

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O USO DE BARREIRA REATIVA PARA DEGRADAÇÃO  
DE NITRATO PROVENIENTE DE SISTEMAS DE  
SANEAMENTO *IN SITU* EM UMA ÁREA DE  
LOTEAMENTO NO DISTRITO DE MARSILAC –  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

Amanda Roncato Batista

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata  
Co-orientadora: Alexandra Vieira Suhogusoff

TRABALHO DE FORMATURA (TF – 07/02)

SÃO PAULO  
2007

TF  
B333  
AR.u

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024330

**O USO DE BARREIRA REATIVA PARA DEGRADAÇÃO DE  
NITRATO PROVENIENTE DE SISTEMAS DE SANEAMENTO  
*IN SITU* EM UMA ÁREA DE LOTEAMENTO NO DISTRITO DE  
MARSILAC – MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

Amanda Roncato Batista



Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Co-orientadora: Alexandra Vieira Suhogusoff

TRABALHO DE FORMATURA (TF – 07/02)

SÃO PAULO

2007



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
LISTA DE FIGURAS .....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METAS E OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA, GEOLOGIA REGIONAL E HIDROGEOLOGIA.....</b>	<b>3</b>
3.1. Localização da área .....	3
3.2. Geologia Regional.....	3
3.3. Hidrogeologia.....	5
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>6</b>
4.1. Sistemas de saneamento <i>in situ</i> .....	6
4.1.1. Nitrificação.....	7
4.1.2. Desnitrificação.....	8
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
5.1. Características do sistema de BR .....	12
5.2. Construção dos pan-lisímetros .....	12
5.3. Construção das fossas alternativa e de controle .....	14
5.4. Campanhas de amostragem da água.....	19
5.4.1. Preservação das amostras .....	21
<b>6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>22</b>
6.1. Cronograma .....	22
6.2. Comentários sobre as dificuldades encontradas .....	23
<b>7. RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>24</b>
7.1. Campanha Inicial .....	27
7.2. Primeira Campanha .....	42
7.3. Segunda Campanha .....	31
<b>8. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
8.1. Fossa Alternativa: pH, temperatura, Eh, CE, alcalinidade e OD .....	33
8.2. Fossa Controle: pH, temperatura, Eh, CE, alcalinidade e OD .....	36
8.3. Fossas Alternativa e Controle: Série Nitrogenada .....	38
8.4. Curvas de variação: Centro, Este e Oeste .....	41

<b>9. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>

Ao Prof. Dr. Ricardo Cesar Andrade, pelo apoio e orientação sempre prestada, sempre interpretando de maneira muito clara.

A Gisele Almeida Vieira, que sempre esteve ao meu lado, com grande entusiasmo e grande apreço, sempre dando suporte e orientação.

Aos amigos da turma de graduação de Direito Ambiental, pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento do estudo ambiental e ambientalista.

A Professora Maria Helena Lacerda - PAPECA, por suas orientações e apoio ao desenvolvimento do estudo ambiental.

Ao Instituto CEBEC pelo apoio da sua estruturação em ambiente de pesquisa.

Ao Prof. José Pinto, pelo apoio nas matérias de direito e ciências sociais.

Aos amigos da graduação, Michelle Tukka, Tatiane Souza, Diego Borges, Mariana Souza e Ana Beatriz, cuja amizade é duradoura.

Aos amigos da graduação, Michelle Tukka, Tatiane Souza, Diego Borges, Mariana Souza e Ana Beatriz, cuja amizade é duradoura.

A minha família, René, Cláudia, Thiago e Lucas por tudo o que representam e carregam para mim pelo amor à vida, carinho e compreensão.

## AGRADECIMENTOS

A execução desse Trabalho de Formatura envolveu a participação de diversas pessoas e algumas instituições. Abaixo expresso os meus agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata, pela orientação, paciência, apoio e aprendizado prestado durante todo esse período.

À Geóloga Alexandra Vieira Suhogusoff, minha co-orientadora e amiga, que contribui muito para o meu aprendizado através de valiosas sugestões e revisões do meu texto que foram extremamente úteis.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), principalmente ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental pelo fornecimento de toda a infra-estrutura necessária à execução desse trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro concedido ao projeto maior “Minisis” (processo nº 05/00315-5).

Ao Laboratório CEIMIC pela realização das análises químicas das amostras de água subterrânea.

Ao Prof. Jesse Stimson pelo apoio nos trabalhos de campo e revisão do *abstract*.

Aos amigos do Laboratório de Modelos Físicos (LAMO), Alexandra Vieira Suhogusoff, Luiz Carlos Ferrari e Marcus Sangiorgi Ucci, pela agradável convivência durante essa fase, além das indispensáveis ajudas nos trabalhos de campo e discussões sobre o texto.

Aos amigos da graduação, Michelle Tizuka, Talita Muzzi, Tiago Borges, Marcus Sangiorgi e Ana Maciel pelo apoio prestado.

À minha família, Renô, Cleusa, Thiago e Lucas por tudo o que representam e especialmente meus pais pelo imenso apoio, carinho e compreensão.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudos .....	3
<b>Figura 2.1.</b> Cone de PE com base menor serrada.....	13
<b>Figura 2.2.</b> Base menor colada com folha de PVC .....	13
<b>Figura 2.3.</b> Tela microporosa sendo colada com cola de silicone quente .....	13
<b>Figura 2.4.</b> Fixação da tela com braçadeiras.....	13
<b>Figura 2.5.</b> Finalização do filtro com colagem de folha de PVC e mangueira para sucção de amostra.....	13
<b>Figura 2.6.</b> Filtros prontos para serem inseridos nos cones de PE.....	13
<b>Figura 2.7.</b> Filtro sendo colado com silicone quente dentro do cone de PE.....	14
<b>Figura 2.8.</b> Pan-lisímetro .....	14
<b>Figura 3.1</b> Distribuição das camadas na fossa alternativa.....	15
<b>Figura 3.2.</b> Distribuição dos instrumentos na fossa alternativa.....	15
<b>Figura 5.1.</b> Distribuição das camadas na fossa controle.....	18
<b>Figura 5.2.</b> Distribuição dos instrumentos na fossa controle.....	18
<b>Gráficos i-FA.1 a i-FA.5 e i-FC.1 a i-FC.5.</b> Campanha Inicial.....	25
<b>Gráficos 1-FA.1 a 1-FA.9 e 1-FC.1 a 1-FC.9</b> Primeira Campanha.....	28
<b>Gráficos 2-FA.1 a 2-FA.4 e 2-FC.1 a 2-FC.4</b> Segunda Campanha.....	31

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Cronograma anual de atividades .....	23
<b>Tabela 2.</b> Média dos parâmetros da série nitrogenada, considerando as curvas Centro, Este e Oeste do nível tipo P-1: <b>FA</b> (P-1E e P-1C) e <b>FC</b> (P-1E, P-1C e P-1O).....	40
<b>Tabela 3.</b> Confronto entre as concentrações iniciais, "medianas" (dentro da BR) e finais de cada parâmetro da série nitrogenada em <b>FA</b> (Centro, Este e Oeste).....	40
<b>Tabela 4.</b> Confronto entre as concentrações iniciais, "medianas" e finais de cada parâmetro da série nitrogenada em <b>FC</b> (Centro, Este e Oeste) .....	40

**LISTA DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Figuras 4.1 a 4.34 - construção da fossa alternativa .....	47
<b>Anexo 2.</b> Figuras 6.1 a 6.15 - construção da fossa controle .....	51
<b>Anexo 3.</b> Dados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	54
<b>Anexo 4.</b> Dados da Série Nitrogenada .....	58
<b>Anexo 5.</b> Dados utilizados para confeccionar os gráficos das campanhas inicial, primeira e segunda .....	61

## RESUMO

O presente projeto apresenta um método inovador de tratamento de efluentes domésticos provenientes de fossas negras ou sépticas, que visa minimizar os impactos causados nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, em uma área de mananciais densamente povoada. Trata-se de uma fossa alternativa (**FA**) que possui uma barreira reativa (**BR**) que degrada um nutriente comumente gerado, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), através do processo de desnitrificação. Também foi construída uma fossa controle (**FC**), com o objetivo de comparar ambas as fossas.

O material que proporciona a desnitrificação na **BR** é a serragem, sendo a mesma uma fonte de carbono orgânico que as bactérias utilizam para reduzir o  $\text{NO}_3^-$  ao gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ). Dada a existência de uma outra **BR**, para atenuação de bactérias/vírus na **FA**, composta por escórias de alto forno – *BOF* (pesquisada por outro membro do projeto), o processo de desnitrificação foi prejudicado, pois este material provoca a elevação do pH da água (a valores superiores a 11,0), sendo que a faixa de pH ideal para que esta reação ocorra está entre 6,5 e 8,0. Esperava-se que o pH diminuisse em pelo menos duas ordens de magnitude até alcançar a **BR** com serragem, que se encontra 1m abaixo da base do *BOF*, porém isto não foi o sucedido.

Os dados obtidos com o monitoramento das fossas são apenas iniciais, porém a concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N no nível da **BR** com serragem (3,5-4,0m) atingiu 24,5mg/L e, após a transposição desta camada, alcançou 21,2mg/L (redução de 13,5%). Na **FC**, este teor era de 13,0mg/L em 3,75m e atingiu 73,6mg/L em 4,5m. Mesmo que a atuação da **BR** seja pequena, pode-se supor que de alguma forma a configuração da **FA** diminuiu as concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N. Também houve uma redução de 70% da concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N na **FA** em relação à **FC**, considerando-se os níveis mais profundos de cada fossa.

## ABSTRACT

This project presents an innovative treatment method of domestic effluent emanating from septic wells. The technology will reduce the impacts caused by septic wells on shallow groundwater resources in a densely-populated area. One septic well was improved with the use of a permeable reactive barrier (**PRB**) that promotes the degradation of a nutrient generally produced, the nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), through the process of denitrification. It was also constructed a control septic well (without **PRB**) in a neighboring property. The objective is to compare the information gotten in both septic wells.

The materials that provide the denitrification in the **PRB** are wood chips, and they are a source of organic carbon that bacteria use to reduce nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) to nitrogen gas ( $\text{N}_2$ ). There is another **PRB** on the improved septic well that promotes the attenuation of bacteria/virus. This one is composed by basic oxygen furnace (BOF) and it is searched for another member of the project. The process of denitrification was damaged because the BOF increased the water pH (to values above 11,0) and the ideal band of pH to the occurrence of this reaction it is between 6,5 and 8,0. It was expected that the pH would decrease on two magnitude orders until reach the **PRB** with wood chips (that is 1m below the base of the BOF), but this did not happen.

The data acquired with the septic wells monitoring are only initial, but the concentration of  $\text{NO}_3^-$ -N on the wood chips **PRB** level (3,5-4,0m) reached 24,5mg/L and, after the transposition of this layer, attained 21,2mg/L (reduction of 13,5%). On the control septic well, this ratio was 13,0mg/L on 3,75m and reached 73,6mg/L on 4,5m. Even that the **PRB** performance looked small, it can be assumed that some how the improved septic well design decreased the  $\text{NO}_3^-$ -N concentrations. There was also a  $\text{NO}_3^-$ -N concentration reduction of 70% on the improved septic well in relation to the control septic well, considering the deepest levels of each septic well.

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário atual é caracterizado como a “era do meio ambiente”, pois reflete a preocupação tanto da população quanto das indústrias para com o gerenciamento adequado dos resíduos em busca de tecnologias limpas. Isto se deve ao fato de que o meio ambiente está sofrendo os impactos da poluição, face ao desenvolvimento urbano desenfreado e devido à geração de muitas fontes poluidoras que estão comprometendo a qualidade da vida humana.

Geralmente a opção escolhida para o lançamento de esgotos em áreas desprovidas de rede pública de água e esgoto é o despejo direto no meio, de forma completamente descontrolada, através de corpos de água superficiais (como córregos, rios, represas), fossas negras e sépticas. Nas favelas, a densidade populacional é muito mais expressiva do que em bairros residenciais, o que provoca uma grande aproximação entre fossas negras (muitas vezes escavadas até o nível freático) e poços cacimbas. Os sistemas convencionais de saneamento *in situ*, mesmo os adequados às normas técnicas (ABNT, 1993), não possuem capacidade de evitar a contaminação de aquíferos por nitrato (Foster & Hirata, 1988).

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é um dos íons mais encontrados em águas subterrâneas naturais, geralmente ocorrendo em baixos teores nas águas superficiais, mas podendo atingir altas concentrações em águas profundas (APHA, 1992), principalmente quando as mesmas são contaminadas por águas servidas. Nas águas subterrâneas, o  $\text{NO}_3^-$  ocorre em teores em geral abaixo de 5mg/L. Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) são ausentes, pois são rapidamente convertidos a  $\text{NO}_3^-$  pelas bactérias. Pequeno teor de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_3$  é sinal de poluição orgânica recente. Segundo o padrão de potabilidade da Organização Mundial da Saúde (2004), uma água não deve ter mais do que 10mg/L de  $\text{NO}_3^-$ -N (nitrogênio-nitrato), ou aproximadamente 44mg/L de  $\text{NO}_3^-$ .

A contaminação por  $\text{NO}_3^-$  na água de beber pode trazer graves consequências à saúde. Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$ . Este último combina-se com a hemoglobina para formar metahemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio no sangue. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Esta doença é conhecida como metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul.

Também existem diversos estudos relacionando níveis elevados de  $\text{NO}_3^-$  em água de poços, com incidência de câncer gástrico. No sistema digestivo humano, a reação de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  com aminas e amidos presentes no corpo, pode formar nitroamidas e nitrosamidas, que são substâncias carcinógenas (Packham, 1992). Além disso, estudos realizados na

Austrália e Canadá mostraram aumento significante de malformação congênita associada à ingestão de alta concentração de  $\text{NO}_3^-$  (Bouchard *et al.*, 1992).

Considerando o problema da contaminação por  $\text{NO}_3^-$ , diversas alternativas para atenuação do nitrogênio têm sido investigadas nos últimos anos, como modernas configurações para os sistemas sépticos. O modelo inovador para fossas sépticas aplicado nesse Trabalho de Formatura faz uso do conceito de barreiras reativas (BR) e foi recentemente utilizado no Brasil (Hirata & Cesarino, 2003). Esta tecnologia também foi amplamente empregada em países como o Canadá (Smyth *et al.*, 2002), citando-se o envolvimento da Universidade de Waterloo (Starr, 1988; Forbes, 2003; Stimson, 2005).

A área escolhida para a implementação deste sistema de BR fica a sul do município de São Paulo, entre Parelheiros e Engenheiro Marsilac. Parelheiros é uma das regiões mais problemáticas em saneamento, cuja cobertura de rede de esgoto é somente de 18%. Em Marsilac, o percentual é de apenas 0,35% (IBGE, 2000). Sendo assim, a importância desse projeto está diretamente relacionada à necessidade do desenvolvimento de novas alternativas de saneamento que sejam capazes de reduzir o impacto nos recursos hídricos subterrâneos.

É importante destacar que esse Trabalho de Formatura é parte de um projeto maior de pesquisa do orientador de Auxílio Fapesp (processo nº 05/00315-5), denominado "Minisis: Um Método Para Avaliação e Redução de Impactos nos Recursos Hídricos Causados por Sistemas de Saneamento *In Situ*", cujas atividades estão sendo realizadas desde o início de 2006. Ainda participam do projeto maior uma doutoranda bolsista Fapesp e uma Iniciação Científica Fapesp do IGc-USP, além de pesquisadores da Universidade de Waterloo (Canadá). Há ainda a colaboração de funcionários da Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Prefeitura da cidade de São Paulo e da Subprefeitura de Parelheiros.

