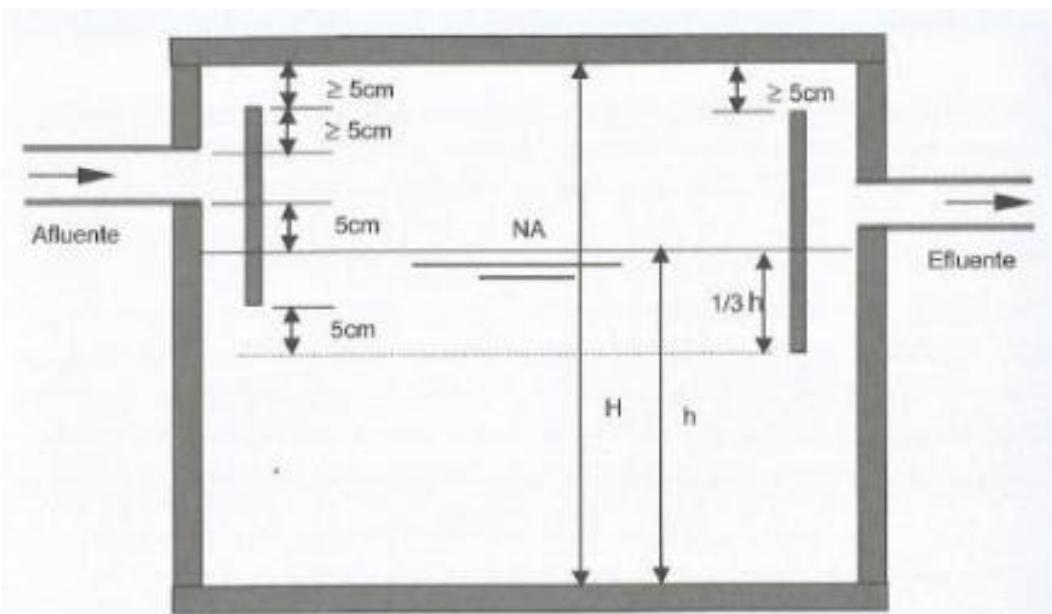
$$V = 6725 \text{ L}$$

Fossas sépticas de câmara única: Dimensionamento

Quadro 5.4 Profundidades úteis de tanques sépticos

Volume útil (m ³)	Profundidade útil (m)	
	mínima	máxima
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Superior a 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993)



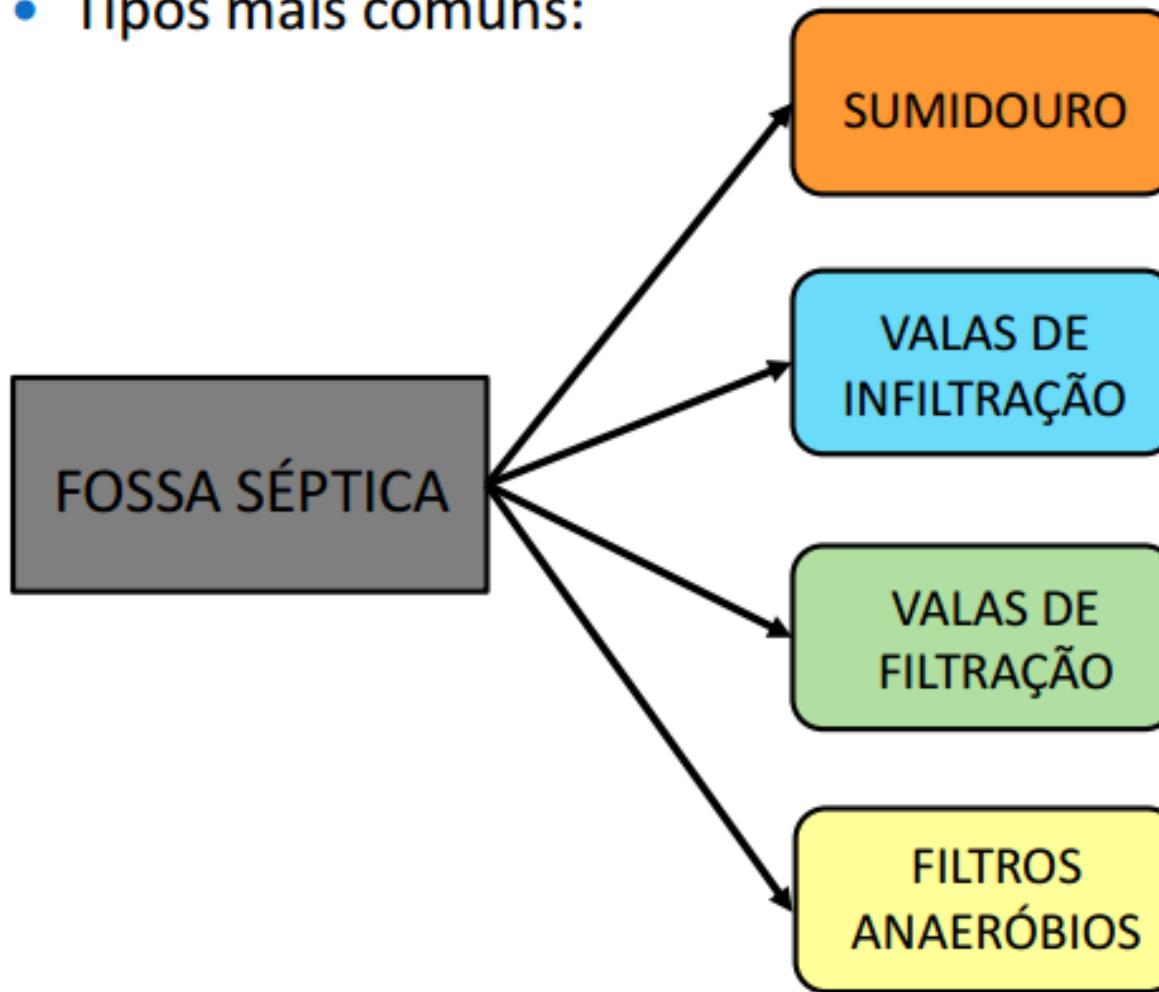
h: profundidade útil do tanque (mín. 120 cm)
H: profundidade interna total do tanque

Recomendado:
 $L/B = 2 \text{ a } 4$

Fonte: Chernicharo (2016)

Disposição de efluentes de fossa séptica

- Tipos mais comuns:



Sumidouros

- Escavações com paredes de pedras, tijolos, madeira etc., permeáveis aos efluentes das fossas sépticas
- Cilíndricos ou prismáticos
- Dimensionamento a partir da área de infiltração:

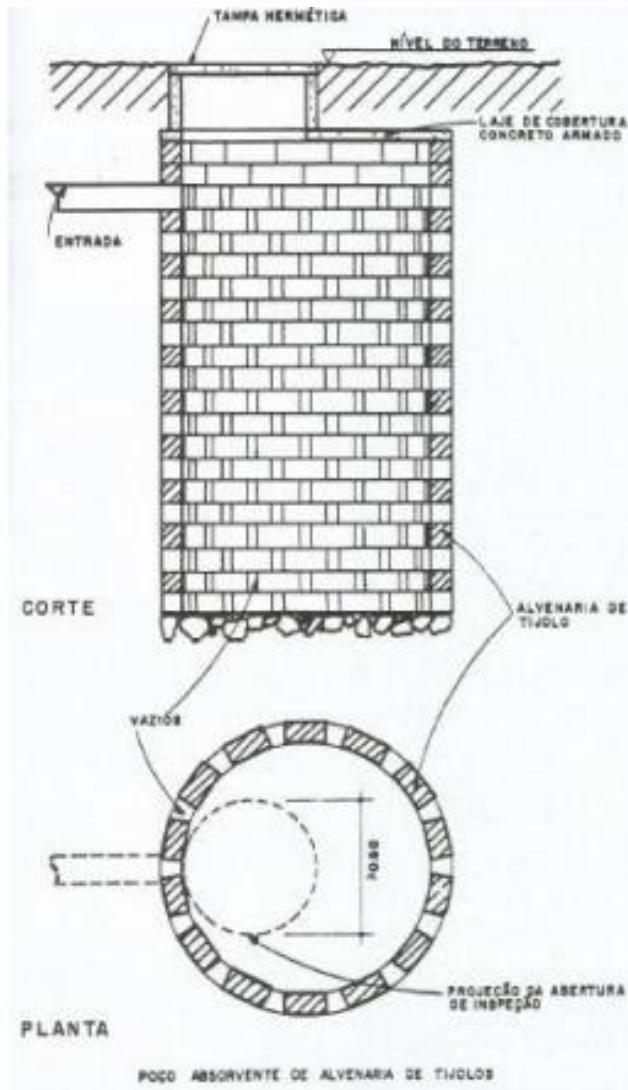
$$A = \frac{Q}{C_i}$$

Onde:

A = área de infiltração (m^2) (paredes e fundo, mas do ponto de vista prático, o fundo pode ser desconsiderado devido à rápida colmatação)

C_i = coeficiente de infiltração ($L/m^2.d$)

Q = vazão afluente (L/d)



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

Sumidouros

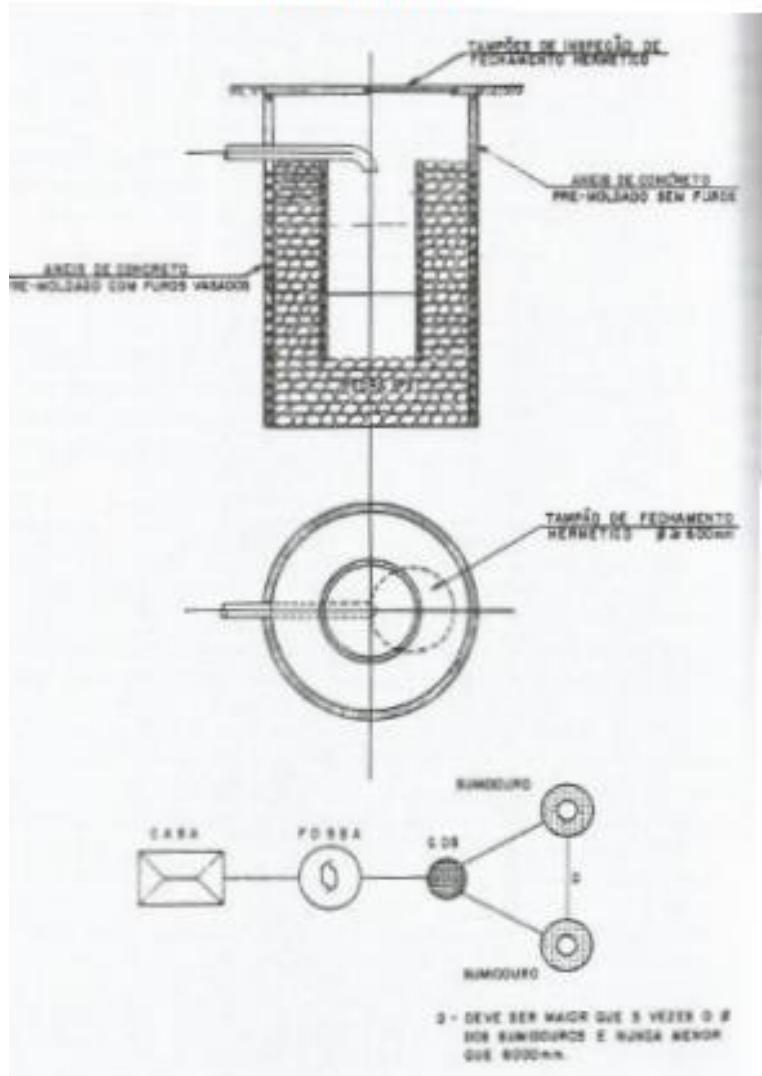
TABELA 17.5 (*)
POSSÍVEIS FAIXAS DE VARIAÇÃO DE COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

Faixa	Constituição provável dos solos	Coef. infiltração (l/m ² .dia)
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada.	< 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos.	> 90

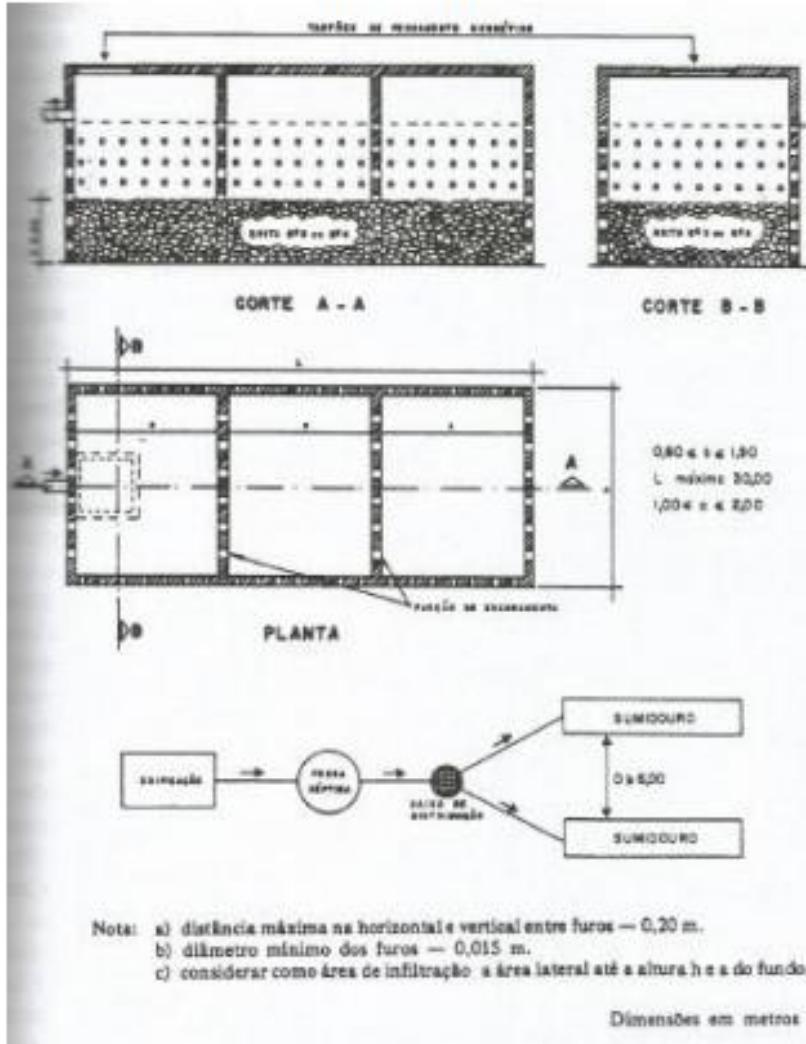
(*) Os dados se referem, numa primeira aproximação, aos coeficientes que variam segundo o tipo dos solos não saturados. Em qualquer dos casos é indispensável a confirmação por meio dos ensaios de infiltração do solo.

Sumidouros

CILÍNDRICO



PRISMÁTICO



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

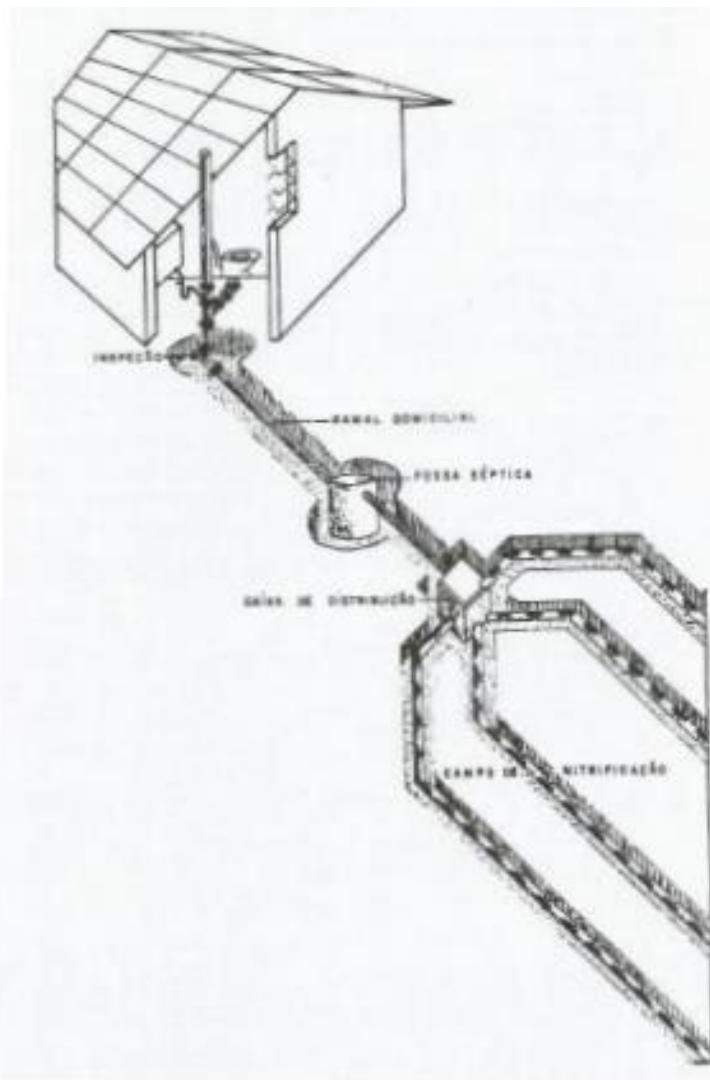
Valas de infiltração

- Melhor distribuição do efluente das fossas pelo terreno
- Possibilidade de mineralização antes do efluente atingir o lençol freático
- Tubulações de juntas abertas, porosas ou furadas
- Sempre em 2 linhas, no mínimo, com comprimento máximo de 30 m e espaçadas de, no mínimo, 1,0 m.
- Dimensionamento similar aos sumidouros, mas neste caso:

$$A = L_{\text{vala}} \text{ (comprimento)} \times w_{\text{vala}} \text{ (largura)}$$

