



Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água

Programa de Capacitação em Gestão da Água



CURSO

SANEAMENTO RURAL



PROJETO TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA GESTÃO DA AGUA - FASE II

COORDENADOR GERAL

Paulo Belli Filho

COORDENADOR CAPACITAÇÃO PRESENCIAL

Armando Borges de Castilhos Jr.

GRUPO DE PLANEJAMENTO, GERENCIAMENTO E EXECUÇÃO

Claudia Diavan Pereira

Valéria Veras

Hugo Adolfo Gosmann

Alexandre Ghilardi Machado

Mateus Santana Reis

Thaianna Cardoso

COORDENADORES REGIONAIS

Sung Chen Lin

Cristine Lopes de Abreu

Luiz Augusto Verona

Claudio Rocha de Miranda

Ademar Rolling

COMITE EDITORIAL

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Ramon Lucas Dalsasso

AUTORES DO CONTEÚDO

Marlon André Capanema

Mauricio Luiz Sens

Pablo Heleno Sezerino

Gestão:

Execução Técnica:

Patrocínio:



PETROBRAS



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO EM
GESTÃO DA ÁGUA

Saneamento Rural

Florianópolis - Santa Catarina
2014

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

U58s Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento rural / Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental ; [coordenador geral Paulo Belli Filho ; autores do conteúdo: Maurício Luiz Sens, Pablo Heleno Sezerino, Marlon André Capanema]. - Florianópolis : [s. n.], 2014. 150 p. ; il., tabs., fots.

ISBN: 978-85-98128-75-7

Projeto Tecnologias Sociais para Gestão da Água - Fase II. Programa de capacitação em gestão da água. Inclui bibliografia.

1. Gestão das águas. 2. Saneamento rural. 3. Tecnologias sociais. I. Sens, Maurício Luiz. II. Sezerino, Pablo Heleno. III. Capanema, Marlon André. IV. Título.

CDU: 628.3

CORREÇÃO GRAMATICAL

Rosangela Santos e Souza

CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Studio S • Diagramação & Arte Visual

(48) 3025-3070 - studios@studios.com.br

IMPRESSÃO

Digital Máquinas Ltda.

(48) 3879-0128 - digitalcri@ig.com.br

CONTATOS COM TSGA

www.tsga.ufsc.br

cursotsga@gmail.com

(48) 3334-4480 ou (48) 3721-7230



O PROJETO

O Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água - TSGA iniciou suas atividades em Santa Catarina apoiado pela Petrobrás, desde o ano de 2007. Sua execução é realizada pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em conjunto com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI e o Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPSA/EMBRAPA. As principais ações em desenvolvimento na atual fase são:

- Desenvolver unidades demonstrativas de tecnologias sociais para o uso eficiente da água na produção de suínos, na rizicultura, para a prática da agroecologia e para o saneamento ambiental no meio rural.
- Reversão de processos de degradação de recursos hídricos: uso e ocupação do solo visando à proteção de mananciais; recomposição de vegetação ciliar; preservação e recuperação da capacidade de carga de aquíferos e ações de melhoria da qualidade da água;
- Promoção e práticas de uso racional de recursos hídricos: ações de racionalização do uso da água; promoção dos instrumentos de gestão de bacias: mobilização; planejamento e viabilização de usos múltiplos.

Neste contexto, um dos programas prioritários em desenvolvimento, objetiva o fortalecimento das atividades formação, capacitação, em temas relacionados com o uso eficiente da água e preservação dos recursos hídricos, com prioridade para professores, corpo técnico das comunidades e organizações parceiras do TSGA.

O presente material didático constitui uma ferramenta de apoio ao ensino e formação do público alvo, elaborado por equipe de profissionais especialistas em suas áreas de atuação. Finalmente, visa igualmente perenizar e disseminar informações para o alcance dos objetivos do projeto TSGA, Fase II.



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	11
-------------------	----

MÓDULO 1

TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO EM MEIO RURAL

CONTRIBUIÇÃO ÀS TECNOLOGIAS SOCIAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	17
Generalidades sobre tratamento de Águas.....	17
Finalidade do Tratamento	17
Sistemas mais comuns de tratamento de água	17
Escolha do Manancial	18
Combinações de Processos no Sistema de Tratamento.....	18
TECNOLOGIAS SIMPLIFICADAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	21
Filtração lenta	21
<i>Pré-Filtros</i>	24
<i>Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)</i>	26
Limpeza de filtros lentos.....	27
Filtração Lenta com Retrolavagem.....	30
Proposta de Filtro Lento com Retrolavagem Para uma Propriedade de Base Familiar	33
Acionamento automático da limpeza do FLR por sistema hidráulico mecânico:	37
FILTRAÇÃO EM MARGEM	39
Introdução	39
Ação purificadora da natureza	41

Hidráulica de Poço para FM.....	42
Tipos de poços	43
Filtração em Margem de rio	46
Filtração em Margem de lago.....	47
Vantagens e desvantagens da FM	47
Referências Bibliográficas.....	50

MÓDULO 2

TRATAMENTO DE ESGOTO EM MEIO RURAL

TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERRAMENTA DO SANEAMENTO ..	55
MULTIASPECTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS	59
Aspecto Sanitário	59
Aspecto Ecológico	61
PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	63
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS	67
Decanto-Digestor tipo Tanque séptico	67
Critérios para a definição do tratamento do efluente de tanque séptico	70
<i>Capacidade de percolação do solo</i>	71
<i>Perfil geológico - sondagem</i>	74
Filtro anaeróbio	75
Filtro de Areia	77
Vala de Filtração	80
Vala de Infiltração	83
Sumidouro	85
Filtros plantados com macrófitas	87
DESINFECÇÃO DO ESGOTO TRATADO COM VISTAS AO REÚSO	93
MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO	97
Filtro anaeróbio	98
Filtro de Areia	98
Vala de Infiltração	99
Sumidouro	99

SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS E SUAS POTENCIALIDADES	101
Gerenciamento do lodo gerado	101
<i>Valorização do lodo produzido</i>	<i>102</i>
Aplicação dos efluentes líquidos gerados nas unidades de tratamento e reúso da água.....	103
<i>Aplicação dos efluentes líquidos</i>	<i>103</i>
<i>Reúso da água</i>	<i>104</i>
Referências Bibliográficas.....	106

MÓDULO 3

RESÍDUOS SÓLIDOS

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	109
DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	113
TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	115
CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS.....	117
GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	121
GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	125
MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	131
Acondicionamento.....	132
Coleta e transporte	134
Minimização da geração e reciclagem de resíduos sólidos.....	136
Logística Reversa	137
Compostagem	139
Disposição final	144
Referências Bibliográficas.....	148



APRESENTAÇÃO

De acordo com a Lei 11.445/2007, que estabelece a Política Federal de Saneamento Básico e prevê o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLAN SAB, os principais componentes do saneamento são: 1) abastecimento de água potável, 2) esgotamento sanitário, 3) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e 4) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Este material didático tem por objetivo apresentar as principais definições e características de três componentes do saneamento básico, a saber, tratamento de águas de abastecimento, tratamento de esgotos, e gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos, com o enfoque voltado para a realidade do meio rural.

Tratamento de água de abastecimento em meio rural

A Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. A água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Define-se água para consumo humano a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem; água potável a água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria 2914 do MS e que não ofereça riscos à saúde; e água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade.

Enquanto a demanda por água de qualidade vem aumentando nos dias atuais para melhor qualidade de vida, ela vai se tornando cada vez mais escassa e mais sujeita à contaminação. A agricultura com seus modernos sistemas de produção e o crescimento industrial são alguns dos fatores responsáveis pelo aumento da demanda mundial de água.

A maioria da população dos centros urbanos tem acesso a água tratada, enquanto, no **meio rural**, geralmente isso não acontece.

A água destinada à bebida das pessoas e dos animais deve ser de boa qualidade e para isso, é necessário compreender os cuidados higiênicos que devem ser observados em sua captação, tratamento e reservação.

ANOTAÇÕES:

São escassas as informações disponíveis sobre tecnologias sociais de tratamento de água para o setor rural. O curso “**Saneamento Rural**”, do projeto TSGA contribui com algumas técnicas alternativas de tratamento de água para consumo humano e animal, desenvolvidas pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Tratamento de esgoto em meio rural

O tratamento de esgotos no meio rural historicamente foi encarado como sendo algo rudimentar, sem merecimento da atenção do poder público, sendo até mesmo negligenciado pelo proprietário/morador. Contudo, este cenário conduz a uma potencial condição de poluição ambiental, merecendo, portanto, atenção quanto ao correto manejo dos esgotos domésticos gerados nas propriedades rurais.

Desta forma, alternativas tecnológicas de tratamento de esgotos adaptáveis à realidade rural precisam ser difundidas, aplicadas, monitoradas e fiscalizadas. Dentre as inúmeras opções, destaca-se a utilização de tanque séptico seguido de sistemas de tratamento complementar do efluente líquido do tanque séptico, os quais podem ser empregados isoladamente ou combinadas.

Estas alternativas, se forem bem projetadas, construídas e operadas, tornam-se sistemas com custos reduzidos (ideais para residências e pequenos povoados, tanto urbanos como rurais) e com grande eficiência na remoção de poluentes e patógenos dos esgotos, propiciando, assim, um efetivo controle ambiental.

TSGA



Módulo 1

Tratamento de água de abastecimento em meio rural

Maurício Luiz Sens

- Sistema de tratamento do **tipo 1**, é adotado para águas de qualidade muito boa, requerendo apenas a desinfecção, ou mesmo para águas em que não seria necessário a desinfecção na ETA, prevê a aplicação de cloro para manter um residual até chegar aos reservatórios domiciliares e cisternas.
- Sistema de tratamento do **tipo 2**, filtração + desinfecção, é empregado para águas de boa qualidade, com pouca cor e turbidez (cor + turbidez < 50). Neste sistema, emprega-se, normalmente, a **filtração lenta**, na qual além de coar ocorre um tratamento biológico importante.
- No sistema de tratamento do **tipo 3**, começa o emprego de produto químico (além do desinfetante). Este tipo de tratamento é chamado de filtração direta, aplicando-se a coagulação química + filtração rápida + desinfecção. Adota-se para água de pior qualidade que a anterior, porém ainda considerada boa, de baixa cor e turbidez (cor verdadeira + turbidez < 25).
- O sistema de tratamento do **tipo 4**, quando empregado com decantação é chamado de **tratamento convencional** ou clássico, e é adotado para águas de piores qualidades que a anterior, e com grandes variações de qualidade entre períodos de chuva e estiagem. Neste sistema, considera-se que 95% dos sólidos sejam retirados na etapa da decantação e os 5% restantes na filtração rápida, que normalmente é descendente. Quando os flocos formados na floculação são leves (velocidade de sedimentação baixa), substitui-se a decantação pela flotação.
- O sistema de tratamento do **tipo 5**, consiste no sistema 3 ou 4 com aplicação de carvão ativado, seja em pó (CAP) ou em grão (CAG). Este sistema é adotado quando se tem problemas de odor e sabor na água, metais pesados e agroquímicos, dependendo do manancial utilizado.
- O sistema de tratamento do **tipo 6**, consiste no sistema 3 ou 4 com aplicação de um oxidante, que dependendo da qualidade da água bruta poderá ser aplicado como pré-oxidante, interoxidação ou pós-oxidação, podendo ser aplicado, também, em mais de um ponto consecutivo. Em nível final de tratamento, é sempre aplicado com dupla função, a de oxidação e desinfecção e, no Brasil, quase sempre o produto aplicado é o cloro. Os oxidantes mais comuns são: cloro, ozônio e dióxido de cloro.
- No sistema de tratamento do **tipo 7**, da mesma forma que os sistemas anteriores, sobre o sistema de tratamento do tipo 4, pode-se acrescentar também um tratamento biológico. Como exemplo, para eliminação de nitrato da água através de desnitrificação biológica.

ANOTAÇÕES:

Que consiste em provocar a transformação dos nitratos em nitrogênio gasoso através de bactérias denitrificantes fixadas sobre suportes nos quais circula a água a ser tratada.

Tabela 1 - Sistemas de tratamento de água - Limites de qualidade da água bruta

Linha de Tratamento	Parâmetros - Limite Máximo					
	Turbidez (uT)	Cor Verdadeira (uH)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Coli totais (NMP/100m)	Coli fecais (NMP/100mL)
Filtração lenta	10	5	1	0,2	1.000	200
Pré-filtro + Filtro lento	50	10	5	0,5	10.000	2000
Filtração direta ascendente	20	25	3	0,5	5.000	200

Distintas ações como: transporte, aderência e atividade biológica ocorrem principalmente nos primeiros 40 cm do leito filtrante, resultando na remoção da maior parte das impurezas contidas na água. Após um certo tempo de operação, conhecido como período de maturação, que pode variar de dias até semanas, ocorre a formação de uma camada biológica no topo do meio filtrante, denominada de “Schmutzdecke”, que contribui significativamente para a retenção das partículas.

A atividade biológica é considerada a ação mais importante que ocorre na filtração lenta. Essa camada biológica é constituída de partículas inertes, de matéria orgânica e de uma grande variedade de microrganismos (bactérias, algas, protozoários, metazoários e outros). Em geral, os microrganismos fitoplanctônicos e os demais co-habitam os filtros lentos. Dependendo das espécies e da quantidade, as algas podem obstruir rapidamente os vazios intergranulares no início da camada de areia, reduzindo drasticamente a duração da carreira de filtração.

ANOTAÇÕES:



Figura 2. Sistema de tratamento de água por filtração lenta

A lavagem do leito filtrante do filtro lento, quase sempre é realizada manualmente, e após a lavagem, necessita-se que o leito filtrante amadureça (isto é, adquira sua camada filtrante biológica), o que leva dias para voltar a produzir água filtrada de qualidade satisfatória.

O filtro pode ser de fluxo descendente (mais comum) ou ascendentes:

Filtro de fluxo descendente: Na Figura 3, vê-se um corte esquemático do filtro lento de fluxo descendente. Nesta filtração, uma complexa atividade biológica desenvolve-se na superfície do leito filtrante, após certo tempo de funcionamento (tempo de amadurecimento referido anteriormente) e passa a subsistir da matéria orgânica trazida pela água bruta. Tal comunidade biológica é capaz de reter partículas e impedir a passagem de microrganismos, inclusive os patogênicos. Esta atividade é responsável pela excelente qualidade bacteriológica referenciada para a água filtrada do filtro lento. A figura 3 mostra um esquema de filtro lento descendente convencional, e a tabela 2 apresenta as especificações do material filtrante para filtro lento.

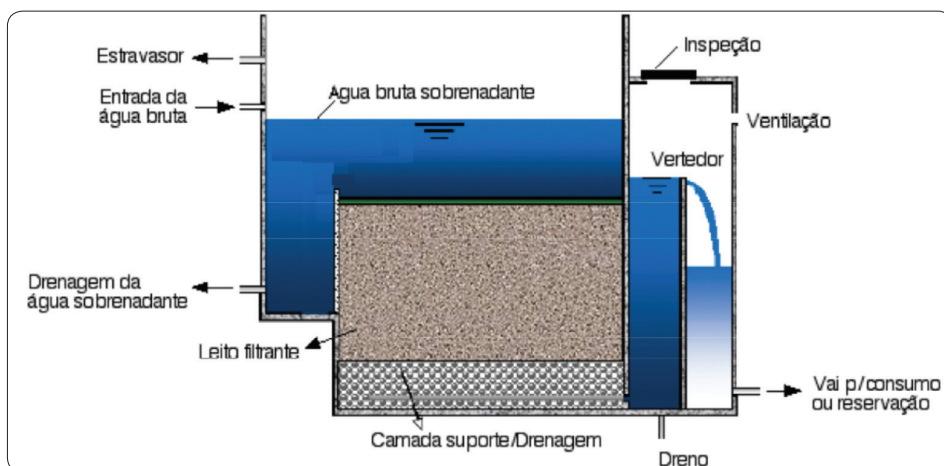


Figura 3. Filtro lento descendente convencional

Tabela 2. Material filtrante e camada suporte de filtro lento descendente convencional

Material filtrante (areia)		Camada Suporte (pedregulho)		
Especificação	Valor	Especificação	Espessura (cm)	Tamanho (mm)
Espessura da camada (m)	0,90 - 1,20	Subcamada 1	5,0 - 10,0	1,4 - 2,4
Tamanho dos grãos (mm)	0,104 - 1,0	Subcamada 2	5,0 - 7,5	3,2 - 6,4
Tamanho efetivo (mm)	0,15 - 0,35	Subcamada 3	7,5 - 10,0	9,6 - 15,9
Coef. de desuniformidade	< 3	Subcamada 4	10,0 - 15,0	19,0 - 31,0
Coef. de esfericidade	0,7 - 0,8			

A altura da lâmina de água sobre o leito filtrante descendente, geralmente é entre 0,90 e 1,50 m; Costuma-se aplicar uma taxa de filtração entre 2 a 12 m³/m².d (em geral < 6 m³/m².d); e um número mínimo de 2 filtros para sistemas de tratamento coletivo.

As **vantagens** de forma geral dos filtros lentos sobre o sistema de tratamento convencional são: evitam o emprego de produtos químicos; os equipamentos empregados são mais simples; exigem operação mais simples; pode-se obter água de características menos corrosivas; o lodo formado pode ser usado na agricultura; pouco uso de eletricidade.

As **desvantagens** são: exigem área relativamente grande para as instalações; é pouco eficiente para a redução da cor (< 50%); tem pequena flexibilidade para se adaptar as demandas de emergências.

A carreira de filtração (o tempo entre 2 lavagens do meio filtrante) ocorre em intervalos de 7 a 90 dias, em média 30 dias. A limpeza é feita por meio de raspagens da camada superior do lodo, mais 2 a 3 cm do

leito filtrante. Faz-se isto a cada limpeza até que o meio filtrante fique com 50 cm, quando se recoloca toda a areia novamente no filtro.

Filtro de fluxo ascendente: a água é filtrada, inicialmente, pela denominada camada suporte e, em seguida, pelo leito propriamente dito. Os defensores desta concepção atribuem a esse tipo de filtro maiores carreiras de filtração, tendo em vista que a passagem da água ocorre primeiro por grãos mais grossos e, somente então, por grãos mais finos, o que propiciaria a oportunidade do desenvolvimento da camada biológica filtrante não apenas na superfície do filtro, mas em boa parte de seu volume. A parte superior do filtro pode servir de reservatório de consumo e, no momento da lavagem do leito filtrante, a água filtrada deste reservatório (armazenamento) escoar rapidamente de forma descendente, tendo em vista a descarga de fundo, lavando o material filtrante, como pode ser visto na figura 4.

ANOTAÇÕES:

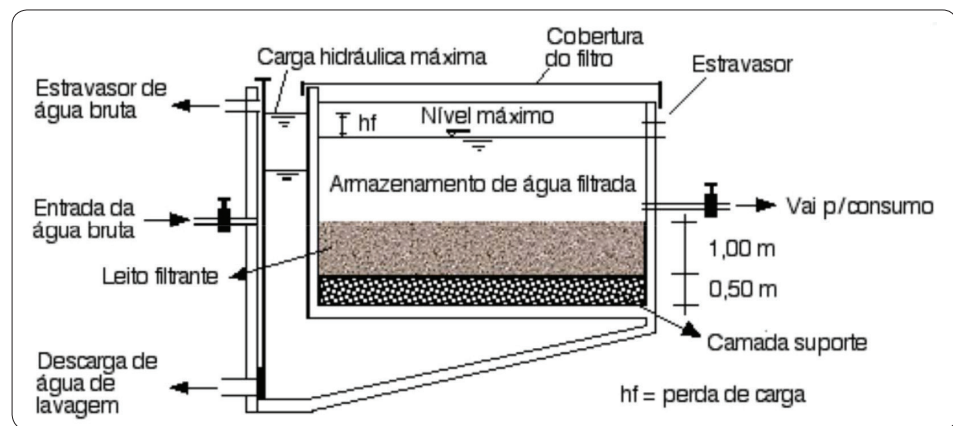


Figura 4: Filtro lento de fluxo ascendente.

Pré-Filtros:

Após alguns anos de funcionamento, é possível que a qualidade da água bruta deteriore e, neste caso, pode-se instalar pré-filtros para melhorar o afluente aos filtros. Nestes casos, além da carga de sólidos, diminui também a contaminação bacteriológica.

Os pré-filtros podem ser classificados segundo a direção e o sentido do fluxo da água, em:

- Pré-filtro de fluxo horizontal;
- Pré-filtro de fluxo vertical descendente;
- Pré-filtro de fluxo vertical ascendente;
- Pré- filtro dinâmico.

Os pré-filtros mais aplicados são de fluxo vertical ascendente, seja em areia grossa ou de pedregulhos. Vê-se, na figura 5, um corte esquemático de um pré-filtro de fluxo vertical ascendente de pedregulho (seixo rolado). Na figura 6, vê-se um corte esquemático de um Pré-filtro de fluxo vertical ascendente de areia grossa.

A figura 7 mostra um desenho de uma instalação de um pré-filtro dinâmico. A altura de água sobre o topo da camada de pedregulho varia entre 3 a 5 cm. Costuma-se usar 3 ou 4 subcamadas de pedregulho, com a maior granulometria entre 25,4 e 38 mm, e a menor granulometria entre 2 e 4,8 mm, sendo cada subcamada com espessura de 20 a 30 cm.

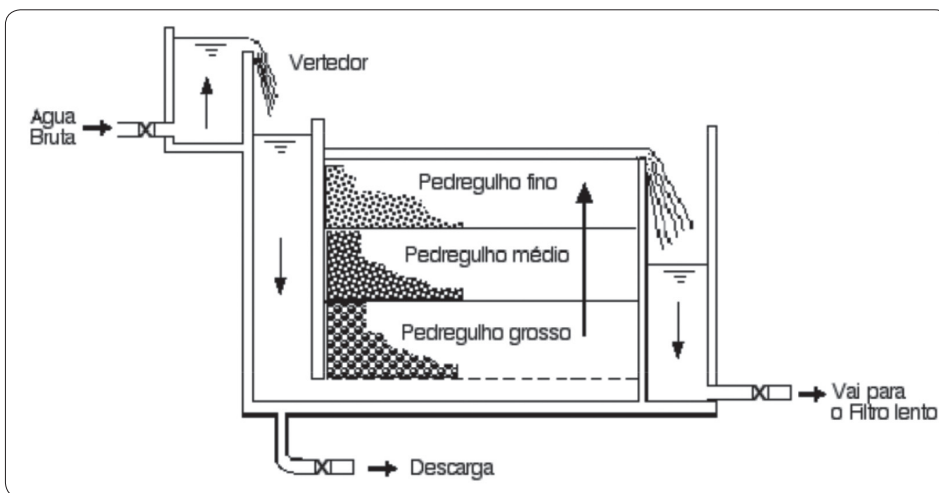


Figura 5. Pré-filtro de fluxo vertical ascendente de pedregulho

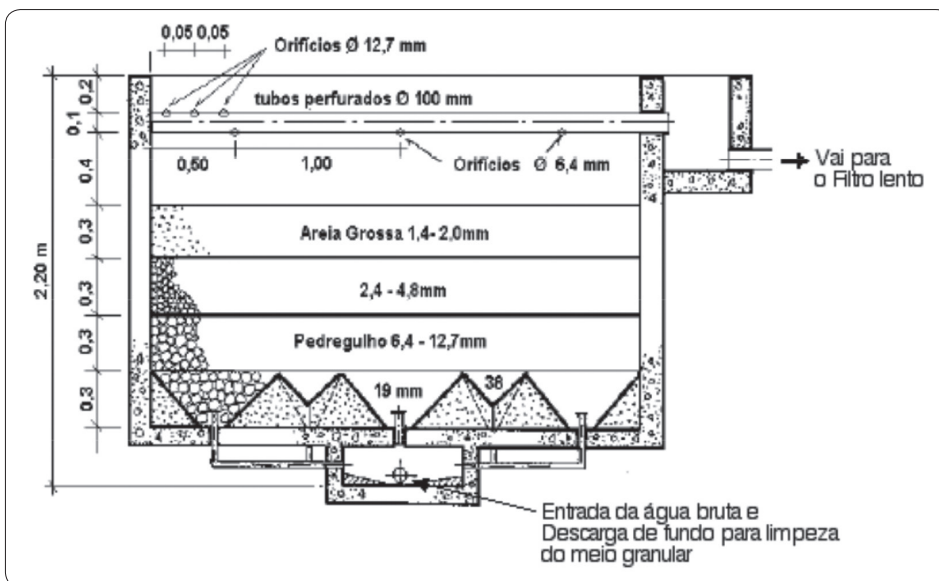


Figura 6. Pré-filtro de fluxo vertical ascendente de areia grossa

ANOTAÇÕES:

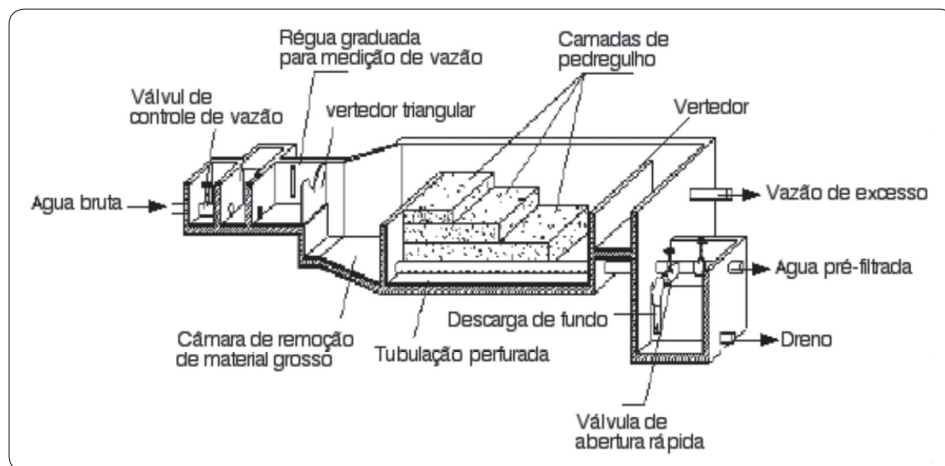


Figura 7. Pré-Filtro dinâmico

ANOTAÇÕES:

Filtração em Múltiplas Etapas (FiME):

Com a degradação contínua dos mananciais, principalmente, em decorrência do desenvolvimento agrícola e industrial, exige medidas tecnológicas apropriadas ao tratamento da água destinada ao consumo humano. Com pouco recurso financeiro surge a ideia de implantar o tratamento em etapas. Assim, a tendência é implantar, ao longo do tempo, mais etapas de pré-tratamento para deixar cada vez melhor a qualidade do afluyente que irá entrar no filtro lento. Na Colômbia, isto vem sendo feito e a limpeza do filtro se dá uma vez por ano. Primeiro, implanta-se a filtração lenta propriamente dita com gradeamento e desinfecção, depois, a pré-filtração, mais tarde, a pré-filtração dinâmica. Após tudo implantado, a carreira de filtração fica muito grande (em torno de um ano) e a qualidade da água tratada muito boa. As figuras 8, 9 e 10 ilustram esta tecnologia.

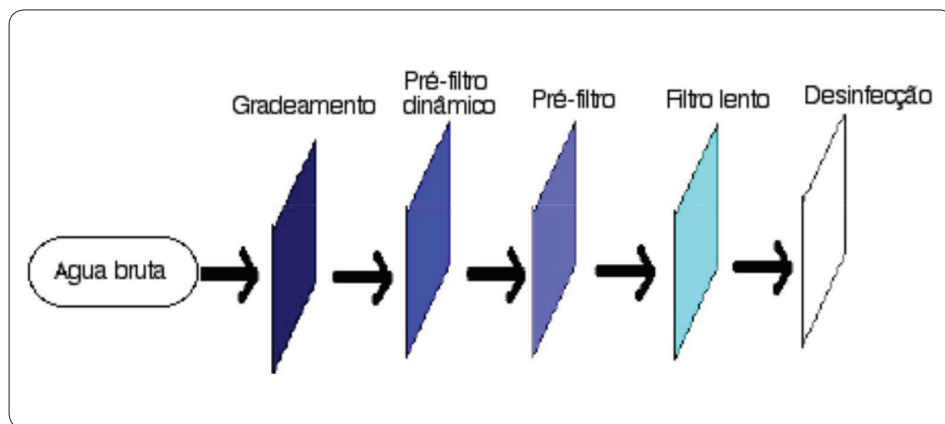


Figura 8. Filtração em múltiplas etapas - FiME

Fonte: Adaptado de Di Bernardo, Luiz

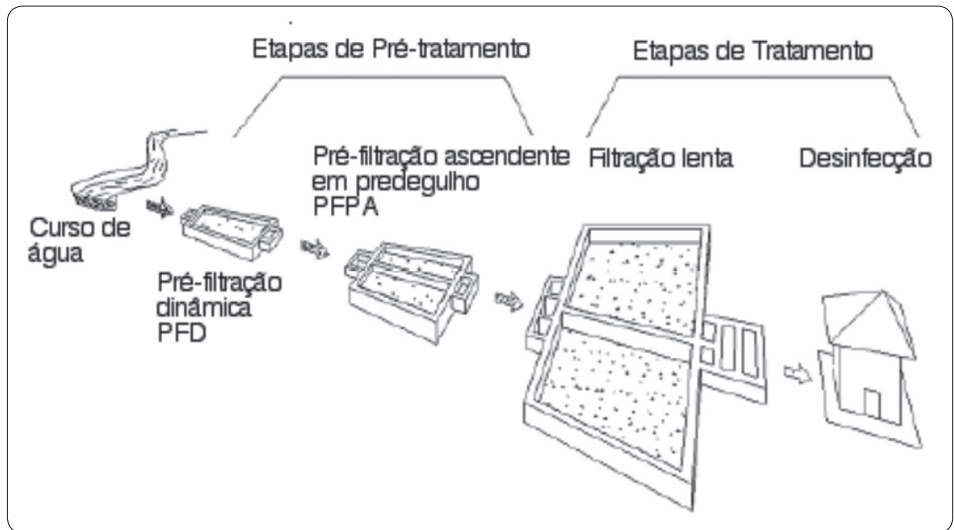


Figura 9. Esquema geral da instalação FiME.

Fonte: Adaptado de Galvis et al., 1998.

ANOTAÇÕES:



Figura 10. Foto de um sistema de filtração em múltiplas etapas em uma pequena comunidade em Cali, Colômbia.

Fonte: Galvis et al., 1998.

Limpeza de filtros lentos

A limpeza do filtro lento é uma das etapas mais importantes no processo de tratamento de águas de abastecimento, ocorrendo quando o nível da água acima do material filtrante atinge o seu máximo.

Os desafios para realizar a limpeza dos filtros lentos de forma prática e eficiente, são quase tão antigos quanto a sua adoção como tecnologia de

tratamento de água. Os problemas de uma lavagem inadequada são observados na carreira de filtração seguinte, isto porque, a lavagem afeta diretamente na qualidade da água e o aumento do nível de água bruta acima do material filtrante (perda de carga).

No método tradicional de limpeza de filtros lentos, ocorre a drenagem até que o nível de água fique logo abaixo da superfície do leito filtrante. Dessa forma, a *Schmutzdecke* e os primeiros 2 a 3 cm de areia são raspados, lavados e acondicionados para serem repostos no filtro quando a altura de areia do filtro fique com a espessura mínima recomendada (50 cm).

Com a adoção desta técnica de limpeza, é inevitável que haja perda de quantidades de areia que deverão ser repostas quando conveniente. Extrair, limpar e repor a areia é uma operação que leva tempo e necessita de mão de obra intensa. Por conta desses aspectos, alguns filtros não tiveram a devida reposição após a raspagem, ficando com altura reduzida da camada de areia, tendo prejuízos na qualidade da água produzida. Para filtros maiores ($> 70 \text{ m}^2$), uma solução para facilitar a limpeza da areia consiste em construir um lavador com formato cilíndrico e fundo cônico, conforme mostra a Figura 11.

A lavagem da areia por contracorrente ocorre em bateladas, com água filtrada oriunda de reservatório situado em cota superior à localização dos filtros. O lavador possui uma camada suporte para sustentar a areia, que é colocada pela abertura superior do mesmo. A extração da areia limpa ocorre por arraste hidráulico até um tanque de drenagem da água, após o que, a areia é devolvida aos filtros.