## 2. METAS E OBJETIVOS

A proposta desse Trabalho de Formatura é auxiliar no desenvolvimento e instalação de uma barreira reativa (BR), subjacente a uma fossa negra, capaz de promover a degradação de uma pluma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) formada em um aquífero livre de uma região no extremo sul do Município de São Paulo.

Adicionalmente, pretende-se auxiliar no início do monitoramento desse sistema séptico melhorado, avaliando-se assim a sua eficiência durante o período desse Trabalho de Formatura.

### 3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA, GEOLOGIA REGIONAL E HIDROGEOLOGIA

#### 3.1. Localização da área

A área de estudo corresponde ao loteamento Jardim Santo Antônio, situado no bairro da Barragem, entre os distritos de Parelheiros e Engenheiro Marsilac (subprefeitura de Parelheiros), extremo sul do Município de São Paulo. O loteamento fica a sul do braço Taquacetuba da Represa Billings, à margem esquerda do Rio Monos, e faz parte de uma área de manancial inserida na Área de Proteção Ambiental do Capivari-Monos (APA-CM). A localização desta região está representada abaixo pela **Figura 1**.

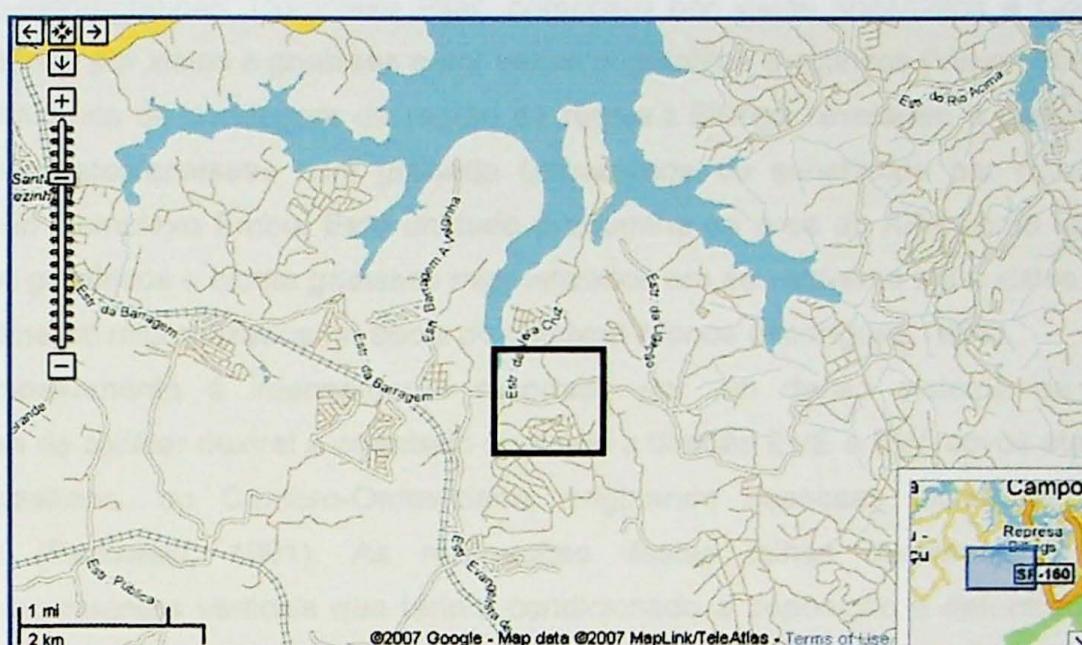


Figura 1. Localização da área de estudos.

A APA-CM equivale a 1/6, ou 25.000 hectares, da área total do Município de São Paulo. Nela, há vários loteamentos irregulares e invasões. Estes vêm se adensando rapidamente, o que torna ainda mais urgente a adoção de estratégias ambientais. Nesta região, protegida em 95% de seu território por lei municipal, o crescimento urbano intenso e desordenado tem gerado graves problemas relacionados: às precárias condições de moradia de grande parte da população; à ausência de infra-estrutura e serviços urbanos adequados, particularmente quanto ao saneamento básico (com lançamento direto no aquífero ou nas drenagens superficiais); e à degradação do meio ambiente, resultante do desmatamento indiscriminado, da poluição das águas e consequente comprometimento dos mananciais.

#### 3.2. Geologia Regional

O município de São Paulo encontra-se inserido nos domínios do Bloco de Juquitiba (Hasui, 1973) sendo, do ponto de vista tectônico, parte do Sistema de Dobramentos Apiaí

(Hasui *et al.*, 1975), um dos componentes do Sistema de Dobramentos do Sudeste (Almeida, 1976), antigo Cinturão Ribeira (Almeida *et al.*, 1973).

A geologia regional consiste em seqüências pré-cambrianas representadas por rochas metamorfizadas nas fácies xisto verde e anfibolito dos grupos Açuengui, São Roque e Serra do Itaberaba e pelos granitos de Embu-Guaçu, Parelheiros e Colônia, parcialmente recobertos por sedimentos terciários e quaternários.

Os terrenos cristalinos contornam as áreas sedimentares e configuram praticamente toda a borda da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), concentrando-se neles as áreas de cobertura vegetal e de mananciais hídricos de superfície. As rochas cristalinas que afloram na área da APA-CM pertencem ao Grupo Açuengui, o qual se divide em duas unidades lito-estratigráficas: Complexo Pilar, composto por xistos finos/filitos e Complexo Embu, constituído por xistos e gnaisses e por vezes migmatitos e ectinitos (Vieira, 1996).

Testemunhos de sondagem da região da represa Billings revelaram a presença de biotita quartzo xistos/gnaisses com granada (preservada ou substituída por muscovita), pertencente ao Complexo Embu. Esta unidade predomina na área da APA como um todo, com gnaisses graníticos e biotita gnaisses migmatizados em seu extremo sul e xistos e mica xistos parcialmente migmatizados na bacia do Capivari-Monos (Rodriguez, 1998).

O embasamento é intensamente recortado por um denso sistema de falhas transcorrentes de caráter dextral e orientado segundo a direção ENE a EW, ativos até o final do Ciclo Brasiliano, no Cambro-Ordoviciano, originando espessas faixas de rochas cataclásicas (Sadowski, 1991). As reativações destas falhas durante o Terciário provocaram movimentos verticais que teriam condicionado a deposição e deformação dos sedimentos das bacias originadas (Riccomini *et al.*, 1989; Mancini & Riccomini, 1994).

A Bacia de São Paulo, juntamente com as bacias de Curitiba, Taubaté, Resende e Volta Redonda, compõem o chamado Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (Almeida, 1976). Este termo foi modificado por Riccomini (1989) para Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), cuja origem está ligada a eventos tectônicos de idade cenozóica.

Os sedimentos da Bacia de São Paulo estão contidos num hemi-graben basculado para NNW, sobrepostos aos terrenos cristalinos de idade pré-cambriana (Juliani, 1992). Estes sedimentos provêm das formações Resende, Tremembé e São Paulo (Terciário, Paleógeno), superpostos pela Formação Itaquaquecetuba (Terciário, Neógeno) e depósitos neocenozóicos (Riccomini *et al.*, 1992).

As coberturas neoceonozóicas são representadas por coluviões e aluviões em várzeas e terraços baixos, com espessura raramente ultrapassando os 10m, sendo de idade pleistocênica superior e holocênica (Riccomini *et al.* 1992). Tais coberturas têm ocorrência significativa na RMSP, onde se destacam os depósitos aluviais nas extensas planícies dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva, Cabuçu, Embu Guaçu e Capivari e dos

ribeirões do Monos, do Cipó, dos Pombos, dos Meninos e dos dois Vermelhos e seus principais tributários.

No entanto, estes sedimentos apresentam-se na maioria das vezes cobertos por camadas de aterro (Takiya, 1997). Material coluvionar, associado a escorregamentos da Serra do Mar, foi constatado na região de Capela do Socorro diretamente sobre rochas saprolíticas (rochas alteradas do embasamento) e em Cidade Dutra, acima de lamitos da Formação Resende (Takyia, 1997). Os depósitos coluvionares e aluvionares são pouco espessos na APA-CM, atingindo até 6m de profundidade.

### 3.3. Hidrogeologia

A área de estudo está inserida entre as bacias hidrográficas do Alto Tietê (BAT) e da Baixada Santista (BBS). Ela está situada entre os setores montanhosos que constituem a Serra do Mar, que formam os divisores naturais das águas superficiais e subterrâneas, e as várzeas, que são unidades de relevo caracterizadas pela recepção e escoamento das águas superficiais, onde se encontram os reservatórios de Billings e Guarapiranga e a nascente do Rio Monos (sub-bacia Capivari Monos).

As várzeas são as unidades de relevo mais diferenciadas pelas suas condições naturais específicas de recepção e escoamento das águas superficiais. Por constituírem aquíferos freáticos rasos, são muito vulneráveis aos impactos causados pela ocupação antrópica. A ocupação do loteamento Jardim Santo Antônio insere-se neste contexto hidrogeológico muito vulnerável à poluição.

O Rio Capivari nasce numa região colinosa e flui inicialmente na direção do Rio Tietê, quase que em paralelo com o Rio Embu Guaçu, convergindo mais de 130° na altura da estação elevatória da SABESP, onde ele passa a correr por um relevo de morros, recebendo inúmeros afluentes de pequeno porte. Neste trecho o rio apresenta traçado sinuoso, correndo no sentido WE, até se juntar com o Rio dos Monos, quando converge para o sul everte pela escarpa da Serra do Mar, para desaguar no Rio Branco, já no Município de Itanhaém (BBS). O Rio dos Monos é o principal afluente do Capivari e a bacia é conhecida por Capivari-Monos. A bacia do Capivari-Monos contribui para o abastecimento hídrico da RMSP; hoje ela abastece o reservatório Guarapiranga a uma vazão de 1m<sup>3</sup>/s, mas seu potencial é de cinco vezes maior.

Na área de estudos, há terrenos de baixa declividade (<5%) na borda, onde estão situados os corpos de água superficiais, constituídos por depósitos quaternários de natureza colúvio-aluvionar ou por saprolito do embasamento cristalino, ambos caracterizando um aquífero do tipo livre e heterogêneo com lençol freático pouco profundo, e terrenos de maior declividade (morros) no centro, correspondentes ao embasamento cristalino alterado, cujos níveis de água muitas vezes são alcançados a profundidades superiores a 30m (Takiya, 1997).

A condutividade hidráulica do aquífero sedimentar livre varia de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$ m/s e a do saprolito oscila entre  $10^{-7}$  a  $10^{-10}$ m/s. Por constituírem aquíferos freáticos rasos, são muito vulneráveis aos impactos causados pela ocupação antrópica (Hirata, 2003).

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Sistemas de saneamento *in situ*

A água residual composta por esgotos domésticos em sistemas sépticos contém muitos contaminantes nocivos à saúde, sendo o  $\text{NO}_3^-$  um dos mais comuns. Existem poucos trabalhos no Brasil que avaliem os impactos advindos da inserção de substâncias tóxicas e microrganismos em águas subterrâneas através de fossas negras ou sépticas (Varnier & Hirata, 2002).

A água de esgotos domésticos contém um grande volume de matéria orgânica, que é proveniente de dejetos humanos, resíduos de alimentos e de produtos de limpeza. A matéria orgânica é principalmente composta por proteínas e carboidratos, com menores quantidades de lipídios, porém também inclui duas classes de contaminantes: compostos químicos orgânicos antropogênicos e patógenos microscópicos. As proteínas e a uréia contribuem com proporção acima de 97% dos 20 a 70mg/L de nitrogênio tipicamente encontrado nas águas servidas (Wilhelm *et al.*, 1994).

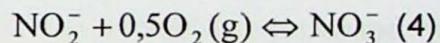
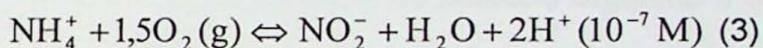
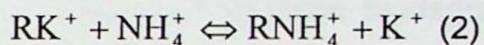
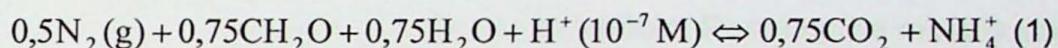
Conseqüentemente, os esgotos domésticos apresentam relativamente altas concentrações de compostos orgânicos contendo carbono e nitrogênio reduzidos. Os microorganismos dos sistemas sépticos satisfazem a sua necessidade energética catalisando a oxidação destes compostos reduzidos, o que requer a redução concomitante de receptores de elétrons. O oxigênio é o receptor de elétrons energeticamente mais favorável e os ambientes biogeoquímicos são usualmente classificados como aeróbios ou anaeróbios de acordo com a presença ou ausência deste composto, respectivamente.

A evolução do efluente doméstico produzido em sistemas de saneamento *in situ* passa, necessariamente, por duas zonas biogeoquímicas, sendo que uma terceira zona se desenvolverá eventualmente. A primeira zona é constituída pelo próprio tanque séptico, que corresponde a um meio anaeróbio com alta concentração de matéria orgânica, onde se formam duas fases físicas: escuma (sobrenadante constituído de matéria graxa e sólidos misturados com gases) e lodo (partículas sólidas sedimentadas) (ABNT, 1993). Neste meio, a maior parte do nitrogênio é liberada das moléculas orgânicas na forma de amônia (nitrogênio amoniacal), tanto na forma ionizada chamada amônio ( $\text{NH}_4^{+1}$ ) como na forma tóxica não ionizada ( $\text{NH}_3$ ).

#### 4.1.1. Nitrificação

A escuma separada no tanque séptico escoa através de drenos dispostos logo abaixo do tanque, porção situada na zona não saturada e aeróbia, a segunda zona biogeoquímica. Nela, os microorganismos utilizam o oxigênio como receptor de elétrons na oxidação de carbono orgânico para gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e de  $\text{NH}_3$  para  $\text{NO}_3^-$ , sendo este último processo chamado de nitrificação. A produção de  $\text{NO}_3^-$  neste meio gera concentrações no efluente que são de duas a sete vezes maiores que o limite de potabilidade para este composto (Wilhelm, 1994).

Na verdade, o mecanismo da nitrificação envolve uma inter-relação complexa entre nitrogênio orgânico ( $\text{N}_{\text{org}}$ ) e  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_4^+$  no solo. Com a conversão do  $\text{N}_{\text{org}}$  em  $\text{NH}_4^+$  (reação 1), este pode migrar para outro ecossistema, permanecer adsorvido no solo, caso haja troca iônica com argilo-minerais (reação 2), ou gerar uma forma mais oxidada, o  $\text{NO}_2^-$ , pela atividade das bactérias *Nitrossomas* (reação 3). Devido ao  $\text{NO}_2^-$  corresponder a uma espécie aniônica muito instável, ele é logo transformado em  $\text{NO}_3^-$  através da ação da *Nitrobacter* (reação 4) (Cesarino, 2002).

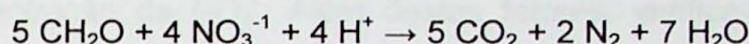


As reações de nitrificação em terrenos tropicais são bastante rápidas e plumas de  $\text{N}_{\text{org}} - \text{NH}_4^+$  geradas por fossas negras tendem a ser convertidas a  $\text{NO}_3^-$  em menos de 10m de fluxo horizontal em aquíferos livres e rasos (Varnier & Hirata, 2002).