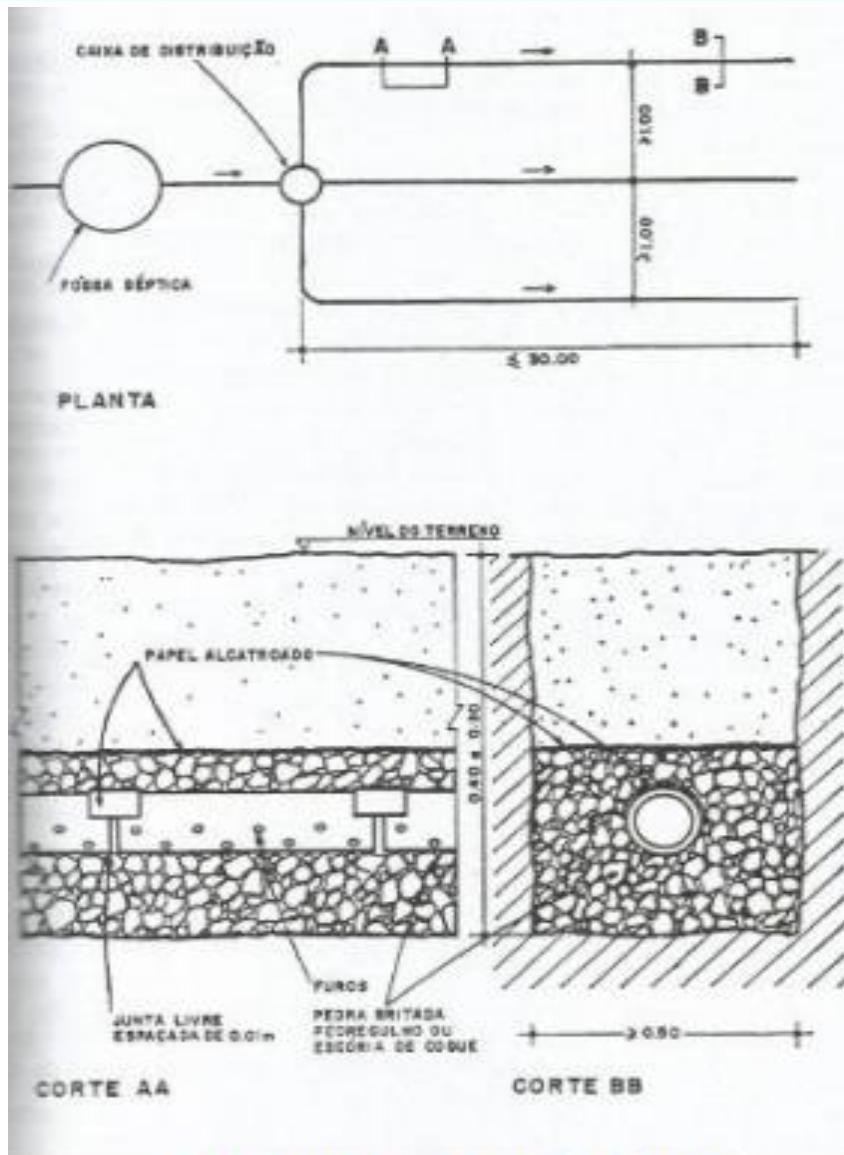
(infiltração só pela área do fundo)

- Largura usual de valas: 0,50 a 1,0 m
- comprimento de valas/pessoa:
 - 7 a 10 m/pessoa para domicílios
 - 1 a 4 m/pessoa para vazões maiores



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

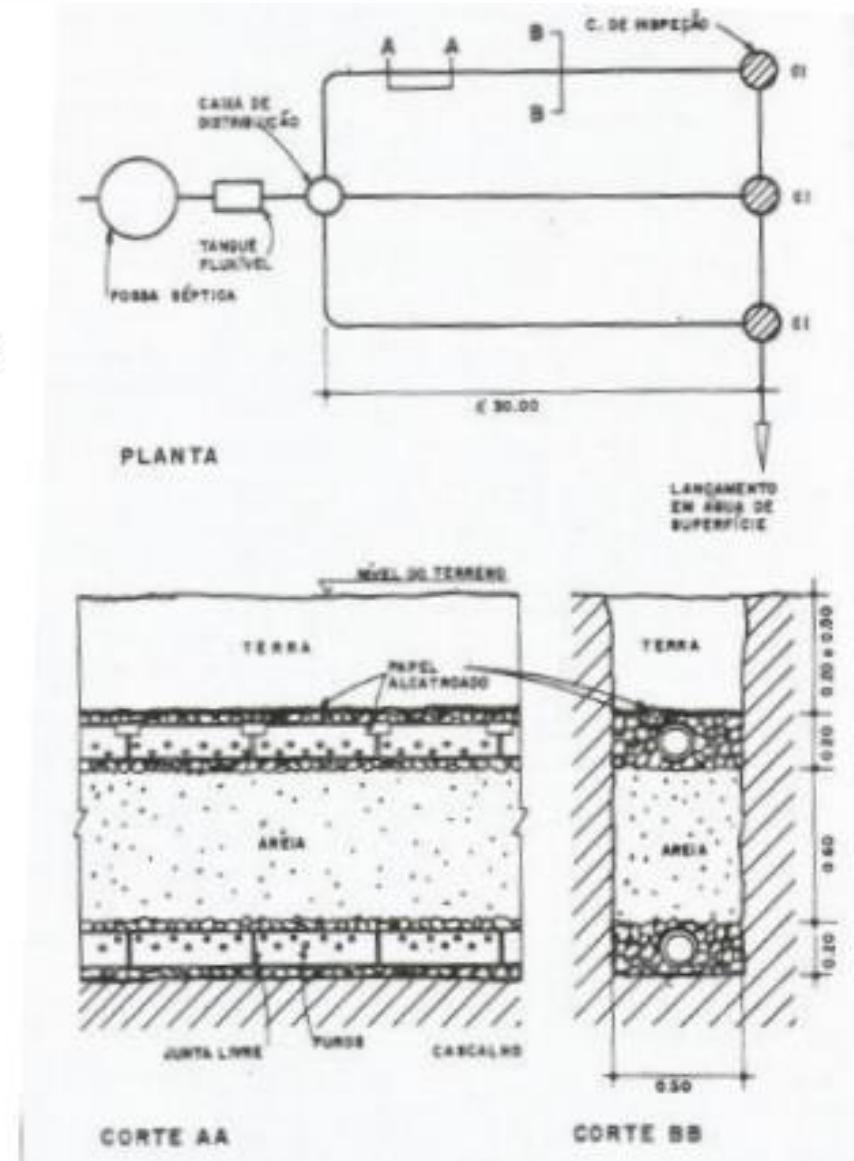
Valas de infiltração



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

Valas de infiltração

- Tubulações superpostas, com camada de areia entre elas
- Utilizada em solos relativamente impermeáveis que impossibilitariam o uso de valas de infiltração
- Efluente é coletado na tubulação inferior, usada como sistema de drenagem



FILTROS ANAERÓBIOS



BIOFILMES

BIOFILMES

Biofilme: organização de células aderidas a uma superfície, envoltas por uma matriz adesiva excretada pelas células

Comunidades microbianas **funcionais**

Forma **típica** de crescimento na natureza

Importância ambiental, médica, dental, tecnológica...



Vantagens da formação de biofilmes

Do ponto de vista microbiano:

- 1 AUTO-DEFESA Forças físicas, fagocitose, moléculas tóxicas
- 2 NICHO FAVORÁVEL Fixação em substratos ou em locais de abundância de substrato
- 3 COLABORAÇÃO ENTRE CÉLULAS Consumo de subprodutos, comunicação intercelular
- 4 PERMUTA GENÉTICA Troca de elementos genéticos, importante no processo evolutivo

Desvantagens da formação de biofilmes

Biofilmes apresentam desvantagens quando crescem em locais indesejados, ou em excesso



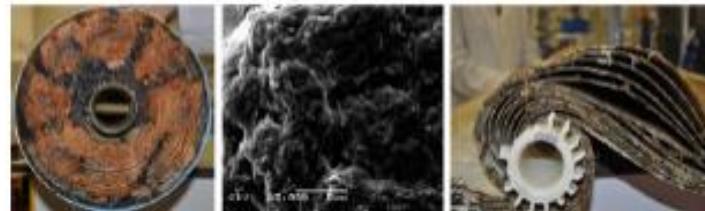
- Equipamentos médicos
- Tubulações de águas de abastecimento
- Equipamentos e tubulações industriais
- Cascos de navios



Fonte: seawaterfouling.wikispaces.com



BIOFOULING



Fonte: www.wageningenur.nl



Formação de biofilmes

Adesão

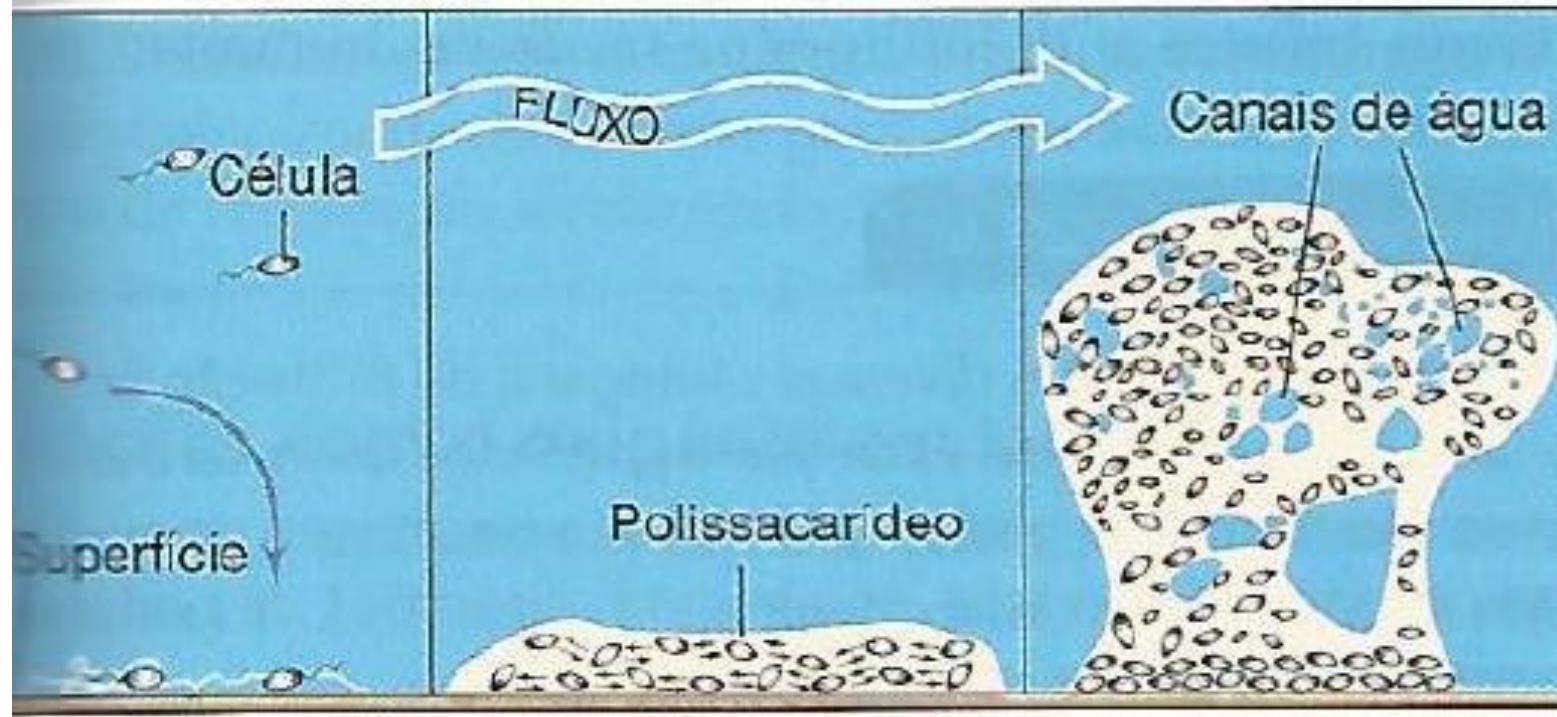
(adesão de um pequeno número de células a uma superfície sólida apropriada)

Colonização

(comunicação intercelular, crescimento e síntese de polissacarídeos)

Desenvolvimento

(aumento do crescimento e dos polissacarídeos)

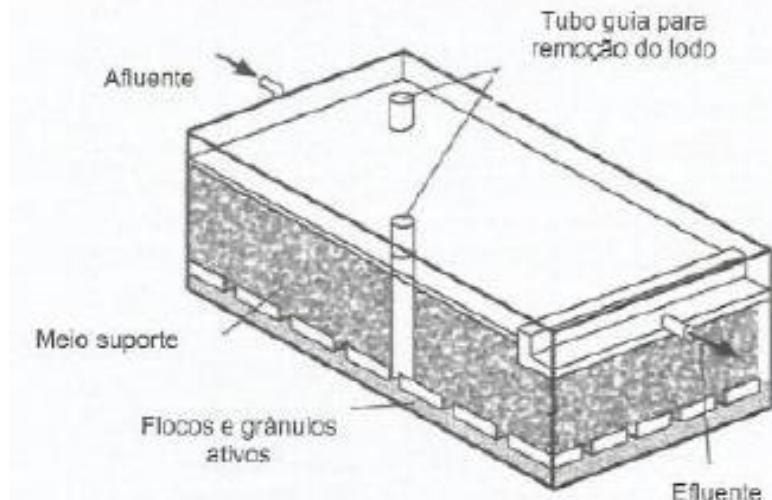


Fonte: Madigan et al. (2010)

FILTROS ANAERÓBIOS

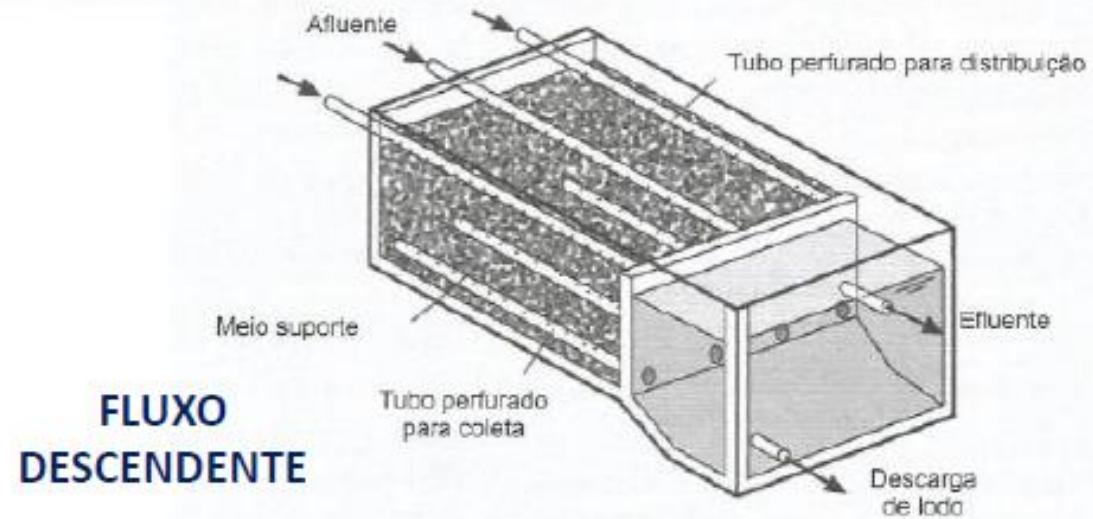
- ❑ Em geral utilizados como pós-tratamento de efluentes
 - ✓ Fossas sépticas
 - ✓ Mais modernamente: efluentes de reatores anaeróbios em sistemas maiores
- ❑ Preenchimento com meio suporte
 - ✓ Biofilme formado no material inerte
 - ✓ Células suspensas nos interstícios
 - ✓ Flocos e grânulos retidos no fundo
- ❑ Fluxo ascendente ou descendente
 - ✓ Ascendentes afogados
 - ✓ Descendentes afogados ou não
- ❑ Efluente:
 - ✓ Clarificado, baixas concentrações de matéria orgânica, indicado para disposição no solo ou irrigação (requer cuidados com patógenos)

FILTROS ANAERÓBIOS



**FLUXO
ASCENDENTE**

Fonte: Chernicharo (2016)



**FLUXO
DESCENDENTE**

Meios suporte para filtros anaeróbios

- Requisitos:

- Resistência estrutural, química e biológica
- Área específica elevada
- Porosidade elevada
- Formas não achatadas
- Viabilidade econômica

- Tipos de meio suporte:

- Brita nº 4 ou nº 5
- Escória de alto forno
- Materiais plásticos
- Outros experimentais: conchas, PVC, bambu etc.



