

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**VERIFICAÇÃO DO GRAU DE COMPROMETIMENTO DO LENÇOL  
FREÁTICO CAUSADO PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES  
PROVENIENTES DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS  
NEGRAS**

**Charles Belettini Hahn**

**FLORIANÓLOIS, (SC)  
SETEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**VERIFICAÇÃO DO GRAU DE COMPROMETIMENTO DO LENÇOL  
FREÁTICO CAUSADO PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES  
PROVENIENTES DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS  
NEGRAS**

**Charles Belettini Hahn**

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa  
Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi  
Co-orientadora  
Eng. Maria Elisa Magri**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
SETEMBRO/2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

VERIFICAÇÃO DO GRAU DE COMPROMETIMENTO DO LENÇOL FREÁTICO  
CAUSADO PELO LANÇAMENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE UM  
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS

CHARLES BELETTINI HAHN

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para  
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II

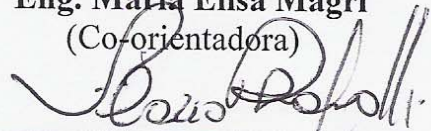
BANCA EXAMINADORA :



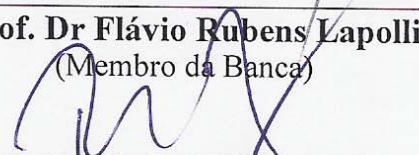
Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi  
(Orientador)



Eng. Maria Elisa Magri  
(Co-orientadora)



Prof. Dr. Flávio Rubens Lapolli  
(Membro da Banca)



Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO /2007

## RESUMO

As águas subterrâneas cumprem uma função importante e, em diversos casos, são fontes vitais para o fornecimento de água potável em muitas áreas urbanas e rurais do mundo. Com a intenção de evitar a escassez de água e identificar fontes poluidoras do lençol freático, o seguinte trabalho tem por objetivo a verificação da contaminação do lençol freático na localidade de Rationes, Florianópolis/SC, devido a um sistema de tratamento de águas negras com disposição final no solo por valas de infiltração. Os parâmetros analisados foram; pH, nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*. Os valores médios de pH encontrados nos poços de monitoramento variam entre 6,69 e 3,73, já os de nitrato de 2,02 a 20,00 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Após ser analisado o entorno do sistema pôde-se notar que esse se encontra comprometido em relação à concentração de coliformes totais, *E.coli* e nitrato. A eficiência do sistema na remoção de nitrato ficou em torno de 96% já para os parâmetros microbiológicos esse valor foi de 99%.

Palavras-chave: saúde pública, contaminação do lençol freático, tanque séptico, valas de infiltração.

## ABSTRACT

Groundwater have an important function and, in many cases, are vital sources for the supply of drinking water in many urban and country side areas of the world. With the intention of avoiding the shortage of water and identify sources of groundwater pollution, the following work aims at the verification of the contamination of the water table in the town of Rationes, Florianópolis/SC, due to a system for the treatment of black water with the final layout in infiltration ditches. The parameters analyzed were: pH, nitrate, total coliforms and *Escherichia coli*. The average values of pH found in the monitoring wells vary between 6.69 and 3.73, since the nitrate from 2.02 to 20.00 mg / L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. After have being examined the region around the system could be noted that it is committed in relation to the concentration of total coliforms, *E. coli* and nitrate. The efficiency of the system in removal of nitrate was around 96%, to microbiological parameters it was 99%.

Keywords: public health, groundwater contamination, septic tank, infiltration ditches

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha mãe, Nair Belettini, pelo incentivo e apoio durante todos esses anos, e pela formação que me deu na escola da vida. Ao meu pai, Itamar Hahn, que mesmo longe sempre demonstrou orgulho pelo que faço, e que juntamente contribuiu com minha educação. A minha querida irmã, Nagele Belettini Hahn que sempre se mostrou pronta para ajudar, não importando a hora do dia ou da noite.

Aos amigos do curso de graduação, Bruno Segalla Pizzolatti e Marcus Bruno Domingues Soares, pelo companheirismo em todos esses anos dentro e fora da sala de aula e também em uma terra distante.

Ao Professor Luiz Sérgio Philippi e a Maria Elisa Magri, pela oportunidade e orientação durante este trabalho.

Aos grandes amigos, Thiago Kuchiminsck, Cícero Fernando Bordignon, Márcio Biz Estevão, Lucas Tramontin Serafim, Aloísio de Jesus Souza, Karla Tayana de Souza, Ligia Strigua, Jiva Lin, Karina Mendes, Família Zimermann, Aline de Goes, Isabel e Mariana pelo apoio, ajuda, companheirismo e muitos momentos de lazer durante todos esses anos, e que eu sei que sempre estarão ao meu lado.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
3.1. Aspectos gerais da quantidade de água potável no mundo e no Brasil. ....	13
3.1.1 Recursos Hídricos no mundo .....	13
3.1.2 Recursos Hídricos no Brasil.....	14
3.1.3 As Águas Subterrâneas no Brasil.....	15
3.2. Contaminação das águas subterrâneas .....	16
3.3 Águas Negras .....	18
3.4. Sistemas de tratamento de esgotos com disposição final no solo .....	18
3.4.1 Tratamento Primário .....	18
3.4.2. Disposição no solo .....	19
3.4.3 Estudos realizados em sistemas de tratamento de esgotos com disposição final no solo....	23
3.5. Fatores químicos e biológicos indicadores de poluição das águas subterrâneas. ....	25
3.5.1 Nitrogênio .....	25
3.5.2 Indicadores microbiológicos.....	25
3.6 Doenças relacionadas ao uso de águas contaminadas.....	27
3.7 Fatores que afetam o transporte e a sobrevivência de organismos patogênicos no solo .....	29
3.8 Processos de transportes de compostos químicos no solo .....	31
4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1 Localização da área de estudo.....	33
4.2 Caracterização do solo .....	34
4.3 Sistema de Tanque Séptico, Filtro de Areia e Vala de Infiltração.....	35
4.4 Intervalo de amostragem.....	39
4.5 Preparação para amostragem .....	39
4.5.1 Pontos de Coleta .....	39
4.5.2 Coleta das amostras.....	41
4.6 Análises físico-químicas e biológicas.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	42
5.1 Caracterização das águas negras e do efluente após o filtro de areia .....	42
5.2 Caracterização das águas subterrâneas. ....	43
5.3 Avaliação dos fatores indicadores de poluição por esgotos.....	43
5.3.1 pH.....	44
5.3.2 Nitrato .....	46
5.3.3 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	48
6. CONCLUSÃO .....	52
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem da quantidade de água doce e salgada na terra.....	13
Figura 2 - Infiltração e contaminação do lençol freático por diversas fontes.....	16
Figura 3 - Aplicação de efluentes no solo: concepção.....	17
Figura 4 - Esquema de funcionamento de um tanque séptico .....	19
Figura 5 - Filtro de areia de fluxo descendente.....	20
Figura 6 - Esquema de instalação de um sumidouro .....	20
Figura 7 - Corte longitudinal e transversal de uma vala de filtração.....	21
Figura 8 - Esquema de uma vala de infiltração.....	22
Figura 9 - Esquema das valas de filtração utilizadas no estudo.....	23
Figura 10 - Localização da Ilha de Santa Catarina e da Comunidade de Ratonés.....	33
Figura 11 - Residência onde foram realizado o estudo.....	34
Figura 12 - Perfil do terreno no local da pesquisa .....	35
Figura 13 - Esquema do sistema de tratamento de águas negras.....	35
Figura 14 - Vista superior caixa de gordura e do tanque séptico.....	36
Figura 15 - Fossa séptica circular de câmara única .....	36
Figura 16 - Filtro de areia de fluxo descendente.....	37
Figura 17 - Filtro de areia .....	37
Figura 18 - Área das valas de infiltração e poços de monitoramento .....	38
Figura 19 - Esquema das valas de infiltração .....	38
Figura 20 - Localização dos poços de monitoramento .....	39
Figura 21 - Perfuração dos poços de monitoramento .....	40
Figura 22 - Identificação das mangueiras de acordo com a profundidade e poço de monitoramento .....	40
Figura 23 - Detalhe da ponta de nylon e da extremidade das mangueiras de coleta .....	41
Figura 24 - Número de dias de estiagem nos meses de 2007 .....	44
Figura 25 - pH das águas dispostas na vala de infiltração .....	45
Figura 26 - Média dos valores de pH encontrados nos poços de monitoramento .....	45
Figura 27- Média das concentrações de nitrato .....	47
Figura 28 - Concentração média de coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de água na Terra.....	14
Tabela 2 - Informações básicas sobre as bacias hidrográficas brasileiras. ....	15
Tabela 3 - Comparação entre um sistema de tratamento no solo com o sistema convencional ...	23
Tabela 4 - Doenças transmitidas por organismos patogênicos, agente patogênico e seu respectivo tamanho.....	28
Tabela 5 - Metodologia utilizada para realização das análises .....	41
Tabela 6 – Características físico-químicas das águas negras e do efluente após o filtro de areia	42
Tabela 7 - Caracterização da água subterrânea.....	43
Tabela 8 - Vazão média de água negra infiltrada no solo (L/dia).....	43
Tabela 9 - Resultado das análises de nitrato .....	46
Tabela 10 - Resultado das análises de coliformes totais.....	48
Tabela 11 - Resultado das análises de <i>Escherichia coli</i> .....	49
Tabela 12 - Influência da precipitação na concentração das análises nos poços de monitoramento .....	51



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

%	Porcentagem
μ	Micro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	American Public Health Association
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Biológica de Oxignio (mg.O <sub>2</sub> /L)
DBO <sub>total</sub>	Demanda Biológica de Oxignio Total
DQO	Demanda Química de Oxignio (mg.O <sub>2</sub> /L)
DQO <sub>total</sub>	Demanda Química de Oxignio Total
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency - US
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A
GESAD	Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado
GPS	Global Positioning System
hab	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPUF	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
kg	Quilograma
km	Quilmetro
L	Litro
LIMA	Laboratório Integrado do Meio Ambiente
m	Metro
mg	Miligrama
mL	Mililitro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
N	Ntrognio
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
°C	Grau Celsius
P	Fósforo
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
s	Segundo
SS	Sólidos Suspensos (mg/L)
SST	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
UFC	Unidade Formadora de Colnia

## 1. INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos é uma questão polêmica em todo mundo e atualmente é objeto de grande preocupação. Cada vez mais as pessoas tomam consciência da problemática que é a utilização predatória desses recursos, e entre esses o que mais vem gerando preocupações é o uso irracional e a contaminação das fontes naturais de água, como as águas subterrâneas.

Existem diversas fontes de contaminação das águas subterrâneas. Como exemplos temos a intrusão salina, contaminação por derivados de petróleo, fossas sépticas, sumidouros e valas de infiltração. Segundo a OMS, 65% das internações hospitalares de crianças com menos de 10 anos são resultantes de doenças de veiculação hídrica (RIBEIRO *et al.* 2002).

De acordo com o IBGE (2000), 38,61% da população brasileira utiliza de fossa séptica ou fossa rudimentar para o tratamento de seus efluentes, sendo que 14,16% da população não possui nenhum sistema de saneamento. Isso significa que esses efluentes são dispostos de maneira inadequada, muitas vezes, diretamente no aquífero, em forma de fossas negras escavadas até o nível do lençol freático.

Essa disposição inadequada de efluentes é mais freqüente nas regiões em risco social, dada à grande densidade populacional e alta concentração de fossas negras, muito próximas aos poços cacimbas que por ventura podem estar sendo contaminados pelo sistema de fossas (CORAUCCI FILHO *et al.*, 2001). De acordo com o IBGE (2000), 22,20 % da população do país utiliza de poços próprios ou nascentes para o abastecimento de água e aproximadamente, 47% da população está conectada a rede de esgoto. De acordo com esses dados, grande parte da população está suscetível a doenças de veiculação hídrica, pois se abastecem de águas que não possuem nenhum tipo de tratamento.

Devido a deficiência do saneamento básico e o risco à saúde da população é necessário extremo cuidado para evitar a contaminação da água de subsolo por efluentes sanitários. Esses cuidados são de grande importância, pois a matéria orgânica presente no esgoto sofre decomposição, que faz com que aumente o número de microrganismos presente no esgoto e esses, podem atingir o lençol freático devido à percolação do efluente (VARNIER, *et al.*, 2002).

Em estudos realizados em regiões que possuíam o solo irrigado com efluentes de estações de tratamento de esgoto, ou regiões que possuíam os efluentes de valas de infiltração dispostos no solo, observou-se que a quantidade de nitrogênio e amônia aumentou significativamente no lençol freático (BOURI *et al.*, 2007, CHEN *et al.*, 2005, VARNIER *et al.*, 2002).

Hoje em dia são poucos os trabalhos que visam o estudo da contaminação do lençol por sistemas de tratamento de esgoto com disposição final no solo. De acordo com VARNIER *et al.*, (2002), trabalhos específicos a respeito da contaminação de aquíferos por sistemas de tratamento de esgoto descentralizado, com programa de monitoramento freqüente, são raros no País, sobretudo quando o tema é enfocado com alto grau de detalhamento.

Com o intuito de evitar a escassez de água potável e a degradação da saúde pública, surge a necessidade de identificarmos as fontes poluidoras do lençol freático. Visando esse propósito, o seguinte trabalho tem por finalidade avaliar o grau de contaminação do lençol freático por um sistema de tratamento de águas negras com disposição final em sistemas de valas de infiltração. O trabalho fez parte do Programa Brasileiro de Saneamento Básico, PROSAB 5, e foi realizado com o intuito de ajudar o desenvolvimento da pesquisa junto ao GESAD.

O trabalho foi realizado na região de Rationes distrito pertencente à cidade de Florianópolis/SC. Os pontos de coletas de água se estenderam desde o nível do solo até atingirem o lençol freático. As amostras de água coletadas foram submetidas a análises laboratoriais que puderam identificar a contaminação do lençol.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral, a verificação do grau de comprometimento do lençol freático, na comunidade de Ratoles, causado pelo lançamento de efluentes provenientes de um sistema de tratamento de águas negras composto por tanque séptico, filtro de areia e disposição final no solo, por valas de infiltração.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar os indicadores de poluição por esgotos: Coliformes totais, *Escherichia coli* e nitrogênio na água subterrânea;
- Avaliar a eficácia das valas de infiltração na remoção de patógenos e contaminantes;
- Avaliar se o grau de contaminação do lençol freático pressupõe risco a saúde da população local;
- Avaliar a influência da chuva nas concentrações de nitrato, Coliformes totais e *Escherichia coli* na água subterrânea
- Avaliar a qualidade das águas subterrâneas próximas, no entorno, de um sistema de infiltração de esgoto tratado, para o consumo humano.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Aspectos gerais da quantidade de água potável no Mundo e no Brasil.

##### 3.1.1 Recursos Hídricos no Mundo

Considera-se, atualmente, que a quantidade total de água na Terra, cerca de  $1.368 \text{ km}^3$ , tem se mantido constante nos últimos 500 milhões de anos. Isso já não acontece com a população mundial que vem aumentando ao longo dos anos. Esse aumento da população pode ser preocupante devido à futura escassez de água, pois atualmente já existem 1 milhão de pessoas sem água suficientemente disponível para uso doméstico, sendo que esse número tende a atingir 5,5 milhões em 30 anos (SETTI *et al.*, 2002).

De acordo com a Figura 1, a água salgada corresponde a 97,5 % da quantidade total de água no mundo, sendo compostas por oceanos, parte do subsolo e lagos. Também pode-se notar que da quantidade total de água na Terra apenas 2,5% correspondem a água doce, estando essas presentes em rios, lagos, águas subterrâneas entre outros.

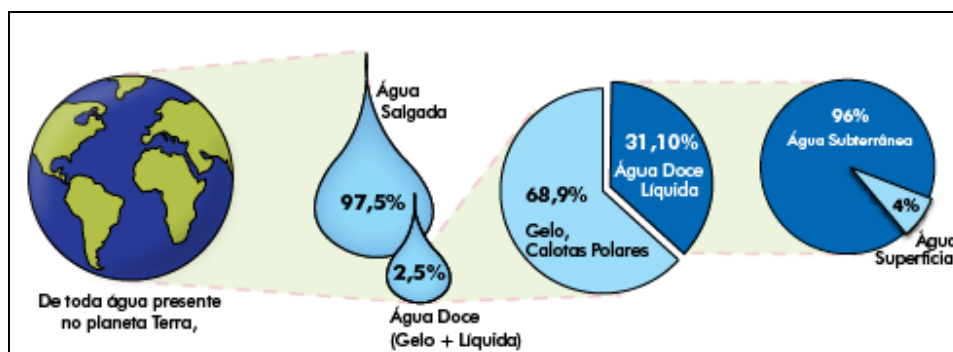


Figura 1 - Porcentagem da quantidade de água doce e salgada na terra

Fonte: MMA, 2007

Vale ressaltar que, como observado na Figura 1, a maior parte da água doce presente no planeta está concentrada nas calotas polares e geleiras 68,9%, restando 31,1% de água doce na forma líquida. Da fração de água doce líquida, 96 % são pertencentes às águas subterrâneas e apenas 4 % está localizada em zonas superficiais. De acordo com SETTI *et al.*, (2002), a água que está mais acessível a população e aos ecossistemas, é a água doce presente em rios e lagos, e essas correspondem apenas a 0,27% do volume de água doce na Terra e cerca de 0,007% do volume total de água.

A Tabela 1, apresenta a distribuição de água na Terra em seus respectivos ambientes.

**Tabela 1 - Distribuição de água na Terra**

Reservatório	Volume (10 <sup>3</sup> km <sup>3</sup> )	% do Volume Total	% do Volume de Água Doce
<b>Oceanos</b>	<b>1338000</b>	<b>96,5379</b>	-
Subsolo:	234000	1,6883	-
<i>Água Doce</i>	10530	0,7597	30,0607
<i>Água Salgada</i>	<b>12870</b>	<b>0,9286</b>	-
Umidade do Solo	16,5	0,0012	0,0471
Áreas Congeladas:	24064	1,7362	68,6971
<i>Antártida</i>	21600	1,5585	61,6629
<i>Groelândia</i>	2340	0,1688	6,6802
<i>Ártico</i>	83,5	0,0060	0,2384
<i>Montanhas</i>	40,6	0,0029	0,1159
<i>Solos Congelados</i>	300	0,0216	0,8564
Lagos:	176,4	0,0127	-
<i>Água Doce</i>	91	0,0066	0,2598
<i>Água Salgada</i>	<b>85,4</b>	<b>0,0062</b>	-
Pântanos	11,5	0,0008	0,0328
Rios	2,1	0,0002	0,0061
Biomassa	1,1	0,0001	0,0032
Vapor d'água na atmosfera	12,9	0,0009	0,0368
<b>Armazenamento total de água salgada</b>	<b>1350955,4</b>	<b>97,4726</b>	-
Armazenamento total de água doce	35029,1	2,5274	100
Armazenamento total de água	1385984,5	100	-

Fonte: SHIKLOMANOV, 1997 apud SETTI *et al.*, (2002).

### 3.1.2 Recursos Hídricos no Brasil

O Brasil possui uma área aproximada de 8.514.000 km<sup>2</sup> e uma população que gira em torno de 185 milhões de habitantes (IBGE, 2005). Devido a suas dimensões continentais e sua localização, o Brasil possui diferenças exorbitantes em relação à população, clima, desenvolvimento econômico e social, de modo que podemos encontrar os mais distintos cenários no território brasileiro (SETTI *et al.*, 2002).

De acordo com a Tabela 2, a maior quantidade de água presente no Brasil está concentrada na Bacia Amazônica (73%), e esta é habitada por menos de 5% da população, isso quer dizer que menos de 27% dos recursos hídricos estão disponíveis para o resto da população, evidenciando uma distribuição irregular desses recursos.

Outro fator que merece ser apontado é que de 40% a 60% das águas tratadas são desperdiçadas devido à presença de perdas no sistema, canalizações muito antigas, presença de rachaduras, ligações clandestinas ou tecnologias obsoletas. A água doce no Brasil está também ameaçada pelo crescimento da população e pela ocupação desordenada do solo, pelo desenvolvimento industrial e tecnológico, que vêm acompanhados de poluição, erosão, desertificação e contaminação do lençol freático (MACHADO, 2003).

**Tabela 2 - Informações básicas sobre as bacias hidrográficas brasileiras.**

Nº	Bacia Hidrográfica	População		Disponibilidade Hídrica	
		Hab.	%	km <sup>3</sup> /ano	%
1	Amazônica	6.687.893	4,3	4206	73,2%
2	Tocantins	3.503.365	2,2	372	6,5%
3a	Atlântico Norte/Nordeste	31.253.068	19,9	285	5,0%
4	São Francisco	11.734.966	7,5	90	1,6%
5	Atlântico Leste	35.880.413	22,8	137	2,4%
6a	Paraguai	1.820.569	1,2	41	0,7%
6b	Paraná	49.924.540	31,8	347	6,0%
7	Uruguai	3.837.972	2,4	131	2,3%
8	Atlântico Sudeste	12.427.377	7,9	136	2,4%
	Brasil	157.070.163	100	5745,00	100,0%

Fonte: IBGE, 1996 e Produção hídrica brasileira apud SETTI *et al.*, 2002

### 3.1.3 As Águas Subterrâneas no Brasil

*“No Brasil, as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação surgem sistemas aquíferos que podem ser classificados como a) sistemas porosos (rochas sedimentares); b) sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofílicas); c) sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica)”* (LEAL, 1999 apud SETTI *et al.*, 2002).

O uso das águas subterrâneas vem crescendo de forma acelerada nas últimas décadas e tudo indica que esse crescimento tende a aumentar. Os interesses nas águas subterrâneas variam tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico, como no administrativo e legal (AGENDA 21, 1996).

Segundo o Censo de 2000 do IBGE, aproximadamente 22,20% dos domicílios brasileiros vem utilizando águas subterrâneas para uso doméstico, sendo que desses (22,20%), 15,58% se auto-abastecem com águas de poços ou nascentes presentes na própria propriedade e 6,61% utilizam água que não é tratada e nem pertencente a poços artesianos. O número de poços tubulares em operação no Brasil está estimado em cerca de 300.000, com um número anual de perfurações de aproximadamente 10.000, podendo esse ser considerado irrisório perante as necessidades de água potável da população (MMA, 2001).

### 3.2. Contaminação das águas subterrâneas

Devido ao aumento da poluição nos corpos d'água superficiais, o problema da escassez de água torna-se nacional, evidenciando a necessidade de se buscar outras fontes de água doce, no caso as águas subterrâneas. Já é sabido que as águas subterrâneas são a maior fonte de água doce, não levando em conta as geleiras, que correspondem a 68,9% da parcela total.

No Brasil, em geral, as águas subterrâneas abastecem rios e lagos; por esse motivo a maioria dos nossos rios é perene, mesmo em época de seca, o que garante a sobrevivências da flora e fauna local. Os aquíferos também têm importância estratégica, sendo que algumas de suas funções ainda são pouco exploradas, tais como: produção, armazenamento e energética, quando as águas saem naturalmente com temperaturas elevadas do subsolo, em torno de 60 °C. Outro fato que merece ser lembrado são os seus diversos usos, que ao longo dos anos vêm crescendo, tais como: abastecimento, irrigação, calefação, balneoterapia, engarrafamento de águas minerais e potáveis. Não deixando de lembrar que as águas subterrâneas têm grande alcance social, pois os poços, quando bem construídos e protegidos, garantem a saúde da população (MMA, 2001).

A poluição e a superexploração de água subterrânea podem ocasionar sérias conseqüências, como o racionamento da água, que pode fazer com que se tenha que procurar outras fontes suplementares de água, ou processos de purificação da mesma. Outra conseqüência é que a contaminação do lençol freático pode causar danos à saúde devido à presença de microorganismos patogênicos, substâncias tóxicas e cancerígenas. Danos as estruturas e inundação de áreas baixas: a subsidência de terrenos pode danificar as fundações de prédios e ocasionar inundações em áreas por ela afetadas (CAPUCCI *et al.*, 2001).

A composição química das águas subterrâneas e sua evolução é resultado da combinação dos diferentes tipos de água que infiltram solo, do tipo de solo e rochas presentes no terreno (Figura 2). A concentração das substâncias depende da velocidade de infiltração e das reações químicas que ocorrem durante a percolação (FLORENCIO, 2006).

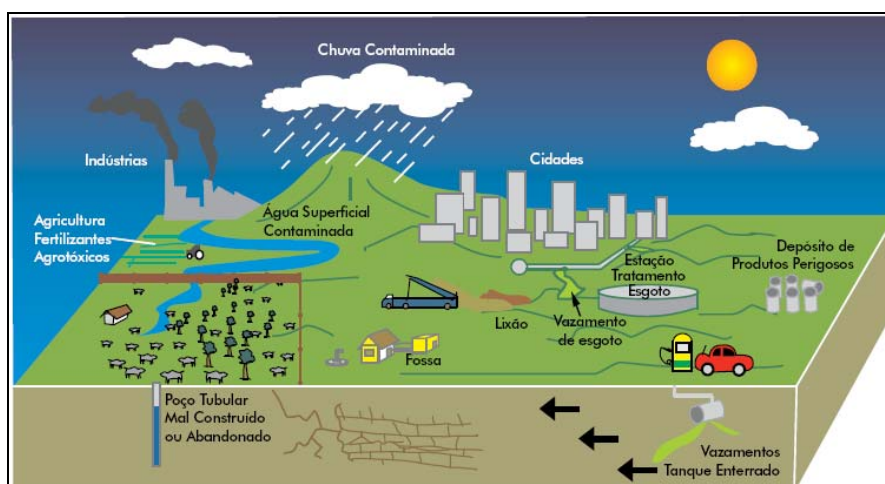


Figura 2 - Infiltração e contaminação do lençol freático por diversas fontes.

Fonte: MMA, 2007



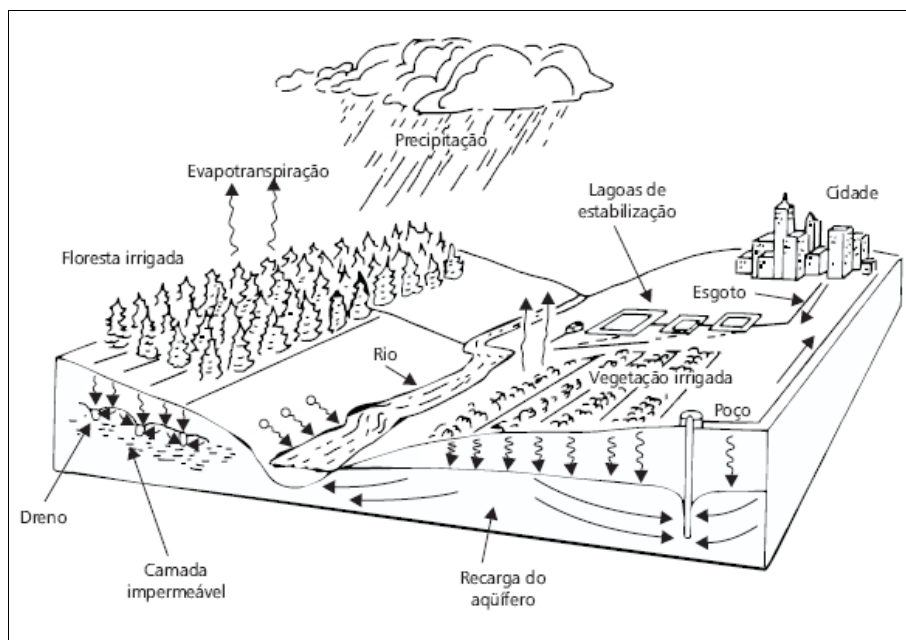
De acordo com FOSTER e HIRATA, 1988 apud FLORENCIO (2006), o risco da contaminação do lençol freático pode ser avaliado através da associação entre vulnerabilidade natural do aquífero e carga contaminante potencial existente.

Segundo o mesmo autor, a vulnerabilidade do lençol depende da interação de três fatores: a forma de ocorrência da água subterrânea; o esqueleto litológico que sustenta o aquífero; e o nível do lençol freático. A interação desses fatores determina quão suscetível a zona saturada está em relação à penetração de contaminantes e a capacidade do aquífero em atenuar a contaminação imposta.

A aplicação de águas residuárias no solo pode alterar as características físicas e químicas do mesmo e físico-químicas da solução do solo e das águas subterrâneas. De acordo com BOND 1998, apud FLORENCIO (2006), os fatores limitantes para a aplicação de águas residuárias tratadas no solo são a salinidade, a sodicidade, a lixiviação de nitrato e fósforo, que podem ficar retidos no solo ou atingirem o lençol freático. Outro fator que deve ser levado em consideração é a presença de metais pesados que podem percolar até o lençol freático.

A aplicação de esgotos no solo pode ser uma forma de disposição final, tratamento ou ambas. Parte das águas dispostas no solo incorpora-se as plantas e ao solo, mas, a maior quantidade infiltra no solo atingindo o lençol freático e os cursos d'água.

A Figura 3, mostra a aplicação dos esgotos domésticos no solo e o ciclo de reciclagem da água. Parte da água pode ser perdida pela evaporação, pela evapotranspiração, pela percolação até a zona de recarga do aquífero ou ser drenada para as águas superficiais. Em todos esses processos a água vai perdendo parte de seus poluentes, que ficam retidos no solo, e seus nutrientes, que são removidos pelas plantas (CAMPOS, 1999).



**Figura 3 - Aplicação de efluentes no solo: concepção**  
Fonte: Adaptado de EPA apud CAMPOS (1999).

Devido a tudo isto a água subterrânea, como bem público, deve ter seu consumo regulamentado, objetivando a sua preservação em nível quantitativo e qualitativo para as gerações futuras, e em muitos casos até para as atuais.

### **3.3 Águas Negras**

As águas denominadas negras ou *blackwater*, são águas residuárias provenientes dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico (OTTERPOHL, 2002). Essas apresentam elevada concentração e presença de sólidos em suspensão em elevada quantidade.

A literatura também apresenta uma outra definição para designar uma água residuária de origem semelhante às águas negras, já apresentando um conceito de segregação. Estas são as águas marrons, sendo provenientes de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Águas marrons segregadas das demais resultam em estações de tratamento individuais, normalmente compostagem, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos.

Alguns autores como NOLDE (1999), e CHRISTOVA-BOAL *et al.*, (1996), consideram as águas provenientes da pia como água negra e não como água cinza, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes.

### **3.4. Sistemas de tratamento de esgotos com disposição final no solo**

#### **3.4.1 Tratamento Primário**

##### **Tanque séptico**

Segundo a NBR 7229 (1993) da ABNT, tanque séptico de câmara única é uma unidade com apenas um compartimento, onde ocorrem processos de sedimentação, de flotação e digestão de espuma em sua zona superior, e digestão de lodo decantado na zona inferior.

Outro tipo de tanque séptico são os de câmara em série, que de acordo com a NBR 7229 (1993) são unidades com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos em seqüência no sentido do fluxo do líquido e interligados, onde devem ocorrer processos de flotação, sedimentação e digestão.

Os tanques sépticos têm como objetivo a retenção de efluentes domésticos e/ou industriais por um tempo pré-estabelecido (12 a 24 horas), de modo que possa ocorrer a sedimentação e a transformação do efluente em compostos mais simples e estáveis. Dentre os despejos domésticos recebidos, temos os das cozinhas, lavanderias, lavatórios, vasos sanitários, bidês, banheiros, chuveiros entre outros. Muitas vezes é necessária a instalação de uma caixa de gordura para recebimento dos efluentes provenientes da cozinha, antes que esses cheguem ao

tanque séptico. Os tanques sépticos devem ter capacidade para armazenamento do lodo de, no mínimo, 300 dias (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

Segundo JORDÃO e PESSÔA (1995), a eficiência de tanques sépticos, normalmente, é expressa em função dos seguintes parâmetros: sólidos sedimentáveis que, ao acumularem, permitem estabelecer o período de limpeza e um menor controle operacional das unidades subseqüentes; sólidos em suspensão, os quais podem ser reduzidos em até 60% quando se têm um tanque séptico bem projetado e que opera corretamente; DBO, podendo ser reduzida em até 65%; e gordura presente nos efluentes, a qual pode ser decomposta com uma eficiência de 71 a 92%. A Figura 4, mostra o funcionamento de um tanque séptico e as diferentes fases que compõem o sistema.

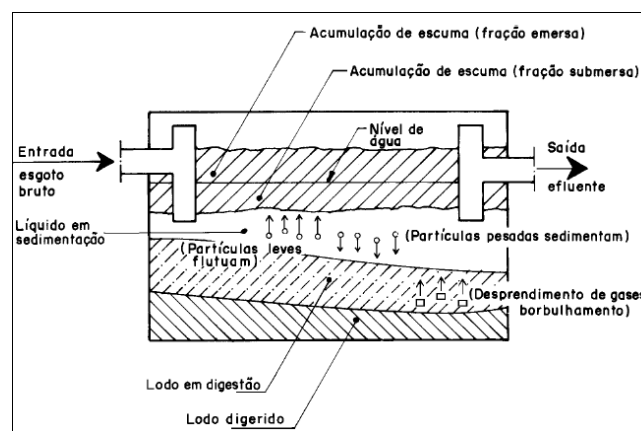


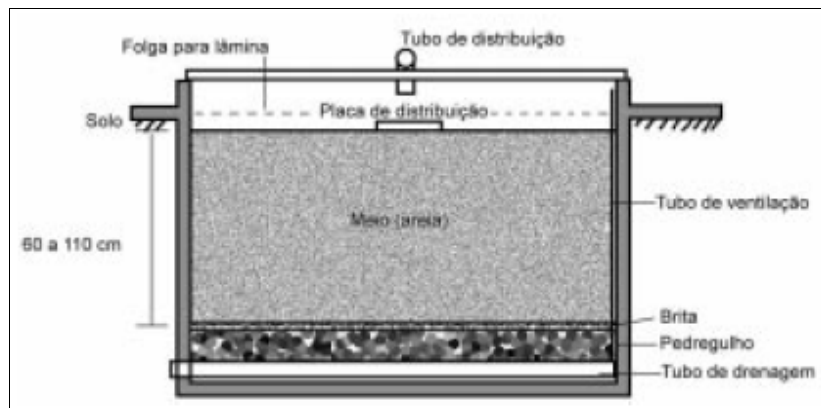
Figura 4 - Esquema de funcionamento de um tanque séptico  
Fonte: ABNT - NBR 7229/1993

### 3.4.2. Disposição no solo

#### Filtro de areia

Filtros de areia são tanques preenchidos com areia ou outros meios filtrantes, que possuem fluxo descendente. Na base inferior encontra-se uma tubulação que tem por objetivo drenar o esgoto que é percolado. Durante a percolação ocorre a depuração de contaminantes tanto por ação biológica quanto física (NBR – 13969 ABNT, (1997)).

Segundo *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001) “O filtro de areia segue os mesmos princípios da vala de filtração, ou seja, o tratamento ocorre quando há passagem do esgoto pela camada de areia, onde se processa a depuração por meio físico (retenção) e bioquímico (oxidação), devido aos microrganismos fixos na superfície dos grãos de areia. Sua utilização é recomendada como uma forma de pós-tratamento, para casos em que o meio filtrante possua uma permeabilidade inferior a  $25 \text{ L/m}^2 \cdot \text{dia}$ ” (Figura 5).

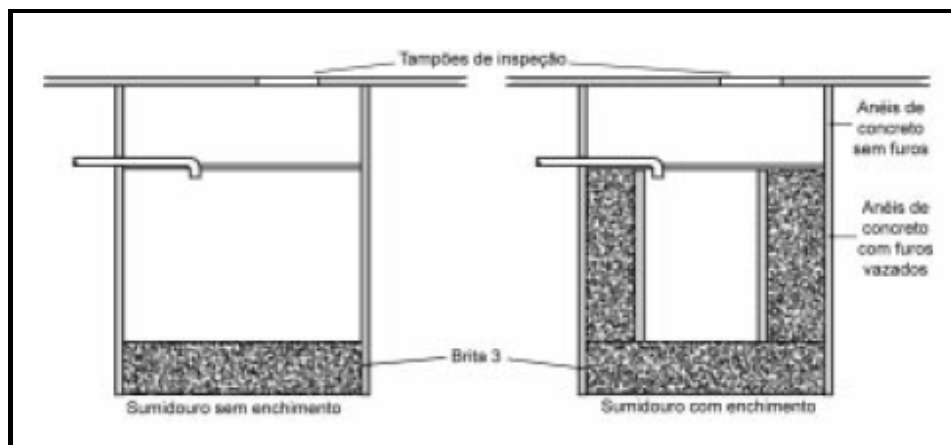


**Figura 5 - Filtro de areia de fluxo descendente**  
 Fonte: *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001)

## Sumidouros

De acordo com a NBR – 13969 (1997) da ABNT, sumidouros são poços escavados no solo que tem como função promover a depuração e disposição final do esgoto no nível subsuperficial.

Já *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001), define o sumidouro como um sistema de depuração de efluentes provenientes de tanques sépticos verticalizados no solo, que possui maior profundidade que comprimento ao longo do solo (Figura 6). Geralmente são aplicados em locais onde o lençol freático é profundo, e nesses apresentam uma maior eficiência.



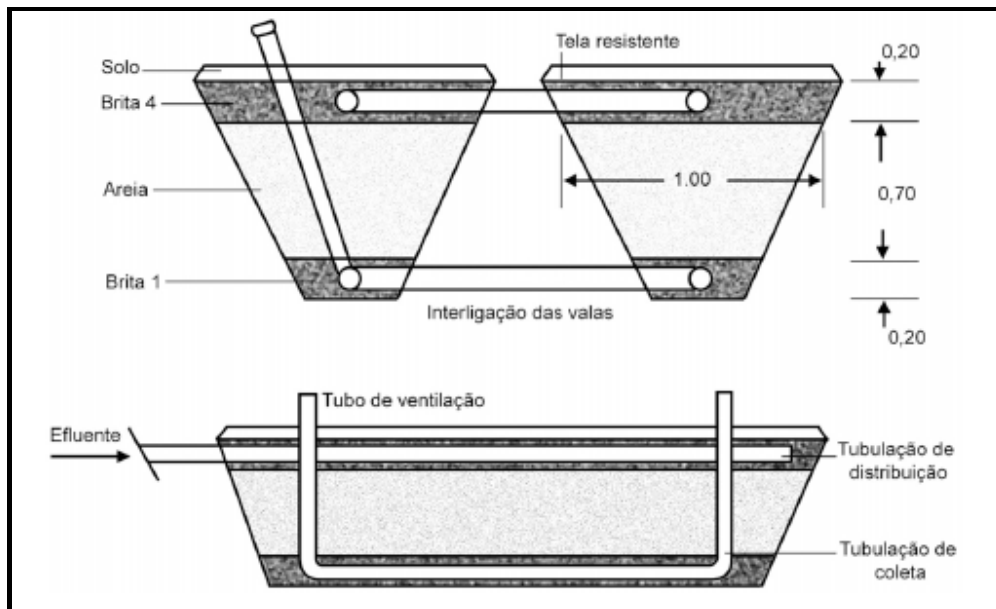
**Figura 6 - Esquema de instalação de um sumidouro**  
 Fonte: NB41, apud *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001)

Os sumidouros recebem o efluente diretamente do tanque séptico, possuem uma vida útil longa, se o solo for bem permeável, devido à facilidade de infiltração do líquido no solo. Caso contrário a vida útil é curta com colmatações constantes. O líquido é quase isento de sólidos, o que não permite que ocorra a colmatação dos poros. Podem ser de forma prismática ou cilíndrica, possuem as paredes protegidas por madeira, tijolos ou pedras (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

## Valas de filtração

De acordo com a NBR - 13969 (1997) da ABNT, valas de filtração são valas escavadas no solo, preenchidas com material filtrante, possuindo um sistema de tubos que promove a distribuição do efluente e a coleta do mesmo já filtrado, que tem por objetivo, a remoção de poluentes por processos físicos e biológicos, sob condições essencialmente aeróbias.

Segundo *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001), o sistema de valas de infiltração surgiu a mais de 100 anos e vem sendo utilizado até hoje. Esse consiste em uma vala preenchida com areia e que dispõem de duas tubulações longitudinais, uma superior que é responsável pela distribuição do efluente e outra inferior que tem como finalidade a coleta do efluente percolado (Figura 7). Assim como os filtros de areia, esse tipo de sistema é indicado para solos com uma permeabilidade inferior a 25 L/m<sup>2</sup>.dia.



**Figura 7 - Corte longitudinal e transversal de uma vala de filtração**

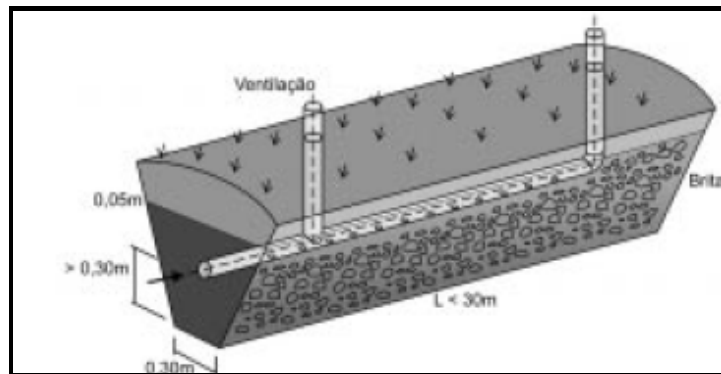
Fonte: *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001)

De acordo com *JORDÃO e PESSÔA* (1995), o sistema de valas de filtração deve ser empregado quando não queremos que ocorra a contaminação do lençol freático, quando o solo não permita adotar outro tipo de sistema econômico e quando o corpo receptor for favorável.

## Valas de infiltração

Valas de infiltração são valas escavadas no solo preenchidas com meio filtrante e providas de tubos, que tem por objetivo a depuração e disposição final do esgoto na subsuperfície do solo submetidos a condições essencialmente aeróbias (ABNT - NBR 13969, 1997).

A vala de infiltração é um método de disposição final de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto, que ocorre devido à percolação do efluente no solo, onde permite que ocorra a depuração dos poluentes por processos físicos, químicos e bioquímicos. Esse tipo de vala geralmente é preenchida com brita, possuem uma tubulação não estanque na parte superior e são recobertas com o próprio solo local. Também possuem uma pequena declividade para facilitar o fluxo do efluente (Figura 8), (CORAUCCI FILHO *et al.*, 2001).



**Figura 8 - Esquema de uma vala de infiltração**

Fonte: Adaptado NBR 13.969 (1997) apud CAMPOS, (1999)

Esse sistema possui um melhor desempenho quando a camada superficial de solo tem maior capacidade de infiltração do que a camada inferior e quando o nível do lençol freático não é muito alto. A composição química do solo exerce fundamental importância na remoção de agentes patogênicos e fósforo, e em sistemas intermitentes a eficiência na remoção de nitrogênio é maior o que possibilita uma vida útil maior do sistema (CORAUCCI FILHO *et al.*, 2001).

De acordo com JORDÃO e PESSÔA (1995), a percolação do efluente do tanque séptico no solo permitirá a mineralização do esgoto, antes que esse contamine as águas subterrâneas ou a superfície que se deseja proteger.

A Tabela 3, mostra a eficiência na remoção de alguns parâmetros químicos e físicos, assim como, as características da aplicação de efluentes de um sistema anaeróbio no solo quando comparados ao um sistema de tratamento convencional (secundário).

**Tabela 3 - Comparação entre um sistema de tratamento no solo com o sistema convencional**

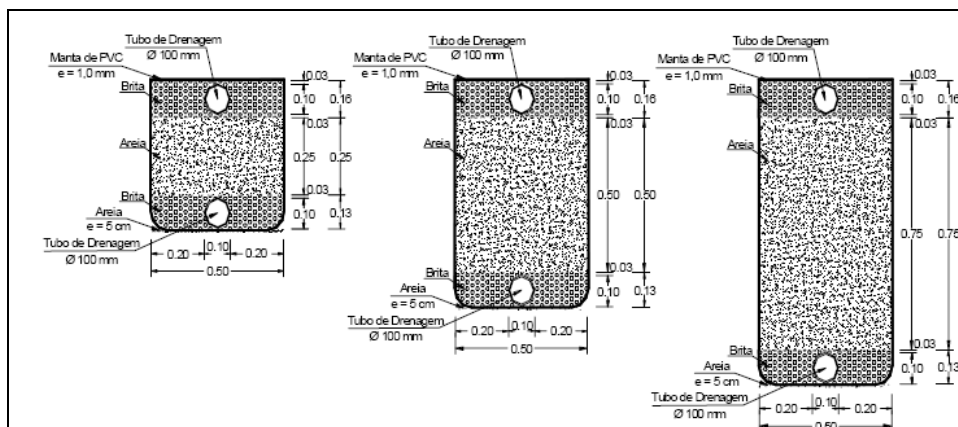
Tratamento	No solo	Convencional	
Tempo de detenção	Líquido	Longo (semanas)	Curto (6-24 h)
	Sólido	Infinito	10-50 dias
Produção de lodo		Nenhuma	Considerável
Remoção (%)	DBO	> 96	85 - 90
	SS	> 99	85 - 90
	N	30 - 50	15 - 20
	P	> 99	10 - 15
	Metais	> 90	10 - 15
Aeração	Ocorre por difusão por gás no período de não aplicação do despejo	Por diferentes mecanismos de aeração com difusão por meio do líquido	
Microorganismos	Diversos e em maior quantidade do que no sistema convencional	Bactérias, protozoários e outros	

Fonte: LOEHR & OVERCASH apud CAMPOS, (1999)

### 3.4.3 Estudos realizados em sistemas de tratamento de esgotos com disposição final no solo

Alguns estudos foram realizados para detectar a contaminação do lençol freático por sistemas de tratamento de esgoto com disposição final no solo ou para verificar a eficiência dos sistemas.

Em estudo realizado por *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001), na cidade de Campinas, que consistia de valas de filtração com método de pós-tratamento de efluentes de filtros anaeróbios e tanques sépticos, apresentaram resultados satisfatórios em relação a remoção de DBO, DQO, nitrogênio e fósforo. Foram utilizadas 3 valas de infiltração para tratamento do efluente com alturas do meio filtrante de 0,25; 0,50 e 0,75 m, (Figura 9).



**Figura 9 - Esquema das valas de filtração utilizadas no estudo**

Fonte: *CORAUCCI FILHO et al.*, (2001)

A alcalinidade registrada no efluente das valas foi menor que no afluente, isso devido a nitrificação que ocorre nas mesmas. Referindo-se a  $DQO_{total}$ , essa teve uma redução superior a 90% em todas as valas, o mesmo aconteceu para a  $DBO_{total}$ . No efluente das valas foi verificado também um aumento dos sólidos suspensos totais (SST), isso devido, provavelmente, a lavagem da areia com a qual se construíram os filtros. Outro aspecto que vale ser ressaltado é que a quantidade de fósforo presente no efluente das valas sofreu uma redução em sua concentração de aproximadamente 90%.

De acordo com BOURI *et al.*, (2007), solos presentes em regiões áridas e semi-áridas da região de Sidi Abid, Tunísia, que foram irrigados com efluentes de estações de tratamento de esgoto, apresentaram um acréscimo no nível do lençol freático em até 1 metro por ano. Por outro lado o lençol freático presente nessa região, apresentou um aumento nas concentrações de  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ . Outro problema registrado foi o aumento da sanidade e da quantidade de matéria orgânica presente tanto no solo quanto no lençol freático.

NOLA *et al.*, (2006), realizou um estudo com duas colunas de solo, onde cada coluna era composta por duas camadas de solos distintos. A mostra de solo 1, era composta por uma camada de solo marrom escura, argilo-areia, e por uma camada marrom avermelhada com textura de argila plástica. Já a amostra 2, era composta por um solo marrom amarelado, grãos de quartzo, e outra camada de silte argilosa esbranquiçada tendendo à amarelada. Ambas as amostras receberam efluentes domésticos no topo e o líquido que percolou através do solo foi submetido a inúmeras análises. Os resultados das análises mostraram que o solo 1 conseguiu reter de 69,22 a 99,95% dos coliformes e o solo 2 reteve de 96,98 à 99,89%. Ambos os solos tiveram uma eficiência de 99,99% na remoção de estafilococos. A quantidade de amônia e demais íons retidos variou de 97,37 à 98,74%.

De acordo com MUCHOVEJ & REHCIGL, 1994 Apud COSTA *et al.* (1999), perdas de nitrato por lixiviação em solos são mínimas quando o nitrogênio for aplicado em concentrações inferiores a 200 kg/hab.ano. O nitrogênio não fica retido em solos que possuem grandes quantidades de cargas negativas, sendo facilmente lixiviado. Na ausência do fluxo de massa, o transporte difuso foi o único responsável pela locomoção do nitrato.

Um estudo realizado, COSTA *et al.*, (1999), mostrou que quando uma carga de nitrogênio, 830 e 1250 mg/mL, foi aplicada a uma coluna de Latossolo Vermelho-Amarelo de 1 m de comprimento, observou-se que de 5 a 10 cm de profundidade no solo, a concentração de nitrato encontrava-se inicialmente alta; em seguida, notou-se uma redução brusca neste valor, entre as profundidades de 10 a 20 cm. Isso devido a grande quantidade de íons positivos presentes nesse tipo de solo, que fazem com que os ânions de nitrogênio sejam adsorvidos.

Na cidade de Shijiazhuang, Província de Hebei na China, foi realizado um estudo para identificar a contaminação do lençol freático proveniente da irrigação das terras com efluentes de estações de tratamento de águas residuárias. De acordo com CHEN *et al.*, (2005), a concentração média de nitrato encontrada no lençol foi de 40 mg/L em uma profundidade que variou de 20 – 30 m. Outro fator analisado foi a pluma de nitrogênio formada, essa se expandiu a uma taxa de 2,0-2,5 m/ano na vertical e 41,8-62,5 m/ano na horizontal.



### **3.5. Fatores físico-químicos e biológicos indicadores de poluição por esgotos das águas subterrâneas**

#### **3.5.1 Nitrogênio**

Em muitos países, o interesse público pela deterioração da qualidade das águas subterrâneas, através da contaminação por nitrato, vem aumentando nos últimos anos. Este problema tem aumentado devido a ações antrópicas. Evidências indicam que o nível de nitrato excede o nível permitido em muitos dos aquíferos localizados na Palestina (ALMASRI, 2007).

Além do uso de fertilizantes agrícolas e criação de animais, os sistemas de saneamento *in situ*, por tanques sépticos ou fossas rudimentares, constituem outra importante fonte de nitrogênio nas águas subterrâneas. De acordo com o IBGE (2000), 38,61 % da população brasileira utiliza desse sistema para tratamento de esgoto, o que significa que, após o tanque séptico, o efluente segue para o solo podendo atingir o lençol freático (VARNIER *et al.*, 2002)

Em um estudo realizado pelo mesmo autor, onde foram feitos poços de monitoramento ao redor de um tanque séptico, mostram que as concentrações de nitrogênio na sua forma reduzida, nitrogênio orgânico e amônia, foram mais elevadas nos poços de monitoramento próximos a fonte de contaminação. O mesmo não ocorre com a forma oxidada, nitrato, que apresentara maiores concentrações nos poços mais distantes.

De acordo com estudos realizados por ALMASRI (2007), sistemas de tanques sépticos que possuem seus efluentes infiltrados no solo, são responsáveis por 1% da quantidade de nitrato encontrado no lençol freático de Sumas-Blaine.

#### **3.5.2 Indicadores microbiológicos**

##### **Coliformes totais**

Segundo Gonçalves (2003), “*coliformes totais (bactérias do grupo coliformes) – são bacilos Gram negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos, os quais fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5$  °C, em 24 – 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  – lactosidase*”.

##### **Organismos termotolerantes**

Para constatar a presença de patógenos na água é utilizado, normalmente, um grupo de microorganismo, conhecidos como organismos indicadores de matéria orgânica fecal. Muitos organismos têm sido sugeridos como indicadores microbianos de poluição fecal, mas um dos mais importantes indicadores são as bactérias termotolerantes. Isso porque sua detecção é relativamente simples, rápida e apresenta resultados confiáveis (FOPPEN e SCHIJVEN, 2005).

“O grupo dos coliformes termotolerantes inclui todas as bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 horas a 44,5 - 45,5°C” (BERGEY *et al.*, 1984; apud FOPPEN e SCHIJVEN, 2005).

Fazem parte dos organismos termotolerantes espécies como, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Coliformes termotolerantes são frequentemente indicados como coliformes fecais, entretanto, este termo não está correto, pois nem todos os organismos termotolerantes são de origem fecal (PAYMENT *et al.*, 2003 apud FOPPEN e SCHIJVEN, 2005).

De acordo com o Ministério da Saúde (2007) a água para consumo humano deve ser livre de coliformes termotolerantes com ausência em 100 ml ou positividade de 5% para coliformes totais.

### ***Escherichia coli***

Segundo GONÇALVES (2003), “*Escherichia coli* é uma bactéria da família *Enterobacteriaceae*, que fermenta a lactose a manitol, com produção de ácido e gás a 44,5 ± 0,2 °C em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade das enzimas β – galactosidase e β – glucoronidase”.

*Escherichia coli* é um dos habitantes mais comum do trato intestinal humano e provavelmente o organismo mais familiar da microbiologia. Pertencente ao grupo das bactérias facultativas gram-negativas. Sua presença na água é de fundamental importância, pois indica uma contaminação fecal. *Escherichia coli* não é normalmente considerada um organismo patogênico; entretanto, pode causar infecções no trato urinário e as enterotoxinas produzidas por ela podem causar a “diarréia dos viajantes” (TORTORA, *et al.*, 1997).

As doses infectantes, (DI<sub>50</sub>), para humanos, são bastante variáveis, entre 10<sup>2</sup> e 10<sup>10</sup> organismos. É comprovado que a *Escherichia coli* é responsável por um alto índice estatístico de morbidade e mortalidade infantil, devido a doenças diarréicas agudas em países em desenvolvimento. Devido a esse fato, surge a necessidade de ser evitado a contaminação das fontes naturais de água por esse organismo, preservando assim a saúde pública (GONÇALVES, 2003).

Pelo fato de sua carga superficial negativa a *Escherichia coli* pode viajar grandes distâncias no subsolo, devido a isso, e a facilidade com que são feitas análises para sua detecção, a *E. coli* se apresenta como um bom identificador de contaminação fecal (FOPPEN e SCHIJVEN, 2005)

## **Ovos de helmintos**

Embora os ovos de helmintos sejam visualizados apenas em microscópio eles não são considerados microorganismos. Em geral, os ovos de helmintos são extremamente resistentes; podem sobreviver por um longo período no meio ambiente e, a utilização da maioria dos desinfetantes utilizados no tratamento de água e esgotos, não são eficazes. Por outro lado, apresentam tamanho e densidade suficiente para serem removidos em sistemas de filtração e sedimentação (GONÇALVES, 2003).

A dose infectante dos helmintos é muito baixa, bastando apenas um ovo, larva, para o desenvolvimento de vermes adultos no organismo do hospedeiro, desencadeando então um processo infeccioso (GONÇALVES, 2003 e PELCZAR JR *et al.*, 1996).

Os ovos eclodem no intestino do animal e desenvolvem larvas que penetram na parede intestinal, infectando varias partes do animal. Nesses locais as larvas desenvolvem a “forma latente”, denominada cisticerco, pequenos sacos repletos de líquidos com cerca de 10 a 20 mm de diâmetro. Caso o homem venha a consumir dessa carne, inadequadamente cozida, poderá ser contaminado. Caso o homem se auto infecte com ovos de helmintos, isso pode gerar doenças bem mais graves (PELCZAR JR *et al.*, 1996, DRAZEN, *et al.*, 2001).

### **3.6 Doenças relacionadas ao uso de águas contaminadas**

Doenças transmitidas por água ocorrem quando um organismo infeccioso é adquirido por meio de água contaminada por matéria fecal, contendo patógenos humanos ou animais. Essa água contaminada pode causar de, um simples desconforto intestinal, a doenças graves (PELCZAR JR *et al.*, 1996).

Estima-se que 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento, sejam causados pelo consumo de água contaminada, e, em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde devido a doenças relacionadas à água (AGENDA 21, 1996).

As excretas humanas contem quatro tipos de organismos patogênicos, ovos de helmintos, protozoários, vírus e bactérias que, por sua vez, são excretados em grande ou pequena quantidade, dependendo do estado de saúde do indivíduo. Os vírus se diferem dos demais organismos, fundamentalmente, pelo fato de que eles não podem se reproduzir no meio ambiente, necessitando de um hospedeiro vivo, o que faz com que seu número só venha a reduzir com o passar do tempo, enquanto estiver em contato com um ambiente externo (LEWIS, *et al.*, 1986).

Na Tabela 4, são apresentadas algumas doenças causadas por organismos patogênicos, seus respectivos agentes e o tamanho de cada agente. Quando tratamos de disposição de efluentes em solo, o tamanho de cada organismo será de fundamental importância, pois dependendo do tamanho, o agente encontrará maior ou menor dificuldade de atingir as águas subterrâneas.

**Tabela 4 - Doenças transmitidas por organismos patogênicos, agente patogênico e seu respectivo tamanho**

<b>Doenças transmitidas por vírus</b>	<b>Agente patogênico</b>	<b>Tamanho</b>
Hepatite infecciosa	<i>Vírus da Hepatite A</i>	27 nm
Poliomelite	<i>Polivírus</i>	0,01 µm
Diarréias	<i>Rotavírus,</i> <i>Agente Norwalk</i>	70 nm 26 a 32 nm
Diversas doenças e sintomas	<i>Echovírus e Coxsackievírus</i>	20 a 30 nm
<b>Doenças transmitidas por bactérias</b>	<b>Agente patogênico</b>	<b>Tamanho</b>
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	1 a 2 µm
Febre tifóide	<i>Salmonella typhi</i>	0,6 x 3 µm
Febre paratifóide	<i>Salmonella paratyphi</i>	-
Disenteria paratifoide	<i>Shigella spp.</i>	0,4 x 0,6 x 2,5 µm
Diarréias	<i>E. coli Enterotoxigênica</i> <i>E. coli Enteroinvasiva</i> <i>E. coli Enteropatogênica</i> <i>Salmonella spp</i> <i>Campylobacter petus</i> <i>spp. Jejuni</i>	0,5 x 1,0 x 2,0 µm 0,5 x 1,0 x 2,0 µm 0,5 x 1,0 x 2,0 µm 1 -3 x 0,6 -0,8 µm 0,2 - 0,5 x 0,5 - 5µm
<b>Doenças transmitidas por protozoários</b>	<b>Agente patogênico</b>	<b>Tamanho</b>
Amebíase (disenteria amebiana)	<i>Entamoeba histolytica</i>	20 a 30 µm
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	11 a 18 µm
Balantidíase	<i>Balantidium coli</i>	Até 200 µm
<b>Doenças causadas por helmintos</b>	<b>Agente patogênico</b>	<b>Tamanho</b>
Cisticercose	<i>Taenia solium</i>	30 a 35 µm
Teníase	<i>Taenia solium</i>	30 a 35 µm
Teníase	<i>Taenia saginata</i>	30 a 35 µm
Triquinose	<i>Trichinella spiralis</i>	
Oxiúro	<i>Enterobius vermiculares</i> <i>Trichuris trichiura</i> <i>Ascaris lumbricóide</i>	55 x 25 µm 50 x 22 µm 45 x 65 µm

Fonte: LEWIS, *et al.*, 1986; PELCZAR JR *et al.*, 1996 e DRAZEN, *et al.*, 2001

Outra doença que pode ser causada pela ingestão de águas contaminadas é a metahemoglobinemia (cianose infantil), causada por altas doses de nitrato presente nas águas ingeridas pelo indivíduo. Essa doença atinge principalmente as crianças com menos de três meses de idade. A alta concentração de nitrato na água também pode estar ligada a carcinogênese. Nos últimos anos tem sido registrado um crescente interesse no estudo do câncer, associado ao consumo dessa substância (LEWIS *et al.*, 1986).

A água é um elemento essencial à vida, porém, pode trazer riscos à saúde devido a sua má qualidade, servindo de veículo para vários agentes biológicos e químicos. Por este motivo, o homem deve estar atento aos fatores que podem interferir negativamente na qualidade da água que consome e no seu destino final.

Segundo o Ministério da Saúde, os grandes desafios da saúde ainda são, principalmente, as hepatites, a malária, a febre amarela, a cólera, a esquistossomose, o dengue, as leishmanioses, a hantavirose. De acordo com essa lista, percebe-se a importância que há nas doenças de veiculação hídrica, ou que tenham como elo importante a cadeia do ambiente (MS, 2007).

### **3.7 Fatores que afetam o transporte e a sobrevivência de organismos patogênicos no solo**

Os aquíferos têm como sua principal defesa, contra a poluição, a zona não saturada no solo, pois essa funciona como uma barreira para a infiltração de substâncias diversas como, compostos inorgânicos, orgânicos e também organismos vivos, mais comumente microorganismos. Dentre os fatores que afetam o transporte dos microorganismos podemos citar a filtração, adsorção, chuva, pH, composição do solo, carga hidráulica, cátions e matéria orgânica solúvel (LEWIS *et al.*, 1986).

#### **Filtração**

A filtração de organismos na camada superficial do solo aparenta ser o mecanismo mais eficaz na limitação de seus movimentos. De acordo com estudos já elaborados, a filtração é mais eficiente na superfície da película da zona de colmatação. De acordo com ZIBELL *et al.*, 1985, apud LEWIS *et al.*, (1986), a população bacteriana abaixo e ao lado do leito de colmatação, 30 cm em ambas as direções, é consideravelmente inferior, do que no próprio leito de colmatação.

Em um estudo realizado por CALDWELL E PAR, 1937 apud LEWIS *et al.*, (1986), numa fossa séptica, recém construída, pôde-se notar a presença de coliformes fecais em distâncias de até dez metros da fossa, sendo que esse número decai com o passar do tempo. Após três meses do uso da mesma fossa, devido ao bloqueio dos poros do solo, a quantidade de coliformes detectadas foi relevantemente menor.

#### **Adsorção**

A adsorção é o fator de maior influência no transporte de microorganismos no solo. Como exemplo, temos os vírus que são microorganismos extremamente pequenos, em torno de 20 nm, e que parecem ser removidos unicamente pela adsorção. LEWIS *et al.*, (1986), notaram que o tempo exerce fundamental importância na remoção de bactérias e vírus; quanto maior for o tempo de contato entre os microorganismos e a zona não saturada, maior será sua remoção por adsorção.

Entretanto a adsorção atua como papel negativo, no que se refere a sobrevivência de microorganismos no solo. Segundo estudos realizados no Texas, EUA, quanto maior for o grau de adsorção, maior será a sobrevivência dos microorganismos no solo. Isso significa que os solos que forem mais eficazes na remoção de microorganismos, também são os que possibilitam um período maior de sobrevivência dos mesmos (LEWIS *et al.*, 1986).

## **Chuvas**

Com a ocorrência de grandes chuvas, de altas intensidades, os organismos próximos a superfície do solo podem se desprender em função dos gradientes iônicos na massa de solo. Em estudos realizados com simulações de chuvas LANDRY *et al.*, 1979 apud LEWIS *et al.*, (1986), constataram que a quantidade de vírus mobilizados variou de 24 a 66% do total. As chuvas também podem aumentar o tempo de sobrevivência dos microrganismos no solo, pois esses resistem por um período maior em solos úmidos, do que em solos com baixa umidade (LEWIS *et al.*, 1986).

## **pH**

A absorção dos vírus no solo dependem do pH. Quanto menor o pH, maior será a carga positiva das partículas virais e mais facilmente os vírus serão adsorvidos. Em oposição, quanto mais elevado o pH menor será a adsorção dos microrganismos (LEWIS *et al.*, 1986). De acordo com o mesmo autor, as bactérias sobrevivem menos em solos com pH reduzidos, em torno de 3,0 a 5,0, do que em solos alcalinos.

## **Composição do solo**

Vírus e bactérias são adsorvidos a partículas de argila e, quanto maior for o número de partículas desse material no solo, maior será a adsorção. Outro fator que influencia é a quantidade de matéria orgânica no solo: quanto maior, mais facilmente os vírus e bactérias serão removidos (LEWIS *et al.*, 1986).

Estudos realizados por GOLDSHMID *et. al.*, 1973 apud LEWIS *et al.*, (1986), que eram providos de uma coluna de areia esterilizada, onde bactérias foram diluídas em água da torneira e água tridestilada e posteriormente adicionadas a coluna de solo, mostram que a remoção de bactérias foi maior na presença de água da torneira.

POYNTER e SLADE, 1977 sugeriram que a remoção de microrganismos no solo seja apenas um processo biológico. Segundo LEWIS *et al.*, (1986), o sistema de filtração em solos, só terá relevância na remoção de microrganismos, se o diâmetro dos poros do solo for menor que os microrganismos, em média, inferiores a  $0,5 \times 10^{-6}$  m.

Um fator que tem grande influência no funcionamento de sistemas com disposição final no solo é a área efetiva e o coeficiente de uniformidade de seu meio filtrante. 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 a ser filtrada é pouca e o filtro poderá ser entupido rapidamente (GONÇALVES, 2003).

### **Carga hidráulica e taxa de fluxo**

O poder de penetração dos microrganismos varia proporcionalmente com a taxa de fluxo, ou seja, quanto maior a taxa, maior a profundidade alcançada. A carga hidráulica aumenta durante períodos chuvoso, fazendo com o que a penetração dos microrganismos no solo seja maior (LEWIS *et al.*, 1986).

De acordo com GONÇALVES (2003), a taxa de aplicação é um fator crítico no que se refere ao bom funcionamento dos sistemas de tratamento de esgoto com disposição final no solo. O sistema deve garantir uma distribuição uniforme do efluente e deve-se procurar buscar entre as taxas de aplicação um tempo de descanso para o sistema com objetivo de mantê-lo aeróbio. A taxa de aplicação pode variar de 82 L/m<sup>2</sup>.dia a 200 L/m<sup>2</sup>.dia (EPA, 1980, apud GONÇALVES, 2003).

### **Matéria orgânica solúvel**

A matéria orgânica solúvel tende a ser adsorvida pelo solo, competindo diretamente com organismos a serem adsorvidos. Muitas vezes os vírus já adsorvidos podem se desprender e darem lugar a matéria orgânica solúvel (GERBAS *et al.*, 1975 apud LEWIS *et al.*, 1986).

### **Cátions**

Os cátions podem favorecer a neutralização ou redução das forças repulsivas existente entre os microorganismos e o solo que possui carga negativa, facilitando então a adsorção (LEWIS *et al.*, 1986).

LANDRY *et al.*, 1979 apud LEWIS *et al.*, (1986), dizem que grande quantidade de vírus, 99,99% ou mais, poderiam ser removidas dos esgotos quando esses fossem submetidos à percolarem em uma camada de areia calcária de 0.25 m. Esses vírus só conseguiriam atravessar esse solo com a presença de fortes chuvas, um dia após a aplicação do efluente.

## **3.8 Processos de transportes de compostos químicos no solo**

Existem quatro tipos de transportes físicos que controlam o transporte dos compostos químicos no solo: a advecção, dispersão, absorção e retardamento, e as transformações químicas e biológicas (MACKAY *et al.*, 1985).

Advecção é o resultado do movimento unidirecional do fluido, sendo que as características das substâncias transportadas não são alteradas durante o percurso. A advecção transporta a matéria, que pode estar dissolvida ou não, de uma posição no espaço para outra (BAPTISTA, 2006).

A dispersão consiste no mecanismo responsável pela diminuição da concentração dos contaminantes no fluido de percolação e que pode se dar através de dois processos: dispersão hidrodinâmica e difusão molecular. A dispersão hidrodinâmica acontece pela restrição de fluxo nos poros do solo que gera redução de velocidade da percolação dos componentes mais viscosos. Este processo está associado à redução da espessura da fase livre e também pela produção de uma fração de emulsões que podem compor a fase dissolvida (AZAMBUJA *et al.*, 2000).

Já o retardamento ocorre quando o contaminante é adsorvido pelo material sólido do aquífero. A adsorção é um fenômeno de interação entre as forças de atração molecular da superfície, do solo e do fluido (MACKAY *et al.*, 1985). De acordo com AKASH e O'BRIEN (1996), adsorção é o aumento da concentração de um componente específico na superfície da interface entre duas fases, e sabe-se que a área superficial é uma das principais características que afeta a capacidade de adsorção do adsorvente.

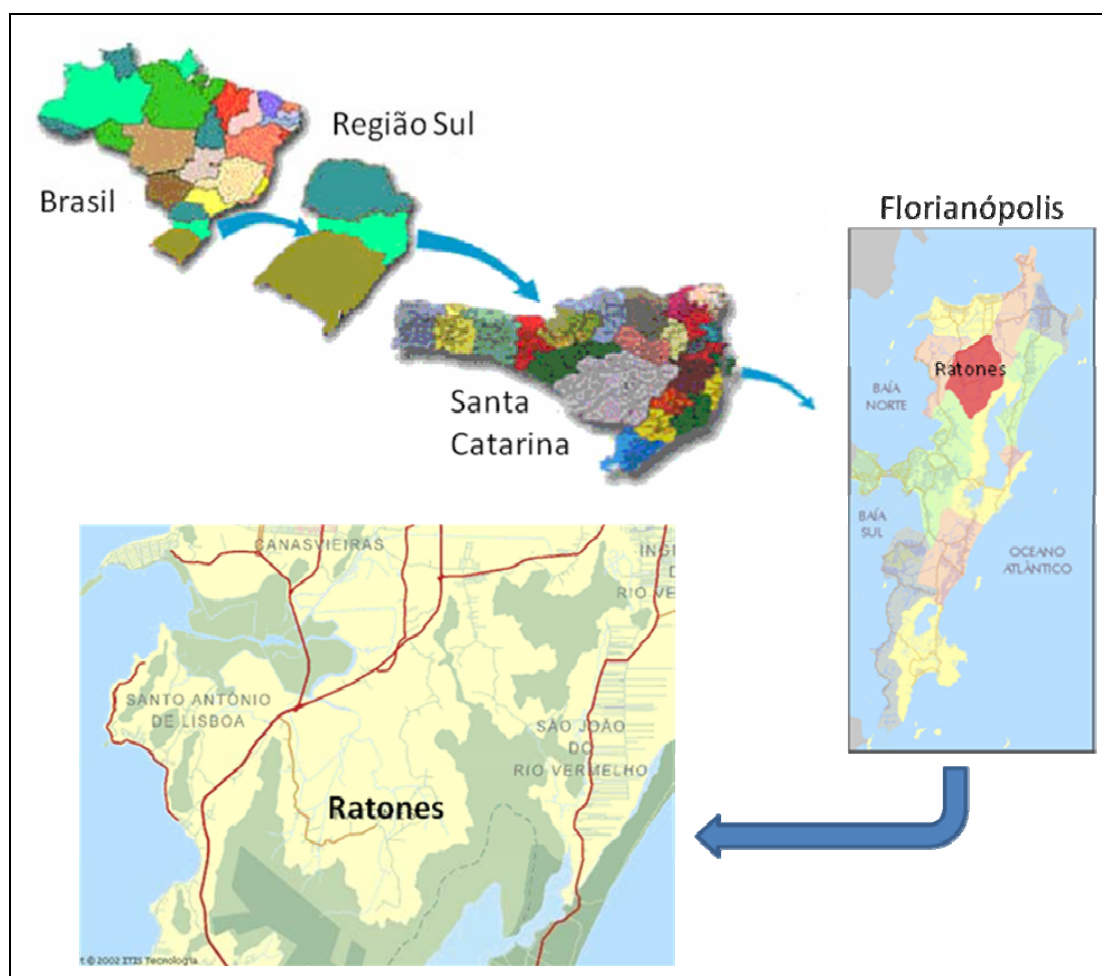
Na transformação química, as substâncias sofrem alterações moleculares onde ocorre o surgimento de novas substâncias, sendo que, essas dependem de agentes externos. O mesmo acontece com as transformações biológicas, onde agentes externos, microorganismos, agem na matéria fazendo com que ocorra a transformação de uma matéria A para uma matéria B.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Localização da área de estudo

O sistema experimental para verificação do grau de comprometimento do lençol freático foi construído, instalado e monitorado em uma residência no Distrito de Ratoles – Florianópolis/SC. Mais especificamente, a residência se localiza na Rua Bento Manoel Ferreira e possui coordenadas geográficas 27°30'25.5"S, 48°28'19.1"W (obtidas com o auxílio de um GPS). Segundo o IBGE (2000), o Distrito de Ratoles possui uma área de 33,12 km<sup>2</sup> e uma população de 2.620 habitantes. A Figura 10, mostra a localização de Ratoles na Ilha de Santa Catarina.



**Figura 10 - Localização da Ilha de Santa Catarina e da Comunidade de Ratoles**

Fonte: adaptado de IPUF, 2007

No local da pesquisa existem outros projetos, todos realizados pelo GESAD, da Universidade Federal de Santa Catarina. O experimento faz parte de um projeto de pesquisa inserido no PROSAB. A residência que faz parte do estudo trata-se de uma residência unifamiliar, Figura 11, onde moram 3 indivíduos. O local foi escolhido devido uma série de critérios, tais como: número de residentes, tempo de permanência em casa, nível do lençol freático, disponibilidade do terreno para as instalações e características do solo local.



**Figura 11 - Residência onde foram realizado o estudo**

Fonte: acervo GESAD

## **4.2 Perfil do solo**

De acordo com um estudo realizado, o solo local foi classificado como areno-argiloso, apresentando nos primeiros 40 cm de profundidade, um solo arenoso de cor marrom escura com presença de matéria orgânica. No 1,50 m seguinte o solo apresentou um material argilo-arenoso, de cor marrom com baixa consistência. Da profundidade de 1,90 m até 2,90 m verificou-se a presença de um material areno-argiloso, de cor marrom amarelado passando para marrom avermelhado com o aumento da profundidade. Nos próximos 50 cm foi detectado a presença de material arenoso, com alta granulometria, de cor amarelado com pouca argila. Nos últimos 30 cm detectou-se um material argilo-siltoso de coloração marrom avermelhado. O nível do lençol freático foi detectado a 3,10 m de profundidade, sendo que a análise se estendeu até 3,70 m de profundidade.

A Figura 12, mostra o perfil do solo no local do estudo.

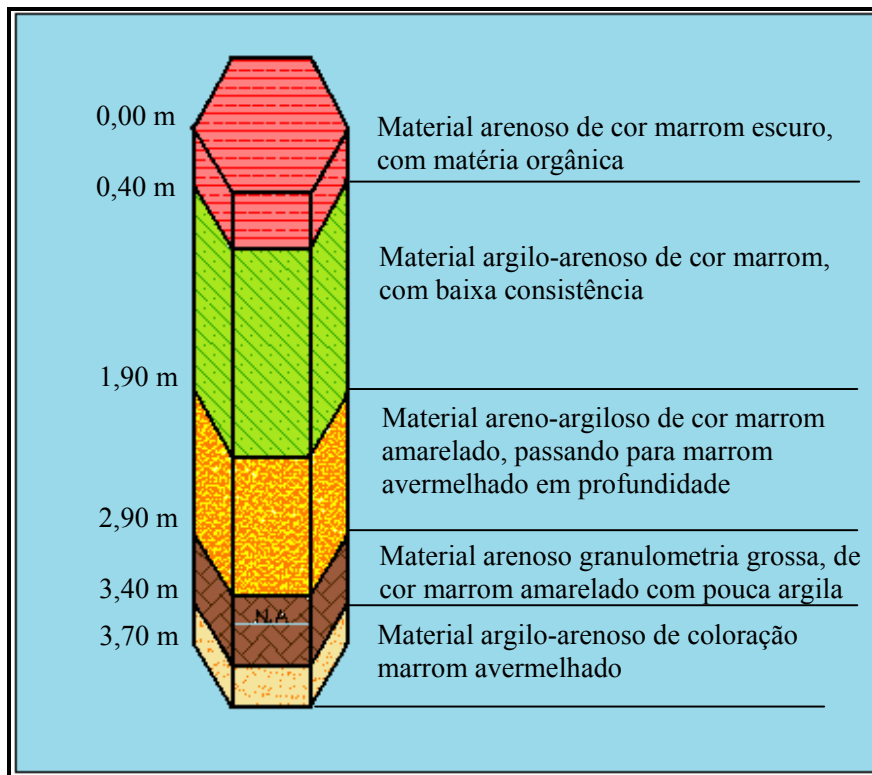


Figura 12 - Perfil do terreno no local da pesquisa

### 4.3 Sistema de Tanque Séptico, Filtro de Areia e Vala de Infiltração

O sistema de tratamento utilizado para as águas negras é constituído por um tanque séptico seguido por um filtro de areia e um sistema de valas de infiltração. A Figura 13, mostra um esquema do sistema de tratamento adotado no experimento.

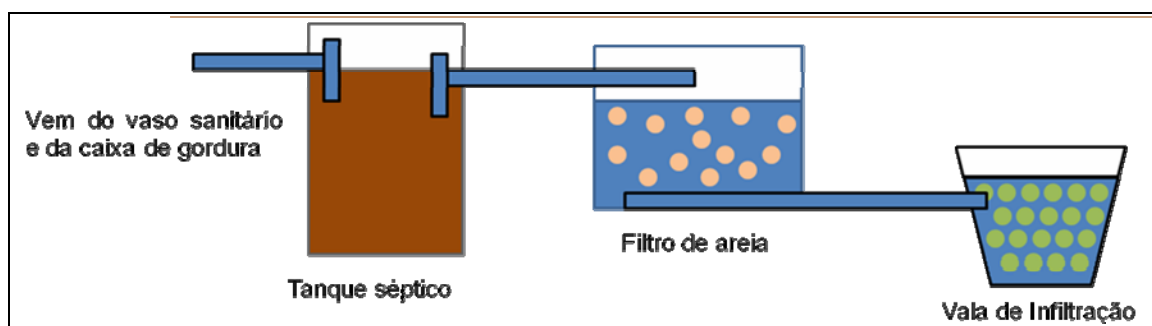


Figura 13 - Esquema do sistema de tratamento de águas negras

As águas negras tratadas pelo sistema são provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha. Embora alguns autores não considerem as águas provenientes da pia da cozinha, como sendo águas negras, essas foram classificadas com tal nesse trabalho.

## Tanque Séptico

O tanque séptico foi projetado de acordo com a NBR 7229/93 (ABNT, 1993), considerando a contribuição diária de  $C = 67 \text{ L/ habitante.dia}$ . Foi adotado um tempo para a remoção do lodo igual a 2 anos. O tipo de tanque séptico adotado foi o de câmara única, sendo esse construído em anéis de concreto pré-fabricados, possuindo forma cilíndrica. Na Figura 14, pode-se visualizar a caixa de gordura e o tanque séptico presentes na pesquisa.



Figura 14 - Vista superior caixa de gordura e do tanque séptico.

Fonte: acervo GESAD

O volume total do tanque séptico é de  $1,70 \text{ m}^3$ , com dimensões iguais a 1,82 m de altura e 1,10 m de diâmetro interno. O tanque séptico recebe efluentes provenientes do vaso sanitário e da caixa de gordura, com uma vazão média de  $200 \text{ L.dia}^{-1}$  (Figura 15).

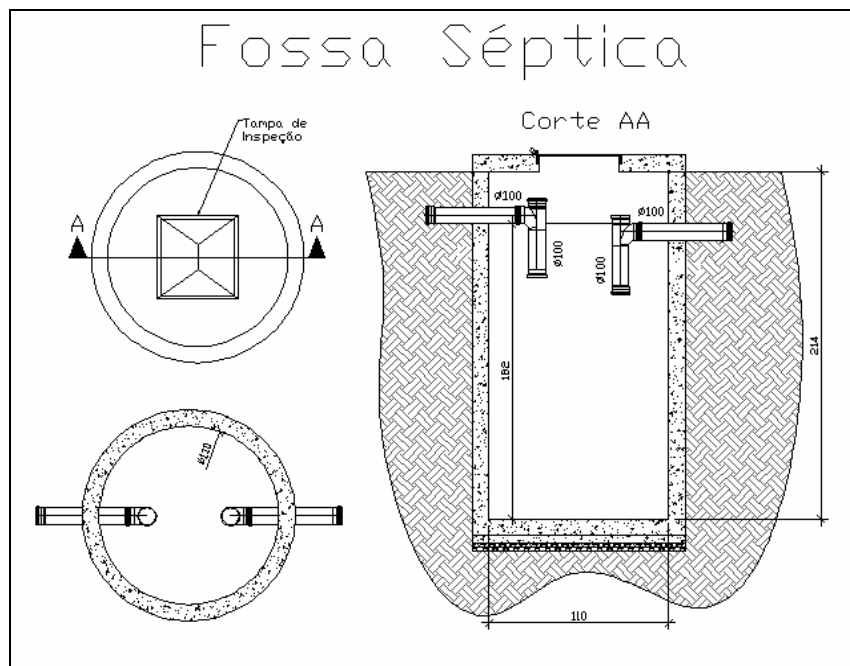


Figura 15 - Fossa séptica circular de câmara única

## Filtro de Areia

O filtro de areia foi dimensionado e projetado seguindo recomendações da NBR 13969 (ABNT, 1997). Trata-se de um filtro de fluxo descendente, confeccionado em uma caixa d'água de polipropileno, possuindo um meio filtrante com altura de 0,85 m (Figura 16). O material de preenchimento do filtro foi areia grossa, e esse foi projetado visando um taxa hidráulica de aplicação de  $100\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ . A contribuição diária é a mesma do tanque séptico,  $C = 67\text{ L}/\text{habitante}\cdot\text{dia}$ .



Figura 16 - Filtro de areia de fluxo descendente

O filtro possui um volume útil de  $1,70\text{ m}^3$  com um altura total de  $1,10\text{ m}$  sendo que a altura útil é de  $0,85\text{ m}$ . A diâmetro interno é de  $1,70\text{ m}$  e a área superficial é de  $2,0\text{ m}^2$ . Alguns desses valores podem ser visualizados na (Figura 17).

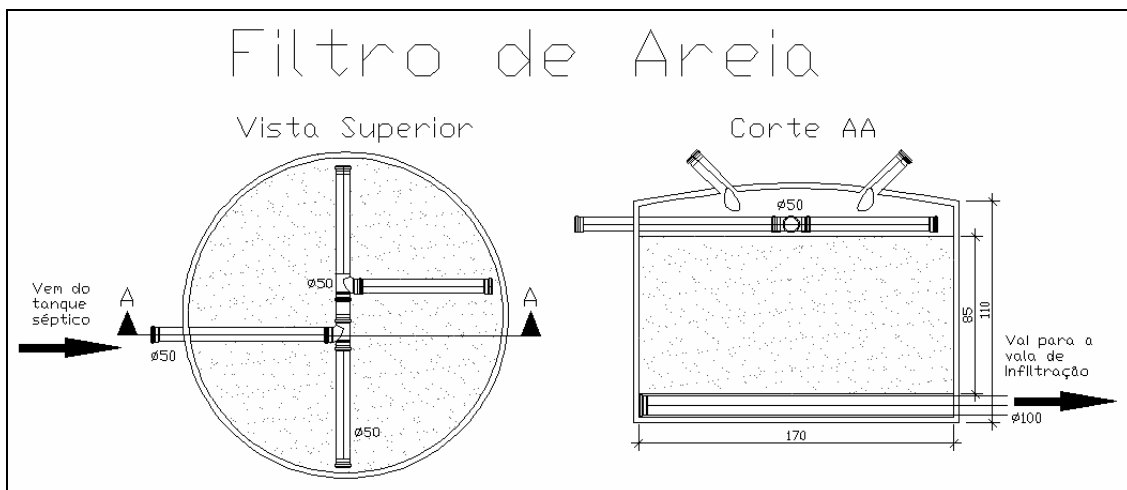


Figura 17 - Filtro de areia



## Vala de infiltração

A vala de infiltração foi projetada de acordo com a NBR 13969/97 (ABNT, 1997) tendo como parâmetro para o seu dimensionamento a permeabilidade do solo local que é de  $3,19 \times 10^{-4}$  cm/s. No sistema operam duas valas de infiltração com alternância de operação, as quais possuem forma retangular e estão dispostas paralelamente uma a outra. A Figura 18, mostra a área onde foram construídas as valas de infiltração e os pontos de coleta. As valas de infiltração funcionam de forma intermitente, sendo que durante todo o tempo em que foi realizado o trabalho a vala que estava em operação foi a de número 1 (V1).

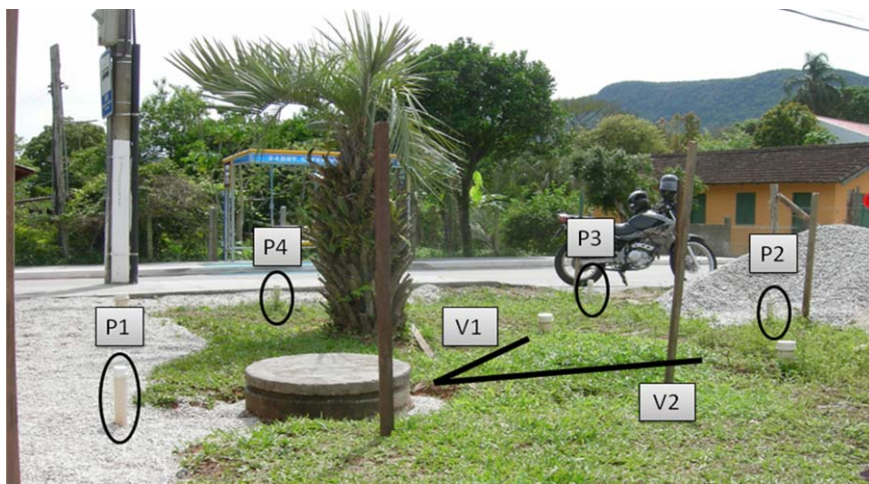


Figura 18 - Área das valas de infiltração e poços de monitoramento

O volume de cada vala é de aproximadamente  $0,35 \text{ m}^3$ , possuindo 0,5 m de largura, 1,58 m de comprimento e 0,45 m de profundidade. Os tubos utilizados para distribuição do efluente possuem um diâmetro de 100 mm sendo que esses possuem furos ao longo do seu comprimento para a uma melhor distribuição do efluente (Figura 19). A vala foi preenchida com pedra britada, recebe uma vazão média de  $200 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$ , a sua taxa de aplicação é de  $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e a área superficial total de  $2,2 \text{ m}^2$ .

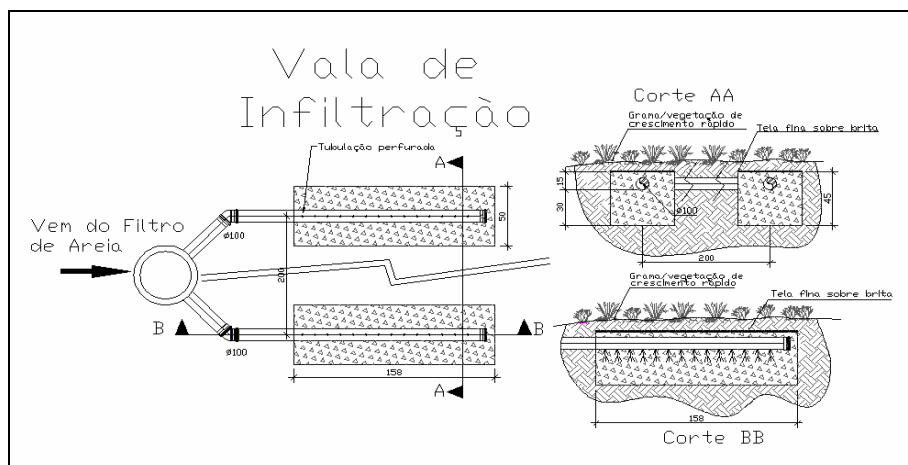


Figura 19 - Esquema das valas de infiltração

## 4.4 Intervalo de amostragem

A amostragem de água subterrânea dos poços de coleta teve início em abril e se estenderá até julho de 2008, onde terá fim o projeto PROSAB 5. Nesse trabalho serão analisados os dados compreendidos entre abril e novembro de 2008. Em meados de julho as amostragens começaram a serem realizadas quinzenalmente e se estenderam até novembro.

## 4.5 Preparação para amostragem

Os equipamentos utilizados para amostragem foram previamente montados, limpos e calibrados em laboratório. Para coleta das amostras foi utilizado uma bomba peristáltica, modelo Watson Marlow – WEG, um inversor de frequência, 12 frascos para coleta das amostras e 12 mangueiras de 30 cm, sendo que esses últimos dois itens foram esterilizados em autoclave. É importante salientar que cada ponto de coleta possui uma mangueira para coleta do material. Para escolha do material da mangueira levou-se em conta que esse deveria ser um material, que não reagisse com o líquido coletado.

### 4.5.1 Pontos de Coleta

A área em estudo conta com quatro diferentes poços de amostragem (Figura 20), sendo que em cada poço, foram coletadas amostras de três alturas diferentes. Três desses poços estão localizados após a vala de infiltração, seguindo o fluxo do lençol freático; o outro ponto de coleta está localizado de forma que não exista a contaminação do mesmo pelas águas infiltradas.

Os poços de monitoramento foram perfurados no entorno do sistema de valas de modo que os mesmos pudessem ser influenciados pelo escoamento do lençol freático juntamente com o efluente da vala de infiltração.

O poço um, (P1), foi utilizado como ponto base, pois acredita-se que nesse local não exista influência da vala de infiltração no lençol freático, estando assim, livre de qualquer contaminação proveniente do sistema de valas de infiltração.

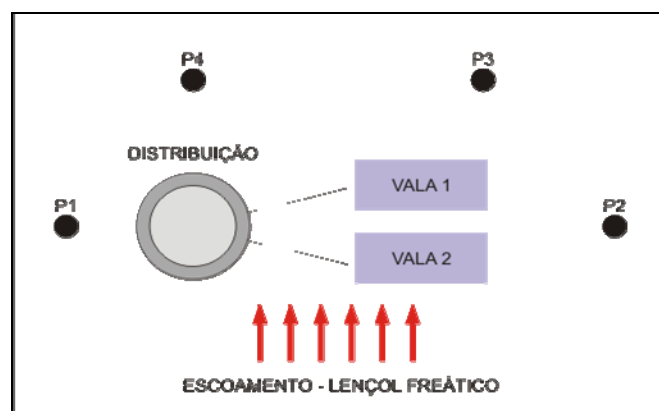


Figura 20 - Localização dos poços de monitoramento

A perfuração dos poços foi realizada manualmente e com o auxílio de uma furadeira, Bosh Hammer, (Figura 21). Foram utilizadas cinco ponteiros de ferro de 92 cm cada uma; a retirada das ponteiros foi feita manualmente e, quando necessário, utilizou-se um macaco.



**Figura 21 - Perfuração dos poços de monitoramento**

Fonte: acervo GESAD

O nível final de perfuração ficou em 4,70 m, sendo que foram introduzidas mangueiras em três alturas diferentes. Para cada altura as mangueiras receberam fitas identificadoras coloridas: amarela para 2,70 m; azul para 3,70 m e vermelha para 4,70 m de profundidade (Figura 22).



**Figura 22 - Identificação das mangueiras de acordo com a profundidade e poço de monitoramento**

Na ponta de cada mangueira foi acrescentado uma ponteira de nylon feita em torno com diâmetro interno de 3mm. A parte seguinte da mangueira foi perfurada e envolta por uma tela metálica que tem a função de evitar a bloqueio da mangueira quando estiverem sendo coletadas as amostras (Figura 23).





**Figura 23 - Detalhe da ponta de nylon e da extremidade das mangueiras de coleta**  
 Fonte: acervo GESAD

#### 4.5.2 Coleta das amostras

Para coleta das amostras foram utilizados frascos plásticos para colimetria previamente esterilizados. A esterilização do material foi realizada na autoclave do LIMA. Após iniciado o processo de bombeamento, a água foi armazenada diretamente nos frascos plásticos, antecipadamente identificados, evitando dessa forma a contaminação da amostra pelo meio e um possível erro de identificação do material coletado.

Para preservação das amostras, após a coleta, os frascos foram acondicionados em uma bolsa térmica, onde ficaram adequadamente alojados para o transporte até o local da realização das análises. Para segurança e, com o propósito de evitar a contaminação das amostras, os coletores utilizaram luvas esterilizadas.

### 4.6 Análises físico-químicas e biológicas

A Tabela 5, mostra as metodologias utilizadas para realização das análises físico-químicas e biológicas.

**Tabela 5 - Metodologia utilizada para realização das análises**

Parâmetro	Método	Unidade	Freqüência
Coliformes Totais	Substrato cromogênico. Colilert® Placas Petrifil®, 3M	NMP/100mL UFC	Quinzenal
<i>Escherichia coli</i>	Substrato cromogênico. Colilert® Placas Petrifil®, 3M	NMP/100mL UFC	Quinzenal
Nitrato	Espectrofotométrico – Standard Methods 4500 – NO(3)B. (APHA, 1995).	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Quinzenal
pH	Potenciométrico de líquido sobrenadante. (CETESB, 1977).	-	Quinzenal

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização das águas negras e do efluente após o filtro de areia

Para realização do trabalho foi necessário a caracterização dos efluentes estudados de modo que se pudesse conhecer as características dos mesmos e avaliar a eficiência do sistema de valas de infiltração.

A Tabela 6, mostra os parâmetros físico-químicos e biológicos das águas negras emitidas na residência de Ratoles, bem como, as características do efluente que é lançado nas valas de infiltração. As análises foram realizadas entre outubro de 2004 e fevereiro de 2006 sendo que o número de análises foi variável para cada parâmetro. O menor número foi de 6 análises para os parâmetros de temperatura e NTK, a média do número de análises foi de 24.

**Tabela 6 – Características físico-químicas das águas negras e do efluente após o filtro de areia**

Parâmetros	Águas Negras	Após o Filtro de Areia
Alcalinidade Total (mg/L)	1032,8 ± 382,8	126,3 ± 140,3
Coliformes totais (NMP/100mL)	8,80 x 10 <sup>6</sup> ± 7,86 x 10 <sup>6</sup>	5,27 x 10 <sup>5</sup> ± 8,14 x 10 <sup>5</sup>
Coliformes fecais E.coli (NMP/100mL)	5,56 x 10 <sup>6</sup> ± 8,25 x 10 <sup>6</sup>	1,96 x 10 <sup>5</sup> ± 3,76 x 10 <sup>5</sup>
Cor aparente	2062,8 ± 923,4	209,9 ± 178,9
Cor verdadeira	1001,8 ± 442,6	135,4 ± 133,4
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	364,5 ± 216,2	30,4 ± 21,5
DQO (mg/L)	517,5 ± 317,3	63,7 ± 50,7
Fósforo Total (mg/L)	36,2 ± 21,7	9,8 ± 7,7
NH <sub>4</sub> -N (mg/L) - Amoniacal	168,4 ± 125,0	55,2 ± 53,5
NTK (mg/L)	263,9 ± 75,0	42,5 ± 39,2
NO <sub>2</sub> -N (mg/L) Nitrito	0,3 ± 0,3	4,8 ± 7,0
NO <sub>3</sub> -N (mg/L) Nitrato	0,7 ± 0,5	27,2 ± 46,0
OD (mg/L)	0,3 ± 0,4	2,5 ± 1,9
Óleos e Graxos (mg/L)	48,0 ± 33,9	0,0 ± 0,0
pH	7,8 ± 0,3	6,3 ± 1,2
pRedox (mV)	-237,3 ± 60,6	254,6 ± 113,7
SST (mg/L)	124,1 ± 81,7	9,5 ± 8,3
ST (mg/L)	969,7 ± 298,8	935,6 ± 567,1
SV (mg/L)	433,0 ± 182,5	375,4 ± 298,2
Temperatura (°C)	22,9 ± 2,9	22,2 ± 2,4
Turbidez (uT)	192,1 ± 165,3	10,3 ± 10,0

A Tabela 6, mostra que a concentração de nitrogênio amoniacal é de 55,2 mg/L, coluna 2. De acordo esse valor o efluente, após o filtro de areia, se encontra em desacordo com o CONAMA 357/2005, e este não poderia ser lançado em rios, lagos, rede de água pluvial ou qualquer outro tipo de corpo receptor. O CONAMA 357/2005 define como limite para o lançamento de efluentes o valor de 20 mg/L para nitrogênio amoniacal.

## 5.2 Caracterização das águas subterrâneas

Para caracterização da água subterrânea local foram utilizadas amostras de um poço destinado a consumo humano localizado 30 metros a montante do sistema de valas de infiltração. Os resultados das análises são mostrados na (Tabela 7). Foram apenas realizadas análises dos parâmetros que foram avaliados durante o trabalho.

**Tabela 7 - Caracterização da água subterrânea**

Parâmetro	Valor
pH	5,91
N-Amoniacal	0,01 mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrato	16,68 mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Coliformes totais	16 NMP/100mL
<i>Escherichia coli</i>	0 NMP/100mL

O poço de monitoramento 1, não foi utilizado como branco, pois esse se mostrou contaminado pelo sistema de valas de infiltração e passou a ser considerado como os demais pontos de monitoramento.

O volume de águas negras infiltradas no solo foi medido diariamente com o auxílio de hidrômetros. Os valores das vazões que infiltraram são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 - Vazão média de água negra infiltrada no solo (L/dia)**

Mês	Vaso Sanitário	Pia da Cozinha	Total Águas Negras
Abril	90,51	50,10	140,61
Maio	79,07	46,32	125,39
Junho	90,67	50,37	141,04
Julho	77,80	46,90	124,70
Média	69,83	48,73	118,56

## 5.3 Avaliação dos fatores indicadores de poluição por esgotos

No período de abril a junho foram realizadas amostras do lençol freático com o intuito de fazer os últimos ajustes no experimento. Durante esse período foram coletadas 3 amostras, todas elas referentes a profundidade de 4,7 m. Não foi possível realizar amostragem nas profundidades de 2,7 e 3,7 m devido ao nível do lençol freático.

Nas análises realizadas de abril a junho, poços 1 e 3, a profundidade de 4,70 m, apresentaram um valor médio de coliformes que variou entre 20 – 100 NMP/100mL, na metodologia de cartelas. Quando as amostras foram analisadas pelo método de plaqueamento, unidades formadoras de colônia, o resultado variou entre 20 – 35 UFC. Em ambos os pontos não foi encontrado a *Escherichia coli*.

Nos meses de julho e agosto não foi possível fazer a coleta das amostras de água subterrânea, devido a um grande período de estiagem. De acordo com dados da EPAGRI, Figura 24 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o número de dias sem chuva no mês de julho foi de 22 e no mês de agosto de 23. Devido a essa grande estiagem o nível do lençol ficou abaixo dos pontos de monitoramento.

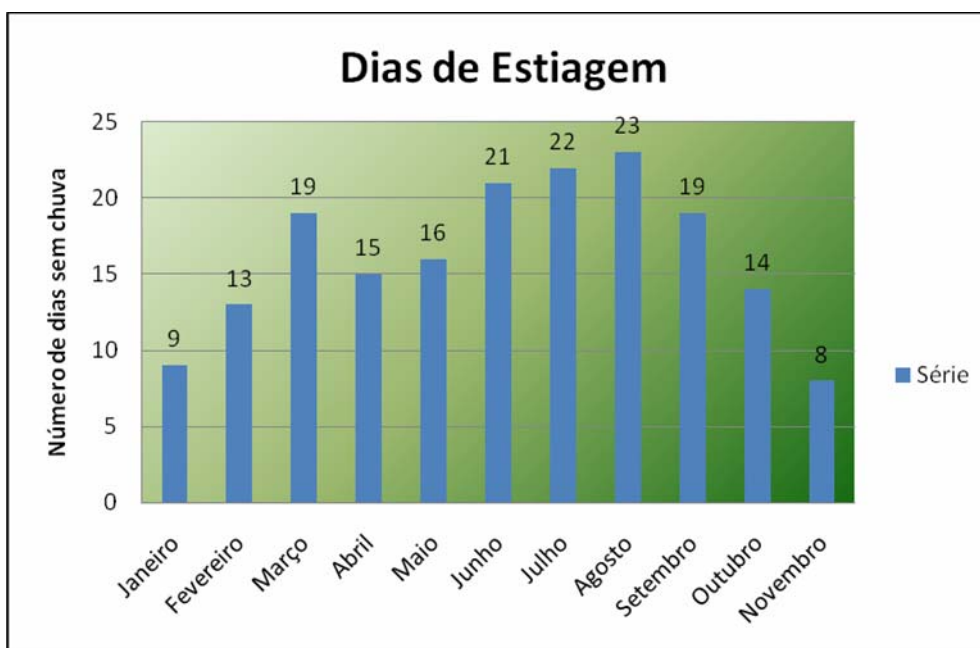


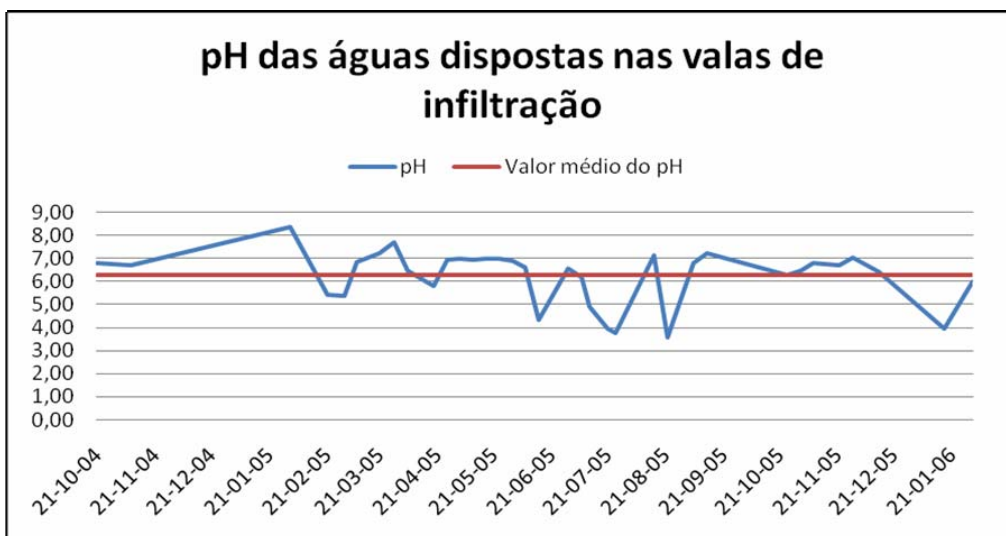
Figura 24 - Número de dias de estiagem nos meses de 2007

Fonte: EPAGRI, 2007

Outro fator que limitou a coleta das amostras foi a presença de uma camada de argila no solo, que fez com que o efluente percolasse sobre ela, impedindo assim que esse atingisse maiores profundidades

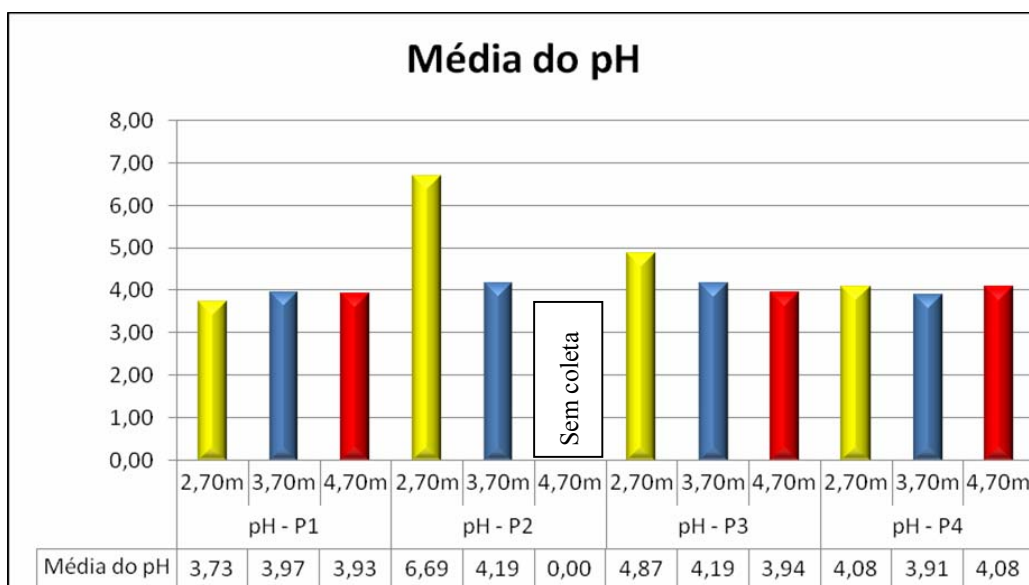
### 5.3.1 pH

A Figura 25, mostra os valores do pH, após a filtro de areia, que foram obtidos em uma série de 35 análises realizadas entre outubro de 2004 e fevereiro de 2006. De acordo com a mesma figura os valores de pH variaram entre 8,83 (valor máximo), e 3,56 (valor mínimo). Ficando a média registrada pelo valor de 6,30.



**Figura 25 - pH das águas dispostas na vala de infiltração**  
Fonte: GESAD

A Figura 26, mostra o resultado das análises de pH nas águas subterrâneas.



**Figura 26 - Média dos valores de pH encontrados nos poços de monitoramento**

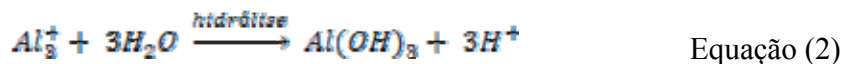
Segundo a Figura 26, os valores de pH são inferiores ao valor médio do pH do efluente infiltrado, (6,30) tendo como única exceção o poço de monitoramento 2 a uma profundidade de 2,70 m que apresentou um pH médio de 6,69 . Esse decréscimo do pH é resultado de interações entre o líquido percolado e o solo.

Um dos processos que tem efeito sobre o pH é o processo de nitrificação que consome alcalinidade do meio e libera  $H^+$ , segundo SPERLING (1997), o processo de nitrificação, transformação da amônia em nitritos e esses em nitratos, tem como produto final nitrato, íon  $H^+$  e energia (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).



Outro fator que influencia o valor do pH são as reações de transformação da uréia, que na presença de microorganismos reage com a água e forma o  $NH_4^+$ , que reage no solo de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (LOPES, 1990).

De acordo com a EMBRAPA (2007), o solo local é caracterizado como Podzólico Vermelho-Amarelo, atualmente chamado de Alissolo, e esse é rico em alumínio. Segundo LOPES (1990), alguns autores atribuem como causa da redução de pH, a hidrólise do alumínio, a qual produz íons  $H^+$  de acordo com a (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).



De acordo com CONSCIONE *et al.*, 1998 apud BOEIRA *et al.*, (2004), altos teores de matéria orgânica são responsáveis pelo aumento da acidez no solo que pode ser lixiviada em presença de grandes chuvas.

### 5.3.2 Nitrato

A Tabela 9, mostra os resultados das análises de nitrato, a média dos valores encontrados em cada poço de monitoramento e a eficiência do sistema de valas de infiltração na remoção de nitrato após a percolação do efluente no solo.

**Tabela 9 - Resultado das análises de nitrato**

DATA	Nitrato (mg/L $NO_3^-$ )			Nitrato (mg/L $NO_3^-$ )			Nitrato (mg/L $NO_3^-$ )			Nitrato (mg/L $NO_3^-$ )		
	P1			P2			P3			P4		
	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m
C1	14,18	4,30	-	8,20	4,22	-	6,00	10,20	6,03	-	-	-
C2	5,10	-	3,50	3,40	-	-	-	4,20	5,50	2,80	5,10	-
C3	15,28	13,52	9,06	10,56	19,20	10,50	16,90	11,06	16,69	-	-	-
C4	-	-	2,02	-	-	-	-	6,95	-	4,96	5,21	-
C5	20,00	20,00	18,92	-	20,00	-	-	14,78	14,57	20,00	20,00	-
Média (mg/L $NO_3^-$ )	11,44			10,87			10,26			9,68		
Eficiência (%)	57,93			60,05			62,27			64,42		
Média Geral (mg/L $NO_3^-$ )	10,56											
Eficiência Geral (%)	61,17											

De acordo com a Tabela 9, o poço de monitoramento que apresentou a maior média foi o poço 1, com um valor de 11,44 mg/L  $\text{NO}_3^-$  e o poço que apresentou a menor média foi o 4 com valor de 9,68 mg/L  $\text{NO}_3^-$ . A eficiência média do sistema de valas de infiltração na remoção de nitrato foi de 61,17 %, sendo que os poços que apresentam maiores valores são o de número 4 e 3.

Como pode ser observado na Figura 27, a média das concentrações de nitrato varia em relação a profundidade das amostras coletadas. Isso devido ao processo de nitrificação que ocorre até a profundidade de 3,70 m, fazendo com que ocorra o aumento da concentração de nitrato. Após esse ponto existe a presença de processo de desnitrificação, pois com o aumento da profundidade a quantidade de oxigênio diminui, criando zonas anaeróbias, fazendo com que a concentração de nitrato diminua (CAMPOS, 1999).

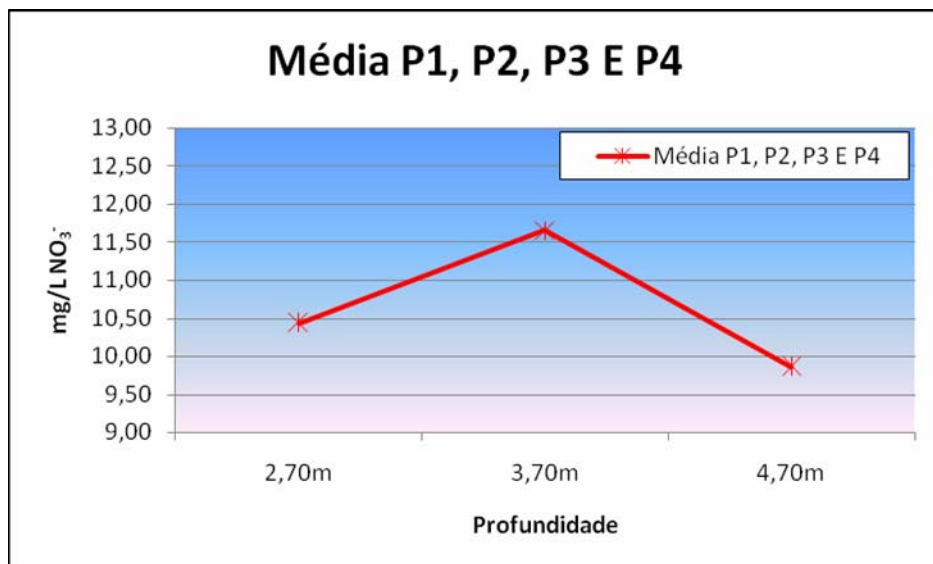


Figura 27- Média das concentrações de nitrato

A quantidade de nitrogênio amoniacal médio encontrado antes das valas de infiltração é de 55,2 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$  (Tabela 6). Em uma bateria de análises realizadas nas águas subterrâneas foi encontrado um valor médio de nitrogênio amoniacal de 2,16 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Esse resultado vai de acordo com o processo de nitrificação, onde o nitrogênio amoniacal vai sendo oxidado, a medida que o efluente vai percolando no solo, e vai se transformando em nitrito a posteriormente em nitrato onde atinge sua forma mais oxidada. Outro fator que influencia na remoção do nitrogênio amoniacal é a troca iônica nas primeiras camadas do solo (CAMPOS, 1999). A eficiência na remoção desse parâmetro foi de 96,08 %, esse valor ficou próximo ao encontrado em um estudo realizado por NOLA *et al.*, (2006), que obteve uma eficiência na remoção de amônia variando entre 97,37 à 98,74%.

De acordo com o Ministério da Saúde PORTARIA 518/2004 a quantidade máxima de nitrato permitida em águas para consumo humano é de 1,0 mg/L  $\text{NO}_3^-$ . Quando esse valor é comparado com os valores da Tabela 9, nota-se que em nenhuma das análises realizadas o valor de nitrato atende os requisitos da portaria, sendo que o maior valor registrado foi de 20 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , e o menor foi de 2,02 mg/L  $\text{NO}_3^-$ . Segundo esses valores seria inviável a construção de

um poço artesiano para consumo humano que se localizasse a próximo ao sistema de valas de infiltração, pois o mesmo possuiria elevadas concentrações de nitrato que poderiam causar doenças como a metahemoglobinemia e o câncer (LEWIS, *et al.*, 1986).

Quando comparamos o valor médio de nitrato encontrado nas análises (10,56 mg/L), com o ponto branco Tabela 7 (16mg/L), nota-se que o sistema de valas de infiltração pode não ser o único responsável pelo aumento da concentração de nitrato no lençol freático.

### 5.3.3 Coliformes totais e *Escherichia coli*

De acordo com a Tabela 10 a maior quantidade de coliformes totais foi de 2419 NMP/100mL e a menor foi de 0 NMP/100mL. Esses valores podem ser verificados em todos os poços de monitoramento e em profundidades variáveis. A ausência de coliformes totais predominou nas profundidades de 3,7 e 4,7 metros. O que mostra que os microorganismos foram destruídos ou retidos pelo solo com o decorrer da percolação do efluente.

**Tabela 10 - Resultado das análises de coliformes totais**

DATA	Coliformes totais NMP/100ml											
	P1			P2			P3			P4		
	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m
C1	4 UFC*	0	-	-	4 UFC*	-	-	866	0	-	-	3 UFC*
C2	>2419	>2419	0	>2419	>2419	0	1733	>2419	0	0	>2419	0
C3	>2419	>2419	2419	613	345	-	28	-	0	-	0	-
C4	-	53	251	-	-	-	743	579	-	10	0	-
C5	816	-	86	-	4	-	-	-	0	0	0	-
Média NMP/100mL	1189			967			637			304		

\* valores obtidos pelo método de plaqueamento

A Tabela 11, mostra que o maior valor encontrado para *Escherichia coli* foi de 275 NMP/100mL no poço de monitoramento 3 a uma profundidade de 3,70 m. Já a ausência de *E. coli* foi detectada em todos os poços de monitoramento sendo que o poço de monitoramento 4 esteve livre desse microorganismo em todas as amostras realizadas.

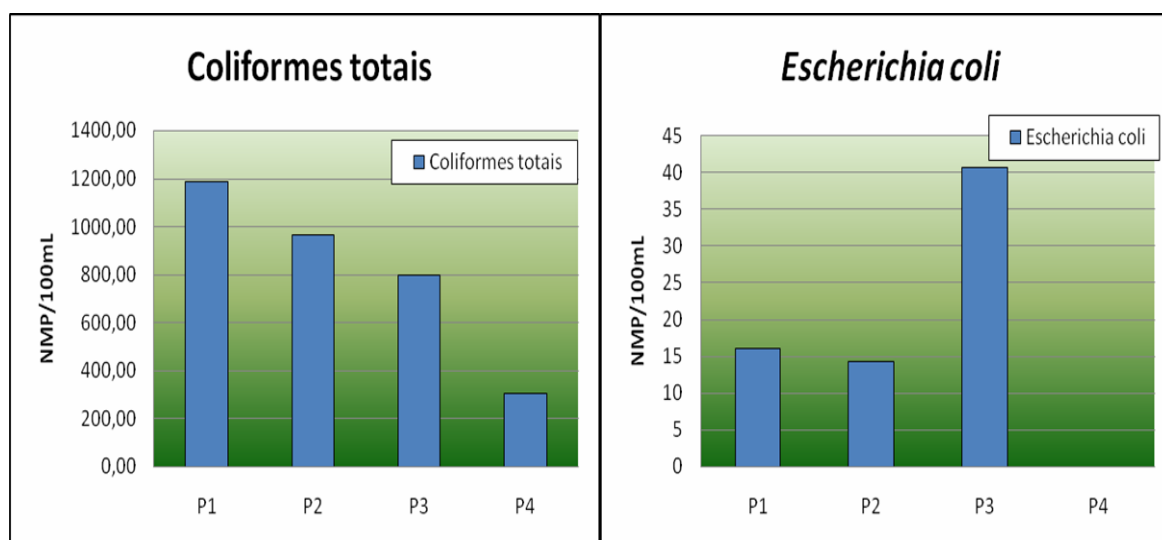


**Tabela 11 - Resultado das análises de *Escherichia coli***

DATA	<i>Escherichia coli</i> NMP/100ml											
	P1			P2			P3			P4		
	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m	2,70m	3,70m	4,70m
C1	0 UFC*	0,0	-	-	0 UFC*	-	-	25	0,0	-	-	0 UFC*
C2	5	19	0,0	5	19	0,0	25	53	0,0	0,0	0,0	0,0
C3	91	28	17	10	52	-	7	-	0,0	-	0,0	-
C4	0,0	1	5	-	-	-	20	275	-	0,0	0,0	-
C5	23	-	4	-	0,0	-	-	-	0,0	0,0	0,0	-
Média NMP/100mL	16			14			41			0,00		

\* valores obtidos pelo método de plaqueamento

Com o auxílio das Tabela 10 e Tabela 11, foi possível ser gerada a Figura 28 que mostra a concentração média de coliformes fecais e de *Escherichia coli* encontradas nos poços de monitoramento.



**Figura 28 - Concentração média de coliformes totais e *Escherichia coli***

De acordo com a Figura 28, o poço que vem sofrendo menor influência do sistema de valas de infiltração é o poço de número 4 que apresentou uma concentração média de coliformes totais próxima de 300 NMP/100mL e ausência de *E. coli*.

O poço que apresentou maior concentração de coliformes totais foi o poço 1, próximo de 1200 NMP/100mL, e o que apresentou maior concentração de *Escherichia coli* foi o poço 3 com valor próximo de 40 NMP/100mL.

A eficiência na remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*, ficou em torno de 99,99% valor esse próximo ao registrado em um estudo realizado por NOLA *et al.*, (2006), que consistia na percolação de efluentes em camadas de solo e teve como eficiência final valores variando de 96,98 a 99,89%. A grande eficiência do processo está ligada aos baixos valores de pH encontrados e a presença de argila no solo, sendo que esses não são os únicos fatores limitantes dos microorganismos (LEWIS *et al.*, 1986).

Quando comparamos os valores obtidos, com a PORTARIA 518/2004 do Ministério da Saúde, que requer a ausência de *Escherichia coli* em uma amostra de 100mL, para águas destinadas ao consumo humano, nota-se que apenas o poço 4 atendeu o parâmetro. Vale ressaltar que o poço 4 está em acordo com a quantidade de *Escherichia coli*, mas existe a presença de coliformes totais. De acordo com os resultados das análises de *E. coli*, a construção de poços de captação de água para consumo humano, não poderia ser feita próximo ao sistema de tratamento de efluentes, pois o mesmo está alterando as características da água subterrânea, sendo que essa fonte de água estaria pondo em risco a saúde da população local.

Quando comparamos os resultados de coliformes e *E. coli* dos poços de monitoramento com o branco, fica evidente que os valores dos poços 1, 2 e 3 são bem superiores aos do ponto branco, pois esse apresentou um valor de 16 NMP/100mL para coliformes totais e ausência de *E. coli*.

#### **5.3.4 Comparação das análises com a precipitação pluviométrica**

Para realização da análise da influência da precipitação pluviométrica nas concentrações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos primeiramente calculou-se o tempo necessário para a chuva que precipitou atingir os poços de monitoramento. O tempo ficou em 10 dias para a profundidade de 2,70m, 13 dias para 3,70m e 17 dias para 4,70 metros. Esse valor foi calculado com o auxílio da permeabilidade do solo local que é de  $3,19 \times 10^{-4}$  cm/s seguindo sugestões de (CARVALHO *et al.*, 2005).

A

**Tabela 12 - Influência da precipitação na concentração das análises nos poços de monitoramento**

**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostra a concentração dos parâmetros analisados e a precipitação ocorrida 10, 13 e 17 dias antes das análises.

**Tabela 12 - Influência da precipitação na concentração das análises nos poços de monitoramento**

	Precipitação (mm)	Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				<i>E. coli</i> NMP/ 100 mL				Coli. Totai NMP/ 100 mL			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2,70 m (10 dias antes)	0,00	14,18	8,20	6,00	-	-	-	-	-	4 UFC	-	-	-
	0,00	15,28	10,56	16,90	-	91	10	7	-	2419	613	28	-
	0,00	20,00		-	20,00	23	-	-	0,00	816	-	-	0
	3,80	5,10	3,40	-	2,80	5	5	25	0,00	2419	2419	1733	0
	6,50	-	-	-	4,96	-	-	20	0,00	-	-	743	10
3,70 m (13 dias antes)	1,40	13,52	19,20	11,06	-	28	52	-	0,00	2419	345	-	0
	7,20	-	-	6,95	5,21	1	1,00	275	0,00	53	-	579	0
	21,10	20,00	20,00	14,78	20,00	-	0,00	-	0,00	-	4	-	0
	30,10	-	-	4,20	5,10	19	19	53	0,00	2419	2419	2419	2419
	57,70	4,30	4,22	10,20	-	0,00	0,00	25	-	0	4 UFC	866	-
4,70 m (17 dias antes)	0,00	2,02	-	-	-	5	5	-	-	25	-	-	-
	3,10	-	-	6,03	-	-	-	0,00	-	-	-	0	3 UFC
	6,50	18,92		14,57	-	4	-	0,00	-	86	-	0	-
	13,30	3,50	-	5,50	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
	14,50	9,06	10,50	16,69	-	17	-	0,00	-	2419	-	0	-

De acordo com a

**Tabela 12 - Influência da precipitação na concentração das análises nos poços de monitoramento**

, as amostras parecem não serem afetadas exclusivamente pela precipitação, pois os valores obtidos são divergentes. Não foi possível estabelecer uma relação de precipitação e concentração, pois grandes precipitações originam baixas concentrações dos parâmetros analisados, assim como altas concentrações. Quando o meio estava sobre influência de baixas precipitações também foram registradas altas e baixas concentrações dos parâmetros estudados.

## 6. CONCLUSÃO

Os baixos valores de pH encontrados, média de 4,19, são influenciados por reações entre o efluente percolado, o solo e microorganismos. Novamente o sistema de tratamento influencia os valores de pH encontrados nas amostras de água subterrânea, pois o ponto branco apresentou um pH médio de 5,8.

A concentração média de nitrato na água subterrânea ficou em torno de 10,56 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , e de acordo com o ponto branco, que possui o uma concentração de 16 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , o sistema de valas de infiltração não é o único responsável por elevadas concentrações desse íon na água.

Já a concentração média de coliformes fecais, (774 NMP/100mL) e *Escherichia coli* (18 NMP/100mL) nas amostras do lençol, possuem valores bem superiores ao ponto branco, que apresentou 16 NMP/100mL para coliformes totais e ausência de *E. coli*. O que mostra que o sistema de tratamento tem influência nas águas do lençol freático, aumentando a concentração desses microorganismos no meio.

O sistema de valas de infiltração apresentou uma eficiência média de 61,17% na remoção de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e de 99,99% na remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*.

O sistema de tratamento, fossa séptica e filtro de areia, não mostrou total eficiência no tratamento das águas negras, pois o efluente não atendeu o requisito nitrogênio amoniacal total exigido pelo CONAMA 357/2005, fazendo-se necessário o uso de uma terceira etapa de tratamento.

Quando foram comparados os dados de chuva com a concentração dos parâmetros nas amostras, essas não se mostraram ser influenciadas exclusivamente pelas águas da chuva, existindo outros fatores no meio que interagem com o sistema.

De maneira geral o lençol freático da área de estudo apresenta-se comprometido nos parâmetros nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli*. Sendo que a captação de água para consumo humano em pontos próximo ao sistema de valas de infiltração mostra-se inviável.

## RECOMENDAÇÕES

A quantidade de trabalhos relacionados com a contaminação das águas subterrâneas por sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, não é satisfatório em nosso território. Vale lembrar que quase 23% da população do país se abastece com águas subterrâneas ou águas sem tratamento, e que essas podem estar em risco devido a contaminação de suas fontes por esgotos. A continuação de estudos nessa área é de fundamental importância, pois devemos sempre estar pensando na saúde e bem estar da população assim como do meio ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES (1997) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIAL AMBIENTAL Revista Engenharia Sanitária e Ambiental V2 - N.º 3 jul/set/97 - Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969- Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro: 1993.

AGENDA 21. **Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos.** Água em Rev: Suplemento das Águas; 1996. 14-33 p.

AKASH, B. A. and O'BRIEN, W. S.; The production of activated carbon from a bituminous coal. **International Journal of Energy Research**, Volume 20, n.10. 1996. 913-922p.

ALMASRI, Mohammad N. Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. **Science Direct**. Environmental Impact Assessment Review 27. Nubles, Palestina. 2007. Disponível em <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 12 junho de 2007.

AZABUJA, E., COSTA, A. F. U., NANNI, A. S. O Emprego da Prospecção Geofísica na Avaliação de Plumas de Contaminação por Hidrocarbonetos. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENAL (AIDIS). Las Américas y la Acción por el Medio Ambiente en el Milenio". Porto Alegre / RS, Brasil. De 3 a 8 dezembro 2000. 8p.

BAPTISTA, Márcio. **Transportes de Poluentes em Cursos d'água.** Departamento de Engenharia Hidráulica – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, Junho de. Disponível em <http://www.ehr.ufmg.br/docsehr/posgrad73.pdf>. Acesso em: 1 junho 2007.

BOEIRA, R. C.; RAIJ, B. V.; SILVA, A. S.; MAXIMILIANO, V. C. B. – Extração simultânea de alumínio e sódio no solo, com solução de cloreto de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Scielo. vol.28 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2004.

BOURI, Salem.; ABIDA, Habib.; KHANFIR, Hafedh. Impacts of wastewater irrigation in arid and semi arid regions: case of Sidi Abid region, Tunisia. **Environ Geol**. DOI 10.1007/s00254-007-0751-5. Spring – Verlag 2007.

CAMPOS, José Roberto. (Coordenador) - **Tratamento de esgoto sanitário por processo de anaeróbio e disposição controlada no solo.** PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS 2001, 70p.

CARVALHO, E. H.; PFEIFFER, S. C.; Plano de recuperação para área degradada pelo lixão de geonésia (GO). **23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande/ MS. ABES, 2005. Disponível em < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-188.pdf>>. Acesso em: 20 novembro 2007.

CHEN, J.; TANG, C.; YU, J. Use of  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  and  $^{15}\text{N}$  to identify nitrate contamination of groundwater in a wastewater irrigated field near the city of Shijiazhuang, China. **Science Direct**. Journal of Hydrology, 2005. Disponível em < [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)>. Acesso em: 1 junho 2007.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos (Coordenador). **Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. PROSAB 2. Rio de Janeiro ABES, 2001.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. **An investigation into greywater reuse for urban residential properties**. Desalination. V.106, n. 1-3, 1996. p. 391-397

CORAUCCI FILHO, B.; NATALIAN JR, O.; STEFANUTTI, R.; BROZELE, S. T.; NOUR E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. **Avaliação da fase inicial das valas de filtração como método de pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Coletânea de trabalhos técnicos Volume 2. Belo Horizonte, PROSAB 2, 2001. 1-10p.

COSTA, S.N.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T., RAMOS, V. B. N. Mobilidade de nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. PB, DEAg/UFPB Campina Grande. v.3, n.2, p.190-194, 1999.

DRAZEN, J.M.; GILL, G.N.; GRIGGS, R.C.; KOKKO, J.P. MANDELL, G.L.; POWELL, D.W.; SCHAFER, A.I. **Tratado de Medicina Interna**. Vol 2. 21ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 2001

EMBRAPA – **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em <http://www.embrapa.br/>. Acesso em: 7 outubro 2007

FLORENCIO, L.; BASTOS. R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. PROSAB 4. Recife – PE. ABES, 2006. 427p

FOPPEN, J.W.A; SCHIJVEN, J.F. Evaluation of data from the literature on the transport and survival of Escherichia coli and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. **Science Direct**, Water Research 40, 2005. Disponível em <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em: 12 junho 2007.



GONÇALVES, Ricardo Franci (coordenador). **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, Projeto PROSAB 3, 2003. 438p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Anuário estatístico de 2000 e 2005. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 3 junho 2007

IPIUF – **Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis**. Disponível em <<http://www.ipuf.sc.gov.br/>> Acesso em: 19 outubro 2007.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1995. 259-312p.

LEWIS, W. J.; FOSTER, S. S. D.; DRASAR, B.S. **Risco da Poluição do Lençol Freático por Sistemas de Disposição Local de Esgotos: uma visão geral da literatura técnica**. Trad. de André G.T. Pires. Brasília, MUD. 1986. 91p.

LOPES, A.S. **Acidez do solo e calagem**. 3ª edição. São Paulo, ANDA, 1990.

MACHADO, José Carlos Saldanha. Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios. **SciELO Brasil**, Ambiente e Sociedade. Vol 6. No. 2 Campinas, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v6n2/a08v06n2.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2007.

MACKAY, D., P. ROBERTS, AND J. CHERRY. Transport of Organic Contaminants in Groundwater: Distribution and Fate of Chemicals in Sand and Gravel Aquifers. **U.S. Environmental Protection Agency**, Washington, D.C. Vol. 19. No 5, 1985. Disponível em <<http://oaspub.epa.gov/eims/eimsapi.dispdetail?deid=31543>> Acesso em: 12 junho 2007.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Águas Subterrâneas**. Brasília – DF, 2001. 24 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília – DF, 2007. 40p.

MS – Ministério da Saúde. Disponível em <<http://portal.saude.gov.br/saude/>>. Acesso em 18 julho 2007.

NOLA, M.; NJINÉ, T.; KEMKA, N.; TOGOUT, S. H. Z; MEMBOHAN, S. F.; MONKIEDJE, A.; PIERRE, S.; MESSOULI, M. BOUTIN, C. Retention of staphylococci and total coliforms during wastewater percolation through equatorial soil in central áfrica: the role of the soil column near soil surface and that closely above groundwater table. **Springer**. Water, Air and Soil Pollution. 2006.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin**. Urban Water. v. 1, n. 4, 1999. p. 275-284.

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U.; OLDENBURG, M. **Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas.** In: Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems, 5, Estambul-Turquia, 2002. Disponível em: <<http://www2.gtz.de/ecosan/download/iwa2002-otterpohl.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2007.

PELCZAR JR, J. M.; CHAN., E.C.S.; KRIEG, N. K.; EDWARDS, D. D.; PELCZAR, M. F. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** Vol. 2. 2º edição. São Paulo: MAKRON books, 1996.

RIBEIRO, K. T. S.; MARIN, R. E. A questão ambiental da água e a interface na saúde humana. In: COUTO, R. C.; CASTRO, E. R.; MARIN, R. A. (Org.). **Saúde, trabalho e meio ambiente: políticas Públicas na Amazônia.** Belém: NAEA/UFPA, p. 147-178. 2002.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** 3. Ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional das Águas, 2002. 328 p.

SPERLING, M.V. **Lodos Ativados.** Vol. 4. 2ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997. 428p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B.R.; CASE, C. L. **Microbiology – an introduction.** 6ª Ed. California: Benjamin/Cummings, 1997. 832p.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque Ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. **Rev. Águas Subterrâneas.** n° 16, maio/2002. 8 p.