Na solução do solo, o  $\text{NO}_3^-$  fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo pode haver considerável incremento nos teores deste composto nas águas profundas (Freeze & Cherry, 1979). Isto ocorre pelo fato de que o ânion  $\text{NO}_3^-$ , caracterizado por ser fracamente retido no solo, tende a permanecer mais em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, onde a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo das partículas de solo (repelindo o  $\text{NO}_3^-$ ). Além disso, este composto não será biodegradado em zonas aeróbias. Diversos estudos de campo muito bem detalhados encontraram plumas com níveis elevados de  $\text{NO}_3^-$  em extensões a mais de 100m, mesmo de pequenos sistemas sépticos (Robertson *et al.*, 1991).

#### 4.1.2. Desnitrificação

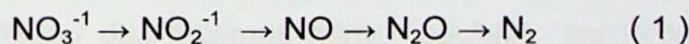
Em alguns sistemas de saneamento *in situ*, ocorre uma terceira zona biogeoquímica, onde há a conversão de  $\text{NO}_3^-$  em gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), através do processo respiratório de bactérias (Robertson *et al.*, 1995). Este processo normalmente sucede em meios saturados ou nas proximidades, logo abaixo dos drenos ou já abaixo do nível freático, exigindo condições anaeróbias e um doador de elétrons, como o carbono orgânico (Wilhelm, 1994). O  $\text{NO}_3^-$  funciona como receptor de elétrons para os microrganismos promoverem a oxidação deste carbono orgânico. A reação química envolvida neste mecanismo é conhecida como desnitrificação e é expressa abaixo:



O carbono (presente na matéria orgânica) é necessário em igual parte para cada porção de  $\text{NO}_3^-$  a ser degradado. Geralmente, o principal limitante das reações de desnitrificação nos aquíferos é a baixa concentração de carbono (Keeney, 1986). Assim sendo, na maior parte das fossas negras, a terceira zona é inexistente, pois não há uma fonte de carbono orgânico associada a um meio anaeróbio. Portanto, na maioria dos casos, é um suprimento de carbono orgânico prontamente biodegradável que a maioria das bactérias utiliza conjuntamente para a oxidação do carbono orgânico e a redução do  $\text{NO}_3^-$  como fonte de energia (Cesarino, 2002).

Em suma, a desnitrificação biológica é um processo que, na ausência de oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) e na presença de doadores de elétrons, reduz o  $\text{NO}_3^-$  a óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e  $\text{N}_2$  e, eventualmente, a  $\text{NH}_4^{+1}$  -  $\text{NH}_3$ . De forma simplificada, a redução do  $\text{NO}_3^-$  ocorre em etapas seqüenciais, conforme a Equação (1):

Estados de oxidação: (+5)    (+3)    (+2)    (+1)    (0)



As duas etapas iniciais são bastante estudadas; a primeira é a redução de  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NO}_2^-$ , mediada pela enzima nitrato redutase e a segunda é a redução do  $\text{NO}_2^-$  pela enzima nitrito redutase. Como citado acima, a completa conversão de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$  se processa através de uma microbiota desnitrificante constituída de grupos de microrganismos (Mansell & Schroeder, 1998).

A desnitrificação pode ser realizada por considerável número de gênero de bactérias. Os principais gêneros de bactérias que realizam desnitrificação são os seguintes: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Hiphomicrobium*, *Chromobacterium*, *Halobacterium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Azospirillum*, *Rhodopseudomonas*, *Thiobacillus*, *Vibrio*, *Xanthomonas* e *Klebsiella* (Rittman & Langeland, 1985).

As bactérias desnitrificantes podem utilizar como doadores de elétrons tanto substâncias orgânicas como inorgânicas. O primeiro material a ser oxidado é o  $O_2$ , portanto nas condições de subsuperfície, aeróbias, este acceptor prepondera. Quando o  $O_2$  se torna escasso, as bactérias facultativas anaeróbias trocam o seu acceptor de elétrons para o próximo de maior capacidade de obtenção de energia, no caso o  $NO_3^-$  (Cesarino, 2002). Para um processo eficiente de desnitrificação, devem ser observadas as relações estequiométricas entre doador e acceptor de elétrons, para que não ocorra a formação de compostos intermediários ou de produtos indesejáveis (Krause, 2006).

Sendo assim, os principais fatores que controlam o processo de desnitrificação são: concentração de oxigênio dissolvido, presença de carbono orgânico, presença de bactérias facultativas e concentração de  $NO_3^-$ . Além destes fatores, verifica-se que a reação de desnitrificação é também muito susceptível a outros parâmetros físicos, químicos e/ou biológicos como: Eh e alcalinidade (Hendry *et al.*, 1983); temperatura, pH, tempo de retenção celular e presença de substâncias tóxicas (Sousa & Foresti, 1999).

Nas fossas negras ou sépticas, a desnitrificação ocorre, geralmente, por ação de bactérias heterotróficas que, neste caso, apresentam maior taxa de crescimento assumindo, assim, um tempo de retenção celular menor quando comparadas com as bactérias autotróficas. Isto significa que o tempo de retenção dos compostos intermediários das reações de desnitrificação no sistema das bactérias heterotróficas é menor quando comparado ao das bactérias autotróficas, cujo ciclo de vida é mais lento. As bactérias heterotróficas obtêm suas energias e carbono através da oxidação de compostos orgânicos, já as bactérias autotróficas conseguem suas energias através da oxidação de sulfetos.

Altas concentrações de substâncias tóxicas podem causar a inibição do processo de desnitrificação. Por isso, elevadas concentrações de  $NO_3^-$  (a partir de 315mg/L de  $NO_3^-$ -N) podem ocasionar um aumento da concentração de  $NO_2^-$  intermediário presente no meio, possivelmente pela inibição das enzimas nitrito redutase, comprometendo o processo de desnitrificação (Krause, 2006).

O aumento da concentração de  $NO_2^-$  intermediário causado pelo processo de redução do  $NO_3^-$ , em pH abaixo de 8,0, propicia à formação de ácido nitroso ( $HNO_2$ ), inativando as enzimas e ocorrendo um acúmulo de  $NO_2^-$  extracelular, porém apenas em pH abaixo de 7,0, a redução de  $NO_3^-$  a  $NO_2^-$  é inibida (Krause, 2006).

A temperatura tem influência na taxa de crescimento dos microrganismos. A desnitrificação ocorre a uma temperatura ótima entre 25 e 35°C, porém pode se processar entre 0 e 50°C. O pH é outro fator que afeta a taxa de desnitrificação, pois a mesma é reduzida quando o pH do meio se mantém abaixo de 6,0 e acima de 9,0 tendo-se que o pH ótimo está na faixa de 6,5 a 8,0 (Krause, 2006).

O processo de nitrificação gera um pH ácido no meio. A alcalinidade parcial natural, composta por íons carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) e bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), normalmente é suficiente para

estabilizar este pH (tamponamento da solução), porém para isto é recomendada uma concentração de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) no meio de pelo menos 50-75mg/L (Von Sperling & Gonçalves, 2002).

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) no meio não só inibe a atividade como a síntese de enzimas desnitrificantes. A concentração de OD maior que 1mg/L afeta o processo de desnitrificação, sendo que um teor menor do que 0,2mg/L de OD na solução é o ideal (Sousa & Foresti, 1999). Entretanto a desnitrificação tem sido observada em sistemas com baixa concentração de OD, contudo acima desta taxa recomendada. Estas observações são explicadas pela presença de microscópicas zonas anaeróbias que provavelmente ocorrem em filmes de bactérias (Krause, 2006).

Muitas bactérias heterotróficas que oxidam anaerobiamente matéria orgânica, usando  $\text{NO}_3^-$  como receptor terminal de elétrons, funcionam como facultativas desnitrificantes. As bactérias desnitrificantes utilizam preferencialmente o  $\text{O}_2$ , que compete com o  $\text{NO}_3^-$  na função de receptor de elétrons (Sousa & Foresti, 1999).

O potencial redox ou Eh (medido como voltagem) também possui relação com o processo de desnitrificação. Valores de Eh entre 300 e 350 mV indicam que o ambiente é rico em  $\text{O}_2$  e contém pouco material em decomposição, ou seja, nesse meio a desnitrificação será nula. Valores abaixo de 200 mV indicam acúmulo de matéria orgânica e baixo nível de OD na água, favorecendo assim a desnitrificação. Potencial redox negativo também é possível em ambientes anaeróbicos, que é o meio ideal para o processo de desnitrificação (Sousa & Foresti, 1999).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O conceito de uma barreira reativa (BR) é relativamente simples. O material reativo é colocado em sub-superfície, no local onde uma pluma de água subterrânea contaminada possa interceptá-lo e atravessá-lo. Assim sendo, cria-se um sistema de tratamento passivo, resultando na saída de água tratada pelo outro lado da BR (EPA, 1998).

A BR não é um obstáculo para a água, mas sim para o contaminante. Quando propriamente modeladas e implementadas, as BR's são capazes de remediar adequadamente uma série de contaminantes. Normalmente, estes sistemas, uma vez instalados, terão um custo de manutenção extremamente baixo ou mesmo nenhum, por pelo menos de cinco a dez anos. Os únicos custos operacionais envolvidos deverão ser aqueles de rotina e de monitoramento realizados (EPA, 1998).

A construção de uma BR deve considerar determinadas características desejáveis, tais como: baixo custo; fácil obtenção dos materiais constituintes; longa durabilidade; utilização de material construtivo que não provoque ocasionalmente uma contaminação secundária; homogeneidade, evitando assim o carreamento das partículas constituintes da

BR, que poderá gerar caminhos preferenciais de fluxo da água contaminada; e comprimento suficiente para evitar que o fluxo da água subterrânea se disperse.

Na aplicação de BR's de óxido-redução para a degradação de  $\text{NO}_3^-$ , a celulose corresponde a uma fonte de carbono que pode ser utilizada nos processos de desnitrificação, sendo aplicada sob as formas de papel, fibras não processadas de algodão, serragem ou lascas de madeira e óleos vegetais.

Nesse Trabalho de Formatura, o material utilizado para promover a desnitrificação na BR foi a serragem. Esta escolha foi baseada em *batch-tests* efetuados em Cesarino (2002) e Hirata & Cesarino (2003) com os materiais papel jornal, serragem, palha de aço (liga de ferro e carbono) e enxofre e água com  $\text{NO}_3^-$ , testando a eficiência da degradação deste último para cada caso.

A serragem apresentou um consumo de 97% de  $\text{NO}_3^-$  para poucos dias de ensaio (cerca de seis dias). Portanto, este material demonstrou ser o meio reativo mais eficiente na degradação de  $\text{NO}_3^-$ , além de ser um material de baixo custo e fácil obtenção para utilização em fossas sépticas da população de baixa renda.

A configuração da BR é em camada horizontal (*horizontal layer*) o que dispensa o conhecimento das cargas hidráulicas necessário em barreiras do tipo parede contínua em zona saturada. O posicionamento da BR logo abaixo da fossa permite que o fluxo do contaminante seja direcionado verticalmente.

O desempenho desta BR foi avaliada através da utilização de diversas metodologias, como a medição em campo de parâmetros físico-químicos e as análises químicas e microbiológicas em laboratórios especializados. Os parâmetros *in situ* determinados foram: Eh, alcalinidade, condutividade elétrica (CE), OD, pH e temperatura. Já as análises realizadas correspondem a: ânions, cátions, carbono orgânico dissolvido (COD), série nitrogenada ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ; nitrogênio total – NKT;  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ; e  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ) e bactérias (heterotróficas, coliformes totais e fecais).

A análise da série nitrogenada permite avaliar de forma definitiva a eficiência do sistema de BR, que é composto por 60% de serragem de Peroba Rosa e 40% de pedrisco. O exame das bactérias é interessante no que se diz respeito à relação entre presença/ausência de heterotróficas e  $\text{NO}_3^-$ .

É necessário esclarecer que o projeto maior (Minisis), no qual esse Trabalho de Formatura está inserido, contempla também o uso de uma BR para atenuação de bactérias e vírus. O material reativo para atenuação destes biocolóides é constituído basicamente por escórias de alto forno (*BOF slag – basic oxygen furnace*) e a sua composição química primária é constituída basicamente por oxi-hidróxidos de ferro (10 – 15%), sílica e alumina provenientes do minério de ferro original, com óxidos de cálcio e magnésio adicionados no processo. Também possui concentrações consideráveis de manganês e outros óxidos (Stimson, 2005).

A razão pela qual este material se torna tão eficiente é porque a água, quando em contato com o *BOF*, alcança valores de pH superiores a 11,0, os quais são responsáveis pela inativação da maior parte das bactérias/vírus. A mistura de *BOF* utilizada na BR da fossa alternativa é composta por 50% de *BOF*, 30% de pedrisco e 20% de brita 0. Esta parte do projeto é conduzida por um aluno de doutorado da Universidade de Waterloo (Canadá).

### **5.1. Características do sistema de BR**

O local mais adequado para a construção do sistema piloto de BR (fossa alternativa) no loteamento Jardim Santo Antônio foi determinado de acordo com o conhecimento hidrogeológico da região, que foi adquirido com idas a campo pelo projeto de Auxílio Fapesp *Minisis* (processo nº 05/00315-5).

Nesta etapa do projeto, foi cadastrada a maior parte dos poços cacimba e fossas negras, além do levantamento demográfico da área de estudo. Além disso, foram executados levantamentos topográficos e medição dos níveis de água locais para a elaboração de um mapa potenciométrico.

Foram selecionadas duas áreas específicas do loteamento, uma para a construção da fossa alternativa, outra para a instalação de uma fossa de controle para acompanhamento da evolução natural do nitrogênio (sem a presença de material reativo). A seleção das mesmas foi efetuada em função de algumas características pré-determinadas, tais como: quantidade suficiente de habitantes no local para produzir efluentes de forma adequada; zona não-saturada suficientemente espessa para evitar que a água do aquífero afogasse o sistema séptico; disponibilidade de espaço para escavação e instalação das BR's e fossas, assim como para a organização dos equipamentos de amostragem da água; segurança para a realização do trabalho; entre outras.

Dentre as atividades mais relevantes realizadas neste período do projeto, foram aquelas relacionadas à modelagem hidráulica da fossa e da BR. A partir da entrada de dados fundamentalmente de recarga (aporte de esgoto) e de propriedades físicas dos diversos materiais que compõem a fossa alternativa (por exemplo, as condutividades hidráulicas), determinaram-se alguns parâmetros para verificação do desempenho da BR antes de sua instalação, tais como: velocidades de fluxo em zona não-saturada; grau de saturação; e grau de pressão capilar, dado este importante para se saber a potencialidade de obtenção de água pelos instrumentos (Morrison & Spangler, 1993).

### **5.2. Construção dos pan-lisímetros**

Concomitantemente ao desenvolvimento desta modelagem, foram construídos os equipamentos a serem instalados na BR para seu monitoramento, os pan-lisímetros. A

confecção destes instrumentos foi uma parte fundamental do projeto, visto que grande parte das amostragens de água estará sujeita ao correto funcionamento dos mesmos.

Os pan-lisímetros caracterizam-se dada à sua expressiva capacidade volumétrica (porosidade equivalente a 2L) bem como por ser amostrador de zona não saturada. A estrutura cônica destes instrumentos favorece o armazenamento de água de forma mais pontual. A extração de amostras se dá por um filtro interno (tubo de PVC), sendo o espaço cone/filtro ocupado por material sedimentar mais fino que o entorno (fossa). Esta estratégia será empregada já que em zonas não-saturadas, a água tende a percorrer preferencialmente sedimentos com poros menores devido à interação solo/água/ar.