Dimensionamento: filtros anaeróbios

- NBR13969:1997

- *Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*

Quadro 5.8 Tempos de detenção hidráulica recomendados pela NBR 13.969/1997 para o projeto de filtros anaeróbios, por faixa de vazão e temperatura do esgoto

Vazão (Q) (L/d)	Tempo de detenção hidráulica (dia)		
	$t < 15^{\circ}\text{C}$	$10 \leq t \leq 25^{\circ}\text{C}$	$t > 25^{\circ}\text{C}$
Até 1500	1,17	1,00	0,92
De 1501 a 3000	1,08	0,92	0,83
De 3001 a 4500	1,00	0,83	0,75
De 4501 a 6000	0,92	0,75	0,67
De 6001 a 7500	0,83	0,67	0,58
De 7501 a 9000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9000	0,75	0,50	0,50

Fonte: NBR 13.969 (ABNT, 1997)

Dimensionamento: filtros anaeróbios

- NBR13969:1997
 - *Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*

Quadro 5.5 Configuração de filtros anaeróbios para o pós-tratamento de efluentes de tanques sépticos

Parâmetro	Valor
Altura do fundo falso (m)*	0,60
Altura da camada de meio suporte (m)	0,60
Volume útil mínimo do fundo falso + meio suporte (m ³)	1,00
Diâmetro mínimo (m)	1,10

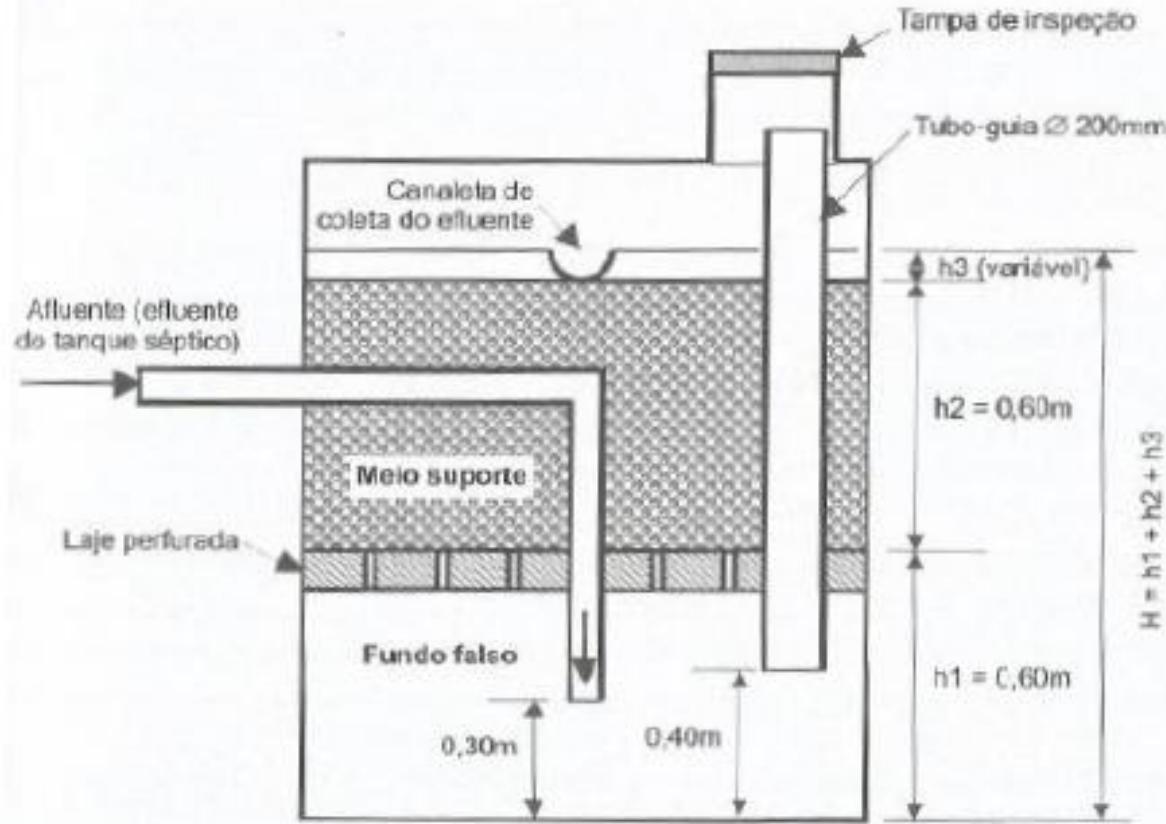
(*) incluindo a espessura da laje de fundo (ver Figura 5.15)

Fonte: adaptado de NBR 13.969 (ABNT, 1997)

Dimensionamento: filtros anaeróbios

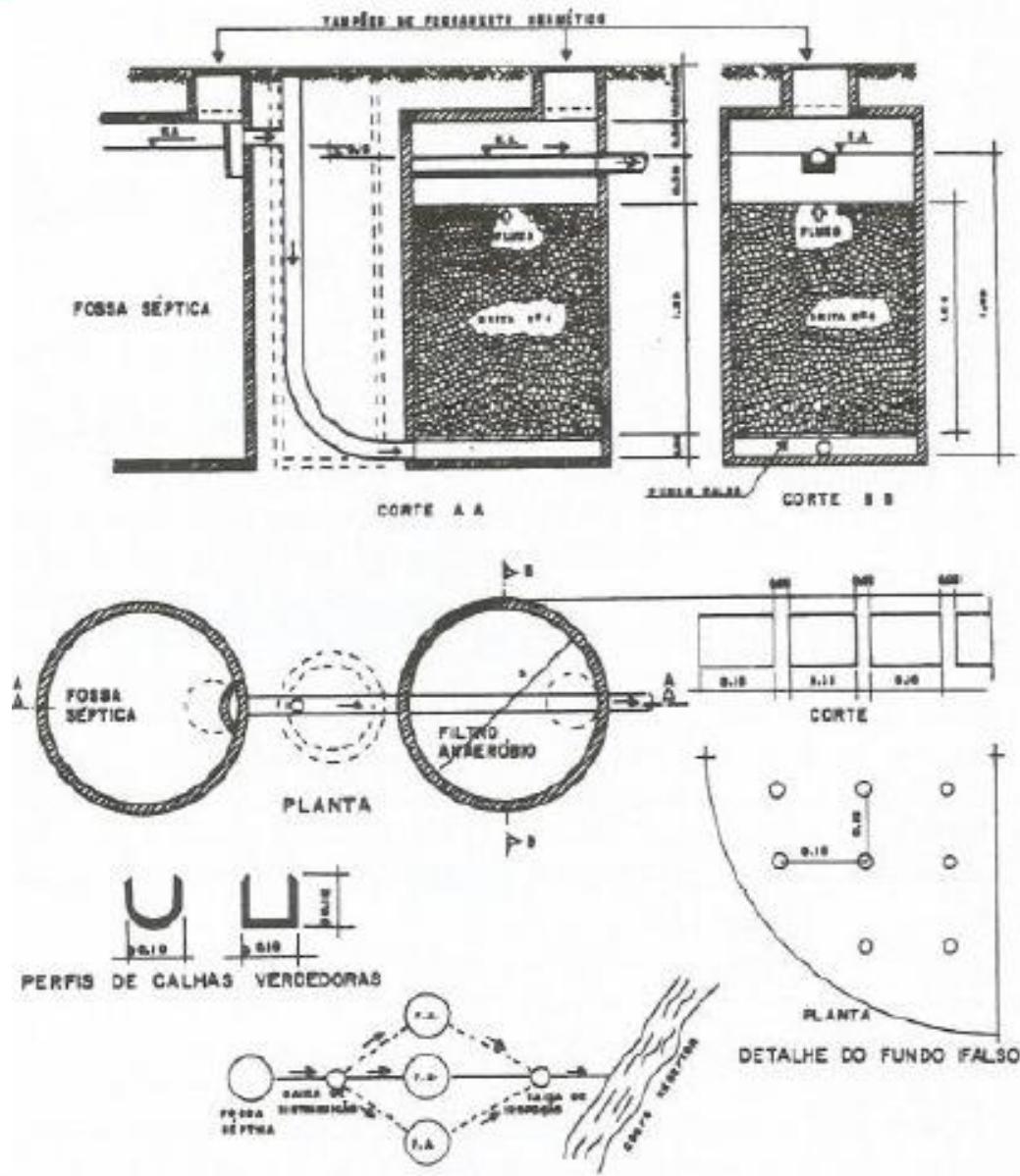
- NBR13969:1997

- Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – Projeto, construção e operação



Fonte: Chernicharo (2016)

Dimensionamento: filtros anaeróbios



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

FILTRO ANAERÓBIO

De acordo com a NBR –13.969/93 da ABNT, o volume útil da Filtro Anaeróbio pode ser calculado por:

$$V = 1,6 \text{ NCT}$$

onde:

V: Volume útil da fossa séptica, em litros

N: Número de pessoas contribuintes

C: Contribuição de despejos, em L / pessoa x dia

T: Período de detenção, em dias

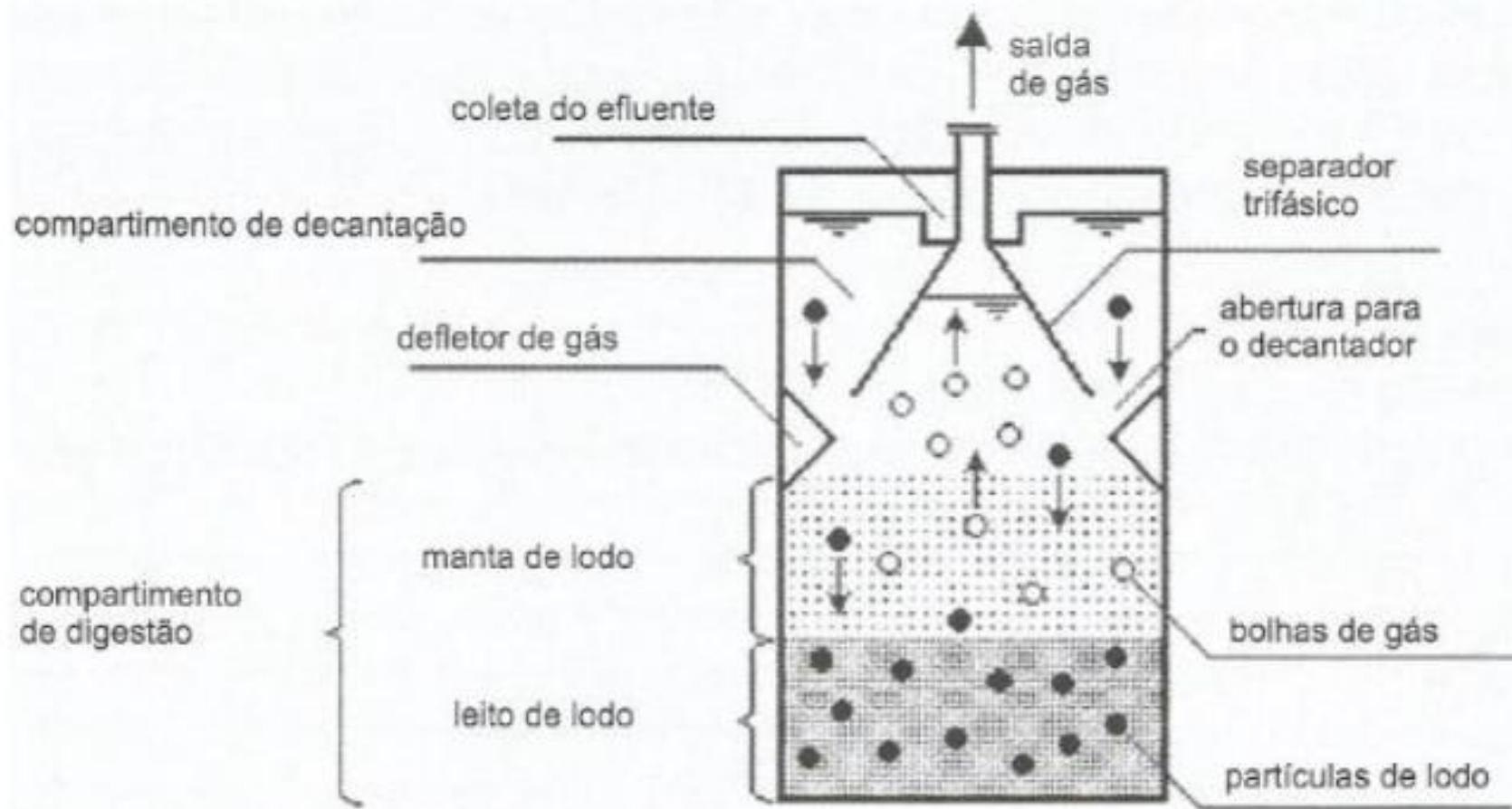
Tempos de Detenção – Filtros Anaeróbios

Vazão (L/d)/ Temperatura (*)	T < 15°C	15°C < T < 25°C	T > 25°C
abaixo de 1.500	1,17	1,00	0,92
1.500 - 3.000	1,08	0,92	0,83
3.000 - 4.500	1,00	0,83	0,75
4.500 - 6.000	0,92	0,75	0,67
6.000 - 7.500	0,83	0,67	0,58
7.500 - 9.000	0,75	0,58	0,50
acima de 9.000	0,75	0,500	0,50

Upflow Anaerobic Sludge Blanket

- ✓ Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (RAFA)
- ❑ Reatores de alta taxa para tratamento de **águas residuárias**
- Desenvolvido nos anos 70, na Holanda, pelo Prof. Gatze Lettinga (Universidade de Wageningen), para tratamento principalmente de **efluentes industriais com alta carga orgânica**
- Expandiram-se em países de clima quente também no tratamento de **esgoto sanitário**
- ❑ Baseados na entrada do afluente pela parte inferior, onde é mantido um leito de lodo e uma manta de lodo que se expande, e na existência de um separador sólido-líquido-gás (trifásico)
- A alta concentração de microrganismos anaeróbios no leito e na manta de lodo garantem remoção de até 75% de DQO com TDHs de algumas horas.
- O separador trifásico impede a perda excessiva de sólidos, garantindo alto tempo de retenção celular nos reatores

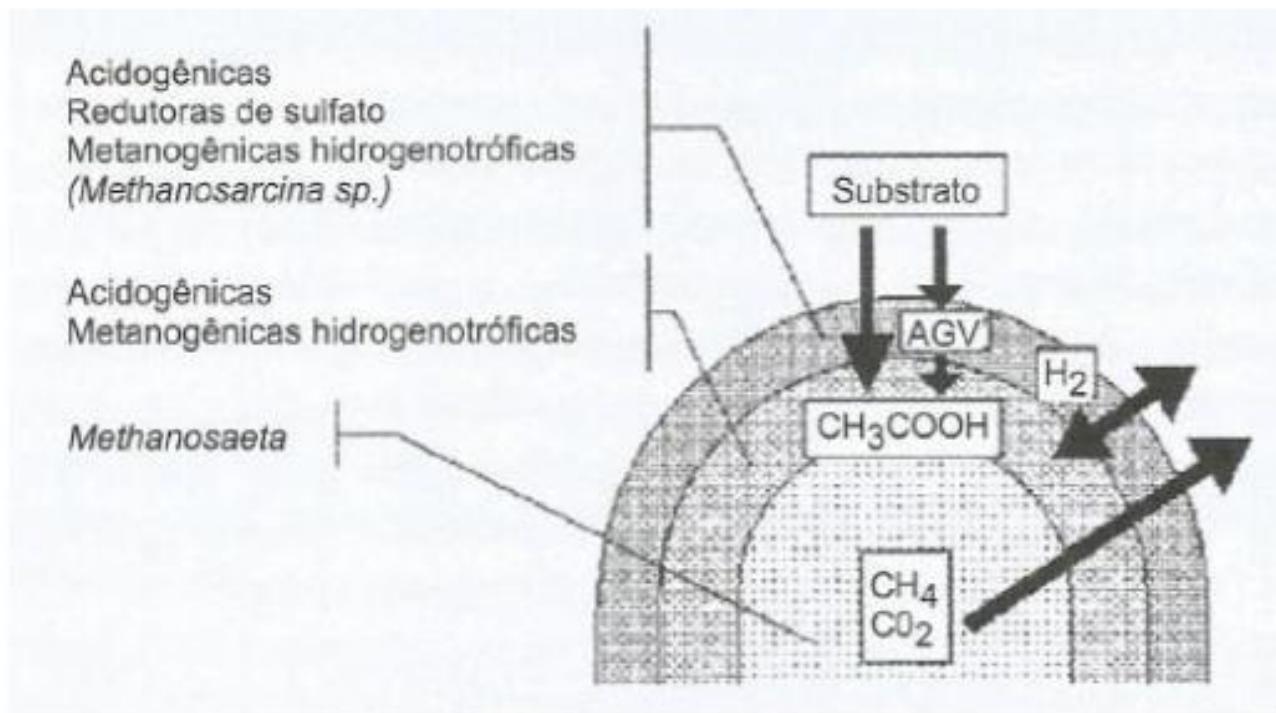
Reatores UASB



Fonte: Chernicharo (2016)

Reatores UASB

- Lodo floculento ou granular: dependente de condições operacionais e características do substrato
- Lodo granular: vantagens pela boa sedimentabilidade



Fonte: Guiot et al. (1992)

Adaptado por: Chernicharo (2016)

Principais parâmetros de projeto

- **Tratamento preliminar** deve ser realizado com eficiência, incluindo **peneira** (recomendado) para evitar:
 - Obstrução das tubulações de distribuição do afluente
 - Deposição de sólidos grosseiros e areia no leito de lodo
 - Formação excessiva de escuma
- Faixa adequada de **carga hidráulica volumétrica** (esgoto sanitário)
- Faixa adequada de **carga orgânica volumétrica** (esgoto industrial)
- Controle da **velocidade ascensional** para garantir a suspensão da manta de lodo, porém sem que ocorra perda de sólidos
- O **sistema de distribuição do afluente** deve permitir a alimentação homogênea do reator, promovendo mistura adequada com o leito de lodo e impedindo curtos-circuitos
- Eficiência do **separador trifásico** na separação sólido-líquido-gás
- Remoção periódica de **escuma** e de **lodo** acumulados

- **Obstrução** de dispositivos de entrada e saída
- **Mau odor**: H₂S e outros gases
- **Corrosão**: H₂S
- Acúmulo de **escuma** na superfície dos compartimentos de **decantação**
- Acúmulo de **escuma** no interior dos **separadores trifásicos**
- Formação de **espuma**: surfactantes

Carga Hidráulica Volumétrica (CHV)

- Vazão aplicada por unidade de volume do reator
- Inverso do TDH:

$$CHV = \frac{Q}{V} = \frac{1}{TDH} \quad (m^3/m^3.d)$$

- É o parâmetro utilizado para determinação do volume de reatores UASB utilizados no **tratamento de esgoto sanitário**
- Fixado em função da temperatura
- Verificado para Q_{med} e Q_{max} : UASB sofre influência de vazões de pico

Quadro 5.14 Tempos de detenção hidráulica para projeto de reatores UASB

Temperatura do esgoto (°C)	Tempo de detenção hidráulica (h)	
	Para $Q_{\text{média}}$	Para $Q_{\text{máxima}}$
15 a 18	≥ 10,0	≥ 7,0
18 a 22	≥ 8,0	≥ 5,5
22 a 25	≥ 7,0	≥ 4,5
> 25	≥ 6,0	≥ 4,0

Fonte: Chernicharo (2016)

Carga orgânica volumétrica (COV)

- Carga orgânica aplicada por unidade de volume de reator

$$COV = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (\text{kgDQO/m}^3 \cdot \text{d})$$

- Utilizada no caso de efluentes industriais com altas concentrações
- Em geral inferiores a 15 kgDQO/m³.d
- Esgoto sanitário: para as concentrações usuais, resulta em COV entre 2,5 a 3,5 kgDQO/m³.d

Velocidade superficial ou ascensional

- Relação entre vazão afluente e a área da seção transversal do reator

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/h})$$

- Deve estar situada em faixa adequada para suspensão da manta, porém sem permitir carreamento dos sólidos para fora do reator

Vazão afluente	Velocidade ascendente (m/h)
Vazão média	0,5-0,7
Vazão máxima	0,9-1,1
Picos temporários*	< 1,5

* Picos de vazão com duração entre 2 e 4 horas.

Fonte: Adaptado de Lettinga & Hulshoff Pol (1995).

Fonte: Chernicharo (2016)

Altura de reatores UASB

- Relacionada à velocidade ascensional e ao TDH do reator

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \times H}{V} = \frac{H}{TDH}$$

- Na prática, para manutenção das faixas recomendadas de velocidade ascensional, resulta em alturas de 4,0 a 5,0 m, em que:
 - 1,5 a 2,0 m são reservados para o compartimento de decantação
 - 2,5 a 3,5 m são reservados para o compartimento de digestão

Volume e modulação de reatores UASB

- Módulos de 400 a 500 m³ são usuais
- Não são recomendados módulos acima de 2500 m³
- Volume determinado a partir do TDH fixado, para o caso de esgoto sanitário
- Exemplo:

Tabela:

$$T = 20 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow \text{Adotado TDH} = 8 \text{ h}$$

DADOS:

$$Q_{\text{med}} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{max}} = 270 \text{ m}^3/\text{h}$$

$T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (média do mês mais frio)

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q} \Rightarrow 8 = \frac{V}{150} \Rightarrow V = 1200 \text{ m}^3$$

Adotando-se **2 módulos** retangulares de 600 m³ e fixando H = 4,5 m e L/B = 2:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{600}{4,5} = 133,3 \text{ m}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} L \cong 16,4 \text{ m} \\ B \cong 8,2 \text{ m} \end{array} \right.$$

Velocidades ascensionais:

$$Q_{\text{med}} \Rightarrow v = Q_{\text{med}} / A = 150 / (2 \times 133,3) = 0,56 \text{ m/h} \quad \text{OK}$$

$$Q_{\text{max}} \Rightarrow v = Q_{\text{max}} / A = 270 / (2 \times 133,3) = 1,01 \text{ m/h} \quad \text{OK}$$

Sistema de distribuição do afluente

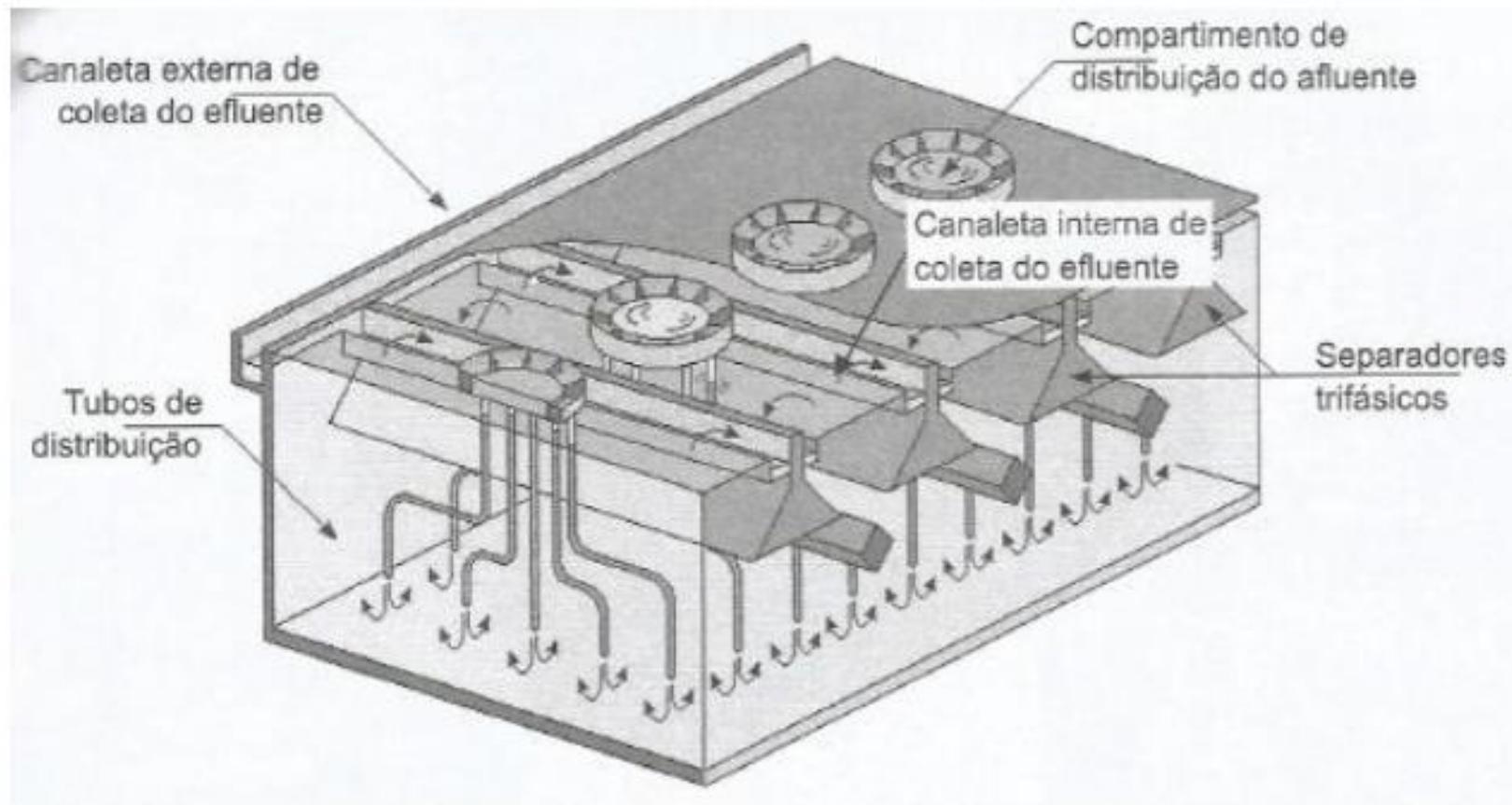
- Distribuição uniforme para mistura adequada e para se evitar curtos circuitos
- Alimentação em compartimentos de distribuição superiores para divisão equitativa do afluente
- Velocidade descendente nas tubulações **inferior a 0,2 m/s**, evitando arraste de bolhas de ar
- **D = 75 a 100 mm**, com redução nos bocais de saída para **40 a 50 mm**, evitando deposição de areia e melhor mistura o leito de lodo
- Número de distribuidores respeitando áreas de influência:
 - Usualmente 2 a 3 m² por tubo

Tipo de lodo	Carga orgânica aplicada (kgDQO/m ³ .d)	Área de influência de cada distribuidor (m ²)
Denso e floculento (Concentração > 40 kgSST/m ³)	< 1,0	0,5 a 1,0
	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 2,0	2,0 a 3,0
Medianamente denso e floculento (Concentração 20 a 40 kgSST/m ³)	< 1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 3,0	2,0 a 5,0
Granular	< 2,0	0,5 a 1,0
	2,0 a 4,0	0,5 a 2,0
	> 4,0	> 2,0

Fonte: Chernicharo (2016)

Sistema de distribuição do afluente

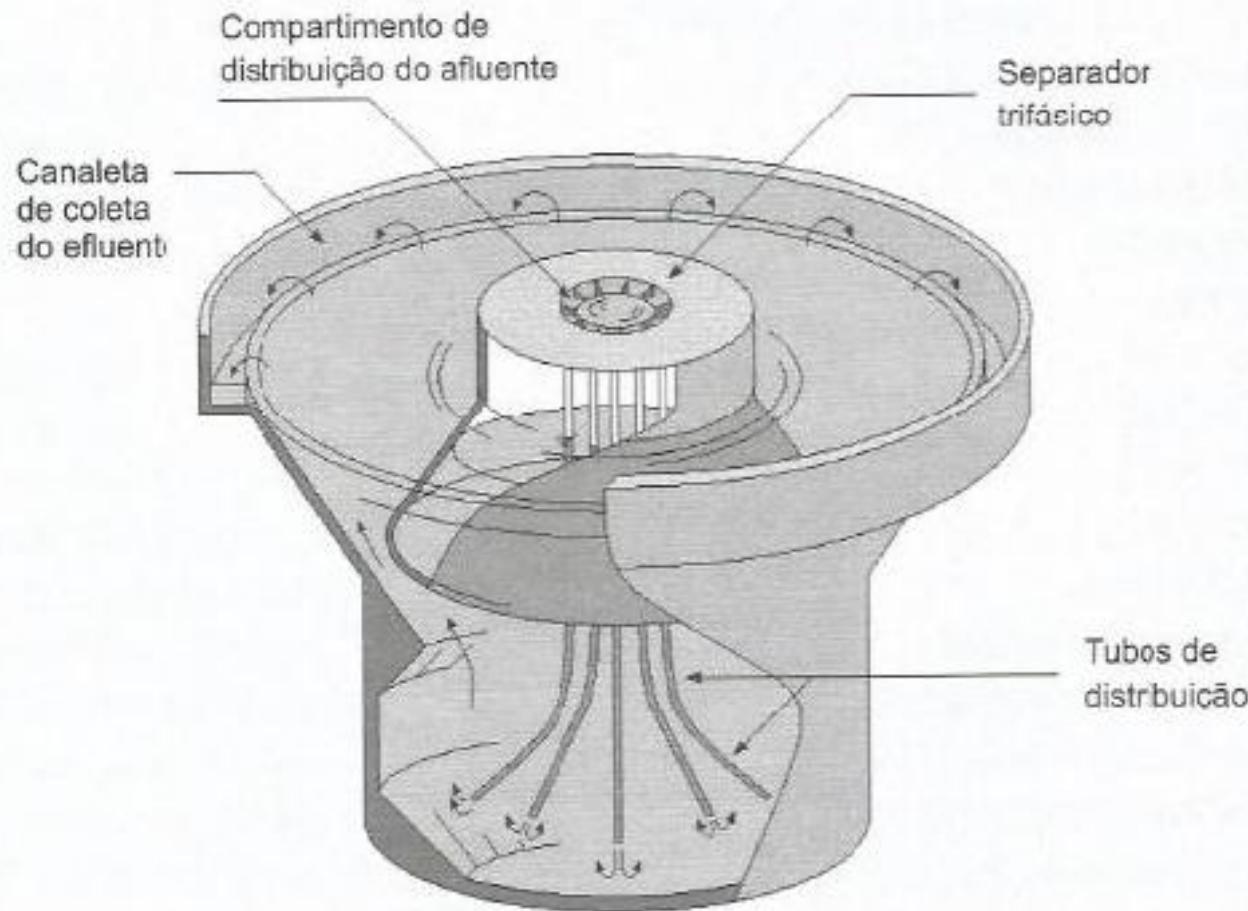
- Reatores retangulares



Fonte: Chernicharo (2016)

Sistema de distribuição do afluente

- Reatores circulares



Fonte: Chernicharo (2016)

Sistema de distribuição do afluente

- Caixa de distribuição do afluente



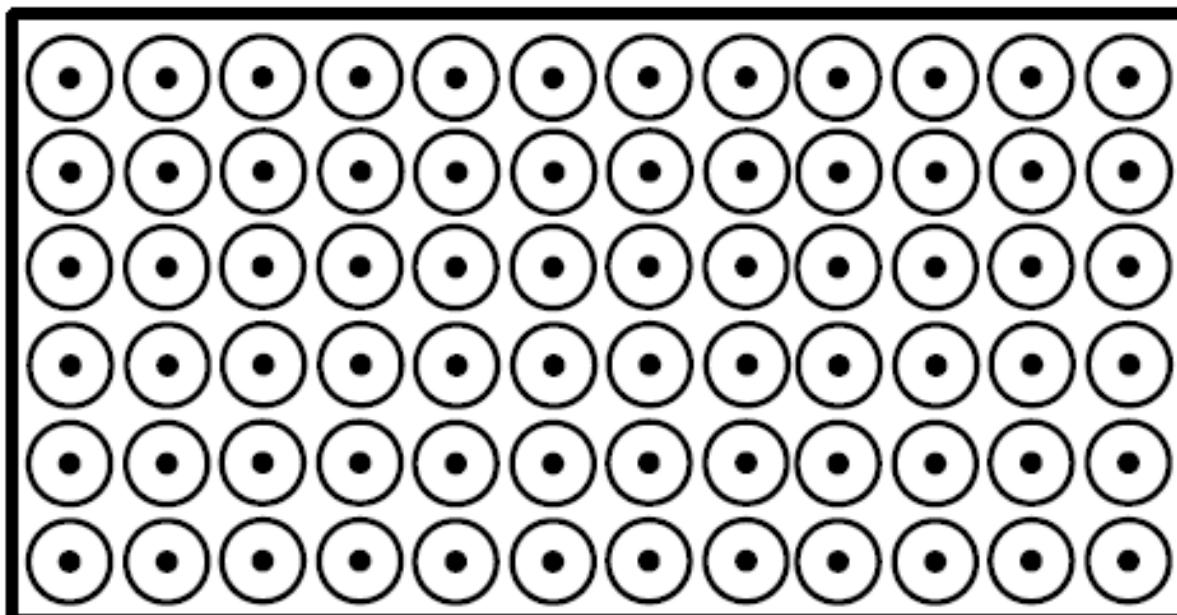
Sistema de distribuição do afluente

- No exemplo anterior: número de distribuidores

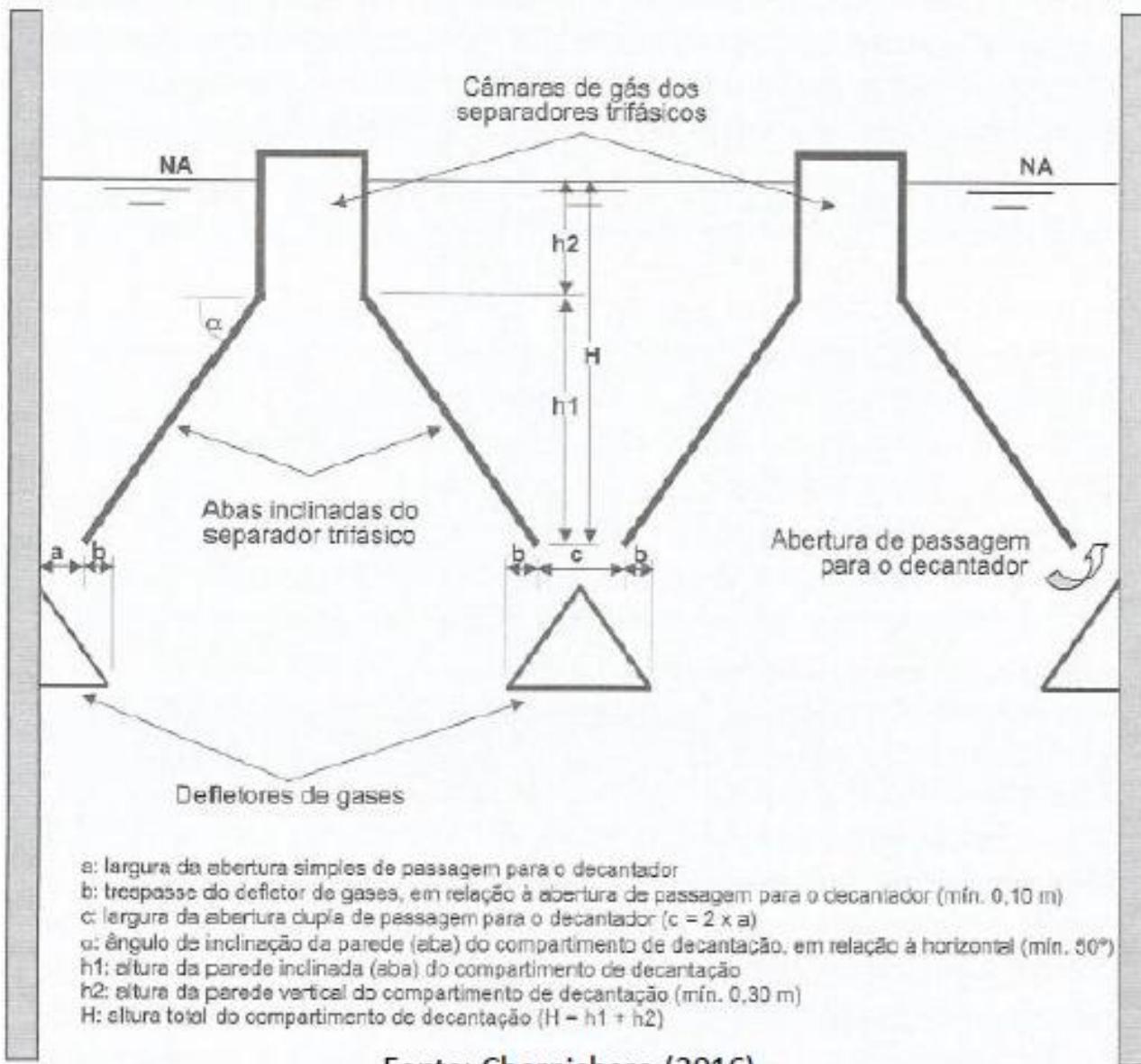
$$N = \frac{A}{A_d} \quad \text{Em que } A_d \text{ é a área de influência de cada distribuidor (m}^2\text{)}$$

$\Rightarrow \text{Ado tan do } A_d = 2,0 \text{ m}^2$

$$N = \frac{133,3}{2} \cong 67 \text{ distribuidores} \Rightarrow \text{Adotado } N = 72$$



Separadores trifásicos



Fonte: Chernicharo (2016)

Separadores trifásicos



Separadores trifásicos

- Verificação da velocidade de passagem nas aberturas para os compartimentos de decantação

Quadro 5.19 Velocidades através das aberturas de passagem para o decantador

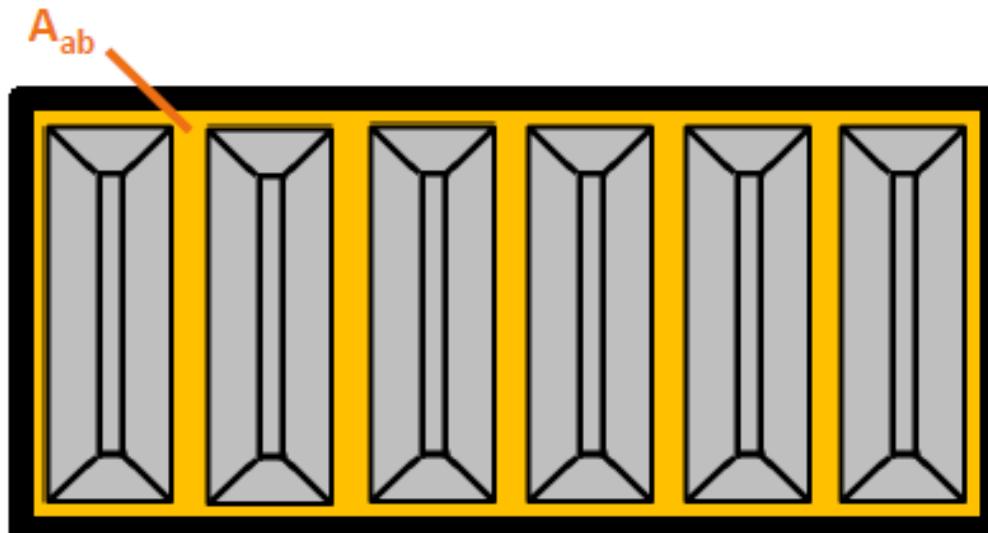
Vazão afluente	Velocidade (m ³ /h)
Vazão média	≤ 2,5
Vazão máxima	≤ 4,0
Picos temporários*	< 5,5

(*) picos de vazão com duração máxima de 2 horas

Fonte: Chernicharo (2016)

$$V_{ab} = \frac{Q}{A_{ab}}$$

(m/h)



Separadores trifásicos

- Verificação da taxa de aplicação superficial no compartimento de decantação

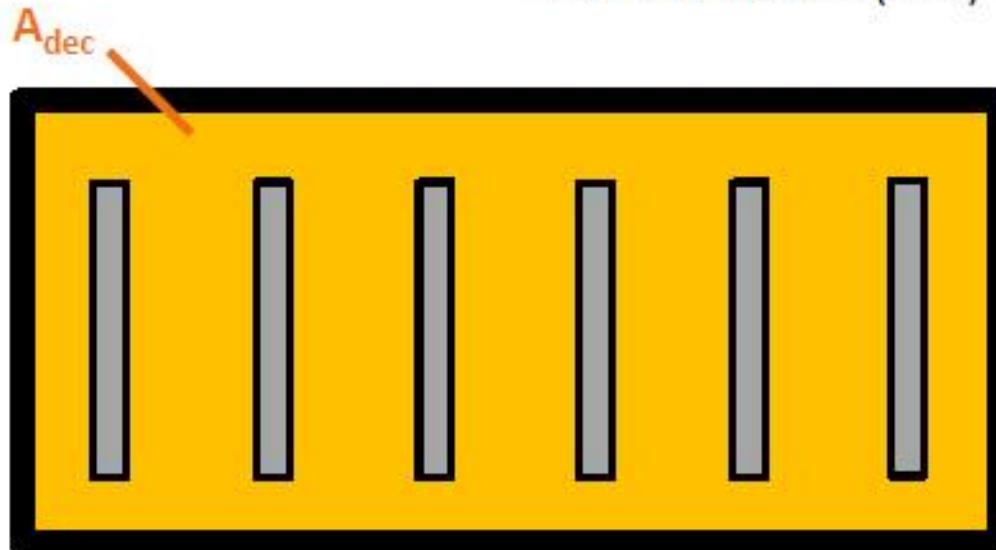
Quadro 5.18 Taxas de aplicação superficial e tempos de detenção hidráulico no compartimento de decantação

Vazão alluente	Taxa de aplicação superficial (m/h)	Tempo de detenção hidráulica (h)
Vazão média	$\leq 0,8$	$\geq 1,5$
Vazão máxima	$\leq 1,2$	$\geq 1,0$
Picos temporários*	$< 1,5$	$> 0,6$

(*) picos de vazão com duração máxima de 2 horas

Fonte: Chernicharo (2016)

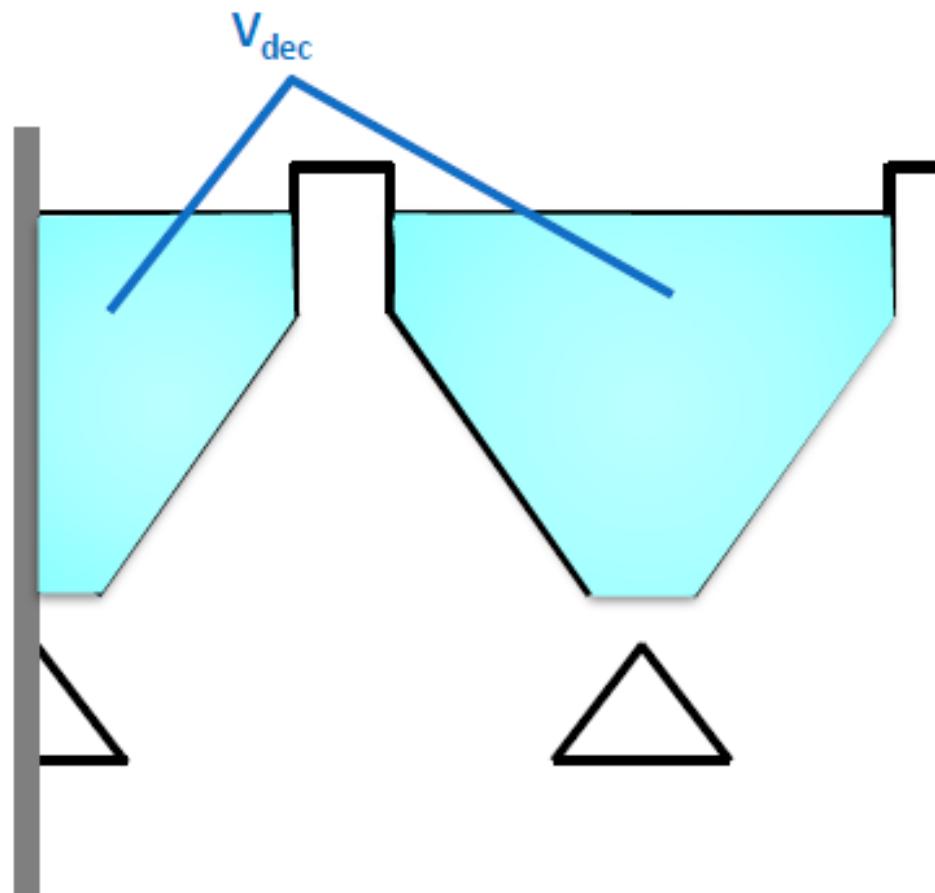
$$q_{dec} = \frac{Q}{A_{dec}} \quad (m/h)$$



Separadores trifásicos

- Verificação do TDH no compartimento de decantação

$$TDH_{dec} = \frac{V_{dec}}{Q} \quad (h)$$



Produção de CH₄ e de biogás

- DQO convertida em CH₄:

$$DQO_{CH_4} = Q_{med} \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0$$

Em que:

DQO_{CH₄}: carga de DQO convertida em metano (kgDQO_{CH₄}/d)

Q_{med}: vazão média afluente (m³/d)

S₀: concentração de DQO afluente (kgDQO/m³)

S: concentração de DQO efluente (kgDQO/m³)

Y_{obs}: coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO(0,11 a 0,23 kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl})

- Conversão de massa em produção volumétrica:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)}$$

(teórica, pois em torno de 40 a 50% do CH₄ é perdido ou sai dissolvido no efluente na prática)

Em que:

Q_{CH₄}: produção volumétrica de metano (m³/d)

f(T): fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m³)

Produção de CH₄ e de biogás

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)}$$

Em que:

P: pressão atmosférica (atm)

K_{DQO}: DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64 gDQO/mol)

R: constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K)

T: temperatura operacional do reator (°C)

- Produção de biogás:

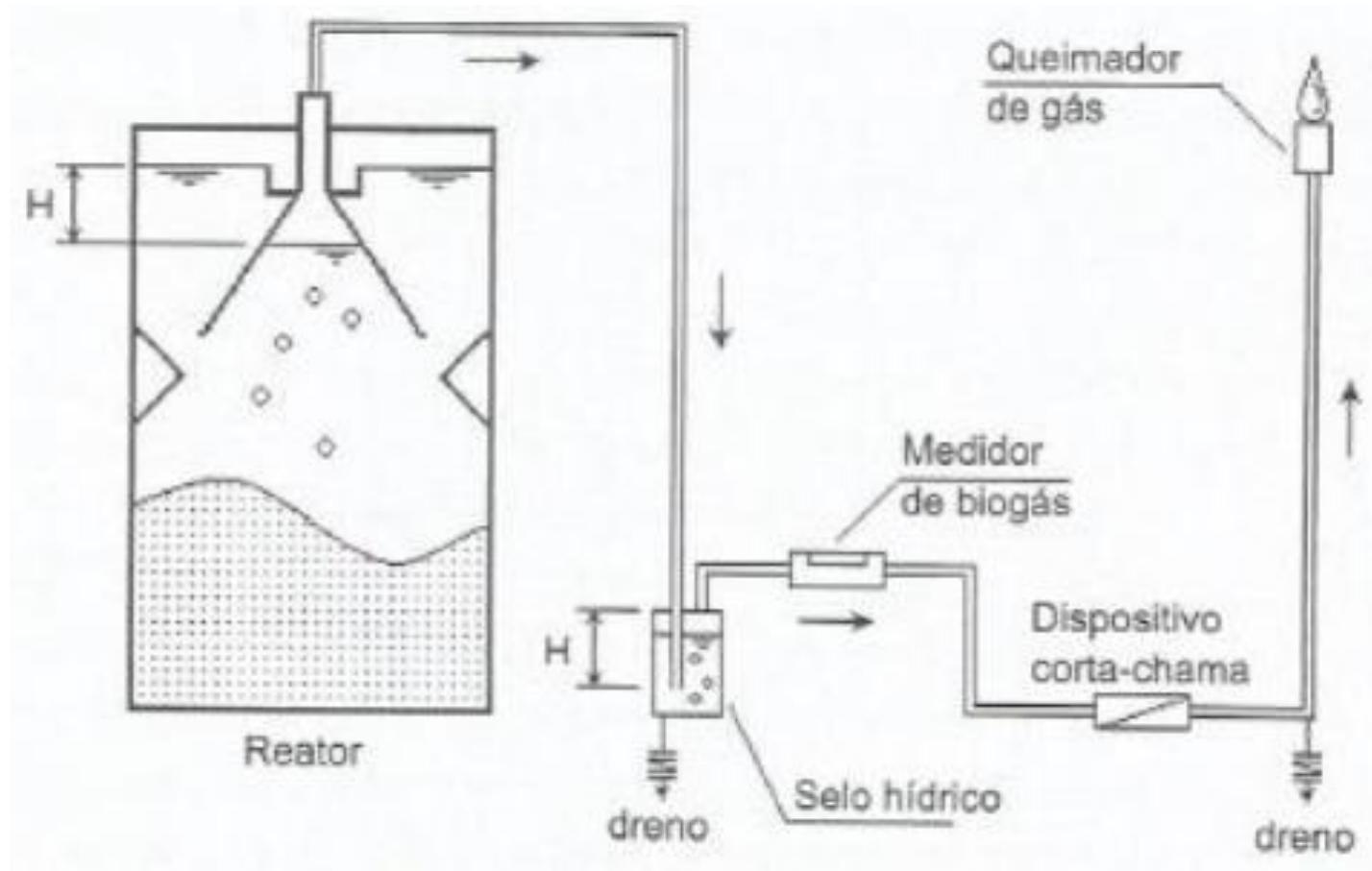
$$Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{C_{\text{CH}_4}} \quad (\text{em geral o biogás é composto de 70 a 80\% de CH}_4)$$

Em que:

Q_{biogás}: produção volumétrica de biogás (m³/d)

C_{CH₄}: concentração de metano no biogás (%)

Produção de CH₄ e de biogás



Fonte: Chernicharo (2016)

Produção de lodo

- Estimativa da produção de lodo em reatores UASB:

$$P_{lodo} = Y \times CO_{DQO}$$

Em que:

P_{lodo} : produção de sólidos no sistema (kgSST/d)

Y : coeficiente de produção de sólidos (0,10 a 0,20 kgSST/kgDQO_{api})

CO_{DQO} : carga de DQO aplicada (kgDQO/d)

$$Q_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \times TS} \quad (m^3/d)$$

$\gamma = 1020$ a 1040 kg/m³

TS = 3 a 5%

- Lodo já sai digerido e adensado
- Descarte periódico de lodo é necessário
- Amostradores e registros para descarte de lodo ao longo do corpo do reator

Coleta do efluente final

- Calhas ou tubos perfurados
- Dispositivo de retenção de escuma não é recomendado, a não ser quando a unidade for seguida de filtração biológica
- Cuidados devem ser tomados para que não ocorra acúmulo de escuma na superfície dos decantadores ou no interior do separador trifásico: limpezas periódicas



Fonte: Campos et al. (1999)



LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO



LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

- Escavações taludadas permitindo altos tempos de detenção de esgoto sanitário para tratamento sem aeração ou mistura mecanizados
- Vantagens:
 - Baixo custo de implantação
 - Projeto e operação simples
 - Baixo custo energético
- Desvantagens:
 - Grandes áreas
 - Algas no efluente final
 - Maus odores na lagoa anaeróbia



Santa Ernestina – 5900 hab

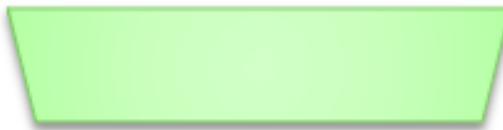
Tipos de lagoas de estabilização

LAGOAS
ANAERÓBIAS



Profundidades maiores para
anaerobiose predominar

LAGOAS
FACULTATIVAS



Atividade fotossintética na
superfície e anaerobiose
no fundo

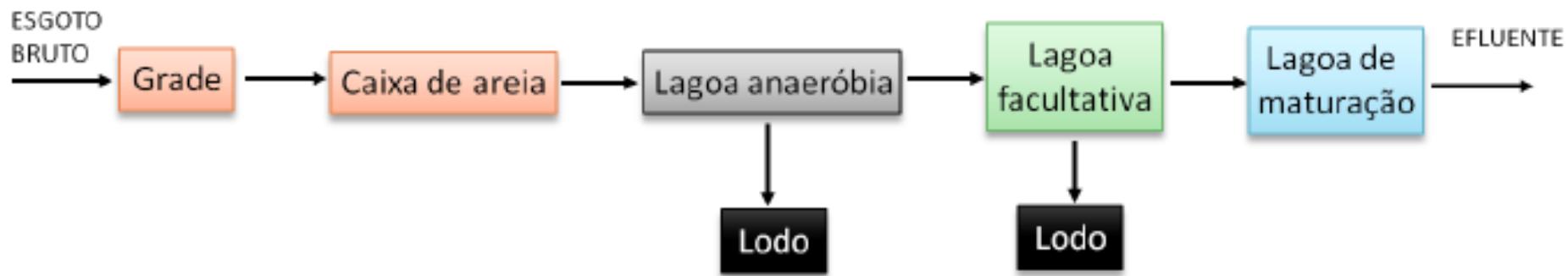
LAGOAS DE
MATURAÇÃO



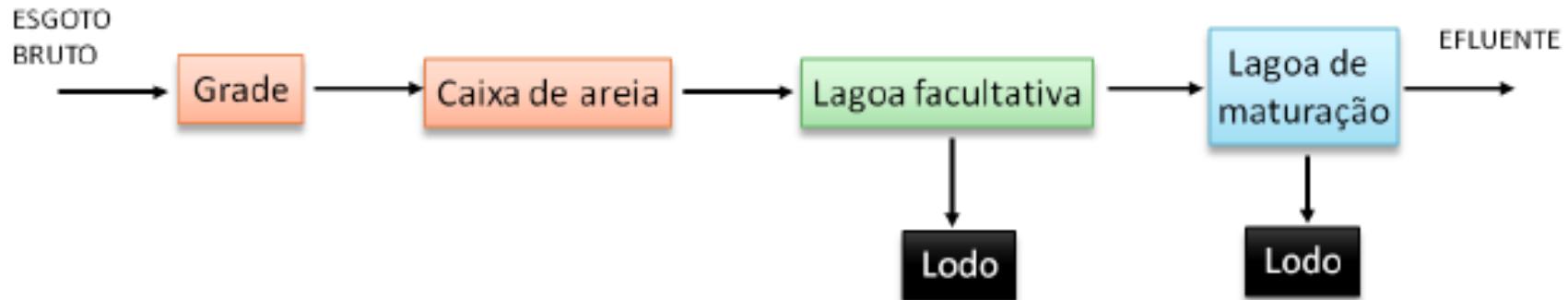
Baixa profundidade
para desinfecção

Sistemas de lagoas de estabilização

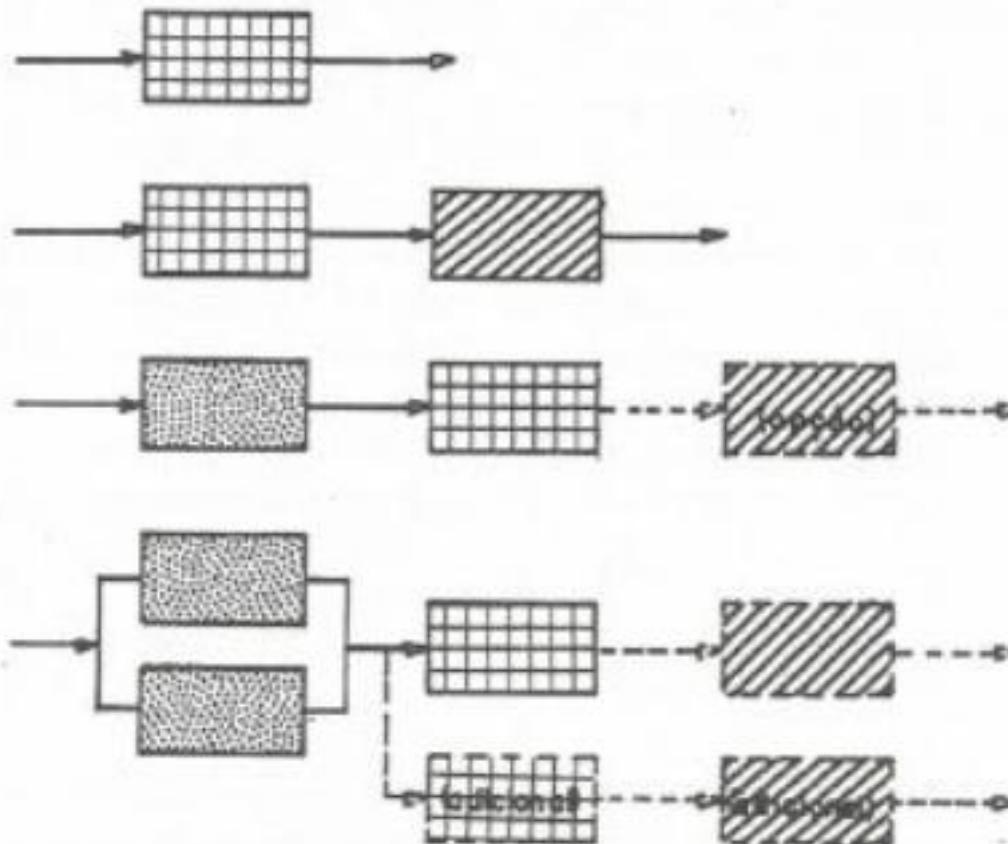
- Sistema australiano



- Lagoa facultativa primária



Sistemas de lagoas de estabilização



■ = ANAERÓBICA

■ = FACULTATIVA

■ = MATURAÇÃO

Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

Sistemas de lagoas de estabilização



Auriflama – 14.200 hab

Sistemas de lagoas de estabilização



Aspásia – 1.800 hab

Sistemas de lagoas de estabilização



Fernandópolis – 64.000 hab

Sistemas de lagoas de estabilização



Novo Horizonte – 36.000 hab

Sistemas de lagoas de estabilização



Catiguá – 7.000 hab

Eficiências de lagoas de estabilização

Parâmetro	Facultativa / Anaeróbia + Facultativa	Facultativa + Maturação / Anaeróbia + Facultativa + Maturação / UASB + Lagoa de Polimento
DBO	75-85	80-85
DQO	65-80	70-83
SS	70-80	70-80
Amônia	< 50	40-80
Nitrogênio	< 60	40-65
Fósforo	< 35	> 40

Fonte: Adaptado de Jordão & Pessôa (2014)

LAGOAS ANAERÓBIAS

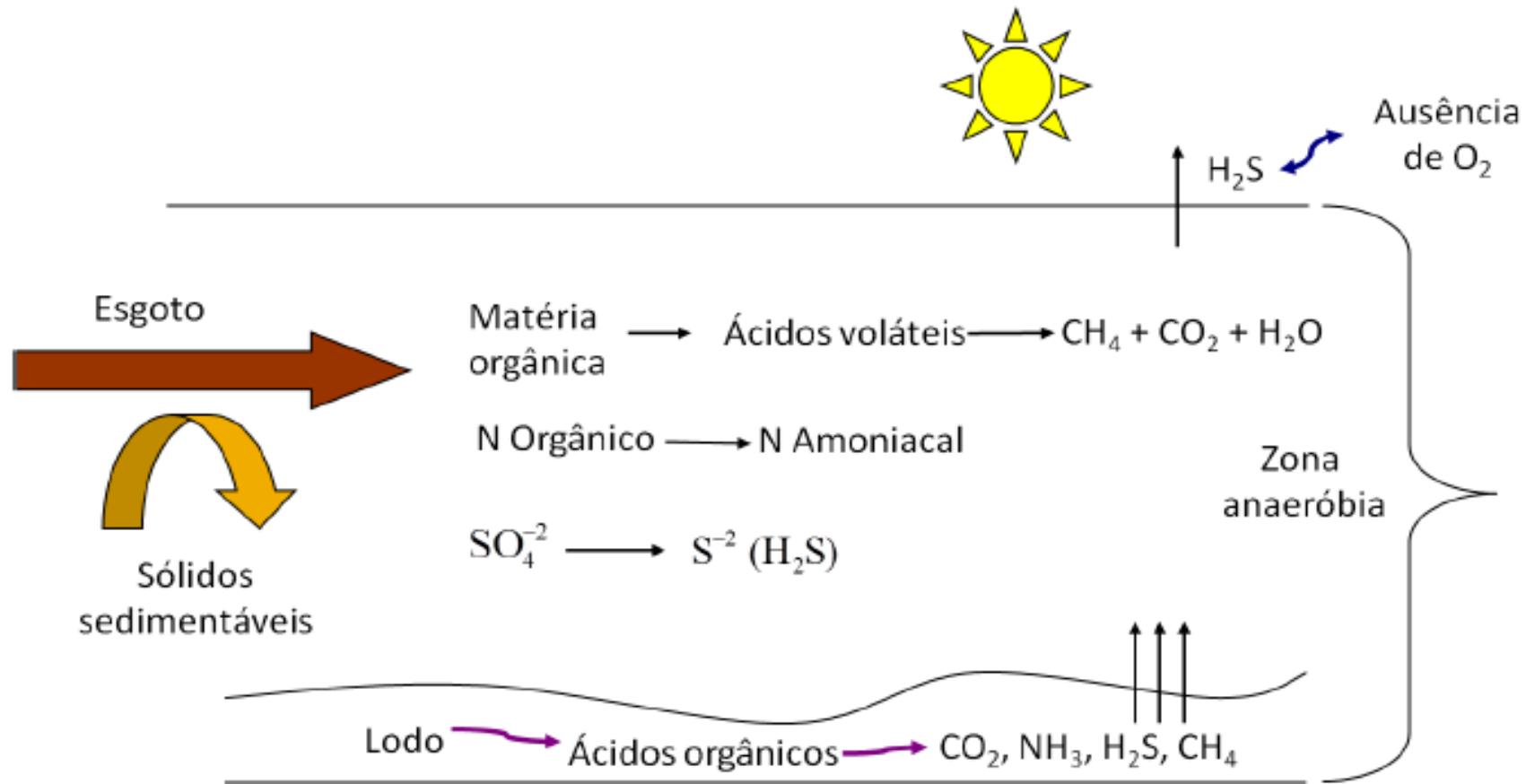


LAGOAS ANAERÓBIAS

- Profundidade útil: 3 a 5 m
- Condições de anaerobiose
 - Altas profundidades e cargas aplicadas não são favoráveis a algas
 - Escuma na superfície diminui ação das algas e dos ventos na aeração natural
- Eficiência de remoção de DBO: 40 a 60%
- TDH: 3 a 6 dias
- Taxa de aplicação volumétrica de DBO: 0,1 a 0,4 kg DBO/m³.d (algumas operam bem na faixa de 0,05 kg DBO/m³.d)
- Taxa de aplicação superficial de DBO > 1000 kg DBO/ha.d
- Detalhes de projeto:
 - Distribuição das entradas e saídas
 - Rebaixos de 0,5 m até L/4 para acúmulo de lodo
 - Inclinação de taludes: estudos geotécnicos
 - L/B de 2 a 3



LAGOAS ANAERÓBIAS



- Altas profundidades e cargas aplicadas não são favoráveis a algas
- Escuma na superfície diminui ação das algas e dos ventos na aeração natural
- Escuma também mantém a temperatura mais constante na lagoa

Lagoas anaeróbias com captação de gases



Dimensionamento: lagoas anaeróbias

- Pode-se fixar TDH e profundidade, verificando posteriormente as taxas de aplicação volumétrica e superficial de DBO.
- Lagoas são dimensionadas com vazão média de esgotos sanitários

- **Exemplo:**

Dados:

$$Q_{med} = 40 \text{ L/s} = 3456 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$DBO = 300 \text{ mg/L}$$

$$\text{Carga de DBO} = 3456 \times 0,3 = 1036,8 \text{ kgDBO / d}$$

$$\text{Adotando-se TDH de 5 d: } V = Q_{med} \times \text{TDH} = 3456 \times 5 = 17280 \text{ m}^3$$

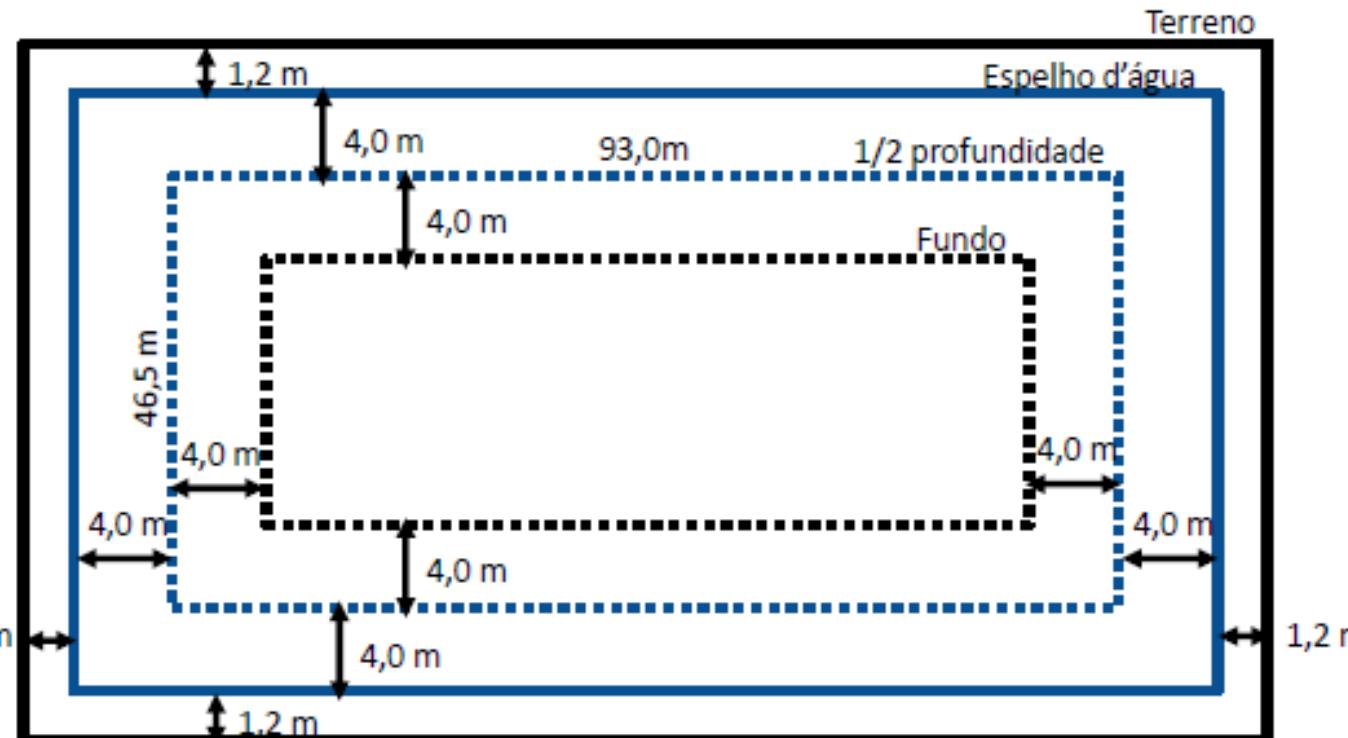
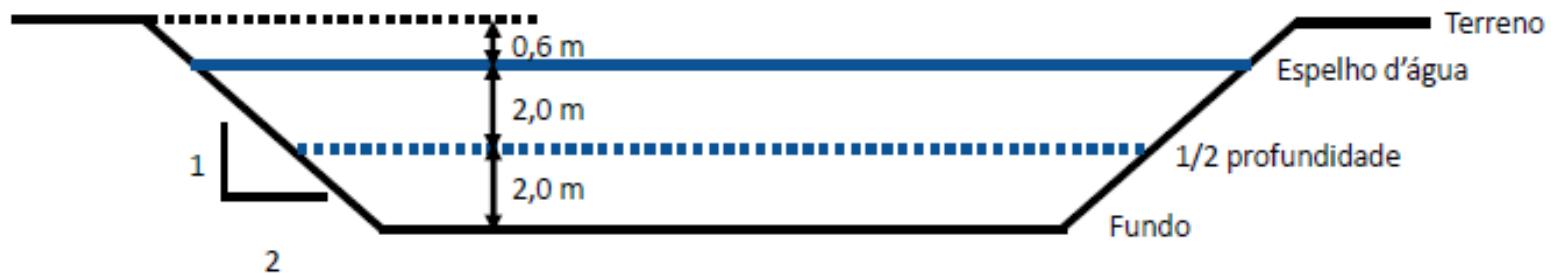
$$\text{Adotando-se profundidade de 4 m: } A = \frac{V}{H} = \frac{17280}{4} = 4320 \text{ m}^2$$

$$\text{Usando L/B} = 2 \text{ (a 1/2 profundidade): } L \times B = 4320 \Rightarrow 2B \times B = 4320 \Rightarrow B = 46,5 \text{ m}$$
$$L = 2 \times 46,5 = 93 \text{ m}$$

* Para o cálculo da área a meia profundidade considerar H_{total} (descontar borda de segurança, neste caso 4 metros). As dimensões encontradas serão de meia profundidade, pois o cálculo foi com base na carga orgânica volumétrica. Para lagoas facultativas o cálculo é feito com base na área superficial, neste caso teremos o espelho d'água. Usar tb altura total.

Dimensionamento: lagoas anaeróbias

- Determinação das dimensões da lagoa: nível de fundo, espelho d'água e terreno
- Lembrar que lagoas são escavações tronco-piramidais
- Adotando taludes com inclinação 1 V : 2 H e borda livre de 0,60 m:



Dimensionamento: lagoas anaeróbias

- Determinação das dimensões da lagoa: nível de fundo, espelho d'água e terreno

Nível	L (m)	B (m)
Terreno	103,4	56,9
Espelho d'água	101,0	54,5
Meia profundidade	93,0	46,5
Fundo	85,0	38,5



- Verificações:

Taxa de aplicação volumétrica de DBO:

$$\frac{1036,8}{17280} = 0,06 \text{ kgDBO / m}^3.\text{d}$$

(Recomendado entre 0,1 e 0,4, mas há lagoas que operam com 0,05 kg DBO/m³.d)

Taxa de aplicação superficial de DBO: (considerando espelho d'água)

$$\frac{1036,8}{101 \times 54,5} = 0,1883 \text{ kgDBO / m}^2.\text{d} = 1883 \text{ kgDBO / ha.d} > 1000 \Rightarrow \text{OK}$$

LAGOAS FACULTATIVAS

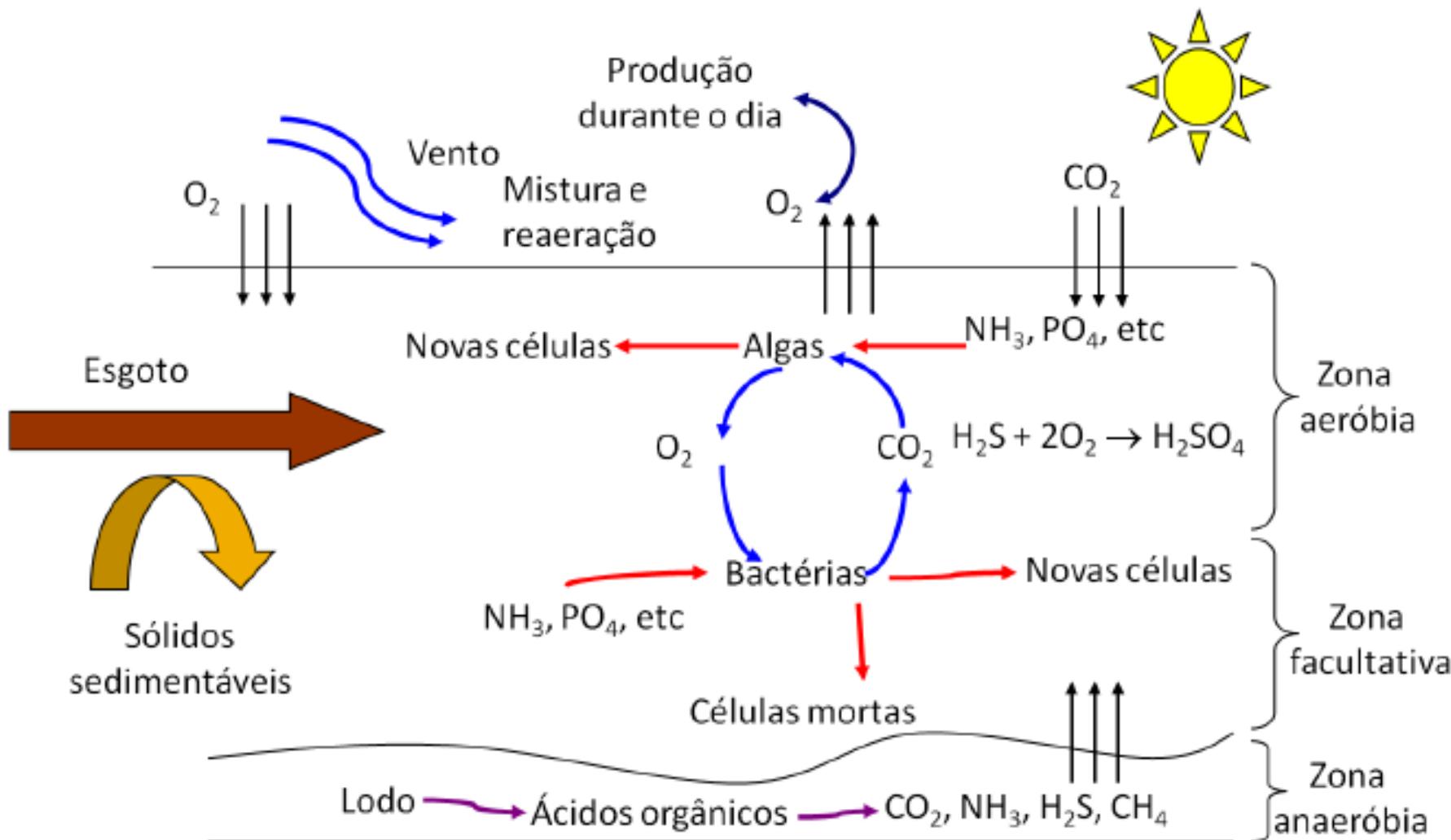


LAGOAS FACULTATIVAS

- Profundidade útil: 1,5 a 2,0 m
- Atividade aeróbia (atividade fotossintética das algas fornece o O₂) e anaeróbia (fundo)
- Eficiência de remoção de DBO: Superior a 80%
- Eficiência na remoção de coliformes: aproximadamente 99%
- Relação L/B: 3 a 5
- Recomenda-se lagoas com áreas inferiores a 15 ha
- TDHs na faixa de 15-45 dias (primárias) e 10-30 dias (secundárias)

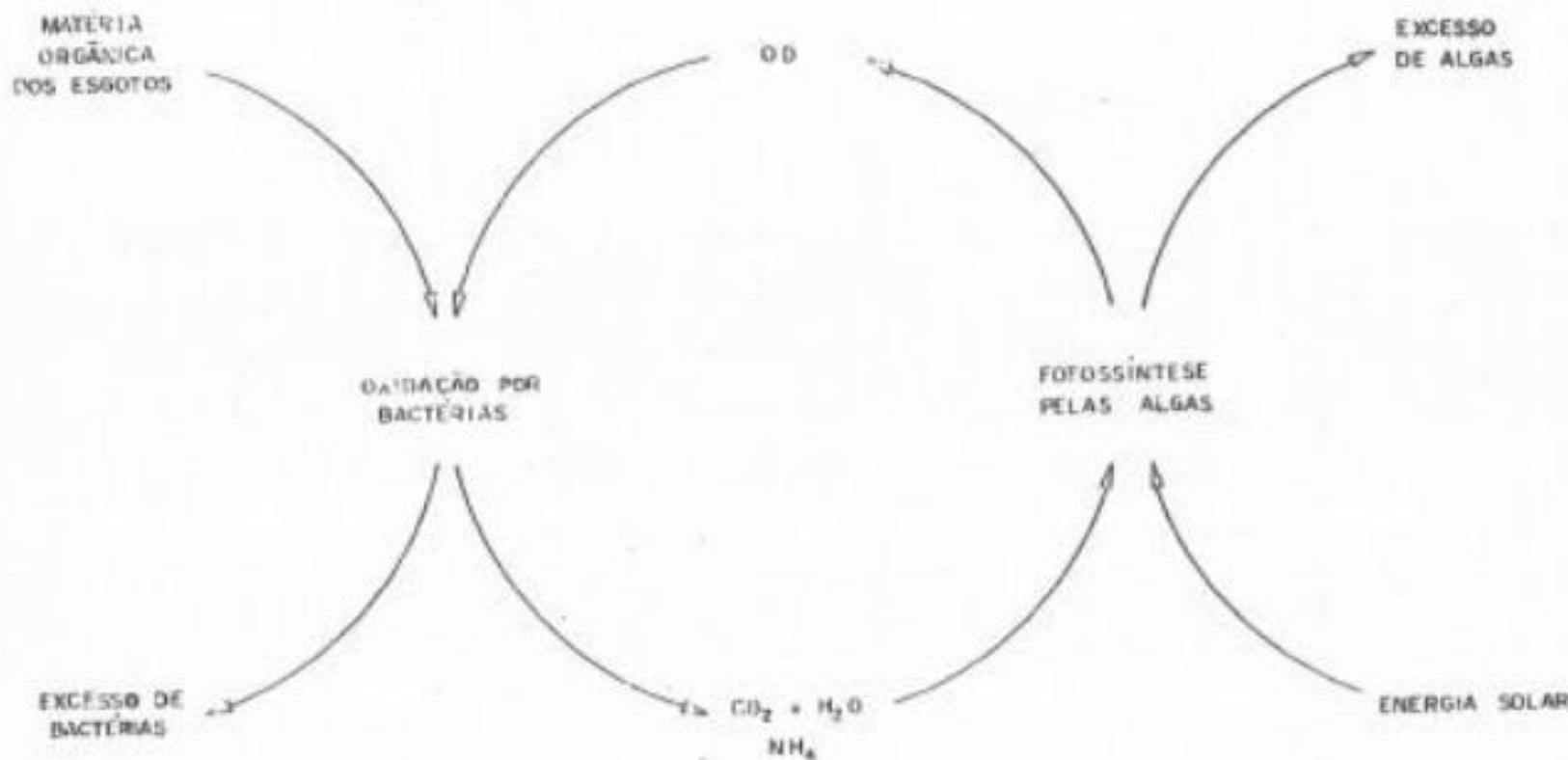


LAGOAS FACULTATIVAS



LAGOAS FACULTATIVAS

- Atividade algal e bacteriana:



Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

Fatores intervenientes em lagoas facultativas

Fatores incontroláveis	Fatores controláveis
Evaporação	Tipo de esgoto
Chuvas	Vazão afluente
Temperatura	Concentrações de parâmetros
Ventos	Lençol freático
Mistura e estratificação térmica	Características do terreno
Radiação solar	Localização dos cursos d'água
	Localização de comunidades próximas
	Assoreamento
	Legislação

Temperatura

- Interfere diretamente nas velocidades de reação
- Deve-se conhecer a temperatura no líquido para dimensionamento de lagoas, estimada a partir da temperatura do ar e do esgoto

$$Q \times (T_{af} - T) = A \times f \times (T - T_{ar})$$

Em que:

Q = vazão afluente (m^3/d)

T_{af} = temperatura do esgoto afluente ($^{\circ}C$)

T = temperatura do líquido na lagoa ($^{\circ}C$)

A = área superficial da lagoa (espelho d'água) (m^2)

T_{ar} = temperatura do ar ($^{\circ}C$)

f = coeficiente de transferência de calor ar-água ($0,5 \text{ m}/d$)

Temperatura

- Efeito da temperatura nas reações:
 - Equação de Van't Hoff – Arrhenius

$$K = K_0 \times \theta^{(T-T_0)}$$

Em que:

K = constante de degradação na temperatura desejada (d^{-1})

K_0 = constante de degradação conhecida a dada temperatura (d^{-1})

θ = constante para variação de temperatura (em geral admitida como 1,085 para lagoas facultativas)

T = temperatura em que se deseja conhecer a constante de degradação ($^{\circ}C$)

T_0 = temperatura na qual a constante de degradação é conhecida ($^{\circ}C$)

Exemplo: para $K = 0,2\ d^{-1}$ a $20\ ^{\circ}C$, desejando-se esta constante a $15\ ^{\circ}C$:

$$K = 0,2 \times 1,085^{(15-20)} = 0,13\ d^{-1}$$

Critérios de dimensionamento: lagoas facultativas

- Critérios empíricos ou baseados em modelos cinéticos
 - Método baseado na temperatura (Gloyna)
 - Método baseado na temperatura do ar (MacGarry e Pescod)
 - Método baseado na taxa de aplicação de carga superficial
 - Método baseado na correlação entre cargas aplicadas e removidas
 - Método baseado na taxa de remoção de substrato, em lagoa de mistura completa
 - Método baseado nos fatores de dispersão

Método baseado na temperatura do ar

- Relacionam a carga superficial máxima (λ_L , em kgDBO/ha.d) à temperatura ambiente, T_a ($^{\circ}\text{C}$)

Facultativas primárias

$$\lambda_L = 20 \times T - 60$$

Facultativas secundárias

$$\lambda_L = 14 \times T - 42$$

(Encontra-se esta equação também simplificada como $\lambda_L = 14T - 40$)

Método baseado na temperatura do ar

- Exemplo: dimensionamento da lagoa facultativa secundária após lagoa anaeróbia do exemplo anterior, com $T_{ar} = 18^{\circ}\text{C}$ no mês mais frio:

$$\lambda_L = 14 \times T - 42 = 14 \times 18 - 42 = 210 \text{ kgDBO / ha.d}$$

Considerando remoção de 50% de DBO na lagoa anaeróbia:

$$A = \frac{\text{carga de DBO}}{\lambda_L} = \frac{0,5 \times 1036,8}{210} = 2,5 \text{ ha}$$

Usando L/B = 3:

$$L \times B = 2,5 \times 10^4 \Rightarrow 3B \times B = 2,5 \times 10^4 \Rightarrow B = 91,3 \text{ m}$$

$$L = 3 \times 91,3 = 273,9 \text{ m}$$



Dimensões ao nível do
espelho d'água!

Método baseado na temperatura do ar

- Exemplo: dimensionamento da lagoa facultativa secundária após lagoa anaeróbia do exemplo anterior, com $T_{ar} = 18^{\circ}\text{C}$ no mês mais frio:

Adotando profundidade de 1,5 m, taludes com inclinação 1 V : 2 H e borda livre de 0,60 m:

Nível	L (m)	B (m)
Terreno	276,3	93,7
Espelho d'água	273,9	91,3
Meia profundidade	270,9	88,3
Fundo	267,9	85,3



Volume e TDH: $V = A_{1/2\text{prof}} \times H = 270,9 \times 88,3 \times 1,5 = 34881 \text{ m}^3$

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q_{med}} = \frac{34881}{3456} = 10,1 \text{ d}$$

Método baseado na taxa de remoção de substrato: lagoa de mistura completa

- Lagoa facultativa considerada um reator de mistura completa
- Cinética de primeira ordem para remoção de DBO:

$$\frac{dS}{dt} = K \times S$$

Lagoas facultativas primárias: $K = 0,30 \text{ a } 0,40 \text{ d}^{-1}$ (20 °C)

Lagoas facultativas secundárias: $K = 0,20 \text{ a } 0,30 \text{ d}^{-1}$ (20 °C)

- Balanço de massa com o sistema em equilíbrio contínuo:

$$\text{Entrada} - \text{saída} - \text{consumo} = 0$$

$$Q \times S_0 - Q \times S_e - K \times V \times S = 0$$

$$Q \times (S_0 - S_e) = K \times S \times V$$

$$S_0 - S_e = K \times S \times t$$

- Na mistura completa ideal, $S = S_e$

$$S_e = \frac{S_0}{K \times t + 1}$$

Em que:

S_0 = DBO afluente (mg/L)

S_e = DBO solúvel efluente (mg/L)

K = constante de degradação (d^{-1})

t = tempo de detenção hidráulica (d)

V = volume da lagoa (m³)

Q = vazão (m³/d)

Método baseado na taxa de remoção de substrato: lagoa de mistura completa

- No modelo utilizado, S_e corresponde à DBO solúvel efluente
- Entretanto, a medida que em geral se tem no monitoramento da lagoa é a DBO total
- Deve-se portanto, descontar a parcela correspondente a sólidos em suspensão, em geral devido à presença de **algas**

$$\text{DBO total} = \text{DBO solúvel} + \text{DBO particulada}$$

$$S_t = S_e + S_p$$

- Relação empírica: 0,3 a 0,4 mg DBO/L para cada 1 mg SS/L.
Portanto:

$$S_t = S_e + (0,3 \text{ a } 0,4) \times SS$$

- SS em efluentes de lagoas facultativas: 40 a 100 mg/L, em geral

Método baseado na taxa de remoção de substrato: lagoa de mistura completa

- Aplicando este método ao exemplo anterior para comparação:

Supondo lagoa facultativa de mistura completa e eficiência global de remoção de DBO de 80% (anaeróbia + facultativa):

$$\text{Efluente: } S = S_p + S_e = 0,2 \times 300 = 60 \text{ mgDBO/L}$$

Admitindo-se SS no efluente igual a 50 mg/L:

$$S_p = 0,4 \times SS = 0,4 \times 50 = 20 \text{ mg/L}$$

$$S_e = 60 - 20 = 40 \text{ mgDBO/L}$$

Para temperatura de 20 °C e K de 0,25 d⁻¹ (0,21 d⁻¹ corrigido a 18 °C):

$$S_e = \frac{S_0}{K \times t + 1} \Rightarrow 40 = \frac{0,5 \times 300}{0,21 \times t + 1} \Rightarrow t = 13 \text{ d}$$



Considerar a lagoa como mistura completa tende a superdimensionar o sistema: cinética depende da concentração de substrato, que é baixa e igual à de saída neste modelo

Método baseado nos fatores de dispersão

- É considerado fluxo tipo pistão na lagoa facultativa
- O fluxo pistão não é ideal, ocorrendo certo grau de dispersão
- Modelo de Wehner e Wilhem, para fluxo disperso e cinética de degradação de primeira ordem:

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{4 \cdot a \cdot \exp(1/2 \cdot d)}{(1+a)^2 \cdot \exp(a/2d) - (1-a)^2 \cdot \exp(-a/2d)}$$

$$a = (1 + 4 \cdot K \cdot t \cdot d)^{1/2}$$

$$d = \frac{D}{V \cdot L}$$

Em que:

d = número de dispersão

D = coeficiente de dispersão (m^2/d)

V = velocidade média do escoamento (m/d)

L = comprimento da lagoa (m)

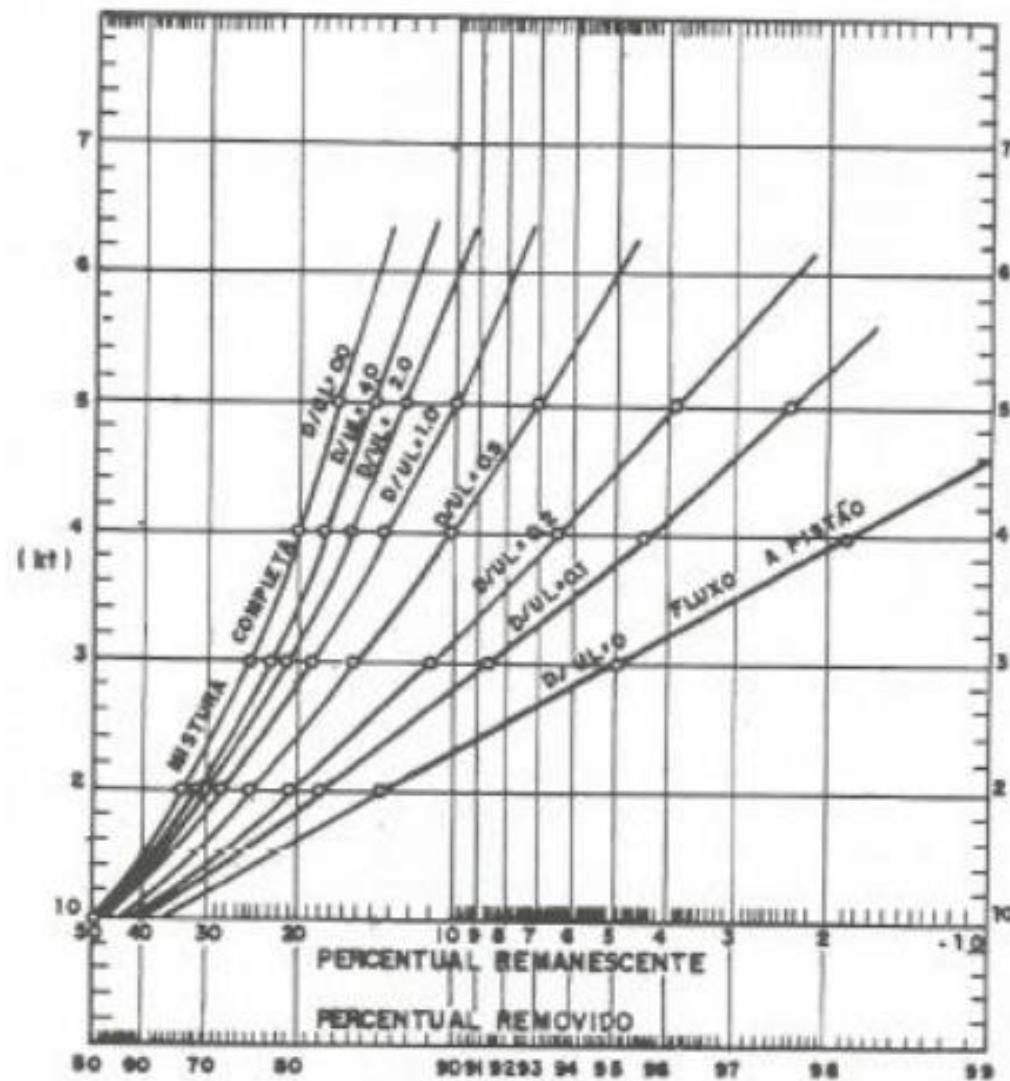
- Relação proposta por Yanez:

$$d = \frac{x}{-0,261 + 0,254 \cdot x + 1,014 \cdot x^2}$$

$$x = L / B$$

Método baseado nos fatores de dispersão

- Gráfico de Thirumurti



Com “d” e o percentual de remoção de DBO desejada, obtém-se $K \times t$ no gráfico. Com isto, é determinado o TDH e a lagoa pode ser dimensionada

Para fluxo disperso:
 $K = 0,1 \text{ a } 0,2 \text{ d}^{-1}$ (a 20 °C)

Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

Método baseado nos fatores de dispersão

- Calculando para o mesmo exemplo anterior:

Eficiência da lagoa facultativa, considerando DBO efluente solúvel:

$$E = \frac{150 - 40}{150} = 73,3\%$$

Cálculo do número de dispersão, considerando L/B = 3:

$$d = \frac{x}{-0,261 + 0,254 \cdot x + 1,014 \cdot x^2} = \frac{3}{-0,261 + 0,254 \cdot 3 + 1,014 \cdot 3^2} = 0,312$$

Entrando no gráfico de Thirumurti, interpolando as curvas de "d":

$$K \times t \cong 1,8$$

Adotando K = 0,2 d⁻¹ a 20 °C (corrigido para 0,17 a 18 °C)

$$0,17 \times t = 1,8 \Rightarrow t = 10,6 \text{ d}$$



Portanto, mais próximo do obtido pelo método baseado na temperatura do ar

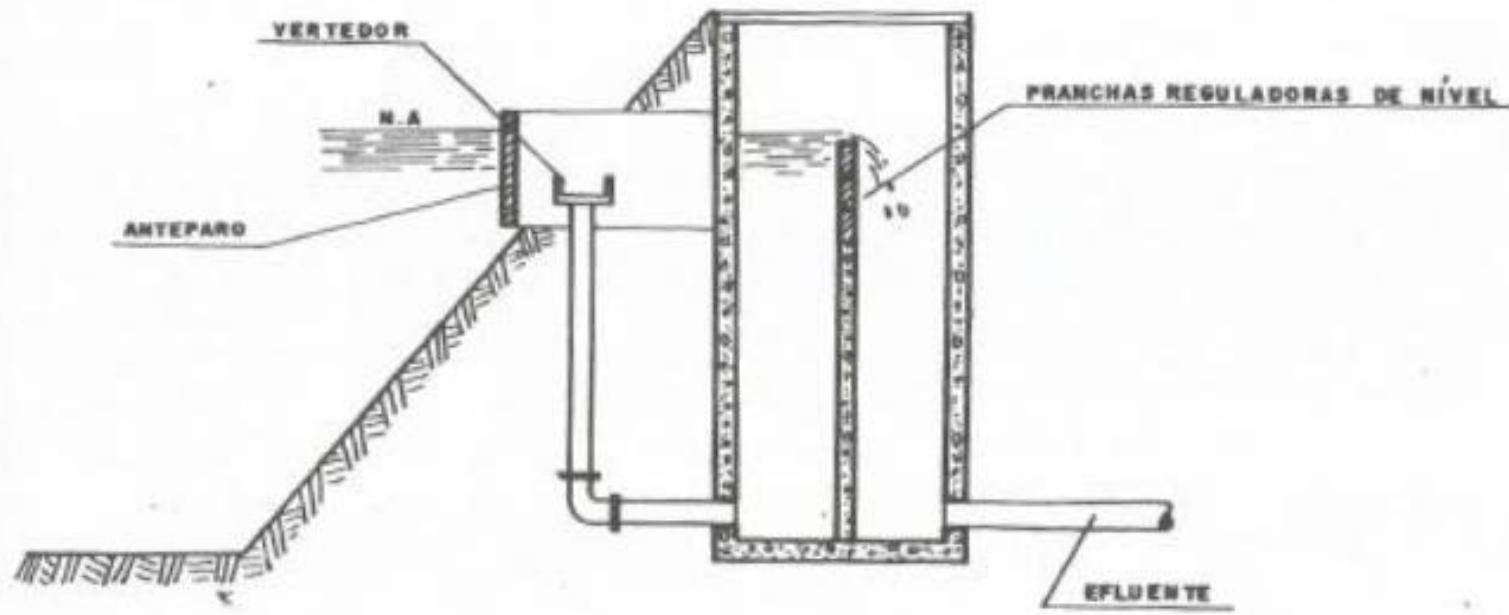
Clorofila a

- Determinação indireta para algas
- Clorofila a situa-se normalmente na faixa de 500 a 2000 µg/L
- CONAMA 357: limites para clorofila a em águas naturais:
 - 10 µg/L para águas doces de classe 1
 - 30 µg/L para águas doces de classe 2
 - 60 µg/L para águas doces de classe 3



Clorofila a

- Dispositivo de saída: retenção de algas para proteção do corpo receptor



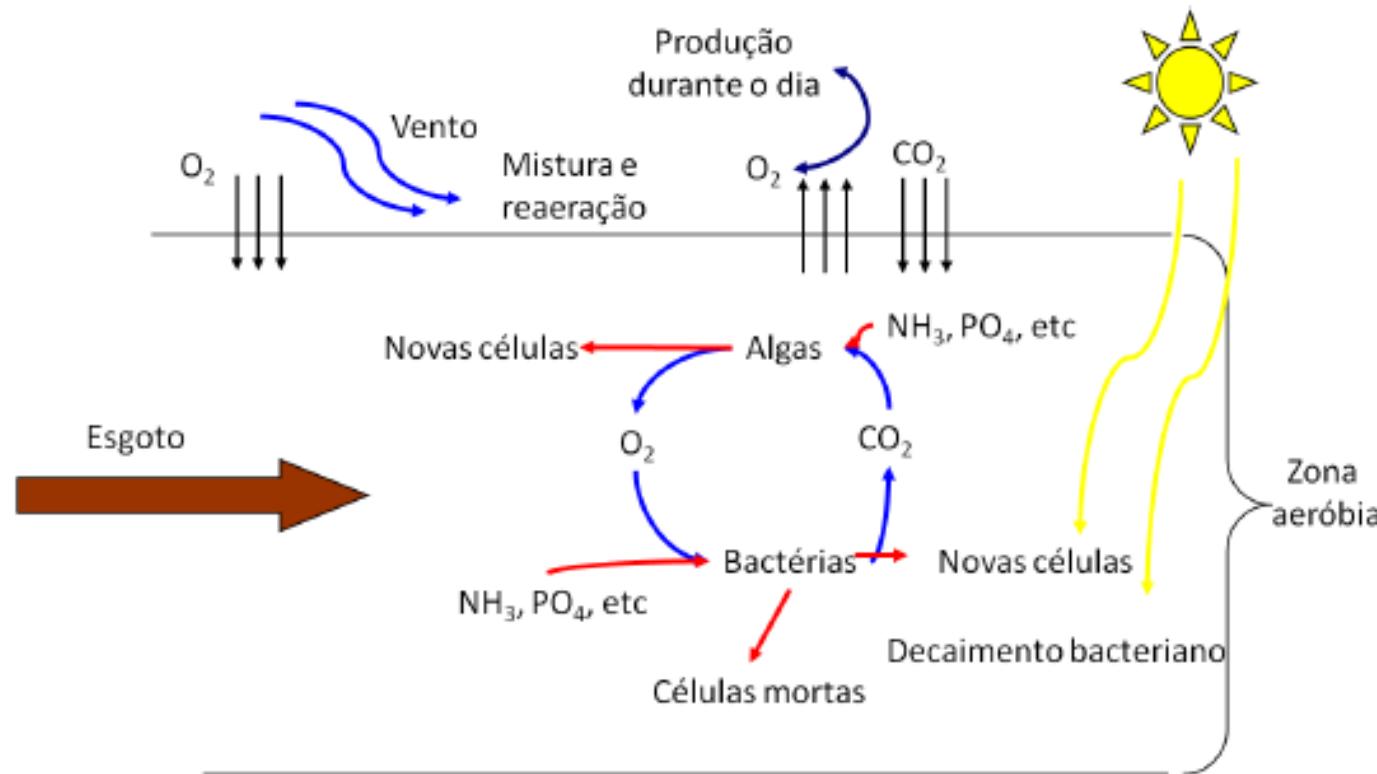
Fonte: Jordão & Pessôa (2014)

LAGOAS DE MATURAÇÃO



LAGOAS DE MATURAÇÃO

- Decaimento de coliformes por metabolismo endógeno e radiação UV
- Baixa profundidade útil para penetração dos raios solares: até 1,0 m
- TDH típico: 7 dias
- Eficiência de remoção de DBO (juntamente com lagoas anteriores): 85%
- L/B = 3 ou maior



Eficiências de desinfecção

Parâmetro	Eficiência Típica de Remoção (% ou unidades log removidas)*			
	Lagoa Facultativa	Lagoa Anaeróbia + Facultativa	Lagoa Facultativa + Maturação	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação
Coliformes	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Bactérias Patogênicas	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log
Vírus	≤ 1 log	1 log	2 – 4 log	2 – 4 log
Cistos de Protozoários	100%	100%	100%	100%
Ovos de Helmintos	100 %	100 %	100 %	100 %

1 log removido = 90%

(Von Sperling, 2003)

2 log removidos = 99%

3 log removidos = 99,9%

4 log removidos = 99,99%

...

Modelos de decaimento

- Lei de Chick:

Reator de mistura completa

$$N = \frac{N_0}{1 + K_b \cdot t}$$

Reator de fluxo disperso

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{N}{N_0} = \frac{4 \cdot a \cdot \exp(1/2 \cdot d)}{(1+a)^2 \cdot \exp(a/2d) - (1-a)^2 \cdot \exp(-a/2d)} \\ a = (1 + 4 \cdot K_b \cdot t \cdot d)^{1/2} \\ d = \frac{D}{v \cdot L} \end{array} \right.$$

N_0 =número de coliformes fecais no afluente à lagoa

N =número de coliformes fecais no efluente à lagoa

Modelos de decaimento

- Mistura completa, a 20 °C:

$K_b = 0,6$ a $1,2 \text{ d}^{-1}$ para lagoas de maturação com profundidade entre 0,8 e 1,0 m

- Fluxo disperso, a 20 °C:

H (m)	0,80	1,00	1,20	1,40
$K_b (\text{d}^{-1})$	0,72	0,54	0,43	0,35

Fonte: Adaptado de Jordão & Pessôa (2014)

- Equação de Van't Hoff- Arrhenius: neste caso, $\theta = 1,07$

$$K = K_0 \times \theta^{(T-T_0)}$$

Lagoas de maturação em série

- Lagoas em regime de mistura completa em série:

$$N = \frac{N_0}{(K_b \cdot t_1 + 1) \cdot (K_b \cdot t_2 + 1) \cdots (K_b \cdot t_n + 1)}$$

Se tiverem o mesmo TDH: $N = \frac{N_0}{(K_b \cdot t + 1)^n}$

- Lagoas em regime de fluxo disperso: cálculo para cada lagoa usando o modelo de Wehner e Wilhem:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4 \cdot a \cdot \exp(1/2 \cdot d)}{(1+a)^2 \cdot \exp(a/2d) - (1-a)^2 \cdot \exp(-a/2d)}$$

Dimensionamento: lagoas de maturação

- Continuando dos exemplos anteriores:

Com TDH = 7 d:

$$V = t \times Q_{med} = 7 \times 3456 = 24192 \text{ m}^3$$

Adotando profundidade de 0,8 m:

$$A_{1/2 prof} = \frac{24192}{0,8} = 30240 \text{ m}^2 \cong 3,0 \text{ ha}$$

Fazendo L/B = 5:

$$L \times B = 3 \times 10^4 \Rightarrow 5B \times B = 3 \times 10^4 \Rightarrow B = 77,5 \text{ m}$$

$$L = 5 \times 77,5 = 387,5 \text{ m}$$

Adotando taludes com inclinação 1 V : 2 H e borda livre de 0,60 m:

Nível	L (m)	B (m)
Terreno	391,5	81,5
Espelho d'água	389,1	79,1
Meia profundidade	387,5	77,5
Fundo	385,9	75,9



Dimensionamento: lagoas de maturação

- Se forem implantadas 3 lagoas de maturação idênticas em série, e o efluente da lagoa facultativa tiver o valor típico de concentração de coliformes fecais de 10^6 NMP/100 mL, qual será a qualidade do efluente final em termos de coliformes?
- Lagoas consideradas de mistura completa:

Usando $K_b = 1,2 \text{ d}^{-1}$ a 20°C ($1,05 \text{ d}^{-1}$ a 18°C):

$$N = \frac{N_0}{(K_b \cdot t + 1)^n} = \frac{10^6}{(1,05 \times 7 + 1)^3} = 1718 \text{ NMP / 100 mL}$$

Dimensionamento: lagoas de maturação

- Lagoas consideradas de fluxo disperso:

Usando $K_b = 0,72 \text{ d}^{-1}$ a 20°C ($0,62 \text{ d}^{-1}$ a 18°C)

Cálculo de d :

$$d = \frac{x}{-0,261 + 0,254 \cdot x + 1,014 \cdot x^2} = \frac{5}{-0,261 + 0,254 \cdot 5 + 1,014 \cdot 5^2} = 0,19$$

Cálculo de a :

$$a = (1 + 4 \cdot K_b \cdot t \cdot d)^{1/2} = (1 + 4 \cdot 0,62 \cdot 7 \cdot 0,19)^{1/2} = 2,07$$

Modelo de Wehner e Wilhem:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4 \cdot 2,07 \cdot \exp(1/2 \cdot 0,19)}{(1+2,07)^2 \cdot \exp(2,07/2 \cdot 0,19) - (1-2,07)^2 \cdot \exp(-2,07/2 \cdot 0,19)} = 0,053$$

1ª lagoa: $\frac{N_1}{N_0} = 0,053 \Rightarrow \frac{N_1}{10^6} = 0,053 \Rightarrow N_1 = 53000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$

2ª lagoa: $\frac{N_2}{N_1} = 0,053 \Rightarrow \frac{N_2}{53000} = 0,053 \Rightarrow N_2 = 2089 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$

3ª lagoa: $\frac{N_3}{N_2} = 0,053 \Rightarrow \frac{N_3}{2089} = 0,053 \Rightarrow N_3 = 149 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$

Geração de lodo em lagoas de estabilização

Parâmetro de Projeto	Tipo de Lagoas			
	Anaeróbias	Facultativas Primárias	Facultativas Secundárias	Maturação
Taxa de acúmulo de lodo ($m^3/hab.\cdot ano$)	0,02 – 0,10	0,03 – 0,09	0,03 – 0,05	-
Intervalo de remoção (anos)	< 7	> 15	> 20	> 20
Concentração de sólidos totais no lodo (% ST)*	> 10 %	> 10 %	> 10 %	> 10 %
Relação SV / ST	< 50 %	< 50 %	< 50 %	< 50 %
Concentração de coliformes no lodo (CF/gST)	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^4$
Concentração de ovos de helmintos no lodo (ovos/gST)	$10^1 - 10^3$	$10^1 - 10^3$	$10^1 - 10^3$	$10^1 - 10^3$

(Von Sperling, 2003)