

APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA DISPERSÃO DE POLUENTES PARA DIAGNÓSTICO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

João Alberto Bottura *
Mário Therezo Lopes **

RESUMO

Diagnóstico da situação do sistema de Captação de água subterrânea realizado no camping CCB-SP3, situado no município de Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo, indicou que a água captada e aduzida para o consumo local não é potável. Apresenta forte odor, aspecto estético inadequado e alto teor de sólidos em suspensão. Análise bacteriológica detectou a presença de coliformes na água.

Para análise do transporte de contaminantes no aquífero livre a partir das fontes de contaminação (sumidouros) existentes e proposição de alternativas para disposição dos resíduos no local, foi utilizado o modelo numérico para simulação do transporte de poluentes em aquíferos, denominado PATHLINE, desenvolvido por KINZELBACH (1986).

1 INTRODUÇÃO

O camping CCB-SP3 localiza-se na planície costeira de Itanhaém, que se estende desde Peruíbe a Mongaguá, por cerca de 40 Km, com largura máxima da ordem de 15 Km.

Nesta planície, o embasamento cristalino encontra-se a profundidades entre 40 e 65 m, nas proximidades de Peruíbe e Itanhaém, respectivamente. Foram detectadas, através de prospecção indireta, na porção central da planície, espessura de até 160 m de sedimentos, constituídos por areias médias a finas, intercaladas por camadas argilosas de pequena espessura. São comuns nesta planície a ocorrência de afloramentos dispersos de rochas cristalinas (DAEE, 1979).

Nas camadas de areias formam-se aquíferos lenticulares, localmente confinados, podendo atingir espes-

suras saturadas de até 150 m, e aquíferos suspensos de pequena espessura saturada.

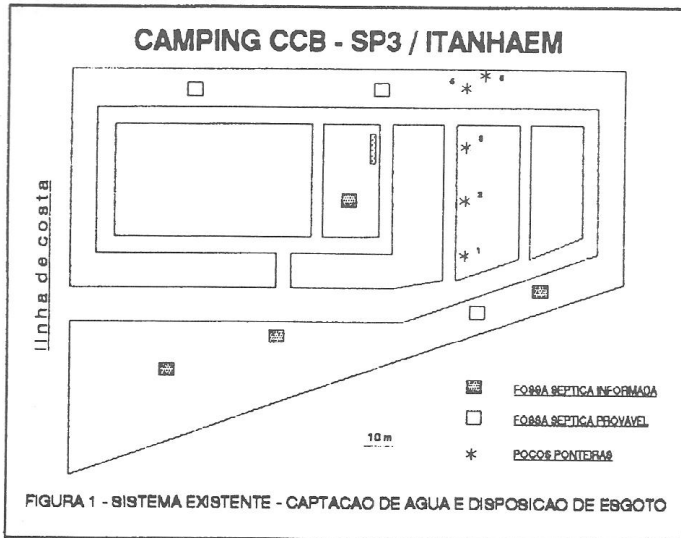
A presença da cunha salina foi detectada indiretamente através de sondagens elétricas (DAEE, 1979) e diretamente com base em informações de salinização de poços tubulares abandonados, poços da regional do DDH e Camboriú (DAEE, 1979) e da colônia de férias do Itaú, entre outros.

As principais captações de água subterrânea na região, estão nas porções superiores dos sedimentos costeiros, até profundidades da ordem de 20 m, onde é possível captar e explorar águas de boa qualidade, com baixo teor de sais dissolvidos e relativamente distantes da cunha salina. À profundidades menores por volta de 7 a 8 m, geralmente as águas apresentam menores teores de ferro dissolvido, o que lhes confere aspecto mais límpido. No entanto é esta porção superior do aquífero a mais vulnerável à contaminação induzida pelas atividades humanas, agravada localmente pela inexistência de sistema de coleta das águas servidas e esgotos domésticos.

2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA E DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS

O sistema de captação de águas subterrâneas e de disposição das águas servidas e esgotos domésticos no camping, conforme apresentado esquematicamente na FIGURA 1, é constituído por:

* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Divisão de Geologia e Recursos Minerais
Agrupamento de Hidrogeologia
** Engenheiro Sanitarista e Consultor Autônomo



distância aproximada de 15m entre as ponteiros 1 a 4, e de cerca de 2m entre a 4 e 5;

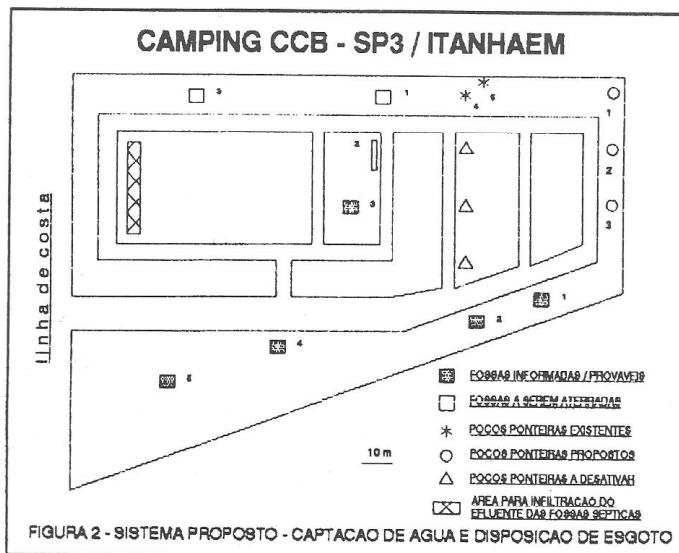
- descarga da água bombeada em reservatório elevado, com adução individual a partir de cada ponteiro;
- funcionamento automático e simulação das ponteiros 1 a 3, com acionamento através de sensor de nível instalado no reservatório elevado. As ponteiros 4 e 5 são mantidas como reserva;
- distribuição da água por gravidade a partir do reservatório sem qualquer tipo de tratamento.

B) SISTEMA DE DISPOSIÇÃO DAS ÁGUAS SERVIDAS:

- as águas servidas provenientes dos lava-pratos, banheiros e cantina são dispostas diretamente no canal de drenagem que localiza-se no flanco esquerdo da área e drena no sentido NW-SE.

C) SISTEMA DE COLETA E DISPOSIÇÃO DE ESGOTOS DOS SANITÁRIOS

- constituído por oito fossas sépticas, dotadas de câmaras de armazenamento de sólidos e complementadas por dispositivo de infiltração dos efluentes (sumidouros), estando cinco em operação e três abandonadas;



A) SISTEMA DE CAPTAÇÃO:

- ponteiros com profundidade informada da ordem de 12m, constituídas por tubo de PVC de 1 1/4" de diâmetro, rasgado na base;
- sistema disposto em linha paralela a costa, com

- não são conhecidos detalhes construtivos das fossas sépticas, tais como: profundidade do nível d'água local, tipo, profundidade da câmara de armazenamento e do dispositivos de infiltração, características do material de revestimento e preenchimento, etc.;

- o efluente das fossas é infiltrado sem receber qualquer outro tipo de tratamento.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA EXISTENTE

As características da água captada e distribuída no camping indicam que a concepção do sistema de captação possui sensível vulnerabilidade à contaminação. Observa-se variações sazonais significativas na sua qualidade, em relação aos aspectos visuais e de salinidade, a deteriorização é marcante no verão, quando o bombeamento é ininterrupto e a taxa de infiltração de efluentes de esgotos sofre incrementos significativos.

O rebaixamento provocado no aquífero pelo bombeamento contínuo, inverte o sentido natural do fluxo subterrâneo, induzido percolação sob fortes gradientes hidráulicos e permitindo que o efluente das fossas sépticas atinja as captações, dando origem à contaminação direta da água distribuída no camping.

Pela concepção atual do sistema, a ponteira 1 situa-se a apenas 25m de distância da fossa séptica mais próxima e a mesma distância do canal de drenagem. A ponteira 3 a cerca de 30m e a 2 a cerca de 25m da fossa séptica mais próxima (FIGURA 1).

O nível d'água subterrânea (freático) local, situa-se à pequena profundidade, cerca de 1,0m na área de bombeamento. Suas variações sazonais, por tratar-se de zona bem próxima a costa, não são significativas, e no verão, período das principais precipitações ele posiciona-se bem próximo a superfície.

As características hidráulicas locais, segundo DAEE (1979), indicam transmissividade da ordem de 15m²/dia; pode-se considerar espessura saturada local da ordem de 20,0m.

A pequena profundidade do nível d'água subterrânea local indica que a infiltração dos efluentes

das fossas sépticas é feita bem próxima ao topo do aquífero, não respeitando distância mínima recomendada de 1,5m para esta disposição (ABNT, 1982).

No bombeamento isolado de cada ponteira durante 3 dias, foi observado que:

- a) a água bombeada nas ponteiras 2 e 3 apresenta coloração clara, sem odor e com teor de sólidos em suspensão insignificante;

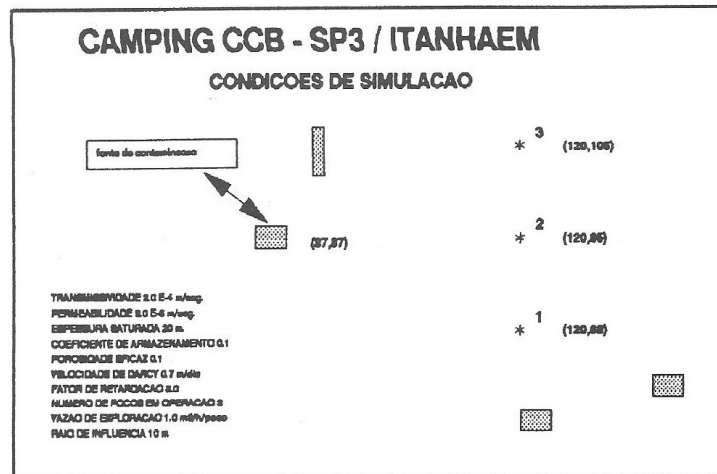


FIGURA 3 - SIMULACAO - SITUACAO ATUAL

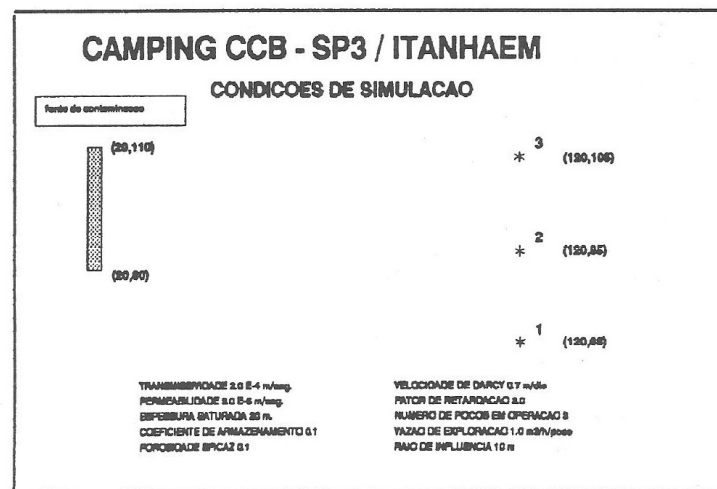


FIGURA 4 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA / OPCAO 1

- b) a água bombeada na ponteira 1 apresenta coloração amarelada e odor objetável.

4 SIMULAÇÃO DO TRANSPORTE DE POLUENTES

O modelo utilizado - PATHLINE, KINZELBACH (1986), simula e apresenta o caminhamento das partículas em direção às captações de água subterrânea em operação e sua aplicação é indicada na determinação de perímetros de proteção da água subterrânea, proteção de poços e dimensionamento de sistemas para descontaminação de aquíferos.

Para a simulação, foram adotados os parâmetros hidráulicos do aquífero, como baixo apresentados:

Transmissividade	$2,8 \times 10^{-4}$ m ² /seg
Permeabilidade	$9,0 \times 10^{-6}$ m/seg
Coefficiente de armazenamento	0.1
Porosidade Eficaz	0.1
Velocidade de Darcy (V _x)	0.7 m/dia
Velocidade de Darcy (V _y)	0.0 m/dia
Vazão de bombeamento	1.0 m ³ /hora/poço
Raio de influência	10m
Fator de retardamento	3

4.1 CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Foram consideradas quatro configurações geométricas para a aplicação do modelo de simulação, a primeira apresentada na FIGURA 3, refere-se a situação atual do sistema de captação e disposição dos esgotos, as restantes simulam configurações geométricas alternativas para o sistema e são apresentadas nas FIGURAS 4, 5 e 6.

Para o dimensionamento das condições físicas para simulação, procurou-se a melhor adequação às condições críticas do período de férias, com a adoção das seguintes premissas: operação contínua de três ponteiras, fator de retardamento = 3 para compensar as condições de inversão do fluxo subterrâneo natural, raio de influência de cada ponteira dimensionado para 24 horas de bombeamento contínuo, fluxo contínuo de efluente nas fontes de contaminação. Para a simulação da situação atual foi considerada a fonte de contaminação mais distante e tempo de simulação de 50 dias, adotando-se período como o tempo máximo de resistência das bactérias no aquífero (KINZELBACH, 1986).

4.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Nas FIGURAS 7 a 10, são apresentados os resultados da simulação, nelas são representados os pontos de bombeamento e o caminhamento do contaminante no aquífero, a partir do ponto de disposição do efluente das fossas sépticas, para o tempo de simulação registrado. Foram obtidos resultados como baixo apresentados:

- situação atual, em 5 dias de bombeamento contínuo o efluente caminha metade do percurso compreendido entre a fonte mais distante e as ponteiras; em 10 dias de operação dos sistema o efluente atinge a zona de captura das ponteiras (FIGURA 7);
- situação proposta - opção 1, a captura total da frente de efluente proveniente da área de infiltração proposta (FIGURA 2) pelas ponteiras 2 e 3 ocorre em tempo inferior a 50 dias (FIGURA 8);
- situação proposta - opção 2, verifica-se também a captura da frente de efluente proveniente da área de infiltração proposta, pela ponteira 3, em período inferior a 50 dias (FIGURA 9);
- situação proposta - opção 3, nesta configuração, com as três ponteiras localizadas no fundo da área, a captura do efluente ocorrerá em período superior a 50 dias de operação contínua de bombeamento (FIGURA 10).

5 SISTEMA PROPOSTO

Os resultados obtidos indicam que a água subterrânea captada e utilizada para o consumo no camping, está sendo contaminada pelo próprio sistema de coleta e destinação final do efluente dos esgotos gerados internamente, evidenciando a alta vulnerabilidade à contaminação do sistema atual existente. A par destes resultados e das observações históricas, propõe-se a seguir o disciplinamento da captação da água e disposição dos esgotos e águas servidas:

- identificação dos locais das fossas sépticas abandonados para esterilização, aterro e recomposição da área;
- verificação do estado e da capacidade das fossas sépticas em uso, readaptando-as ou substituindo-as, se necessário;
- implantação de filtros anaeróbicos à jusante das fossas sépticas;

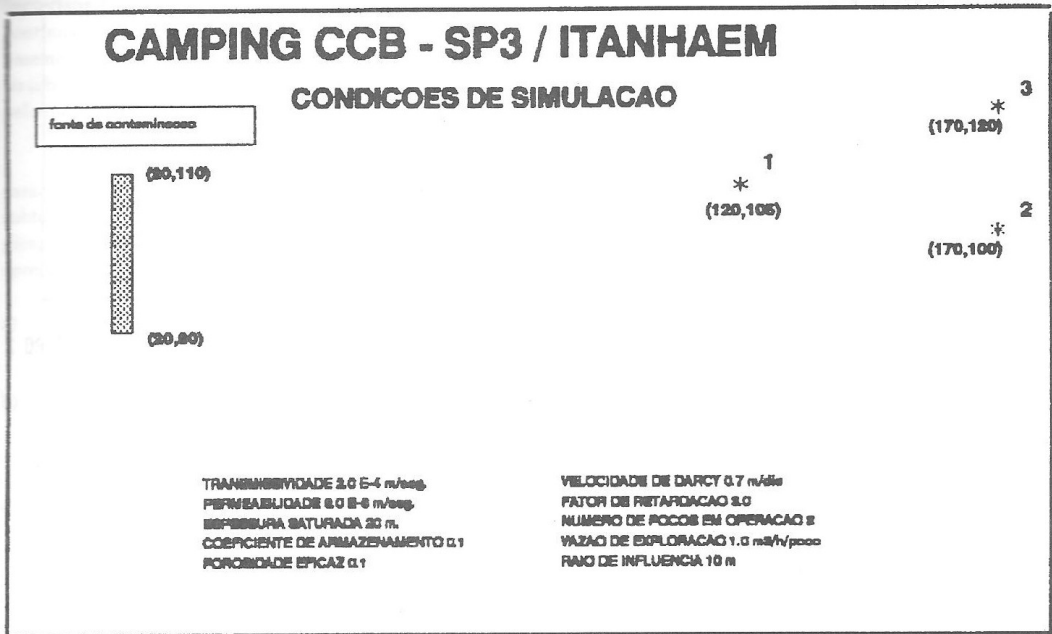


FIGURA 5 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA / OPCAO 2

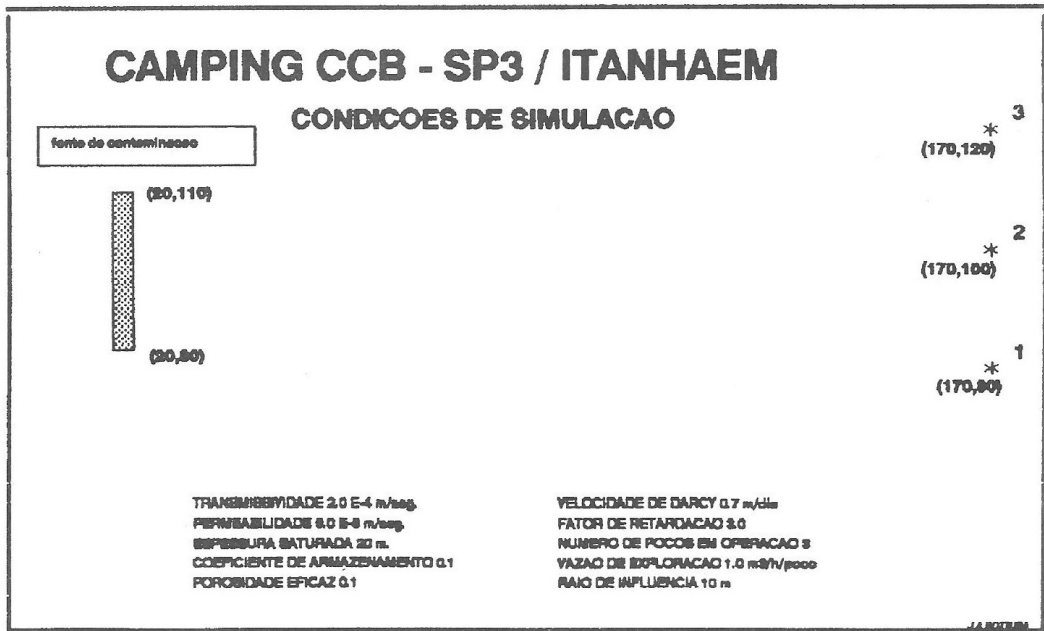


FIGURA 6 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA / OPCAO 3

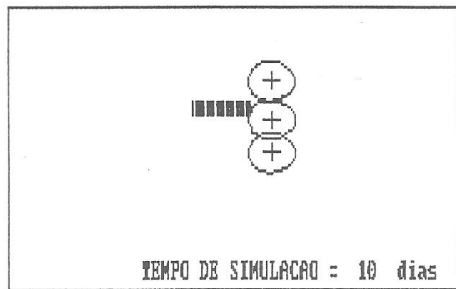


FIGURA 7 - RESULTADO DA SIMULACAO - SITUACAO ATUAL

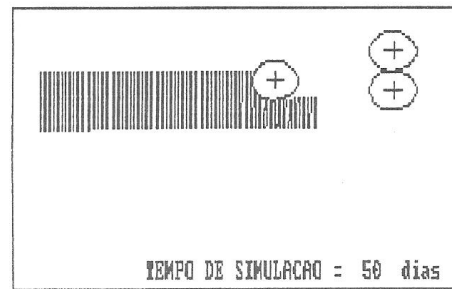


FIGURA 9 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA - OPCAO 2

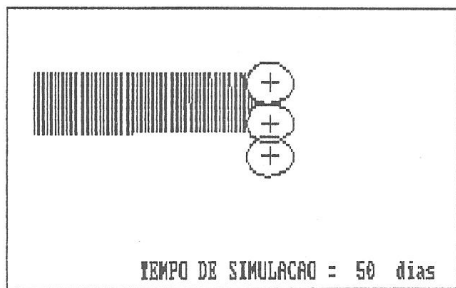


FIGURA 8 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA - OPCAO 1

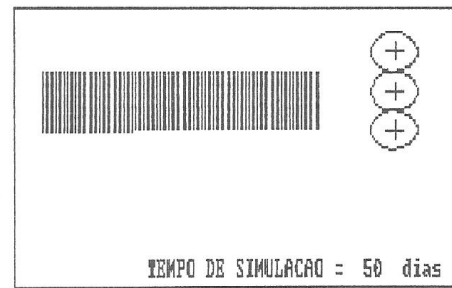


FIGURA 10 - SIMULACAO - SITUACAO PROPOSTA - OPCAO 3

- d) implantação de cloração (e clorificação, se necessário) dos efluentes dos filtros anaeróbicos;
- e) direcionar os efluentes dos lava-pratos e banheiros para as fossas sépticas, incluindo caixa de gordura à saída do lava-pratos;
- f) disposição do efluente dos filtros anaeróbicos na área frontal do camping. Na FIGURA 2 é indicada a área mais favorável para disposição e infiltração do efluente;
- g) desativação das ponteiros 1, 2 e 3 e perfuração de novas conforme indicado na FIGURA 2;
- h) instalação de sistema de cloração de água aduzida através da instalação de bomba dosadora de cloro a ser conectada na tubulação de recalque na água bombeada ao reservatório.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta proposição tem o objetivo de minimizar os riscos de contaminação da água subterrânea captada e distribuída no camping, pela veiculação de micro-organismos patogênicos. A garantia da qualidade da água somente será possível através do disciplinamento do uso e principalmente da conscientização dos usuários e responsáveis pela operação e manutenção. A área ocupada pelo camping possui características naturais que lhe impõem alta vulnerabilidade aos processos de contaminação antrópica.

Ressalta-se, que os resultados da simulação executada e que serviu de base para a proposição da nova configuração para o sistema de captação e disposição dos efluentes, se pauta apenas no risco de veiculação da contaminação

bacteriana através do aquífero, para períodos de operação contínua de 50 dias e parâmetros hidráulicos estimados com base no conhecimento hidrogeológico regional. Elementos ou substâncias tóxicas, caso presentes não são autodepuradas pelo meio e são persistentes no tempo.

Para a área faltam ainda estudos em maior detalhe das características hidráulicas do meio e hidroquímico da água subterrânea, incluindo análises físico-químicas e bacteriológicas. Medidas preventivas e saneadoras, como as abaixo apresentadas são determinantes para a área de Itanhaém:

- a) promover a cloração da água distribuída para consumo no camping;
- b) promover a limpeza das casas de proteção das pontei-ras e bombas, mantendo-as bem protegidas, arejadas e trancadas, preferencialmente à chave;
- c) coletar amostra de água das pontei-ras e processar análise físico-química e bacteriológica. A coleta deve ser semanal, durante o verão, janeiro ou fevereiro e no inverno, julho ou agosto;
- d) manter controle e limpeza periódica das fossas sépti-cas e sumidouros;
- e) caso observada deterioração na área de infiltração dos efluentes, estes deverão sofrer tratamento adequado antes da infiltração.

Visto ser a área fronteira a linha de costa, o avanço da cunha salina representa um risco real que sempre persiste, alguns procedimentos podem minimizá-los e para isto sugere-se:

- a) manutenção de pelo menos quatro pontei-ras em condições de operação;
- b) operação contínua de três pontei-ras em sistema de rodízio, de maneira que a cada semana uma permaneça em repouso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1982. Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. ABNT, NBR 7229, 37 pp.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1979. Estudo de águas subterrâneas - região

- administrativa 2, Santos. São Paulo: DAEE. 3v.
- KINZELBACH, W. 1986. Groundwater modelling - as introduction with sample programs in basic. Developments in Water Science 25. Elsevier, 333 p.