Para a montagem dos pan-lisímetros, foram utilizados cones de polietileno (PE) de 50cm de altura e 30cm de diâmetro da boca maior (**Figura 2.1**). A base menor destes cones foi serrada, tampada com folha de PVC e cola quente (**Figura 2.2**). Depois, para confecção dos filtros internos, foram furados com furadeira tubos de 1" de diâmetro e 30cm de altura e cobertos com telas microporosas (estas foram coladas e fixadas com braçadeiras) (**Figuras 2.3 e 2.4**). Dentro destes tubos colocaram-se mangueiras cristal 5/16" – por onde amostras de água serão succionadas - aplicando-se um selo na extremidade do tubo de PVC de 1" para não entrar partículas indesejadas (**Figuras 2.5 e 2.6**). Estes tubos foram dispostos dentro do cone e sobre a base menor do mesmo (**Figuras 2.7 e 2.8**).



**Figura 2.1** Cone de PE com base menor serrada.



**Figura 2.2** Base menor colada com folha de PVC.



**Figura 2.3** Tela microporosa sendo colada com cola de silicone quente.



**Figura 2.4** Fixação da tela com braçadeiras.



**Figura 2.5** Finalização do filtro com colagem de folha de PVC e mangueira para sucção de amostra.



**Figura 2.6** Filtros prontos para serem inseridos nos cones de PE.



Figura 2.7 Filtro sendo colado com silicone quente dentro do cone de PE.



Figura 2.8 Pan-lisímetro.

Além dos pan-lisímetros, outros equipamentos de relativa importância para esse projeto e que foram instalados em ambas as fossas, incluem os amostradores de gases, que futuramente nos farão entender o comportamento do N<sub>2</sub> nas reações de óxido-redução presentes no sistema de BR. Também foram instalados piezômetros (somente na fossa alternativa), que serão importantes para averiguar a desnitrificação no sistema de BR, ou seja, na zona saturada em que o material reativo (serragem) estará atuando.

Como citado anteriormente, uma parte da equipe do projeto maior (Minisis) está envolvida com a instalação de uma BR para atenuação de biocolóides e os lisímetros de aço (que foram instalados em ambas as fossas) são equipamentos relacionados ao estudo dos mesmos.

### 5.3. Construção das fossas alternativa e de controle

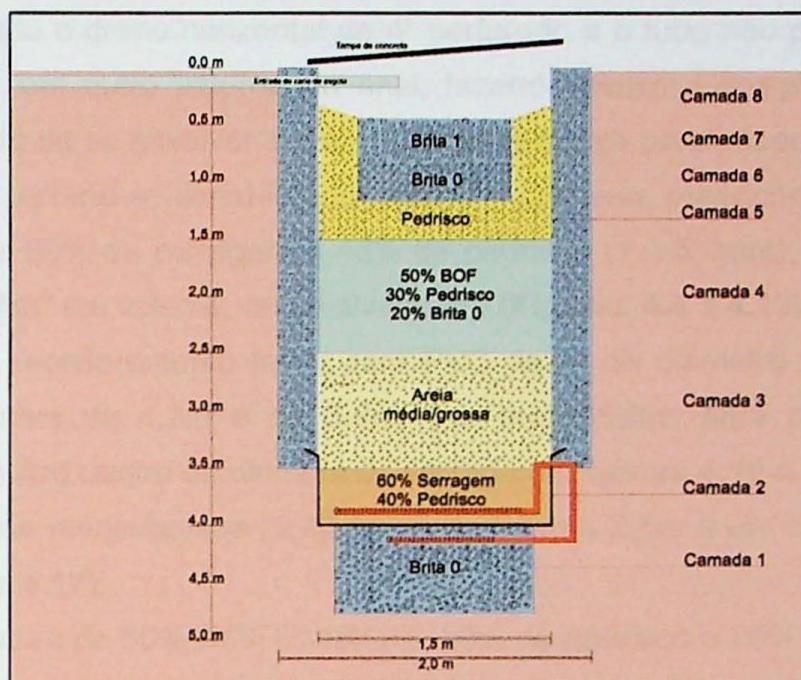
A fossa alternativa foi construída a aproximadamente 12m dos fundos da casa, próxima a algumas bananeiras e a uma fossa negra já existente. Também foi instalada uma fossa controle (em uma casa vizinha), que será descrita mais adiante. Montou-se uma estrutura de suporte através de cobertura com lona, isto devido às chuvas intensas e contínuas. A escavação foi feita por mão-de-obra local, normalmente três trabalhadores que utilizaram pás e enxadas, sendo uma maneira de se transmitir a técnica à comunidade.

Durante as escavações, foram coletadas amostras a cada 0,5m, sendo as mesmas descritas macroscopicamente. Também se tiraram fotos dos horizontes dentro da fossa. Foi possível observar pelo perfil descrito, que até pelo menos 3m o material era aterrado com solo da própria região e com entulhos de uma fossa abandonada. A rocha predominante corresponde a um gnaisse alterado de coloração ocre (por vezes amarelado), distinguindo-se a partir de 3m de profundidade alguns níveis com foliação mais preservada.

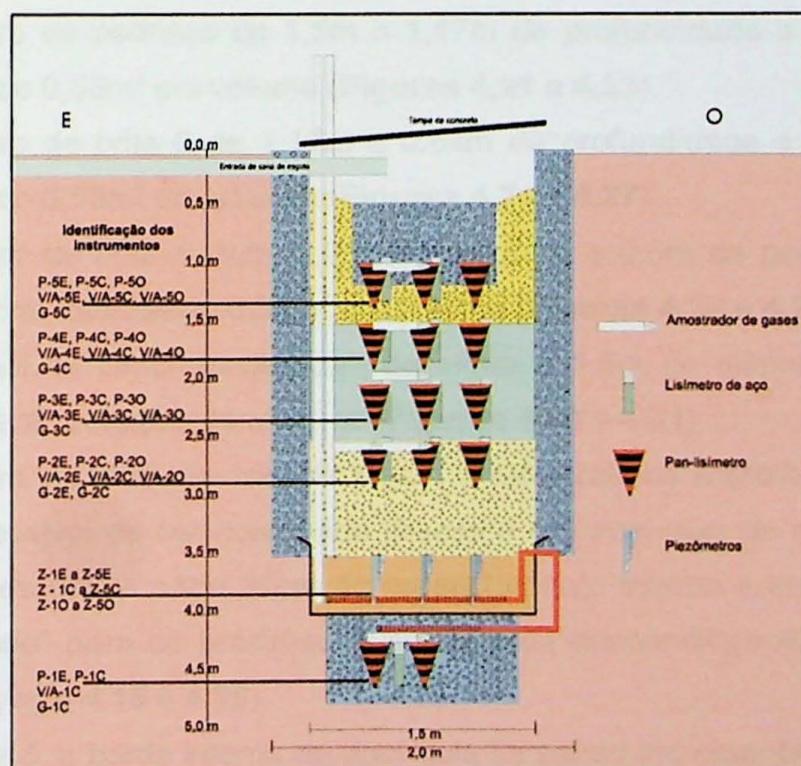
A escavação atingiu 4,7m de profundidade com 2,0m de diâmetro até 3,5m; 1,5m de diâmetro até 4,0m; e 1,25m de diâmetro até 4,7m. O furo foi sendo afunilado para possibilitar a disposição de um anel de concreto de 1,5m de diâmetro no nível da serragem. Abaixo deste anel, escavou-se com 1,25m de diâmetro com a intenção de se confeccionar

um degrau para suportar seu peso. Um acesso lateral foi aberto para conexão do dreno responsável pela manutenção do nível d'água na camada da serragem.

Após a escavação, a construção desta fossa alternativa seguiu basicamente quatro etapas: 1) preenchimento com um dos seguintes materiais ou uma mistura deles: brita (1 ou 0), areia (média/grossa), pedrisco, BOF ou serragem (**Figura 3.1**); 2) disposição dos equipamentos de medição: pan-lisímetros e amostradores de gás (**Figura 3.2**); 3) cobertura dos equipamentos com um dos materiais já citados; e 4) organização das mangueiras de cristal provenientes dos equipamentos de medição.



**Figura 3.1 Distribuição das camadas na fossa alternativa**



**Figura 3.2 Distribuição dos instrumentos na fossa alternativa**

O preenchimento da fossa alternativa da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir (**Figuras 4.1 a 4.34 – Anexo 1**):

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 4,7m a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,25m, totalizando 1,24m<sup>3</sup> em volume de material (**Figuras 4.1 a 4.5**). Antes de finalizar a camada 1, houve a instalação de dreno horizontal e cotovelo de PVC de 2" de diâmetro (perfurado com furadeira) a 4,2m de profundidade no acesso escavado (**Figura 4.4**).
- **Camada 2:** Anel de cimento de 1,5m de diâmetro envolto de vinilona (manta impermeável usada em caminhões) de 4,0 a 3,5m de profundidade. Dentro deste anel, foi colocado o dreno horizontal de 4" perfurado e o tubo não perfurado vertical para conexão com outro externo ao anel, fazendo assim a ligação entre os dois drenos. Ao invés de se envolver o dreno com uma manta para impedir o entupimento de seus furos, preferiu-se cercá-lo com brita 0. Após isso, preencheu-se o anel com uma mistura de 60% de serragem e 40% de pedrisco (1,0-5,0mm), correspondendo a 0,53m<sup>3</sup> e 0,35m<sup>3</sup> em volume, respectivamente (**Figuras 4.6 a 4.13**).
- Dois poços de monitoramento feitos com PVC de 2" de diâmetro foram instalados nas profundidades de 4,2m e de 3,5m. Por meio deles, será possível medir o gradiente hidráulico dentro da camada de serragem (**Figuras 4.10 e 4.13**).
- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 3,5m a 2,5m a um diâmetro de 1,5m (**Figuras 4.14 a 4.17**).
- **Camada 4:** Mistura de 50% BOF (3-18mm), 30% de pedrisco e 20% de brita 0 de 2,5 a 1,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m; correspondendo a 0,88m<sup>3</sup>, 0,53m<sup>3</sup> e 0,35m<sup>3</sup> em volume, respectivamente (**Figuras 4.18 a 4.20**).
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 1,5m a 1,17m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 4.21 a 4.23**).
- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 1,17m a 0,84m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 4.24 a 4.27**).
- **Camada 7:** filtro de brita 1 (9,5-19,0mm) de 0,84m a 0,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 4.28 e 4.29**).
- **Camada 8:** anel de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compõe o tanque vazio para recepção do efluente (**Figuras 4.30 e 4.31**).
- De 3,5m a 0,0m, foi feito um anel de brita 1 envolvendo os materiais internos. Esta estrutura foi possível de ser construída graças a um anel-guia de chapa de aço de 1,5mm de espessura. A cada 30cm de preenchimento interno e externo, este anel-guia era "sacado" para os próximos 30cm. Foram despendidos 4,8m<sup>3</sup> de material neste anel (**Figuras 4.15 a 4.28**).
- Após a camada 5, a borda interna do anel-guia foi sendo incrementada com pedrisco com o objetivo de afunilar o fluxo para o centro da fossa (**Figuras 4.24 a 4.29**).

- As mangueiras provenientes de todos os amostradores foram direcionadas à parede do furo desde o acesso em sua base até pelo menos 1m além da boca do furo. Elas foram então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço (**Figuras 4.32 a 4.34**).

A orientação dos instrumentos obedeceu às direções: Leste (E); Centro (C); e Oeste (O). Todas as mangueiras provenientes dos instrumentos foram devidamente identificadas com fitas coloridas: laranja para pan-lisímetros, cinza para amostradores de gases, e branca para piezômetros. A identificação correspondeu a: *Letra que indica o tipo do instrumento (P de pan-lisímetro, G de amostrador de gás e Z de piezômetro) - Número da camada em que está o instrumento (1, 2, 3, 4 e 5) – Orientação (se centro C; oeste O; e leste E)* (**Figura 4.32**). Exemplos das etiquetas do 1º nível de equipamentos de medição na fossa:

- P-1E (pan-lisímetro; 1º nível; leste) – Laranja;
- P-1C (pan-lisímetro; 1º nível; centro) – Laranja;
- G – 1C (amostrador de gás; 1º nível; centro) – Cinza;
- Z – 1O (piezômetro; 1º nível no intervalo saturado, oeste).

A partir da colocação dos pan-lisímetros (sempre preenchidos com sedimentos mais finos que o entorno) nas posições E, C ou O, o amostrador de gás era posicionado na frente dos pan-lisímetros (a cápsula envolta com material do próprio entorno). Os piezômetros na camada da serragem compuseram 5 níveis de amostragem para cada posição E, C e O, com seus filtros espaçados de 10 em 10cm perfazendo 50cm, ou seja, a espessura da camada de serragem (**Figuras 4.11 e 4.12**).

A fossa controle foi instalada a aproximadamente 10m dos fundos da casa, próxima a uma horta e à fossa até então em uso. A infra-estrutura para a construção da mesma e a mão-de-obra utilizada seguiram os mesmos padrões da fossa alternativa. Durante a escavação, foram coletadas amostras a cada 0,5m, feitas descrições macroscópicas e tiradas fotos dos horizontes dentro da fossa.

Pelo perfil descrito, observou-se que a rocha predominante corresponde a um gnaisse alterado de coloração ocre (por vezes amarelado), distinguindo-se a partir de 3m de profundidade alguns níveis com foliação mais preservada.

A escavação atingiu 5m de profundidade com 1,7m de diâmetro até 1,5m de profundidade e com 1,5m de diâmetro a partir desta profundidade. Um acesso lateral foi aberto nos últimos 3,5m para acomodação das mangueiras dos instrumentos de medida.

A disposição das camadas na fossa controle da base em direção ao topo é demonstrada pela **Figura 5.1**. Já a distribuição dos instrumentos de amostragem pode ser visualizada na **Figura 5.2**.

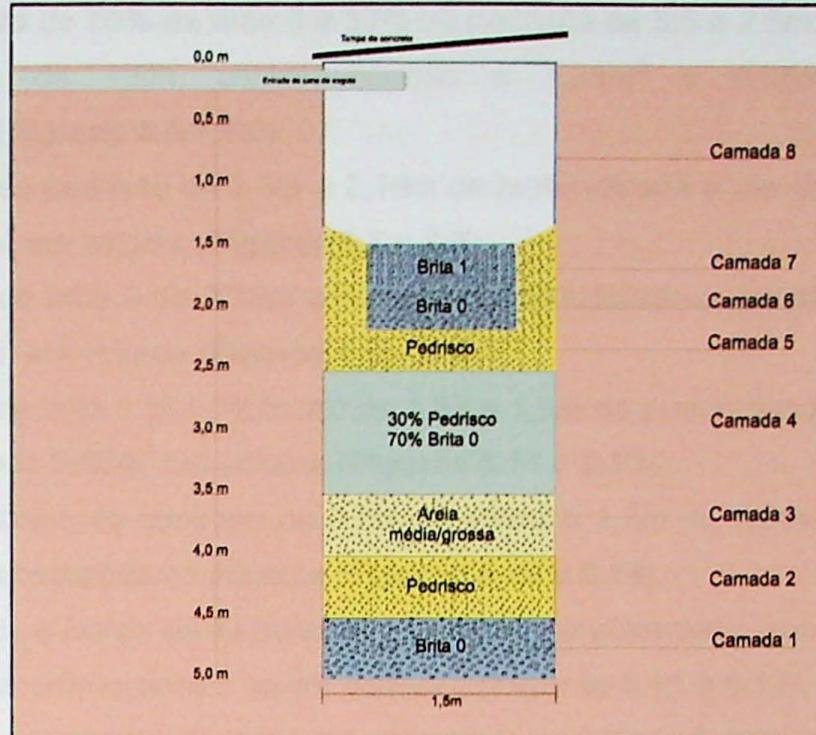


Figura 5.1 Distribuição das camadas na fossa controle

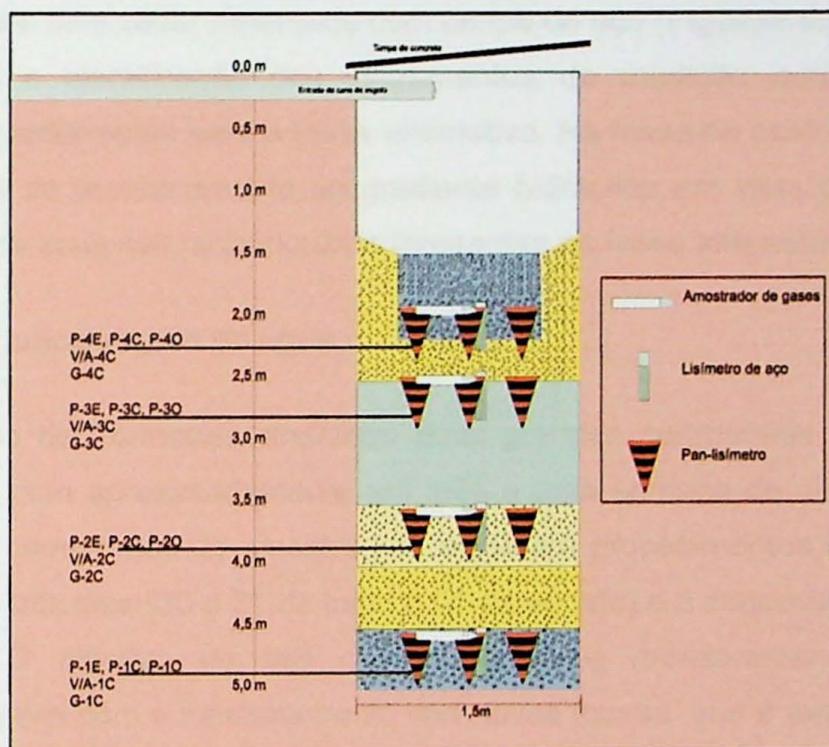


Figura 5.2 Distribuição dos instrumentos na fossa controle

O preenchimento da fossa controle da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir (**Figuras 6.1 a 6.15 – Anexo 2**):

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 5,0m a 4,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,88m<sup>3</sup> em volume de material (**Figuras 6.1 e 6.2**).
- **Camada 2:** Pedrisco (1,0-5,0mm) de 4,5m a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,88m<sup>3</sup> em volume de material.
- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 4,0m a 3,5m a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,88m<sup>3</sup> em volume de material (**Figuras 6.3 e 6.4**).

- **Camada 4:** mistura de 70% de brita 0 e 30% de pedrisco de 3,5 a 2,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m; correspondendo a 1,34m<sup>3</sup> e 0,58m<sup>3</sup> em volume, respectivamente (**Figuras 6.5 e 6.6**).
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 2,5m a 2,16m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 6.7 e 6.8**).
- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 2,16m a 1,83m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 6.9 e 6.10**).
- **Camada 7:** filtro de brita 1 (9,5-19,0mm) de 1,83 a 1,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m<sup>3</sup> em volume (**Figuras 6.11 e 6.12**).
- **Camada 8:** três anéis de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compõe o tanque vazio para recepção do efluente (**Figuras 6.13 e 6.14**).
- Após a camada 5, a borda da escavação foi sendo incrementada com pedrisco com o objetivo de afunilar o fluxo para o centro da fossa (**Figuras 6.11 a 6.13**).
- As mangueiras provenientes de todos os amostradores foram direcionadas à parede do furo desde o acesso em sua base até pelo menos 1m além da boca do furo. Elas foram então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço (**Figuras 6.14 e 6.15**).

A orientação e identificação dos instrumentos de medição corresponderam às mesmas descritas anteriormente para a fossa alternativa. Na fossa de controle, não existem piezômetros e poços de monitoramento do gradiente hidráulico em vista da ausência dos materiais reativos e da zona saturada induzida (presentes na fossa alternativa).

#### **5.4. Campanhas de amostragem da água**

Esse Trabalho de Formatura englobou duas grandes campanhas de amostragem para coleta de água com aproximadamente um mês e uma semana de diferença entre as mesmas. Ambas as campanhas de amostragem seguiram procedimentos idênticos, sendo que a primeira durou três dias (30 e 31 de julho e 01 de agosto) e a segunda, dois dias (09 e 10 de setembro). O objetivo de tais campanhas é o monitoramento das plumas contaminantes, formadas com o funcionamento das novas fossas, que é averiguado através de amostragens dos pan-lisímetros e piezômetros.

Nos dias 18 e 19 de junho, houve uma “campanha inicial” em que ainda não existia esgoto dentro das fossas e foi introduzida água de poço para se testar os equipamentos. Para tanto, mediram-se os parâmetros físico-químicos, fornecendo assim dados de comparação com a primeira e segunda campanhas de amostragem (nas quais esgoto já estava presente). Uma semana antes das coletas de amostras para a primeira campanha, os equipamentos foram esvaziados para entrada de água mais recente.

As amostras de água foram retiradas com uso de bomba peristáltica *Geopump II*. Em campo, foram medidos por equipamentos da *WTW* os seguintes parâmetros: pH, Eh,

temperatura, OD e CE. Para a campanha inicial e segunda campanha não foi medido o parâmetro OD, pois o equipamento não estava disponível.

Todos estes equipamentos de medição para parâmetros físicos-químicos foram calibrados, antes e durante os experimentos, pelos seus métodos de rotina que constam em seus manuais. Outro parâmetro averiguado foi a alcalinidade, sendo que a técnica adotada foi a da titulação, com a utilização de ácido sulfúrico 0,16 N e indicador misto para detectar o ponto de viragem.

As amostras também serão analisadas em laboratórios especializados quanto a: íons maiores e menores, COD, série nitrogenada e bactérias. Os cátions serão analisados no Laboratório de Química (IGc-USP) pelo método de espectrometria de absorção atômica com plasma induzido (ICP-AES), os ânions no Laboratório de Hidrogeoquímica do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-IGc-USP) pelo método de cromatografia líquida. As amostras para série nitrogenada e COD foram destinadas a laboratórios privados. Para a segunda campanha, não foram coletadas amostras para série nitrogenada devido ao pequeno espaçamento com a primeira amostragem. De qualquer forma, haverá resultados de  $\text{NO}_3^-$  pela análise de ânions.

Os procedimentos das campanhas de amostragem para coleta de água seguiram basicamente quatro etapas:

- 1) Todos os equipamentos e utensílios necessários foram dispostos adequadamente. A bomba peristáltica ficou em cima das muretas de concreto que protegem as mangueiras de amostragem. Os equipamentos da WTW foram dispostos por cima das tampas de concreto das fossas. Ao redor das fossas, ficaram os utensílios de apoio como frascos de vidro e de polietileno, geladeiras portáteis isolantes, isopores, gelo, galão com água destilada, luvas de plástico, pranchetas com tabelas a serem preenchidas, canetas, preservantes, etc.
- 2) As amostras de água foram succionadas pela bomba peristáltica e distribuídas conforme o uso em: tubos de ensaio (20mL) para parâmetros de pH, Eh, temperatura, OD e CE; bêqueres para a alcalinidade (5-10mL); frascos de polietileno para série nitrogenada (200mL), para íons maiores e menores (100mL) e para bactérias (800mL); e frascos âmbar para COD (30mL). Para as amostras de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$  e NKT (da série nitrogenada) adicionava-se como preservante ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- 3) Todos os frascos contendo amostras que seriam encaminhados para análises em laboratórios foram devidamente identificados com o código dos instrumentos dos quais elas foram coletadas, tipo da fossa (alternativa ou de controle), tipo de análise a ser efetuada, data e horários de cada coleta.
- 4) Finalmente, os frascos foram armazenados em geladeiras portáteis isolantes ou isopores, contendo gelo.

É importante destacar que a cada troca de mangueira para coletar amostras de água, as mangueiras e todos os frascos para análise dos parâmetros (pH, Eh, alcalinidade, temperatura, OD e CE) eram lavados com água destilada, evitando assim uma possível contaminação cruzada induzida entre as amostragens. Além disso, todas as pessoas envolvidas nas coletas de água utilizaram luvas de plástico descartáveis e os frascos para armazenamento das amostras de água eram esterilizados. Todos os dados dos parâmetros citados acima foram anotados em tabelas (**Anexo 3**).

As amostras para análise de íons maiores e menores foram filtradas no Laboratório de Modelos Físicos do Instituto de Geociências (LAMO- IGc), antes de serem encaminhadas aos laboratórios pertinentes. Esta filtragem foi feita através de uma bomba a vácuo (TE-058, TECNAL), utilizando uma membrana de acetato-celulose de 0,45 $\mu\text{m}$  da marca *Millipore* disposta em um recipiente de filtragem em acrílico (capacidade para 500mL) da marca *NALGENE*. Posteriormente, a amostra filtrada era dividida entre dois frascos de polietileno (50mL), sendo um para análise de cátions e outro de ânions. Ao frasco para análise de cátions foram adicionadas quatro gotas de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). É importante ressaltar que o ácido somente foi adicionado à amostra já filtrada. A nomenclatura utilizada nos frascos seguiu a mesma da estipulada no campo. Entre a filtração de uma amostra e outra, a limpeza do sistema foi feita utilizando água destilada.

#### **5.4.1. Preservação das amostras**

As campanhas de amostragem da água devem sempre seguir alguns cuidados que minimizem as alterações sofridas entre a coleta e a análise, como, por exemplo, as técnicas de preservação. A falta de diretrizes consistentes para técnicas de preservação e validade das amostras tem resultado em incertezas para quem coleta e analisa o material. Uma amostra, por definição, representa a síntese do comportamento do universo estudado e, assim, a sua coleta exige conhecimento científico o que, por sua vez, pode influenciar em um resultado que não seja representativo em relação ao sistema em estudo (Agudo et al., 1987).

Todos os procedimentos envolvidos nesse projeto durante as etapas de amostragem e preparação de amostras seguiram os protocolos de técnicas limpas validadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Norma CETESB, 1988).

As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos apropriados confeccionados a partir de materiais inertes, tais como polietileno, poliéster, etc. previamente descontaminados em banho de  $\text{HNO}_3$  10% por 24 horas. O manuseio dos frascos e as coletas das amostras foram realizados com a utilização de luvas para evitar possíveis contaminações.

De acordo com as condições físico-químicas da amostra pode ocorrer a formação de sais, devido aos seus constituintes, que precipitem no fundo do recipiente, resultante de

processos de interações ao mudar o ambiente (por exemplo, pH), ou de reações com o ar, ou mudanças de temperatura. Cátions metálicos podem precipitar-se como hidróxidos ou formar complexos com outros constituintes (Galarão, 2003).

A precipitação é eliminada essencialmente por meio da adição de  $\text{HNO}_3$  até um pH menor que 2,0. A combinação de um pH baixo e um excesso de íon  $\text{NO}_3^-$  asseguram que os íons metálicos estejam em solução. Outros ácidos (como  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) podem causar a precipitação de alguns sais insolúveis e/ou interferentes analíticos como cloreto e sulfato.

No caso da análise de cátions, o ácido deve ser sempre adicionado após a filtragem, pois senão o mesmo poderá provocar a dissolução de compostos químicos presentes nos sedimentos da amostra e causar a presença de elementos químicos que não se encontravam anteriormente em solução na água, ou seja, haverá uma análise equivocada da composição química da amostra.

A filtragem se faz necessária para a análise dos cátions e ânions, pois as partículas sólidas, presentes na água amostrada, podem absorver ou adsorver diversos tipos de íon e baixar significativamente o teor de metal dissolvido na água da amostra.

A refrigeração também é um fator importante para a preservação de amostras, sendo que a temperatura deve ser mantida sempre constante a 4°C. Como também já descrito anteriormente, todos os frascos com amostras de água foram armazenados em tempo integral em geladeiras térmicas ou isopores com gelo (no campo ou nos automóveis) e em geladeiras no Laboratório LAMO do Instituto de Geociências antes dos mesmos serem encaminhados aos respectivos laboratórios responsáveis pelas análises dos mais diversos parâmetros físicos-químicos.

Também são adicionados compostos para garantir a preservação dos componentes que estão sendo determinados. Como quando se adiciona ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em amostras para determinação de  $\text{NH}_3$ , pois a diminuição do pH estabelece a formação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ).

## 6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 6.1. Cronograma

A aluna participou dos projetos do orientador nessa área desde o final de dezembro de 2006, concluindo diversas atividades. Da mesma forma, devido à extensão dos mesmos projetos na área superar os prazos para a finalização do Trabalho de Formatura, o término do monitoramento estará a cargo de um outro membro da equipe de pesquisa do orientador.

As atividades desse Trabalho de Formatura abrangeram a análise da eficiência do sistema de BR até o mês de setembro. Isto em absoluto restringiu o aprendizado da aluna que teve uma vivência acadêmica rica participando da instalação da fossa e de parte de seu

monitoramento, juntamente com a equipe brasileira e estrangeira. A **Tabela 1** abaixo demonstra o cronograma anual de atividades realizadas pela aluna.

ATIVIDADE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Análise bibliográfica.	X	X										
Familiarização com a hidrogeologia da área e com a configuração da fossa alternativa		X	X	X								
Confecção dos instrumentos de coleta de amostras das fossas					X							
Construção das fossas alternativa e de controle						X	X					
Monitoramento das fossas com coleta de amostras de água para análises químicas								X	X	X		
Análise dos dados e preparação do Relatório Final											X	X

Tabela 1. Cronograma anual de atividades

## 6.2. Comentários sobre as dificuldades encontradas

Um dos assuntos mais importantes discutidos anteriormente à implementação da fossa alternativa, foi sobre as posições das camadas de *BOF* e serragem. Ocorreram questionamentos sobre a possibilidade da eficiência da BR com mistura de serragem ser prejudicada, caso o *BOF* fosse posicionado acima da mesma. Isto porque a água, quando em contato com o *BOF*, alcança valores de pH superiores a 11,0 e, por sua vez, o processo de desnitrificação é reduzido em pH acima de 9,0.

Entretanto, atentou-se para o fato da importância da aplicação de uma técnica inovadora. Embora ambas as BR's fossem exclusivas no Brasil, a disposição do *BOF* acima da serragem não havia sido testada no Canadá, somente a serragem acima do *BOF*. Desta forma, os pesquisadores de Waterloo, apoiaram a primeira alternativa, defendendo o sucesso desta estrutura pelas experiências que obtiveram com BR's ao longo dos anos.

Também se defendeu que ainda haveria 1m de areia média/grossa abaixo da base do *BOF* para a água percolar e ter seu pH estabilizado através do tamponamento da solução pelos íons carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), normalmente encontrados na água. Ainda considerou-se que o  $\text{CO}_2$ , comumente presente no meio, conferisse acidez à água através da dissolução deste gás na mesma. Por tais razões, esperava-se que o pH diminuísse em pelo menos duas ordens de magnitude até alcançar a camada com a mistura de serragem.

O fato almejado acima não se sucedeu e o pH permaneceu alto (em torno de 12,0) quando atingiu a serragem. Sendo assim, o desempenho do processo de desnitrificação foi prejudicado. No entanto, como será discutido posteriormente, ainda é muito cedo para conclusões definitivas.

Outro tema preocupante nesse trabalho foi a questão da segurança dos integrantes do mesmo. Durante o mês de julho, ocorreu um assalto à mão armada (realizado por dez pessoas) à propriedade que costumávamos dormir enquanto as fossas eram construídas. Nenhum dos participantes desse projeto estava presente no momento do assalto, porém os proprietários ficaram muito abalados.

Este fato tornou a equipe apreensiva e alguns cuidados foram necessários, como por exemplo: restringir ao máximo as idas ao local; não comentar com as pessoas as datas previstas para as visitas; não dormir mais no local, indo e voltando no mesmo dia ou procurar alguma localidade mais segura para passar a noite; adotar precauções para não deixar muitos objetos valiosos visíveis, tais como celulares, câmeras de vídeo, máquinas fotográficas digitais, etc.; entre outros.

Por último, cita-se como complicação o atraso de um dos membros da equipe, Jesse Stimson, responsável pela BR para atenuação de vírus e bactérias. Não era possível iniciar as instalações das fossas sem a sua presença, em virtude das discussões sobre os posicionamentos das camadas como citado acima. Sendo assim, estava prevista pelo menos mais uma campanha de amostragem que seria incluída nesse Trabalho de Formatura, além de resultados adicionais obtidos com as análises físico-químicas.

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

Considerando que o processo mais eficiente de diminuição da carga contaminante do  $\text{NO}_3^-$  é a desnitrificação, espera-se que a serragem presente no sistema de BR seja consumida em curto prazo na reação de degradação deste composto, proveniente da fossa negra. Isto porque, a redução do  $\text{NO}_3^-$  na pluma contaminante por processos desnitrificantes envolve, em geral, a participação de carbono (presente na matéria orgânica ou serragem, no caso), sendo necessária igual parte deste elemento para cada porção de  $\text{NO}_3^-$  a ser degradado.

Pretende-se que os seguintes fatores, que são fundamentais para a ocorrência da desnitrificação, sejam obedecidos neste sistema de BR: a) presença de íons nitrogenados aceutores finais de elétrons; b) bactérias para realização dos processos metabólicos; c) um doador de elétrons compatível; d) condições restritas de OD; e e) condições ideais de pH.

Os resultados foram obtidos em função do monitoramento de variáveis dos efluentes de origem domiciliar tratados em ambas as fossas, a alternativa e a de controle. Estas variáveis (pH, temperatura, Eh, CE, alcalinidade, OD e série nitrogenada) serão apresentadas abaixo.

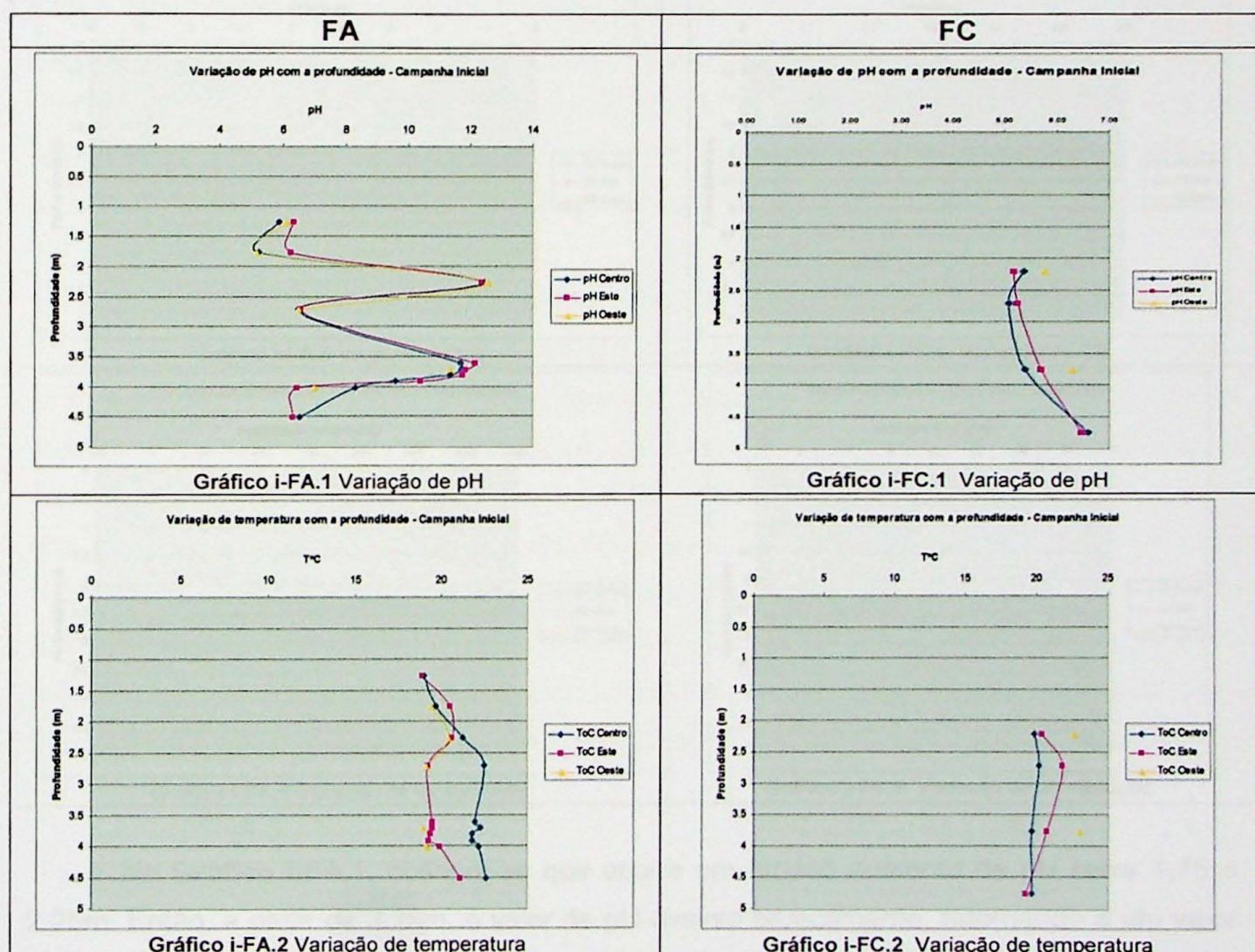
As análises de cátions, ânions e COD não serão apresentadas, pois os resultados não foram obtidos pelos laboratórios a tempo de serem incluídos nesse Trabalho de Formatura. O parâmetro OD somente será apresentado para a primeira campanha, assim como a alcalinidade apenas para a campanha inicial. Os resultados para a série nitrogenada só constam para a primeira campanha. De qualquer forma, haverá resultados de  $\text{NO}_3^-$  pela análise de ânions para a segunda campanha, no entanto os mesmos não serão analisados nesse Trabalho de Formatura.

Os resultados obtidos para as três campanhas de monitoramento (inicial, primeira e segunda) de ambas as fossas, alternativa (**FA**) e de controle (**FC**), foram representados em

tabelas e gráficos. Em todos os gráficos (FA e FC), existem três curvas de variação, cada qual sendo relacionada a uma posição dos equipamentos. No caso das constatações efetuadas abaixo, a curva de variação relacionada ao Centro, será sempre utilizada como referência, visto que esta é a direção preferencial da percolação do efluente. Também é necessário destacar que foram efetuadas aproximações de algumas poucas casas decimais para a maioria dos valores numéricos.

## 7.1. Campanha Inicial

Os parâmetros físico-químicos medidos em campo para a campanha inicial (i) estão no **Anexo 3**. Os gráficos de variação dos parâmetros com as profundidades para FA e FC encontram-se abaixo. Os dados da campanha inicial utilizados para confeccionar estes gráficos estão no **Anexo 5**.



FA

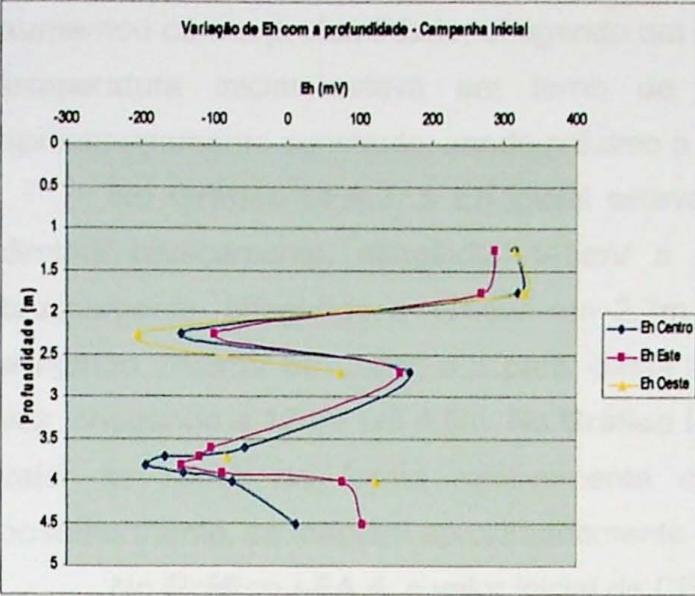


Gráfico i-FA.3 Variação de Eh

FC

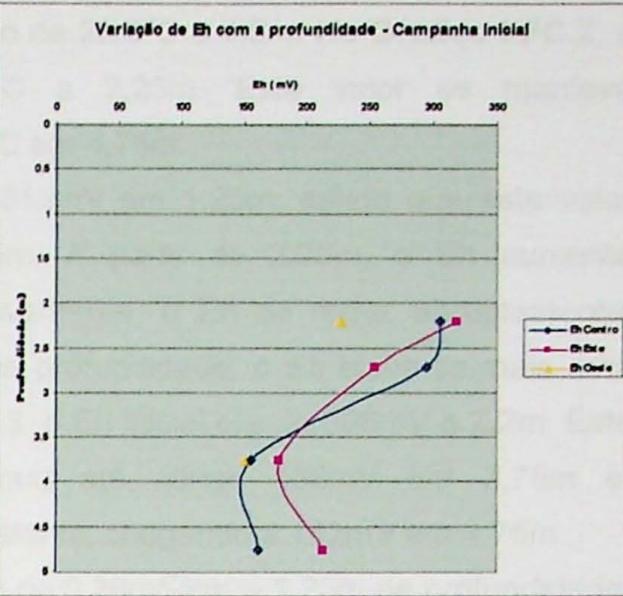


Gráfico i-FC.3 Variação de Eh

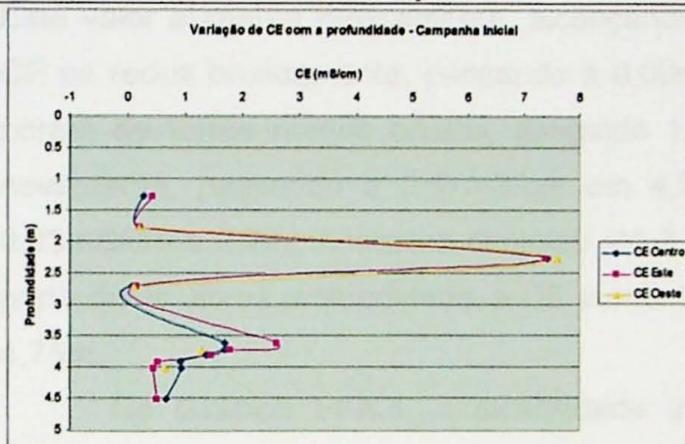


Gráfico i-FA.4 Variação de CE

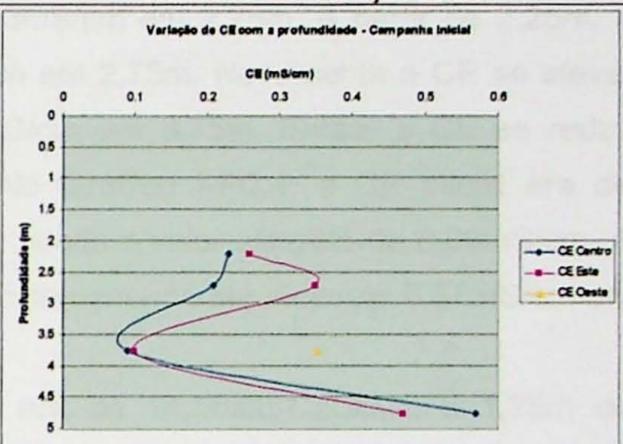


Gráfico i-FC.4 Variação de CE

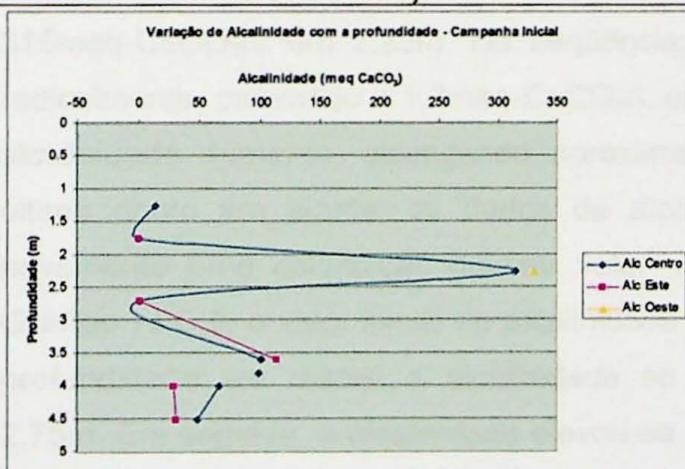


Gráfico i-FA.5 Variação de alcalinidade

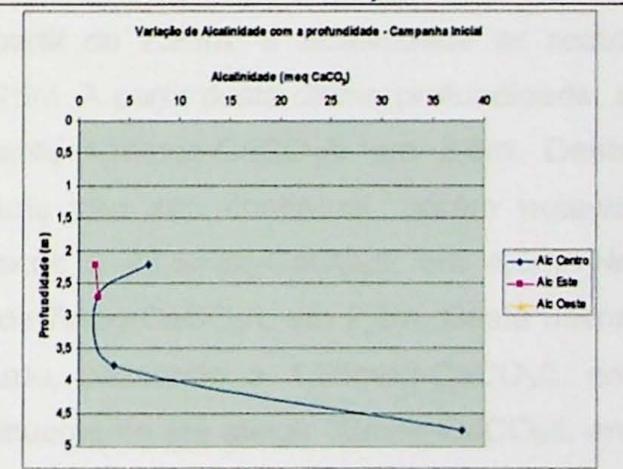


Gráfico i-FC.5 Variação de alcalinidade

No Gráfico i-FA.1, observa-se que ocorre um brusco aumento de pH entre 1,75 e 2,25m. Então, a partir de 2,25m, o valor de pH diminui bruscamente, retornando a um valor próximo do inicial (em torno de 6,5). A partir de 2,75m, o valor de pH aumenta abruptamente novamente, chegando a um valor em torno de 12,0 em pouco mais que 3,5m. O padrão se repete e o valor de pH se reduz, chegando a um valor em torno de 6,5 a 4,5m. No Gráfico i-FC.1, o valor de pH aumenta pouco com a profundidade, sendo que o valor inicial estava em torno de 5,5 a 2,2m; e chegou a um valor em torno de 6,5 a 4,75m.

No Gráfico i-FA.2, a temperatura inicial estava em torno de 19°C a 1,25m. Este valor aumentou com a profundidade, chegando em torno de 22,5°C a 4,5m. No Gráfico i-FC.2, a temperatura inicial estava em torno de 20°C a 2,25m. Este valor se manteve aproximadamente constante, sendo próximo a 20°C em 4,75m.

No Gráfico i-FA.3, o Eh inicial estava a 315mV em 1,25m, sendo que este valor diminui bruscamente, atingindo -145mV a 2,25m. A partir de 2,25m, o Eh aumenta bruscamente, chegando a 170mV em 2,7m. Novamente, o Eh se reduz abruptamente, atingindo -193mV em 3,8m; e a partir desta última profundidade, o Eh eleva-se mais uma vez, chegando a 12mV em 4,5m. No Gráfico i-FC.3, o Eh inicial era de 306mV a 2,2m. Este valor se reduz de forma relativamente contínua até atingir 156mV em 3,75m e, posteriormente, se mantém aproximadamente constante, chegando a 162mV em 4,75m.

No Gráfico i-FA.4, o valor inicial de CE era de 0,28mS/cm a 1,25m de profundidade. Este valor aumenta radicalmente, alcançando 7,43mS/cm em 2,25m. A partir de 2,25m, a CE se reduz bruscamente, passando a 0,09mS/cm em 2,75m. Novamente a CE se eleva, porém de forma menos brusca, atingindo 1,69mS/cm em 3,75m. Então, a CE se reduz novamente, passando a 0,67mS/cm em 4,5m. No Gráfico i-FC.4, a CE inicial era de 0,23mS/cm a 2,2m. A mesma diminuiu até 3,75m, sendo o valor atingido de 0,09mS/cm. A partir desta última profundidade, a CE aumentou continuamente até alcançar 0,57mS/cm em 4,75m.

No Gráfico i-FA.5, a alcalinidade inicial era de 14,5meq-CaCO<sub>3</sub>/L a 1,25m de profundidade. A partir de 1,75m, a alcalinidade sofre uma elevação brusca, atingindo 315meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 2,25m. Na seqüência, a partir de 2,25m, a alcalinidade se reduz radicalmente, passando a 1,2meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 2,75m. A partir desta última profundidade, a alcalinidade aumenta, alcançando aproximadamente 102meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 3,6m. Deste último ponto em diante, os dados de alcalinidade não são contínuos, porém nota-se novamente uma diminuição do seu valor, chegando a 48,5meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 4,5m. No Gráfico i-FC.5, o valor inicial de alcalinidade era de 7meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 2,2m. Desta última profundidade em diante, a alcalinidade se reduziu, passando a 1,85meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 2,75m. Em seguida, a alcalinidade elevou-se continuamente até atingir 38meq-CaCO<sub>3</sub>/L em 4,75m.

## 7.2. Primeira Campanha

Os parâmetros físico-químicos medidos em campo para a primeira campanha (1) estão no Anexo 3. Os resultados das análises da série nitrogenada estão no Anexo 4. Os gráficos de variação dos parâmetros com as profundidades para FA e FC encontram-se abaixo. Os dados da primeira campanha utilizados para confeccionar estes gráficos estão no Anexo 5.

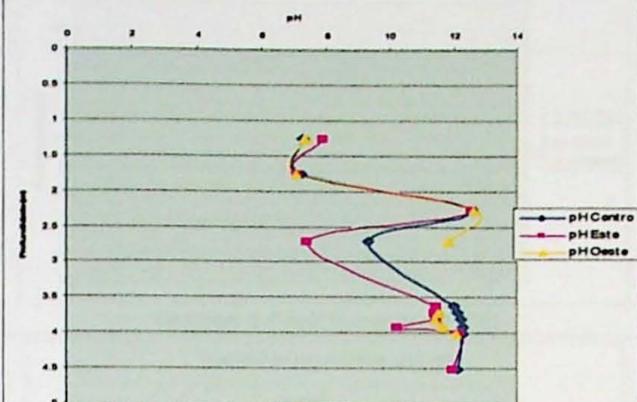
**FA**Variação de pH com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FA.1 Variação de pH

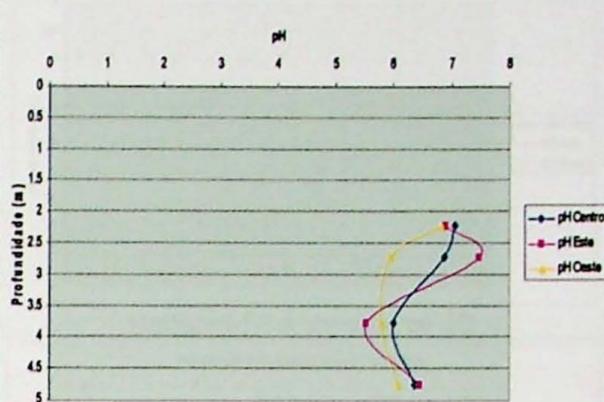
**FC**Variação de pH com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FC.1 Variação de pH

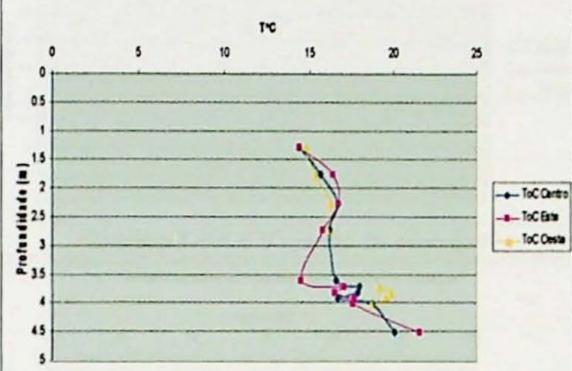
Variação de temperatura com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FA.2 Variação de temperatura

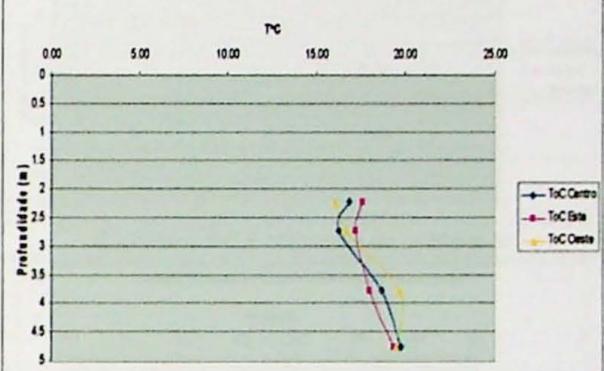
Variação de temperatura com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FC.2 Variação de temperatura

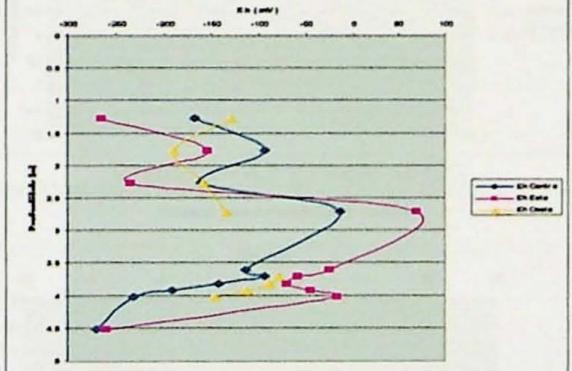
Variação de Eh com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FA.3 Variação de Eh

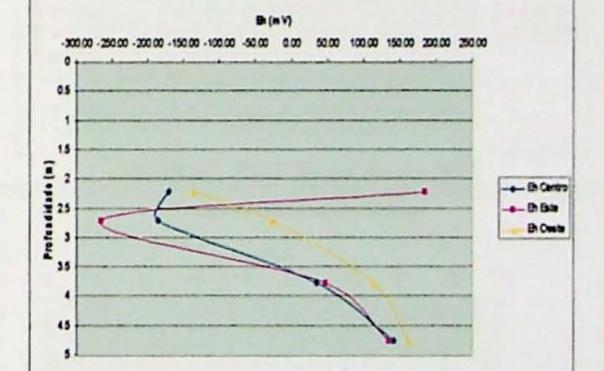
Variação de Eh com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FC.3 Variação de Eh

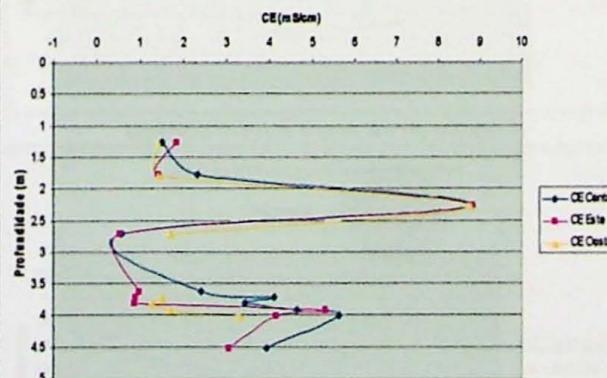
Variação de CE com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FA.4 Variação de CE

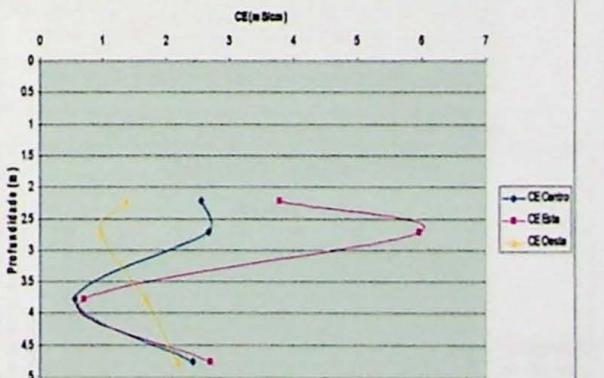
Variação de CE com a profundidade - 1<sup>a</sup> Campanha

Gráfico 1-FC.4 Variação de CE

## FA

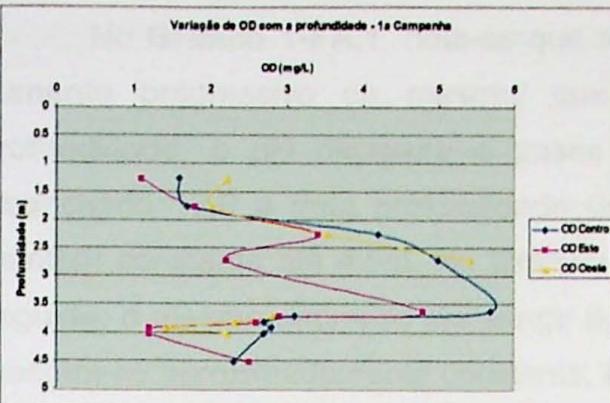


Gráfico 1-FA.5 Variação de OD

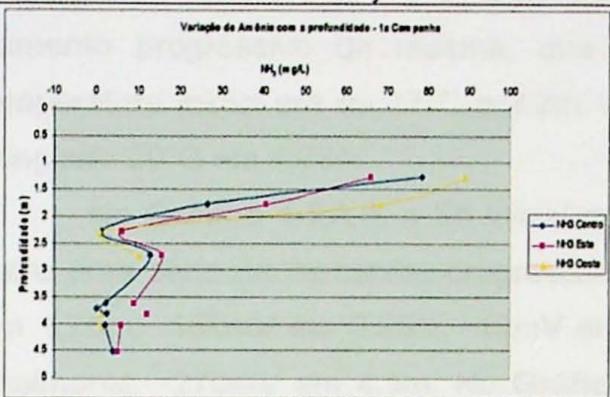


Gráfico 1-FA.6 Variação de amônia-N

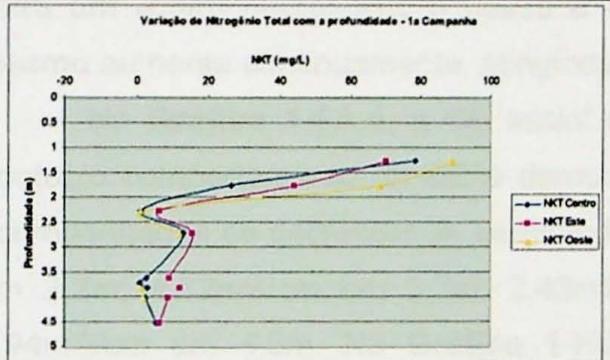


Gráfico 1-FA.7 Variação de NKT

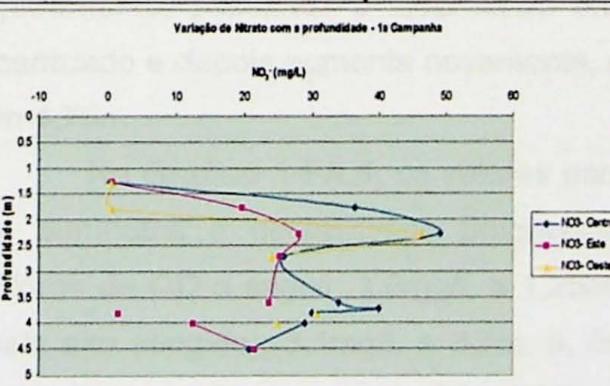


Gráfico 1-FA.8 Variação de nitrato-N

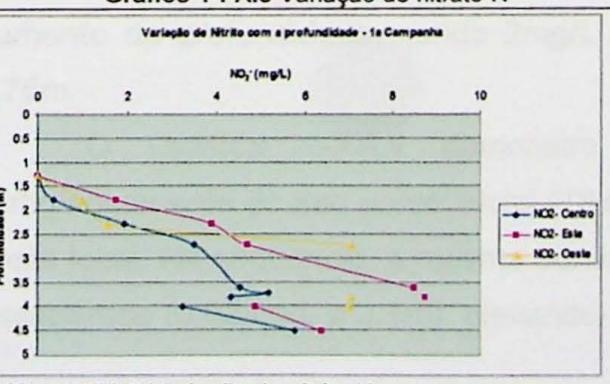


Gráfico 1-FA.9 Variação de nitrito-N

## FC

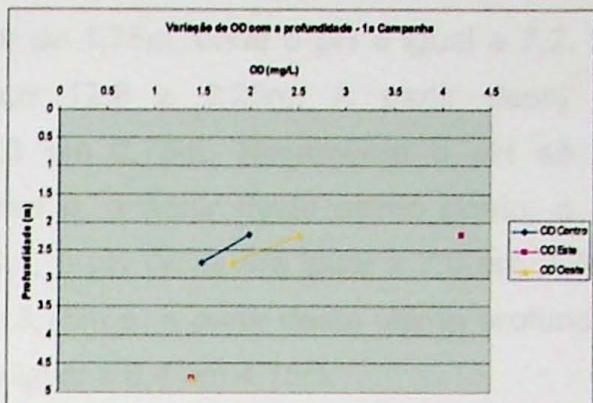


Gráfico 1-FC.5 Variação de OD

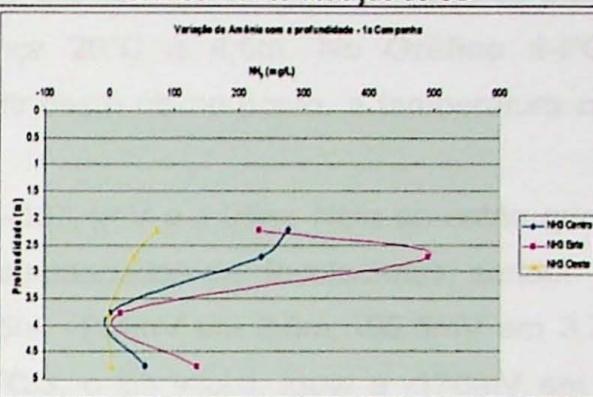


Gráfico 1-FC.6 Variação de amônia-N

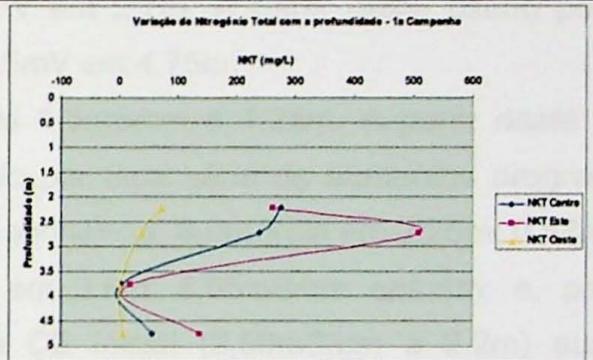


Gráfico 1-FC.7 Variação de NKT

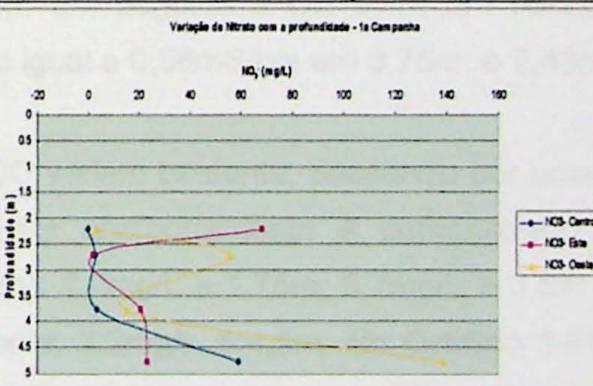


Gráfico 1-FC.8 Variação de nitrato-N

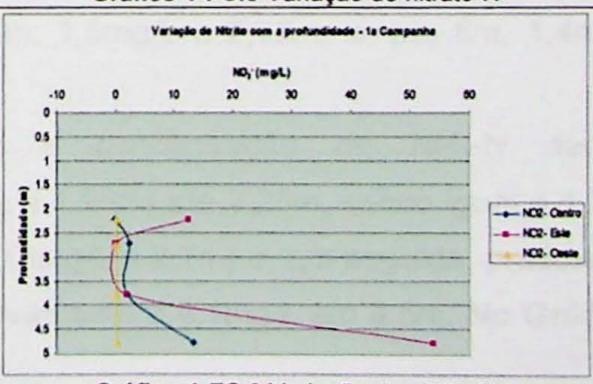


Gráfico 1-FC.9 Variação de nitrito-N

No Gráfico 1-FA.1, nota-se que a partir de 1,75m, onde o pH é igual a 7,2, há um aumento progressivo do mesmo, que atinge 12,6 a 2,25m. A partir desta última profundidade, o pH decresce e passa a 9,3 em 2,75m. Novamente o pH se eleva, alcançando 12,0 a uma profundidade de 3,75m e, a partir deste último ponto, o pH se mantém constante até 4,5m. No Gráfico 1-FC.1, o pH inicial era igual a 7,0 em 2,2m. Em seguida, o mesmo decresce até atingir 6,0 em 3,75m e, a partir desta última profundidade, mantém-se aproximadamente constante, sendo igual a 6,4 em 4,75m.

No Gráfico 1-FA.2, a temperatura inicial era de 14,5°C a 1,25m. Nota-se então um aumento progressivo da mesma, que alcança 20°C a 4,5m. No Gráfico 1-FC.2, a temperatura inicial era de 17°C a 2,2m. A partir deste último ponto, a temperatura cresce, atingindo 20°C em 4,75m.

No Gráfico 1-FA.3, o Eh inicial era de -167,4mV a 1,25m. Nota-se então que o Eh sofre uma série de aumentos progressivos acompanhados de decréscimos, sendo: -94mV em 1,75m; -160mV em 2,25m; -12mV em 2,75m; -114mV em 3,6m; -92,5mV em 3,7m; e, finalmente, -270mV em 4,5m. No Gráfico 1-FC.3, o Eh inicial, igual a -170mV em 2,2m, sofre um ligeiro decréscimo e passa a -185mV em 2,7m. A partir deste último ponto, o mesmo aumenta continuamente, atingindo 142,5mV em 4,75m.

No Gráfico 1-FA.4, a CE inicial era de 1,5mS/cm a 1,25m. A partir deste último ponto, o comportamento da CE é demonstrado por uma série de aumentos progressivos acompanhados de decréscimos, como indica a seqüência: 8,8mS/cm em 2,25m; 0,58mS/cm em 2,7m; 4,12mS/cm em 3,7m; 3,43mS/cm em 3,8m; 5,65mS/cm em 4m; e, por fim, 3,94mS/cm em 4,5m. No Gráfico 1-FC.4, a CE inicial (2,56mS/cm a 2,2m) aumenta ligeiramente, passando a 2,68mS/cm em 2,7m. Em seguida a CE sofre um decréscimo acentuado e depois aumenta novamente, sendo igual a 0,56mS/cm em 3,75m; e 2,43mS/cm em 4,75m.

No Gráfico 1-FA.5, os valores para o OD variam bastante, passando por uma série de aumentos e decréscimos progressivos. Este comportamento é demonstrado pelos valores de OD a seguir: 1,6mg/L a 1,25m (início); 1,7mg/L a 1,75m; 5,7mg/L a 3,6m (valor mais alto atingido); 3,1mg/L a 3,7m; e, finalmente, 2,3mg/L a 4,5m. No Gráfico 1-FC.5, a curva de variação da taxa de OD não é contínua, mas demonstra que o OD se reduz com o aumento da profundidade, sendo 2mg/L a 2,2m; 1,5mg/L a 2,75m; e, por fim, 1,4mg/L a 4,75m.

O Gráfico 1-FA.6 demonstra que a concentração de NH<sub>3</sub>-N decresce vertiginosamente do seu ponto inicial (78,6mg/L a 1,25m) até 2,25m, sendo igual a 1,2mg/L neste local. Na seqüência, a mesma aumenta (13mg/L a 2,7m) e, em seguida, praticamente desaparece (0,03mg/L a 3,7m), elevando-se novamente a 4,1mg/L em 4,5m. No Gráfico 1-

**FC.6**, a concentração de NH<sub>3</sub>-N inicial (277mg/L a 2,2m) decresce até 2,7mg/L em 3,75m. Em seguida, a mesma eleva-se, passando a 57mg/L em 4,75m.

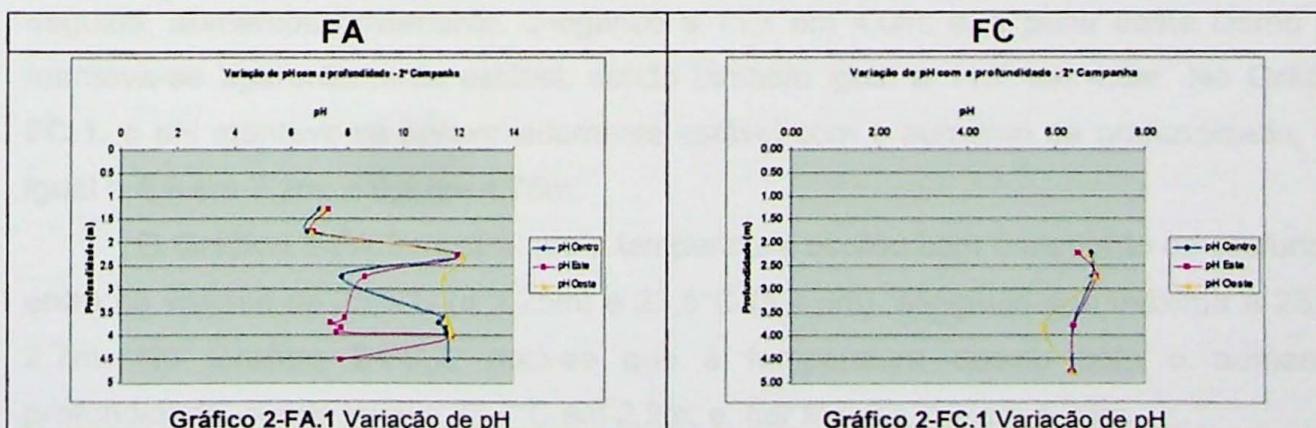
O Gráfico 1-FA.7 demonstra uma queda brusca da concentração inicial de NKT com o aumento da profundidade, passando de 78,6mg/L a 1,25m para 1,2mg/L em 2,25m. Em seguida, o mesmo eleva-se e decresce alternadamente, o que é descrito pela seqüência a seguir: 13mg/L a 2,7m; 1mg/L a 3,7m; e, finalmente, 5,6mg/L a 4,5m. No Gráfico 1-FC.7, a concentração inicial de NKT (277mg/L a 2,2m) decresce com o aumento da profundidade, passando a 3mg/L em 3,75m. Em seguida, o mesmo aumenta, chegando a 57mg/L em 4,75m.

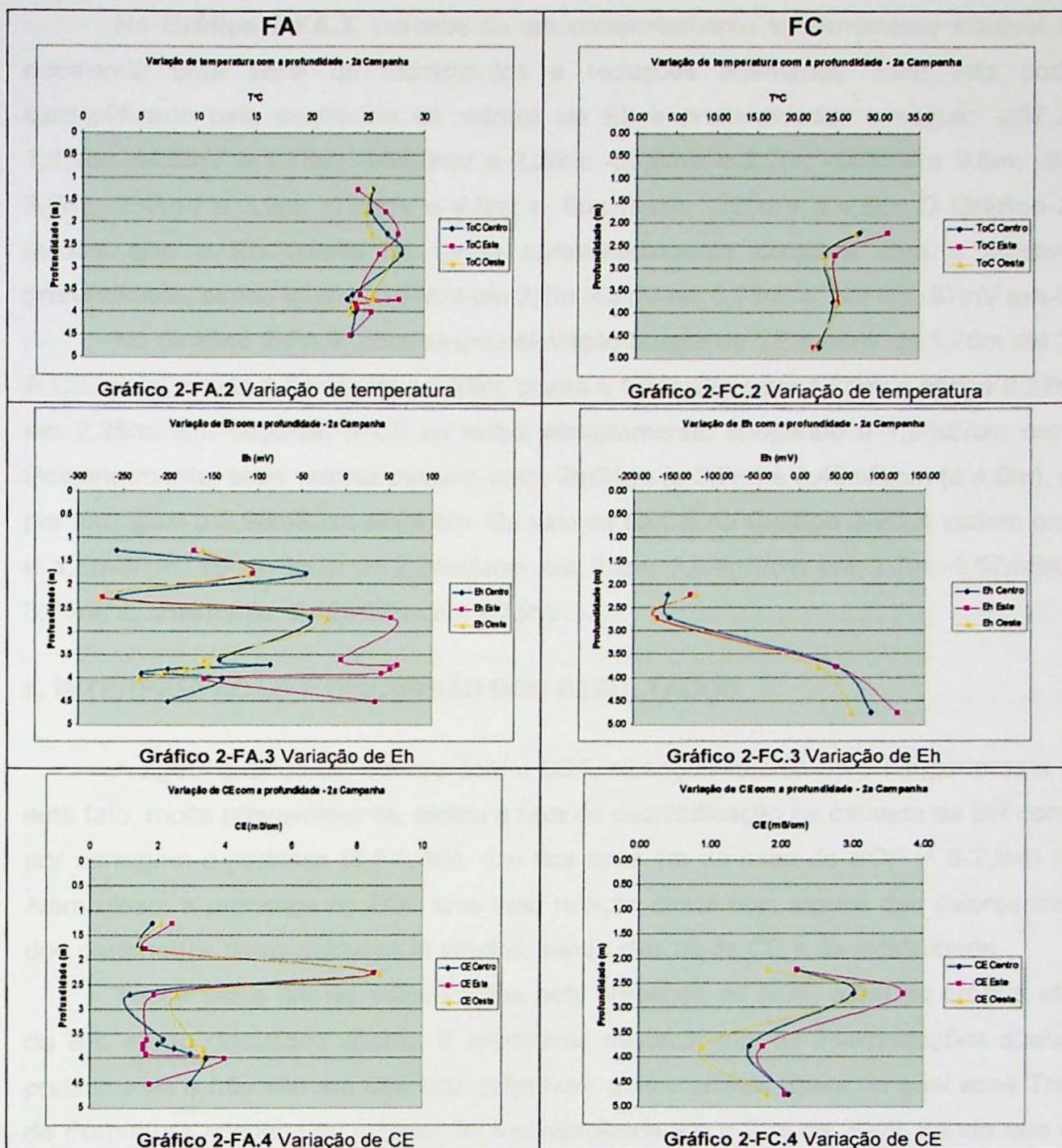
O Gráfico 1-FA.8 descreve uma elevação acentuada de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N com o aumento da profundidade, sendo o mesmo igual a 0,36mg/L a 1,25m; e alcançando 49,2mg/L em 2,25m. Na seqüência, o mesmo cresce e decresce alternadamente, sendo igual a: 25,9mg/L em 2,7m; 40mg/L em 3,7m; e, por fim, 20,8mg/L em 4,5m. No Gráfico 1-FC.8, a tendência geral do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N é de aumentar com a profundidade, sendo praticamente zero (0,03mg/L) em 2,2m e passando a 59,4mg/L em 4,75m.

No Gráfico 1-FA.9, constata-se que ocorre um aumento acentuado de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N com o aumento da profundidade, sendo o mesmo igual a 0mg/L em 1,25m; e atingindo 5,2mg/L em 3,7m. Posteriormente, o mesmo decresce (3,25mg/L a 4,0m) e se eleva novamente, passando a 5,8mg/L em 4,5m. No Gráfico 1-FC.9, a tendência geral do NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N é de aumentar com a profundidade, sendo igual a zero em 2,2m e passando a 13,6mg/L em 4,75m. Neste caso em particular, é interessante destacar o comportamento da curva de variação Este, pois a concentração final de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N é muito alta, atingindo 54mg/L em 4,75m.

### 7.3. Segunda Campanha

Os parâmetros físico-químicos medidos em campo para a segunda campanha (2) estão no Anexo 3. Os gráficos de variação dos parâmetros com as profundidades para FA e FC encontram-se abaixo. Os dados da segunda campanha utilizados para confeccionar estes gráficos estão no Anexo 5.





O Gráfico 2-FA.1 demonstra um comportamento instável do pH, em que ocorrem elevações e decréscimos do mesmo alternadamente com o aumento da profundidade. A 1,25m o pH era de 7,0 e passou a 12,0 em 2,25m; depois reduziu a 7,8 em 2,7m; em seguida, aumentou novamente, chegando a 11,7 em 4,0m; e, a partir deste último ponto, manteve-se aparentemente estável, sendo também igual a 11,7 em 4,5m. No Gráfico 2-FC.1, o pH manteve-se aproximadamente estável com o aumento da profundidade, sendo igual a 6,8 em 2,2m; e 6,4 em 4,75m.

O Gráfico 2-FA.2 mostra que a temperatura oscilou com o aumento de profundidade entre os valores de 25,5°C (a 1,25m) e 23,5°C (a 4,5m), atingindo sua máxima a 28°C em 2,7m. No Gráfico 2-FC.2, nota-se que a temperatura decaiu com o aumento da profundidade, sendo igual a 27,7°C em 2,2m; e, por fim, 22,7°C em 4,75m.

No **Gráfico 2-FA.3**, percebe-se um comportamento extremamente instável do Eh, ocorrendo uma série de incrementos e reduções alternados. Este fato pode ser exemplificado pela sequência de valores de Eh e profundidades a seguir: -257,2mV a 1,25m; -44,6mV a 1,75m; -256,8mV a 2,25m; -39,9mV a 2,7m; -143mV a 3,6m; -85mV a 3,7m; -230mV a 3,9m; -139mV a 4,0m; e, finalmente, -200mV a 4,5m. O **Gráfico 2-FC.3** mostra que o Eh cresce de forma aproximadamente contínua com o aumento da profundidade, sendo igual a -158mV em 2,2m; 46mV em 3,75m; e, por fim, 87mV em 4,75m.

No **Gráfico 2-FA.4**, nota-se uma elevação brusca de CE a partir de 1,75m até 2,25m. A CE inicial era de 1,84mS/cm a 1,25m; passa a 1,51mS/cm em 1,75m; e atinge 8,57mS/cm em 2,25m. