

ARQUIVO TÉCNICO

5300
G212o(RCET)
014048



04683

014048

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE PESQUISA

SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISAS DE
ÁGUA E RESÍDUOS

CETESB - Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo

Biblioteca Prof^o Dr^o Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof^o Frederico Hermann Jr., 345 Pinheiros
05459-900 - São Paulo - Brasil
e-mail: biblioteca@cetesbnet.sp.gov.br

OPÇÕES PARA TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE PEQUENAS COMU-
NIDADES

Setembro de 1986

042676

DIRETORIA DE PESQUISA

Professor SAMUEL MURGEL BRANCO

ASSISTÊNCIA TÉCNICA-CIENTÍFICA

Prof. ARISTIDES ALMEIDA ROCHA
Engenheiro GABRIEL MURGEL BRANCO

ASSISTÊNCIA ADMINISTRATIVA

Engenheira NEUSA MONTEIRO DE ARRUDA JULIANO

SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISAS DE ÁGUA E RESÍDUOS

Engenheiro ROBERTO EDUARDO BRUNO CENTURIÓN

GERÊNCIA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E QUALIDADE DE ÁGUA

Engenheiro JOSÉ ROBERTO COSTA

EQUIPE TÉCNICA

GASI, T.M.T.; GUNTHER, M.A.;
GRIECO, V.M.; KAWAI, H.;
LIMA Fº, R.A.; MEICHES, L.A.M.;
MORAES, V.A.; SOUZA, M. E.;
VIEIRA, S.M.M.; BATALHA, B.H.L.

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho constitui uma "cartilha técnica" destinada a levar ao administrador municipal - sobretudo o de pequenos municípios - as inúmeras alternativas, já tecnicamente dominadas, de tratamento de esgotos sanitários para sua opção.

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

- 1º) 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 poderíamos denominar de nossa "índole". Na verdade, chama-se de "tradicional" a 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 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 - de sua própria cultura, uma vez que a cultura é obrigatoriamente resultante das peculiaridades de cada meio ambiente.
- 2º) Desestimular a idéia da existência de "panacéias" ou soluções milagrosas que possam resolver todos os problemas. Além de uma "índole" geral brasileira ou tro

pical, há uma "índole" particular de cada região, ca
racterizada pela sua topografia, suas atividades pre
dominantes, características de seus solos e de suas
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 da sua real capacidade de assimilar, de
forma benigna, os componentes orgânicos e minerais
dos resíduos que lançamos fora. Dessa forma, tais re
síduos, de indesejáveis, podem passar a úteis, seja
na forma de fertilizante, seja de gás combustível, se
ja simplesmente de água.

Não se pretende, com este pequeno texto, habilitar o admi
nistrador municipal a projetar e construir integralmente
seu próprio sistema de tratamento; para isso, seriam ne
cessárias 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 recur
sos 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.

Prof. Samuel Murgel Branco
Diretor

ÍNDICE

| | | |
|----|----------------------------------------------|----|
| 1. | INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DOS ESGOTOS | 01 |
| 2. | FOSSAS SÉPTICAS | 10 |
| 3. | LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO | 24 |
| 4. | DISPOSIÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO | 35 |
| 5. | DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE | 46 |
| 6. | LAGOAS AERADAS | 56 |
| 7. | VALOS DE OXIDAÇÃO | 59 |
| 8. | SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO | 63 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |

1. INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DOS ESGOTOS

O QUE É ESGOTO?

O esgoto sanitário é formado pela reunião de despejos provenientes 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, sendo gerados em escolas, hospitais, prisões, repartições públicas etc.;
- despejos industriais: provenientes de indústrias; apresentam uma grande variação e não serão abordados nesta cartilha.

É importante conhecer os esgotos sob dois aspectos: quantidade e 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. O consumo de água pode ser bastante diferente de uma cidade para outra. Entretanto, considera-se razoável admitir uma faixa de uso de água de 120 a 200 litros/pessoa.dia. Considera-

se que cerca de 60% a 80% desta água utilizada se transforma em despejos. No entanto, existem outras contribuições para as tubulações de esgoto, tais como: infiltrações, águas de chuva, despejos de indústrias, águas de resfriamento, etc. Dessa forma, o volume dos esgotos pode, em certos casos, ser maior que o consumo de água. O procedimento mais correto, sempre que possível, é medir a vazão do mesmo. Deve-se, também, estimar o crescimento da população da cidade, para que a estação de tratamento de efluentes tenha capacidade de atender à expansão populacional. Pode-se, também, determinar o consumo de água, a contribuição de indústrias e, dentro dos procedimentos já consagrados, estimar a vazão do esgoto sanitário.

Qualidade

Desde que não haja significativa contribuição de despejos industriais, pode-se dizer que 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. Essas impurezas podem ser de natureza física, química e biológica.

Impurezas Físicas

Impurezas físicas são chamadas as substâncias cuja presença afeta as características da água, independentemente de sua natureza química ou biológica. Como 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

As impurezas químicas são constituídas por 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 que são liberados junto com os dejetos humanos: bactéria, vírus, leveduras, vermes e protozoários. Alguns desses seres são habitantes normais do intestino humano e não prejudicam a saúde. Outros, entretanto, podem causar doenças e são denominados de organismos patogênicos.

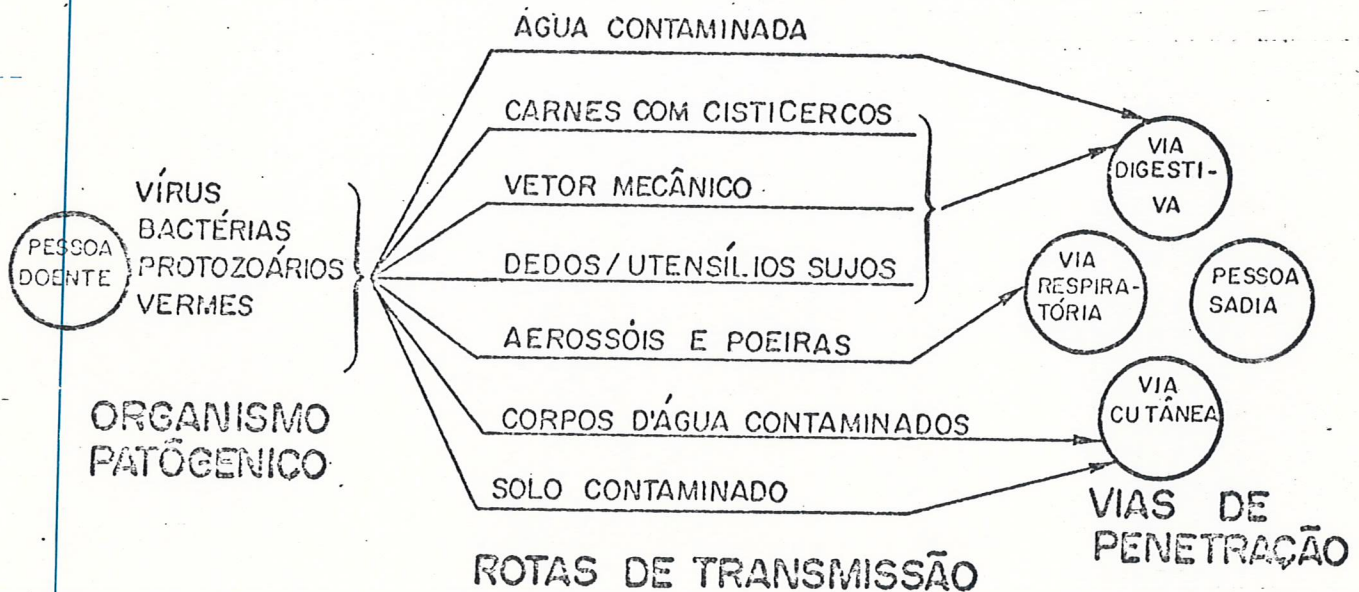
Tabela 1 - Alguns organismos patogênicos encontrados nos esgotos domésticos

| Nome do organismo patogênico | Tipo | Doença causada |
|------------------------------|-------------|------------------------|
| virus de hepatite A | vírus | hepatite |
| vírus de poliomelite | vírus | poliomelite |
| <u>Salmonella typhi</u> | bactéria | febre tifóide |
| <u>Vibrio cholerae</u> | bactéria | côlera |
| Salmonelas | bactéria | intoxicação alimentar |
| <u>Entaboeba histolytica</u> | protozoário | disenteria amebiana |
| <u>Ascaris lumbricoides</u> | verme | ascaridíase (lombriga) |
| <u>Schistosoma mansoni</u> | verme | esquistossomose |

POR QUE TRATAR OS ESGOTOS?

A disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública. Sabe-se que aproximadamente cinquenta infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para uma pessoa 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 serem transportados por moscas e baratas e, dessa forma, vir a provocar uma nova infecção.

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



Fonte: BORN, R.H. et alii. (2).

Epidemias de febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses são algumas doenças que podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos. Essas doenças são responsáveis por elevados índices de mortalidade em países do terceiro mundo. As

crianças são suas mais frequentes vítimas, 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, a redução da prevalência das verminoses, que não são letais, via de regra, mas desgastam o ser humano, só 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 uma ação deletéria nos corpos d'água. A matéria orgânica pode ocasionar a exaustão do oxigênio dissolvido na água, com morte de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da mesma e aparecimento de maus odores. Os detergentes que existem nos esgotos podem provocar 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 um crescimento acelerado de vegetais microscópicos, que conferem odor e gosto desagradáveis.

COMO TRATAR OS ESGOTOS?

O objetivo do tratamento de esgoto é remover as impurezas físicas, químicas e biológicas (principalmente, organismos patogênicos). O tratamento pode ser classificado em função do tipo de impureza retirada e do grau de remoção da mesma. Tem-se, assim:

Tratamento preliminar

O tratamento preliminar remove o material mais grosseiro: sólidos suspensos (trapos, escovas de dente, tocos de cigarro, excretas), sólidos decantáveis (como areia) e gor-

dura.

Tratamento primário

No tratamento primário, o objetivo é remover material em suspensão não grosseiro, que flutue ou que decante, mas que requer o emprego de equipamentos com tempos de retenção maiores que no tratamento preliminar. São utilizados decantadores e flotadores, que produzem um lodo - o lodo primário ou crú, que requer tratamento antes de ser disposto.

Tratamento secundário

O esgoto também contém sólidos dissolvidos e finos sólidos suspensos que não decantam. Não é possível removê-los apenas com a ação da força de gravidade. Pode-se utilizar, então, de microrganismos, que basicamente se alimentam dessa matéria orgânica suspensa ou solúvel, transformando-a em sais minerais e novos microrganismos.

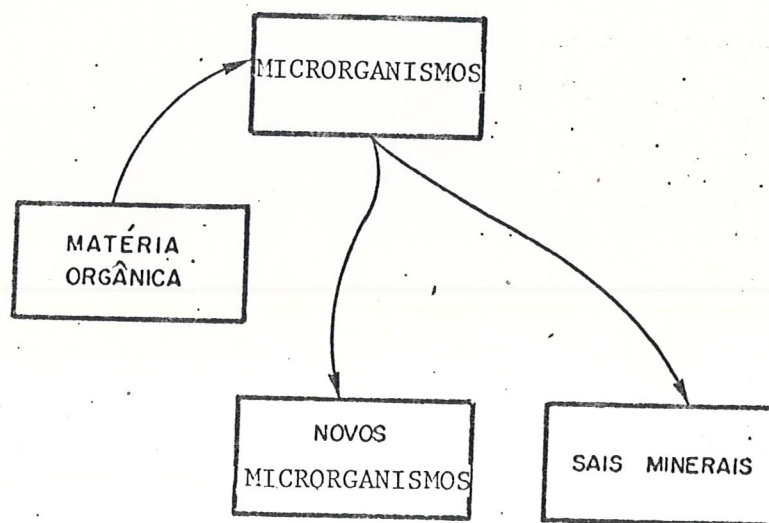


Figura 2 - Representação do uso de matéria orgânica por microrganismos

Ocorre que esses novos microrganismos podem ser separados do líquido, formando um lodo, chamado de secundário. Assim, este tratamento secundário, 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 de maneira mais eficiente.

Como todo ser vivo, as bactérias necessitam uma fonte de energia. Quando esta energia é obtida através da oxidação da matéria orgânica em que é usado o oxigênio da respiração, as bactérias são ditas aeróbias. No entanto, 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 utilizarem o oxigênio se o mesmo estiver presente (funcionando como aeróbias) e que realizam a fermentação anaeróbia se não houver oxigênio - são as denominadas 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 as suas propriedades, podem participar destes três tipos de tratamento.

O tratamento secundário gera algumas vezes um lodo que deve ser convenientemente manuseado. O tratamento e a disposição do mesmo devem ser encaradas com atenção, pois muitas vezes estas operações são mais complicadas e dispen-

diosas que o próprio tratamento dos esgotos.

Tratamento terciário ou avançado

O tratamento terciário é utilizado quando se deseja um esgoto tratado de qualidade superior. Neste 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.

Pode-se dizer que o tratamento terciário é uma prática usual em nações desenvolvidas, altamente industrializadas e com escassos recursos hídricos. É a situação, por exemplo, da Holanda ou de Israel, em que a adoção de sofisticadas estações de tratamento de esgotos é econômica, pois viabiliza o uso do recurso hídrico para outros fins. Nos países em desenvolvimento, entretanto, a realidade é outra - no terceiro mundo, de maneira geral, 86% da população rural não tem sistemas de tratamento de água e 92% não possui disposição das excretas; somente 28% da população urbana tem acesso a abastecimento de água e 29% não possui nenhum tipo de saneamento.

A eficiência dos tipos de tratamento pode ser vista na Tabela 2 (página 09).

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

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

| Tipo de tratamento | Eficiência de remoção | | | |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | Matéria orgânica (% remoção DBO) | Sólidos em suspensão (% remoção SS) | Nutrientes (% remoção nutrientes) | 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. (6)

2. FOSSAS SÉPTICAS

As fossas sépticas são unidades destinadas a tratar o esgoto de residências ou de conjunto de residências, até um máximo de 500 habitantes (supondo uma vazão de esgoto de 150 l/hab.dia). Este tratamento, entretanto, é a nível primário e o efluente da fossa ainda contém matéria orgânica, patogênicos e nutrientes, requerendo uma disposição adequada. As soluções mais recomendadas para esta disposição 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 e é parcialmente digerido.

Na superfície do líquido forma-se uma camada de espuma, composta pelas gorduras que flutuam, que deve ser impedida de sair da fossa com o auxílio de um anteparo na saída da mesma. O lodo vai aos poucos se acumulando e deve ser periodicamente removido, para garantir 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 este motivo, é necessário dispô-lo corretamente.

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

É importante salientar que os tanques sépticos devem ser corretamente dimensionados. Deve-se verificar, para as

fossas sépticas que existem à venda no mercado, qual é o número de pessoas para o qual a fossa foi projetada ou a vazão de esgoto que a mesma admite.

Por outro lado, 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:

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

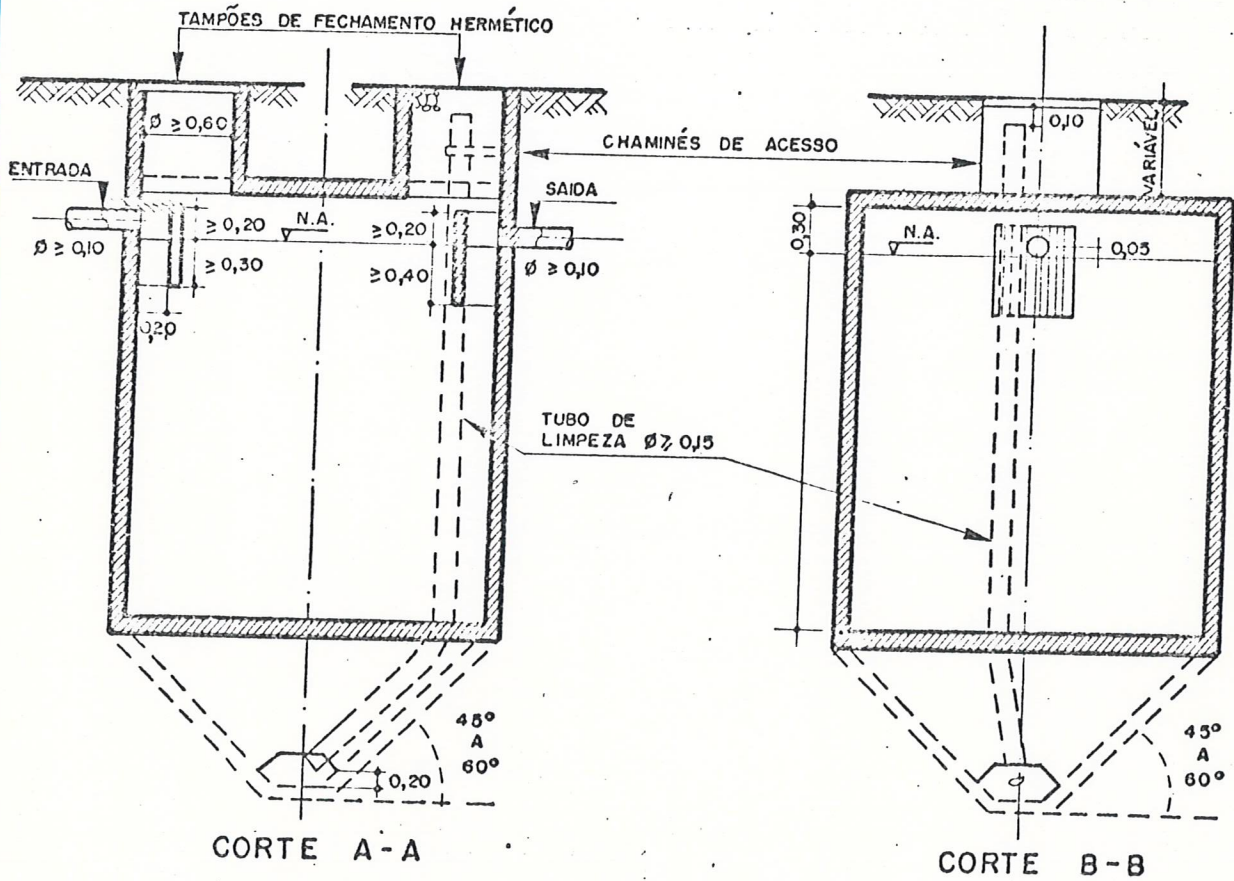
As fossas de câmara única e em série apresentam a mesma eficiência de remoção de matéria orgânica; utiliza-se fossa de câmaras em série quando se deseja um efluente com baixo teor de sólidos suspensos.

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

Quando as condições do solo são favoráveis, o efluente das fossas sépticas pode ser infiltrado no mesmo através de sumidouros ou de valas de infiltração.

Os sumidouros requerem menor área, mas oferecem maior risco de contaminação do lençol freático. Recomenda-se, neste caso, instalar o sumidouro de sorte que o fundo do mesmo esteja a, pelo menos, 1,5 m acima do nível do lençol freático. Esta norma também é válida para as valas de infiltração; no entanto, como essas são instaladas superficialmente, pode-se aplicá-las quando o nível do lençol freático

Figura 3 - Fossa sêptica de forma cilíndrica de câmara única



Dimensões em metros

Fonte: NBR 7229 (1)

Figura 4 - Fossa séptica cilíndrica de câmaras sobrepostas (Tipo Imhoff)

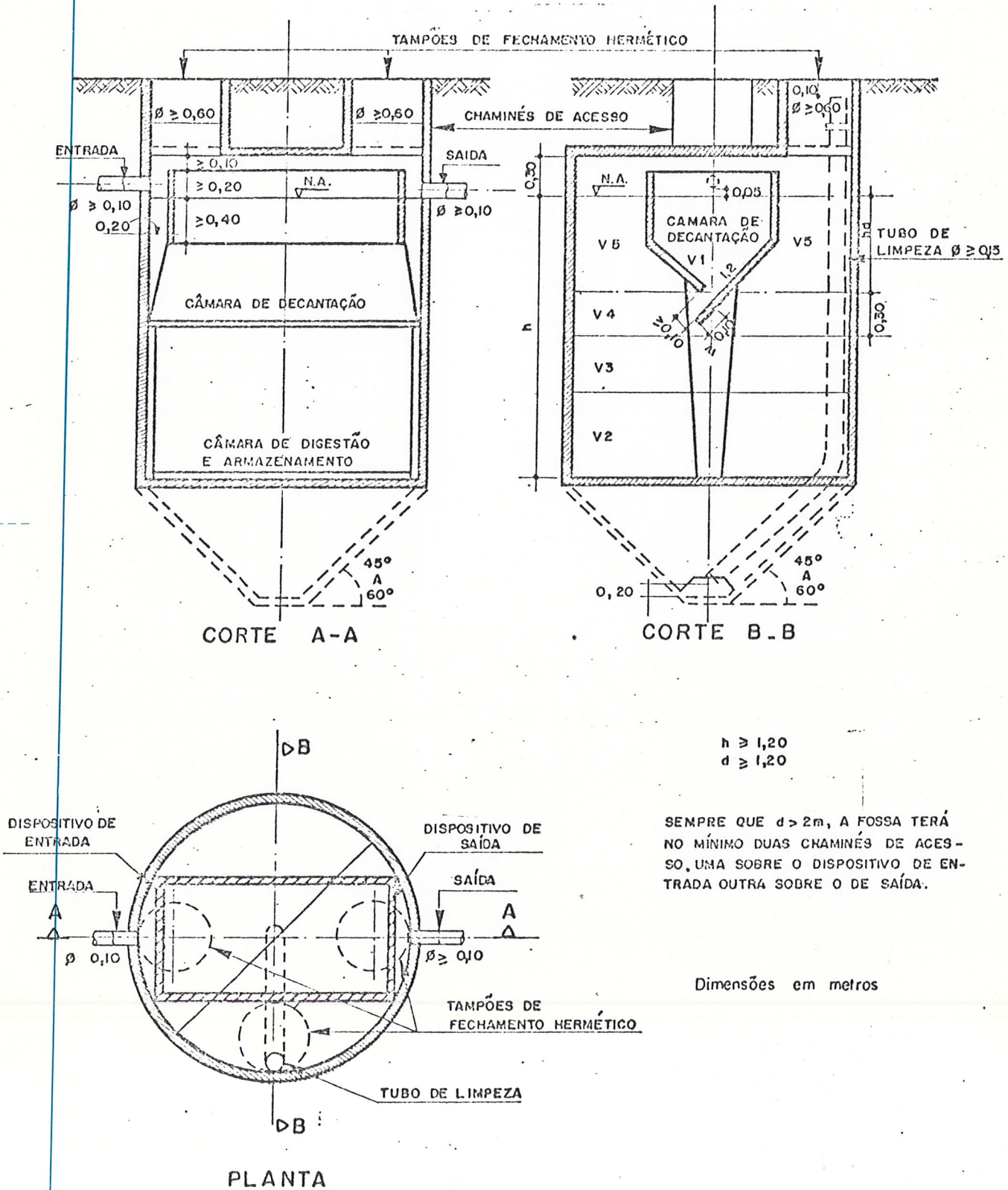
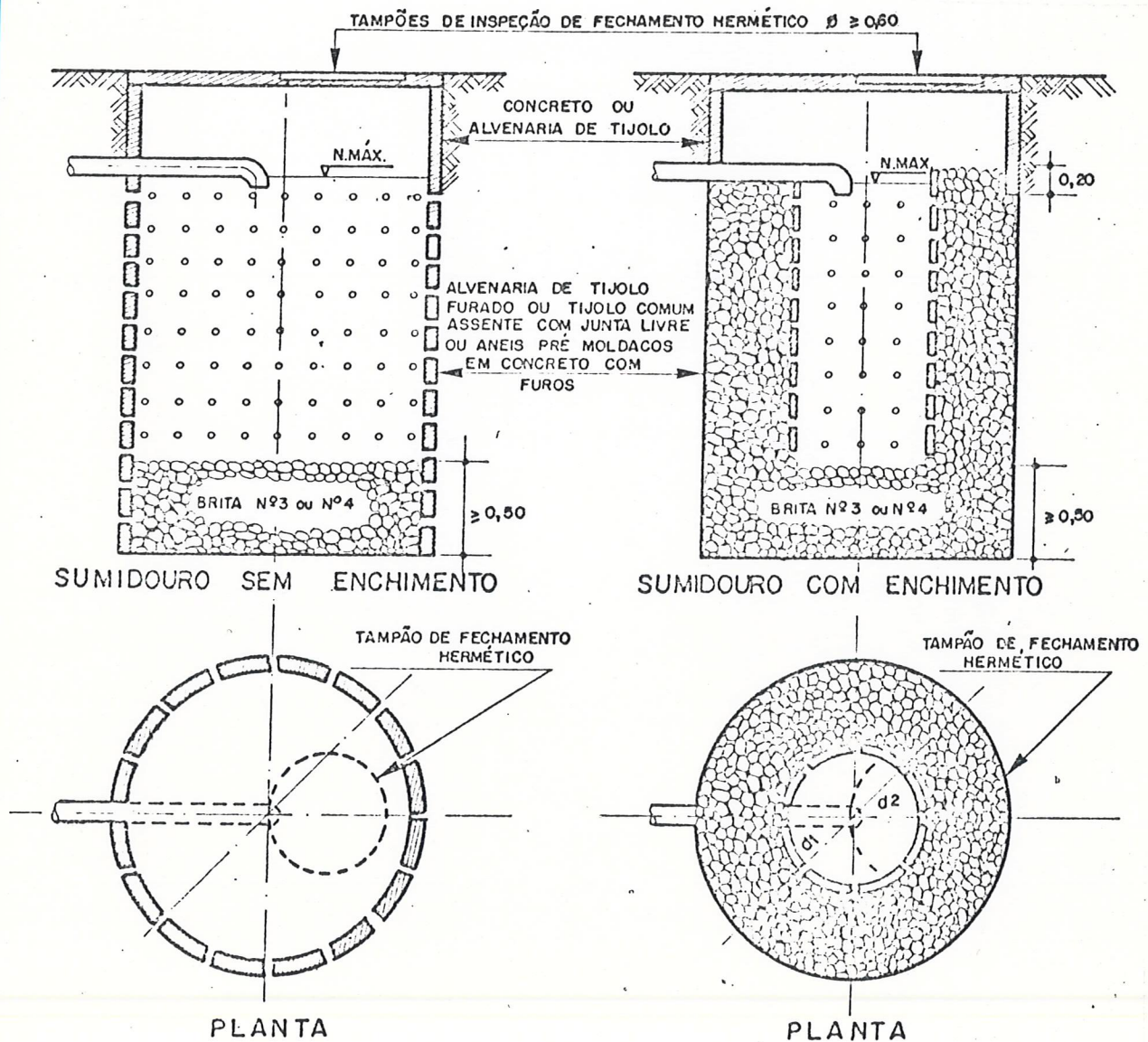


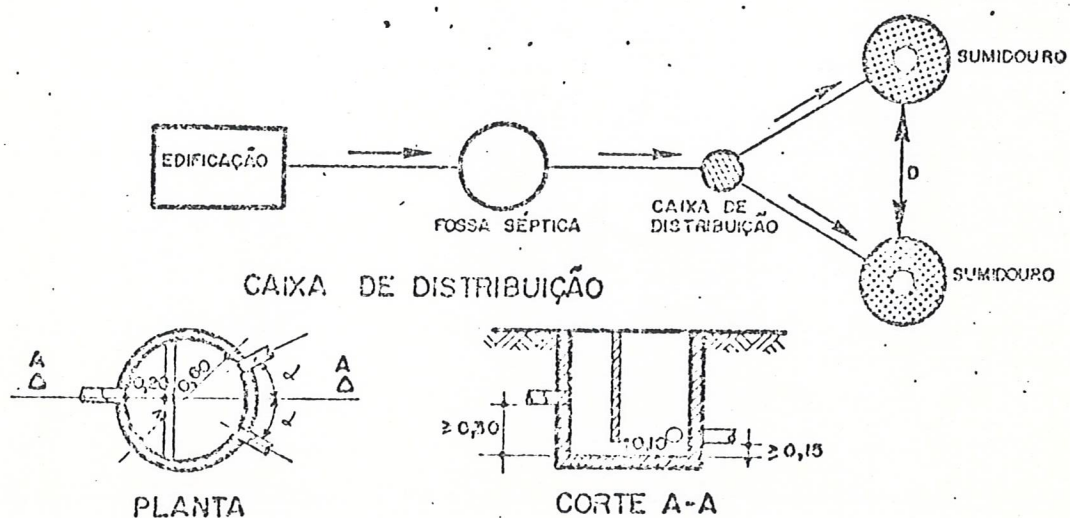
Figura 5 - Sumidouro cilíndrico



Fonte: NBR 7229 (1)

tico não permitir a implantação de um sumidouro. Uma das desvantagens das valas de infiltração é o fato das mesmas requererem grandes áreas.

Figura 6 - Sumidouro cilíndrico



- Notas :
- a) Distância máxima no horizontal e vertical entre furos - 0,20 m
 - b) Diâmetro mínimo dos furos - 0,15 m
 - c) Considerar como área de infiltração, a área lateral até a altura h e c do funco.
 - d) A distância D entre os sumidouros, deve ser maior que 3 vezes o diâmetro dos mesmos e nunca menor que 6 m.

Dimensões em metros

Fonte: NBR 7229 (1)

Figura 7 - Vala de infiltração

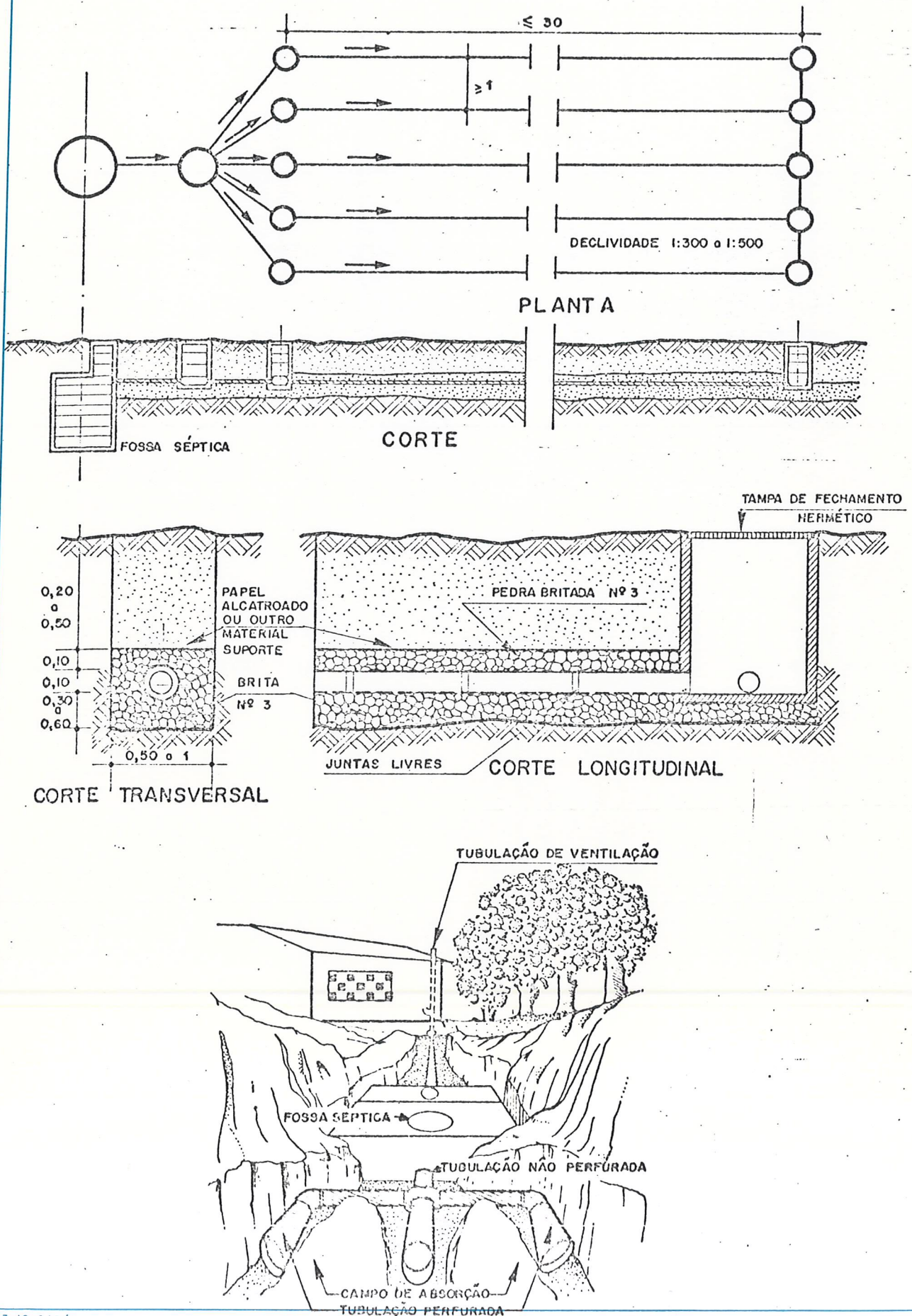
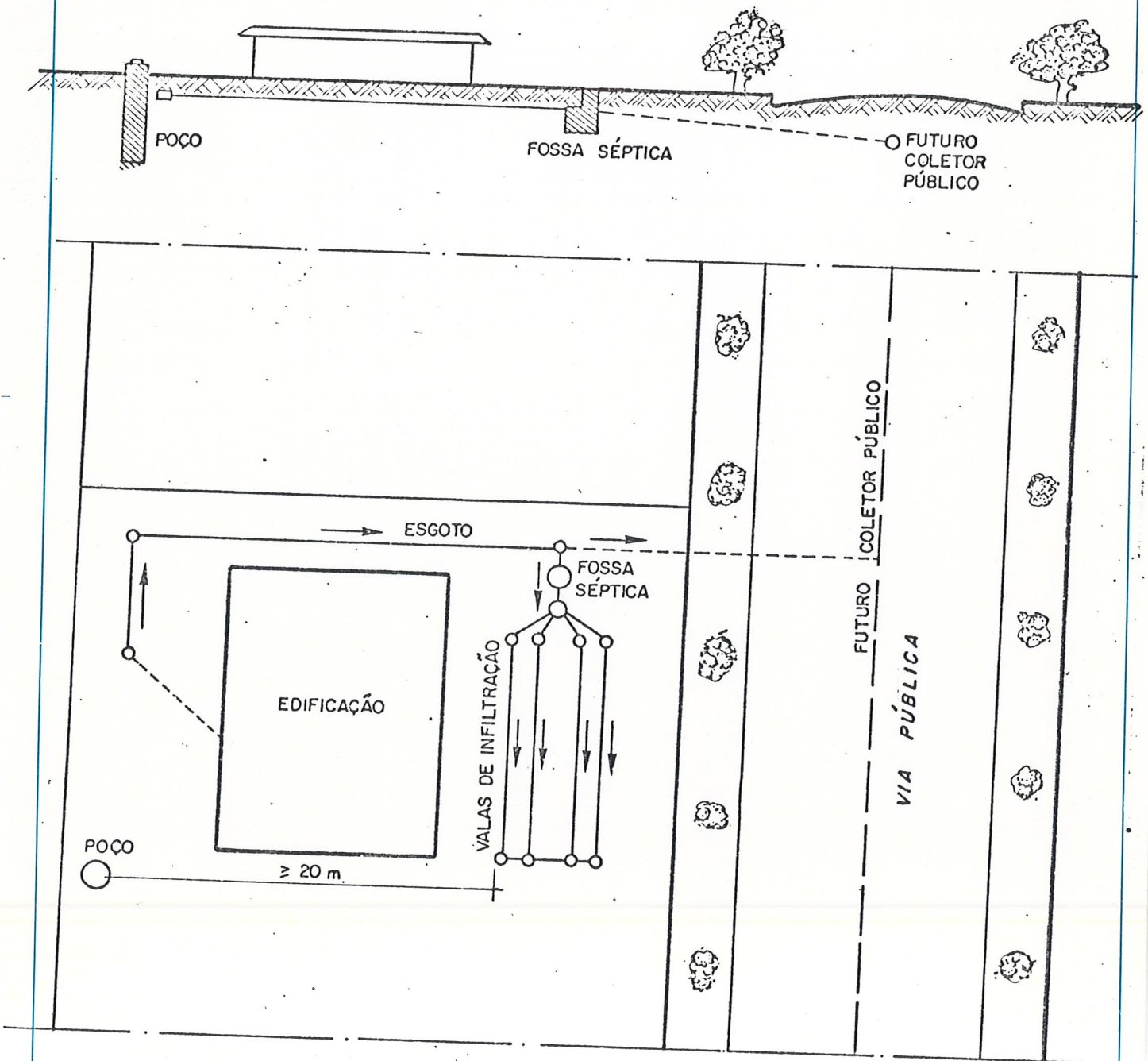


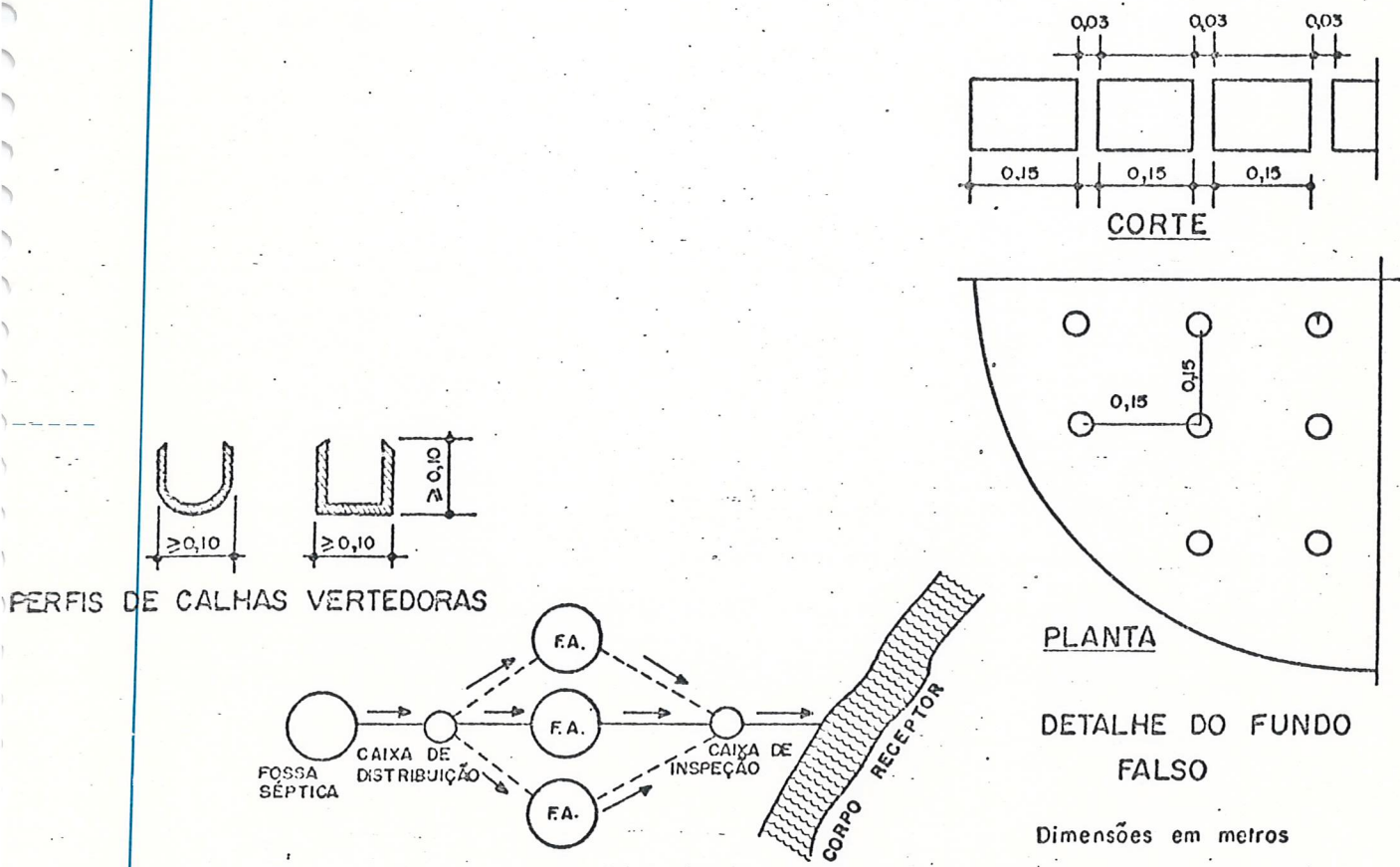
Figura 8 - Esquema de instalação de fossa séptica e valas de infiltração



Quando não for possível infiltrar o efluente da fossa devido a fatores como características do solo, nível do lençol freático, não disponibilidade de área etc., é necessário tratar este efluente antes de lançá-lo nos corpos d'água. Dentre as soluções possíveis, recomenda-se o filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Este consiste de um tanque cheio de pedras ou outro material inerte, através do qual flui o esgoto, é distribuído através de um prato perfurado (fundo falso) e sai pela parte superior. O tempo de retenção preconizado é de 19 horas para a vazão média.

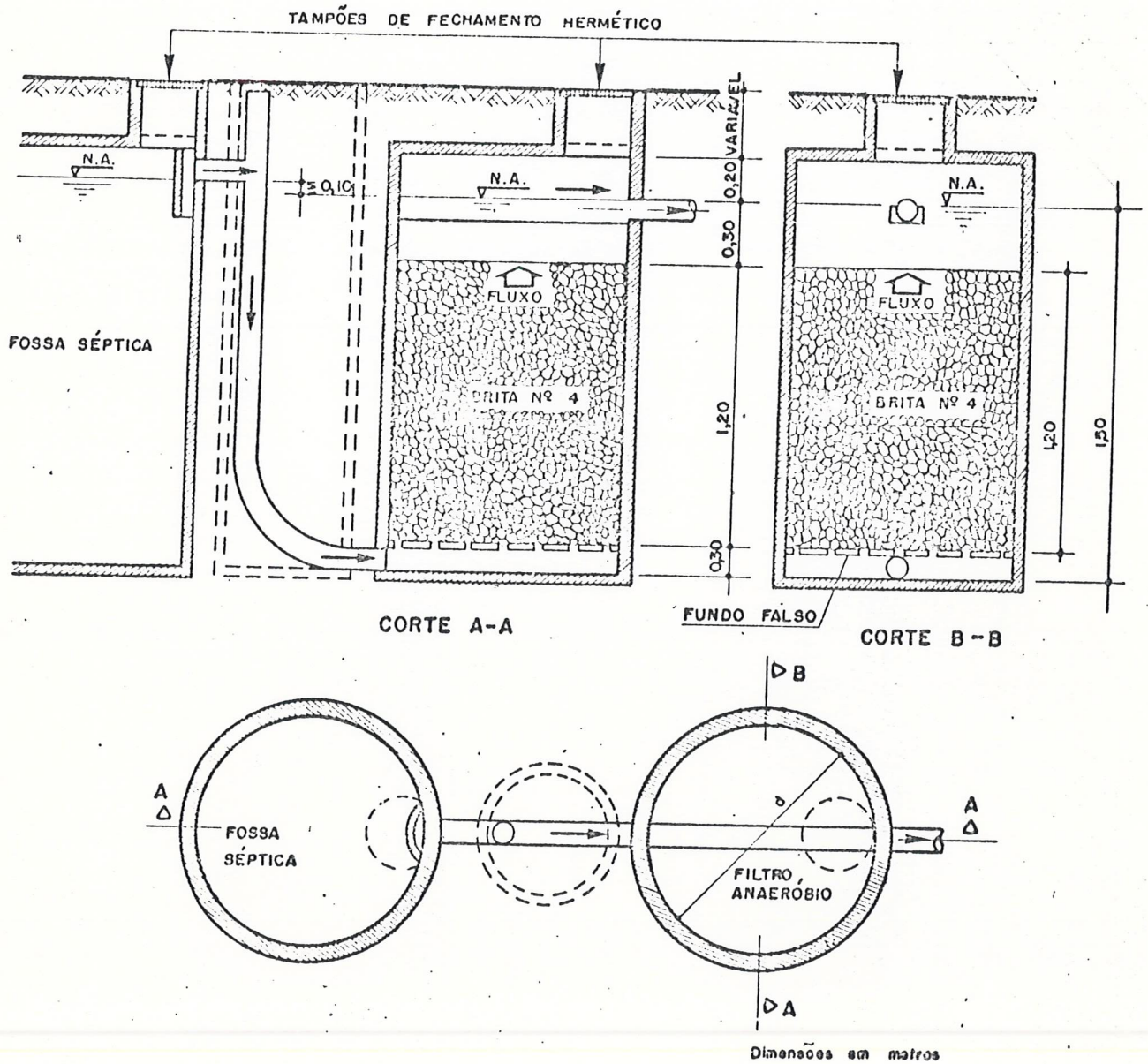
Sobre o leito de pedras, desenvolve-se uma população de microrganismos, que através do processo anaeróbio, realiza o tratamento dos esgotos. O sistema necessita de cerca de 3 meses para entrar em operação. Deve-se remover lodo do filtro anaeróbio a cada 5 ou 6 meses e o controle operacional é simples, 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 9 - Filtro anaeróbico



Fonte: NBR 7229 (1)

Figura 10 - Filtro anaeróbico



As eficiências que podem ser esperadas dos diferentes sistemas de tratamento com fossas sépticas são as seguintes:

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 7229 (1)

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

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

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

| Sistema | Área total necessária (m ²) * | Área necessária por habitante (m ² /hab.) | Observações |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema • população: 50 hab. • contribuição: 150 l/hab.dia | 3076 | 6,15 | <ul style="list-style-type: none"> altura útil da fossa: 1,50 m coeficiente de infiltração: 50 l/m².dia ** |
| Fossa séptica de duas câmaras em série + vala de infiltração | 2086 | 4,17 | <ul style="list-style-type: none"> altura útil da fossa: 1,50 m coeficiente de infiltração: 75 l/m².dia ** |
| Fossa séptica de duas câmaras em série + filtro anaeróbio | 129 | 0,26 | projetado conforme Viera & Além Sobrinho |

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

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

Tabela 5 - Possíveis faixas de variação do coeficiente de infiltração

| Faixa | Constituição provável dos solos | Coefficiente de infiltração $\ell/m^2 \cdot dia$ |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada | menor que 2 |
| 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 siltosa, 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 humus 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 | 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 7229 (1)

3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

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

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

Figura 11 - Lagoa de estabilização

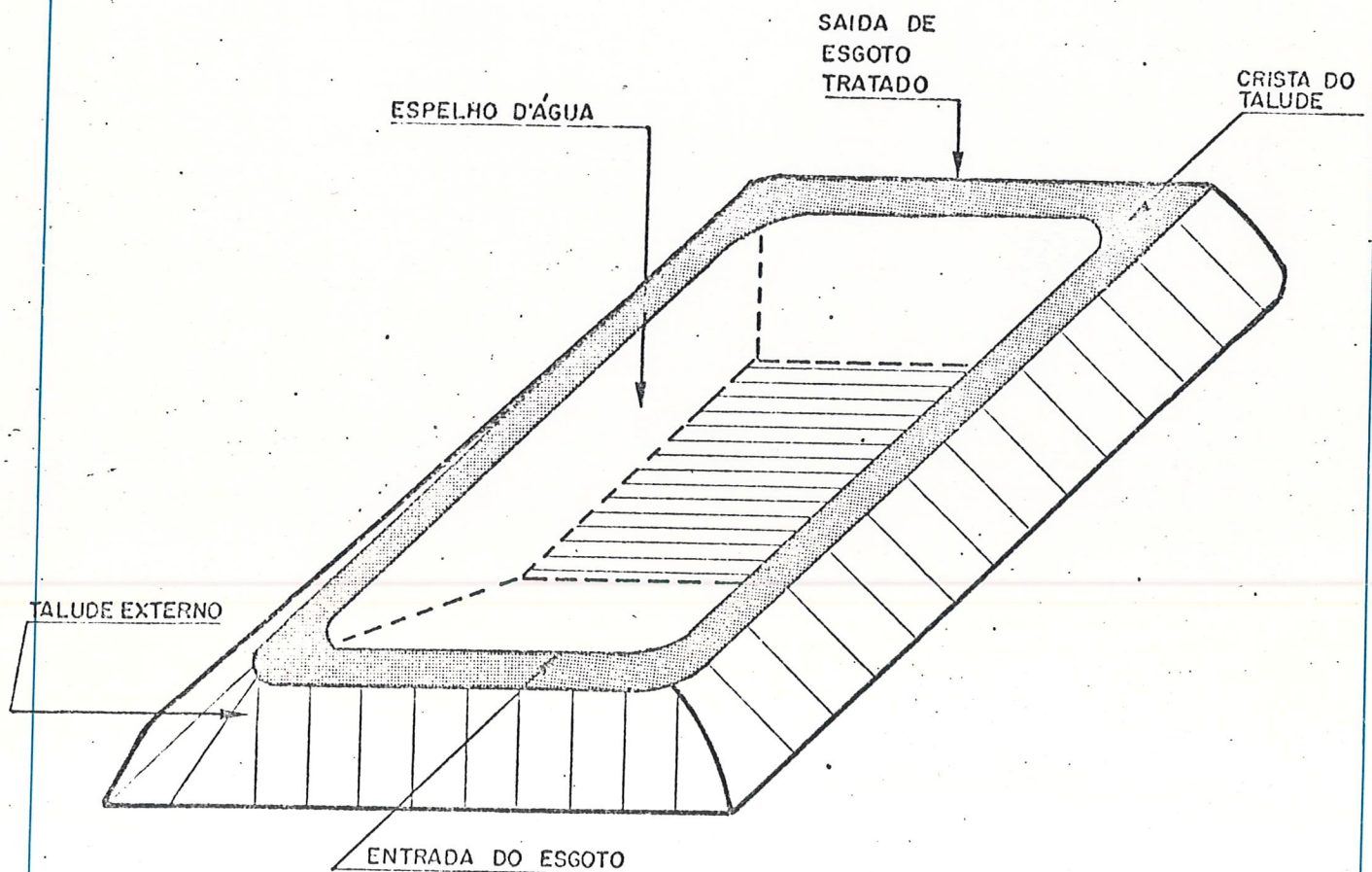


Figura 11 - Lagoa de estabilização

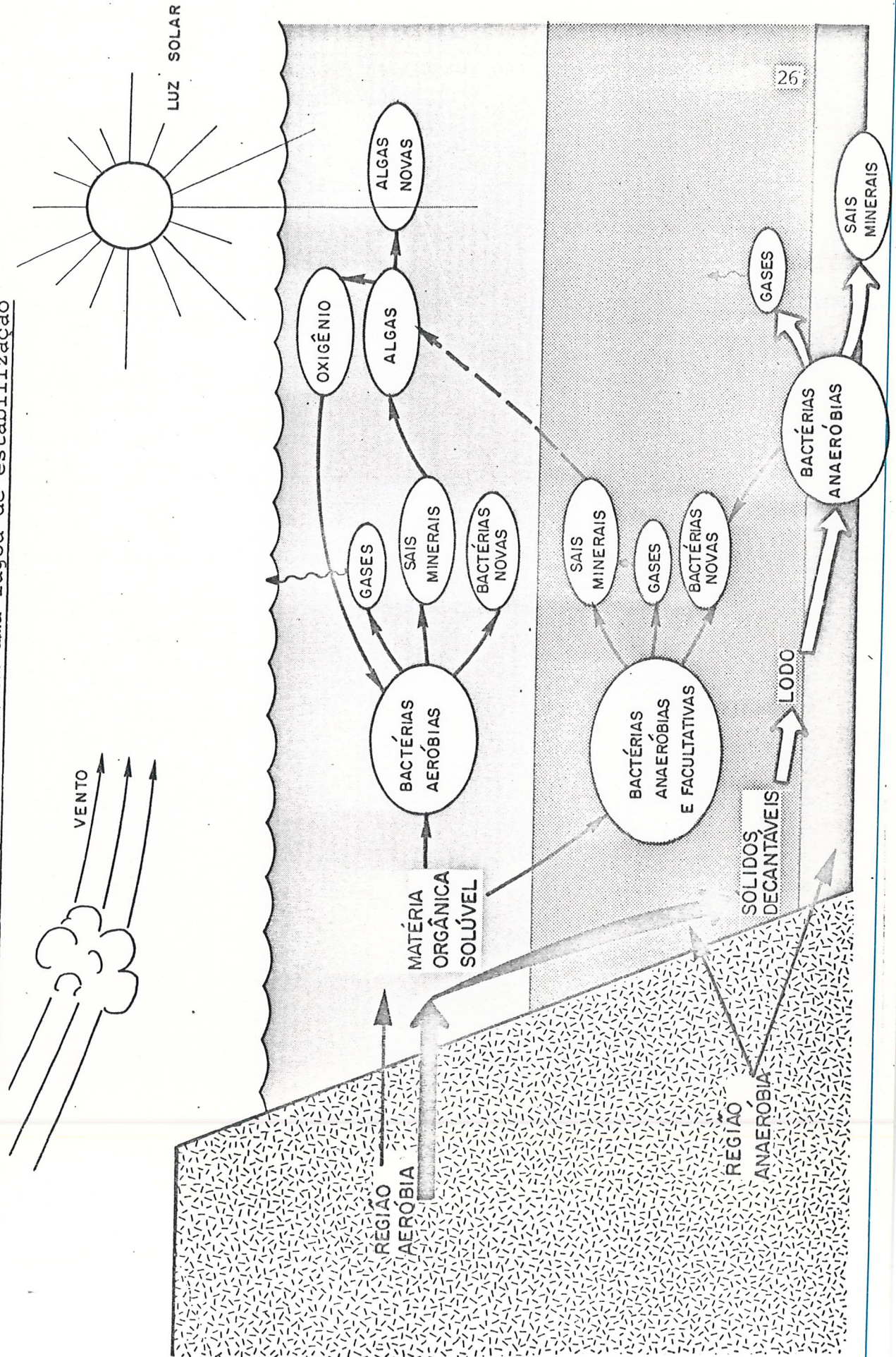
Os sólidos decantáveis que se encontram nos esgotos sedimentam nas lagoas em forma de lodo, que é digerido por bactérias anaeróbias e facultativas, produzindo novas bactérias, gases e sais minerais. A matéria orgânica que está em suspensão e na forma solúvel também é estabilizada por bactérias, principalmente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

A estabilização de poluentes orgânicos na lagoa facultativa é feita pela ação conjunta de algas, que são micro-vegetais aquáticos, e bactérias provenientes do próprio esgoto. As algas, utilizando-se de sais minerais 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) são também denominadas 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 centímetros de profundidade, devido à alta turbidez, que impede a penetração da luz na água. Porém, dependendo do nível de circulação da massa d'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 desta camada, principalmente no período diurno.

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

- Anaeróbias: recebem mais esgotos por área que os outros tipos de lagoas. Nelas ocorre 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 resultan-

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



tes da fermentação do mesmo. Reduzem a carga de matéria orgânica no mínimo pela metade e, dependendo do nível de tratamento desejável, pode ser necessário que seja instalada uma lagoa facultativa em sequência. Não devem ter problemas de odor forte, mas por precaução, devem ser instaladas 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: essas lagoas são 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, sendo por isso pouco utilizadas.
- . Facultativas: as lagoas facultativas operam em condições intermediárias entre as aeróbias e as anaeróbias, coexistindo os processos encontrados numa e na outra. O princípio de funcionamento já foi anteriormente descrito.
- . Maturação: essas lagoas são usadas após o tratamento secundário dos esgotos, seja ele 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: nas lagoas aeradas, o oxigênio a ser utilizado no processo biológico é introduzido mecanicamente, não sendo fornecido por algas; essas lagoas são abordadas no capítulo 6.

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

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 0,50 m de profundidade), com algas e oxigênio dissolvido em toda profundidade | Matéria orgânica; patogênicos | Secundário |
| Anaeróbia | Lagoas profundas (2,0 a 4,5 m 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 2,0 m, que possuem duas regiões: uma anaeróbia superior e uma anaeróbia inferior (uma camada de lodo permanece no fundo). Recebem carga de cerca de 250 kgDBO/ha.dia. | Matéria orgânica; patogênicos | Secundário |
| Maturação | Lagoas com cerca de 1,0 m de profundidade, usadas após sistemas secundários de tratamento, com o objetivo de melhorar o efluente. | Patogênicos; nutrientes | Terciário |

- . É uma forma de tratamento eficiente. Reduz a matéria orgânica tanto quanto as estações sofisticadas e remove mais organismos patogênicos que as mesmas.
- . Se houver área disponível a preços acessíveis e com topografia adequada, é um processo que tem o custo de implantação muito menor que as estações feitas em concreto e que utilizam equipamentos mecânicos.
- . Exige apenas a luz do sol, não requerendo outra forma de energia.
- . É um processo de 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, reproduzem a mesma eficiência.
- . Não produz lodo a ser disposto.
- . Não requer pessoal especializado para operação.
- . 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:

- . preço do terreno muito elevado;
- . topografia muito acidentada, requerendo grande movimento de terra;

- . terreno muito permeável (arenoso), com excessiva infiltração;
- . terreno muito rochoso, que exija serviços de dinamitação;
- . regiões muito frias, em que há congelamento de lagoa no inverno.

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

Sistemas de tratamento com lagoas

Os sistemas mais comumente utilizados no Brasil são:

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

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

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

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) | 5 (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 (kgDBO/ha.dia) | 1500-2000 | 170 | 250 |
| Área necessária (m ² /habitante) | 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 (nº habitantes) | Area 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 |

Adicionou-se 30% às áreas necessárias para o tratamento, para as áreas requeridas pelos taludes, circulação, cristas de talude etc.

Lagoas de aguapé

Existe uma crença generalizada que o aguapé é eficiente para tratar esgoto doméstico. A verdade, entretanto, não é exatamente esta, como se pretende demonstrar a seguir. Conforme visto anteriormente, efetua-se o tratamento do esgoto doméstico para remover:

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

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

Os organismos patogênicos microscópicos, especificamente as bactérias, têm um mecanismo de remoção mais complicado, mas que não é acentuado pelo uso de aguapé em lagoas. Pelo contrário, o aguapé pode induzir a expansão de doenças, uma vez que esta planta aquática favorece a procriação de mosquitos (que, por sua vez, transmitem, por exemplo, a febre amarela, a malária, as filarioses) e serve de abrigo para caramujos (como o que é o 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 o aguapé 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. Já o oxigênio

produzido pelo aguapé é devolvido à atmosfera e em nada contribui para o sistema de tratamento. Na verdade, a presença do aguapé 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. Dessa forma, a presença do aguapé reduz a eficiência do que seria uma lagoa de estabilização, razão pela qual essas plantas devem ser retiradas dos sistemas de lagoas.

Uma coisa que o aguapé realmente faz é remover nutrientes da água, o que é um dos objetivos do tratamento de esgotos. Conforme visto no primeiro capítulo, 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 desta 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:

- . O aguapé se prolifera rapidamente, duplicando sua massa a cada 15 dias, aproximadamente. Cada planta produz 40 mil plantas novas em 8 meses, necessitando ser constantemente removida da lagoa.
- . Existem sérios problemas de remoção do referido aguapé e posterior utilização do mesmo. 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 nestes aproveitamentos.
- . 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) são outros problemas importantes.

Concluindo, a utilização do aguapê 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 aguapê 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?

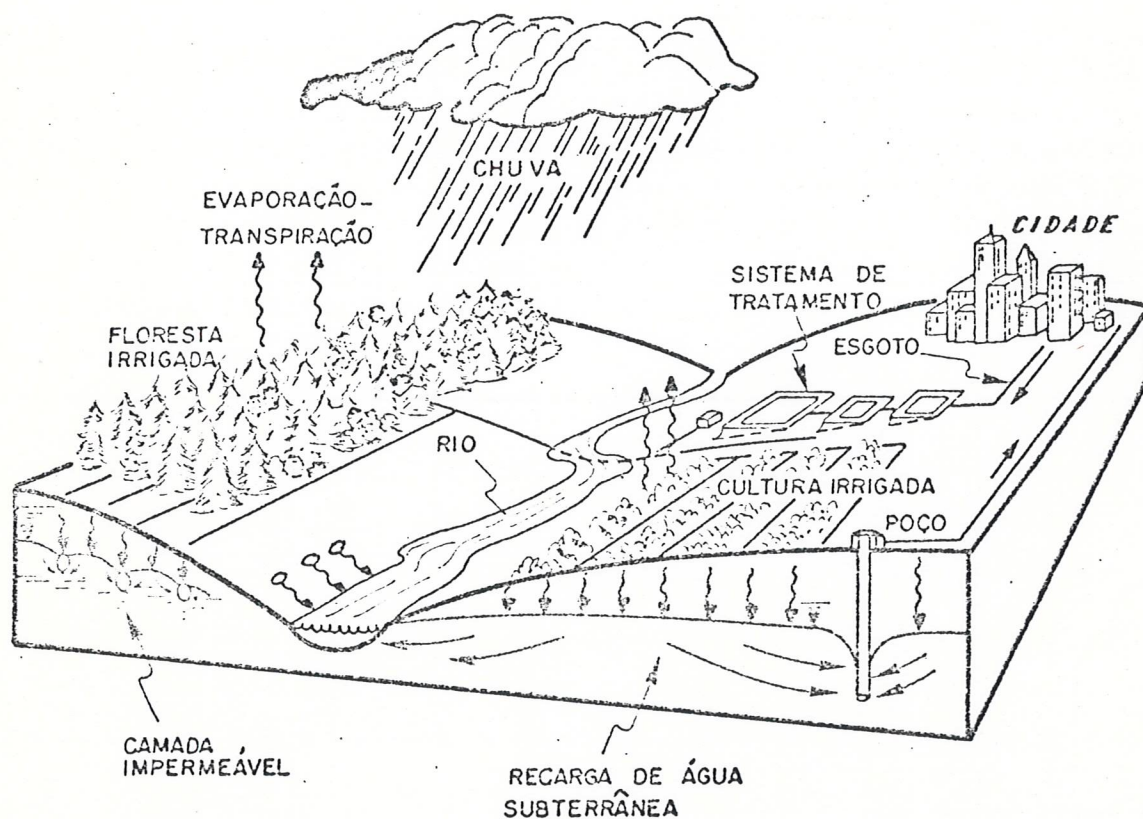
4. DISPOSIÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO

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;
- . escoamento superficial.

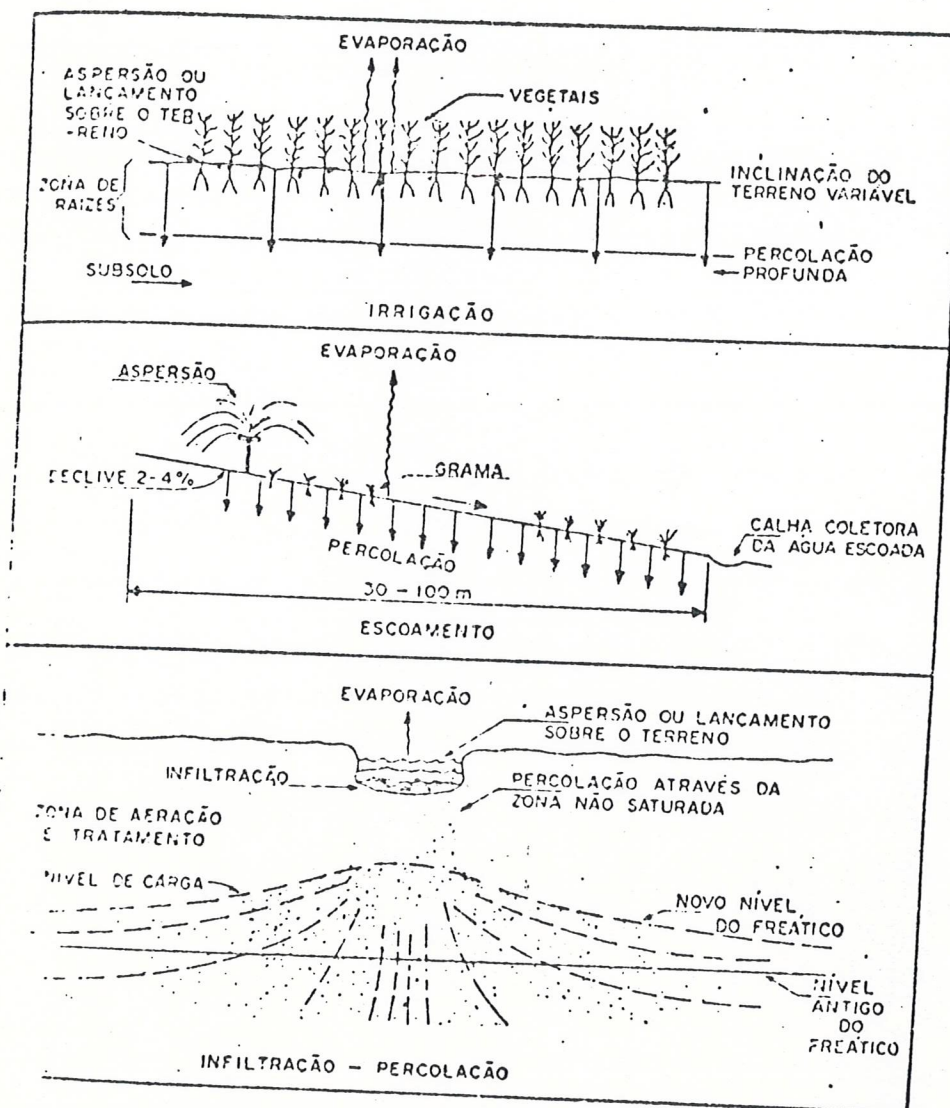
Figura 13 - Conceitos de aplicação de esgotos no solo



Fonte: Rovira, J.M.Z. (8)

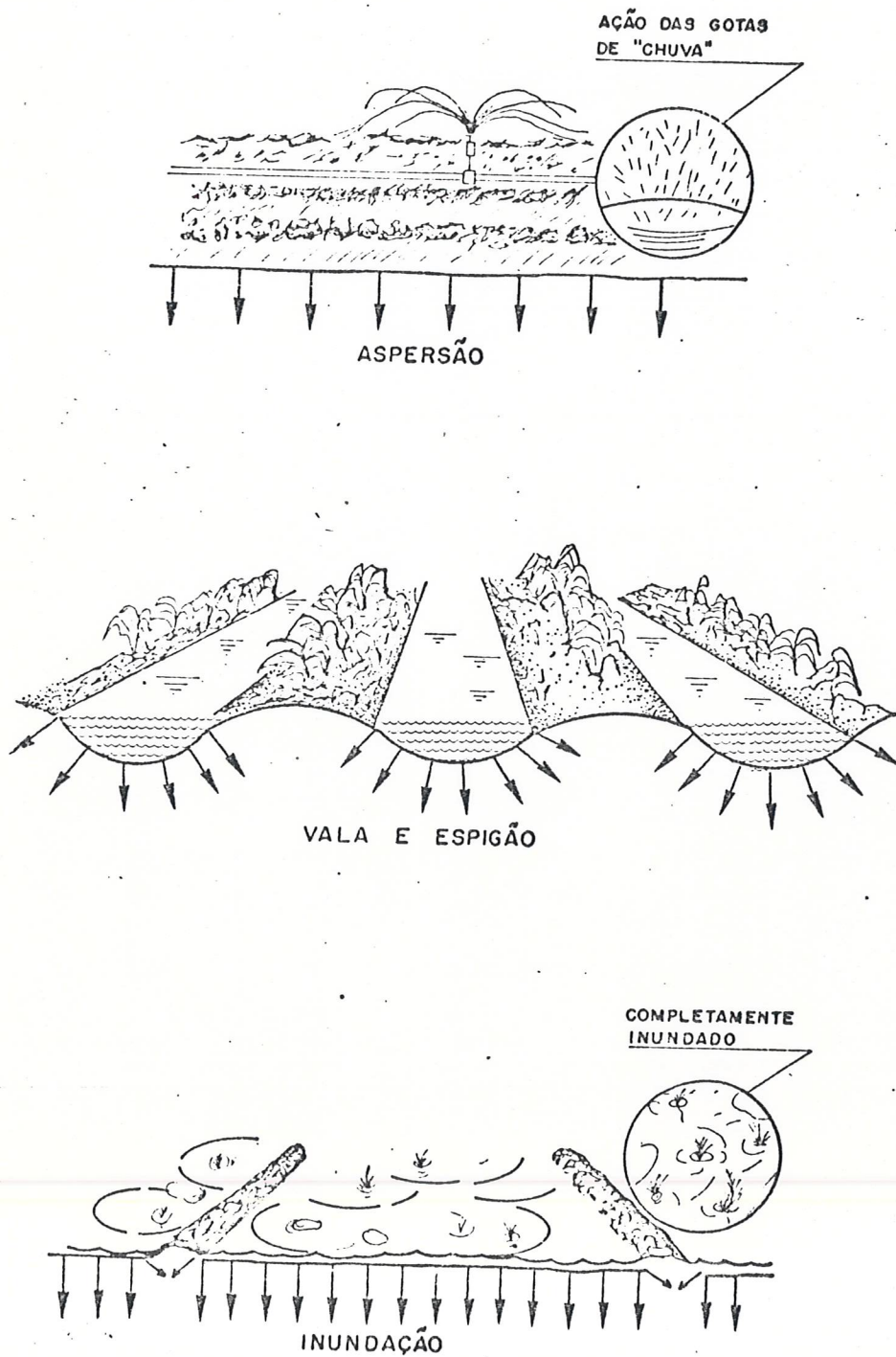
Nas Figuras 14 e 15, em sequência, estão apresentadas esquematicamente os três métodos de disposição considerados e os sistemas de aplicação do terreno.

Figura 14 - Esquemas de disposição no terreno



Fonte: Braile, P.M. (3)

Figura 15 - Sistemas de aplicação no terreno



Fonte: Braile, P.M. (3)

Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento dos sistemas de disposição de esgoto no terreno é basicamente função de vários processos complexos que são desenvolvidos na estrutura do solo. Estes processos são divididos em três principais grupos: físicos, químicos e biológicos.

A retenção de sólidos pela superfície do solo é um dos processos físicos mais importantes, sendo a 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 ocorre é a retenção de gases e da matéria orgânica pelos constituintes do solo. Esse fenômeno é importante na depuração do esgoto, uma vez que o mesmo promove a remoção de odores. Com relação aos processos biológicos, estes podem ser aeróbios e anaeróbios.

Irrigação por aspersão

O método de irrigação por aspersão é constituído por uma fonte de suprimento de esgoto, uma unidade bombeadora (moto-bomba), um sistema tubular de condução e distribuição e um sistema de aspersores que lança o esgoto para a atmosfera, de onde cai sob forma de chuva. Se o esgoto a ser utilizado na irrigação estiver condicionado em reservatórios elevados, dispensa-se o conjunto moto-bomba, pois o esgoto escoará por diferença de pressão através das li-

nhas de distribuição, irrigando o solo de maneira adequada.

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

Este processo pode ser empregado para irrigação de qualquer tipo de terreno com relação a sua inclinação, como os de superfície irregular, muito inclinada e coberta de tocos.

Com relação à cultura a ser irrigada, este processo não deve ser empregado para fertirrigar culturas alimentícias, devido à existência de microrganismos patogênicos no esgoto, que podem contaminar a cultura. Deve-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. Além disso, deve-se tomar o cuidado com o risco de disseminação de microrganismos patogênicos no meio ambiente por meio de aerossóis, ou seja, gotículas de esgoto que ficam em suspensão no ar.

Esse método apresenta as seguintes vantagens:

- dispensa a sistematização do terreno, ou seja, o seu preparo para o cultivo. Isto é muito importante, pois a movimentação da terra é operação relativamente cara;
- o solo fica menos sujeito à erosão;

- dispensa a construção e a conservação de uma rede de canais, facilitando, ainda, os trabalhos de mecanização da cultura e permitindo aproveitamento integral da área cultivada.

Como desvantagens, pode-se citar:

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

Irrigação por sulcos

No método por irrigação por sulcos e canais, o esgoto doméstico é distribuído em pequenos sulcos abertos ao longo da cultura que se deseja irrigar. Normalmente, o esgoto 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 percorrer lentamente ao longo do mesmo, fornecendo, assim, a 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 argi-

losos trazem certas dificuldades no emprego deste 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, acarretam 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, de maneira que os sulcos tenham comprimento razoável e as perdas estejam dentro de limites aceitáveis.

Este 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 uma grande área pode ser irrigada e controlada por uma pessoa.

Como desvantagens podem ser citadas:

- só é possível o seu uso em terrenos relativamente planos, havendo, ainda, certa limitação para alguns tipos de solo;
- as perdas de esgoto no fim dos sulcos podem ser elevadas; estas, porém, poderão ser reduzidas desde que a técnica de aplicação condicione o sulco a um comprimento, profundidade e espaçamento adequado para que a cultura tenha uma boa fertirrigação.

Neste método, deve-se utilizar plantas e culturas cujos frutos não estejam em contato direto com a terra, a fim

de evitar a contaminação dos mesmos (por exemplo: usar milho, cana-de-açúcar, pomares etc.).

Irrigação por inundação

Este método 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 este método não deve ser feita em culturas comestíveis, devendo ser empregado na fertirrigação de plantas relativamente altas e com capacidade elevada de absorção de água e de nutrientes, a fim de aumentar a eficiência de depuração do esgoto aplicado (por exemplo: eucalipto).

As vantagens deste método são as mesmas do método por irrigação por sulcos, sendo que as suas principais desvantagens são:

- só é possível o seu uso em terrenos relativamente planos;
- requer melhor preparo do terreno, exigindo movimentação de terra para se ter 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.

Este processo somente pode ser utilizado em solos que possuem uma profundidade efetiva em relação ao lençol freático de três a cinco metros, para evitar a contaminação das águas subterrâneas.

Este método somente pode ser aplicado para irrigar 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 efetuado em solos de baixa permeabilidade (solo argiloso) e moderadamente inclinado, em que grande quantidade de esgoto escoam em excesso em sua superfície. É um processo biológico em que o esgoto aplicado na parte alta do solo percorre toda a extensão do terreno, criando condições para o desenvolvimento de uma microfauna, que é 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.

Neste 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 ou

tros tipos de gramíneas).

É aconselhável aplicar este 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 de uma 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 um importante fator para a decisão 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 estabeleça 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 Tabela 9 são apresentados os principais critérios de projeto dos sistemas de aplicação de esgotos no solo.

5. 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 isto, a tecnologia convencional tem empregado os digestores anaeróbios com grandes tempos de retenção, que dependendo da temperatura, da agitação etc., podem se situar entre 15 e 60 dias.

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

Jamais se imaginou usar um digestor anaeróbio convencional para tratamento direto do esgoto doméstico, pois resultariam unidades 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. A característica fundamental deste é ter reduzido o tempo de retenção para apenas algumas horas, tornando possível tratar o esgoto sanitário neste novo modelo de reator. Isto foi possível pela modificação do regime hidráulico, de forma a obter maior acúmulo e atividade das bactérias presentes no digestor,

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

| Fator | Irrigação | Escoamento | Infiltração |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taxa de aplicação hidráulica Aplicação anual Necessidade de área para aplicação de 1000 m ³ /dia (*) Necessidade de área em m ² /hab. Técnica de aplicação | 1,3 a 10 cm/semana 50 a 240 cm/ano 15 a 58 ha (mais área de segurança) 22,5 a 87,0 (mais área de segurança) Aspersão superficial, solos com permeabilidade moderada com boa produtividade quando irrigados | 5 a 15 cm/semana 240 a 730 cm/ano 5 a 15 ha (mais área de segurança) 7,5 a 22,5 (mais área de segurança) Usualmente aspersões: levemente permeáveis, tais como solos argilosos | 10 a 30 cm/semana 550 a 15000 cm/ano 0,2 a 7 ha (mais área de segurança) 0,3 a 10,5 (mais área de segurança) Usualmente superficial: solos bastante permeáveis, tais como solos arenosos. |
| Probabilidade de influenciar o lençol subterrâneo Profundidade necessária até o lençol d'água Perdas de águas residuárias | Moderada Cerca de 1,5 m Predominantemente por evaporação e infiltração | Fraca Indeterminada Descarga superficial predomina sobre evaporação e infiltração | Certa Cerca de 4,5 m Infiltração para o lençol subterrâneo |

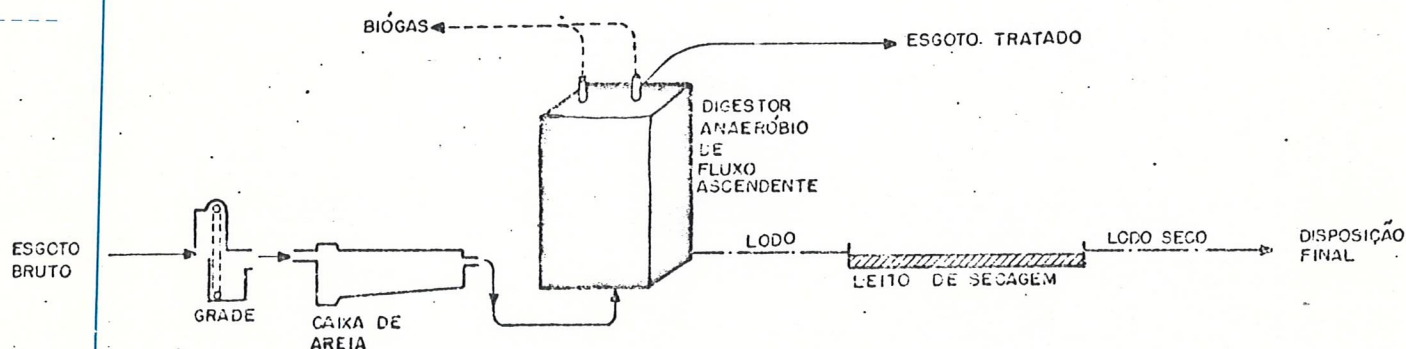
(*) Vazão equivalente a uma população de 6.670 habitantes com uma contribuição "per capita" de 150 l/hab.dia.

Fonte: Braile, P.M. (3)

que por suas características, formam um lodo granular de fácil decantação.

O digestor anaeróbico 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.

Figura 16 - Fluxograma de instalação de digestor anaeróbico de fluxo ascendente



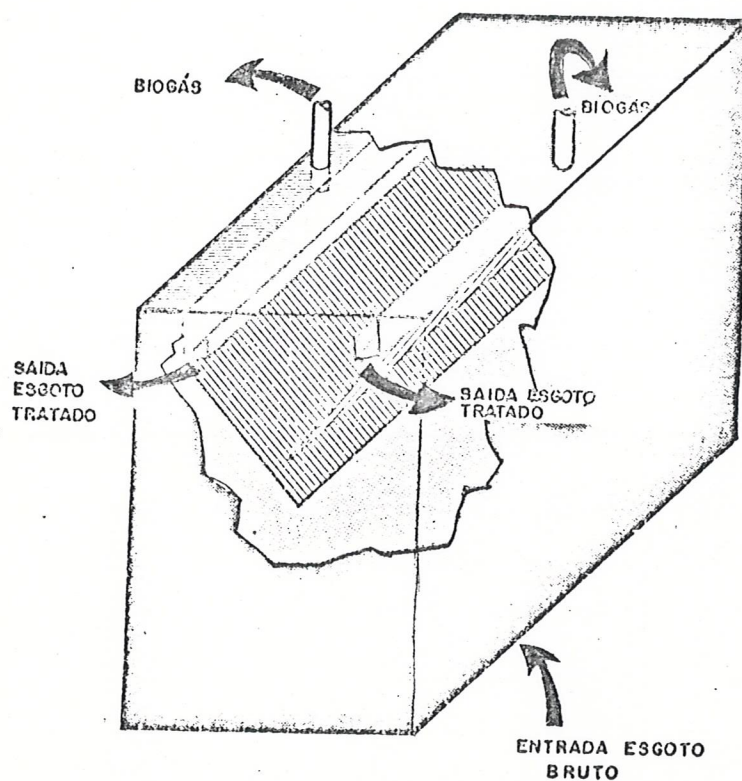
Os sólidos, ou lodo, são separados dentro do próprio reator e aí permanecem, sendo removidos periodicamente para evitar super acumulação. Os gases formados no processo, de nominados de biogás, são captados na parte superior da unidade. O tratamento do esgoto é realizado por uma grande população de microrganismos,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

Este tipo de digestor pode, em princípio, ser empregado para populações de qualquer tamanho (desde algumas centenas até 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 a partícula do reator, até o estabelecimento do regime estacionário, está em fase de estudo e necessita ainda de cuidados especiais.

Figura 17 - Digestor anaeróbico de fluxo ascendente



- 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 4 a 8 horas, para uma faixa de temperatura de 35 a 12°C e sem a entrada de substâncias tóxicas. Este 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 se utilizam 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, em regra, 5 tipos de tanques 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).
- O digestor ocupa uma área algumas vezes menor e custa, pelo menos, 6 vezes menos em relação a um sistema convencional de lodos ativados.
- 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 dito, o processo anaeróbio gera um importante subproduto: o biogás. A produção deste é de cerca de 14 Nl gás/habitante.dia, com concentração de metano de 80% e poder calorífico de 100 Kcal/habitante.dia. Este gás pode ser usado para os mais diversos fins: iluminação, uso em veículos, fogões e outros. Em um digestor anaeróbio de fluxo ascendente, o gás equivalente ao esgoto de 10 habitantes é suficiente para atender às necessidades de cocção em fogões de 1 habitante. Para uso em veículos, após purificação e compressão do biogás, 1000 habitantes geram o equivalente a 10,5 l diesel/dia ou 14,0 l álcool/dia ou, ainda, 13,0 l gasolina/dia.

A área e o volume necessários para digestores de fluxo ascendente podem ser vistos nas tabelas seguintes.

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

| População (habitantes) | 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 "per capita" | 0,0075 m ² /hab. | 0,0250 m ³ /hab. |

* Para contribuição de esgotos "per capita" do 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 "per capita" (ℓ / hab.dia) | Área para 10.000 hab. (m ³) | Volume para 10.000 hab. (m ³) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 120 | 60 | 200 |
| 150 | 75 | 250 |
| 200 | 100 | 330 |
| 240 | 120 | 400 |

* Não inclui área necessária para disposição do lodo

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

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, enquanto os filtros dispensam essa necessidade.

Pode-se também aproveitar o lodo como fertilizante, procedendo-se a 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 podem ser vistos abaixo, para um digestor de 200 m³.

| | |
|----------------------------------------------|-----------------------|
| . Volume útil do digestor: | 200 m ³ |
| . Área máxima: | 60 m ² |
| . Vazão de esgoto: | 50 m ³ /h |
| . Tempo de detenção: | 4 h |
| . Eficiência de remoção de matéria orgânica: | 70 a 80% |
| . Produção de gases: | 150 Nlgás/kgDBO adic. |
| . Conteúdo de CH ₄ nos gases: | 75 a 85% |

Quanto aos custos de instalação, pode-se verificar, a seguir, 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

| | | |
|-------------------------------------------------|-------|-----|
| 1. Digestor semi-enterrado, com elevatória | 6.500 | OTN |
| 2. Digestor semi-enterrado, sem elevatória | 5.270 | OTN |
| 3. Digestor apoiado no solo sem elevatória | 6.340 | OTN |
| 4. Digestor totalmente enterrado sem elevatória | 5.600 | OTN |

Incluídos: gradeamento, caixa de areia, 10% para eventuais

Não incluídos: destinos finais ou aproveitamento de efluente, lodo e gás.

Material: concreto

Tabela 12 - Custo de instalação "per capita" de digestor anaeróbio de fluxo ascendente

| Contribuição "per capita" (l/hab.dia) | Custo de instalação "per capita" (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 jan./1985

Outras informações, tais como características operacionais, partida, disposição do lodo, etc., estão sendo pesquisadas pela CETESB e deverão estar disponíveis no decorrer do ano de 1986.

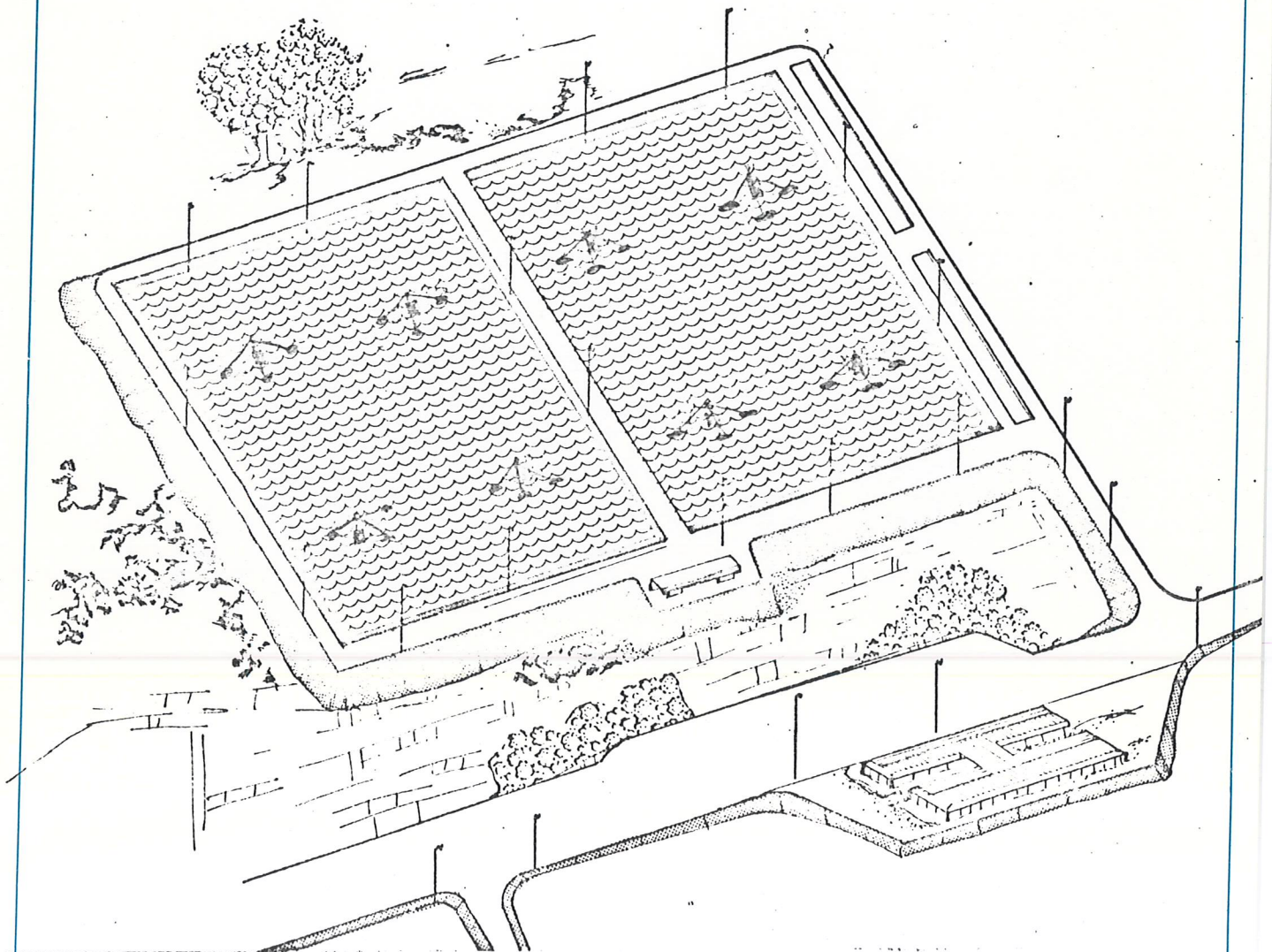
Em locais próximos a residências, o digestor de fluxo ascendente deve ser construído totalmente fechado e o descarte do efluente deve ser feito através de condutos fechados, para evitar problemas devido ao odor característico dos processos anaeróbios.

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.

6. LAGOAS AERADAS

As lagoas aeradas diferem, basicamente, das lagoas de fotossíntese pela forma como é fornecido oxigênio às bactérias. Enquanto nas lagoas de fotossíntese o oxigênio é produzido naturalmente pelas algas, nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido, artificialmente, por dispositivos mecânicos.

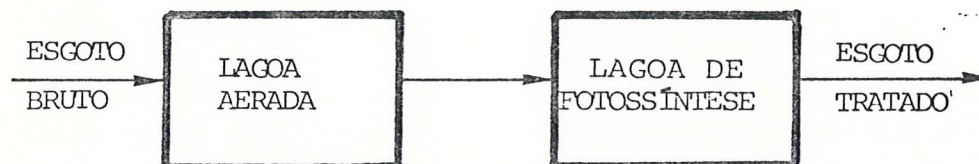
Figura 18 - Lagoa aerada



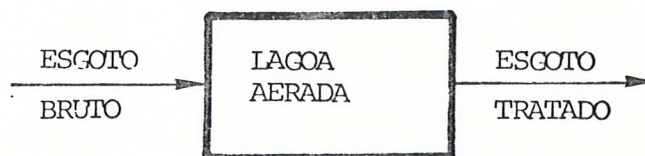
Como já mostrado anteriormente, a principal desvantagem do uso de lagoas de estabilização diz respeito à área necessária, principalmente para grandes vazões de esgotos. Considerando que o fornecimento de oxigênio por meio artificial reduz a área requerida, pode-se concluir que, via-de-regra, as lagoas 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 reduzirá a carga afluyente à lagoa de fotossíntese, diminuindo a área desta)



- como sistema único



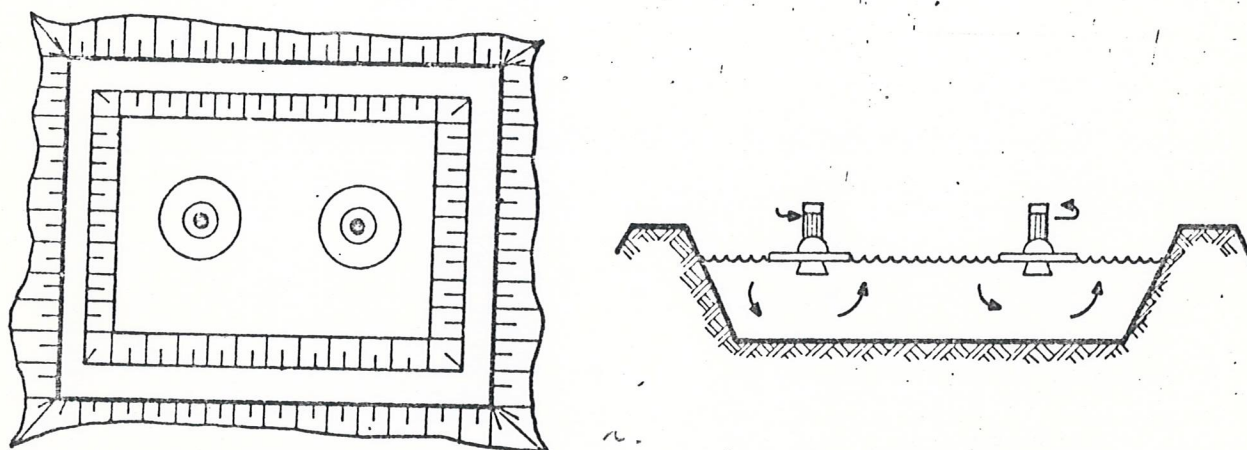
De modo a melhorar a eficiência do sistema, recomenda-se o uso de uma "lagoa de decantação", após a lagoa aerada, o que permitirá a sedimentação dos sólidos do efluente. É importante que essa lagoa de decantação tenha um tempo de detenção mínimo de um dia (o que fará sedimentar a maioria dos sólidos em suspensão) e um tempo de detenção máxi

mo de dois dias. (o que evitará que haja um crescimento de algas).

A principal vantagem deste tipo de tratamento é, pois, a necessidade de áreas menores que as lagoas facultativas. No entanto, apresenta como desvantagens principais a necessidade de energia elétrica para acionar os aeradores, a necessidade de manutenção dos mesmos e os elevados custos de investimentos.

O desenho, a seguir, ilustra esquematicamente uma lagoa aerada.

Figura 19 - Esquema de lagoa aerada



A Tabela 13, em sequência, apresenta uma estimativa da área necessária para lagoas aeradas para vários valores de população contribuinte.

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

| População (hab) | Área estimada (m ²) | | |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| | Lagoa Aerada | Lagoa Sed.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 |

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 são aqueles referentes ao consumo de energia para acionar os aeradores.

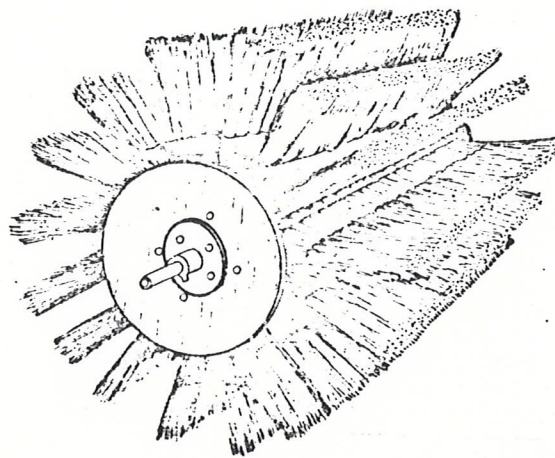
7. VALOS DE OXIDAÇÃO

Os valores de oxidação foram desenvolvidos na Holanda e se prestam, normalmente, para tratamento de esgotos de localidades de pequeno e médio porte e que não disponham de grandes áreas para tratamento. Nesse sistema, 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.

Este sistema de aeração pode ser extremamente simples, consistindo de um eixo horizontal, onde é acoplada uma "escova" feita de piaçaba, ripas de madeira, lâminas de material inoxidável, borracha etc. (ver detalhe na Figura 20).

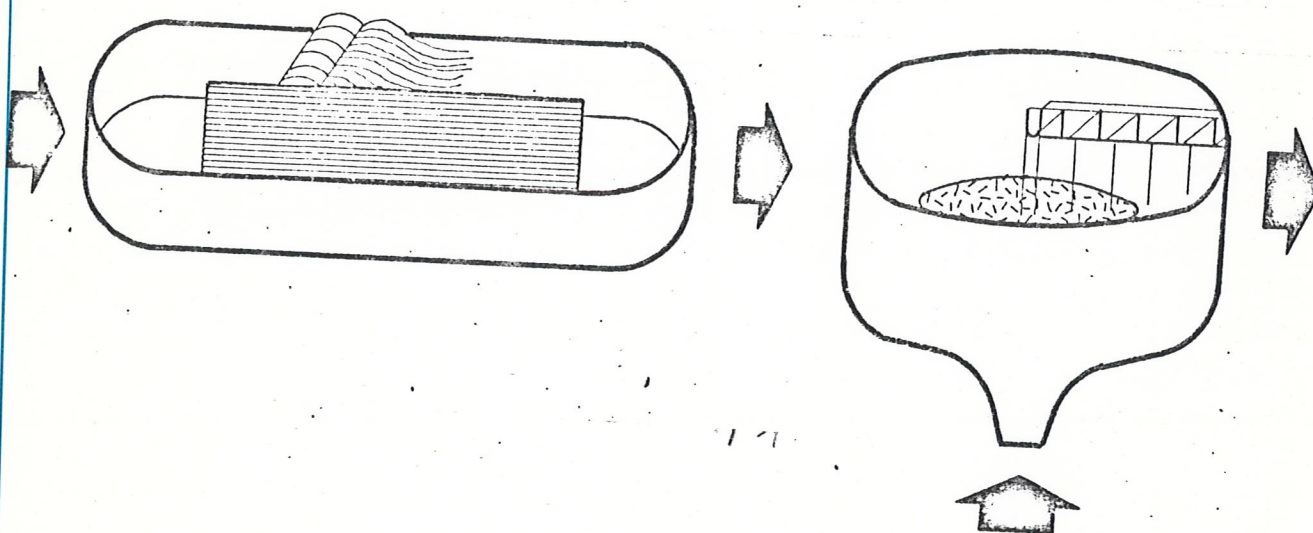
Figura 20 - Aerador de eixo horizontal



A geometria do valo tem que ser bem projetada, de modo a se evitar 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.

Figura 21 - Esquema de valo de oxidação e decantador secundário



A profundidade do valo deve estar situada entre 1,0 e 1,5 m e o material utilizado 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 valo 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, pode-se utilizar uma lagoa de polimento após o valo de oxidação, o que assegurará 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 dar uma ordem de grandeza da área requerida, a tabela abaixo relaciona a população com a área total necessária.

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

| População (hab.) | Áreas aproximadas (m ²) | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------|
| | Aeração (1) | Decanta- ção (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 kgDBO/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.

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

8. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

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

Foram abordados apenas os sistemas descritos neste manual, embora, evidentemente, outras alternativas de tratamento possam ser consideradas.

A Figura 22 apresenta 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 com 5.000 habitantes, com disponibilidade de área, pouco inclinada, com solo constituído por argila siltosa, sem disponibilidade de energia elétrica, sem pessoal especializado para operação do sistema de tratamento e sem possibilidade de efetuar movimento de terra.

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

Tendo-se verificado os tratamentos possíveis, a Tabela 15, que compara qualitativamente os sistemas em relação a alguns parâmetros, pode fornecer mais algumas informações quanto a eficiência, geração de lodo, custos de implantação e operação etc.

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

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

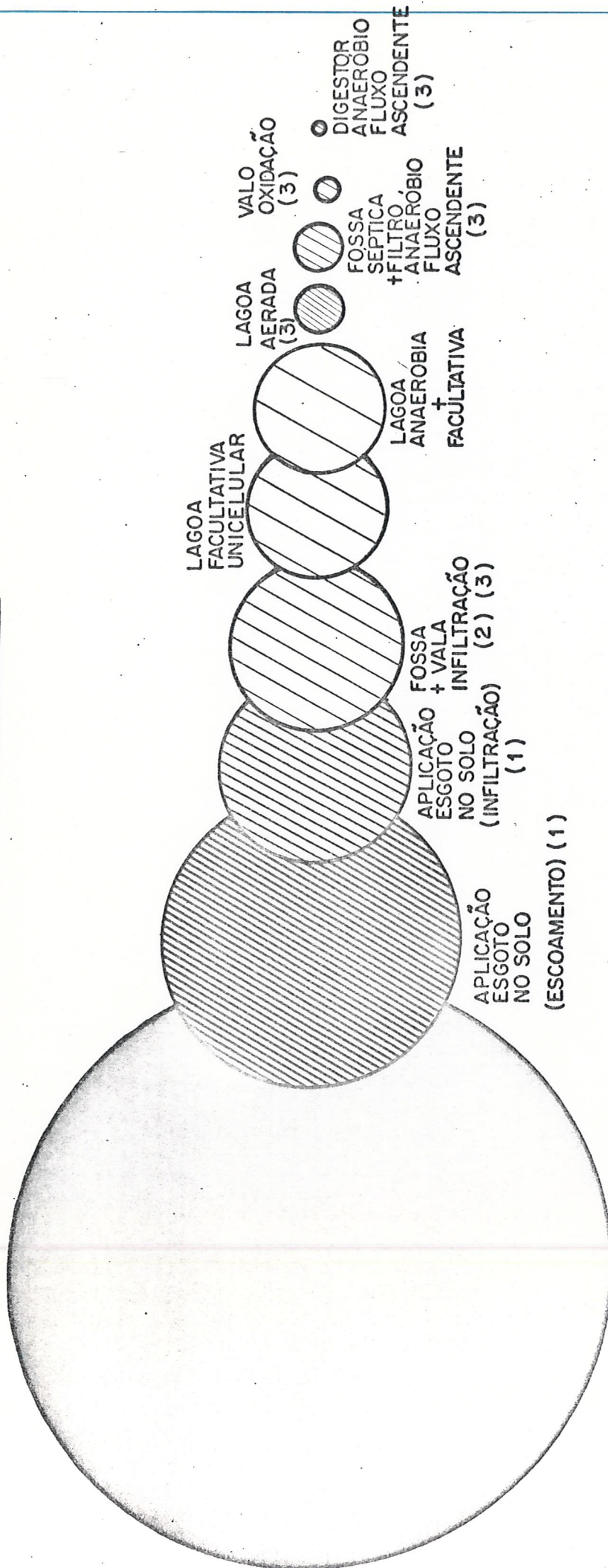
| Características | Fossa séptica + sumidouro | Fossa séptica + valas de infiltração | Fossa séptica + filtro anaeróbio | Lagoa anaeróbia + facultativa (sistema austriano) | Lagoa facultativa unicelular | Disposição de esgoto no solo | Digestor anaeróbio ascendente | Lagoa aerada + lagoa decantada | 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 |
| Consumo 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 |
| Perdação de matéria orgânica | pequena | pequena | grande | muito grande | muito grande | muito grande | grande | muito grande | muito grande |
| Perdação de nutrientes | não renovem | não renovem | não renovem | podem renovar algum | podem renovar algum | renovem | não renovem | não renovem | podem renovar algum |
| Presença de vírus, bactérias, protozoários, vermes no efluente | (***) | (***) | grande, grande, pequeno (?) | pequeno, pequeno, isento | pequeno, pequeno, isento | (***) | grande, grande, pequeno (?) | 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 custo do terreno.

(**) Exceto 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



APLICACAO ESGOTO NO SOLO (IRRIGACAO) (1)

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. Mar. 1982. (Norma NBR-7229)
2. BORN, R.H. et alii. Aspectos de saúde pública dos sistemas de saneamento. São Paulo, 1983. (Apresentado ao Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12. Camboriú - SC, 1983).
3. BRAILE, P.M. Disposição de efluentes sobre o terreno. In: Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo, Cetesb, 1979. p. 565-601.
4. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Land treatment of municipal wastewater effluents. Design factors - II. 1976. (Technology Transfer, EPA-625/4-76-010).
5. GASI, T.M.T. et alii. Classificação ambiental das infecções excretadas: um exercício de aplicação em fossa séptica. R. DAE, 44 (139): 277-83, dezembro 1984.
6. JORDÃO, E.P. & PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos; concepções clássicas de tratamento de esgotos. São Paulo, Cetesb, 1975, v.1.
7. METCALF & EDDY. Wastewater engineering: collection, treatment, disposal. New York, Mc Graw-Hill, 1972.
8. ROVIRA, J. M. Z. Reutilización de águas residuales para agricultura. Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitária y Ciências del Ambiente, 1980.

9. VIEIRA, S.M.M. Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente. R. DAE, 44 (139): 322-8, dez. 1984.
10. VIEIRA, S.M.M. & 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. R. DAE, 44 (135): 51-7, dez. 1983.