ANOTAÇÕES:

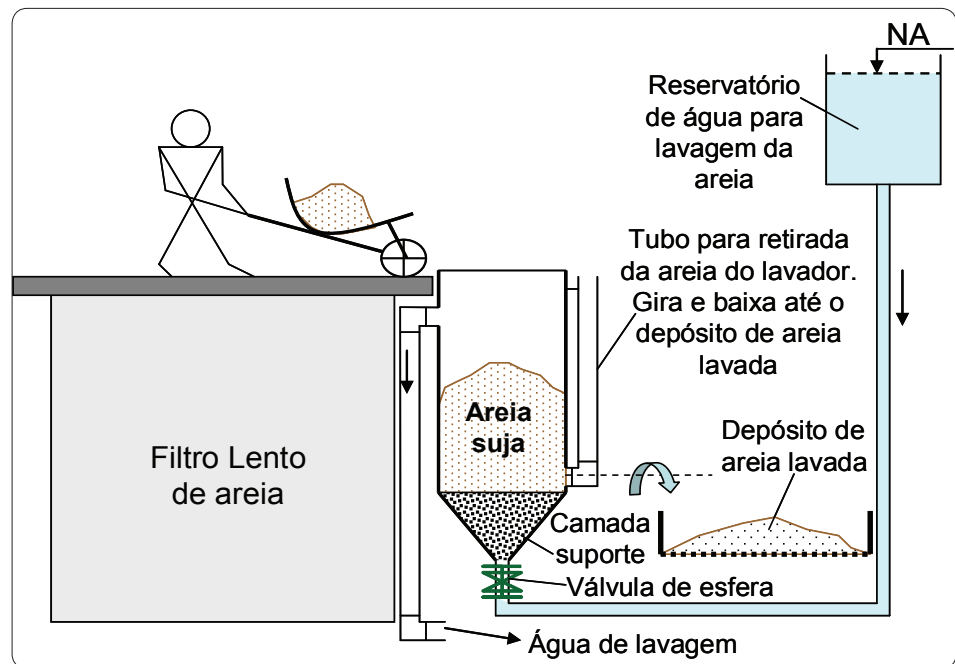


Figura 11. Lavador de areia

Além do método tradicional comentado anteriormente, existem algumas outras formas de limpeza de filtro lento, sempre com o objetivo de facilitar a manutenção periódica dos filtros.

O método de rastelagem é atualmente aplicado em filtros grandes, e serve para desempacotar e remover a camada biológica dos grãos que ficam na parte superior do filtro, ocorrendo, em seguida, a inversão de fluxo sem que haja expansão, sendo a água suja retirada por um extravasador. Este método apresenta uma série de importantes benefícios operacionais em comparação com a limpeza tradicional, principalmente, em relação a não ocorrência de perda de material filtrante (LOGSDON, 2002).

De acordo com Galvis (1999), a partir de 1800, diversas experiências com filtros lentos de **escoamento ascendente** foram aplicadas na Inglaterra, França, Escócia e Estados Unidos. A filtração lenta ascendente caracteriza-se como uma alternativa de grande potencial prático, principalmente, no que tange a limpeza das unidades. Os filtros são desenhados de tal forma, que essa operação pode ser realizada pela abertura de apenas uma válvula, conforme mostra a Figura 12. A atividade de limpeza é rápida e demanda pouca mão de obra, pois, nesse caso, a areia não é removida. A água filtrada armazenada acima do topo da areia, flui em sentido contrário, arrastando a sujeira retida da camada suporte e principalmente, nos primeiros centímetros da camada inferior da areia. Como vantagem adicional, ressalta-se que, após o período inicial de maturação, a eficiência bacteriológica se mantém estável, pois sua camada biológica é pouco removida. Entretanto, a maturidade biológica é menos favorecida por taxas mais altas de filtração.

Estudos relatam, também, que a limpeza por descarga de fundo nos filtros pode se mostrar pouco eficiente quando se aplica uma taxa de filtração elevada, como $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, que pode facilitar a penetração de impurezas através de todo o leito.

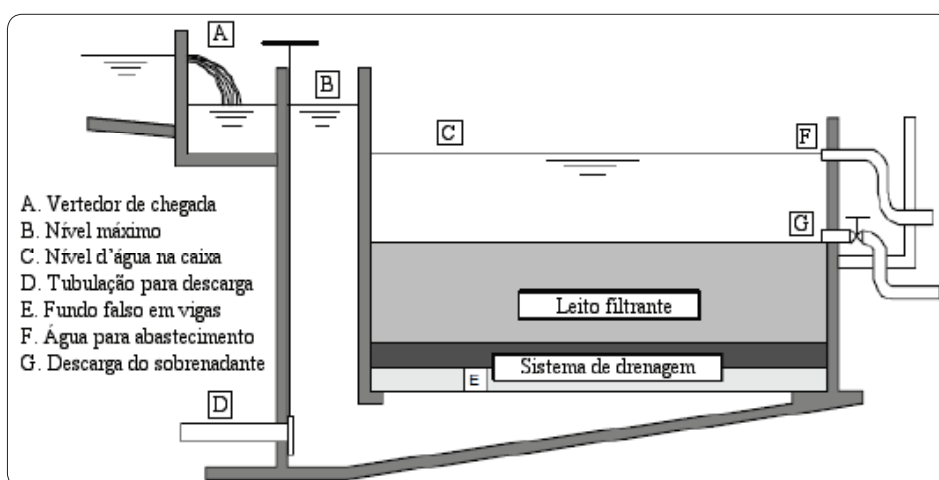


Figura 12. Esquema de funcionamento de um filtro lento de escoamento ascendente.

Fonte: Murtha, 1998.

ANOTAÇÕES:

Filtração Lenta com Retrolavagem

A filtração lenta pode ser aplicada em escala reduzida de produção, como por exemplo, em uma propriedade rural de base familiar. Apropriando-se dessas características, o Laboratório de Potabilização de Águas da UFSC (LAPOÁ), em 1992, idealizou a aplicação dessa tecnologia em propriedades rurais, propondo como diferencial uma técnica que facilitasse a limpeza do filtro lento, tendo em vista a imperiosa necessidade que a mesma fosse extremamente simples, culminando com a proposta de um filtro lento descendente retrolavável, batizado pelo LAPOÁ de FLR. Nessa técnica, a limpeza do meio filtrante é feita com água produzida pelo próprio filtro.

ANOTAÇÕES:

Estudos de Michielin (2002) deram continuidade à proposta de Sens, quando foi desenvolvido o primeiro sistema piloto de filtração lenta com retrolavagem, operado em laboratório, com o objetivo principal de estudar as condições hidráulicas para a fluidificação do material filtrante.

Em continuidade, Emmendoerfer (2006), desenvolveu estudos em sistema piloto junto a um lago, operando seis unidades em paralelo, com o objetivo de avaliar em função de diferentes alturas de camada filtrante: a duração das carreiras, a qualidade da água filtrada, aspectos hidráulicos e características da lavagem das unidades. A Figura 13 mostra esquematicamente o sistema estudado.

Percebe-se que, com a abertura de apenas uma válvula, a água filtrada pode fluir do reservatório de água para lavagem, passando em contracorrente pelo leito filtrante, provocando a limpeza do mesmo.

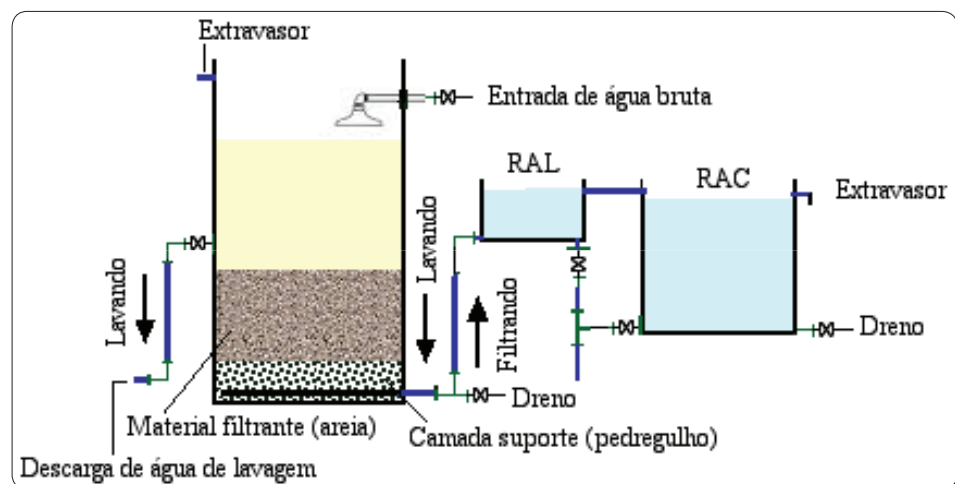


Figura 13. Esquema do Filtro Lento Retrolavável. RAL= Reservatório de água para lavagem; RAC = Reservatório de água para consumo. Fonte: Dalsasso, R. L. & Sens, M. L.

Após a etapa inicial conduzida por Emmendoerfer, outros estudos foram feitos, contando com apoio de Dimas Murakami, Ramon Lucas Dalsasso para implantar uma unidade de FLR pelo LAPOÁ/UFSC, na Estação Experimental da EPAGRI (Empresa de Extensão e Pesquisa Agropecuária), localizado no município de Agrônômica /SC. O objetivo dessa etapa foi avaliar a funcionalidade e eficiência do sistema no tratamento de água de abastecimento em propriedade rural. O sistema teve desempenho satisfatório produzindo 2500 L/d operando com taxa de 3 m³/m².d.

Marnoto (2008) operou um sistema piloto com seis unidades em paralelo, reproduzindo o filtro lento retrolavável, incorporando os conhecimentos adquiridos pelos pesquisadores anteriores. Em seu trabalho, avaliou diferentes expansões do leito filtrante durante a retrolavagem, sua influência na duração nas carreiras de filtração, qualidade da água filtrada e tempo de formação da camada biológica. Os resultados mostraram que o sistema produz água atendendo aos padrões de potabilidade vigentes no Brasil, e que a limpeza com expansão da ordem de 10% do leito filtrante também é factível. É importante destacar que a ideia de promover a limpeza do filtro com a menor expansão possível, busca preservar uma grande concentração de microrganismos, no topo do leito filtrante, contribuindo para a redução do tempo de maturação do filtro.

Estudos mais recentes desenvolvidos por Soares (2009), Michelin (2010) e Pizzolatti (2010), comprovam a factibilidade e eficiência da filtração lenta com retrolavagem, aplicada a pequenos sistemas de produção. Essa perspectiva mostra-se bastante promissora e, no Brasil, assume um papel importante no setor de saneamento, na medida em que a Lei 11445 / 2007 - Diretrizes Nacionais do Saneamento Básico, tem por princípio, entre outros, a universalização dos serviços de saneamento, ou seja, todos deverão ter acesso, mesmo em áreas rurais. Nesse contexto, a filtração lenta com retrolavagem surge como alternativa de baixo custo, no atendimento da prestação dos serviços em foco. Nas figuras 14 e 15, pode-se observar os últimos avanços da pesquisa no LAPOÁ entre 2010 e 2014. O filtro na figura 15 ficou com altura menor e a retrolavagem é feita com água bruta. Na figura 16, vê-se 3 filtros em operação consecutiva na cidade de Florianópolis. Um

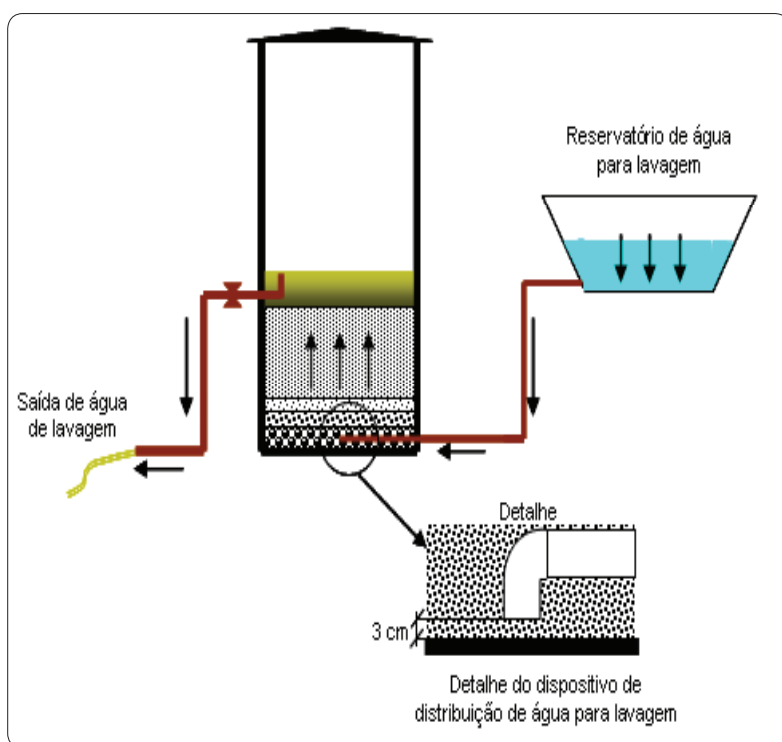
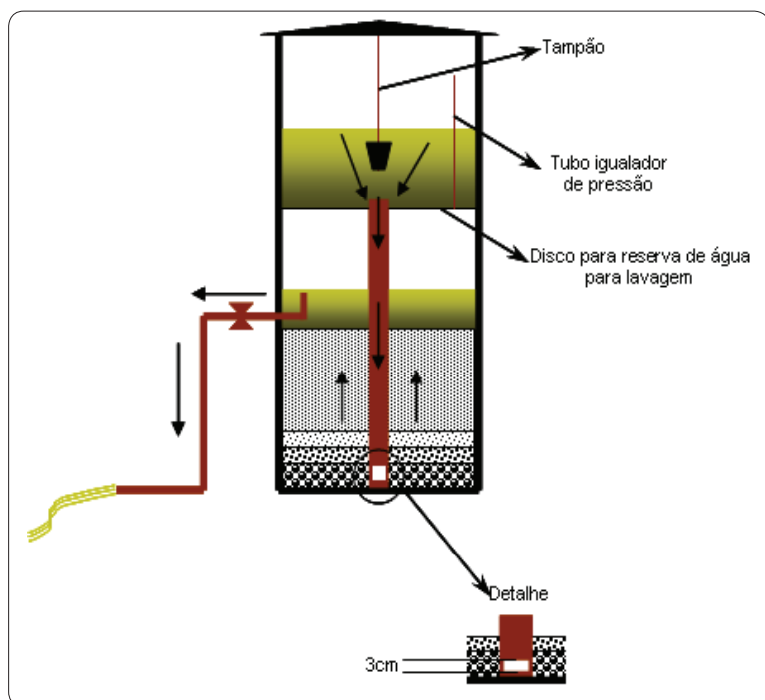


Figura 14. Filtro Lento com retrolavagem com água filtrada



filtro lento convencional, um FLR e outro filtro lento com retrolavagem com água bruta (FLRb).

Figura 15. Filtro Lento com Retrolavagem com água bruta



Figura 16. Foto de 3 filtros: Filtro do tipo convencional (o mais baixo), filtro com retrolavagem com água filtrada (da direita) e filtro com retrolavagem com água bruta (do meio). Foto de Pizzolatti, B. S. (2012).

Proposta de Filtro Lento com Retrolavagem Para uma Propriedade de Base Familiar

Para se construir um FLR em alvenaria, sugere-se seguir os parâmetros do filtro lento construído no município de Agronômica, no Centro de Treinamento da EPAGRI, SC. As figuras 17 a 22 mostram detalhes construtivos do filtro lento com retrolavagem e os parâmetros de projeto são:

- Taxa (T) = 5 m³/ m².d;
- Produção (Q) = 2000 L/d;
- Tempo de lavagem (t) = 4,5 min.
- Altura do meio filtrante = 35 cm;
- Altura da camada suporte = 25 cm;
- Granulometria da camada suporte = 1 a 4,5 mm;
- Granulometria do material filtrante: tamanho efetivo = 0,3 mm;
- Velocidade ascensional para lavagem do meio filtrante = 0,35 m/min = 504 m³/m².d, (vazão de água para lavagem Q_L = 8,4 m³/h);
- Volume de água para lavagem V_L = Q x t = 8,4 x 4,5 / 60 = 0,63 m³;
- Dimensões do reservatório de lavagem = 1,40 x 1,20 x 0,40 m.

ANOTAÇÕES:

Pode-se utilizar a alvenaria de tijolos maciços, com paredes de 1/2 tijolo, rebocados interna e externamente com argamassa (cimento+areia+vedacit). A cada três fiadas, as paredes são amarradas com aço f = 4,2 C15 para garantir sua sustentação. Para não haver infiltrações, passar três demão de impermeabilizante internamente e externamente.

Prever tampas de proteção para o filtro e para o reservatório de água para lavagem, o material utilizado pode ser de madeira revestida de chapas de alumínio. Para sua fundação, lajes de concreto armado de 5 cm de altura, também com aço f = 4,2 C15.

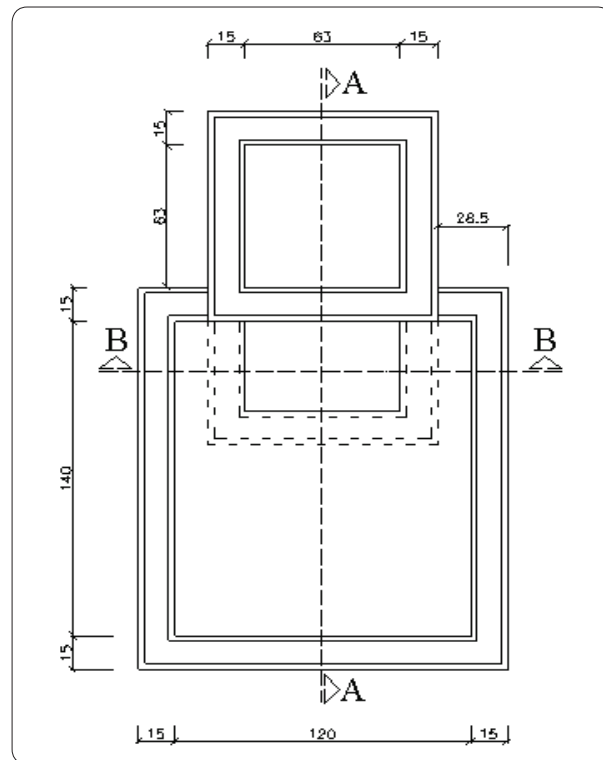


Figura 17. Planta do filtro no nível 2 m (cotas em cm).

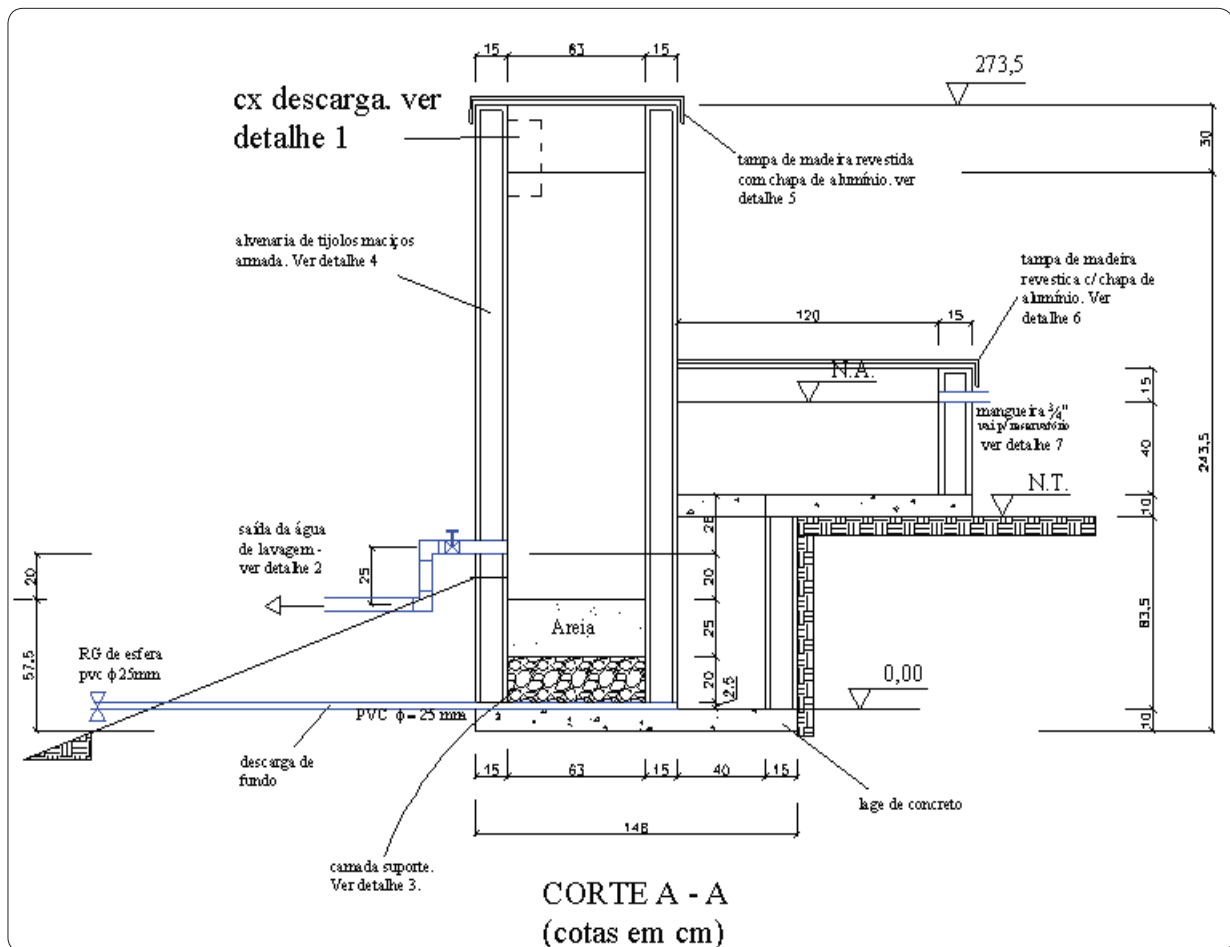


Figura 18. Corte AA do filtro

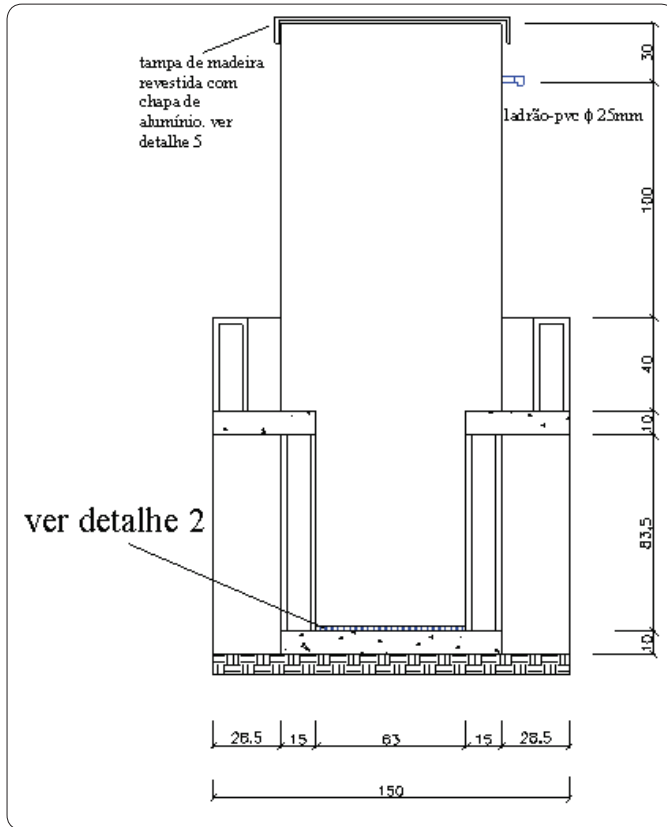


Figura 19. Corte B - B (cotas em cm).

ANOTAÇÕES:

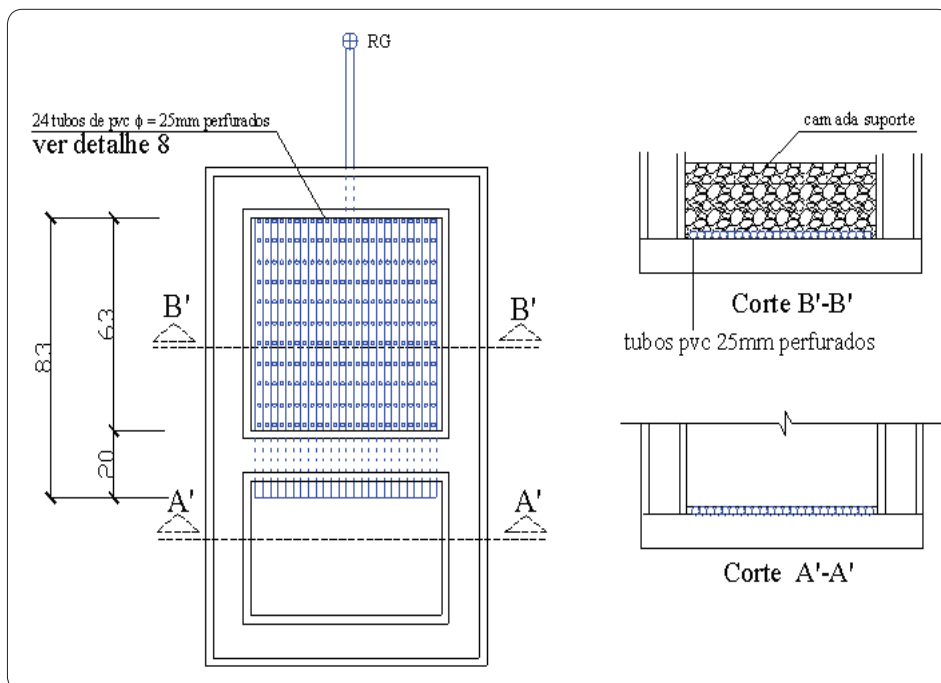


Figura 20. Planta baixa no nível 0,1 m (cotas em cm).



Figura 21. Fotos do início da construção



Figura 22. Foto da construção do reservatório de lavagem e foto do filtro terminado

Acionamento automático da limpeza do FLR por sistema hidráulico mecânico:

A manutenção periódica dos filtros necessita da ação humana. Uma das formas de aliviar esse trabalho é o uso de sistemas de retrolavagem que facilitam a limpeza do filtro e a implementação de sistemas automáticos de lavagem. Porém, tais sistemas, normalmente, necessitam do uso de energia elétrica, o que nem sempre está disponível em áreas isoladas.

Soares *et al.* (2010) desenvolveram um sistema automatizado de retrolavagem que não necessita o uso de energia elétrica e permite a desvinculação do proprietário-operador da operação de lavagem. As Figuras 23a e 23b apresentam o filtro lento com retrolavagem durante a filtração e lavagem respectivamente. Durante o processo de filtração, parte da água filtrada é armazenada num reservatório (C) para, posteriormente, ser utilizada na retrolavagem. Uma vez que a perda de carga sobre o meio filtrante alcance 1 m, a água de entrada no filtro é conduzida por um extravasor (Z) para dentro do equipamento (X) na Figura 23a. Este se enche com água até que, com o deslocamento do centro de massa, o mesmo tombe, abrindo o tubo de descarga do filtro (Y). Como mostra a Figura 23b, o equipamento X permanece na posição horizontal, durante tempo suficiente para a drenagem da água bruta, acima do tubo de descarga no interior do filtro (~6 minutos) e para iniciar a retrolavagem com água do reservatório (C) (~8 minutos). Durante esse tempo, a água que provoca o tombamento sai gradativamente do equipamento X, até o ponto que um contra-peso (P) faz com que o equipamento retorne a posição vertical e feche o tubo de descarga, desta maneira, uma nova carreira de filtração se inicia.

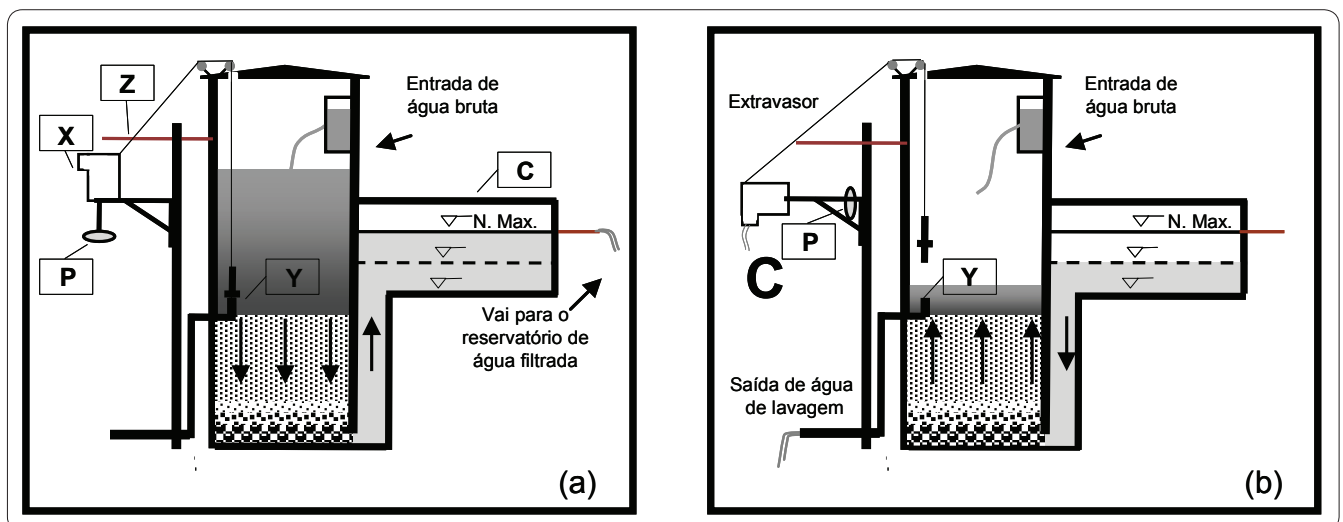


Figura 23. Filtro lento com retrolavagem durante a filtração (a) e a retrolavagem (b).



Como já descrito, o equipamento de acionamento da retrolavagem foi desenvolvido para abrir e fechar o tubo de descarga do filtro retrolavável de forma automática, sem o uso de energia elétrica. O sistema foi idealizado em forma de “L” invertido para que facilitasse o rompimento do centro de massa e, ao se movimentar como um pêndulo, o mesmo é acionado, como descrito anteriormente.

A tecnologia de automação de lavagem de filtros lentos pode ser uma excelente alternativa no melhoramento da água potável em zonas rurais e periferias de cidades. A tecnologia mostra-se eficaz na lavagem do leito filtrante sem a intervenção humana. A figura abaixo mostra uma foto de um filtro construído em polipropileno. O filtro foi projetado pelo LAPOÁ e construído pela empresa MultiÁgua.

ANOTAÇÕES:



Figura 24. Foto de um filtro lento com retrolavagem e dispositivo de acionamento automático da retrolavagem construído em polipropileno



FILTRAÇÃO EM MARGEM

Introdução

Os mananciais superficiais, lagos e rios, são alimentados, em parte, pela água da chuva que se infiltra no solo e escoam pelas camadas subterrâneas. Através da filtração em margem (FM), evita-se a captação de água diretamente no manancial. A FM consiste em usar os materiais sedimentares das margens e do fundo de um manancial superficial como meio filtrante. Para isto, constroem-se poços de captação nas margens do manancial, criando artificialmente uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, induzindo o escoamento em direção ao poço. Os possíveis contaminantes presentes na água superficial são removidos nesse percurso. A água captada é, na maioria das vezes, uma mistura entre as águas infiltradas mais recentemente através das margens e a do lençol freático. A proporção da mistura irá depender da distância do poço até a margem e de suas características, da vazão bombeada e das condições hidrogeológicas locais, entre outros aspectos.

Na FM, o uso de poços ou galerias, localizados em aquíferos aluviais ou em formações geológicas não consolidadas, conectados hidraulicamente a uma fonte de água superficial, durante o bombeamento, a água do rio, lago ou manancial migra até atingir os poços. Durante o percurso, até os pontos de captação, a qualidade da água é melhorada em aspectos organolépticos como turbidez, sólidos, cor, entre outros, aspectos microbiológicos como bactéria, protozoários, vírus, microalgas, cianobactérias, etc.; compostos químicos inorgânicos como nitrato, amônia, dureza, metais pesados, etc.; e compostos químicos orgânicos como pesticidas, fármacos, toxinas e matéria orgânica precursora de subprodutos da desinfecção.

O processo de remoção torna-se mais eficiente quanto menor a velocidade da água no solo/subsolo, na presença de matéria orgânica e quando o subsolo é constituído de materiais granulares com interstícios abertos, para a água contornar os grãos. Nessas circunstâncias, a rota de fluxo é tortuosa, fornecendo uma ampla oportunidade para os microrganismos entrarem em contato com os contaminantes e com o material sedimen-

ANOTAÇÕES:

tar, favorecendo os mecanismos de adsorção, degradação e interceptação de partículas presentes na água. No final desse percurso, a água que chega ao poço poderá estar clarificada e isenta de contaminantes.

Tratamentos adicionais podem ser necessários para fornecimento de água dentro dos padrões de potabilidade. No mínimo, a FM age como um pré-tratamento na produção de água de abastecimento e, em alguns casos, pode servir como único tratamento, antes da desinfecção.

Essa mudança entre as características da água bruta do manancial e a água filtrada em margem é devida a processos de filtração física, sedimentação, degradação microbiana, troca iônica, sorção, diluição da água superficial no aquífero (RAY et al., 2003; Sens et al., 2006). A eficiência da FM depende da hidrologia/hidrogeologia do aquífero, morfologia do corpo de água, composição do fundo do manancial, e tempo/distância de percurso até os poços.

ANOTAÇÕES:

Um grande número de poços de água para abastecimento situados em aquíferos de aluvião, perto de rio, funcionam como FM, mas por desconhecimento da técnica não são citados como poços de FM. Sob circunstâncias de estado de equilíbrio, a maioria da água extraída é de água subterrânea; entretanto, há eventos ou circunstâncias diferentes que podem mudar a zona normal da captação daqueles poços e transformar em processos de produção por FM, como:

- inundação;
- exploração de pedregulhos ou seixos e de areia perto do rio;
- regularização do nível do rio.

A FM tem sido utilizada na Europa há mais de 100 anos (RAY et al., 2002). A aplicação em países em desenvolvimento e economias emergentes em regiões do tipo tropical e subtropical tem sido pouca. Alguns estudos relataram a sua aplicação no Rio Nilo, no Egito e na Índia (SANDHU et al., 2011). Na Bolívia, é aplicada com sucesso em forma de galerias filtrantes no rio Parapetí, desde os anos oitenta (CAMACHO, 2003). No Brasil, a FM tem sido aplicada em escala piloto na Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina (MONDARDO, 2009; SENS et al., 2006) e no Rio Beberibe, em Recife (PAIVA, 2009). Vários estudos têm sido realizados na Lagoa do Peri, em Florianópolis, SC, visando à remoção de cianobactérias e cianotoxinas. Rabelo (2006) demonstrou, em um sistema de colunas, a capacidade da FM para remover células de fitoplâncton (10^5 - 10^6 células/mL) em poucos centímetros de infiltração. Além disso, mostrou a capacidade da água da Lagoa do Peri de se infiltrar no aquífero ao lado da Lagoa. Mondardo, (2009), em escala piloto, utilizando um poço a 20 m da margem e um sistema de colunas, confirmou a remoção de fito-

plâncton da água da Lagoa, como também a remoção e capacidade de adsorção de saxitoxinas no sedimento da Lagoa. Além disso, Mondardo (2009) observou, ainda, a melhoria da qualidade da água em termos de turbidez e cor aparente, entre outros, e o aumento em alcalinidade e dureza, durante o percurso.

No Brasil, a FM não é geralmente aplicada para o abastecimento público, porém há casos em que a filtração em margem de rio (FMR) é aplicada inconscientemente, como no Alto-Vale do Itajaí, Estado de Santa Catarina, onde a população é acostumada a abastecer-se com água de boa qualidade, construindo poços, normalmente, de 1,2 a 1,5 m de diâmetro, ao longo dos rios Itajaí do Sul, Itajaí do Oeste e Itajaí do Norte, todos afluentes do rio Itajaí Açú.

Os poços, na maioria dos casos, distanciam-se das margens dos rios de 15 a 50 m, podendo-se encontrar distâncias maiores como 100 a 150 m. Os poços variam suas profundidades em relação ao nível do solo de 7 a 15 m, e a relação nível do solo/nível do rio é de 4 a 8 m, provocando um desnível entre o fundo do poço e o nível da água do rio de 3 a 7 m. Esse desnível aumenta em momentos de enchentes, e dependendo da vazão de bombeamento, parte da água vem, provavelmente, do rio e parte do lençol freático alimentado por águas de chuvas.

A FM, seja de um rio (FMR) ou de um lago (FML), é um tratamento de água alternativo de baixo custo e eficiente para aplicações em água de abastecimento, na forma coletiva ou familiar. Há dois benefícios imediatos no uso da FM: diminuir o consumo de produtos químicos na desinfecção e na coagulação das águas (se existir); diminuir os custos de operação do tratamento de água.

Ação purificadora da natureza

A autodepuração que se processa na natureza é de grande importância e tem tornado possível o uso direto ou indireto de água subterrânea por milhões de pessoas no mundo.

O processo natural de purificação depende das diversas características do solo que constitui o aquífero. O estudo da percolação da água através do solo ou de outro meio poroso é fundamental para a compreensão desse processo.

Toda a água que se infiltra no solo é contaminada ou poluída até um certo grau no início de seu trajeto pela superfície do terreno. Por exemplo, a água de chuva recolhe minerais e bactérias do solo com as quais a mesma entra em contato.

ANOTAÇÕES:

A água de um manancial perene é proveniente, em parte, da alimentação do lençol freático, parte do escoamento superficial no solo e parte dos lançamentos de esgotos clandestinos ou tratados. A purificação natural que essa água recebe, quando da infiltração na margem do manancial, é semelhante a que recebe pela infiltração direta no solo, com um diferencial, que agora tem-se apenas a zona saturada. Na infiltração direta em contato com o solo, inicialmente, a água é purificada em um meio não saturado (predominantemente aeróbio) e depois, em um meio saturado (predominantemente anaeróbio).

ANOTAÇÕES:

Caso mais marcante da ação purificadora do solo/subsolo é o uso de sumidouros, após o tanque séptico (fossa), as águas residuárias que se infiltram no solo são, sem dúvida, altamente poluídas, transportando microrganismos patogênicos. São relatados na literatura de tratamento de esgoto como meio de purificação, e permanece por muitos e muitos anos.

É importante examinar em detalhes os fatores que interferem na conservação das águas subterrâneas livres de organismos patogênicos, particularmente, quando a água ocorre em aquíferos arenosos. Para melhor compreensão desses fatores, estudos sobre o movimento das bactérias através dos materiais porosos e granulares têm sido realizados por muitos pesquisadores, demonstrando que as bactérias movem-se muito pouco com seus próprios recursos, principalmente, em águas estáticas que saturam o material poroso. Algumas movem-se cerca de 25 mm, outras, como a *E. coli*, não mais de 6 a 7 cm (CETESB, 1978).

Outros estudos têm demonstrado que as bactérias não se movem a contra-corrente através de materiais de permeabilidade média, quando a velocidade do fluxo da água é de 30 a 60 cm/d. O deslocamento da poluição em areia saturada somente é realizado com água em movimento.

Não são completamente conhecidos todos os fenômenos ou princípios envolvidos na filtração da água pelo solo. Sabe-se, contudo, que o processo da percolação remove muitos contaminantes e poluentes, e evita que alcancem o reservatório de água subterrânea ou o poço de FM.

Sugere-se consultar o capítulo 5 do livro do PROSAB 4 (Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano). O capítulo 5 aborda com profundidade a técnica da filtração em margem e a maioria deste assunto foi extraída dele.

Hidráulica de Poço para FM

A estabilização das condições de equilíbrio do cone de depressão em torno de um poço que está sendo bombeado pode ocorrer em várias si-

tuações. Um exemplo seria quando a recarga do aquífero provém de um rio ou lago. A Figura 25 ilustra tal situação de equilíbrio. Durante a fase inicial do bombeamento, o cone de depressão não atinge o manancial superficial e nenhum efeito de recarga vinda do manancial superficial é evidente. O nível dinâmico no poço em bombeamento baixa à medida que o bombeamento prossegue.

Quando o cone de depressão se expande sob o leito do manancial superficial, estabelece-se um gradiente hidráulico entre a água do aquífero e a do manancial (rio ou lago). A água do manancial superficial se infiltra através do leito permeável, se este estiver hidraulicamente conectado com o aquífero. O manancial, desta forma, alimenta o aquífero em uma proporção que cresce com a expansão do cone de depressão. Quando a intensidade da recarga do aquífero iguala a vazão do poço de filtração, o cone de depressão e o nível dinâmico tornam-se estáveis.

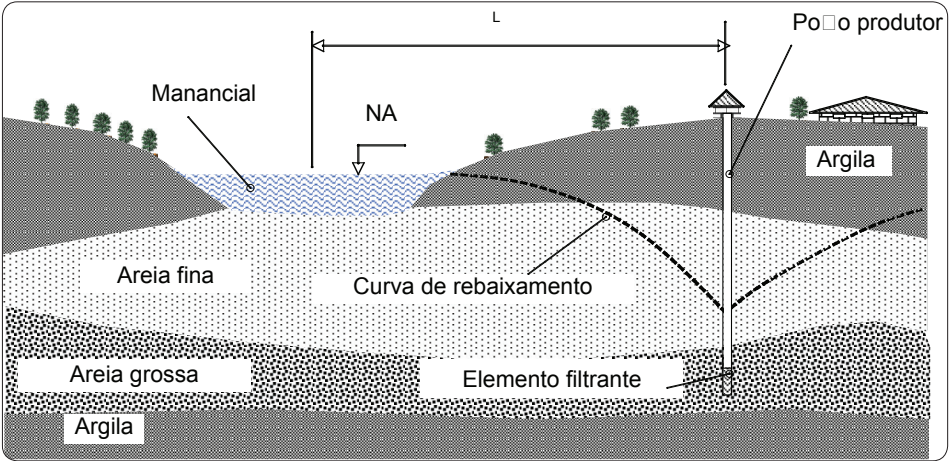


Figura 25. Esquema ilustrativo da filtração em margem

Tipos de poços

Historicamente, três tipos de poços têm sido usados para a FM desde que a tecnologia foi estabelecida. As tecnologias mais empregadas são:

- **Poço vertical ou poço tubular:** poço perfurado verticalmente para baixo em uma camada suporte da água ou sob o leito de lago ou de um córrego (Figura 26). O poço vertical difere do poço de coletores horizontais por não ter os drenos laterais no fundo. Já o poço tubular é um poço vertical, porém costuma-se construí-lo com pequenos diâmetros (100 a 300 mm) e mais profundos.

ANOTAÇÕES:

ANOTAÇÕES:

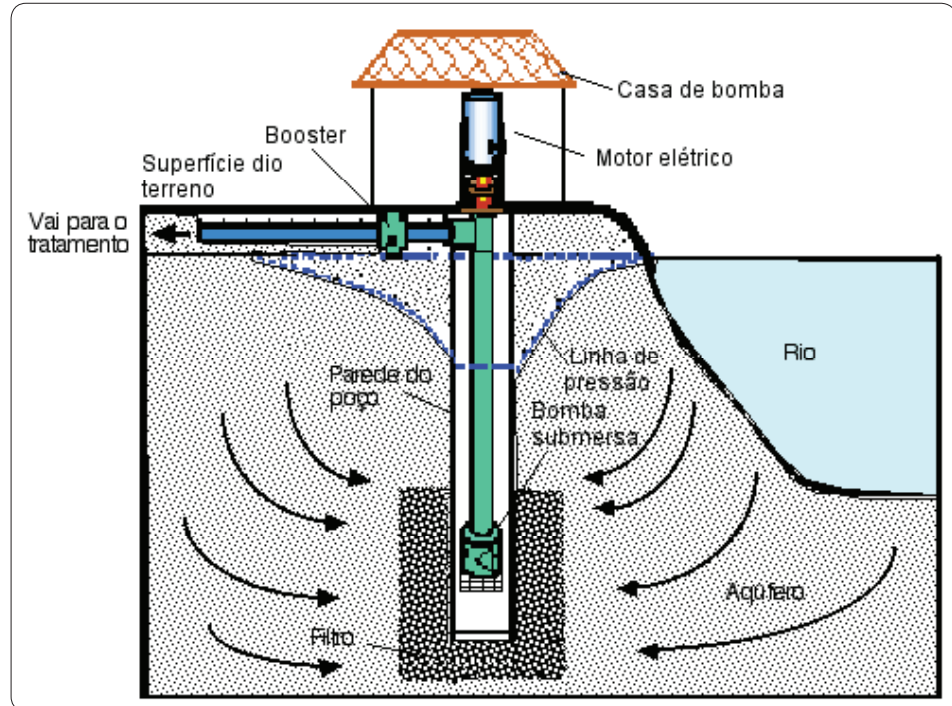


Figura 26. Exemplo de poço vertical ou poço tubular

- Poço de coletores horizontais:** Consiste de tubulação central de grande diâmetro, cravada na terra com proteção de poços horizontais laterais cravados no inconsolidado depósito do aquífero, em muitos casos, em depósitos aluviais abaixo de um rio ou de um lago. Esse sistema é usado tipicamente nos Estados Unidos para produção de água de abastecimento com fonte na água subterrânea ou na filtração em margem de rio (Figura 27).

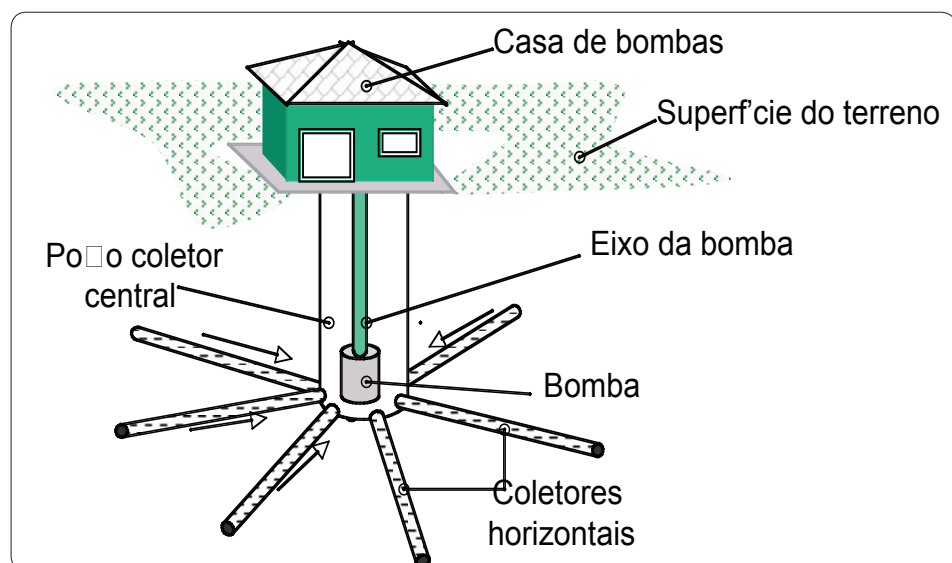


Figura 27. Exemplo de poço de coletores horizontais

- **Poço escavado:** Trata-se de poço raso, com grande diâmetro que, na maioria dos casos, é escavado manualmente, usando-se maquinário de pequeno porte ou por ferramentas de mão. Tipicamente construído para fonte de água residencial individual.

Um poço de coletores horizontais pode desenvolver uma capacidade equivalente a múltiplos poços tubulares, ou uma bateria de poços tubulares, conseqüentemente, os custos totais do sistema devem ser considerados para facilitar esta comparação, incluindo custos de implantação e a longo prazo, de operação e de manutenção.

As Figuras 28 e 29 mostram algumas alternativas de aplicação de poços de coletores horizontais na FMR, na Europa. Nos casos foram construídos a certa distância do rio com suas laterais estendidas inteiramente dentro do aquífero. Observa-se na Figura 28 que o sistema de coletores horizontais, permite obter maior desnível entre as superfícies da água no rio e dentro do poço coletor, induzindo mais a infiltração e em conseqüência, permite captar maiores vazões.

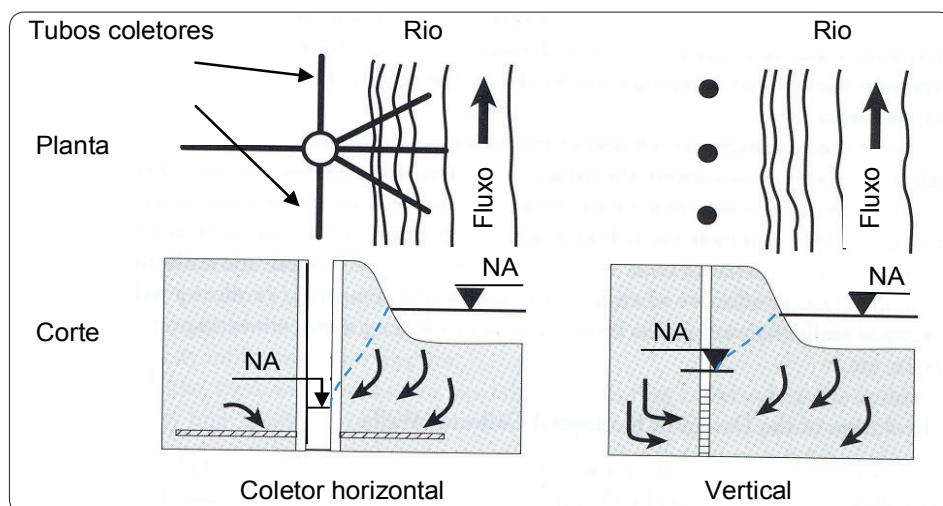


Figura 28. Plantas e cortes de dois sistemas de FMR: poço de coletores horizontais e poços verticais. (Fonte: adaptado de Hunt, H.; Schubert, J. e Ray, C., 2003)

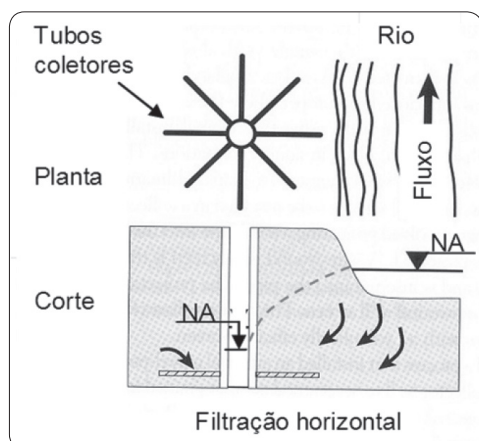


Figura 29. Planta e corte de um sistema alternativo de FMR: poço de coletores horizontais (Fonte: adaptado de Hunt, H.; Schubert, J. e Ray, C., 2003)

ANOTAÇÕES:

Discute-se muito sobre qual tipo de poço seria melhor para as instalações de FM, mas, por enquanto, a decisão em cada caso particular deve considerar as condições do local, a situação hidrogeológica do aquífero e as condições hidráulicas no rio, especialmente, a respeito da possibilidade do leito do rio obstruir-se.

A espessura saturada do aquífero não deve ser menos de 6 m e a transmissividade da ordem de 1.500 m²/d. Uma avaliação da tendência no leito do rio deve ser considerada para não obstruir:

- Situação regional do rio;
- Regime do fluxo;
- Situação do transporte da carga do leito;
- Local da produção do poço na curvatura interna ou exterior do rio;
- As velocidades da infiltração próxima ao leito do rio.

Filtração em Margem de rio

Em trechos retilíneos de rios, os poços podem localizar-se em ambas as margens (direita ou esquerda, ou mesmo nas duas), e nos trechos curvos de rio a captação deve localizar-se na margem do lado interno da curva conforme mostram a Figura 30. Na região curva, o solo normalmente não se apresenta muito estabilizado e compactado, obtendo melhores rendimentos (Chittaranjan, 2003). A autolimpeza é favorecida pelas variações (elevação) no nível do rio e pelo aumento da velocidade de escoamento das águas, facilitando o arraste do material depositado.

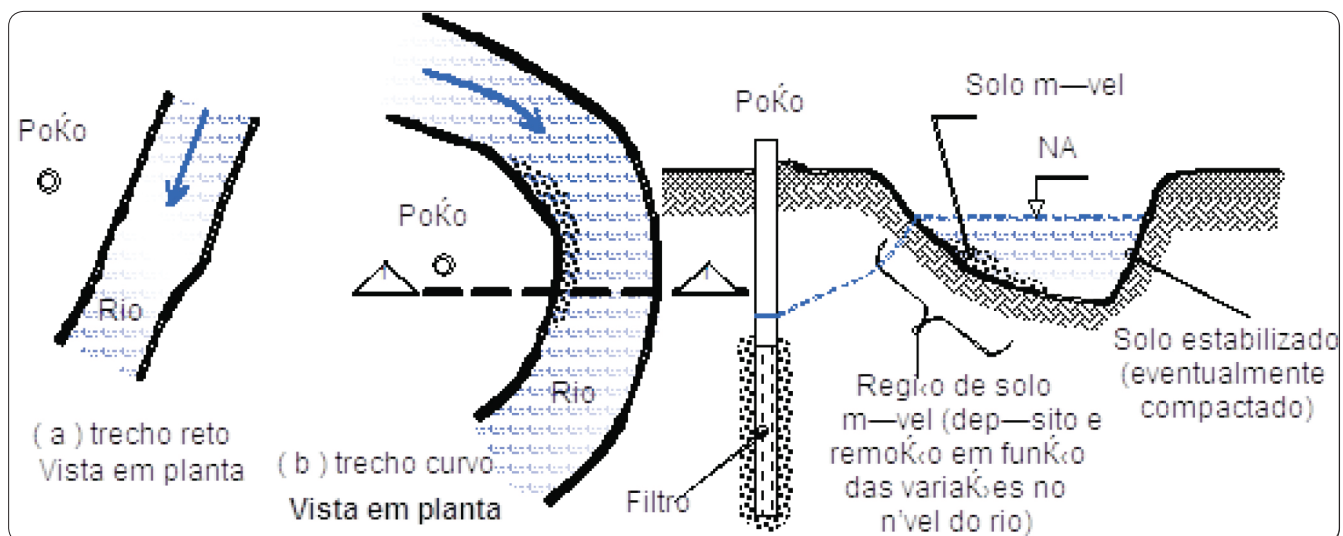


Figura 30. Posição recomendada para captação por FM em trechos reto e curvos de rios

A maioria dos sistemas da FMR é construído em aquíferos aluviais situados ao longo das margens dos rios. Estes aquíferos consistem em depósitos de camadas de diferentes materiais, dentre os quais encontram-se, areia, areia grossa ao cascalho e grandes seixos rolado. As circunstâncias ideais incluem tipicamente grãos-grosseiros, cuja permeabilidade dos sedimentos facilita o direcionamento da água para o poço, e que sejam conectados hidráulicamente com o leito do rio. Estes depósitos são encontrados dentro de vales profundos e largos ou em vales estreitos e rasos.

Os sistemas de FMR utilizado em vales largos com rios profundos podem obter maiores possibilidades de aplicação, desde poços verticais, até poços com coletores horizontais, podendo ser colocados em maiores profundidades, aumentando sua capacidade e possibilitando a construção em locais mais distantes do rio, para aumentar o percurso de filtração. Em um vale estreito com rio raso, poços com coletores horizontais são mais vantajosos do que poços verticais.

Filtração em Margem de lago

Nos lagos alimentados predominantemente por água da chuva, as variações do nível da água normalmente não são significativas, principalmente, se o lago possui um extravasor. A variação é um pouco maior se o lago receber contribuições de córregos e rios. Nos lagos, o aporte de material sólido mineral se torna pequeno (silte, argila, areia), principalmente, se for margeado por vegetação e receber pouca contribuição. Nesse caso, a autolimpeza nas margens fica por conta basicamente do processo de degradação da matéria orgânica sedimentada (biomassa).

A Lagoa do Peri, localizada na Ilha de Florianópolis, é um exemplo de lago costeiro cujos sedimentos de fundo são predominantemente resultantes da decomposição da biomassa ali sedimentada. Nesse caso em particular, a degradação da matéria orgânica sedimentada e infiltrada no fundo próximo às margens, e o fato das águas rasas serem movimentadas pela ação dos ventos frequentes, são os principais mecanismos para evitar a colmatação. Outro aspecto positivo para a filtração em margem na Lagoa do Peri é o fato da lagoa ter seu nível elevado pela construção de um dique. Esse aspecto previne problemas de intrusão da cunha salina e favorece a infiltração induzida nas margens.

Vantagens e desvantagens da FM

O sistema de FM pode ser de grande utilidade no sistema de abastecimento de água, de maneira geral, diminui os custos de investimentos, de operação e de manutenção das ETA. Trazendo benefícios à qualidade

ANOTAÇÕES:

da água e à saúde, por remover contaminantes que outros sistemas de tratamento não removem. Apresenta-se a seguir as principais vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Minimiza a quantidade de produtos químicos: na coagulação, reduz normalmente as dosagens de coagulante e alcalinizante; na pré-oxidação/desinfecção, reduz as doses dos oxidantes/desinfetantes, como o cloro. No tratamento do lodo da ETA onde se emprega tecnologias que utilizam coagulantes ou polímeros, pois o tratamento em margem, inicialmente, diminui a quantidade de sólidos que chegaria a ETA;
- Menor custo de operação: menor quantidade de produtos químicos a ser utilizado, conseqüentemente, menor necessidade de preparação de soluções, também diminui o uso de eletricidade e de mão-de-obra.
- Em muitos casos pode ser o único tratamento, necessitando apenas a desinfecção final: dependendo do solo da região da captação de água com FM, não há necessidade de mais tratamento, pois a mesma poderá apresentar-se dentro dos padrões de potabilidade, como foi o caso da Lagoa do Perí,.
- Nos casos em que há necessidade de tratamento, diminuem os processos: após a FM, o efluente encontra-se pré-tratado, podendo ser aplicada a tecnologia da filtração lenta e direta; poderá evitar também o uso da adsorção (carvão ativado), da pré-oxidação, etc.
- Diminui a formação de subprodutos da desinfecção quando da aplicação deste: como a carga de matéria orgânica diminui com a filtração em margem, conseqüentemente, diminui a formação de subprodutos;
- Menor risco à saúde humana: por eliminar previamente produtos prejudiciais a saúde humana. A FM pode remover a maiorias dos contaminantes, como agrotóxicos, microalgas e cianobactérias, toxinas, metais pesados, fármacos, patogênicos, etc. O que não acontece nas ETA que utilizam os chamados tratamentos convencionais.
- A FM evita a destruição de organismos aquáticos e peixes. Quando se capta água diretamente do manancial, as plantas aquáticas e os peixes são arrastados ou succionados e, em seguida, destruídos na passagem pelas bombas;
- Menor variação da temperatura da água. Se a água necessita ainda de tratamento, ela terá uma pequena variação de temperatura, facilitando a operação.

ANOTAÇÕES:

Desvantagens:

- Os sistemas de filtração em margem não são definidos somente por eles mesmos. Um sistema pode ser uma mistura de água de FM e água subterrânea: se a água subterrânea não estiver contaminada, isto não é uma desvantagem;
- Os locais escolhidos para a implantação da filtração em margem podem estar propensos a enchentes, podendo adulterar a água filtrada pela margem, principalmente, quando a captação é através de galerias filtrantes (trincheiras) em cotas baixas;
- A escolha do local para implantação do sistema de FM depende fortemente das condições hidrogeológicas e pedológicas, demandando estudos prévios bem criteriosos sob pena de insucesso em relação a quantidade e qualidade da água captada.

ANOTAÇÕES:

Referências Bibliográficas

CANTABRANA, C. M. - **Filtro lento modificado de bajo costo y limpieza por trillado**. Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998, p.1-9.

CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. Tradução da primeira edição do original norte-americano publicado pela JOHNSON Division, UOP, Inc., Saint Paul, Minnesota. 3ª ed. Rev. São Paulo, 1978, 482p.

COLLINS, M. R.; EIGHMY, T. T.; MALLEY, J. P. Evaluating modifications to slow sand filter. **Journal Of The American Water Works Association**, Nova Iorque, p. 62-70. 1 set. 1991.

Elliott M.A.; Stauber, C.E.; Koksai, F.; Liang, K.R.; Huslage, D.K.; DiGiano, F.A.; Sobsey, M.D.. The operation, flow conditions and microbial reductions of an intermittently operated, household-scale slow sand filter. In: Gimbel, Rolf; Graham, Nigel H.D.; Collins, M. Robin (eds) **Recent Progress in slow sand and alternative Biofiltration processes**. IWA Publishing, London, p. 268-277. 2006.

EMMENDOERFER, M. L. **Filtração Lenta com retrolavagem para propriedades rurais de uso familiar**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GALVIS, G. **Development and evaluation of multistage filtration plants. An innovative, robust and efficient water treatment technology**. Thesis (Ph.D) - CEHE - Centre for Environmental Health Engineering. School of engineering in the environment. University of Surrey, United Kingdom Guildford, Surrey. 1999.

GRISCHEK, T.; SCHOENHEINZ, D.; RAY, C. Siting and Design Issues for Riverbank Filtration Schemes. In: **Riverbank Filtration - Improving source-water quality**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003, p.291-302.

HUNT, H.; SCHUBERT, J.; RAY, C. Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems. In: **Riverbank Filtration - Improving source-water quality**, v.43, cap 1, p.19-27, 2003.

HUNT, H. American experience in installing horizontal collector wells. In: **Riverbank Filtration - Improving source-water quality**, v.43, cap 2, p.29-34, 2003.

LOGSDON G. S. et al. - **Slow sand filtration for small water systems** *Journal of Environmental Engineering and Science*, Volume 1, Number 5, September 2002, pp. 339-348(10). NRC Research Press, Canada, 2002.

MARNOTO, M. J. E.; et al. A influência da expansão da areia durante a retrolavagem na qualidade de água para abastecimento produzida por filtros lentos. In: **Congresso Interamericano AIDIS, 2008, Santiago. Anais do XXXI Congresso Interamericano AIDIS**. Santiago: Aidis, 2008. p. 1 - 7.

MICHELAN, D.C.G.S. **Filtração em margem de rio precedida a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ANOTAÇÕES:

MICHIELIN, A. K. **Filtro Lento com Retrolavagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MURTHA, N.A.; HELLER L. Avaliação da aplicabilidade e eficiência da filtração lenta ascendente. In: XXVI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Y Ambiental. Anais. Lima, Novembro de 1998.

PIZZOLATTI, B.S. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PIZZOLATTI, B. S.; SOARES, M. B. D.; MICHELAN, D. C. G. S.; ROMERO, L. G.; Sens(1), M. L.. **Water treatment for rural areas by slow sand filtration.** 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica. ASABE Technical Library. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Disponível em: < <http://asae.frymulti.com/conference.asp?confid=iwqe2010>> . Acesso em: 23 jun. 2010.

RABELO, L. Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton. 2006, 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis.

RAY, C.; SOONG, T. W.; LIAN, Y. Q.; ROADCAP, G. S. Effect of flood-induced chemical load on filtrate quality at bank filtration sites. *J. Hydrol.*, v.266, n.3-4, p.235-258, 2002.

RAY, C.; SCHUBERT, J.; LINSKY, R. B.; MELIN, G. Introduction. In: **Riverbank Filtration - improving source-water quality**, v.43, p.1-15, 2003.

SCHUBERT, J. Hydraulic aspects of riverbank filtration - field studies. *J. Hydrol*, v.266, n.3-4, p.145-161, 2002.

SENS, M. L.; MELO FILHO, L. C.; MONDARDO, R. I.; PROENÇA, L. Efficiencie of ozonation as pré-or post- treatment to the direct descent filtration for the renovel of cianobacteria and saxitoxins. In: **Coferência Internacional: Dela acción local a las metas globales - AGUA 2005**, 2005, Santiago de Cali,Colombia. **Anais...** Santiago de Cali, CD-ROM.

SENS, M. L.; Mondardo, R.; Dalssasso, R. & Melho, L. (2006). Filtração em Margem. En: **PROSAB** (ed.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo 5 (Pp. 173-236). Rio de Janeiro: ABES. Obtenido desde <http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm>

SOARES, M.B.D. **Estudo da implantação em escala real da filtração em margem em lago de piscicultura extensiva para dessedentação animal.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ANOTAÇÕES:



SOARES, M. B. D.; PIZZOLATTI, B. S.; MICHELAN, D. C. G. S.; ROMERO, L. G.; Sens(1), M. L.. **Backwashed slow sand filtration for water supply during droughts periods in animal production**. 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 21-24 February 2010, Universidad EARTH, Costa Rica. ASABE Technical Library. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Disponível em: < <http://asae.frymulti.com/conference.asp?confid=iwqe2010>>. Acesso em: 23 jun. 2010.

WHO-UNICEF. **Progress on sanitation and drinking-water.**, 20 abr. 2010. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241563956_eng_full_text.pdf> Acesso em: 23 jun. 2010.

ANOTAÇÕES:

TSGA



Módulo 2

Tratamento de esgoto em meio rural

Pablo Heleno Sezerino



TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERRAMENTA DO SANEAMENTO

Saneamento básico pode ser definido como o conjunto de ações que visam oferecer a toda população, desde os mais ricos até os mais humildes, infraestrutura de distribuição de água com qualidade potável, de coleta - transporte - tratamento dos esgotos gerados, de drenagem de águas pluviais, de coleta - transporte - tratamento dos resíduos sólidos (lixo) e de controle de vetores transmissores de doenças.

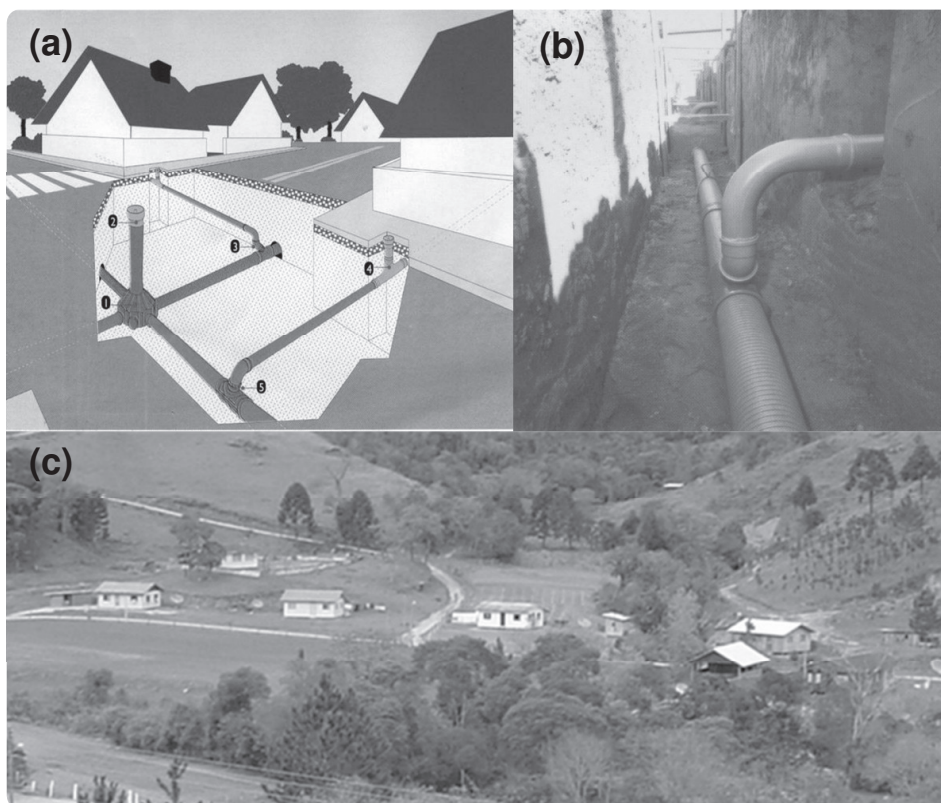
Estas cinco ações do saneamento devem ser empregadas tanto na zona urbana quanto na zona rural, sendo de responsabilidade de todos os cidadãos e, sobretudo, da municipalidade.

Dentre as ações do saneamento, os serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos gerados, também conhecidos como serviços de esgotamento sanitário, tornam-se objeto de intensa preocupação por parte da população e dos gestores municipais, pois estes esgotos gerados quando lançados ao meio ambiente sem tratamento adequado poderão comprometer a qualidade ambiental e a saúde das pessoas e animais.

Esgotamento Sanitário é, portanto, o conjunto de ações que contemplam desde a coleta dos esgotos gerados na residência (ou outra instalação predial), passando pelo transporte em redes coletoras até chegar na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), onde será tratado de forma que possa ser disposto corretamente sob o ponto de vista sanitário no ambiente, quer seja este ambiente um corpo d'água ou o solo.

Os serviços de esgotamento sanitário poderão ser disponibilizados de forma que todos os esgotos gerados em uma região sejam encaminhados para um único ponto, promovendo, assim, uma **centralização** do sistema, ou podem ser subdivididos para pequenos aglomerados, caracterizando-se em uma **descentralização** dos serviços e reduzindo custos com o transporte dos esgotos gerados (Figura 1).

ANOTAÇÕES:



ANOTAÇÕES:

Figura 1: Representação de sistema centralizado e descentralizado. (a) e (b) detalhes da rede coletora de esgoto (cortesia: Prof. Tsutiya). (c) pequeno aglomerado localizado na zona rural (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Dentro da concepção sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, destacam-se, também, as alternativas empregadas na própria residência, onde os esgotos coletados na edificação serão conduzidos para uma sequência de unidades de tratamento (ou seja, uma ETE simplificada), onde se promoverá o tratamento e a disposição final deste esgoto. Esta disposição poderá ser realizada no próprio terreno (se este apresentar características apropriadas), caso mais comum em zonas rurais ou ser destinada para a rede pluvial (com a devida autorização da municipalidade) nas zonas urbanas. A figura 2 destaca um esquema representativo de uma das combinações possíveis de ser empregada no tratamento de esgotos de uma residência, tanto para a zona urbana como rural.

No Brasil, não há uma legislação específica para sistemas descentralizados de esgotos, cabendo, assim, a cada município legislar sobre a questão. Em alguns municípios onde a Vigilância Sanitária atua na regulação e controle do lançamento dos esgotos sanitários, há instruções normativas que indicam alternativas de tratamento que devem ser combinadas com o tanque séptico (também conhecido por fossa) para a promoção do tratamento de esgotos nas residências ou estabelecimentos comerciais, tomando-se como base normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

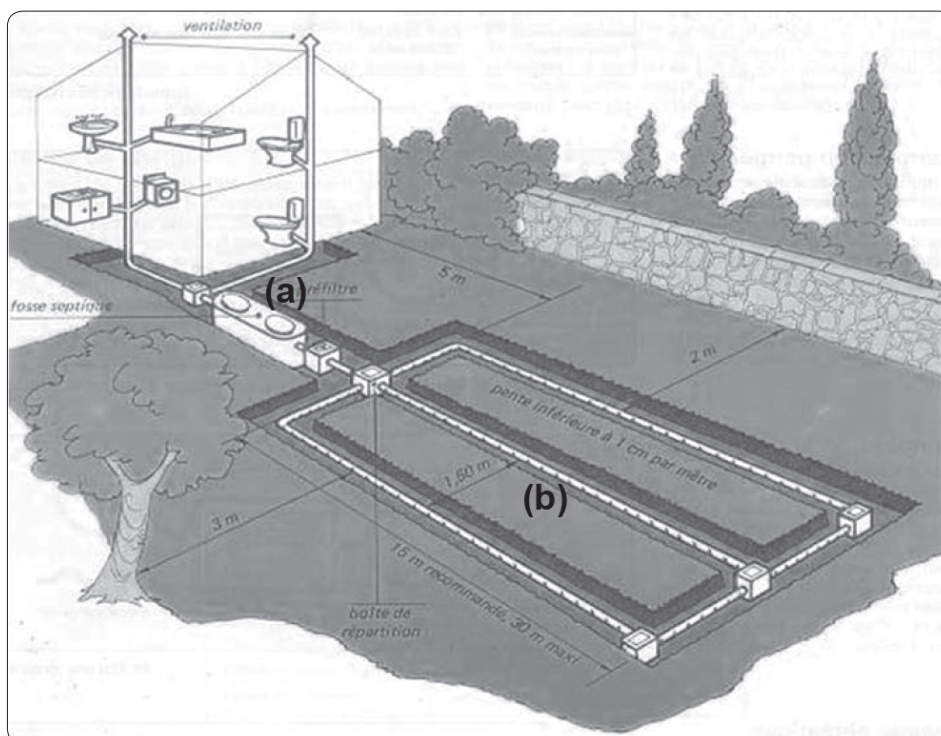


Figura 2: Representação esquemática de um sistema descentralizado (unifamiliar) de tratamento de esgotos. (a) Tanque séptico. (b) Vala de Infiltração (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

ANOTAÇÕES:

A ABNT apresenta duas normas técnicas que vêm sendo empregadas para a configuração de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, quais são:

- NBR13969. Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares e disposição final dos efluentes de tanques sépticos: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT. 57p. 1997;
- NBR7229. Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT. 15p. 1993.

Inúmeras são as alternativas tecnológicas que podem ser empregadas no tratamento descentralizado de esgotos, destacando-se desde os sistemas naturais até os sistemas compactos. Destaca-se que, em zona rural, os sistemas naturais integram-se melhor à realidade socioeconômica e cultural (Figura 3).

Já para o tratamento de esgoto gerado por uma residência rural, emprega-se minimamente o tanque séptico como alternativa tecnológica. O efluente líquido do tanque séptico é muitas vezes infiltrado no solo, porém, em muitos casos, há a necessidade de tratamento complementar deste efluente líquido de tanque séptico previamente ao lançamento no ambiente, destacando-se como alternativa tecnológica o uso do filtro

de areia e, também, outras alternativas de tratamento complementar previstas nas normas da ABNT (Figura 4) .

ANOTAÇÕES:

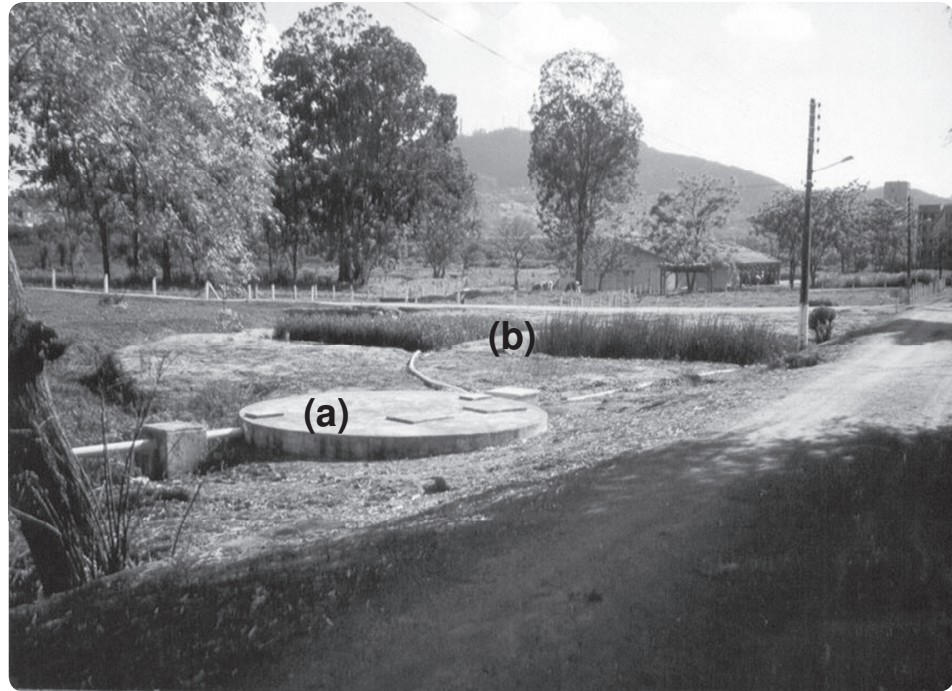


Figura 3: Foto representativa de um sistema natural de tratamento de esgoto. (a) tanque séptico. (b) filtros plantados com macrófitas (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

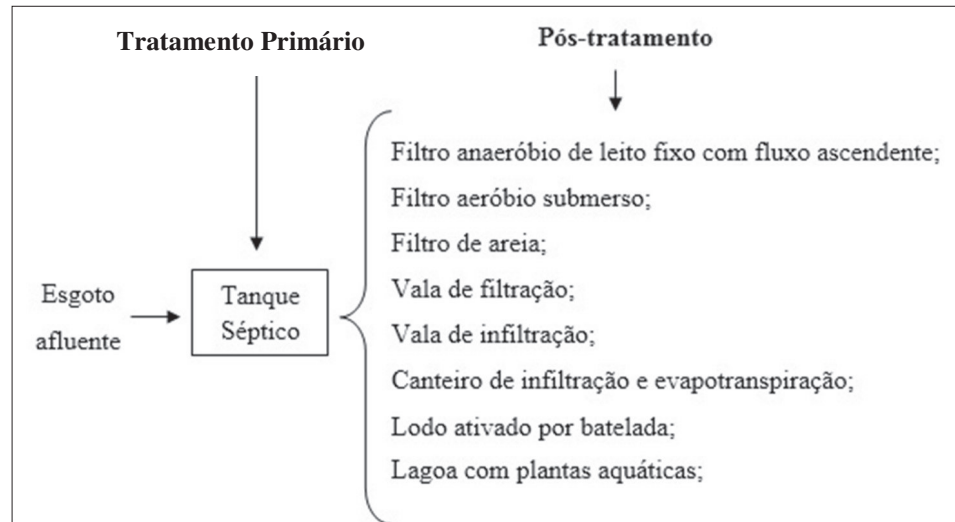


Figura 4: Alternativas tecnológicas para tratamento complementar de efluente líquido de tanque séptico (adaptado da NBR 13969/97 - ABNT, 1997).



MULTIASPECTOS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS

Aspecto Sanitário

O aspecto sanitário reflete-se, aqui, nas doenças de veiculação hídrica. Existem muitas doenças associadas ao uso direto ou indireto de água contaminada pelas fezes de pessoas ou outros animais doentes. No quadro 1, são apresentadas algumas doenças de veiculação hídrica, juntamente com o agente causador.

Dentre as doenças de veiculação hídrica, as helmintoses (verminoses) se destacam, pois apresentam-se em formas de ovos, sendo estes muito resistentes no ambiente. Dentre as verminoses, a *Ascaris lumbricoides*, vulgarmente conhecida por lombriga, é a mais comum na realidade da falta de saneamento no Brasil (Figura 6)

Os sistemas de tratamento de esgotos necessitam de diferentes unidades em sequência para que se promova a eliminação dos agentes patogênicos. As unidades de tratamento idealizadas para a eliminação dos microrganismos chamam-se de sistemas de desinfecção.

Na figura 5, tem-se um fluxograma das principais vias de transmissão dos patógenos associados a essas doenças.

ANOTAÇÕES:

Reino/Grupo	Parasito	Doença
Vírus	Vírus da hepatite A e E Rotavírus Enterovírus Polivírus Coxsackievírus Echovírus Astrovírus Calicivírus Reovírus	Hepatite infecciosa Gastroenterite Meningite, encefalite, doenças respiratórias Poliomielite Meningite, Pneumonia Meningite, paralisia Gastroenterite Gastroenterite, Infecções respiratórias
Monera - Bactérias	<i>Samonella paratyphi A, B, C</i> <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella spp</i> <i>Shigella sonnei, S. flexneri, S. boydii, S. dysenteriae</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Leptospira spp</i>	Febre paratifoide Febre tifóide Salmonelose Disenteria Cólera Gastroenterite Gastroenterites Gastroenterites Leptospirose
Protista - Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Toxoplasma gondii</i> <i>Balantidium coli</i> <i>Cryptosporidium</i>	Enterite aguda Diarréia, perda de peso Alterações do sistema nervoso, coriorretinite Distúrbios digestivos Gastroenterite
Animal - Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ascaris suum</i> <i>Ancylostoma duodenale</i> <i>Necator americanus</i> <i>Trichiuris trichiura</i> <i>Toxocara canis</i> <i>Trichostrongylus axei</i>	Distúrbios gastrointestinais Distúrbios gastrointestinais Anemia, emagrecimento Anemia, emagrecimento Distúrbios gastrointestinais, Anemia Distúrbios gastrointestinais, Emagrecimento, Distúrbios neurológicos Gastrite, Úlcera gástrica
Animal - Cestóides	<i>Taenia solium</i> <i>Taenia saginata</i> <i>Hymenolepis nana</i> <i>Hymenolepis diminuta</i> <i>Echinococcus granulosus</i>	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, emagrecimento, distúrbios nervosos. Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, emagrecimento, distúrbios nervosos. Disenteria, alterações nervosas Gastroenterites Distúrbios digestivos, hepáticos e pulmonares.

Quadro 1: Principais agentes patogênicos que podem estar presente nos esgotos domésticos. (Fontes: ADEME, 1998 para vírus apud Andreoli et al., 2001; adaptado de EPA, 1992 para bactérias; adaptado de Thomaz Soccol e Paulino, 2000 para protozoários e helmintos)

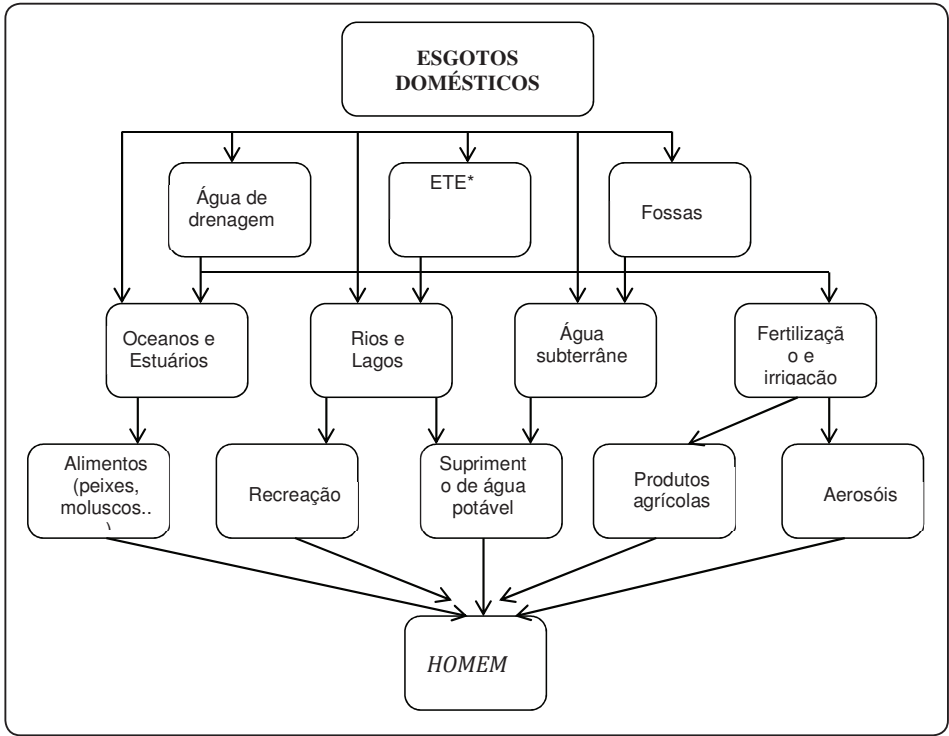


Figura 5: Principais vias de transmissão de doenças hídricas.

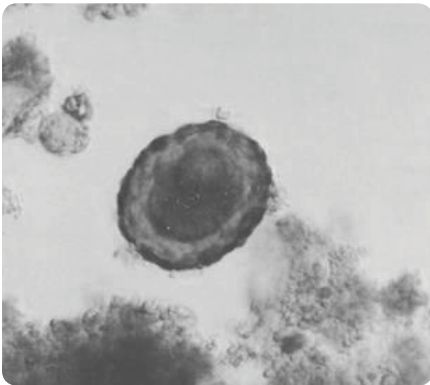


Figura 6: *Ascaris lumbricoides* na sua forma resistente - ovo. (Cortesia da Dr^a. Alessandra Pellizzaro Bento)

ANOTAÇÕES:

Aspecto Ecológico

A concentração e a grande densidade humana nas cidades promovem a geração de maiores volumes de resíduos, tais como os esgotos domésticos. Normalmente, os ecossistemas aquáticos receptores não têm capacidade de assimilação e degradação desses resíduos sendo promovida a poluição local, reduzindo a disponibilidade de água para diversos fins e afetando as características ecológicas do corpo hídrico.

A capacidade de depuração de um ambiente natural é dificilmente quantificada por apresentar muitas variáveis externas e internas relacionadas, tais como vazão de um rio, temperatura ambiente, insolação,

regime hidrológico, entre outros. O fenômeno de autodepuração está vinculado ao restabelecimento da estabilidade ou equilíbrio do ambiente por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações provocadas pelo lançamento de despejos (Von Sperling, 1995). Segundo Odum (1988), o grau de estabilidade atingido em um ecossistema varia muito, dependendo do rigor do ambiente externo além da eficiência dos controles internos. Existem duas formas de estabilidade:

- A estabilidade de resistência: capacidade de se manter “estável” diante do estresse, como por exemplo um rio que mantém suas características naturais quando recebe uma determinada carga de matéria orgânica (até um determinado limite - capacidade suporte);
- A estabilidade de elasticidade: capacidade de se recuperar rapidamente, como por exemplo um rio que recebe um determinado volume de despejo e rapidamente retoma sua condição de equilíbrio.

ANOTAÇÕES:

Uma poluição orgânica concentrada, tal qual a que resulta de despejo de esgoto *in natura* em rios e lagos, cria uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO), resultante da quebra por oxidação dos detritos pelos microrganismos. Nutrientes inorgânicos estimulam a produção de detritos orgânicos, somando mais a DBO. Esse tipo de poluição pode promover depleção do oxigênio nas águas superficiais, levando à asfixia dos peixes e outros organismos aeróbios.

De maneira sucinta, os principais impactos, a curto prazo, relacionados ao lançamento de esgotos domésticos em corpos d’água constituem:

- O aumento do consumo de oxigênio pelas bactérias que oxidam a matéria orgânica, podendo provocar a ausência de oxigênio no meio com consequente morte dos seres aquáticos aeróbios, como os peixes;
- A contaminação da água por microrganismos patogênicos presentes nos excretas de pessoas doentes;
- A alteração da comunidade biológica presente com desenvolvimento de grande densidade de poucas espécies de seres vivos, que utilizam eficientemente os substratos contidos nos esgotos;
- A eutrofização, a qual consiste no desenvolvimento excessivo de algas provocado pela disponibilidade de nutrientes, especialmente o fósforo e o nitrogênio;
- Efeito tóxico da amônia (NH_3) aos peixes e do nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3) ao homem.



PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO TRATAMENTO DE ESGOTOS

No tratamento há uma interação de diversos mecanismos, alguns ocorrendo simultaneamente e outros sequencialmente. A atividade microbiana principia-se no próprio sistema de coleta e interceptação de esgotos e atinge seu máximo na estação de tratamento, onde acontece, principalmente, a oxidação da matéria carbonácea e, muitas vezes, a oxidação da matéria nitrogenada (nitrificação).

Dentre as etapas mais empregadas nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), quer sejam de pequeno porte e/ou unidades domiciliares, quer sejam de grande porte, destacam-se aquelas que promovem a separação dos sólidos e gorduras contidas nos esgotos - mecanismos físicos, as que promovem a decomposição do material decantado e dos compostos solúveis - mecanismos biológicos e as que empregam mecanismos químicos para fins específicos, como por exemplo, a adsorção de fósforo e a desinfecção final do efluente tratado.

Estes mecanismos ocorrem em diferentes etapas numa ETE, podendo ocorrer em diferentes unidades de tratamento e reatores de diferentes configurações. A Figura 7 destaca as etapas de tratamento de esgotos em uma ETE.

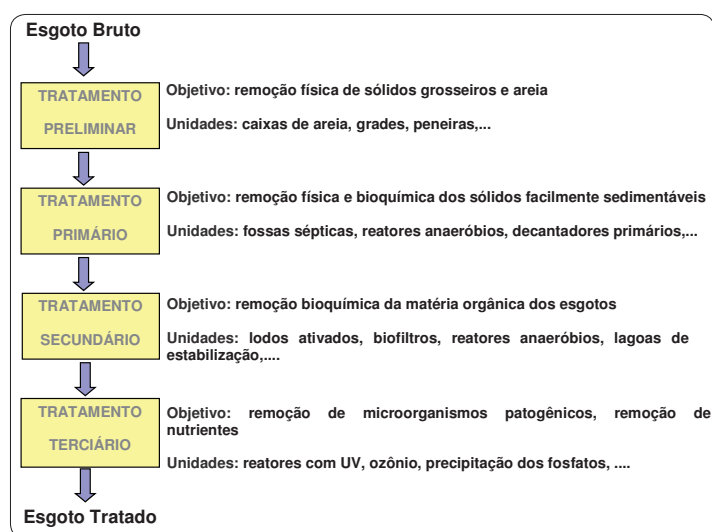


Figura 7: Etapas de tratamento do esgoto em uma Estação de Tratamento de Esgotos.

ANOTAÇÕES:

Na maioria das ETE descentralizadas, o tratamento de esgotos domésticos inicia-se com a remoção física dos sólidos grosseiros (material sólido com diâmetro maior que 10 mm) e das areias (com diâmetro maior que 2 mm), os quais são removidos do sistema e tratados como resíduos sólidos. Em alguns sistemas, após a retirada dos sólidos inertes, há uma etapa para a retirada da matéria orgânica sedimentável, a qual é tratada posteriormente em unidades específicas para este fim. Após esses mecanismos físicos de separação dos sólidos, os esgotos são conduzidos a principal etapa do processo, onde ocorre o tratamento biológico. Nas unidades de tratamento biológico, o objetivo central consiste na oxidação ou fermentação da matéria orgânica carbonácea.

ANOTAÇÕES:

Os processos biológicos de tratamento de esgotos funcionam de modo a propiciarem um ambiente favorável ao crescimento maximizado das células microbianas (biomassa) responsáveis pela ciclagem dos elementos contidos no esgoto. As reações que ocorrem durante o processo são determinadas pelo metabolismo das espécies presentes no sistema.

Os microrganismos atuantes no tratamento dos esgotos podem ser aeróbios ou anaeróbios conforme a necessidade de oxigênio para a obtenção de energia. Dessa forma, os reatores biológicos podem ser aeróbios ou anaeróbios. Os processos aeróbios de interesse ao tratamento das águas residuária envolvem a oxidação da matéria orgânica, a oxidação da amônia (nitrificação) e a fotossíntese.

Os processos anaeróbios mais importantes ao tratamento de esgotos contemplam a fermentação da matéria orgânica, que se processa em várias etapas e a redução dos nitratos.

Dessa forma, os objetivos do tratamento de esgotos abrangem a redução da DBO ou DQO, do nitrogênio, do fósforo, em alguns casos, e dos microrganismos patogênicos. No quadro 2, descrevem-se resumidamente as possíveis vias de transformação desses compostos durante o tratamento dos esgotos domésticos.

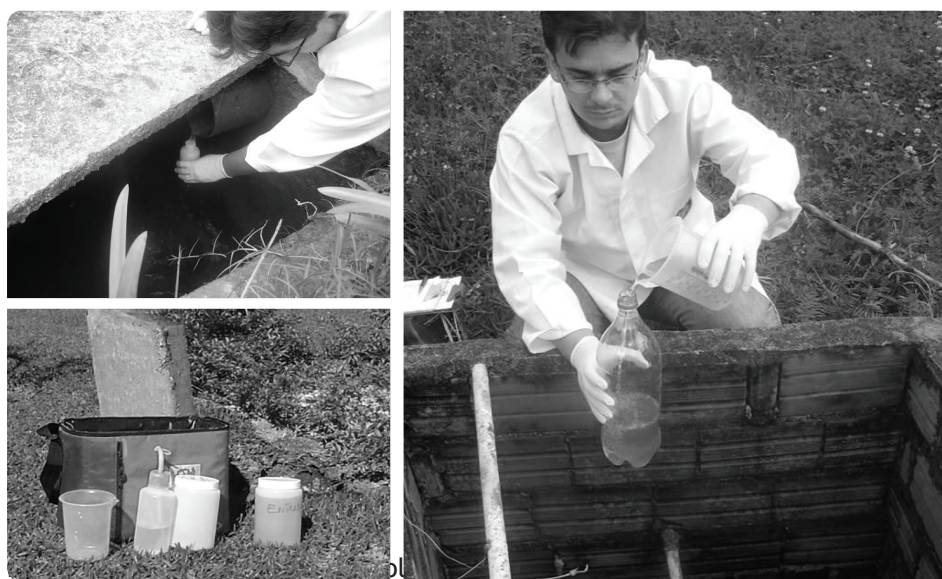
O controle das unidades de tratamento de esgotos em uma ETE dá-se por meio de aferição da vazão afluente e efluente, coletas e análises em laboratório e atividades específicas, tais como descarte de lodo, reposição de insumos, entre outros.

As coletas de amostras na ETE devem ser realizadas de forma criteriosa, assumindo cuidados em relação a possibilidade de autocontaminação (utilizando equipamentos de proteção individual - Figura 8). Após coletadas as amostras, estas devem ser acondicionadas em frascos específicos e preferencialmente, encaminhadas diretamente ao laboratório, para que as análises sejam realizadas na amostra fresca.

Composto	Vias de transformação
DBO ou DQO	Síntese de biomassa Adsorção à biomassa Sedimentação Oxidação (liberação de CO ₂) para a obtenção de energia pelos aeróbios Fermentação (produção de metano)
Nitrogênio	Síntese de biomassa Adsorção à biomassa Sedimentação Nitrificação (produção de NO ₃) Desnitrificação (liberação de N ₂) para a obtenção de energia pelos anaeróbios facultativos Volatilização (liberação de NH ₃)
Fósforo	Síntese de biomassa Adsorção à biomassa Sedimentação Acúmulo na biomassa Precipitação química
Coliformes Fecais	Sedimentação Adsorção à biomassa Predação pelos protozoários Inativação em alto pH Inativação em altas concentrações de OD Inativação pela radiação ultra violeta Desinfecção química (hipoclorito de sódio, ozônio, dióxido de cloro, etc.) Sedimentação

Quadro 2: Principais vias de transformação dos compostos potencialmente poluidores contidos nos esgotos domésticos.

Os esgotos tratados devem atender aos limites máximos para lançamento no ambiente previstos nas leis ambientais. Em nível nacional, deve-se atender as Resoluções CONAMA 357/2005, 430/2011 e em Santa Catarina deve-se atender aos limites previstos na Lei 14.675/2009.



amostras (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

4



ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS

Decanto-Digestor tipo Tanque séptico

Os tanques sépticos foram as primeiras unidades idealizadas para o tratamento de esgotos (por volta de 1872, na França) e até hoje são extensivamente empregados em todos os países. O sucesso do Tanque séptico deve-se à simplicidade de construção e operação, não existindo técnicas construtivas especiais, nem equipamentos, e sua operação não requer a presença constante de operador.

É uma unidade de tratamento primário de esgotos domésticos, que detêm os despejos por um período que permita a decantação dos sólidos e a retenção do material graxo, transformando-os em compostos mais estáveis.

Consistem em tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais (câmaras em série) ou verticais (câmaras sobrepostas), utilizados com o objetivo de reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos com volume reduzido em períodos de meses ou anos (Figura 9).

Em suas várias configurações, os tanques sépticos reúnem, principalmente, os objetivos dos decantadores e digestores em uma mesma unidade, na qual se realizam simultaneamente várias funções: decantação, sedimentação e floculação dos sólidos dos esgotos e desagregação e digestão dos sólidos sedimentados (lodo) e do material flutuante (escuma - Figura 10).

O principal fenômeno ativo sobre a fase líquida é de ação física - decantação com sedimentação e flotação (Figura 11). A decantação consiste na separação de fases (sólidos, líquidos e gases) por diferença de massa específica. A sedimentação é o processo de disposição de sólidos por ação da gravidade. A flotação ocorre porque pequenas bolhas de gases, produzidas na digestão anaeróbia, aceleram a ascensão de partículas sólidas, distinguindo-se de simples flutuação.

ANOTAÇÕES:

V = volume útil (em litros);
N = número de pessoas (ou equivalente populacional);
C = contribuição de despejos (em litros/pessoa * dia);
T = período de detenção (em dias);
K = taxa de acumulação de lodo (em dias);
Lf = contribuição de lodo fresco (em litros/pessoa * dia).

Os valores de C, T, Lf e K, encontram-se descritos em tabelas da norma NBR 7229/93

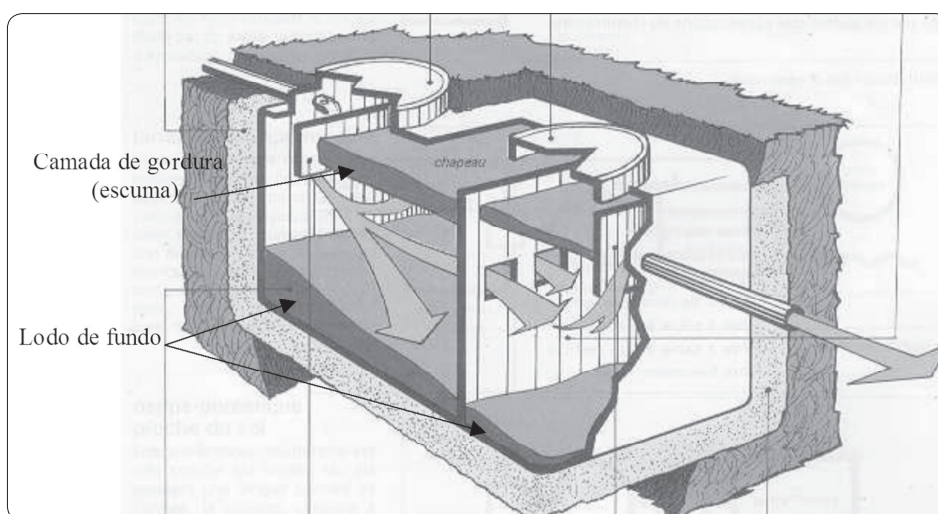


Figura 11: Detalhe esquemático da formação de espuma e lodo de fundo em um tanque séptico de câmara dupla (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

ANOTAÇÕES:

Todo tanque séptico deve ter, pelo menos, uma abertura com a menor dimensão igual ou superior a 0,60m, que permita acesso direto ao dispositivo de entrada do esgoto no tanque. A menor dimensão das demais aberturas, que não a primeira, deve ser igual ou superior a 0,20m.

Um tanque séptico bem projetado, construído e operado apresenta eficiência média de remoção de:

30-50% de remoção de DBO₅ (principalmente a DBO particulada);

60-80% de remoção de SS;

70-90% de remoção de óleos e graxas;

Praticamente inexistência de eficiência na remoção de amônia, fósforo e coliformes.

Dado que o tanque séptico é idealizado (sob um curto período de retenção hidráulico) para reter material sólido recém produzido (fezes, restos de alimentos...) e promover a digestão de material retido (via microrganismos anaeróbios), espera-se que este reator não seja efetivo na remoção

dos compostos nitrogenados e nem de bactérias do grupo coliforme. Assim sendo, há a necessidade de sistemas de tratamento que possam promover o tratamento complementar do efluente do tanque séptico.

Mesmo quando o tanque séptico é bem projetado e operado, o seu efluente tem odor característico devido ao gás sulfídrico e outros gases, aspecto escuro e contém bactérias em grandes quantidades, necessitando-se, portanto, de cuidados no seu manejo e disposição.

Atualmente, já existem tanques sépticos fabricados em fibra adaptados aos padrões previstos por normas e com garantia de qualidade (Figura 12).

ANOTAÇÕES:



Figura 12: Seqüência de fotos que ilustram a implantação de duas unidades em paralelo de tanque sépticos confeccionados em fibra (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Critérios para a definição do tratamento do efluente de tanque séptico

Conforme mencionado anteriormente, diferentes alternativas tecnológicas podem ser empregadas, isoladamente ou combinadas, no tratamento complementar do efluente do tanque séptico.

Estas alternativas, se forem bem projetadas (por profissional habilitado), construídas e operadas, tornam-se sistemas com custos reduzidos (ideais para residências e pequenos povoados, tanto urbanos como rurais) e com grande eficiência na remoção de poluentes e patógenos dos esgotos, propiciando, assim, um efetivo controle ambiental.

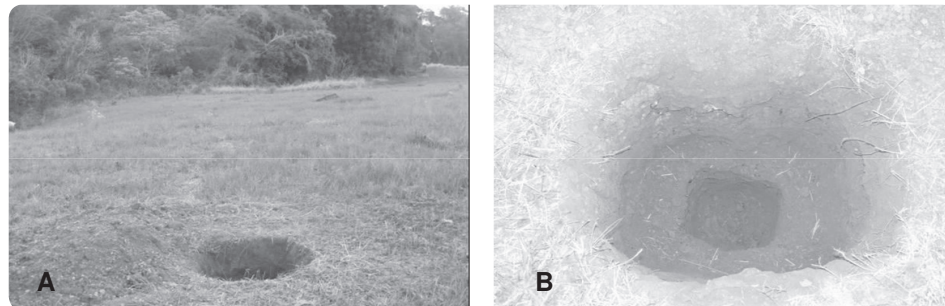


Figura 13: Detalhes das covas quadradas empregadas no ensaio de infiltração. (A) Área destinada à futura infiltração do esgoto tratado no solo. (B) Cova retangular de 30cm de lado e 30cm de profundidade escavada a 70cm de profundidade do nível do terreno. (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

ANOTAÇÕES:

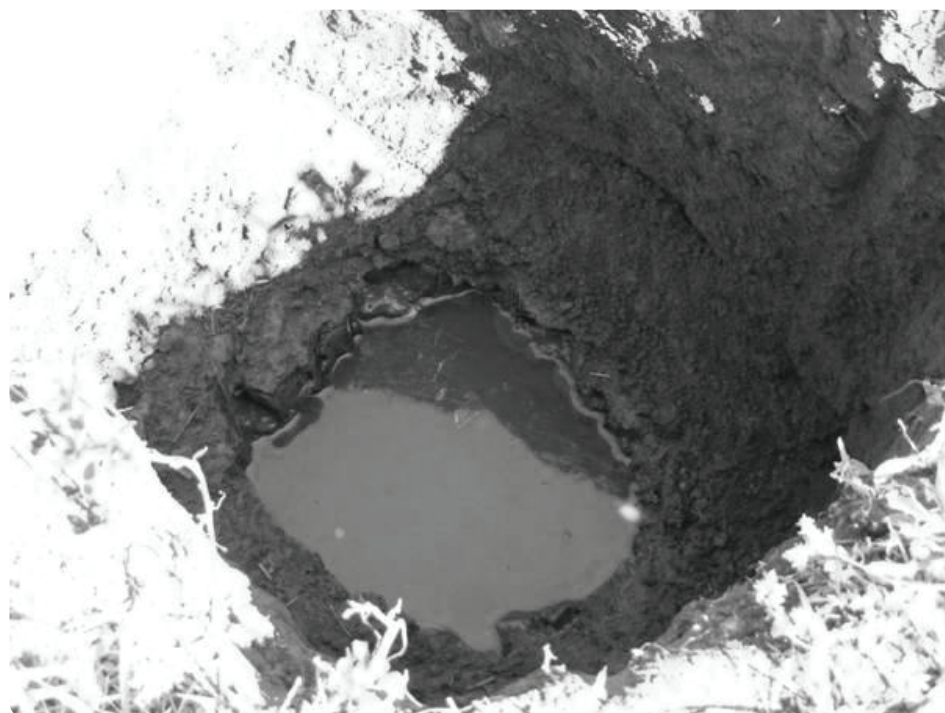


Figura 14: Detalhe da saturação de água na cova quadrada ao longo de 4 horas previamente ao ensaio. (Acervo GESAD/ENS-UFSC).



Figura 15: Detalhes do procedimento de leitura do rebaixamento do nível da água dentro das covas quadradas. (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

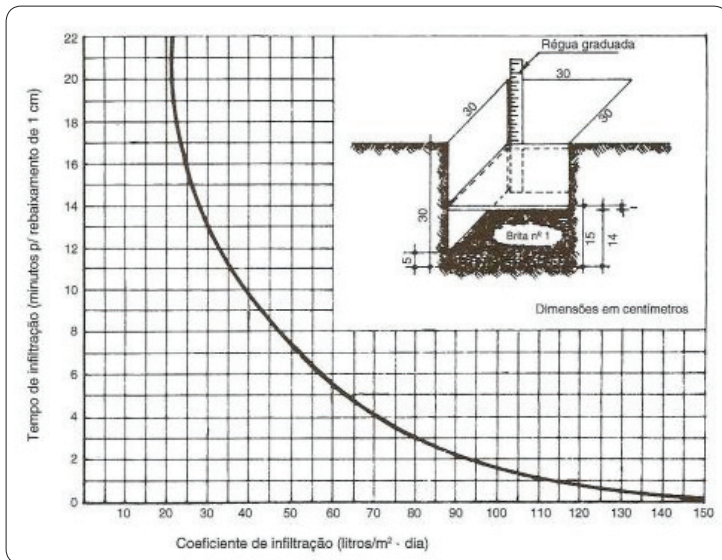


Figura 16: Curva de determinação do coeficiente de infiltração (Fonte: adaptado de NBR 7229/93 - ABNT, 1993)

ANOTAÇÕES:

Resultados do Ensaio:

O valor médio de tempo para o rebaixamento de 1 cm de água dentro das covas retangulares, após a submissão de 4 horas de saturação de água, deve ser anotado. Toma-se como exemplo um valor obtido de 16 minutos;

De posse do valor médio de tempo para rebaixamento de 1 cm de água, plota-se este valor de 16 minutos na curva apresentada na figura 16, conforme segue (Figura 17);

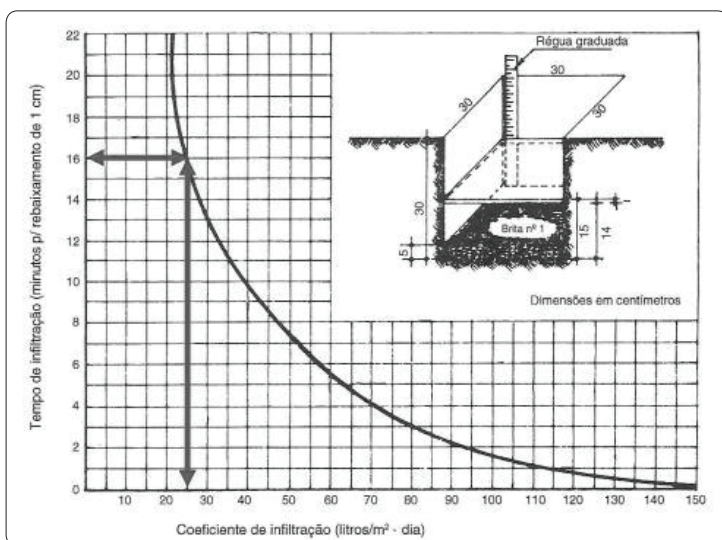


Figura 17: Plotagem do valor de tempo de infiltração para s determinação do coeficiente de infiltração (Acervo GESAD/ ENS-UFSC).

O valor de infiltração obtido, plotando-se na curva, foi de 25 litros/m².dia, logo, para este exemplo onde mediu-se 16 minutos para o rebaiamento de 1 cm da água dentro da cova, o coeficiente de infiltração é de 25 litros/m².dia.

Perfil geológico - sondagem

É importante, também, obter-se o perfil geológico do terreno onde se pretende promover a infiltração do esgoto tratado, a fim de verificar, principalmente, onde se encontra o nível do lençol freático e, desta forma, evitar potenciais contaminações deste.

ANOTAÇÕES:

As alternativas de disposição final de esgoto tratado no terreno, tais como as valas de infiltração e o sumidouro, dependem do valor de profundidade do lençol freático para serem escolhidos e projetados.

De forma geral, é possível por meio de escavação simples no terreno obter uma informação quanto à profundidade do lençol freático. Contudo, a forma mais recomendada é a contratação de uma empresa especializada a fim de se obter uma sondagem simples e, desta forma, o laudo do perfil geológico (Figura 18)

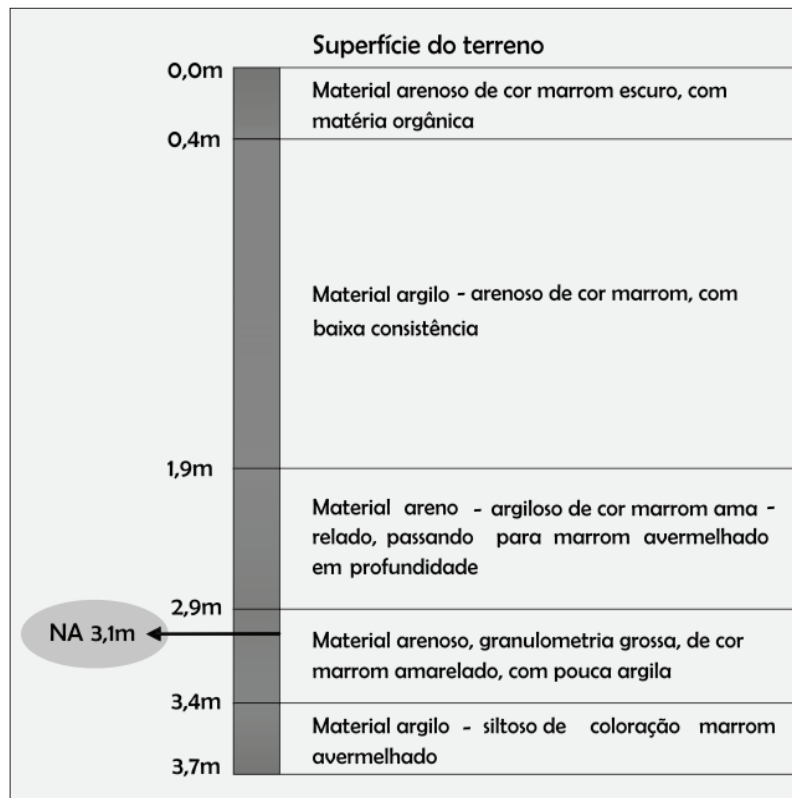


Figura 18: Perfil geológico obtido na área a ser implantado um dispositivo de infiltração do esgoto tratado no solo, a partir de ensaio de sondagem (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Filtro anaeróbio

Os filtros anaeróbios vêm sendo empregados desde a década de 60, século passado. No Brasil, este reator começou a ser utilizado a partir de 1970. São utilizados tanto para tratar efluentes industriais como empregados no tratamento complementar de tanque séptico aplicados aos esgotos sanitários. Sua utilização no tratamento de esgotos sanitários associados aos tanques sépticos tornou-se mais representativa a partir de 1982, quando a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT elaborou a primeira versão da NBR 7229.

O filtro anaeróbio é um reator preenchido com material filtrante, usualmente brita, no qual os processos de depuração do esgoto dão-se via metabolismo dos microrganismos anaeróbios (ou seja, não necessitam de oxigênio dissolvido na massa líquida). Estes microrganismos, devido aos processos enzimáticos associados, liberam produtos extracelulares que promovem a fixação dos mesmos no material filtrante, promovendo, assim, a formação de biofilme (Figura 19).

O esgoto afluyente ao filtro anaeróbio pode fluir de forma ascendente (Figura 20) como descendente (Figura 21) dentro do reator, percolando através do material filtrante que forma um leito fixo.

A passagem do esgoto pelo material filtrante propicia um tempo de contato grande o suficiente para promover a degradação anaeróbia da matéria orgânica pelos microrganismos. Contudo, o próprio material filtrante juntamente com o biofilme formado, poderão promover uma grande perda de carga no sistema, indicando, assim, a necessidade de intervenção operacional.

Apesar de existirem variantes na forma de alimentação do filtro anaeróbio, o sistema mais empregado é a alimentação do esgoto afluyente de forma ascendente (Figura 22).

ANOTAÇÕES:

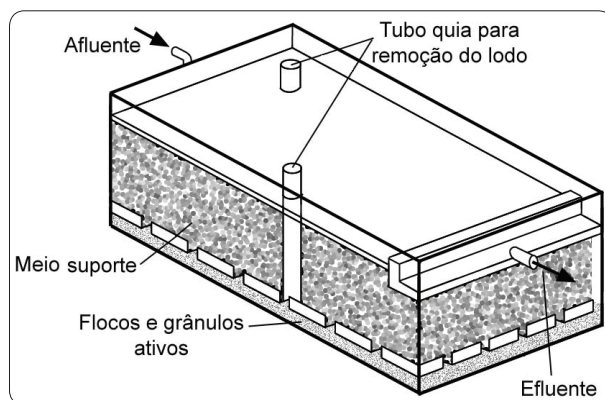


Figura 19: Representação esquemática de filtro anaeróbio (Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2005)

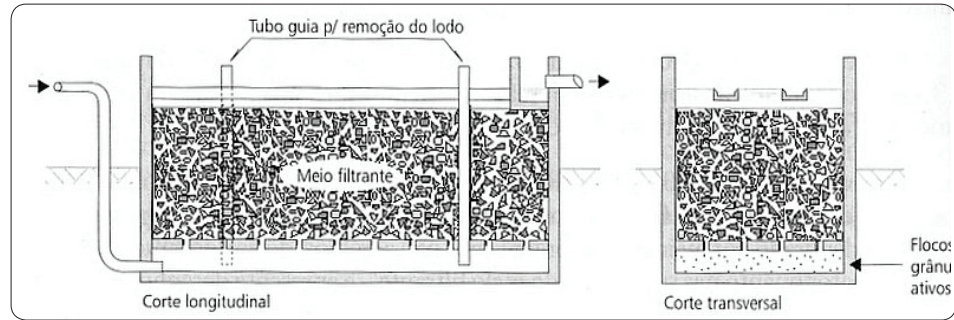


Figura 20: Representação em corte de filtro anaeróbio de fluxo ascendente (Fonte: Adaptado de Andrade Neto et al., 1999).

ANOTAÇÕES:

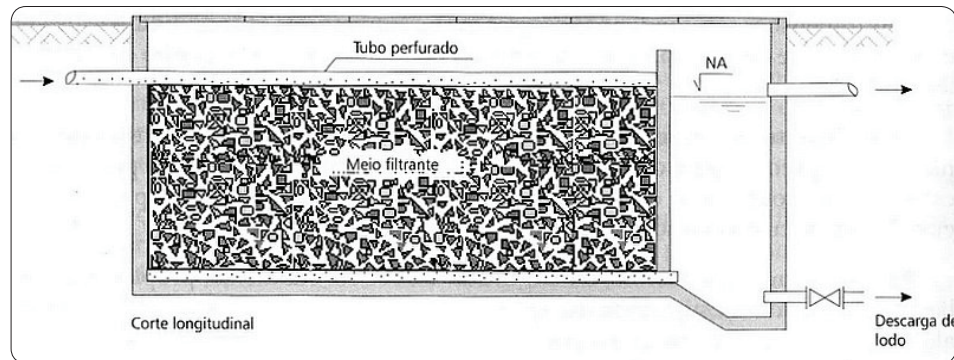


Figura 21: Representação em corte de filtro anaeróbio de fluxo descendente (Fonte: Adaptado de Andrade Neto et al., 1999).



Figura 22: Foto da sequência de construção de um filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente, adaptado em estruturas de caixas d'água de fibra (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

A NBR 13969/97 (ABNT, 1997) apresenta a forma de dimensionamento do filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente. O volume útil total do filtro anaeróbio é calculado pela seguinte fórmula (ABNT - NBR 13969/97):

$$V = 1,6 \times N \times C \times T$$

onde:

V = volume útil (em litros);

N = número de pessoas (ou equivalente populacional);

C = contribuição de despejos (em litros/pessoa * dia);

T = período de retenção (em dias);

Os valores de C e T, encontram-se descritos em tabelas da norma NBR 13969/97

Segundo a NBR 13969/97, o filtro anaeróbico na sequência do tanque séptico pode apresentar as seguintes percentagens de eficiência de remoção:

- 40 a 75% de remoção de DBO;
- 40 a 70% de remoção de DQO;
- 70% ou mais de remoção de Sólidos Sedimentáveis;
- 20 a 50% de remoção de fosfato.

Em relação à remoção de coliformes, também é verificado uma deficiência, necessitando, portanto, de unidades complementares associadas, principalmente, a unidades de desinfecção.

Filtro de Areia

O filtro de areia é uma unidade clássica de tratamento de esgotos, ou seja, sua aplicação data de muito tempo e sua empregabilidade abrange todas as localidades, desde países de clima tropical até países de clima temperado

O filtro de areia é um reator composto por brita no fundo (servindo de camada suporte) e areia como principal elemento filtrante, onde o esgoto afluente irá ser distribuído por meio de tubulação perfurada ao longo da área superficial e, após percolar pelo maciço filtrante, irá ser coletado por uma tubulação de fundo (Figura 23). Pode ser construído em alvenaria de tijolos, cimento, concreto ou em fibra (Figura 24).

ANOTAÇÕES:

ANOTAÇÕES:

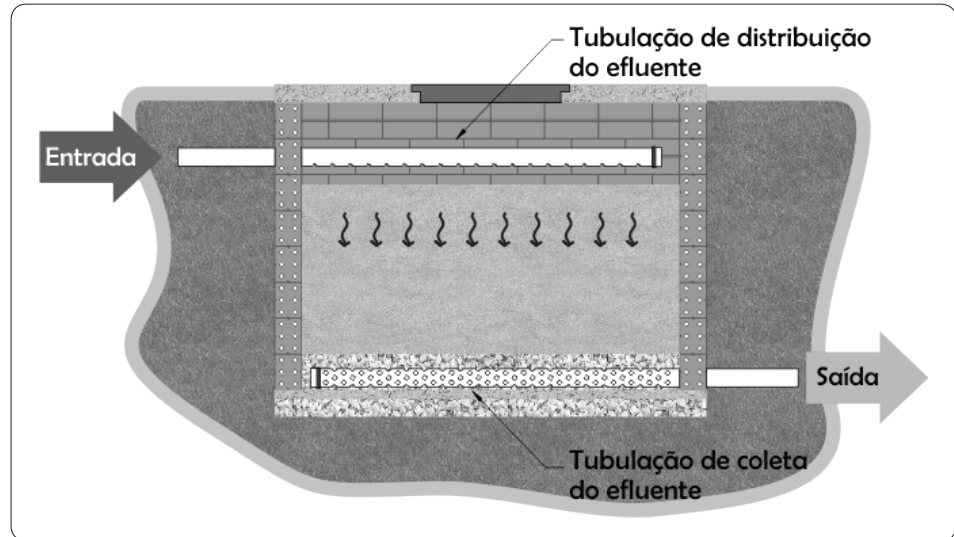


Figura 23: Representação esquemática do filtro de areia (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

É uma unidade de tratamento de esgoto complementar ao tanque séptico (Figura 25), onde o processo de depuração consiste na filtração dos esgotos através do leito do filtro (camada de areia), onde se processa a degradação da matéria orgânica tanto por meio físico (retenção) quanto por meio bioquímico (oxidação). Os processos oxidativos nos filtros são realizados, principalmente, pelos microrganismos fixos nas superfícies dos grãos de areia, que formam o biofilme.



Figura 24: Fotos ilustrativas das etapas de construção de um filtro de areia em um reator de fibra (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

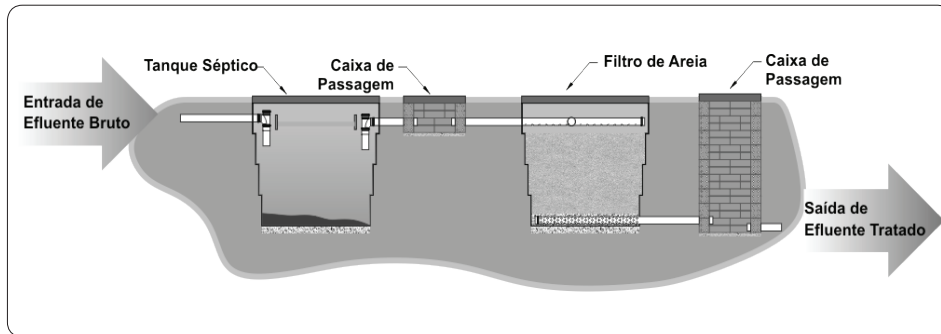


Figura 25: Representação esquemática da sequência de tratamento composto por Tanque séptico seguido de filtro de areia (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Biofilme é um aglomerado de matéria orgânica e microrganismos que se fixam no meio suporte (areia), onde irão atuar na degradação aeróbia e/ ou anaeróbia da matéria orgânica presente no esgoto.

Os critérios para o dimensionamento do filtro de areia são descritos na NBR 13969/97 (ABNT, 1997), destacando-se:

- Taxa hidráulica aplicada;
- Especificação do material filtrante.

Em relação a taxa hidráulica aplicada, ou seja, a quantidade de esgoto a ser aplicado por dia (= vazão) na área superficial do filtro, a norma técnica recomenda uma aplicação de $100\text{L}/\text{m}^2.\text{dia}$, quando o filtro de areia tratar efluente de Tanque séptico.

A partir deste dado e conhecendo a quantidade de esgoto a ser tratado por dia, é possível obter a relação de área superficial requerida. As demais dimensões do filtro de areia (largura e comprimento) serão obtidas em relação a configuração geométrica a ser confeccionada o filtro (circular ou retangular). A profundidade mínima do maciço filtrante recomendado por norma é de 70 cm.

A recomendação em relação ao material filtrante (areia) limita-se na relação do tamanho dos grãos e na uniformidade da areia. Estas informações são obtidas a partir de um ensaio de curva granulométrica na areia que se pretende utilizar no filtro (Figura 26).

ANOTAÇÕES:

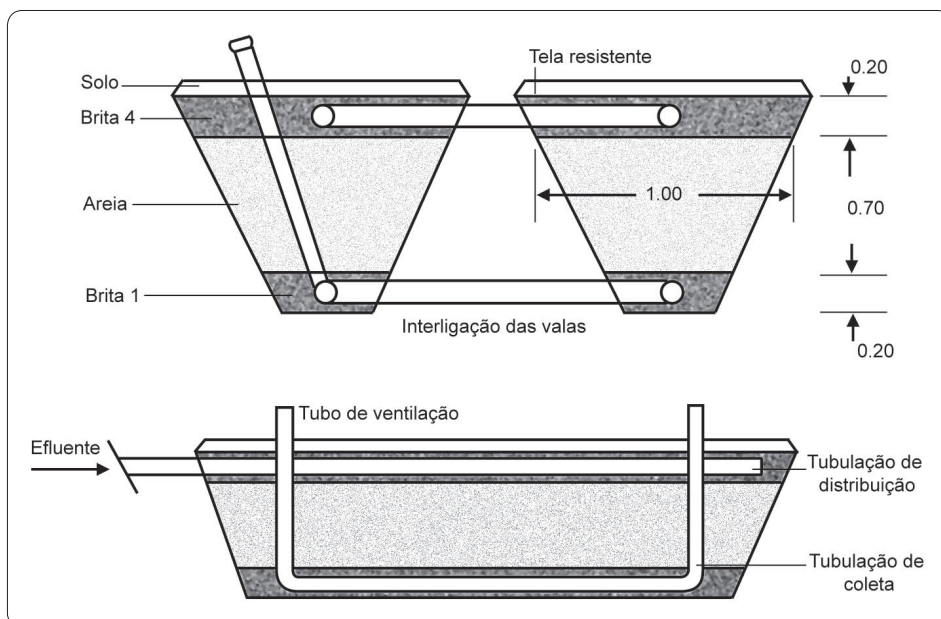


Figura 27: Esquema representativo da vala de filtração (Fonte: Adaptado de Couracci Filho et al apud Chernicharo, 2001)

O processo de tratamento é o mesmo ocorrido nos filtros de areia, sendo a área efetiva e o coeficiente de uniformidade do meio filtrante os elementos chave no processo.

A área efetiva afeta a quantidade de efluente que será filtrado, a taxa de filtração e a profundidade de penetração da matéria sólida insolúvel. Com a utilização de um leito com partículas muito grossas, tem-se baixo tempo de retenção do efluente aplicado, não atingindo o ponto adequado para a decomposição biológica. Com areia muito fina, a quantidade de efluente que será filtrada é pouca e o filtro poderá ser entupido rapidamente. Quando se tem alto coeficiente de uniformidade, ou seja, uma grande desigualdade no tamanho das partículas do leito, elas estarão muito próximas entre si, o que diminui a porosidade total e a média de área dos espaços dos poros, reduzindo, assim, a sua permeabilidade para o efluente (Couracci Filho et al, apud Chernicharo, 2001).

Os critérios para o dimensionamento da vala de filtração são descritos na NBR 13969/97 (ABNT, 1997), adotando-se a aplicação de uma taxa hidráulica de esgoto de 100L/m².dia, quando a vala de filtração tratar efluente de tanque séptico.

A NBR 13969/97 apresenta, também, a configuração recomendada da instalação das valas de filtração, bem como as relações geométricas das mesmas (Figura 28).

ANOTAÇÕES:

ANOTAÇÕES:

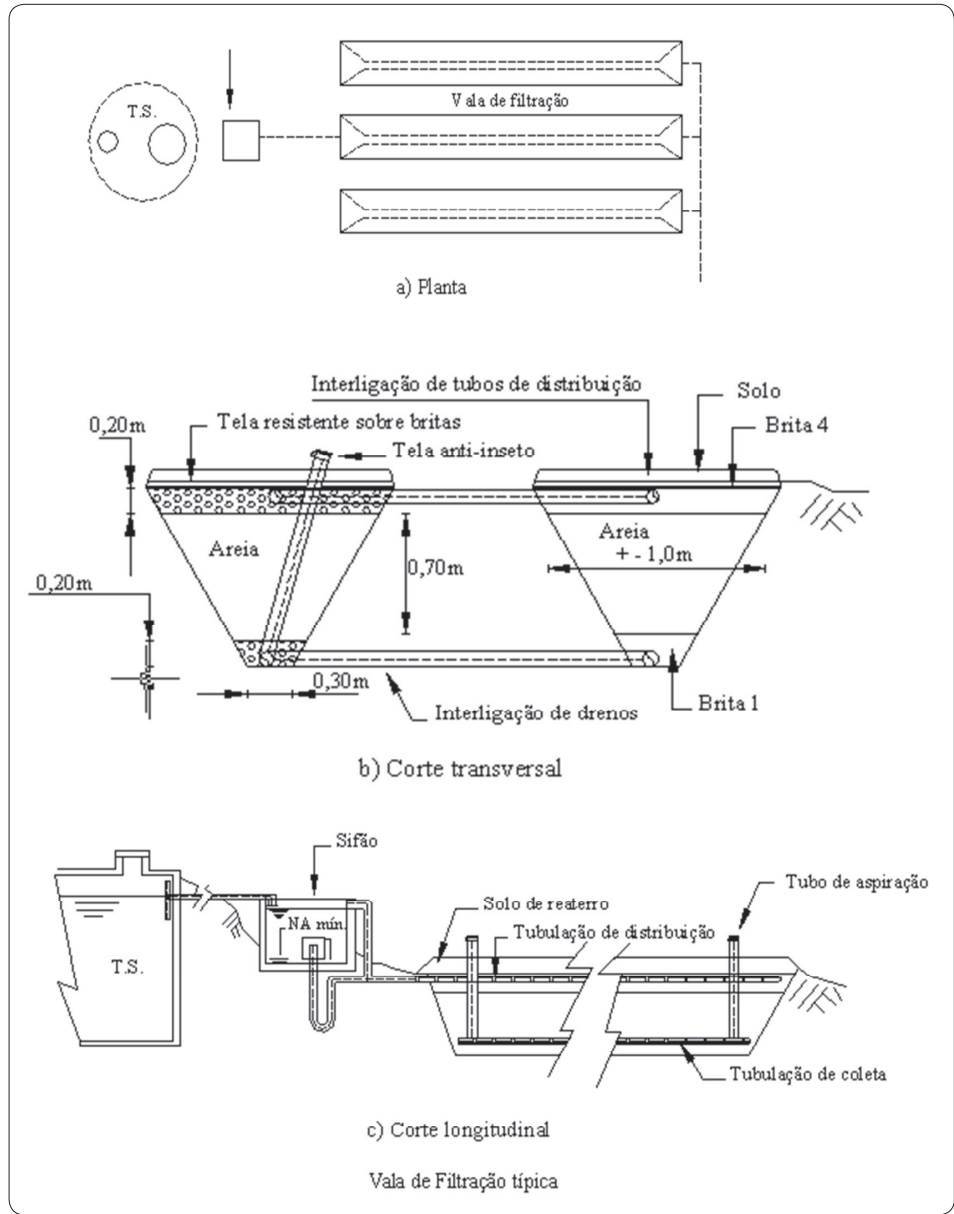


Figura 28: Esquema representativo da configuração e das relações geométricas recomendadas pela ABNT - NBR 13969/97 (Fonte: Adaptado de ABNT, 1997)

Uma vala de filtração bem dimensionada e operada, quando associado ao tanque séptico, pode promover elevada eficiência de tratamento, conforme segue:

- remoção de 91% de DBO_5 ;
- remoção de 92% de SS;
- remoção de 73% de amônia;
- remoção de 75% de fósforo.

De forma geral, os riscos e dificuldades são os mesmos dos filtros de areia. Deve-se, também, promover uma alimentação intermitente na

vala de filtração e há a necessidade de, no mínimo, duas valas de igual capacidade implantadas em paralelo.

Vala de Infiltração

A vala de infiltração é uma unidade que promove o tratamento do esgoto pós tanque séptico e, também, promove a disposição final deste esgoto tratado no terreno (Figura 29).

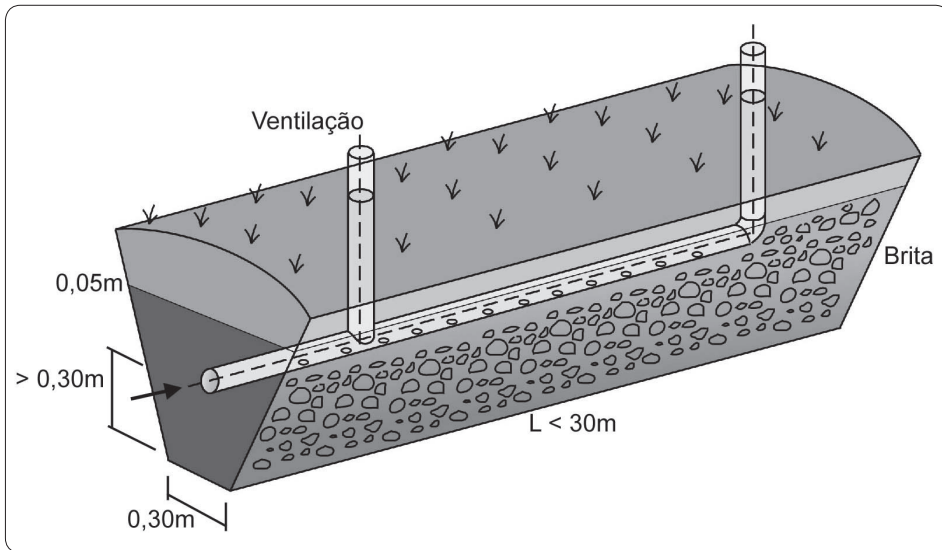


Figura 29: Esquema representativo da vala de infiltração (Fonte: Adaptado de Couracci Filho et al apud Chernicharo, 2001)

Como o terreno (solo local) é fundamental para a garantia da qualidade do tratamento e, sobretudo, do controle em relação a possíveis contaminações, é fundamental que se conheçam algumas propriedades deste terreno, tais como: a permeabilidade e o nível do lençol freático. Não é recomendado o uso da Vala de Infiltração onde o solo é saturado de água.

O processo de tratamento que ocorre na vala de infiltração é semelhante a vala de filtração, contudo, na vala de infiltração não há impermeabilização das laterais e fundo, promovendo, assim, a infiltração do esgoto tratado no terreno. O material filtrante empregado é a brita.

É recomendável manter uma condição aeróbia no interior da vala de infiltração. Isto é possível através da disposição de tubos de ventilação (Figura 30), e com a alternância de uso das valas.

ANOTAÇÕES:

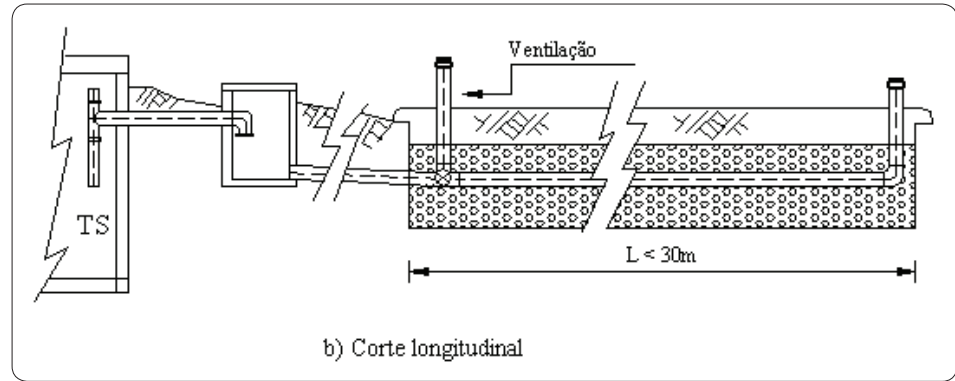


Figura 30: Representação em perfil da vala de infiltração, destacando-se os tubos de ventilação. (Fonte: Adaptado de ABNT, 1997)

ANOTAÇÕES:

O dimensionamento da vala de infiltração é função da capacidade de percolação do solo. Para se obter este valor de capacidade de infiltração, há a necessidade de realizar ensaios em campo (Figura 31).



Figura 31: Fotos do ensaio de infiltração (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

A partir deste ensaio realizado no local onde se pretende implantar as valas de infiltração, obtém-se a taxa máxima de aplicação diária (em $L/m^2.d$), a qual é empregada na determinação da área de infiltração, através da seguinte equação:

$$A = \frac{N \times C}{K}$$

onde:

A = área total necessária para infiltração (m^2);

N = número de contribuintes;

C = contribuição per capta de esgotos (L/d);

K = taxa máxima de aplicação diária ($L/m^2.d$).

Esta área obtida é, na verdade, a área de contato do esgoto com o terreno (Figura 32). A partir da área requerida e das dimensões recomendadas pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997), obtém-se o comprimento da vala de infiltração.

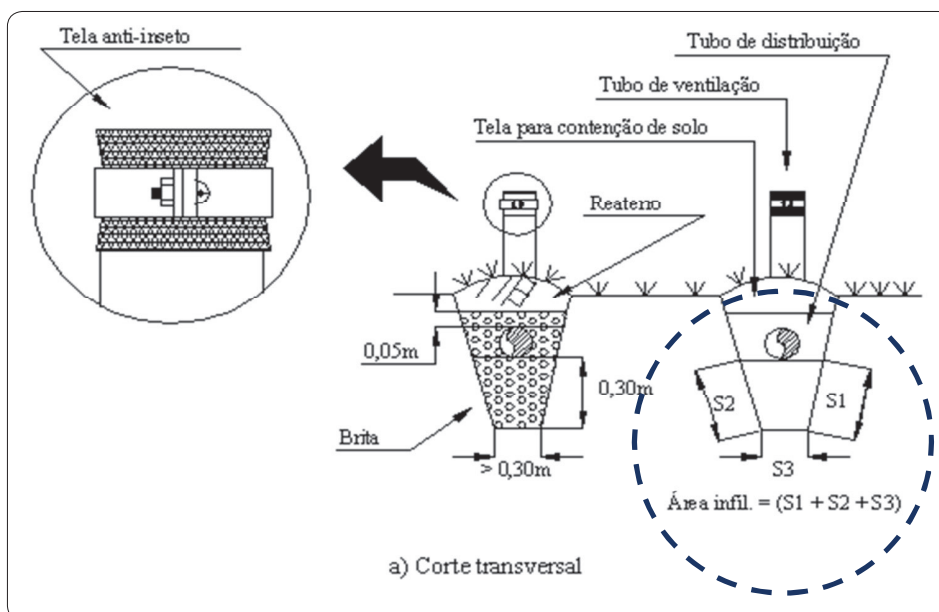


Figura 32: Detalhe da área de infiltração obtido com o ensaio de capacidade de infiltração. (Fonte: Adaptado de ABNT, 1997)

A NBR 13969/97 atesta a qualidade do efluente tratado e disposto na vala de infiltração, se durante a implantação desta unidade atendam-se as seguintes prerrogativas (ABNT, 1997):

- o fundo, assim como as paredes laterais da vala de infiltração, não deve sofrer qualquer compactação durante sua construção;
- todas as tubulações de transporte de esgoto do sistema devem ser protegidas contra cargas rodantes, para não causar extravasamento ou obstrução do sistema;
- as tubulações de distribuição na vala devem ser instaladas de modo a não causar represamento do esgoto no interior da mesma;
- quando as condições locais forem propícias, deve-se optar por distribuição em conduto forçado para favorecer a distribuição uniforme;
- a camada de brita deve ser coberta de material permeável, tal como tela fina, antes do reaterro com o solo, para não haver mistura deste com a brita, e ao mesmo tempo, permitir a evaporação da umidade;
- não permitir plantio de árvores próximo às valas.

Sumidouro

O sumidouro é uma unidade de disposição final dos esgotos tratados. Ele irá auxiliar na distribuição do esgoto no solo. Pode ser preenchido com material filtrante ou não (Figura 33).

ANOTAÇÕES:

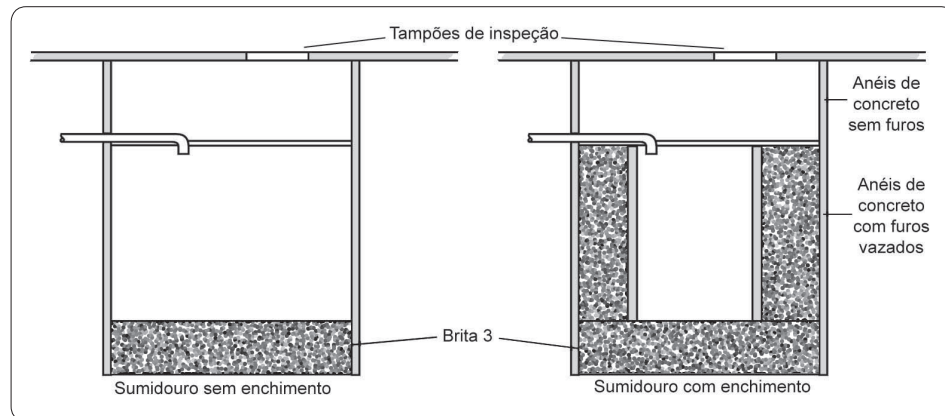


Figura 33: Representação de sumidouro sem enchimento e com enchimento (material filtrante). (Fonte: Adaptado de Couracci Filho et al apud Chernicharo, 2001)

ANOTAÇÕES:

Quando o sumidouro é preenchido com material filtrante (Figura 34) ele desempenha as mesmas funções da vala de infiltração, contudo seu uso só é recomendável em áreas onde o lençol freático é profundo, com profundidade superior a 1,50m.

Os processos, critérios e as recomendações são os mesmos previstos para a vala de infiltração, exceto na questão da manutenção das condições aeróbias dentro da unidade, pois torna-se dificultada e/ou onerosa a introdução de ar dentro do sumidouro.

O dimensionamento do sumidouro também é função da capacidade de percolação do solo, e pode ser desenvolvido conforme recomendações para a vala de infiltração.

O elemento mais criterioso no seu dimensionamento e aplicabilidade está vinculado ao nível de profundidade do lençol freático, necessitando, portanto, realizar sondagens no terreno para identificar o nível da água subterrânea.

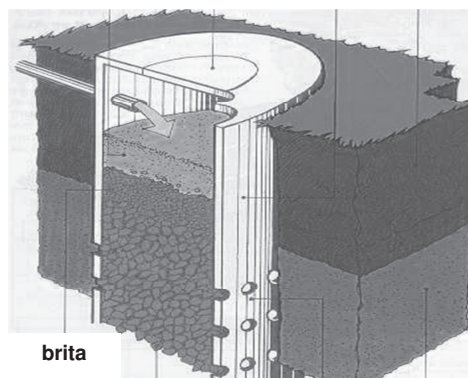


Figura 34: Esquema representativo de um sumidouro com enchimento (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

O desempenho do tratamento também está relacionado com as características do solo e da profundidade do lençol freático. A altura útil do sumidouro deve ser determinada de modo a manter distância vertical mínima de 1,50m entre o fundo do poço e o nível máximo do aquífero.

Filtros plantados com macrófitas

Os filtros plantados com macrófitas são sistemas que dispõem de um material de recheio (usualmente empregado brita, areia, cascalho) de onde o efluente a ser tratado é disposto e irá percolar. As macrófitas empregadas, do tipo emergente, são plantadas diretamente neste material de recheio - também conhecido como material filtrante (Figura 35).

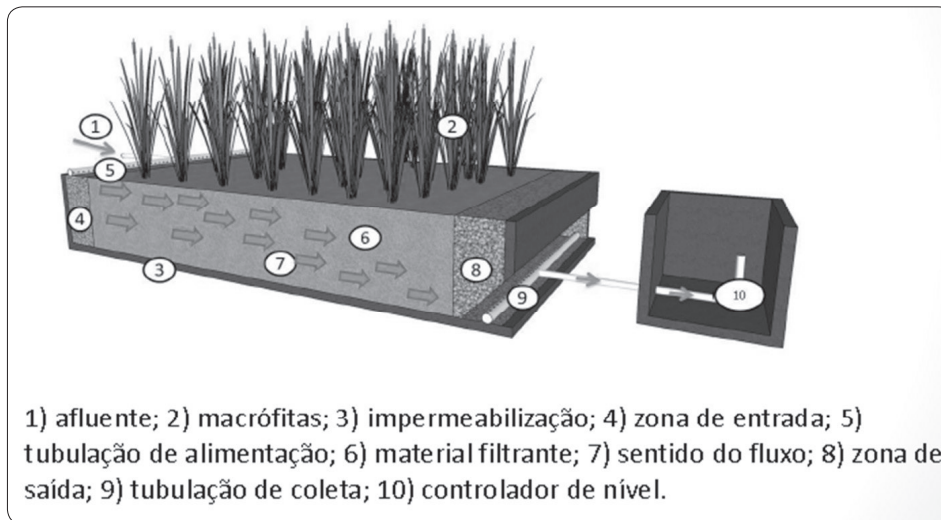


Figura 35: Esquema representativo de filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Os Filtros plantados com macrófitas, também conhecidos como zona de raízes e/ou leitos cultivados, estão inseridos dentro do grupo dos *constructed wetlands*. Estes podem ser construídos empregando-se direções de fluxo hidráulico, seguindo na horizontal e/ou na vertical, sendo que estas duas concepções de fluxo diferem-se quanto aos objetivos propostos para o tratamento.

Nos Filtros plantados com macrófitas de fluxo horizontal, o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada zona de entrada - geralmente composta por brita, de onde irá percolar vagarosamente através do material filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída (Figura 36). Esta percolação tende a seguir na horizontal e é impulsionada por uma declividade de fundo. Durante a percolação, o esgoto entra em contato com regiões

ANOTAÇÕES:

aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A camada aeróbia é mais evidente ao redor das raízes das macrófitas, pois estas tendem a transportar oxigênio da parte aérea para as raízes e, sobretudo, ocorrem nesta porção do leito filtrante uma significativa convecção e difusão de oxigênio atmosférico. Quando da passagem do efluente na rizosfera, ocorre uma depuração através de processos físicos e químicos e, mais efetivamente, devido à degradação microbiológica.

ANOTAÇÕES:

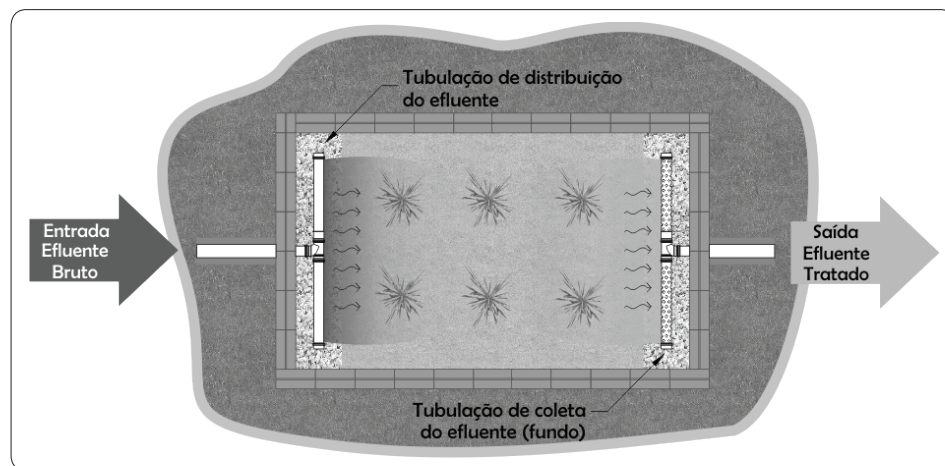
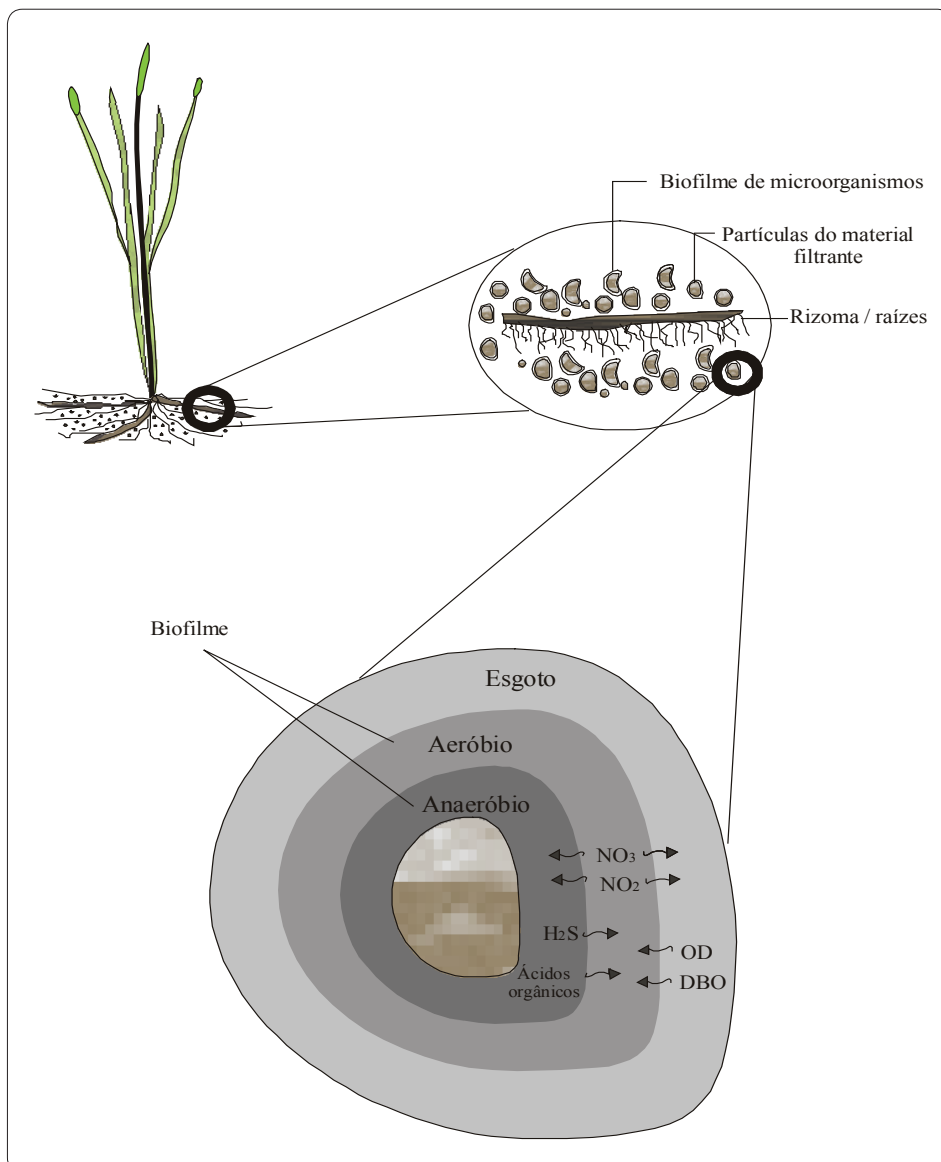


Figura 36: Esquema representativo da vista superior de um filtro plantado com macrófitas (escoamento subsuperficial de fluxo horizontal) (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Os princípios básicos do tratamento nos FPM englobam a filtração e a formação de biofilme aderido a um meio suporte e raízes das plantas, onde comunidades de microrganismos aeróbios e anaeróbios irão depurar a matéria orgânica e promover a transformação da série nitrogenada - nitrificação e desnitrificação (Figura 37). O oxigênio requerido é suprido pelas macrófitas e pela convecção e difusão atmosférica.

Esta alternativa tecnológica, que deve ser precedida de tratamento primário, não é contemplada em normas técnicas, dificultando, assim, a uniformização de parâmetros e critérios de dimensionamento. Percebe-se, portanto, adoção de inúmeros critérios e modelos para o dimensionamento das unidades filtros plantados com macrófitas.

Modelos oriundos da cinética de primeira ordem, aplicável aos reatores tipo pistão, são os mais amplamente utilizados para prever a área superficial necessária para a promoção do tratamento secundário dos esgotos domésticos.



ANOTAÇÕES:

Figura 37: Elementos atuantes no processo de degradação do esgoto no filtro plantado com macrófitas (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

$$A = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times p \times n}$$

onde:

A = área superficial requerida (m^2)

Q = vazão afluyente (m^3/d)

C_o = concentração afluyente em termos de DBO_5 ($\text{mg}/\text{L} = \text{g}/\text{m}^3$)

C_e = concentração efluyente em termos de DBO_5 ($\text{mg}/\text{L} = \text{g}/\text{m}^3$)

K_T = constante de remoção de DBO (varia entre 0.7 a 1, 1d^{-1})

n = porosidade do material filtrante (m^3 vazios / m^3 material)

p = profundidade média do filtro (m)

Um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal bem dimensionado e operado, quando associado ao tanque séptico, pode promover satisfatória eficiência de tratamento, conforme segue:

- remoção de 90% de DBO_5 ;
- remoção de 90% de SS;
- remoção de 20% de amônia;
- remoção de 30% de fósforo.

É importante ressaltar, também, que o desenvolvimento das macrófitas no sistema é um bioindicador da performance de tratamento, pois as mesmas precisam de nutrientes para seu desenvolvimento, as quais buscam-nos no efluente que está sendo tratado (Figura 38).

ANOTAÇÕES:



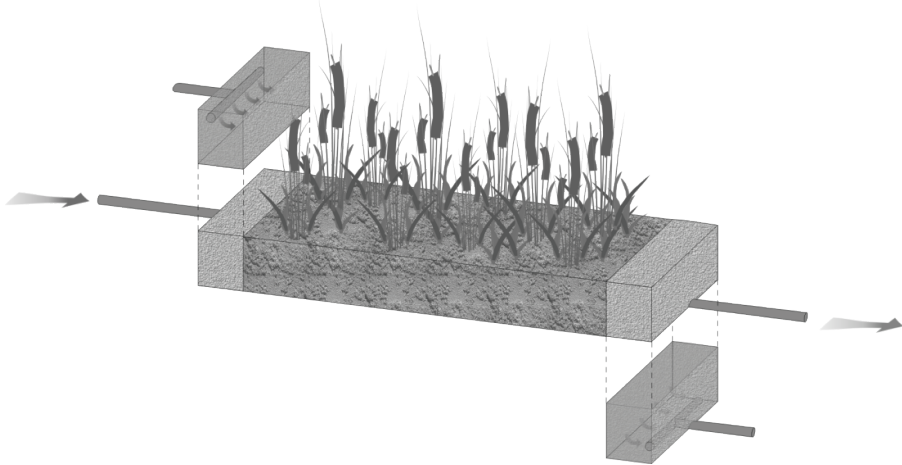
Figura 38: Foto de filtros plantados com macrófitas de fluxo horizontal aplicados ao tratamento de esgoto doméstico (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

O maior risco em relação ao uso de filtros plantados com macrófitas está no fato do leito filtrante sofrer com o fenômeno de colmatção, ocasionando empoçamentos e como consequência, liberação de odor e potencial habitat para criação de mosquitos (Figura 39).



Figura 39: Fotos de empoçamentos gerados nos filtros plantados com macrófitas, indicando o início do processo de colmatção do material filtrante (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Uma das principais características que levam a colmatção do leito filtrante é o carregamento excessivo de sólidos suspensos por unidade de área transversal ao fluxo. A Figura 40 destaca esta área transversal, indicando que quanto maior a área transversal ao fluxo menor será o carregamento de sólidos ($\text{gSS}/\text{m}^2_{\text{seção transversal}} \cdot \text{dia}$).



ANOTAÇÕES:

Figura 40: Esquema representativo da área transversal ao fluxo no filtro plantado com macrófitas (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

- Categoria A: irrigação de parques públicos, campos desportivos e culturas que são ingeridas cruas. O grupo exposto é compreendido pelos trabalhadores, consumidores e o público em geral. Para esta categoria, o tratamento dos esgotos deve fornecer um efluente que apresente uma qualidade microbiológica com valores para nematoides intestinais menor ou igual a 1 ovo por litro e coliformes fecais menor ou igual a 1000 NMP/100mL;
- Categoria B: irrigação de culturas de cereais para a indústria, forrageiras e para arborização. Neste caso o único grupo exposto é constituído dos trabalhadores rurais e não existe nenhum padrão para coliformes fecais. O nível estabelecido é unicamente para nematoides intestinais, que deve ser menor ou igual a 1 ovo por litro;
- Categoria C: corresponde às culturas da Categoria B, quando nem trabalhadores nem público estão expostos. Neste caso não são aplicadas limitações para valores de nematoides e coliformes fecais. O tratamento do esgoto deve atender às exigências da tecnologia de irrigação, requerendo-se, pelo menos, sedimentação primária.

ANOTAÇÕES:

microrganismo	Sobrevivência	
	solo	vegetais
Vírus entéricos	< 100 dias	< 60 dias
Bactérias		
- Coliformes fecais	< 70 dias	< 30 dias
- <i>Salmonella</i> spp	< 70 dias	< 30 dias
- <i>V. cholerae</i>	< 20 dias	< 5 dias
Protozoários		
- Cistos de <i>E. histolytica</i>	< 20 dias	< 10 dias
Helmintos		
- Ovos de <i>A. lumbricoides</i>	meses	< 60 dias
- Ovos de <i>T. saginata</i>	meses	< 60 dias
- Ovos de <i>T. trichiura</i>	meses	< 60 dias

Quadro 3: Tempo de sobrevivência no ambiente com temperatura de 20° a 30° C de microrganismos patogênicos encontrados nos esgotos (Fonte: Bastos e Mara, 1993).

Diferentes tecnologias podem ser empregadas na desinfecção do esgoto tratado, destacando-se as mais simples como cloração e a caleação (uso de cal hidratada), chegando até as mais complexas como utilização de lâmpadas UV, emprego de dióxido de cloro, ozônio e outros.

O desinfetante mais amplamente utilizado em nível mundial é o cloro, estimando-se que participa em 70% de todas as operações de desinfecção. É, de longe, o mais barato, e é um bom desinfetante, causando o seu uso um impacto positivo imediato na saúde pública. Porém, é conhecido que o cloro introduz um problema crônico, muito mais sutil e difícil de avaliar que o anterior, que é a produção de compostos carcinogênicos (THMs) quando reage com a matéria orgânica. Passados quase 30 anos

desde os primeiros trabalhos divulgados com relação ao perigo dos THMs nas águas, está-se praticamente na mesma situação de uso do cloro, devido às vantagens econômicas do mesmo e à poderosa indústria que funciona ao seu redor (Gonçalves, 2003).

Tanto processos naturais como artificiais podem ser idealizados para promover a desinfecção de esgotos tratados. Dentre estes processos, existem diferentes alternativas a serem empregadas, conforme destacado na Figura 41.

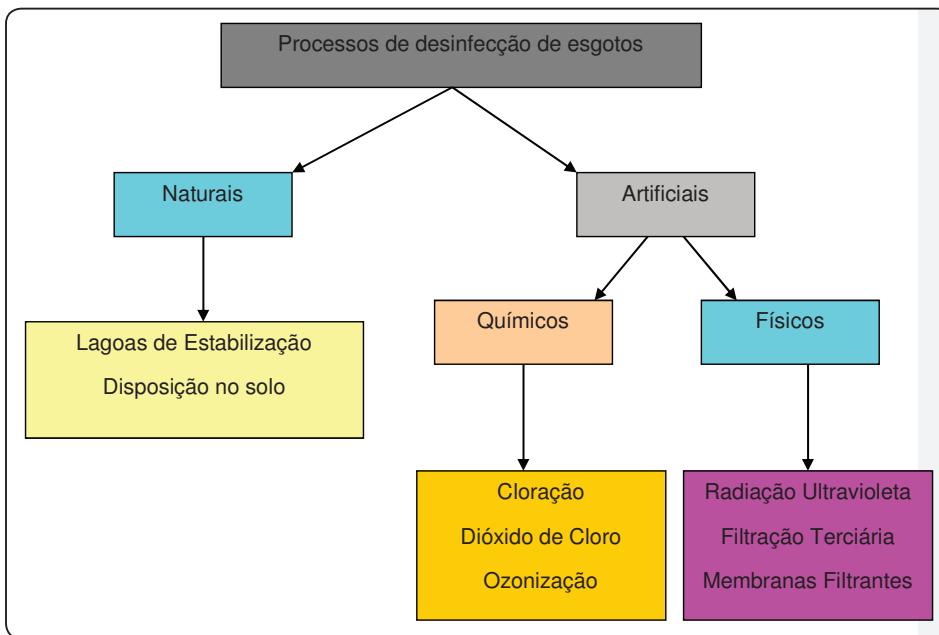


Figura 41: Processos de desinfecção de esgotos (Fonte: adaptado de Gonçalves, 2003)

ANOTAÇÕES:

Filtro anaeróbio

Um dos maiores riscos associados ao uso do filtro anaeróbio é a colmatação do material filtrante, promovendo, assim, problemas de fluxo e desprendimento de biofilme com o efluente final.

Portanto, há a necessidade de operação constante, através da verificação da qualidade do efluente, bem como, por meio de inspeções visuais facilitadas pela presença de tampas de acesso (Figura 43).

ANOTAÇÕES:

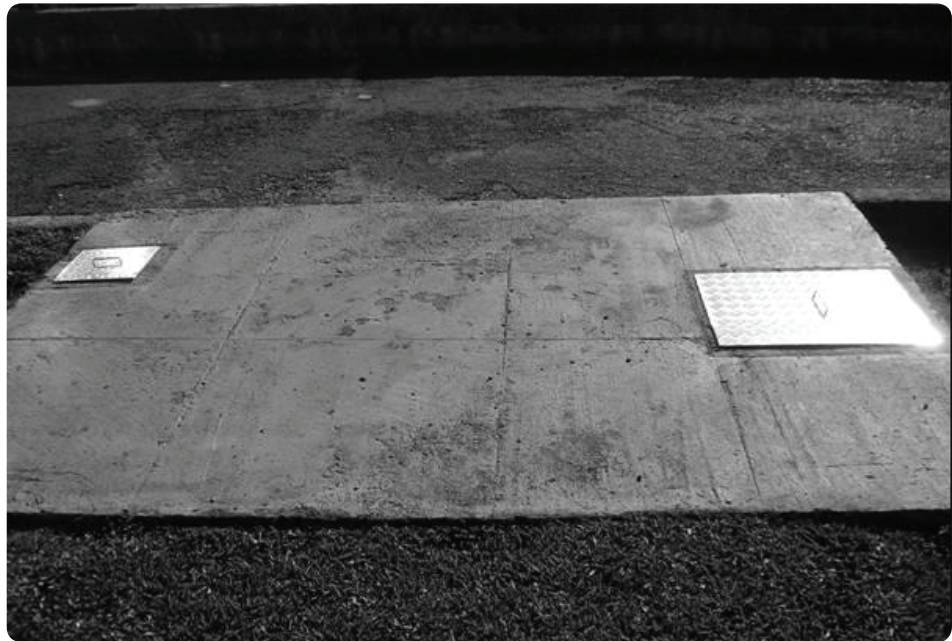


Figura 43: Detalhe das tampas de acesso na laje superior de um filtro anaeróbio (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Filtro de Areia

O maior risco associado ao uso do filtro de Areia é o entupimento do maciço filtrante, ou seja, a colmatação da areia. Colmatação é, portanto, a redução significativa da capacidade de drenagem do material filtrante, ou seja, é a diminuição da condutividade hidráulica do filtro de areia.

Uma das formas de se trabalhar com este problema é a utilização de dois filtros de areia de igual capacidade, instalados em paralelo. Enquanto um estiver em repouso, o outro trabalha, e quando houver indícios de colmatação, interrompe-se a alimentação neste filtro e inicia-se no outro. Assim há uma flexibilidade para fazer intervenções corretivas no filtro colmatado.

Vala de Infiltração

Por se tratar de uma unidade de disposição final de esgoto, o desempenho de tratamento está relacionado com as características do solo. Para que se possa conhecer realmente o desempenho de tratamento, há a necessidade de instalar piezômetros no entorno das valas e então proceder a coleta e análises em laboratório.

Sumidouro

O maior risco está vinculado à contaminação do solo e do lençol freático, principalmente, se os ensaios de capacidade de infiltração não forem realizados. Deve-se tomar cuidados com o uso que se pretende dar para a parte do terreno onde o esgoto está percolando via Sumidouro, pois há a potencialidade de auto contaminação.

ANOTAÇÕES:

Tipo de Lodo	Origem	Caracterização
Lodo primário	Tanque séptico	Lodos removidos de tanques sépticos apresentam moderado grau de estabilização devido ao alto tempo de detenção. Sólidos removidos por sedimentação nos decantadores primários constituem o lodo primário.
Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)	Reatores aeróbios com biofilmes - alta carga (biofiltros aerados submersos)	Biomassa aeróbia gerada na remoção do material orgânico contido nos esgotos, a qual está em contínuo crescimento, em virtude da entrada constante de matéria orgânica nos reatores. Para manter o sistema em equilíbrio, aproximadamente, a mesma massa de sólidos biológicos gerada deve ser removida dos sistemas. Estes sólidos não se encontram estabilizados, necessitando de uma etapa separada, posterior, de digestão.
Lodo biológico aeróbio (estabilizado)	Reatores aeróbios com biofilmes - baixa carga (biofiltro aerado)	Biomassa aeróbia que cresce e se multiplica à custa da matéria orgânica dos esgotos brutos. No entanto, nos sistemas de baixa carga, a disponibilidade de alimento é menor, a biomassa fica retida por mais tempo no sistema, predominando assim as condições da respiração endógena, sendo por isso um lodo com alto grau de estabilização.
Lodo biológico anaeróbio (estabilizado)	Reatores anaeróbios (reatores UASB, filtros anaeróbios)	A biomassa anaeróbia também cresce e se multiplica à custa da matéria orgânica. Nestes processos de tratamento, usualmente a biomassa fica retida um longo tempo, no qual ocorre a digestão anaeróbia do próprio material celular. Nas lagoas de estabilização, o lodo é constituído ainda de sólidos do esgoto bruto sedimentados, bem como de algas mortas. Esse lodo não requer uma etapa de digestão posterior.

Quadro 4: Origem e descrição dos tipos de lodos gerados em ETEs. Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (1991).



Figura 44: Foto de leito de secagem empregado no gerenciamento do lodo (Acervo GESAD/ENS-UFSC).

Valorização do lodo produzido:

Conforme Gomes (2001), para a aplicação agrícola de lodos de ETE devem ser considerados três grupos de parâmetros:

- parâmetros de controle ambiental: teores de metais pesados admissíveis no lodo e no solo e eficiência dos métodos de higienização e pós-tratamento do lodo;
- parâmetros econômicos: viabilidade econômica do uso agrícola do lodo;
- parâmetros operacionais: recomendações agronômicas, dosagem ideal, limite, época e formas de incorporação no solo.

Para a viabilização e a utilização de biossólidos na agricultura devem ser considerados os seguintes itens:

- mercado: devem-se levar em consideração as características físico-químicas e biológicas do biossólido, os custos de produção, de monitoramento e transporte;
- processo: estabelecer processos adequados para produzir o biossólido tais como a digestão aeróbia ou anaeróbia, calagem, secagem térmica, compostagem ou a combinação de processos para torná-lo adequado para o uso;
- produto: adequar as características do produto às necessidades do mercado. Se houver carência de algum elemento na composição do mesmo, agregar aos processos tradicionais para valorizar o produto.

O lodo de esgotos quando utilizado em solos para atividade agrícola ou florestal, apresenta os seguintes benefícios:

- fonte de nutrientes para culturas;
- aumento do teor de matéria orgânica no solo;
- diminuição do teor de alumínio trocável;
- aumento da produção de matéria seca, a absorção de N, P, Ca, Mg e Zn;
- apresenta o aumento progressivo da capacidade de troca catiônica e do carbono orgânico, melhoramento da estrutura do solo.

ANOTAÇÕES:

Aplicação dos efluentes líquidos gerados nas unidades de tratamento e reuso da água

Aplicação dos efluentes líquidos:

A utilização controlada dos esgotos, ou seja, segura do ponto de vista sanitário, sustentável do ponto de vista ambiental e otimizado do ponto de vista de produção, apresenta diversas vantagens, dentre as quais (Bastos et al., 2003):

ANOTAÇÕES:

- constitui uma prática de reciclagem de água, proporcionam alívio na demanda e preservação de oferta para outros usos. Neste particular, destacam os autores, vale registrar que no Brasil, como em todo o mundo, a agricultura irrigada responde por cerca de 60% a 80% do consumo total de água;
- constitui numa prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia significativa de insumos, por exemplo, fertilizantes e ração animal;
- contribui para o aumento da produção de alimentos, a recuperação de áreas improdutivas e a ampliação de áreas irrigadas;
- contribui para a preservação e a proteção do meio ambiente ao minimizar o lançamento de esgotos em cursos de águas naturais, prevenindo a poluição, a contaminação e a eutrofização, bem como favorecer a conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas;
- contribui para a amenização do clima, melhoria das condições estéticas e ampliação de áreas de lazer em zonas urbanas: irrigação e fertilização de “zonas verdes”, como parques públicos, jardins, campos para práticas desportivas, canteiros e arborização de logradouros.

Reúso da água:

O tipo de reúso define o nível de tratamento necessário a ser aplicado ao esgoto, bem como os custos associados, tendo em vista a obtenção de um efluente final que satisfaça os critérios recomendados e os padrões fixados em cada caso. Este reúso pode ser (Araújo, 2000):

- direto: quando o esgoto tratado é transportado diretamente da ETE para o local onde será reusado, sem passar pela sua descarga num corpo hídrico receptor, como no caso do reúso para a irrigação,
- indireto: quando o efluente da ETE é lançado em um corpo d'água natural ou em um reservatório construído, antes de ser reutilizado.

Contudo, as formas de reúso estão sempre associadas com a agricultura, a aquicultura e a indústria. Os países desenvolvidos tomam como prática o reúso do esgoto tratado. O Quadro 5 descreve tipos de reúso empregados.

Atividade	Finalidades
Irrigação paisagística	- parques - cemitérios - campos de golfe - passagens de vias públicas - jardins de escolas - jardins residenciais
Irrigação agrícola	- produção de forragens, sementes e fibras - produção de alimentos - viveiros
Recarga de aquíferos	- recarga de aquíferos potáveis - controle de intrusão salina
Industrial	- nas torres de resfriamento - alimentação de caldeiras - lavagens de gases nas chaminés - água de processamento
Uso urbano não potável	- irrigação de paisagem - proteção contra incêndio - limpeza de vasos sanitários - lavagem de veículos - lavagem de ruas
Represamentos	- ornamentais - recreacionais
Meio ambiente	- incremento de vazões de pântanos - locais de pesca e rios
outros	- aquicultura - construção civil

ANOTAÇÕES:

Quadro 5 Tipos diversos de reúso empregados (Fonte: Crook, 1991 apud Araújo, 2000).

Referências Bibliográficas

ADEME (1998). Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités locales. ADEME, 75 p. In: Andreoli, C. V.; Von Sperling, M.; Fernandes, F. (2001) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA - UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 483 p.

Andrade Neto, C.O.; Campos, J.R.; Além Sobrinho, P.; Chernicharo, C.A.L.; Nour, E.A. (1999). Filtros anaeróbios. Cap 6. In: Campos, J.R. (Coord). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES / Projeto Prosab. p.139-154.

Araújo, L.F.P. (2000). Reúso com Lagoas de Estabilização: Potencialidade no Ceará. Fortaleza: SEMACE. 132 p.

Bastos, R.K.X. (coord) et al (2003). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Projeto PROSAB 3. Rio de Janeiro: ABES, RiMA. 267p.

Bastos, R.K.X.; Mara, D.D. (1993). Avaliação dos critérios e padrões de qualidade microbiológica dos esgotos sanitários tendo em vista sua utilização na agricultura. In: 17º Congresso da ABES. Trabalhos técnicos, v.2, Tomo I. Natal, RN.

Chernicharo, C.A.L. (2005). Tecnologias nacionais para tratamento anaeróbio de esgotos. In: Andreoli, C.; Willer, M. (Eds.) Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Planejadas. Série Cadernos Técnicos AlphaVille, 1. São Paulo: AlphaVille Urbanismos S.A., p.144-159.

Couracci Filho et al. (2001) - Capítulo 2. In: Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Chernicharo, C.A. L. (Coordenador). Projeto PROSAB 2. Belo Horizonte / MG.

Crook, J. (1991). Quality criteria for reclaimed water. Wat.Sci.Tch., 24 (9), pp. 55-65. In: Araújo, L.F.P. (2000). Reúso com Lagoas de Estabilização: Potencialidade no Ceará. Fortaleza: SEMACE. 132 p.

EPA - Environmental Protection Agency (1992). Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40CFR part 503. Office of Water, Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. Washington, DC 20460, 147.

Gomes, L. P. (2001). Critérios para Seleção de Áreas para Valorização Agrícola de Solos com Aplicação de Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos. ANAIS do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, PB, CD ROM.

Gonçalvez, R.F. (coord) (2003). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES , RiMA, Projeto PROSAB, 438p.

Metcalf & Eddy, Inc. (1991). Wastewater engineering: treatment, disposal, re-use. 3ed. Mc Graw-Hill.

Odum, E. P. (1988). Ecologia. Tradução TRIBE, C. J. Editora Guanabara Koogan S. A Rio de Janeiro, RJ.

Thomaz-Soccol V.; Paulino R. C.; Castro E. A. (2000). Metodologia para análise parasitológica em lodo de esgoto. In: Andreoli, C V.; Bonnet B. R. P. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba, SANEPAR. 80 p.

Von Sperling, M. (1995). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotoso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: DESA-UFMG.

ANOTAÇÕES:

TSGA



Módulo 3

Resíduos sólidos

Marlon André Capanema



PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Toda atividade humana é potencial geradora de resíduos sólidos, e estes devem ter uma destinação final adequada para não se tornarem um problema ambiental. Em 2012, no Brasil, mais de 62,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram gerados pela população, o que corresponde a uma geração per capita de, aproximadamente, 383,2 quilos de resíduos por habitante por ano (ABRELPE, 2012). Em Santa Catarina, a produção anual supera 1,5 milhão de toneladas, o que equivale a 247 quilos de resíduos por habitante por ano (SANTA CATARINA, 2012).

Os resíduos sólidos podem variar em função do estilo de vida da população. Por exemplo, os resíduos gerados no ambiente urbano diferem daqueles originados na zona rural que, por sua vez, possuem características diferentes dos resíduos gerados em unidades industriais. No meio rural, considera-se que o potencial de geração de resíduos sólidos domésticos é de 161 quilos por habitante por ano (0,44 quilo de resíduos por habitante por dia), como é observado para municípios de até 20 mil habitantes (BRASIL, 2011).

As atividades agrossilvopastoris¹ realizadas no meio rural nacional geram quantidades consideravelmente superiores de resíduos. Em 2009, no Brasil, estima-se que a geração de resíduos oriundos das agroindústrias associadas à agricultura foi em torno de 290,8 milhões de toneladas, enquanto que o setor de criações de aves, suínos e bovinos de leite gerou uma quantidade estimada de 365,3 milhões de toneladas por ano. O maior índice refere-se ao setor da pecuária, com uma geração de dejetos estimada em 1,7 bilhão de toneladas por ano (BRASIL, 2011).

Em 2010, enquanto 90% dos domicílios urbanos tinham acesso ao serviço de coleta de resíduos, estima-se que menos de 30% dos domicílios das zonas rurais dispunha de qualquer tipo de coleta, o que equivale a

ANOTAÇÕES:

¹ As atividades agrossilvopastoris são as atividades relacionadas à agricultura, ao setor florestal - produção de madeira - e à pecuária.

mais de 22 milhões de brasileiros (BRASIL, 2013). Conseqüentemente, práticas inadequadas de destinação final dos resíduos são comumente adotadas pela população, por exemplo, a queima ou aterramento dos resíduos no próprio terreno, descarte em terrenos baldios, logradouros e em corpos hídricos. No cenário nacional, a melhor situação quanto ao acesso à coleta de resíduos sólidos, tanto para áreas urbanas como rurais, é a da macrorregião Sul, seguida pela Sudeste. A macrorregião Norte apresentou a pior situação em relação ao acesso ao serviço de coleta de resíduos em áreas rurais, seguida pelas macrorregiões Nordeste e Centro-Oeste.

ANOTAÇÕES:

Com o objetivo de melhorar os serviços de coleta e de destinação final dos resíduos sólidos, entre outros serviços ligados à gestão e gerenciamento de resíduos, dois importantes planos foram elaborados. O primeiro, denominado Plano Nacional de Saneamento Básico - PLAN SAB (BRASIL, 2013) foi previsto pela Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007). O PLAN SAB constitui um plano amplo, que abrange três componentes: 1) abastecimento de água potável, 2) esgotamento sanitário e 3) manejo de resíduos sólidos. Este documento, planejado e coordenado pelo Ministério das Cidades, tem como uma de suas metas para o saneamento básico na região sul do Brasil, abranger, pelo menos, 62% dos domicílios rurais no atendimento de coleta direta e indireta de resíduos sólidos até o ano de 2018; evoluindo a 91% até o ano de 2033 (BRASIL, 2013).

O segundo plano, denominado Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2011), constitui um importante instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Uma das diretrizes do PNRS em relação aos resíduos gerados em áreas rurais é a implantação da coleta seletiva da parcela de resíduos sólidos secos e destinação final ambientalmente adequada, principalmente, nas áreas rurais mais próximas às áreas urbanas, regiões conhecidas como cinturão verde. Outra diretriz consiste no inventário de resíduos agrossilvopastoris, ou seja, quantificar os diversos resíduos gerados pela agricultura, silvicultura e criação de animais. Para isto, a partir do próximo censo agropecuário que ocorrerá em 2015, todos os resíduos agrossilvopastoris deverão estar inventariados. Os dados desses inventários, bem como de inventários de outros tipos de resíduos, darão origem aos chamados bancos de dados de resíduos, que alimentarão, por sua vez, os sistemas de informações de resíduos. Outra importante diretriz é a ampliação da logística reversa (caracterizada posteriormente) para todas as categorias de resíduos agrossilvopastoris até o ano de 2024 (BRASIL, 2011).

Atualmente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos exige que os estados e municípios elaborem seus Planos de Gestão de Resíduos. Tais planos apresentam um diagnóstico da gestão e gerenciamento dos resíduos só-

lidos no(s) território(s) e estabelecem metas de melhoria (gerenciais, técnicas, financeiras, operacionais, urbanas e socioambientais) para os anos futuros. O objetivo dos planos é melhorar os indicadores ambientais, a coleta seletiva, a logística reversa, a reciclagem e a compostagem (BRASIL, 2012). De acordo com a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), os planos são condição fundamental para que os estados e municípios possam firmar convênios e obter recursos financeiros da União, para assim investir em programas voltados para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

No contexto de Santa Catarina, foi elaborado o Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PEGIRS) e o estudo da regionalização da gestão integrada de resíduos sólidos do estado de Santa Catarina, através da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SANTA CATARINA, 2012). O PEGIRS é um importante instrumento de planejamento para os municípios, que visa à orientação dos diagnósticos da atual situação dos resíduos e ao desenvolvimento e melhoria da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no estado, favorecendo o compartilhamento de ações entre municípios.

No tocante aos municípios em geral, os planos de resíduos podem ser elaborados para o próprio município (Plano Municipal de Resíduos Sólidos) ou para um grupo de municípios circunvizinhos (Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos). É importante salientar que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os municípios que têm prioridade de acesso aos recursos da União são aqueles que optam pela gestão intermunicipal, promovem a coleta seletiva e que incentivam a criação de associações de catadores de materiais recicláveis.

ANOTAÇÕES:



DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A norma brasileira NBR 10004/2004 intitulada “Resíduos Sólidos - Classificação”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções inviáveis do ponto de vista técnico e econômico.

Existe uma diferença entre os termos *rejeito* e *resíduo*, pois *rejeito* é um material que, depois de esgotadas todas as possibilidades de recuperação (p. ex. reciclagem) e tratamento por técnicas disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade além da disposição final ambientalmente adequada, como descarte em aterros sanitários. Já *resíduo* constitui um resto da atividade humana, considerado pelo gerador como inútil, indesejável, sem valor e descartável; porém, esse mesmo resíduo pode constituir uma matéria-prima ou um material de valor para outro indivíduo.

A geração de resíduos pela população é influenciada por diversos fatores, por exemplo: número de habitantes do local, hábitos de vida e de consumo, variações sazonais, condições climáticas, variações da economia, poder aquisitivo e nível educacional. A geração é influenciada também pelo estabelecimento onde os resíduos são gerados, por exemplo, residências, hotéis, centros de serviços de saúde, indústrias, comércio, entre outros. Examinar as diferentes fontes de geração de resíduos sólidos, ou seja, estudar a origem dos problemas permite aos municípios definir com maior clareza o sistema de gestão e gerenciamento desses resíduos, já que a legislação vigente exige que cada município formule o seu modelo de gestão, através dos Planos Municipais ou Intermunicipais de Gestão de Resíduos Sólidos.

ANOTAÇÕES:



TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Há diferentes tipos de classificação de resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades. No contexto do gerenciamento municipal de resíduos, três classificações são destacadas: em função da origem, dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, e da biodegradabilidade. O Quadro 1 apresenta os principais tipos de resíduos sólidos quanto à origem (BRASIL, 2011).

Quadro 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem.

Origem	Características
Domiciliar	Resíduos provenientes das residências e habitações.
Comercial	Resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais em geral, tais como bares, restaurantes, repartições públicas, etc.
Resíduos de Varrição	Resíduos sólidos provenientes da varrição e capina de vias e logradouros públicos.
Industrial	Resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
Resíduos de Serviços de Saúde	Resíduos oriundos de estabelecimentos hospitalares e congêneres, como farmácias, laboratórios e ambulatórios.
Resíduos da Construção Civil	Resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Transporte Aéreo e Aquaviário	Resíduos de serviços de transportes como sendo aqueles originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários e passagens de fronteira.
Resíduos de Portos	Resíduos de naturezas diversas, tais como ferragens, de serviços de bordo, óleos ou resíduo sólido e líquido contaminado de óleo, resíduos de refeitório, resíduos orgânicos, resíduos químicos, cargas em perdimento, apreendidas ou mal acondicionadas, sucatas, resíduos resultantes das operações de manutenção do navio, etc.
Transporte Rodoviário e Ferroviário	Resíduos originários de terminais rodoviários e ferroviários, além dos resíduos gerados em terminais alfandegários e passagens de fronteira, relacionados aos transportes terrestres.
Mineração	Divididos em resíduos estéreis e rejeitos. Os estéreis constituem os materiais escavados e gerados pela extração ou lavra da mina, não têm valor econômico e geralmente ficam dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento das substâncias minerais.
Resíduos Agrossilvopastoris	Resíduos orgânicos (dejetos animais, madeira, bagaço, etc.); inorgânicos (embalagens de agrotóxicos, fertilizantes e insumos farmacêuticos veterinários), além dos resíduos sólidos domésticos (RSD) da área rural.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos define, ainda, os resíduos com logística reversa obrigatória, ou seja, os resíduos que devem ser restituídos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Dentre esses resíduos, pode-se citar: pilhas e baterias, pneus, lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, produtos eletroeletrônicos e seus componentes, resíduos de embalagens de agrotóxicos (BRASIL, 2011).

A norma técnica NBR 10004 (ABNT, 2004) trata da classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem representar potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente. De acordo com sua periculosidade os resíduos sólidos podem ser enquadrados como (Quadro 2):

Quadro 2: Classificação dos resíduos quanto à periculosidade.

Classificação	Definição
Classe I - Perigoso	São aqueles que apresentam características, elementos ou compostos que conferem periculosidade (definido segundo a NBR 10004) ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe II A - Não perigoso e Não inerte	São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduo Classe I - Perigoso ou de resíduo Classe II B - Inerte, nos termos da NBR 10004. Estes resíduos podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Classe II B - Inerte	São aqueles que, quando submetidos a um teste de solubilização (contato dinâmico e estático com água destilada), não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. Como exemplos de resíduos inertes pode-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não podem ser decompostos prontamente.

Os aterros sanitários constituem a disposição final ambientalmente adequados resíduos Classe II A (não perigosos e não inertes), esgotadas as possibilidades de reaproveitamento. Já os resíduos Classe I (perigosos) devem ser encaminhados para aterros industriais específicos. Os resíduos Classe II B (inertes) idealmente não devem ser dispostos em aterros sanitários na forma de “rejeitos”, mas sim, quando classificados e separados, na forma de “matéria-prima” para construção de acessos internos, coberturas e até mesmo drenagens.

Em função da biodegradabilidade, os resíduos podem ser classificados em: a) facilmente biodegradável (matéria orgânica putrescível), b) moderadamente biodegradável (papel, papelão e outros materiais celulósicos), c) dificilmente biodegradável (madeira, trapos, couro, borracha), d) muito dificilmente biodegradável (plásticos), e e) não biodegradável (vidro, metais, rochas e solos).



CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS

Importantes estudos foram conduzidos com o objetivo de mostrar as diferentes características dos resíduos sólidos. Por exemplo, um estudo foi realizado em uma residência (fonte geradora) para avaliar a importância de a mesma realizar o balanço de massa de seus produtos, ou seja, quantificar e comparar os produtos que entram versus o que é descartado após o uso. Constatou-se que os produtos sanitários adquiridos pela população podem conferir características de periculosidade aos resíduos sólidos quando descartados após o seu consumo. Além disso, duas categorias de contaminantes foram diferenciadas nos resíduos domiciliares: os contaminantes químicos e os contaminantes biológicos (MANDELLI, 1997; SCHVARTSMAN, 1988).

Dentre os contaminantes químicos, destacam-se: cosméticos, produtos de higiene e perfumes; sabões e detergentes; desinfetantes e antissépticos; defensivos sanitários (veneno de moscas, ratos, formigas e mosquitos); agentes de limpeza, polidores (cera de assoalho) e removedores; combustíveis domésticos; colas e adesivos; tintas, pigmentos e vernizes; e gases e embalagens pressurizadas. Destacam-se, ainda, os seguintes componentes: pilhas, baterias, medicamentos, lâmpadas fluorescentes, óleos, entre outros.

Em relação aos contaminantes biológicos, pode-se citar: papel higiênico, absorventes higiênicos, cotonetes, curativos, gazes, panos impregnados com sangue, fraldas descartáveis, agulhas de seringas e pequenos animais mortos. É importante considerar a geração desses resíduos que apresentam características que conferem periculosidade para melhor elaborar os programas de segregação desses resíduos nas fontes geradoras. Nessa direção, é oportuno destacar alguns estudos que analisam os componentes potencialmente perigosos na composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos: MANDELLI (1997), DE CONTO et al. (2002), PESSIN, DE CONTO e QUISSINI (2002), GOMES et al. (2002).

Outro resíduo domiciliar que necessita de uma destinação criteriosa é o óleo vegetal (óleo de cozinha), largamente consumido pela população

ANOTAÇÕES:



para a preparação de alimentos. Após o uso, os óleos não devem mais ser utilizados em novas frituras, em função de conferirem sabor e odor desagradáveis aos alimentos, bem como adquirirem características químicas comprovadamente nocivas à saúde. Não havendo utilização prática para os resíduos de óleo, muitas vezes são despejados no ralo da pia, na rede de esgoto ou até mesmo nos rios, procedimentos considerados incorretos. O óleo de cozinha usado pode trazer muitos danos ao meio ambiente. Nos rios, por exemplo, pode formar uma película superficial que dificulta a troca gasosa entre o ar e a água, provocando a morte das plantas e animais aquáticos. No solo, pode provocar a impermeabilização das raízes das plantas e do próprio solo, impedindo a absorção de nutrientes. Nas residências, pode se acumular nas tubulações, causando entupimento de canos, além de aumentar em, aproximadamente, 45% os custos de tratamento dos efluentes (COMCAP, 2009a). Desta maneira, sugere-se que os óleos usados sejam armazenados em recipientes vedados (p. ex. garrafas PET, vidros de conserva, etc.) e encaminhados para a reciclagem ou para o aterro sanitário. Atualmente, uma alternativa para esse tipo de resíduo é a fabricação de resinas para tintas, sabão, massa de vidraceiro e biodiesel.

ANOTAÇÕES:

No contexto dos resíduos sólidos produzidos no meio rural, conhecidos como resíduos agrossilvopastoris, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos caracteriza esses resíduos em duas categorias: agrossilvopastoris I (orgânicos) e II (inorgânicos).

Os resíduos agrossilvopastoris I (orgânicos) compreendem os resíduos gerados nas atividades da agroindústria, nas criações animais e nos abatedouros, laticínios e graxarias. Dentre os setores de produção considerados, pode-se citar: o café (em grão), o cacau (amêndoas), a banana (cacho), a laranja, o coco-da-baía, a castanha de caju e a uva, entre as culturas permanentes. Para as culturas temporárias, são consideradas: a soja (em grão), o milho (em grão), a cana-de-açúcar, o feijão (em grão), o arroz (em casca), o trigo (em grão) e a mandioca, e as criações de bovinos (corte e leite), aves (postura e corte) e os suínos. Os resíduos da silvicultura são aqueles gerados na produção de madeira em toras utilizadas para na produção de carvão vegetal, lenha e papel e celulose. Para este último setor, especificamente, estima-se uma geração de resíduos de 85,6 milhões de m³/ano, considerando duas etapas da cadeia produtiva da madeira: a colheita e o processamento mecânico.

Atualmente, a principal limitação encontrada para quantificar a geração de resíduos agrossilvopastoris no contexto nacional é a falta de dados primários sistematizados e fidedignos, bem como índices de geração de resíduos para as diferentes produções e a localização geográfica das atividades. Isto constitui um problema que necessita ser solucionado, considerando que o crescimento do setor agrossilvopastoril, nos últimos

anos, indica que a geração de resíduos tende a aumentar e o seu manejo, tratamento e disposição devem ser adequados, pois estas atividades dependem absolutamente de recursos naturais para existirem.

Dentre as sugestões apontadas no PNRS para a melhoria das políticas para o setor agrossilvopastoril, pode-se citar (BRASIL, 2011):

A implementação de instrumentos legais que instituem como documento básico das atividades o Plano de Gerenciamento dos Resíduos no Setor Agrossilvopastoril; a inclusão do setor no Sistema Nacional de Informações de Resíduos Sólidos; o incentivo ao aproveitamento energético dos resíduos agrossilvopastoris através de sistemas de tratamento (combustão ou biodigestão) individuais ou consorciados; a criação de fundos de investimento que visem a implementação de projetos ecoeficientes na produção e agroindústrias primárias associadas ao setor agrossilvopastoril, buscando a minimização da geração de resíduo e manejo adequado dos mesmos; a elaboração de políticas que subsidiem o manejo florestal, indicando a necessidade do plano de manejo dos resíduos que sobram no campo.

Os resíduos agrossilvopastoris II (inorgânicos) compreendem as embalagens de agrotóxicos, fertilizantes e insumos farmacêuticos veterinários, bem como os resíduos sólidos domésticos (RSD) da área rural. Segundo o PNRS (BRASIL, 2011), atualmente, o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos (consumo próximo de 700 mil toneladas de produtos formulados ao ano e vendas superiores a US\$ 7 bilhões), e o quarto consumidor mundial de nutrientes para a formulação de fertilizantes (mais de 24,5 milhões de toneladas de fertilizantes comercializadas em 2010).

As embalagens vazias de agrotóxicos são classificadas como resíduos perigosos, devido à composição química tóxica dos diversos compostos aderidos nas embalagens e ao elevado risco de contaminação humana e ambiental. A responsabilidade sobre a destinação final adequada das embalagens é dividida entre os fabricantes, os intermediários (revendedores, canais de comercialização), os usuários (agricultores) e o poder público (fiscalizador). Em 2002, foi criado o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (inpEV²), entidade que representa as indústrias fabricantes de produtos fitossanitários e atua nas atividades de logística reversa, de conscientização, etc.

Quanto aos fertilizantes e medicamentos veterinários, não existe ainda menções sobre normas e/ou regras para o destino ambientalmente adequado das embalagens vazias. Isso é um fato preocupante, pois os praguicidas de uso veterinário e de uso agrícola têm semelhanças químicas e/ou estruturais, constituindo um potencial risco de contaminação humana e ambiental. Em relação às embalagens (sacos) de fertilizantes, as práticas comumente adotadas para destinação final são o reaprovei-

ANOTAÇÕES:

² Sítio eletrônico do inpEV : <http://www.inpev.org.br/index>



tamento, a queima e o descarte no lixo comum. Dentre as formas de reaproveitamento, destacam-se o ensacamento de esterco, pedras, serragem, calcário e terra; além de formas inadequadas como armazenamento de milho, café, frutas, etc., que podem ser contaminados pelos compostos aderidos à superfície interna das embalagens.

Quanto aos resíduos sólidos domiciliares gerados no meio rural, observa-se que a composição destes é cada vez mais semelhante aos resíduos sólidos urbanos, devido à proximidade das comunidades rurais a centros urbanos e aos hábitos e bens de consumo contemporâneos inseridos nas comunidades rurais. O RSD rural não é mais constituído essencialmente de restos orgânicos como antigamente, pois se verifica um volume crescente de frascos, sacos plásticos, pilhas, pneus, lâmpadas, aparelhos eletroeletrônicos, etc.

ANOTAÇÕES:

Os sistemas de gestão podem ser caracterizados em diferentes níveis, nacional, estadual e municipal. A gestão nacional é aquela que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os planos, as estratégias setoriais, os aspectos legislativos e as regulamentações ambientais. A gestão estadual é a que determina através de sua Política Estadual o conjunto de normas e procedimentos sobre o manejo integrado e a coloca para que os municípios estabeleçam normas e metas de gestão. Já a gestão municipal aborda mais os aspectos de execução com a qualidade do modelo de gestão dos resíduos sólidos, pelo manejo integral de resíduos, para um município ou um conjunto de municípios. A gestão municipal representa a forma como um município é capaz de gerir e gerenciar os seus resíduos de forma integral, compreendendo ações que consideram os aspectos técnicos, financeiros, ambientais, socioeconômicos, culturais, institucionais e políticos, em um processo multidisciplinar e participativo - envolvendo toda a sociedade.

ANOTAÇÕES:

Os governos municipais podem utilizar os consórcios como instrumento operacional para maior rendimento de seus esforços, evitando dispersão de recursos humanos e materiais e para maximizar o aproveitamento dos mesmos (BONATTO, 2004). Os consórcios surgiram devido à ampliação das funções estatais, da complexidade e do custo das obras públicas, que obrigaram a criação de novas formas de prestação de serviços ligados ao Estado. Os consórcios intermunicipais de resíduos constituem uma alternativa vantajosa para a gestão dos resíduos sólidos nos municípios, através da associação de entes públicos para a gestão do lixo em regiões metropolitanas e microrregiões homogêneas (OLIVEIRA, 1997). Através da busca conjunta de soluções para suas dificuldades, municípios circunvizinhos que vivem realidades semelhantes podem alcançar o bem-estar de suas populações de forma associada.

Os sistemas de gestão devem evoluir para a busca de modelos com ênfase em sistemas ambientais, ou seja, no desenvolvimento de modelos que contemplem em seu foco todos os componentes do saneamento básico (tratamento e abastecimento de água, drenagem urbana, coleta e tratamento de esgotos, coleta, tratamento e valorização dos resíduos sólidos e controle dos vetores) de forma a consolidar um sistema sustentável. Este último é entendido como um sistema que se adapta às condições locais considerando os diferentes aspectos, e é capaz de se autossustentar no tempo sem reduzir os recursos de que necessita.

A Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico (PNS), indica no artigo 29 que:

Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços, [...]

Incluem-se nesse grupo os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Essa legislação informa, ainda, que as taxas ou tarifas decorrentes da prestação desses serviços devem levar em conta a destinação adequada dos resíduos coletados e podem considerar o nível de renda da população atendida, as características dos lotes urbanos e áreas que neles podem ser edificadas e o peso ou volume médio de resíduos coletado por habitante. As taxas e tarifas são estabelecidas por leis municipais e decretos, e são caracterizadas nos Planos Municipais (ou Intermunicipais) de resíduos sólidos. Em certos casos, as taxas são incluídas no carnê do IPTU (imposto predial territorial urbano). A PNS sugere que a prestação de serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos não deve se guiar exclusivamente pela busca da rentabilidade econômica, devendo visar prioritariamente à garantia do direito à salubridade ambiental a toda população.

A situação brasileira ainda está longe do ideal no que se refere à gestão dos resíduos sólidos, porém começou a apresentar expectativas de melhoria a partir de 2010, com a Lei 12.305 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu importante instrumento, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Através desses instrumentos legais, propõe-se uma mudança de comportamento na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, considerando, por exemplo, metas de desativação e remediação de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos (lixões), implementação da logística reversa para determinados resíduos, elaboração de Planos de Gestão de Resíduos, entre outros.

ANOTAÇÕES:

6



GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos (GIRS) é, em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar as atividades relativas ao gerenciamento dos resíduos, desde a geração até a destinação final, tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável. O GIRS considera os aspectos ambientais, socioeconômicos, financeiros, administrativos, técnicos e legais para todas as fases do gerenciamento dos resíduos sólidos.

O gerenciamento coloca em prática a política definida pela gestão integrada de resíduos, através do desenvolvimento e execução de ações que incluem a prestação, fiscalização e controle dos serviços públicos de manejo integrado de resíduos sólidos nas suas diferentes etapas, a saber:

- » Segregação;
- » Manipulação e acondicionamento;
- » Coleta;
- » Transporte;
- » Armazenamento;
- » Transbordo;
- » Triagem e tratamento;
- » Reciclagem;
- » Comercialização;
- » Destino Final.

As ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que envolve essas etapas devem se processar de maneira articulada, segundo a visão de que todas as ações e operações envolvidas encontram-se interligadas e comprometidas entre si. Por exemplo: uma coleta mal planejada encarece o transporte, assim como o transporte mal dimensionado além de gerar reclamações da população e prejuízos, pode prejudicar o andamento das atividades de tratamento e destinação final.

ANOTAÇÕES:

Logo, é primordial considerar as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos - para a eles ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica adequada. Desse modo, o gerenciamento integrado de resíduos sólidos significa o processamento dos resíduos, utilizando as tecnologias mais compatíveis com a realidade local dando-lhes um destino correto e seguro no presente e no futuro.

O GIRS de uma determinada localidade é descrito no Plano de Gerenciamento, que é um documento onde se apresenta a situação real do sistema de limpeza urbana, com o estabelecimento de ações integradas e diretrizes sob os diversos aspectos (ambientais, socioeconômicos, técnicos, etc.) para todas as fases do gerenciamento dos resíduos sólidos, desde a sua geração até a destinação final. Tal plano pode ser elaborado pela prefeitura municipal, através da equipe técnica responsável pelos serviços de saneamento, ou por uma empresa contratada pela prefeitura ou ainda, por uma universidade pública, através de um projeto de extensão universitária. Além das ações integradas e diretrizes, o plano também estabelece metas de melhorias a serem atingidas na localidade em questão, e é revisado periodicamente, por exemplo, a cada quatro anos. Os planos são disponibilizados nos sites das prefeituras para consulta pública.

A definição de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos universalmente aceita é baseada no princípio dos 3R's (Redução, Reutilização e Reciclagem). A política dos 3R's consiste num conjunto de medidas adotadas na Rio 92³, no Rio de Janeiro. A caracterização dos 3R's é apresentada a seguir (Quadro 3).

Quadro 3: Caracterização dos 3R's.

Princípio	Definição
Redução	Reduzir os resíduos na fonte geradora significa pensar nos resíduos antes mesmo deles serem gerados, ou seja, buscar formas de não gerar os resíduos bem como combater o desperdício. A redução na fonte de produção de resíduos é uma estratégia preventiva e pode ser realizada somente com uma política específica executada por meio de instrumentos regulatórios, econômicos e sociais. Pode-se, por exemplo, formular políticas de minimização dos resíduos, utilizando instrumentos econômicos ou de outro tipo, para promover modificações nos padrões de produção e consumo.
Reutilização	Método de controle útil na minimização da produção de resíduos, com base na sua redução, uma vez que os bens envolvidos retêm suas características e funções originais. A reutilização é baseada no emprego direto do bem (resíduo) no mesmo uso para o qual foi originalmente concebido, como é o caso da reutilização de garrafas de vidro.
Reciclagem	É um método baseado no reaproveitamento do material pelo o qual o bem é composto visando o mesmo ou um diferente uso para o qual fora originalmente concebido, exemplo: reciclagem de plástico para produzir outras garrafas plásticas ou outros produtos. Uma ideia que vem sendo aplicada é o incentivo da implantação de sistemas de beneficiamento e tratamento de materiais recicláveis para uso pelo órgão responsável pela limpeza urbana e por particulares como, por exemplo, unidades de fabricação de vassouras de PET.

³ A Rio 92, também chamada de Cúpula da Terra ou ECO 92, foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), realizada na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1992. Um dos documentos produzidos na Rio 92 foi a Agenda 21, um instrumento de planejamento que visa ao desenvolvimento sustentável.

Um exemplo que considera o princípio dos 3R's pode ser apresentado da seguinte maneira: inicialmente, produzem-se menos resíduos, por exemplo, documentos com o mínimo de impressão em papel possível (Redução). Em seguida, esses mesmos documentos podem ser reutilizados como rascunhos de outros trabalhos (Reutilização), e depois de usá-los, frente e verso, os documentos podem ser encaminhados a uma empresa especializada em reciclagem de papel (Reciclagem).

O sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos de um município deve estar organizado de acordo com o número de habitantes do mesmo, segundo o volume de resíduos gerados, além de outras peculiaridades locais e/ou regionais. Essa estruturação deve ser feita apoiando-se em informações obtidas a partir de dados cadastrais, estatísticos, mapas, pesquisas, diagnósticos, etc. Tais informações auxiliam no dimensionamento da coleta, dos veículos a serem utilizados no transporte, da estação de transferência, se for o caso, das centrais de triagem, dos sistemas de tratamento e do local de disposição final.

Entre os fatores que afetam a geração quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos, destacam-se: a) taxa de crescimento populacional, que afeta a geração ao longo do tempo; b) condição socioeconômica familiar, ou do bairro: a uma melhor condição socioeconômica usualmente corresponde maior consumo e maior geração de resíduos; c) sazonalidade: determinados períodos do ano podem levar a uma constituição física diferenciada dos resíduos sólidos, devido ao consumo de frutas de época, ou devido a datas festivas como o Natal e o carnaval; d) fluxo turístico: polos turísticos apresentam uma população flutuante em determinados meses do ano (superior à população fixa); e) adoção de novas embalagens por parte das indústrias: até recentemente este aspecto costumava levar a uma maior geração de resíduos, mas agora alguns estabelecimentos comerciais começam a adotar o uso de bolsas plásticas biodegradáveis.

Em função das atividades relacionadas ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos serem eminentemente técnicas, é desejável que o serviço conte com o apoio de um profissional qualificado com formação superior na área, já que no dia a dia da atividade sempre aparecem dúvidas que exigem conhecimentos em obras e operação de equipamentos, entre outras. Entretanto, nos dias atuais, essa imposição técnica não pode ser atendida pela maioria dos municípios de pequeno porte, sendo importante a conscientização dos administradores municipais para essa questão.

Além disso, a estrutura organizacional do sistema de gerenciamento integrado de resíduos deve contar com, pelo menos, três setores: planejamento, técnico e operacional. O setor de planejamento engloba a parte administrativa, responsável pelas tarefas de expediente, protocolo, ar-

ANOTAÇÕES:

quivo, comunicação, controle de material e pessoal, além de organizar campanhas de educação ambiental. A parte técnica é encarregada de efetuar análises, projetos e pesquisas. Já o setor operacional é composto pelas atividades de coleta, limpeza, transporte e destinação final.

O sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos pode ser administrado diretamente pelo município, por meio de uma empresa ou órgão público específico, ou ainda os serviços podem ser objetos de concessão ou terceirização junto a empresas privadas. Essa terceirização ou concessão pode ser total, ou seja, envolver todos os segmentos da operação do gerenciamento de resíduos ou ainda, ser parcial, englobando apenas alguns segmentos, como coleta, transporte, destinação final, etc.

ANOTAÇÕES:

A legislação vigente sobre o manejo e destinação final de resíduos sólidos nos âmbitos federal, estadual e municipal, é ampla. Em função disso, algumas leis podem ser citadas para nortear a discussão:

- » Constituição Federal de 1988, que em seu Art. n° 23 determina ser competência da União, do Distrito Federal, dos Estados e dos Municípios a proteção ambiental e o combate a todas as formas de poluição. Além disso, no Art. n° 225 fica estabelecido que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, fundamental para uma boa qualidade de vida;
- » Lei 6.938/1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente;
- » Lei 11.445/2007, que prevê o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANASAB. Em seu artigo 3° considera o manejo de resíduos sólidos e a limpeza urbana como parte integrante do que se define saneamento básico. Além disso, em seu artigo 7°, define que os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos e o serviço público de limpeza urbana são compostos pelas atividades de coleta, transbordo, transporte, de triagem para fins de reúso ou reciclagem, de tratamento, inclusive, por compostagem, e de disposição final dos resíduos sólidos. Ainda, integram o serviço público de limpeza urbana atividades de varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros eventuais serviços;
- » Lei 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto n° 7.404/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos; e tem como instrumento o Plano Nacional de Resíduos Sólidos;
- » Lei 7.802/1989, que dispõe, entre outras coisas, sobre destino final de resíduos sólidos e de embalagens de agrotóxicos utilizados no Brasil;
- » Resolução CONAMA 001/86, que dispõe sobre critérios e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA e elenca uma série de atividades cujo licenciamento depende de EIA/RIMA;



MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

As ações relativas ao manejo de resíduos sólidos contemplam aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Os procedimentos e ações, que vão desde a coleta à disposição final adequada dos resíduos sólidos gerados pela população urbana e rural, constituem um dos objetivos de uma política municipal de saneamento ambiental.

De acordo com a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2012), o programa de manejo de resíduos deve apoiar a execução de infraestrutura e aquisição de veículos e equipamentos para implantação e melhoria dos sistemas de gerenciamento de rejeitos, tal como ilustrado na Figura 1. Além disso, a estrutura disponível para o manejo dos resíduos deve ser condizente com a realidade socioeconômica do município e a necessidade de melhoria da qualidade ambiental.

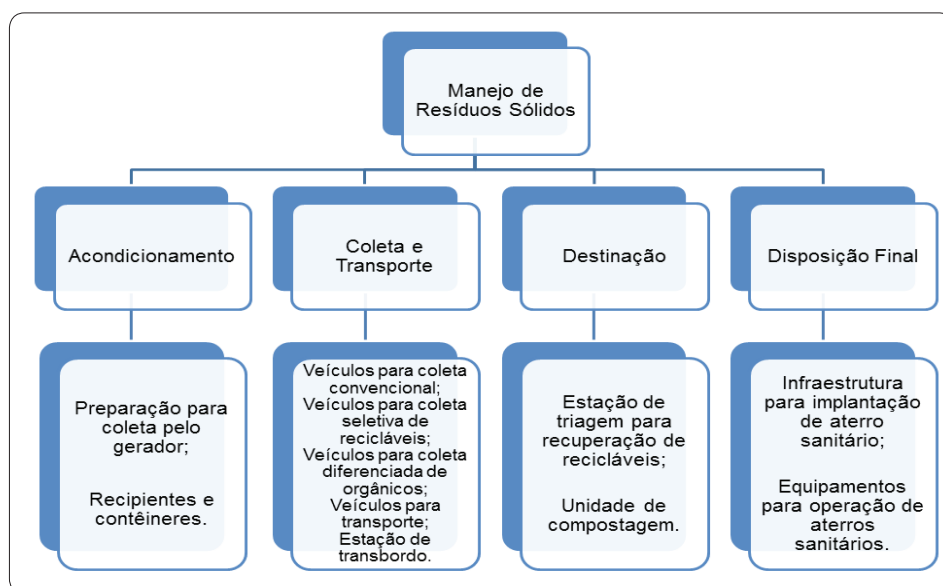


Figura 1: Ações contempladas no manejo de resíduos.

Fonte: adaptado de FUNASA (2012).

ANOTAÇÕES:

O manejo de resíduos é também a interface entre o gerenciamento de resíduos e a comunidade local. Ele tem grande dependência da boa aceitabilidade dos serviços pelos usuários, para que a limpeza pública possa ser efetiva. Além disso, deve-se considerar o fato de que certos resíduos possuem valor econômico, e que existem pessoas que têm na catação de materiais recicláveis seu meio de vida.

Acondicionamento

O acondicionamento dos resíduos consiste na preparação destes, pelo gerador, de forma sanitariamente adequada, compatível com o tipo e quantidade dos resíduos sólidos, e principalmente, com as formas de coleta. A finalidade do correto acondicionamento dos resíduos é evitar acidentes, tanto dos munícipes quanto dos funcionários da coleta, evitar a proliferação de vetores (ratos, baratas, etc.), minimizar a exposição, o impacto visual e os maus odores, reduzir a heterogeneidade dos resíduos (no caso de haver coleta seletiva de materiais recicláveis), e facilitar a realização da coleta.

A escolha do recipiente para acondicionar os resíduos até o momento da coleta deve ser feita em função das características do lixo, da frequência de coleta e do tipo de edificação (casa, prédio, unidade industrial). Por exemplo, se a coleta de resíduos é manual, o peso máximo recomendado para o recipiente cheio é de 30 kg. Como a coleta de resíduos domiciliares difere da coleta de resíduos de serviços de saúde, que por sua vez é diferente da coleta de resíduos de construção e demolição, recipientes específicos e adaptados a cada finalidade são utilizados.

Na Figura 2 e Figura 3, apresentamos tipos de recipientes mais comuns que podem ser utilizados para acondicionar os resíduos nas residências atendidas pela coleta direta, isto é, quando o caminhão do lixo passa na própria residência para realizar a coleta.



Figura 2 : Cestos galvanizados para acondicionamento dos resíduos sólidos domiciliares.

ANOTAÇÕES:



Figura 3 : Modelos de contêineres de coleta de resíduos sólidos.

ANOTAÇÕES:

A Figura 4 ilustra uma lixeira comunitária que pode ser utilizada por um grupo de moradores para acondicionar os resíduos domiciliares antes da coleta. Neste caso, caracteriza-se a coleta indireta na qual os moradores acondicionam os resíduos em um local próximo à residência e onde o caminhão do lixo tem maior facilidade de acesso para realizar a coleta. Para todo tipo de coleta, os resíduos úmidos devem ser previamente descartados em sacos plásticos nas residências (sem segregação) e posteriormente, descartados nos recipientes. No caso da coleta seletiva de materiais recicláveis, os resíduos podem ser acondicionados diretamente nos recipientes fechados, sem a utilização de sacos plásticos.



Figura 4 : Lixeira comunitária para coleta convencional de resíduos sólidos domiciliares.

Fonte: COMCAP (2011).

Coleta e transporte

Como coleta de resíduos sólidos entende-se o recolhimento de resíduos acondicionados pelo gerador para posterior encaminhamento ao destino adequado, utilizando-se para isso um meio de transporte compatível e adequado. Os serviços de coleta e transporte são provavelmente os que apresentam as soluções mais satisfatórias em relação ao manejo dos resíduos, mas dentro do sistema de limpeza urbana são os que mais demandam recursos.

A coleta regular se faz necessária para que não ocorra acúmulo de resíduos nas residências e vias públicas, evitando problemas de saúde pública que certamente ocorrerão pela permanência dos resíduos nas localidades. Em função disso, é importante que a mesma tenha como meta atender toda a população, pois na hipótese de não haver coleta em alguma região da cidade, os resíduos sólidos produzidos serão, invariavelmente, lançados em terrenos baldios ou outros locais impróprios.

O resíduo domiciliar (urbano e rural), de estabelecimentos públicos e de comércio de pequeno porte é coletado e transportado pelo poder público municipal. Esse serviço deve ser regular para que a população esteja ciente do dia e horário que o caminhão coletor passa, evitando, assim, que o resíduo permaneça por muito tempo exposto causando, consequentemente, a emissão de odores, proliferação de vetores e animais, entre outros problemas.

O planejamento da coleta requer uma série de informações que englobam as características físicas do município, sistema viário, tipos de pavimentação, intensidade de tráfego, número de habitantes, zoneamento do município, sazonalidade da produção de resíduos, entre outras. De acordo com TEIXEIRA e BIDONE (1999), a coleta de resíduos sólidos pode ser classificada em três formas diferentes: 1) comum ou regular, quando os resíduos são coletados misturados; 2) diferenciada, quando os resíduos sólidos são coletados separadamente, segundo a fonte geradora, como doméstico, industrial, de serviços de saúde, etc; e 3) seletiva, quando os resíduos recicláveis são separados segundo os seus componentes (papel, plástico, metal, vidro, orgânicos).

A coleta seletiva é, depois da segregação na fonte (sempre que possível), a etapa para que qualquer processo de reciclagem seja gerenciado com êxito, uma vez que a segregação dos materiais auxilia nos procedimentos que envolvem a catação e posterior reciclagem. No Brasil, os materiais que são recuperados na coleta seletiva são, principalmente, papéis e papelão, plásticos, vidros e metais (ferrosos e nãoferrosos). O município de Florianópolis, Santa Catarina, foi o primeiro a implantar um projeto de coleta seletiva, através do Programa Beija-flor, a partir

ANOTAÇÕES:



Figura 6 : Caminhão compactador utilizado na coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Fonte: COMCAP (2011).

ANOTAÇÕES:

Os caminhões caçamba têm uma vantagem substancial que é a possibilidade de serem utilizados para outros serviços do município. Já os veículos compactadores apresentam a vantagem de carregar mais resíduos que os caminhões caçamba, além de terem uma baixa altura de carregamento (facilita o serviço da guarnição), e são rapidamente descarregados. Sua desvantagem advém do alto custo, inclusive de manutenção.

Minimização da geração e reciclagem de resíduos sólidos

O gerenciamento integrado de resíduos pressupõe a redução do consumo, a reutilização de materiais e ainda a reciclagem destes. O princípio dos 3R's segue a hierarquia de que causam menor impacto evitar a geração de resíduos do que reutilizar e/ou reciclar os materiais após a sua geração.

A reutilização de materiais e a reciclagem são importantes formas de reaproveitamento na gestão de resíduos sólidos, mas o grande desafio das próximas gerações será a necessidade de redução dos resíduos gerados. A redução ocorre na fonte, ou seja, é a não geração de resíduos, envolvendo, assim, mudanças no hábito de consumo da população. No Brasil, onde se segue o padrão de consumo americano, mais consumista que o europeu, tem-se uma tendência contínua ao aumento da produção de RSU, que só será revertida por meio de uma nova mentalidade de consumo por parte da população.

Em relação à reciclagem, pode-se dizer que é uma palavra que se difundiu na mídia a partir da década de 1980 em função da constatação da necessidade de poupar matérias-primas não renováveis e ainda, devido à falta de espaço disponível para a disposição de RSU. Esse processo de

No processo de logística reversa de embalagens de agrotóxicos, o inpEV é o representante das empresas fabricantes, coordenando a destinação final do material encaminhado às unidades de recebimento. A destinação final das embalagens, após a logística reversa, é a reciclagem ou incineração. Atualmente, no Brasil, 94% das embalagens plásticas primárias (que entram em contato direto com o produto) e 80% do total de embalagens vazias de agrotóxicos possuem destinação ambientalmente correta (INPEV, 2013).

As unidades gerenciadas pelo inpEV são diferenciadas em unidades centrais e unidades postos. As centrais têm, no mínimo, 160 m² de área construída e diferenciam-se por serem geridas por uma Associação de Distribuidores ou Cooperativa. As cidades catarinenses que possuem uma unidade central são: Araranguá, Aurora, Campos Novos, Chapecó, Mafra e Tangará. As unidades postos constituem postos de recebimento de embalagens vazias, devem ser licenciados ambientalmente e ter no mínimo 80m² de área construída. As cidades catarinenses que possuem unidade posto são: Campo Erê, Curitibaanos, Santo Amaro da Imperatriz, São Joaquim - Nova Serrana, Xanxerê.

Compostagem

O tratamento dos resíduos sólidos inclui a seleção e aplicação de tecnologias adequadas para o controle e transformação dos resíduos com o objetivo de reduzir seu volume e também seu potencial poluidor. As principais alternativas de tratamento que podem ser utilizadas, além da reciclagem, são a compostagem, que transforma resíduos orgânicos através de processos biológicos; e a incineração, que trata diversos resíduos através de processos de transformação térmica à alta temperatura. O presente documento faz uma abordagem mais detalhada sobre a compostagem, devido ao fato de ser uma alternativa vantajosa no contexto dos resíduos sólidos do meio rural.

A compostagem é uma alternativa de tratamento da parcela orgânica presente nos resíduos sólidos. Consiste num processo de decomposição aeróbia, ou seja, em presença de oxigênio, de resíduos orgânicos pela ação de microrganismos (bactérias), transformando-os em um produto estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. A matéria orgânica pode ser convertida pela ação de microrganismos já existentes ou inoculados na massa de resíduos.

De acordo com a FUNASA (2009), considerando a maioria dos resíduos coletados no Brasil, mais de 50% em peso úmido é composto de matéria orgânica putrescível, passível de ser compostada. Dentre os resídu-

ANOTAÇÕES:

Na segunda fase, conhecida como fase de maturação, ocorre a humificação e mineralização da matéria orgânica. Nela estão presentes as bactérias, actinomicetos e fungos, que vivem em um ambiente cuja temperatura inicial é em torno de 45°C e a final, 30°C. A maturação pode durar de dois a quatro meses.

Na terceira fase, a celulose e a lignina, componentes relativamente difíceis de degradar pelos microrganismos, são decompostas e transformadas em substâncias húmicas. A temperatura baixa para valores entre 25 e 30°C. Nessa fase pode haver a presença de minhocas no composto, e o aspecto deste é próximo ao de uma terra vegetal.

Além da temperatura e do tipo de resíduo orgânico (que determina o teor de nutrientes nos resíduos), os principais fatores de influência do processo de compostagem são: umidade, tamanho das partículas e pH (FUNASA, 2009). A umidade ideal para o processo é de 55%, variando entre 40% e 60%. Quando a umidade é menor que 40%, a atividade dos microrganismos é dificultada pela falta de água, e quando maior que 60%, o excesso de água dificulta a entrada do oxigênio, gerando condições de anaerobiose. Ao perceber que o composto apresenta um aspecto seco, é necessário regá-lo. Uma dica para verificar a umidade do composto é apertar uma porção com a mão, se a água existente escoar sob a forma de gotas, a umidade do composto é adequada, se escoar em fio há umidade excessiva. Em relação ao tamanho das partículas, o ideal é que se situe entre 10 e 50 mm, de modo a melhorar a porosidade, diminuir a compactação e facilitar a aeração. O pH ideal para o processo é de 7,5, variando entre 4,5 e 9,5.

No processo aeróbio de decomposição dos resíduos orgânicos, os microrganismos necessitam de oxigênio para o seu metabolismo. Em função disso, é importante o processo de aeração do composto para que ocorra a exposição da matéria orgânica ao oxigênio atmosférico, acelerando o processo de decomposição. Assim, recomenda-se: 1) que as leiras (pilhas ou montes dispostos para compostar, Figura 9) sejam revolvidas ou reviradas no 3°, 10°, 40° e 50° dia após a sua formação e 2) iniciar a montagem e preenchimento das leiras com uma camada de 10 cm de altura de podas ou galhos de árvores picados, de modo a aumentar a porosidade do meio para, em seguida, preenchê-las com os resíduos orgânicos, como ilustrado na Figura 9 (FUNASA, 2009).

ANOTAÇÕES:

As leiras devem ser construídas em forma cônica ou piramidal (Figura 11), com a base medindo entre 2,5 e 3,5 metros de largura e em torno de 1,5 a 2,0 metros de altura (FUNASA, 2009).



Figura 11 : Vista lateral de uma leira de compostagem.

Fonte: acervo LARESO/ENS/UFSC.

Em relação ao pátio onde as leiras são construídas, o mesmo deve ser plano e bem compactado (se possível, pavimentado), apresentando declividade suficiente (em torno de 2%) para o escoamento das águas pluviais e do lixiviado produzido durante o processo. Convém salientar que em leiras com manejo adequado, o lixiviado produzido é muito reduzido, mas deve receber tratamento sanitário adequado. Ao se dimensionar um pátio de compostagem, deve-se considerar, também, a necessidade de espaço para a circulação entre as leiras (caminhões, carregadeiras e outros maquinários), além de espaço para a estocagem do composto pronto (FUNASA, 2009).

No tocante à compostagem, existe, ainda, outra variação, como a minhocultura ou vermicompostagem (Figura 12), através da introdução de minhocas nas leiras que colonizam o material em decomposição, produzindo húmus (COMCAP, 2009a).

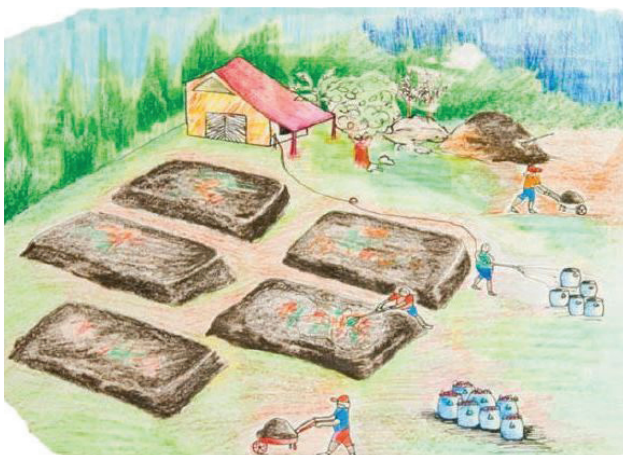


Figura 12: Ilustração do tratamento de resíduos orgânicos através da vermicompostagem.

Fonte: COMCAP (2009a).

ANOTAÇÕES:

O resultado final do processo de compostagem é um composto orgânico de alta qualidade, rico em micronutrientes e com razoáveis teores de nitrogênio e fósforo, podendo ser utilizado como fertilizante na agricultura, na recuperação de solos degradados e na composição de coberturas para aterros sanitários (Figura 13). As vantagens desse tipo de tratamento de resíduos orgânicos são: trata-se de um processo biológico, controlado, de baixo custo, com pouca mão de obra, ambientalmente seguro e licenciado por órgãos ambientais. Os inconvenientes são a necessidade de maior área do que os outros sistemas de tratamento, a emissão de odores e a possível proliferação de vetores.

ANOTAÇÕES:



Figura 13 : Composto resultante do tratamento por compostagem.
Fonte: acervo LARESO/ENS/UFSC.

Disposição final

No Brasil, os métodos de disposição final de resíduos sólidos empregados são: 1) aterros sanitários, 2) aterros controlados e 3) vazadouros a céu aberto (lixões). Os aterros controlados e os lixões não podem ser considerados métodos ambientalmente adequados, pois não são projetados com critérios de engenharia que visam à proteção do meio ambiente. A proliferação das disposições inadequadas se deve muito pela falsa crença de ser a opção mais barata de destinação de resíduos. Estas disposições ao longo de vias, córregos ou rios, banhados, mangues ou áreas baixas, e encostos de morros, sempre resultam numa série de problemas ambientais, sociais e de saúde pública (Figura 14). Por exemplo, dentre os problemas ambientais, pode-se citar: poluição do solo, da água e do ar, incêndios e poluição visual; dentre os problemas sociais e econômicos: existência de catadores, desvalorização do uso do solo local e circunvizinho; e dentre os problemas de saúde pública: contaminação

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, aterro sanitário é definido como (BRASIL, 2011):

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia (impermeabilização do solo, cercamento, ausência de catadores, sistema de drenagem de gases, águas pluviais e lixiviado) para confinar os resíduos e rejeitos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-o com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

ANOTAÇÕES:

Como requisitos mínimos, listados abaixo, quatro condições básicas devem estar presentes no projeto e na operação para que um local de disposição final possa ser chamado de aterro sanitário:

- » Bom isolamento hidrogeológico;
- » Ser concebido e operado como uma “obra de engenharia”;
- » Ter permanente controle por pessoal qualificado;
- » Ter um plano detalhado de disposição e cobertura dos resíduos.

O aterro sanitário é projetado de acordo com critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que proporcionam um confinamento seguro dos resíduos. Os critérios de engenharia mencionados abrangem a drenagem de águas superficiais e do lixiviado, assim como o adequado tratamento deste. Além disso, a drenagem e queima dos gases gerados e a bioestabilização da matéria orgânica fazem parte do processo de operação de um aterro sanitário.

Um fator muito importante também é a seleção de áreas para a implantação de um aterro sanitário, a qual deve obedecer a critérios claros, pois dessa seleção vai depender a preservação dos recursos naturais e um uso racional do solo. Além disso, a partir da escolha correta de local para a disposição final reduzem-se custos de implantação e ainda, evitam-se uma série de impactos que seriam gerados ao meio, podendo-se, também, simplificar os sistemas de proteção ambiental a serem instalados (MARQUES et al., 1995). Em função do alto grau de urbanização das cidades associado a uma ocupação intensiva do solo, a seleção de áreas torna-se uma tarefa difícil. Alguns critérios técnicos mais utilizados para a escolha de áreas aptas a instalação de aterros sanitários são a seguir listados:

- » Distância de recursos hídricos;
- » Distância de vias;
- » Distância da mancha urbana;
- » Distância de áreas inundáveis;

no porte da região do Vale do Caí - RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6., 2002, Gramado. Anais. Gramado: ABES, 2002. 1 CD-ROM.

Rushbrook, P. e Pugh, M. **Solid Waste Landfills in Middle - and Lower - Income Countries: A Technical Guide to Planning, Design and Operations.** Washington, D.C.:The World Bank: Technical Paper N. p. 426-248.

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). **Estudo da Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado de Santa Catarina, Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PEGIRS.** Execução: DRZ Geotecnologia e Consultoria. Florianópolis, 2012. 182 p.

Schvartsman, S. **Produtos químicos de uso domiciliar: segurança e riscostoxicológicos.** 2. ed. São Paulo: Almed, 1988.

Teixeira, E. N. & Bidone F. R. A. **Conceitos Básicos.** In: Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos. 1999. Rio de Janeiro, PROSAB - programa de Pesquisa em Saneamento Básico, p. 15-21.

ANOTAÇÕES:
