

Opções para tratamento de efluentes de pequenas comunidades

ARQUIVO TECNICO

5300
G212o
031827
ex.5



00277

031827



C. E. S. B. - COL. DE AGRICULTURA DE SÃO CARLOS - SÃO CARLOS
BIBLIOTECA - F. DE EN. Lucas Rogério Gomes
v. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Funchal
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
Série Manuais – ISSN 0103-2623

© 1988, CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Setor de Biblioteca da CETESB)

G231o

Gasi, Tânia Mara Tavares

Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades / Coordenação geral Tânia Mara Tavares Gasi ; Ben Hur Luttembarck Batalha ... et al. - São Paulo : CETESB, 1988.

36 p. : il. ; 21 cm. – (Série Manuais / Secretaria do Meio Ambiente, ISSN 0103-2623)

1. Esgotos – tratamento 2. Municípios – tratamento de esgotos I. Batalha, Ben Hur Luttembarck. II. Kawai, Hideo. III. Meiches, Luiz Alberto Maktas. IV. Título. V. Série.

CDU (2.ed. Med. Port.) 628.315 (1-21)

CDD (18.ed.) 628.3

O presente volume foi recolhido à Biblioteca Nacional,
em cumprimento à Legislação do Depósito Legal.



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA, R. Dr. Lucas Rogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Morais Junior, 845 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades

Tânia Mara Tavares Gasi

Coordenação Geral

Eng^o Ben Hur Luttenbarck Batalha

Limnól. Hideo Kawai

Eng^o Luiz Alberto Maktas Meiches

Eng^o Marco Antonio Gunther

Eng^o Marcos Eduardo de Souza

Eng^o Raimundo Alves de Lima Filho

Quím. Sonia Maria Manso Vieira

Eng^o Valter Alves de Moraes

Eng^o Vito Marcello Grieco

SÃO PAULO

1988

Produção Editorial

Planejamento Gráfico

Roberto Poletto

Arte-Final

José Aparecido da Silva

Kazuo Sato

Composição

Alcir Rodrigues de Oliveira

Solange Medeiros Miranda

Diagramação

Joaz dos Santos Yamamoto

Ilustração

Benedito Nivaldo Coutinho de Abreu

Revisão

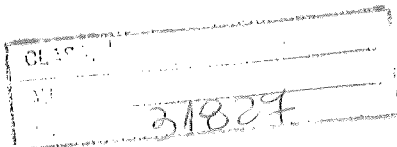
Julietta Penteadó

Marta C. Santos

Paula S. Tiné

Fotolitos e Impressão

Setor de Gráfica da CETESB



5300

62120

031827

EX. 5

Impresso em dezembro de 1994

Tiragem: 500 exemplares

Distribuição: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

Tel.: 210-1100 - 05489-900 - São Paulo - SP - Brasil

Apresentação

O presente trabalho constitui um manual destinado a levar ao administrador municipal, sobretudo o de pequenos municípios, para sua opção, as inúmeras alternativas de tratamento de esgotos sanitários tecnicamente dominadas.

Dois razões levam a CETESB a promover esse tipo de divulgação, a saber:

a) demonstrar a existência de inúmeras soluções que, fugindo ao que se convencionou chamar de tradicional, são, entretanto, mais compatíveis com o nosso ambiente, as nossas condições sócio-econômicas e com aquilo que se poderia denominar de nossa índole. Na verdade, chama-se de tradicional uma tecnologia geralmente importada de países de características climáticas diversas, com problemas diversos e índole diversa da nossa. As nossas reais tradições surgem, ao contrário, de realidades físicas e sociais de país tropical, com grandes espaços disponíveis e condições que favorecem a atividade biológica, agrícola e pecuária durante todo o ano, raízes fundamentais de uma cultura própria, necessariamente diferente da cultura de países do hemisfério norte. E não há nenhum paradoxo em afirmar-se que o destino que cada povo dá aos seus resíduos deve estar relacionado, ou mesmo fazer parte integrante da sua própria cultura, uma vez que esta é obrigatoriamente resultante das peculiaridades de cada meio ambiente;

b) desestimular a idéia da existência de panacéias ou soluções milagrosas que possam resolver todos os problemas. Além de uma índole geral brasileira ou tropical, há uma índole particular de cada região, caracterizada pela sua topografia, suas atividades predominantes, características de seus solos e águas e outros fatores determinantes da solução a ser adotada. No fundo, o tratamento biológico de esgotos é baseado em processos naturais, o que quer dizer que variam com a natureza de cada lugar. É preciso tirar partido das potencialidades biológicas de cada região fazendo uso de sua real capacidade de assimilar, de forma benigna, os componentes orgânicos e minerais dos resíduos que lançamos fora. Dessa forma, esses resíduos, de indesejáveis, podem passar a úteis, seja na forma de fertilizante, de gás combustível, ou simplesmente de água.

Não se pretende, com esse pequeno texto, habilitar o administrador municipal a projetar e construir integralmente seu próprio sistema de tratamento; para isso, seriam necessárias informações adicionais que compõem a profissão altamente especializada do engenheiro sanitarista. Porém, nosso trabalho estará amplamente compensado se conseguir oferecer ao interessado as informações mínimas que lhe permitam selecionar uma alternativa ao alcance dos recursos e compatível com as características peculiares ao seu município. Além disso, a equipe da CETESB existente em sua região ou na própria sede, em São Paulo, poderá auxiliá-lo com orientação específica adicional.

Sumário

INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DOS ESGOTOS	1
FOSSAS SÉPTICAS	4
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	12
DISPOSIÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO	18
DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE	23
LAGOAS AERADAS	28
VALOS DE OXIDAÇÃO	30
SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	36

Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades

DETSO - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DOS ESGOTOS

O esgoto sanitário é formado pela reunião de despejos de diversas origens:

- esgoto doméstico: efluentes das residências provenientes dos vasos sanitários, chuveiros, cozinha etc.;
- esgotos da área comercial: produzidos por restaurantes, bares, aeroportos, teatros, hotéis, postos de gasolina etc.;
- esgotos da área institucional: basicamente iguais ao esgoto doméstico, porém gerados em escolas, hospitais, prisões, repartições públicas etc.;
- despejos industriais: apresentam uma grande variação e não serão abordados neste trabalho.

É importante conhecer os esgotos sob dois aspectos: o da quantidade e o da qualidade.

Quantidade

A quantidade de esgoto produzida por uma cidade depende, em primeiro lugar, do volume de água consumido. Quanto mais água é utilizada, mais esgoto é produzido, e o consumo de água pode ser bastante dife-

rente de uma cidade para outra. Entretanto admite-se como razoável uma faixa de uso de água de 120 l/pessoa/dia. Cerca de 60 a 80% dessa água utilizada se transforma em despejos, mas ainda existem outras contribuições para as tubulações de esgoto, como: infiltrações, águas de chuva, despejos de indústrias, águas de resfriamento etc. Assim, o volume dos esgotos pode, em certos casos, ser maior que o de consumo de água. O procedimento mais correto, sempre que possível, é medir a vazão do mesmo. Deve-se estimar o crescimento da população da cidade, para que a estação de tratamento de efluentes tenha capacidade de atender à expansão populacional; pode-se determinar o consumo de água, a contribuição de indústrias e, também, dentro dos procedimentos consagrados, avaliar a vazão do esgoto sanitário.

Qualidade

Desde que não haja significativa contribuição de despejos industriais a composição do esgoto sanitário é razoavelmente constante. Este efluente é formado por cerca de 99,9% de água pura e 0,1% de impurezas, que podem ser de natureza física, química e biológica.

Impurezas físicas

São substâncias cuja presença afeta as

características da água, independentemente de sua natureza química ou biológica. Exemplo: as partículas insolúveis, ou sólidos, alteram a transparência da água e precipitam-se na forma de lodo. Além disso, outras alterações físicas podem ocorrer devido à introdução de substâncias que causem cor, odor e também elevação da temperatura.

Impurezas químicas

Constituem-se de substâncias orgânicas e minerais solúveis. A fração orgânica de esgoto é representada por proteínas, gorduras, hidratos de carbono, fenóis e por uma série de substâncias artificiais, fabricadas pelo homem, como detergentes e defensivos agrícolas.

As substâncias minerais mais importantes são: nutrientes (nitrogênio e fósforo, em especial), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos.

Impurezas biológicas

As impurezas de natureza biológica são representadas pelos seres vivos liberados junto com os dejetos humanos: bactérias, vírus, leveduras, vermes e protozoários.

Alguns desses seres habitam normalmente o intestino humano e não prejudicam a saúde; outros podem causar doenças e são denominados organismos patogênicos.

Por que tratar os esgotos ?

A disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública. Aproximadamente cinquenta infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para a sadia por diferentes caminhos, envolvendo os excretas humanos. Os esgotos, ou excretas, podem contaminar a água, o alimento, os utensílios domésticos, as mãos, o solo ou ser transportados por moscas e baratas provocando nova infecção.

Epidemias de febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses — algumas das doenças que podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos — são responsáveis por elevados índices de mortalidade em países do terceiro mundo. As crianças são suas vítimas mais freqüentes, uma vez que a associação dessas doenças à subnutrição é, geralmente, fatal. A redução do índice de mortalidade infantil, a elevação da expectativa de vida e a redução da prevalência das verminoses que, via de regra, não são letais mas desgastam o ser humano, somente podem ser pretendidas através da correta disposição dos esgotos.

Outra importante razão para tratar os esgotos é a preservação do meio ambiente. As substâncias presentes nos esgotos exercem ação deletéria nos corpos de água; a matéria orgânica pode ocasionar a exaustão do oxigênio dissolvido com mor-

Tabela 1 - Alguns organismos patogênicos encontrados nos esgotos domésticos.

Nome	Tipo	Doença causada
Vírus de hepatite A	Vírus	Hepatite
Vírus de poliomielite	Vírus	Poliomielite
<i>Salmonella typhi</i>	Bactéria	Febre tifóide
<i>Vibrio cholerae</i>	Bactéria	Cólera
Salmonelas	Bactéria	Intoxicação alimentar
<i>Entamoeba histolytica</i>	Protozoário	Disenteria amebiana
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Verme	Ascariíase (lombriga)
<i>Schistosoma mansoni</i>	Verme	Esquistossomose

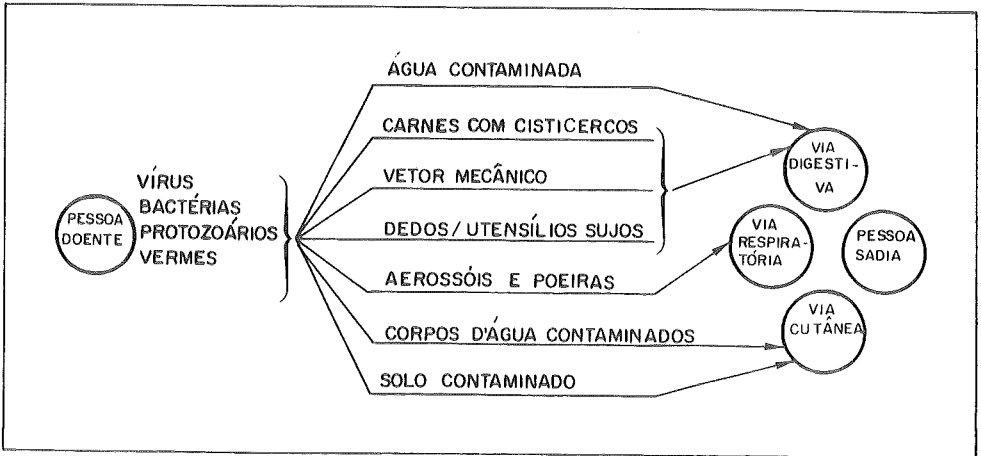


Figura 1 - Rotas de transmissão e vias de penetração de organismos patogênicos do trato intestinal.

Fonte: BORN, R.H. et alii².

te de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e aparecimento de maus odores; é possível que os detergentes presentes nos esgotos provoquem a formação de espumas em pontos de agitação da massa líquida; defensivos agrícolas determinam a morte de peixes e outros animais. Os nutrientes exercem uma forte "adubação" da água, provocando o crescimento acelerado de vegetais microscópicos que conferem odor e gosto desagradáveis.

Como tratar os esgotos ?

O objetivo do tratamento de esgotos é remover as impurezas físicas, químicas e biológicas, principalmente os organismos patogênicos. Esse tratamento pode ser classificado em função do tipo de impureza retirada e do seu grau de remoção.

Tratamento preliminar

Remove o material mais grosseiro como os sólidos suspensos: trapos, escovas de dente, tocos de cigarro, excretas; e os sólidos decantáveis como areia e gordura.

Tratamento primário

Tem como objetivo remover material

em suspensão, não grosseiro, que flutue ou decante, mas que requer o emprego de equipamentos com tempo de retenção maior que no tratamento preliminar: decantadores e flotores que produzem o lodo primário ou cru que deve ser tratado antes de sua disposição.

Tratamento secundário

O esgoto também contém sólidos dissolvidos e finos sólidos suspensos que não decantam. Estes não são removíveis apenas com a ação da força de gravidade; pode-se utilizar microrganismos que se alimentam dessa matéria orgânica suspensa ou solúvel, transformando-a em sais minerais e novos microrganismos.

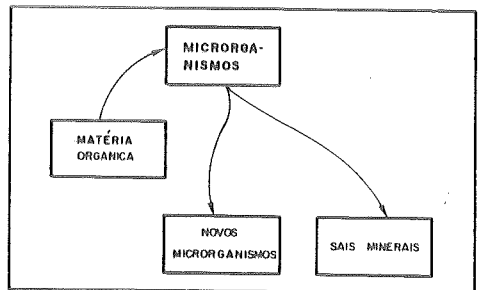


Figura 2 - Representação do uso de matéria orgânica por microrganismos.

Ocorre que esses novos microrganismos podem ser separados do líquido, formando um lodo chamado de secundário. Assim, o tratamento secundário ou biológico consegue transformar a matéria orgânica solúvel do esgoto em matéria orgânica insolúvel (microrganismos).

Os microrganismos mais importantes para o tratamento dos esgotos são as bactérias, seres microscópicos que se reproduzem em grandes velocidades. O ponto fundamental do tratamento biológico de esgotos é fornecer condições para que as bactérias sobrevivam e utilizem o esgoto da maneira mais eficiente.

Como todo ser vivo, as bactérias necessitam uma fonte de energia. Quando essa energia é obtida através da oxidação da matéria orgânica, em que é usado o oxigênio da respiração, as bactérias são ditas aeróbias. Existem bactérias que, ao contrário dos seres humanos, não precisam de oxigênio para respirar — são as anaeróbias. Ocorre, ainda, um terceiro tipo de bactérias, que têm a faculdade de utilizar o oxigênio se o mesmo estiver presente (funcionando como aeróbias) e que realizam a fermentação anaeróbia se não houver oxigênio; denominam-se bactérias facultativas.

Pode-se, então, classificar o tratamento biológico de esgotos em aeróbio, se for fornecido oxigênio ao sistema; anaeróbio, se o oxigênio estiver ausente; e facultativo se, no mesmo tratamento, existirem regiões aeróbias e anaeróbias. As bactérias facultativas, devido às suas propriedades, podem participar destes três tipos de tratamento.

O tratamento secundário gera algumas vezes um lodo que precisa ser convenientemente manuseado. Seu tratamento e disposição devem ser encarados com atenção, pois, muitas vezes, essas operações tornam-se mais complicadas e dispendiosas do que o próprio tratamento dos esgotos.

Tratamento terciário ou avançado

É utilizado quando se deseja um esgoto tratado de qualidade superior. Nesse tratamento pode-se remover nutrientes,

que normalmente não são retirados nos tratamentos anteriores, além de matéria orgânica, sólidos suspensos e patogênicos em um grau ainda maior que no tratamento secundário.

O tratamento terciário é prática usual em nações desenvolvidas, altamente industrializadas e com escassos recursos hídricos como, por exemplo, a Holanda e Israel, nos quais a adoção de sofisticadas estações de tratamento de esgotos é econômica, porque viabiliza o uso do recurso hídrico para outros fins. Nos países em desenvolvimento, entretanto, existe uma outra realidade. No terceiro mundo, de modo geral, 86% da população rural não tem sistemas de tratamento de água e 92% não possui disposição dos excretas; somente 28% da população urbana beneficia-se de abastecimento de água e 29% não usufrui qualquer tipo de saneamento.

A eficiência dos tipos de tratamento pode ser vista na Tab.2.

São apresentadas, a seguir, algumas opções de tratamento de esgotos sanitários em pequenas comunidades.

FOSSAS SÉPTICAS

São unidades destinadas a tratar o esgoto de residências ou de conjunto de residências até um máximo de 500 hab, supondo-se uma vazão de esgoto de 150 l/hab. dia. Esse tratamento, entretanto, ocorre a nível primário e o efluente da fossa ainda contém matéria orgânica, patogênicos e nutrientes, requerendo uma disposição adequada. As soluções mais recomendadas são: infiltrar o efluente no terreno, ou tratá-lo em um filtro anaeróbio de fluxo ascendente.

Nas fossas o esgoto doméstico é decantado e o lodo que permanece no fundo do tanque entra em decomposição anaeróbia sendo parcialmente digerido.

Na superfície do líquido forma-se uma camada de espuma composta pelas gorduras flutuantes, que deve ser impedida de sair da fossa com o auxílio de um anteparo. O lodo que aos poucos se acumula deve ser periodicamente removido, para ga-

Tabela 2 - Eficiência de remoção de poluentes por tipo de tratamento.

Eficiência de remoção				
Tipo de tratamento	Matéria orgânica (%remoção DBO)	Sólidos em suspensão (%re- moção SS)	Nutrientes (%remoção nu- trientes)	Bactérias (%remoção)
Preliminar	5 - 10	5 - 20	Não remove	10 - 20
Primário	25 - 50	40 - 70	Não remove	25 - 75
Secundário	80 - 95	65 - 95	Pode remover	70 - 99
Terciário	40 - 99	80 - 99	Até 99	Até 99,999

Fonte: Jordão, E.P. & Pessoa, C.A.⁴

rantir um bom funcionamento da unidade. O lodo removido é contaminado por organismos patogênicos, como vírus, bactérias, ovos de vermes e formas imaturas de vermes e protozoários; por esse motivo, é necessário dispô-lo corretamente.

As fossas sépticas encontram aplicação nas áreas desprovidas de redes de esgotos. Esse sistema requer que as residências disponham de suprimento de água. Uma de suas principais inconveniências é a falta de destinação correta do efluente e do lodo, ambos contaminados, com possível comprometimento dos lençóis freáticos e da saúde pública.

Importa salientar que os tanques sépticos precisam ser corretamente dimensionados. Deve-se verificar, para as fossas sépticas que existem à venda no mercado, o número de pessoas para o qual a fossa foi projetada, ou a vazão de esgoto que a mesma admite.

Essas unidades só funcionam adequadamente se houver remoção periódica do lodo; a limpeza da fossa pode ser executada pelo usuário ou por um serviço municipal, mas é imprescindível que seja realizada.

Existem basicamente três tipos principais de fossas sépticas:

- de câmara única;
- de câmaras em série; e
- de câmaras sobrepostas.

As fossas de câmara única e em série apresentam a mesma eficiência de remoção

de matéria orgânica, porém utiliza-se esta última quando se deseja um efluente com baixo teor de sólidos suspensos.

A fossa de câmaras sobrepostas é recomendada quando se trata de melhorar a digestão do lodo, fornecer maior flexibilidade operacional ao sistema e aumentar a eficiência de remoção da matéria orgânica.

Quando as condições do solo são favoráveis, o efluente das fossas sépticas pode ser aí infiltrado através de sumidouros ou de valas de infiltração.

Os sumidouros requerem menor área, porém oferecem maior risco de contaminação do lençol freático. Recomenda-se que sejam instalados de sorte que o seu fundo esteja, pelo menos, 1,5m acima do nível do lençol freático. Essa norma também vigora para as valas de infiltração; no entanto, como tais valas são instaladas superficialmente, pode-se aplicá-las quando o nível do lençol freático não permitir a implantação de um sumidouro. Uma das desvantagens das valas de infiltração é o fato de requerer grandes áreas.

Na impossibilidade de infiltrar o efluente da fossa devido a fatores como características do solo, nível do lençol freático, não disponibilidade de área etc., é necessário tratar esse efluente antes de lançá-lo nos corpos de água. Dentre as soluções possíveis, recomenda-se o filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Consiste de um tanque cheio de pedras ou outro material

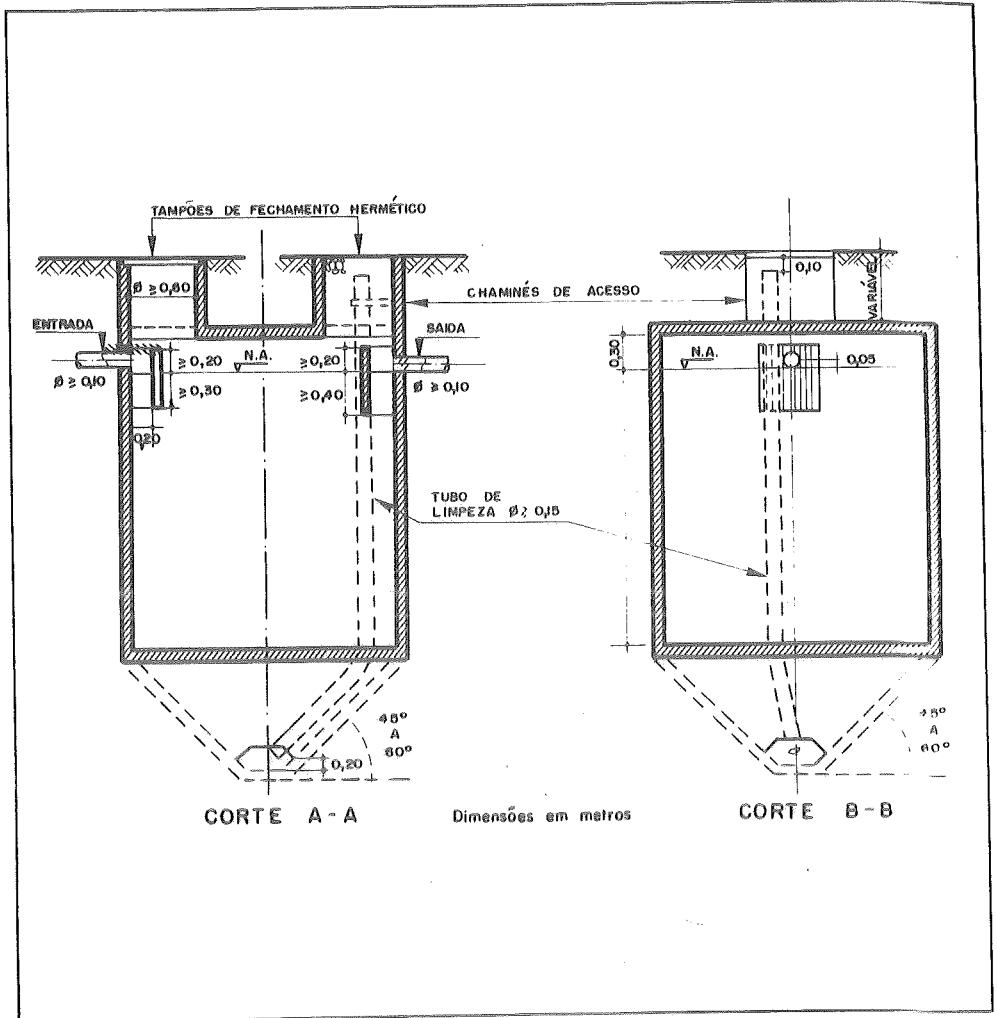


Figura 3 - Fossa séptica de forma cilíndrica de câmara única.

Fonte: NBR - 7229¹

inerte através do qual o esgoto flui, é distribuído por um prato perfurado (fundo falso) e sai pela parte superior. O tempo de retenção preconizado é de 19 horas para a vazão média.

Sobre o leito de pedras desenvolve-se uma população de microrganismos que, através do processo anaeróbio, realiza o tratamento dos esgotos. O sistema necessita cerca de três meses para entrar em opera-

ção. Deve-se remover lodo do filtro anaeróbio a cada cinco ou seis meses; o controle operacional é simples, não requerendo mão-de-obra especializada. Não são necessários equipamentos como bombas de recalque, aeradores de superfície, aquecedores e outros. Pode-se instalar o equipamento abaixo da superfície da terra, para que as variações de temperatura não afetem o filtro anaeróbio.

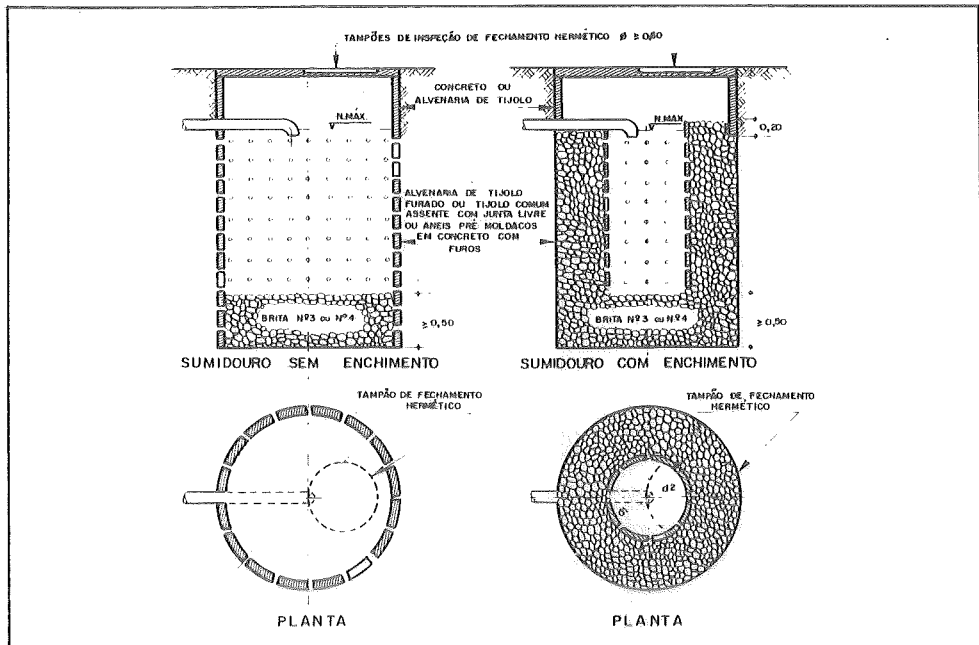


Figura 5 - Sumidouro cilíndrico.

Fonte: NBR - 7229¹

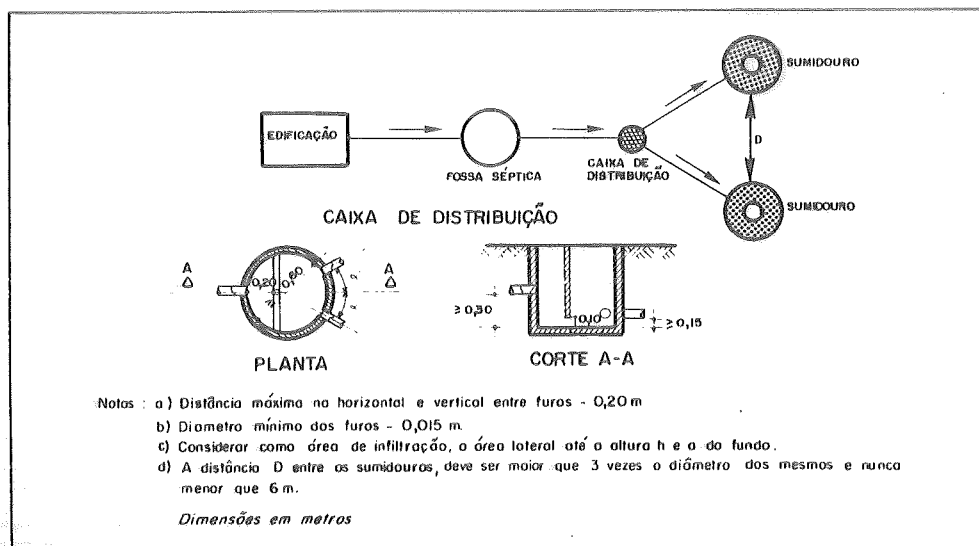


Figura 6 - Sumidouro cilíndrico.

Fonte: NBR - 7229¹

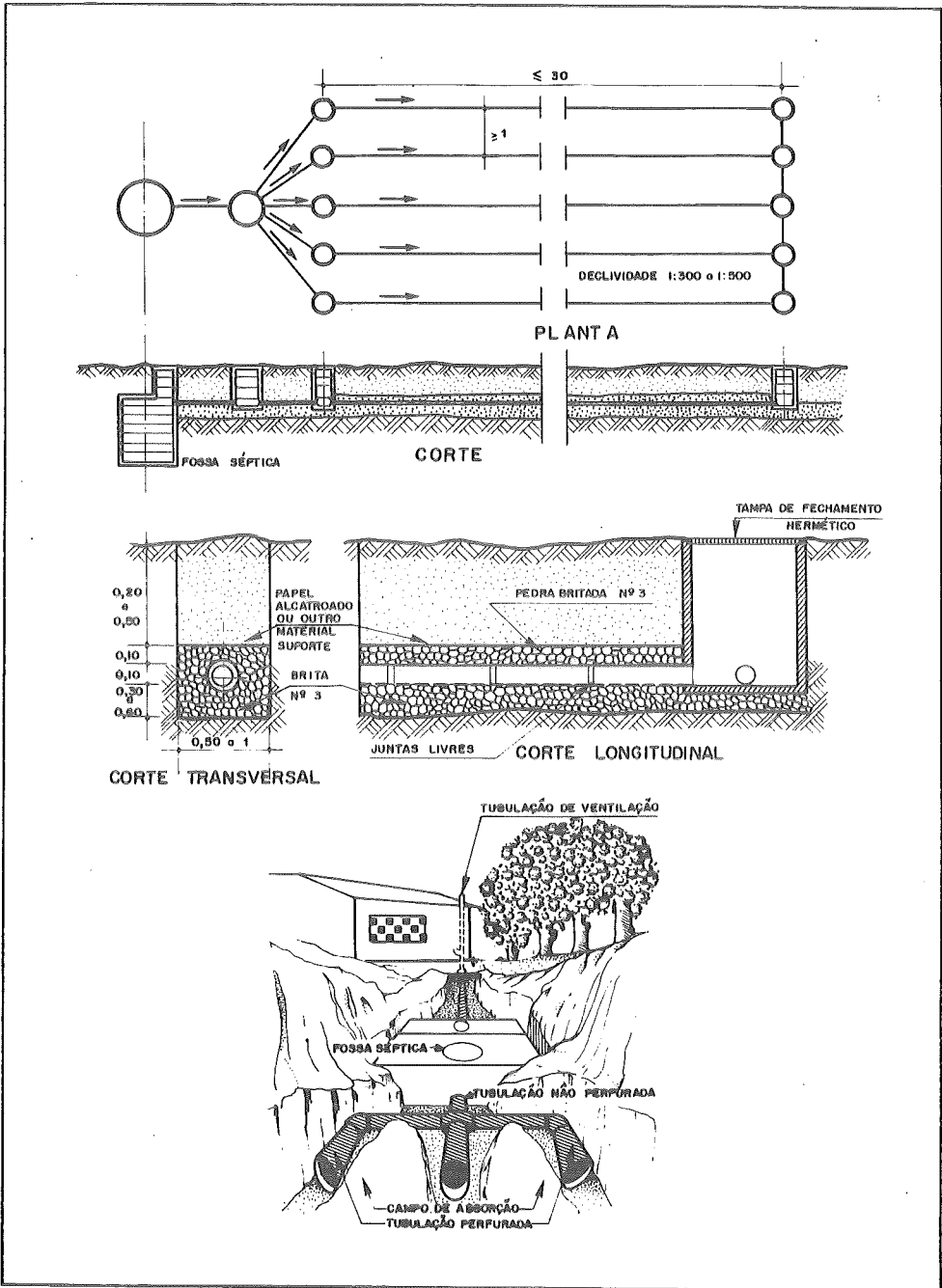


Figura 7 - Vala de infiltração.

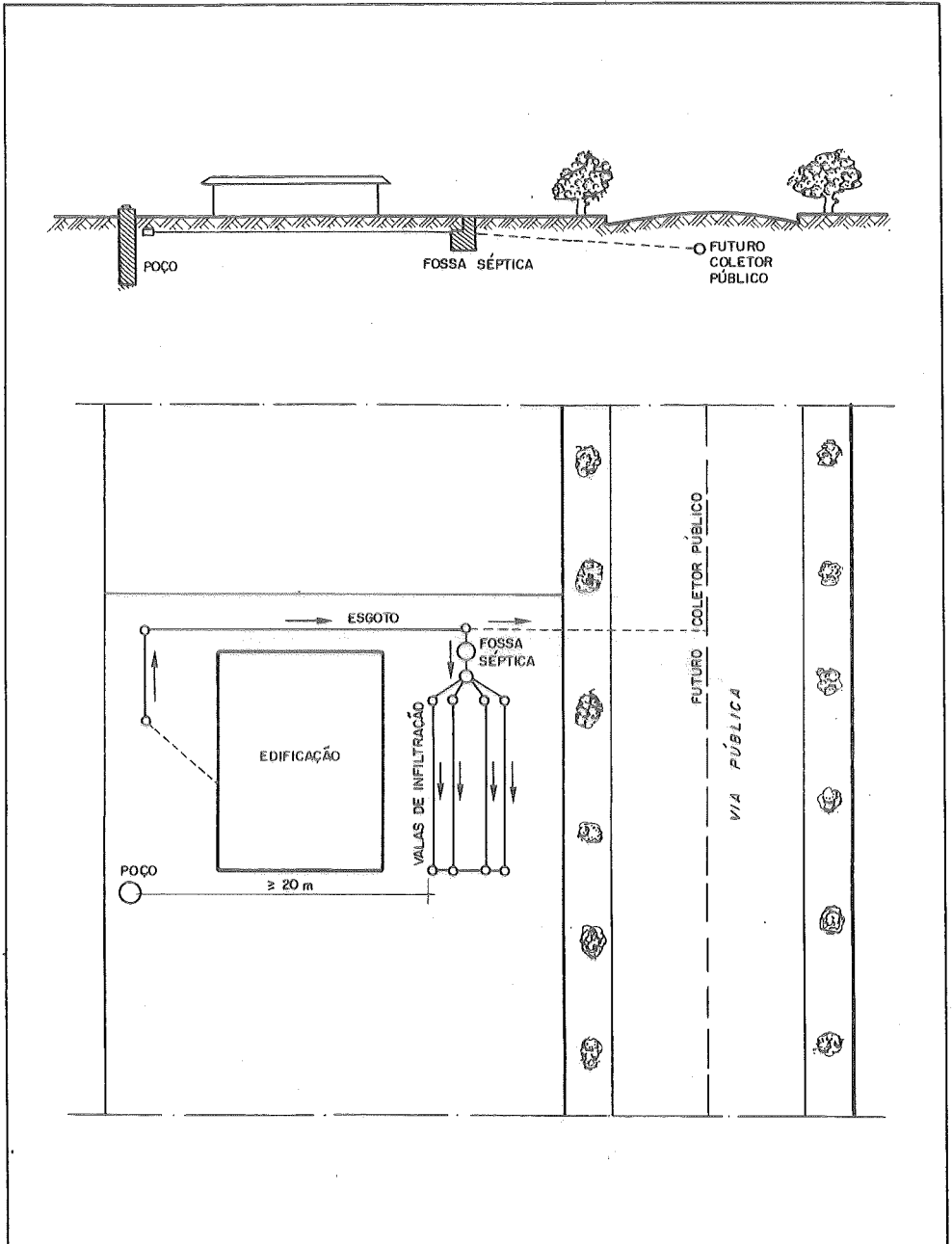


Figura 8 - Esquema de instalação de fossa séptica e valas de infiltração.

Fonte: NBR - 7229¹

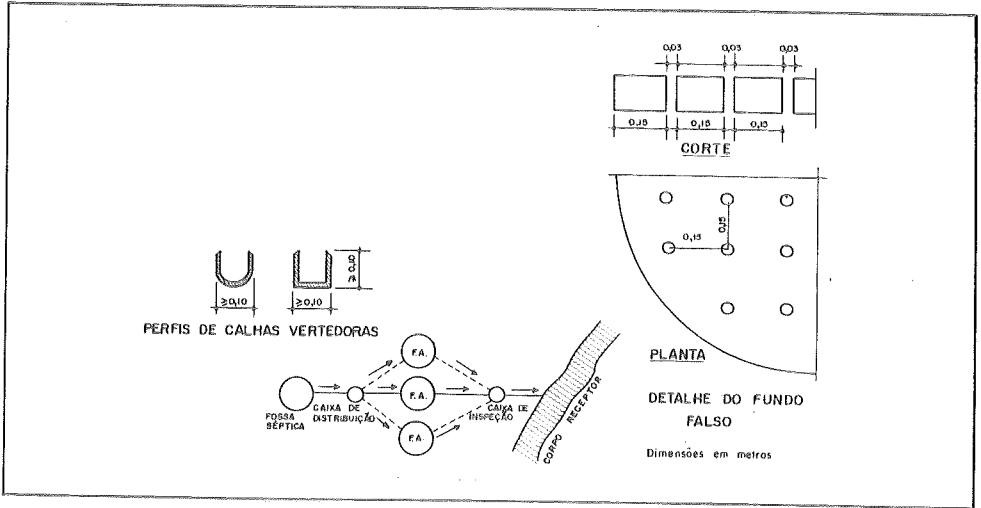


Figura 9 - Filtro anaeróbio.

Fonte: NBR - 7229¹

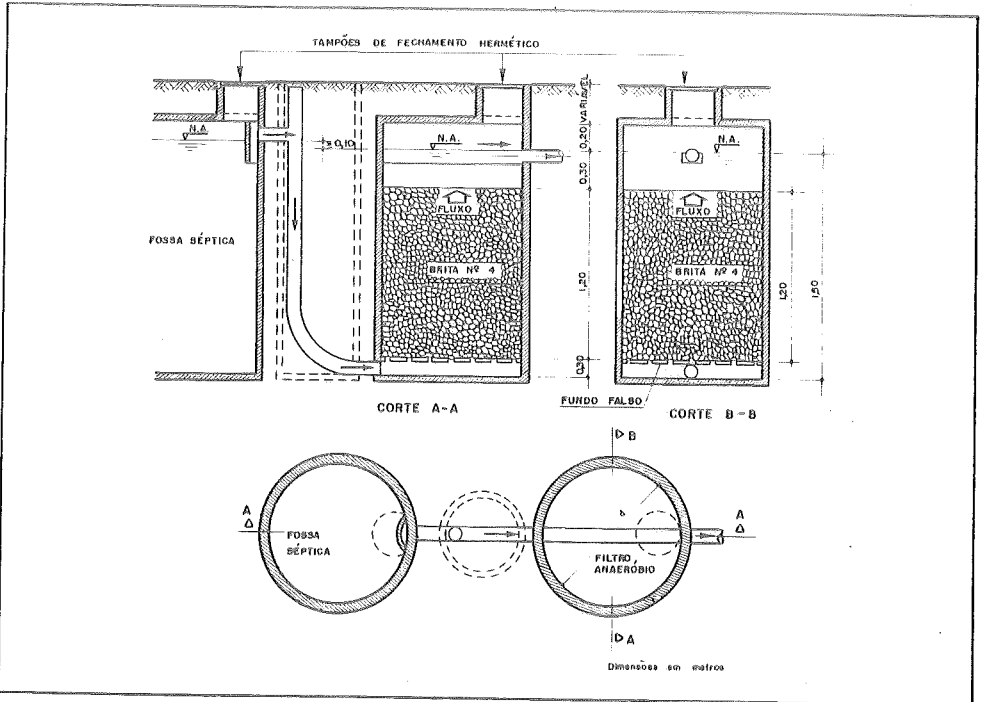


Figura 10 - Filtro anaeróbio.

Fonte: NBR - 7229¹

A Tab. 3 mostra as eficiências que podem ser esperadas dos diferentes sistemas de tratamento com fossas sépticas.

As áreas necessárias para as alternativas de tratamento são, aproximadamente, as verificadas na Tab.4.

A Tab.5 fornece possíveis faixas de variação do coeficiente de infiltração.

Tabela 3 - Eficiências de remoção de matéria orgânica para sistemas com fossas sépticas.

Sistema de tratamento	Eficiência de remoção de matéria orgânica (% de remoção de DBO)
Fossa séptica de câmara única ou de câmaras sobrepostas.	30 a 50
Fossa séptica de câmaras em série.	35 a 55
Fossa séptica + filtro anaeróbio.	75 a 95

Fonte: NBR - 7229¹

Tabela 4 - Áreas necessárias estimadas para tratamento de esgotos por sistemas com fossas sépticas.

Sistema . população: 50 hab . contribuição: 150 l/hab.dia	Área total necessária (m ²)*	Área necessária por habitante (m ² /hab)	Observações
Fossa séptica de duas câmaras em série + vala de infiltração.	3 076	6,15	Altura útil da fossa: 1,50 m Coeficiente de infiltração: 50 l/m ² .dia **
Fossa séptica de duas câmaras em série + vala de infiltração.	2 086	4,17	Altura útil da fossa: 1,50 m Coeficiente de infiltração: 75 l/m ² .dia **
Fossa séptica de duas câmaras em série + filtro anaeróbio.	129	0,26	Projetado conforme Vieira & Além Sobrinho.

(*) Não inclui área para acessórios, circulação, etc.

(**) Os coeficientes de infiltração e os tipos de solo correspondentes podem ser observados na Tab. 5.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são grandes tanques de pequena profundidade, cavados na terra, nos quais o esgoto sanitário flui continuamente e é tratado por processos naturais.

Os seres vivos que habitam as lagoas de estabilização e tratam os esgotos são constituídos por uma variedade de plantas e animais microscópicos, que coexistem no meio e dependem uns dos outros. Os mais importantes para o funcionamento das lagoas de estabilização convencionais são as bactérias e as algas.

Os sólidos decantáveis que se encontram nos esgotos sedimentam nas lagoas em forma de lodo, que é digerido por bactérias anaeróbias e facultativas, produzindo novas bactérias, gases e sais minerais. A matéria orgânica em suspensão e na forma solúvel também é estabilizada por bactérias, principalmente facultativas, com produção de gases, mais bactérias e sais minerais.

A estabilização de poluentes orgânicos na lagoa facultativa faz-se pela ação conjunta de algas, que são microvegetais aquáticos, e bactérias provenientes do próprio esgoto. As algas, utilizando-se de sais mine-

Tabela 5 - Possíveis faixas de variação do coeficiente de infiltração.

Faixa	Constituição provável dos solos	Coefficiente de infiltração $l/m^2 \cdot dia$
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando até rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada.	Menor que 2
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compactas, variando até argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando até 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 até solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando até areia grossa com cascalhos.	Maior que 90

Nota : 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.

Fonte: NBR - 7229¹

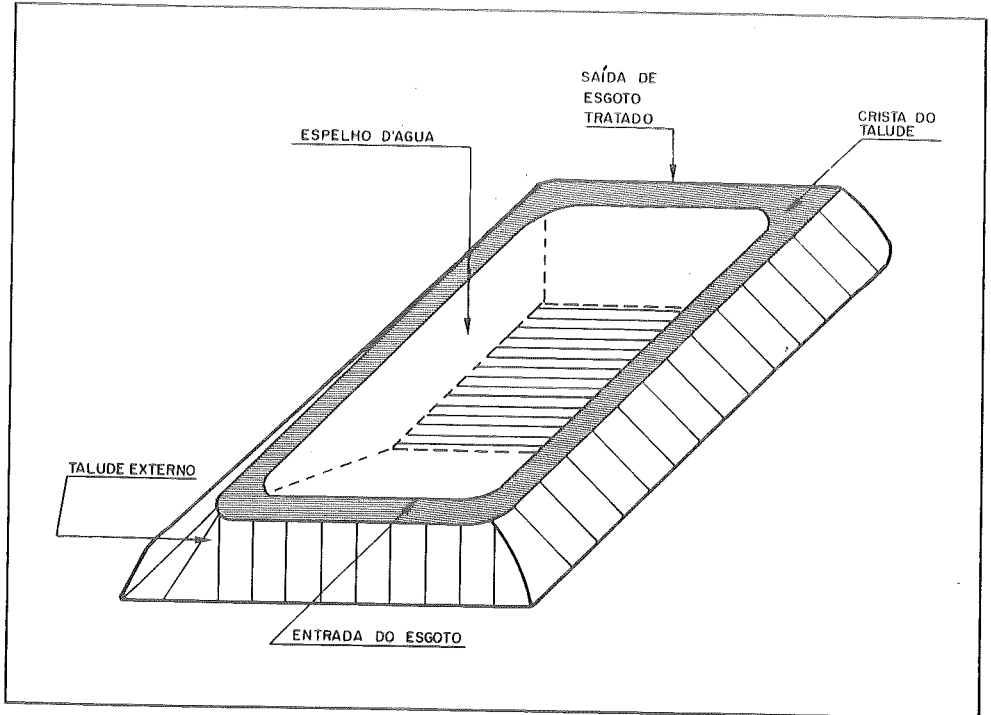


Figura 11 - Lagoa de estabilização.

rais contidos no esgoto e de luz solar, realizam a fotossíntese, produzindo oxigênio que fica dissolvido na água. Por esse motivo as lagoas em que o oxigênio é produzido por algas (em lugar de aeração mecânica, como será visto no capítulo sobre lagoas aeradas) também denominam-se lagoas de fotossíntese. As bactérias executam a decomposição dos poluentes orgânicos, aproveitando o oxigênio produzido pelas algas. Não havendo mistura da massa líquida promovida pela ação do vento, a camada de produção de algas é limitada a uma faixa de 10 a 20 cm de profundidade, devido à alta turbidez, que impede a penetração da luz na água.

Porém, dependendo do nível de circulação da massa de água, por ação do vento, as partículas de algas podem ser distribuídas em toda a profundidade da lagoa, mantendo-se condições aeróbias em boa parte dessa camada, principalmente no período diurno.

As lagoas são classificadas, conforme o processo biológico que nelas ocorre em:

Anaeróbias

Recebem mais esgotos por área que os

outros tipos de lagoas. Nelas ocorrem simultaneamente os processos de sedimentação e digestão anaeróbia, não havendo oxigênio dissolvido. No fundo permanece um depósito de lodo e na superfície formam-se bolhas de gás resultantes da fermentação do mesmo. Essas lagoas reduzem a carga de matéria orgânica no mínimo pela metade e, dependendo do nível de tratamento desejável, pode ser necessária a instalação de uma lagoa facultativa em seqüência. Não devem apresentar problemas de odor forte, mas, por precaução, aconselha-se a instalação a pelo menos 200 m de áreas residenciais.

Sua principal finalidade é ser usada em conjunto com outras lagoas para reduzir a área de tratamento.

Aeróbias

Projetadas de maneira a existir oxigênio dissolvido em toda massa líquida, havendo, por isso, apenas o processo aeróbio. Em comparação com os outros tipos, ocupam áreas relativamente maiores que as lagoas de estabilização; por isso são pouco utilizadas.

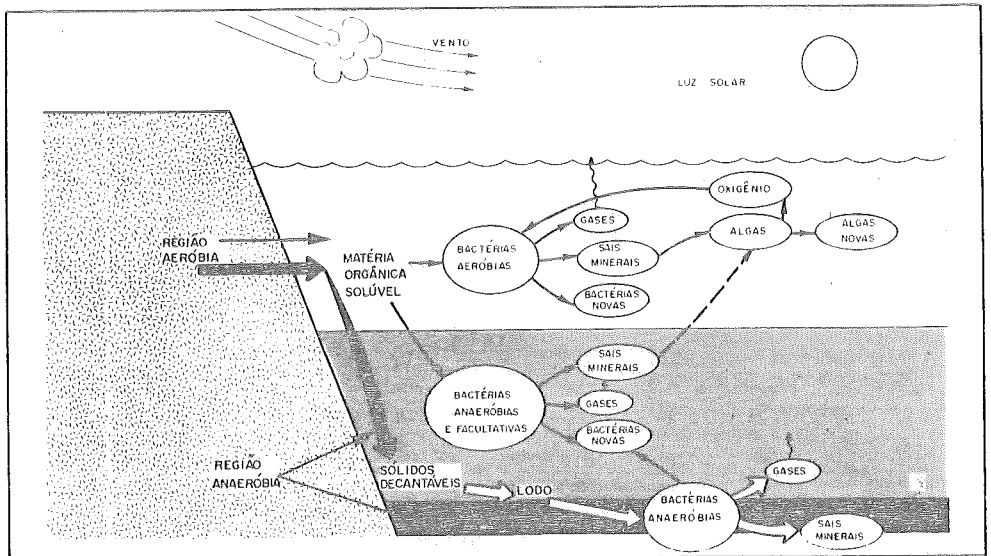


Figura 12 - Esquema dos processos que ocorrem em uma lagoa de estabilização.

Facultativas

Operam em condições intermediárias entre as aeróbias e anaeróbias, coexistindo os processos encontrados em ambas. O princípio de funcionamento já foi descrito anteriormente.

Maturação

Lagoas usadas após o tratamento secundário dos esgotos, realizado em lagoas ou não, com o propósito de melhorar a qualidade do efluente. Removem organismos patogênicos, sólidos em suspensão e nutrientes. A remoção adicional de matéria orgânica é muito pequena.

Aeradas

O oxigênio a ser utilizado no processo biológico é introduzido mecanicamente, não sendo fornecido por algas. Este assunto é abordado no Capítulo 6.

O tratamento de esgotos através das lagoas de estabilização apresenta as seguintes vantagens:

— é uma forma de tratamento eficiente;

- reduz a matéria orgânica semelhante às estações sofisticadas e remove mais organismos patogênicos que as mesmas;
- se houver área disponível a preços acessíveis e com topografia adequada, trata-se de um processo cujo custo de implantação é muito menor do que o das estações feitas em concreto e utilizando equipamentos mecânicos;
- não exige outra forma de energia, apenas a luz do sol;
- funciona bem em climas quentes, sendo indicado para a maioria das regiões climáticas brasileiras;
- é um processo satisfatoriamente estável, se receber apenas esgoto doméstico; em outras palavras, uma vez em funcionamento, as lagoas, desde que bem projetadas e convenientemente operadas, produzem a mesma eficiência;
- não produz lodo a ser disposto;
- não requer pessoal especializado para operação;

Tabela 6 - Características, nível de tratamento e remoção de contaminantes por tipo de lagoa de estabilização.

Tipo de lagoa	Características	Removem	Nível de tratamento
Aeróbia	Lagoas rasas (cerca de 0,50m de profundidade) com algas e oxigênio dissolvido em toda profundidade.	Matéria orgânica; patogênicos.	Secundário
Anaeróbia	Lagoas profundas (2,0 a 4,5m de profundidade) que recebem grande carga de matéria orgânica (1500-2500 kg DBO/ha.dia). Não têm oxigênio dissolvido. Efluente escuro. Normalmente requerem tratamento posterior (complementar).	Matéria orgânica; patogênicos.	Primário a Secundário
Facultativa	Lagoas com profundidade de 1,5 a 2,0m que possuem duas regiões: uma anaeróbia superior e uma anaeróbia inferior (uma camada de lodo permanece no fundo). Recebem carga de cerca de 250 kg DBO/ha.dia.	Matéria orgânica; patogênicos.	Secundário
Maturação	Lagoas com cerca de 1,0m de profundidade usadas após sistemas secundários de tratamento com o objetivo de melhorar o efluente.	Patogênicos; nutrientes.	Terciário

- apresenta baixíssimos custos de operação e manutenção;
- pode-se utilizar o efluente das lagoas para irrigação de algumas culturas com aproveitamento dos nutrientes.

Por outro lado, não é conveniente utilizar as lagoas nas seguintes situações:

- se o preço do terreno for muito elevado;
- em topografia muito acidentada, requerendo grande movimento de terra;
- em terreno muito permeável (arenoso) com excessiva infiltração;
- em terreno muito rochoso, que exija serviços de dinamitação; e
- em regiões muito frias, onde há congelamento de lagoa no inverno.

Quando há contribuição de despejos industriais, deve-se verificar, para cada caso, se existe inconveniente em tratar esses despejos em conjunto com os esgotos sanitários. De qualquer maneira, mesmo para esgoto exclusivamente doméstico, as la-

goas deverão ser projetadas com a assistência de um especialista. Encontra-se disponível na CETESB um manual específico para lagoas de estabilização que aborda diversos aspectos desse sistema de tratamento.

Sistemas de tratamento com lagoas

Os sistemas mais comumente utilizados no Brasil são:

- lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (sistema australiano); e
- lagoa facultativa única.

Alguns parâmetros de projeto desses sistemas podem ser vistos na Tab.7.

A Tab.8 dá uma idéia da área necessária para a implantação de lagoas.

Lagoas de aguapé

Existe uma crença generalizada de que o aguapé é eficiente para tratar esgoto doméstico. A verdade, entretanto, não é exatamente essa, como se pretende demonstrar a seguir.

Conforme foi visto anteriormente, efe-

Tabela 7 - Parâmetros de projeto e áreas necessárias por habitante no tratamento de esgotos por sistemas de lagoas.

Parâmetros de projeto	Lagoa anaeróbia (Sistema australiano)	Lagoa facultativa	Lagoa facultativa unicelular
Profundidade (m)	2,5 - 4,0	1,5 - 2,0	1,0 - 2,0
Tempo de detenção (dias)	3 - 7	15 - 20	15 - 20
Remoção de matéria orgânica (% remoção de DBO ₅)	50 - 70	70 - 90	80 - 90
Taxas de aplicação de esgotos (kg DBO/ ha.dia)	1 500 - 2 000	170	250
Área necessária (m ² /hab)	0,20 - 0,33 (1,67 - 1,80)	1,47*	2,00

(*) Considerando 50% de remoção de DBO na lagoa anaeróbia.

Tabela 8 - Áreas necessárias para tratamento de esgotos por sistemas de lagoas de estabilização.

População (número de habitantes)	Área necessária (m ²)	
	Lagoa anaeróbia + facultativa	Lagoa facultativa unicelular
1 000	2 260	2 600
1 500	3 390	3 900
2 000	4 520	5 200
2 500	5 650	6 500
3 000	6 780	7 800
3 500	7 910	9 100
4 000	9 040	10 400
4 500	10 170	11 700
5 000	11 300	13 000
10 000	22 600	26 000
15 000	33 900	39 000
20 000	45 200	52 000
50 000	113 000	130 000
Critério	1,74 m ² /hab + 30% = 2,26	2,00 m ² /hab + 30% = 2,60

Nota: adicionou-se 30% às áreas necessárias para o tratamento, no caso de áreas requeridas pelos taludes, circulação, cristas de talude, etc.

tua-se o tratamento do esgoto doméstico para remover:

- sólidos grosseiros, decantáveis ou não;
- matéria orgânica solúvel ou em suspensão;
- organismos patogênicos; e
- nutrientes.

Os sólidos grosseiros são removidos facilmente em unidades que necessitam apenas da ação de forças físicas.

Os organismos patogênicos microscópicos, especificamente as bactérias, possuem um mecanismo de remoção mais complicado, porém que não é acentuado pelo uso de aguapé em lagoas. Pelo contrário, o aguapé pode induzir a expansão de doenças, uma vez que favorece a procriação de mosquitos (que, por sua vez, transmitem, por exemplo, a febre amarela, a malária, as filaríases) e serve de abrigo a caramujos (como aquele intermediário no ciclo da esquistossomose).

Quanto à matéria orgânica, o aguapé, como todas as plantas, não a utiliza como fonte de alimento. Os vegetais verdes realizam a fotossíntese com produção de oxigênio, na presença da luz solar, utilizando

o gás carbônico do ar e os nutrientes absorvidos pelas raízes — é desta forma que as plantas crescem e se multiplicam. Por isso é que o aguapé não pode, como se diz, “tratar o esgoto”. Uma das coisas que realmente faz é produzir oxigênio, como as algas nas lagoas de estabilização. A diferença é que o oxigênio produzido pelas algas fica dissolvido na água e pode ser utilizado pelas bactérias; aquele produzido pelo aguapé é devolvido à atmosfera e em nada contribui para o sistema de tratamento. Na realidade, a presença da planta não deixa que a luz solar penetre na água da lagoa, prejudicando a ação das algas e diminuindo o oxigênio que seria fornecido às bactérias que são, verdadeiramente, quem trata o esgoto. Assim, a presença do aguapé reduz a eficiência do que seria uma lagoa de estabilização, razão pela qual deve ser retirado dos sistemas de lagoas.

Uma coisa que tais plantas realmente fazem é remover nutrientes da água — um dos objetivos do tratamento de esgotos. Conforme foi visto no Capítulo 1, a remoção de nutrientes significa um tratamento a nível terciário e pode ser efetuada, por

exemplo, em uma lagoa de maturação. Pode-se aumentar a eficiência dessa lagoa pela introdução de aguapé em cerca de 6 kg/ha. dia de remoção de nitrogênio e 1,1 kg/ha. dia de remoção de fósforo. Os inconvenientes, todavia, são os seguintes:

- a rápida proliferação do aguapé, que duplica sua massa a cada 15 dias, aproximadamente. Cada planta produz 40 mil plantas novas em oito meses, necessitando constante remoção da lagoa;
- a existência de sérios problemas de remoção e posterior utilização dessas plantas. Os estudos já realizados visando o aproveitamento do aguapé como composto orgânico, ração para gado, produção de carvão vegetal, gás metano etc., não revelaram vantagens econômicas;
- conforme citado anteriormente, além dos problemas básicos de remoção e disposição do aguapé, a proliferação de mosquitos e a infestação da lagoa por vetores de doenças (serve de apoio para os caramujos transmissores de esquistossomose).

Concluindo, a utilização do aguapé no tratamento terciário dos esgotos ainda é cercada de diversas indagações. A principal pergunta, entretanto, é a seguinte: em um país que sequer efetua tratamento secundário dos esgotos nos centros urbanos e mal os coleta na zona rural, quem realmente precisa de tratamento terciário?

Outra questão é a seguinte: a utilização posterior do aguapé produzido é problemática, não se dispondo, até o momento, de tecnologia eficiente que torne esse uso econômico. Não seria preferível, então, usar o efluente da lagoa secundária para irrigação do solo, produzindo plantas comestíveis, como arroz, milho etc., ou pastagens para criação?

DISPOSIÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO

A disposição de esgoto doméstico no solo é uma alternativa de tratamento de

baixo custo, bastante viável para pequenas comunidades localizadas na zona rural, onde há relativa facilidade de aquisição de terras para a implantação do sistema de tratamento de esgotos.

Os principais métodos empregados na aplicação de esgoto no solo são:

- irrigação (por aspersão, por sulcos e canais, por inundação);
- infiltração - percolação; e
- escoamento superficial.

As Figs. 14 e 15 apresentam esquematicamente os três métodos de disposição e os sistemas de aplicação no terreno.

Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento dos sistemas de disposição de esgoto no terreno é função de vários processos complexos desenvolvidos na estrutura do solo. Esses processos dividem-se em três grupos principais: físicos, químicos e biológicos.

A retenção de sólidos pela superfície do solo é um dos processos físicos mais importantes, sendo parte vital do sistema de tratamento de esgotos. A quantidade de partículas removidas é função do tamanho e da configuração dos poros do solo e da natureza das partículas do despejo aplicado.

A precipitação química e a adsorção são os dois principais processos químicos que ocorrem no solo. Outro fenômeno que normalmente acontece é a retenção de gases e matéria orgânica pelos constituintes do solo; é importante na depuração do esgoto, uma vez que promove a remoção de odores. Os processos biológicos podem ser aeróbios e anaeróbios.

Irrigação por aspersão

O método de irrigação por aspersão consiste em: fonte de suprimento de esgoto; unidade bombeadora (moto-bomba); sistema tubular de condução e distribuição; e sistema de aspersores que lança o esgoto para a atmosfera, de onde cai em for-

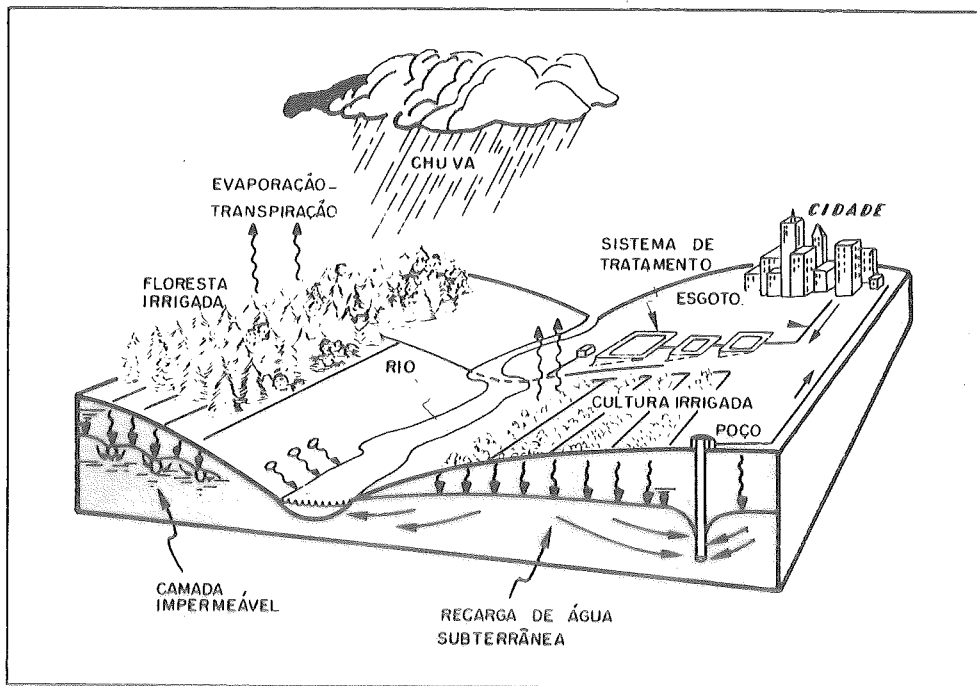


Figura 13 - Conceitos de aplicação de esgotos no solo.

Fonte: Rovira, J.M.Z.⁵

ma de chuva. Se o esgoto a ser utilizado na irrigação estiver acondicionado em reservatórios elevados, dispensa-se o conjunto moto-bomba, pois o esgoto escoará por diferença de pressão pelas linhas de distribuição, irrigando o solo de maneira adequada.

Os equipamentos utilizados podem ser fixos, semifixos ou móveis, dependendo das características do terreno. Nos equipamentos fixos e semifixos utilizam-se tubos convencionais enterrados, resultando por um lado, custo inicial relativamente elevado e, por outro, economia de mão-de-obra durante a fertirrigação do solo cultivado. Nas instalações móveis empregam-se menos tubos para implantar o sistema de irrigação; entretanto, necessita-se mais mão-de-obra para a sua operação.

O processo é adequado para irrigação de qualquer tipo de terreno com relação à sua inclinação, como os de super-

fície irregular, muito inclinada e coberta de tocos.

Quanto à cultura a ser irrigada, esse processo não pode ser empregado para fertirrigar culturas alimentícias, devido à existência de microrganismos patogênicos no esgoto que podem contaminar as plantações. Aconselha-se empregar grama ou outros tipos de gramíneas para absorver e retirar os nutrientes do esgoto. Essas gramíneas poderão servir eventualmente, e mediante cuidados especiais, como forragem para animais. É preciso ainda, prevenir-se contra o risco de disseminação de microrganismos patogênicos no meio ambiente por meio de aerossóis, ou seja, gotículas de esgoto em suspensão no ar.

O método apresenta as seguintes vantagens:

- dispensa a sistematização do terreno, ou seja, o seu preparo para o cultivo. Isto é

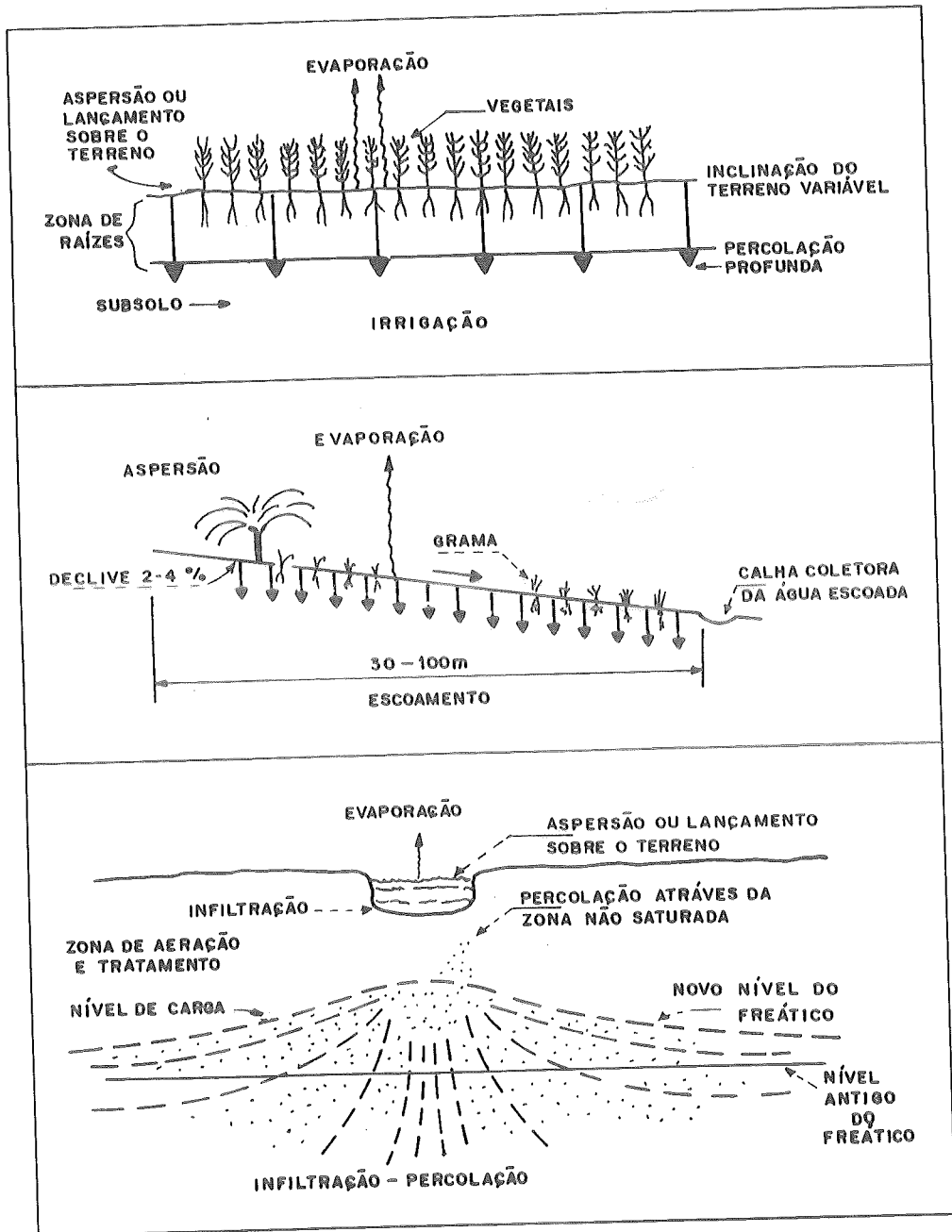


Figura 14 - Esquemas de disposição no terreno.

Fonte: Braile, P.M.³

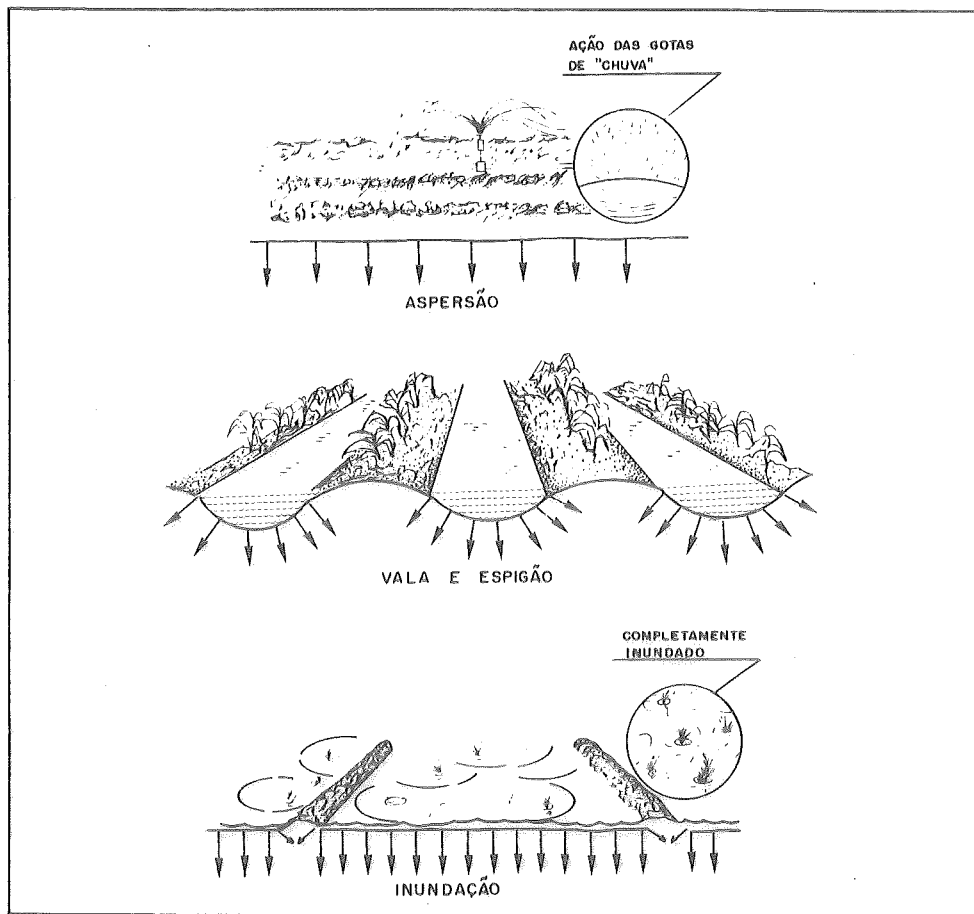


Figura 15 - Sistemas de aplicação no terreno.

Fonte: Braile, P.M.³

- importante, pois a movimentação da terra é operação bastante cara;
- o solo fica menos sujeito à erosão;
- prescinde da construção e conservação de uma rede de canais, facilitando, os trabalhos de mecanização da cultura e permitindo aproveitamento integral da área cultivada.

Como desvantagens pode-se citar:

- a formação de aerossóis;
- a exigência de motores e bombas potentes para fornecer a pressão necessária ao funcionamento dos aspersores;
- a possibilidade da distribuição do esgoto tornar-se heterogênea, em terrenos situados em regiões de ventos fortes;
- a perda apreciável do líquido (esgoto) por evaporação, em regiões muito quentes, secas e com ventos dominantes;
- a necessidade de pessoal habilitado e treinado para o seu manuseio.

Irrigação por sulcos

No método de irrigação por sulcos e canais, o esgoto doméstico é distribuído em pequenos sulcos abertos ao longo da cultura que se deseja irrigar. Normalmente, é conduzido em canais de alimentação situados nas partes mais elevadas do terreno, para posterior admissão na parte superior de cada sulco, a fim de percorrê-lo lentamente, fornecendo assim, umidade e sais nutrientes necessários ao crescimento da planta em cultivo. A declividade deve ser suave e as condições superficiais do solo, uniformes.

Solos excessivamente arenosos ou argilosos trazem dificuldades ao emprego desse método.

Solos arenosos que apresentam alta capacidade de infiltração acarretam grandes perdas por drenagem interna no próprio solo, exigindo, assim, sulcos de comprimento reduzido. Por outro lado, solos argilosos de baixa infiltração, mesmo admitindo um comprimento maior, causam grandes perdas de esgoto no final do sulco. Sendo assim, pode-se deduzir que o solo ideal é aquele que apresenta partículas argilosas e arenosas em proporções adequadas, conferindo ao mesmo uma textura média, resultando sulcos de comprimento razoável e perdas dentro de limites aceitáveis.

Esse método de aplicação tem como vantagens:

- baixo custo inicial, principalmente se o terreno não necessitar de movimentação de terra;
- grande economia de mão-de-obra na distribuição do esgoto, pois grandes áreas podem ser irrigadas e controladas por apenas uma pessoa.

Como desvantagens tem-se:

- o uso restrito a terrenos relativamente planos, havendo, ainda, limitação para alguns tipos de solo;
- possibilidade de perdas elevadas de esgoto no fim dos sulcos. Porém, essas

perdas poderão ser reduzidas desde que a técnica de aplicação condicione o sulco a comprimento, profundidade e espaçamento adequados para que a cultura tenha uma boa fertirrigação.

Nesse método, deve-se utilizar plantas e culturas cujos frutos não estejam em contato direto com a terra, a fim de evitar a sua contaminação (por exemplo: usar milho, cana-de-açúcar, pomares etc.).

Irrigação por inundação

Consiste em inundar com esgoto um terreno dividido em parcelas, por meio de dique em curvas de nível a uma determinada profundidade escolhida de acordo com a vegetação e o tipo de solo.

A aplicação de esgoto por esse método não deve ser feita em culturas comestíveis, aconselhando-se o seu emprego na fertirrigação de plantas relativamente altas e com capacidade elevada de absorção de água e nutrientes, a fim de aumentar a eficiência de depuração do esgoto aplicado (por exemplo: eucalipto).

As vantagens da irrigação por inundação são as mesmas da irrigação por sulcos. Como principais desvantagens tem-se:

- restrição do seu uso a terrenos relativamente planos;
- exigência de melhor preparo do terreno, com movimentação de terra para manter os tabuleiros com declividade constante.

Infiltração-percolação

O processo de infiltração-percolação é caracterizado pela percolação da maior parte dos esgotos que é aplicada no solo. Os solos mais apropriados são os de boa drenagem, com terreno altamente permeável, como os arenosos.

Esse processo somente deve ser utilizado em solos cuja profundidade efetiva em relação ao lençol freático varia de três a cinco metros, para evitar a contaminação das águas subterrâneas.

Trata-se de um método indicado para

irrigar apenas culturas cujos frutos não estejam em contato com o solo. É aconselhável, também, empregar grama ou capim como camada suporte auxiliar do processo de absorção dos nutrientes e da matéria orgânica do esgoto.

Escoamento superficial

O sistema de escoamento superficial sobre o terreno é aplicado em solos de baixa permeabilidade (solo argiloso) e moderadamente inclinados, onde uma quantidade excessiva de esgoto escoar pela superfície. Consiste em processo biológico no qual o esgoto aplicado na parte alta do solo percorre toda a extensão do terreno, criando condições para o desenvolvimento de uma microfauna, responsável pela remoção da matéria orgânica e retenção dos sólidos em suspensão.

Durante a percolação, uma parte do esgoto se evapora, outra se infiltra no solo e a restante é coletada em canais localizados na parte inferior do terreno.

Nesse processo, deve-se empregar, como camada suporte auxiliar no processo de tratamento do esgoto, plantas não comestíveis, ou cujos frutos não estejam diretamente em contato com o terreno (por exemplo: grama, capim, milho e outros tipos de gramíneas).

Aconselha-se aplicar o método somente em terrenos cultivados e com inclinação variando entre 2 e 4%, a fim de evitar problemas de erosão do solo e redução da eficiência do sistema de tratamento de esgoto.

Seleção do método de disposição e critérios de projeto

A seleção do método de disposição depende da avaliação de vários aspectos de engenharia, impactos agrônômicos, sociais e efeitos na saúde pública. Entre os fatores que interferem diretamente na escolha do método de aplicação sobre o terreno, destacam-se: clima, disponibilidade de área, tipo de solo, condições do lençol freático, topografia, tipo de vegetação etc..

O clima é importante fator para a de-

cisão da escolha do sistema de aplicação no solo. Parâmetros como variação de temperatura, precipitação anual, umidade e velocidade dos ventos têm efeito direto na taxa de aplicação.

Além dos aspectos ligados ao projeto, outros fatores que devem ser observados quando do uso de esgotos domésticos no solo são os possíveis efeitos negativos que alguns contaminantes podem causar à vegetação, solo, sistema aquático, águas subterrâneas e, conseqüentemente, ao homem. Devido à possível presença de organismos patogênicos na água, solo e produtos cultivados, quando se irriga com esgotos domésticos, é necessário que se estabeleçam certas normas para o seu uso.

Recomenda-se que o projeto de tais sistemas seja desenvolvido especificamente para cada caso, sob orientação de técnicos especializados.

Na Tab.9 são apresentados os principais critérios de projeto dos sistemas de aplicação de esgotos no solo.

DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE

Tradicionalmente, tem-se utilizado o processo anaeróbio para tratar os lodos produzidos nas estações de tratamento de esgotos, convertendo sua matéria orgânica em gás combustível — o metano. Para isso, a tecnologia convencional tem empregado os digestores anaeróbios com grandes tempos de retenção, que, dependendo da temperatura, da agitação etc., podem situar-se entre 15 e 60 dias.

O processo de fermentação é favorecido pelos climas de temperaturas mais elevadas, uma vez que o metabolismo das bactérias acelera-se a temperaturas próximas de 36°C na faixa mesofílica, aumentando o rendimento do processo. Na verdade, o processo anaeróbio fica praticamente paralisado abaixo de 10°C, razão pela qual os digestores sem sistema de aquecimento são mais eficientes nos climas tropicais.

Nunca se usou um digestor anaeróbio convencional para tratamento direto do esgoto doméstico, pois resultariam unida-

des de proporções proibitivas. Entretanto, a tecnologia mais moderna da digestão anaeróbia está em fase final de desenvolvimento de um novo digestor, denominado anaeróbio de fluxo ascendente. Sua característica fundamental é ter reduzido o tempo de retenção para apenas algumas horas, viabilizando tratar o esgoto sanitário nesse novo modelo de reator. Isso foi possível modificando-se o regime hidráulico, de forma a se obter maior acúmulo e atividade das bactérias presentes no digestor, que por suas características, formam um lodo granular de fácil decantação.

O digestor anaeróbio de fluxo ascendente é constituído basicamente de um tanque, em cuja parte superior são instalados um decantador (para separar os sólidos que se formam) e um defletor (para separar os gases produzidos). O esgoto é introduzido

pelo fundo e sai, já tratado, pela parte superior.

Os sólidos, ou lodo, são separados dentro do próprio reator e aí permanecem, sendo removidos periodicamente para evitar superacumulação. Os gases formados no processo denominados biogás são captados na parte superior da unidade. O tratamento do esgoto é realizado por uma grande população de microrganismos, anaeróbios e facultativos, que se concentra no lodo e transforma a matéria orgânica solúvel e insolúvel em sais minerais, novas bactérias e biogás. Assim, obtém-se nesse reator um efluente líquido praticamente isento de matéria orgânica e sólidos, além do biogás contendo cerca de 80% de metano e que pode ser utilizado como combustível, reduzindo drasticamente o custo das instalações.

Esse tipo de digestor pode, em princí-

Tabela 9 - Critérios de projeto dos sistemas de aplicação de esgotos domésticos no solo.

Fator	Irrigação	Escoamento	Infiltração
Taxa de aplicação hidráulica	1,3 a 10 cm/semana.	5 a 15 cm/semana.	10 a 30 cm/semana.
Aplicação anual	50 a 240 cm/ano.	240 a 730 cm/ano.	550 a 15 000 cm/ano.
Necessidade de área para aplicação de 1 000 m ³ /dia *	15 a 58 ha (mais área de segurança).	5 a 15 ha (mais área de segurança).	0,2 a 7 ha (mais área de segurança).
Necessidade de área em m ² /hab	22,5 a 87,0 (mais área de segurança).	7,5 a 22,5 (mais área de segurança).	0,3 a 10,5 (mais área de segurança).
Técnica de aplicação	Aspersão superficial, solos com permeabilidade moderada com boa produtividade quando irrigados.	Usualmente aspersão: levemente permeáveis, tais como solos argilosos.	Usualmente superficial: solos bastante permeáveis, tais como solos arenosos.
Probabilidade de influenciar o lençol subterrâneo.	Moderada.	Fraca.	Certa.
Profundidade necessária até o lençol de água.	Cerca de 1,5 m.	Indeterminada	Cerca de 4,5 m.
Perdas de águas residuárias	Predominantemente por evaporação e infiltração.	Descarga superficial predomina sobre evaporação e infiltração.	Infiltração para o lençol subterrâneo.

(*) Vazão equivalente a uma população de 6 670 hab com uma contribuição *per capita* de 150 l/ hab.dia.

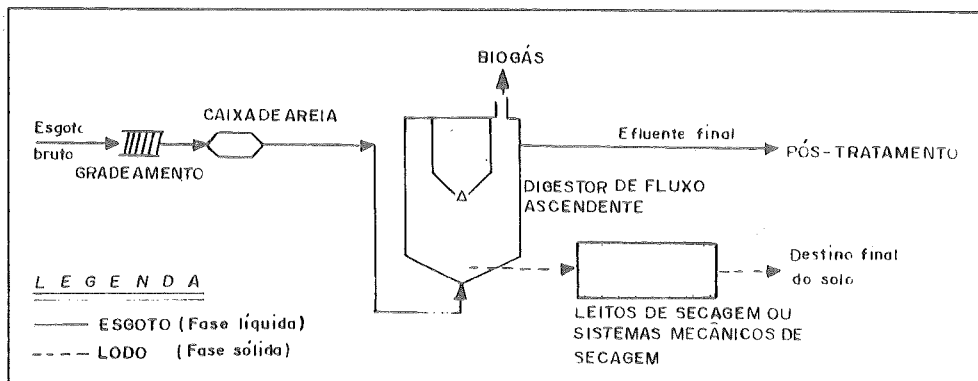


Figura 16 - Fluxograma de instalação de digestor anaeróbio de fluxo ascendente.

pio, ser empregado para populações de qualquer tamanho (de algumas centenas a alguns milhões de habitantes). Devido ao pequeno volume e área que ocupa, o sistema é indicado em situações onde não há áreas disponíveis, ou o custo das mesmas é elevado.

Para efeito de comparação com outros processos, pode-se frisar as seguintes características do digestor de fluxo ascendente:

- o sistema não exige nenhum equipamento mecânico ou elétrico; basta que o esgoto a ser tratado seja encaminhado ao tanque digestor;
- não ocorrem problemas operacionais e, conseqüentemente, não são necessários especialistas para operar o digestor; a operação do sistema é tão simples quanto a de uma fossa séptica doméstica, ou seja, basta retirar periodicamente uma parcela do lodo acumulado; apenas o período que compreende a partida do reator até o estabelecimento do regime estacionário, está em fase de estudo, necessitando ainda cuidados especiais;
- o volume do tanque e, conseqüentemente, a área necessária para a instalação são extremamente reduzidos. Desta forma, os custos de instalação são bastante pequenos;
- o tempo necessário para o tratamento dos esgotos no digestor de fluxo ascendente é de quatro a oito horas, para uma faixa de temperatura de 35 a 12°C e sem a entrada de substâncias tóxicas. Esse tempo de detenção só é comparável aos sistemas compactos que empregam aeradores mecânicos ou compressores altamente sofisticados. Para outros sistemas aeróbios, são necessárias pelo menos 24 horas e nas lagoas de estabilização, cerca de 5 a 20 dias;
- para tratamento de esgotos no digestor de fluxo ascendente é necessário apenas um tipo de tanque, ao passo que nos processos convencionais são necessários, via de regra, cinco tipos diferentes;
- o digestor ocupa uma área dezenas de vezes menor e custa o mesmo, ou menos, em relação a uma lagoa de estabilização (sem computar os custos do terreno);
- em relação a um sistema convencional de lodos ativados, o digestor ocupa uma área algumas vezes menor e custa, pelo menos, seis vezes menos;
- a qualidade do esgoto tratado pelo digestor de fluxo ascendente é quase tão boa quanto aquela obtida nos processos convencionais com aeradores ou com lagoas;
- como já foi dito, o processo anaeróbio

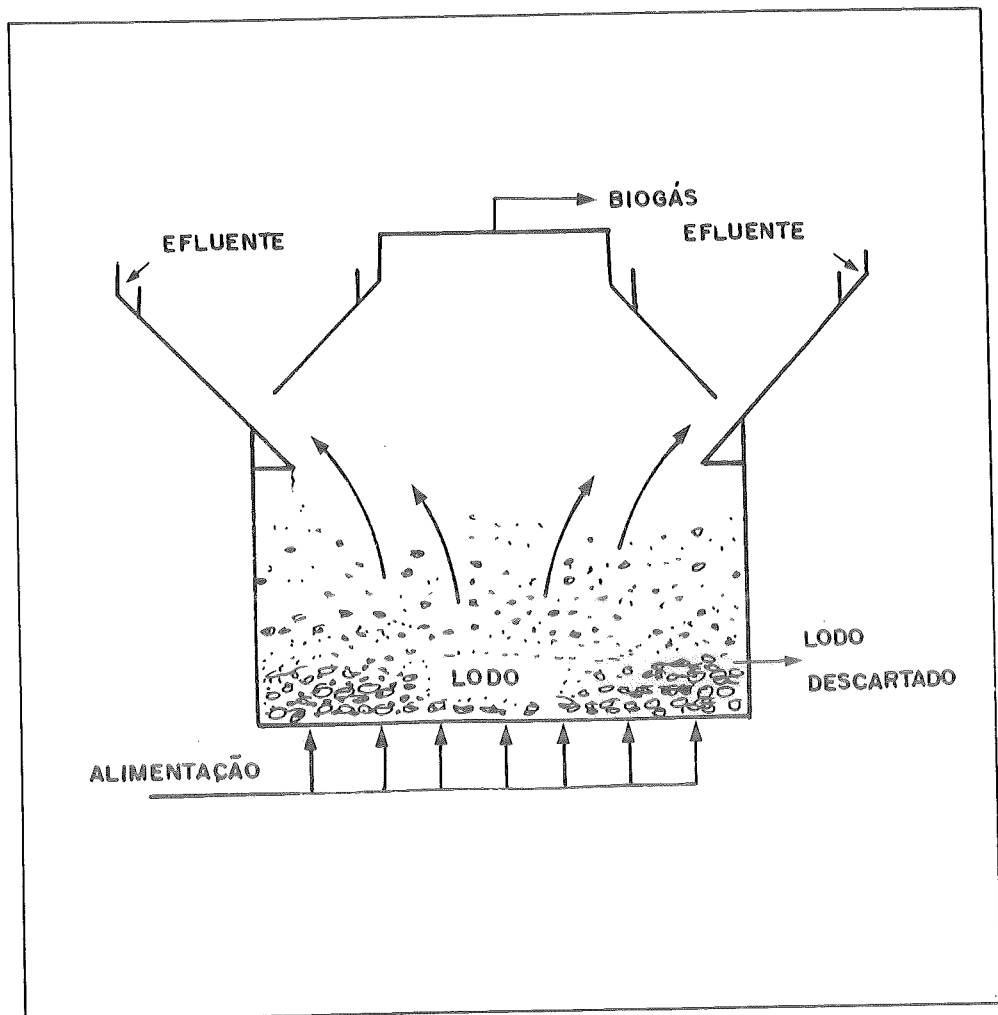


Figura 17 - Digestor anaeróbico de fluxo ascendente.

gera um importante subproduto: o biogás. Sua produção é de cerca de 14 N / gás/hab.dia, com concentração de metano de 80% e poder calorífico de 100 Kcal/hab.dia. Esse gás pode ser usado para os mais diversos fins: iluminação, uso em veículos, fogões e outros. Em um digestor anaeróbico de fluxo ascendente, o gás equivalente ao esgoto de 10 habitantes é suficiente para atender às necessidades de cocção em fogões de um habitante. Para uso em veículos,

após purificação e compressão do biogás, 1000 habitantes geram o equivalente a 10,5 / diesel/dia ou 14,0 / álcool/dia ou, ainda, 13,0 / gasolina/dia.

A área e o volume necessários para digestores de fluxo ascendente podem ser vistos nas Tabs. 10 e 11.

O lodo gerado no sistema já se encontra estabilizado e pode ser simplesmente descartado após desidratação, em locais apropriados como os aterros sanitários.

Tabela 10 - Áreas e volumes estimados requeridos no tratamento de esgotos domésticos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente.

População (hab)	Área (m ²)	Volume (m ³)
1 000	7,5	25,0
1 500	11,3	37,5
2 000	15,0	50,0
2 500	18,8	62,5
3 000	22,5	75,0
3 500	26,3	87,5
4 000	30,0	100,0
4 500	33,8	112,5
5 000	37,5	125,0
10 000	75,0	250,0
15 000	112,5	375,0
20 000	150,0	500,0
50 000	375,4	1 250,0
100 000	750,0	2 500,0
Valores <i>per capita</i>	0,0075 m ² /hab	0,0250 m ³ /hab

Nota: Para contribuição de esgotos *per capita* de 150 l/hab.dia não inclui área necessária para disposição do lodo.

Tabela 11 - Volume e área necessários para digestores anaeróbios de fluxo ascendente para 10 000 habitantes.

Contribuição <i>per capita</i> (l/hab.dia)	Área para 10 000 hab (m ²)	Volume para 10 000 hab (m ³)
120	60	200
150	75	250
200	100	330
240	120	400

Nota: Não inclui área necessária para disposição do lodo.

Os processos mais utilizados para desidratação do lodo são:

- leito de secagem;
- filtro-prensa;
- filtro a vácuo.

O leito de secagem é utilizado quando se dispõe de áreas maiores; os filtros dispensam essa exigência.

O lodo também pode ser aproveitado como fertilizante, procedendo-se à sua secagem e desinfecção, e enriquecendo-o com sais minerais.

Um processo de adequação do lodo para uso como fertilizante foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

Alguns dados técnicos de projeto para um digestor de 200 m³ podem ser vistos a seguir:

- volume útil do digestor - 200 m³
- área máxima - 60 m²
- vazão de esgoto - 50 m³/h
- tempo de detenção - 4h
- eficiência de remoção de matéria orgânica (DBO) - 70 a 80%
- produção de gases - 150 N l gás/kgDQO adicionado
- conteúdo de CH₄ nos gases - 75 a 85%
- produção de lodo - 0,15 a 0,20 kgSS/kgDQO adicionado
- população atendida - 6 000 hab para contribuição de esgotos *per capita* de 200 l/hab.dia

Quanto aos custos de instalação, pode-se verificar, mais adiante, os valores em OTN para diversas situações (com e sem elevatória, apoiado, semi ou totalmente enterrado).

Custos de instalação para um digestor de 200 m³:

- digestor semi-enterrado, com elevatória 6 500 OTN
- digestor semi-enterrado, sem elevatória 5 270 OTN
- digestor apoiado no solo sem elevatória 6 340 OTN
- digestor totalmente enterrado sem elevatória 5 600 OTN

Observação:

Incluídos o gradeamento, caixa de areia e 10% para eventuais; não incluídos os destinos finais ou aproveitamento do efluente, lodo e gás. Material: concreto.

Tabela 12: Custo de instalação *per capita* de digestor anaeróbico de fluxo ascendente.

Contribuição <i>per capita</i> (R/hab.dia)	Custo de instalação <i>per capita</i> (OTN)*	
	máximo	mínimo
120	0,66	0,53
150	0,82	0,66
200	1,09	0,88
240	1,31	1,05

(*) Calculado em janeiro de 1985.

Em locais próximos a residências, o digestor de fluxo ascendente deve ser construído totalmente fechado e o descarte do efluente pode ocorrer através de condutos fechados, para evitar o problema de odor característico dos processos anaeróbios.

Estão sendo pesquisados métodos simples e baratos para o polimento do efluente do biodigestor, visando principalmente uma remoção extra de matéria orgânica, eliminação de odores e de organismos patogênicos residuais.

LAGOAS AERADAS

Diferem das lagoas de fotossíntese pela forma como é fornecido oxigênio às bactérias. Enquanto que nestas últimas o oxigênio é produzido naturalmente pelas algas, nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido artificialmente por dispositivos mecânicos.

Como mostrado anteriormente, a principal desvantagem do uso de lagoas de estabilização diz respeito à área necessária, principalmente para grandes vazões de esgotos. Considerando que o fornecimento de oxigênio por meio artificial reduz a área requerida, conclui-se que, via de regra, as lagoas aeradas podem ser utilizadas quando a área disponível não for suficiente para o emprego de lagoas facultativas de fotossíntese.

A utilização de lagoas aeradas pode se dar:

- em série com lagoas de fotossíntese (a lagoa aerada reduz a carga afluyente à

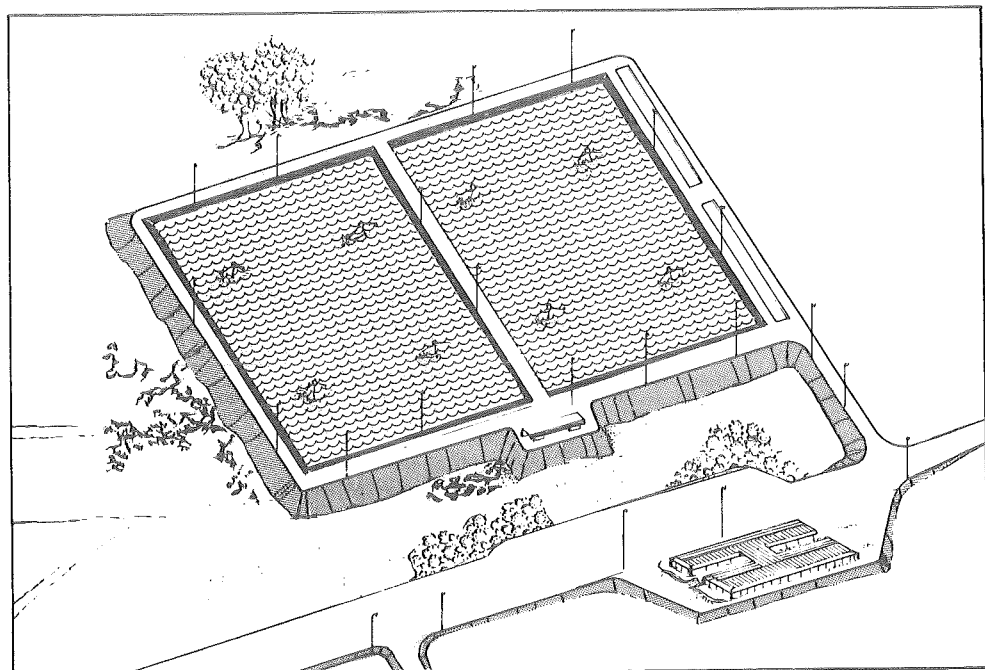
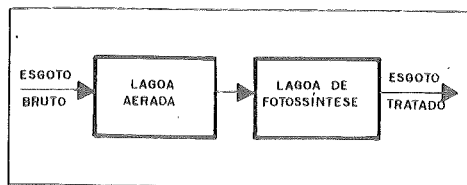
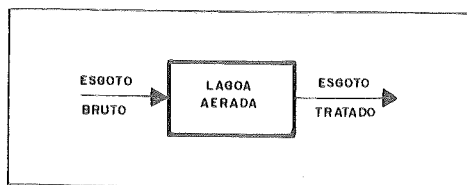


Figura 18 - Lagoa aerada.

lagoa de fotossíntese, diminuindo a área desta):



— como sistema único:



Para melhorar a eficiência do sistema, recomenda-se o uso de uma “lagoa de decantação” após a lagoa aerada, o que permite a sedimentação dos sólidos do efluente. É importante que essa lagoa de decantação tenha um tempo de detenção mínimo de um dia (o que faz sedimentar a maioria dos sólidos em suspensão) e um tempo de detenção máximo de dois dias (o que evita o crescimento de algas).

A principal vantagem desse tipo de tratamento prende-se à necessidade de áreas menores do que as das lagoas facultativas. No entanto, como desvantagens principais destacam-se a necessidade de energia elétrica para acionar os aeradores, a necessidade de manutenção dos mesmos e os elevados custos de investimento.

O desenho da Fig.19 ilustra esquematicamente uma lagoa aerada.

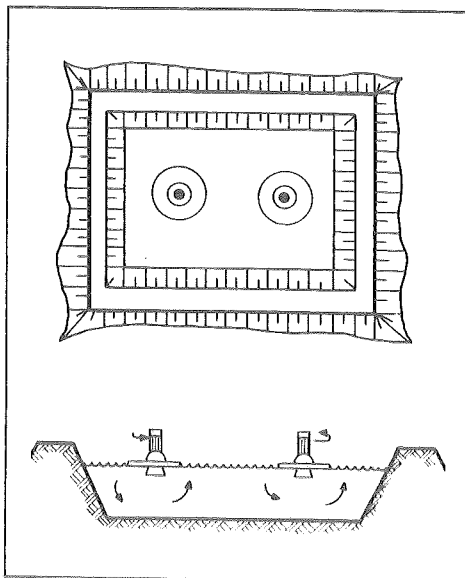


Figura 19 - Esquema de lagoa aerada.

A Tab.13 apresenta uma estimativa da área necessária para lagoas aeradas para vários valores de população contribuinte.

A eficiência na remoção de matéria orgânica do sistema (lagoa aerada + lagoa de decantação) é de, aproximadamente, 90%. O referido sistema não apresenta dificuldade operacional e os custos principais envolvidos na operação reportam-se ao consumo de energia para acionar os aeradores.

Tabela 13 - Áreas estimadas requeridas no tratamento de esgotos domésticos por lagoas aeradas.

População (hab)	Área estimada (m ²)		
	Lagoa aerada	Lagoa para sedimentação de sólidos	Total (+ 10%)
1 000	200	100	330
5 000	1 000	500	1 650
10 000	2 000	1 000	3 300
20 000	4 000	2 000	6 600
50 000	10 000	5 000	16 500

VALOS DE OXIDAÇÃO

Os valos de oxidação foram desenvolvidos na Holanda e se prestam, normalmente, para tratamento de esgotos de localidades de pequeno e médio porte e que não dispõem de grandes áreas para tratamento. O esgoto bruto, após passar por gradeamento (para remoção dos sólidos flutuantes) e desarenação (para remoção de areia), entra em um canal (valo) de pouca profundidade, onde um sistema de aeradores mecânicos aera o líquido e o mantém em circulação contínua.

Trata-se de um sistema de aeração extremamente simples, constando de um eixo horizontal, onde é acoplada uma escova de piaçaba, ripas de madeira, lâminas de material inoxidável, borracha etc. (ver detalhe na Fig. 20).

A geometria do valo tem que ser bem projetada, de modo a se evitarem problemas hidráulicos, tais como formação de zonas mortas, curto-circuitos etc..

Os valos de oxidação apresentam alta eficiência de remoção de matéria orgânica (aproximadamente 90%) com tempos de detenção hidráulica da ordem de um dia.

A profundidade do valo deve situar-se entre 1,0 e 1,5 m e o material para sua construção é, quase sempre, alvenaria.

Uma das vantagens da utilização de valo de oxidação é que, normalmente, o sistema não possui decantador primário. Após o va-

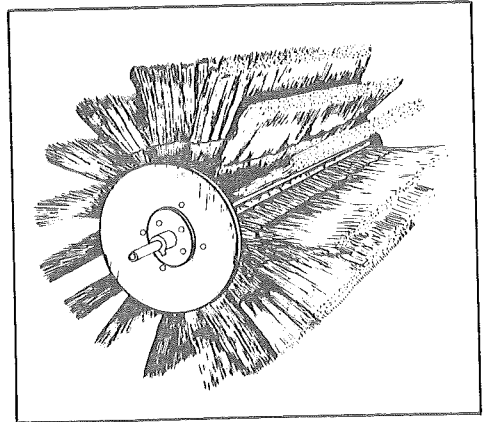


Figura 20 - Aerador de eixo horizontal.

lo de oxidação, pode haver um decantador secundário, do qual parte do lodo decantado retorna ao valo e a outra parte vai para leitos de secagem.

Dependendo da disponibilidade de área, utiliza-se uma lagoa de polimento após o valo de oxidação, o que assegura um efluente final com melhores características.

Eventualmente, o próprio valo pode ser usado como decantador, interrompendo-se periodicamente a aeração. O lodo é produzido em pequenas quantidades e já se encontra estabilizado, não necessitando de posterior digestão para ser disposto.

Com a finalidade, apenas, de estabelecer uma ordem de grandeza da área reque-

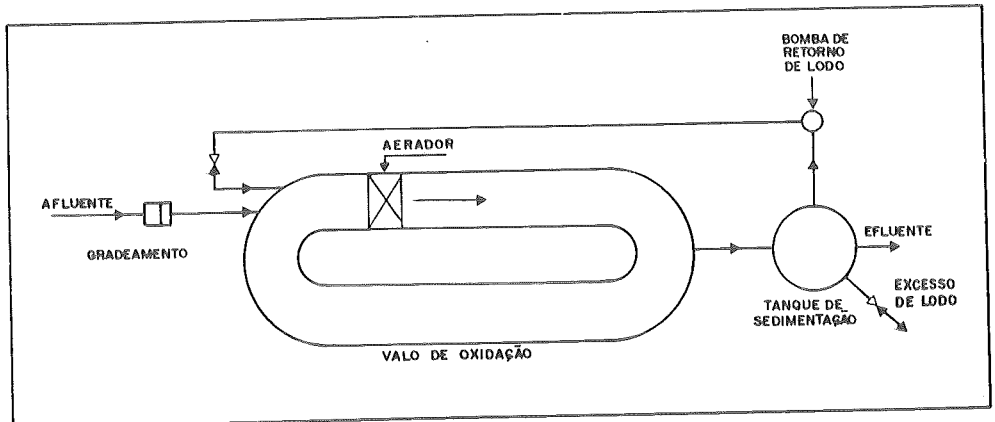


Figura 21 - Esquema de valo de oxidação e decantador secundário.

rida, a Tab.14 relaciona a população com a área total necessária.

Finalizando, é oportuno ressaltar que a operação de um valo de oxidação exige atenção constante, porém, de pessoal não especializado.

SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

Este capítulo visa apresentar alguns dados que permitam uma pré-seleção de sistemas de tratamento de esgotos para pequenas comunidades.

Foram abordados apenas os sistemas descritos neste trabalho, embora, evidentemente, existam outras alternativas de tratamento a considerar.

A Fig. 22 mostra um algoritmo de seleção de tecnologias, que permite vislumbrar os tratamentos possíveis para situações específicas. A utilização do algoritmo é exemplificada a seguir:

Exemplo:

População de 5 000 habitantes, com disponibilidade de área pouco inclinada, solo constituído por argila siltosa, sem energia elétrica, sem pessoal especializado para operação do sistema de tratamento e sem possibilidade de efetuar movimento de terra.

Tratamentos viáveis: aplicação do esgoto do solo pelos métodos de escoamento superficial e sulcos, ou digestor anaeróbio de fluxo ascendente.

Verificados os tratamentos possíveis, a Tab.15, que compara qualitativamente os sistemas em relação a alguns parâmetros, pode fornecer mais informações quanto à eficiência, geração de lodo, custos de implantação e operação etc..

Finalmente, a Fig.23 permite visualizar, comparativamente, o tamanho da área requerida pelos diversos sistemas apresentados.

Tabela 14 - Áreas aproximadas requeridas no tratamento de esgotos por valos de oxidação.

Áreas aproximadas (m ²)				
População (hab)	Aeração(1)	Decantação(2)	Leitos de secagem (3)	Total (+ 10%)
1 000	70	10	100	200
5 000	360	30	500	1 000
10 000	650	65	1 000	2 000
20 000	1 330	130	2 000	4 000
50 000	3 330	300	5 000	10 000

- (1) Área estimada com base na carga volumétrica de 50 kg DBO/dia/100 m³ e profundidade de 1,5 m.
- (2) Área estimada com base na taxa de aplicação de 25 m³/m²/dia.
- (3) Área estimada com base na taxa de 0,10 m²/hab.

Tabela 15 - Comparação entre algumas opções de tratamento de esgotos para pequenas comunidades.

Características	Fossa séptica + sumidouro	Fossa séptica + vaia de infiltração	Fossa séptica + filtro anaeróbio	Lagoa aeróbica + facultativa (aerallatão)	Lagoa facultativa unicelular	Disposição de esgoto no solo	Digestor anaeróbio de fluxo ascendente	Lagoa aerada + lagoa decantada	Valo de oxidação
Área necessária para implantação	pequena	grande	pequena	grande	grande	muito grande	muito pequena	pequena	pequena
Custo investimento por hab (*)	médio	grande	médio	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	médio	grande
Custo de operação e manutenção	pequeno	pequeno	pequeno	muito pequeno	muito pequeno	pequeno	pequeno	médio	grande
Confiabilidade	média	média	grande	muito grande	muito grande	muito grande	grande	grande	grande
Necessidade de mão-de-obra para operação	muito eventual, não especializada	muito eventual, não especializada	muito eventual, não especializada	eventual, não especializada	eventual, não especializada	constante, não especializada (*)	constante, não especializada	constante, não especializada	constante, não especializada
Requerimento de energia para operação	não requer	não requer	não requer	não requer	não requer	não requer (**)	não requer	requer	requer
Produção de lodo a ser disposto	sim	sim	sim	não	não	não	sim	não	sim
Potencial de reaproveitamento de subprodutos	não	não	sim (biogás)	sim (irrigação com efluente)	sim (irrigação com efluente)	sim (nutrientes)	sim (biogás)	não	não
Remoção de matéria orgânica	pequena	pequena	grande	muito grande	muito grande	muito grande	grande	muito grande	muito grande
Remoção de nutrientes	não remove	não remove	não remove	pode remover algum	pode remover algum	remove	não remove	não remove	pode remover algum
Presença de patógenos no efluente	(***)	(***)	grande grande pequeno (2) pequeno (2)	pequeno pequeno isento isento	pequeno pequeno isento isento	(***)	grande grande pequeno (2) pequeno (2)	grande grande pequeno pequeno	grande grande pequeno pequeno
Observações	p até 75 m ³ esgoto dia	p até 75 m ³ esgoto dia	p até 75 m ³ esgoto dia						

(*) Não inclui o custo do terreno.
 (**) Exeto para aspersão.
 (***) Não há efluente propriamente dito (infiltração no solo).

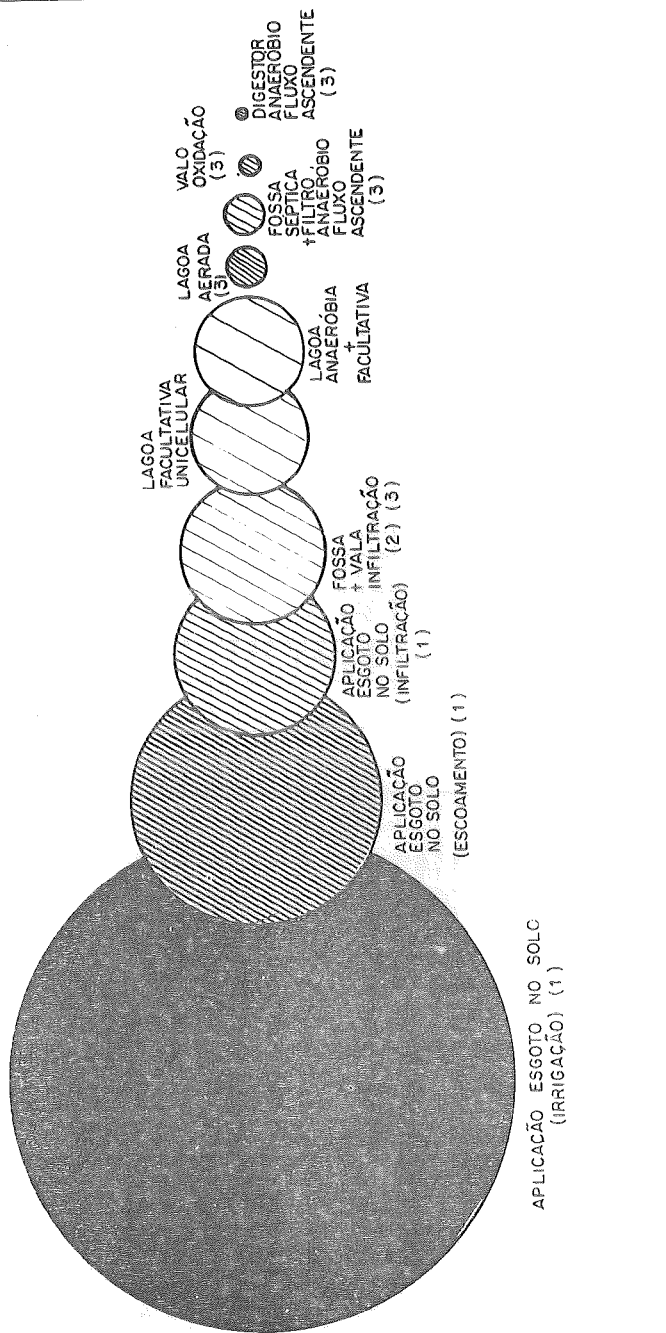


Figura 23 - Comparação entre os tamanhos aproximados das áreas requeridas para diversas opções de tratamento de esgotos domésticos.

- (1) - Valor médio da faixa de taxas de aplicação recomendados.
- (2) - Para população máxima de 500 habitantes (a 150 l/hab. dia).
- (3) - Não inclui área para disposição do lodo.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Land treatment of municipal wastewater effluents. *Design factors II*. Washington, D. C. 1976. Technology Transfer, EPA - 625/4 - 76 - 010.
- GASI, T. M. T. et alii. Classificação ambiental das infecções excretadas: um exercício de aplicação em fossa séptica. São Paulo. *Revista DAE*, 44 (139) : 277-83. Dez. 1984.
- METCALF & EDDY. *Wastewater engineering : collection, treatment, disposal*. New York. McGraw-Hill. 1972.
- VIEIRA, S. M. M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. São Paulo. *Revista DAE*, 44 (139) : 322-8. Dez. 1984.
- & ALÉM S^o, P. Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. São Paulo. *Revista DAE*, 44 (135) : 51-7. Dez. 1983.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 7 229 - *Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais*. Rio de Janeiro. Mar. 1982.
- BORN, R. H. et alii. *Aspectos de saúde pública dos sistemas de saneamento*. São Paulo. 1983. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12. Camboriú, 1983.
- BRAILE, P. M. Disposição de efluentes sobre o terreno. In: *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo. CETESB. 1979. p. 565-601.
- JORDÃO, E. P. & PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos; concepções clássicas de tratamento de esgotos*. São Paulo. CETESB. 1975. v. 1.
- ROVIRA, J. M. Z. *Reutilización de águas residuales para agricultura*. Lima. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1980.

Data aquis.	18 / 3 / 96
Local:	
Exatidão:	
Preço:	
Data lomb.	18 / 3 / 96

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Secretaria do Meio Ambiente

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
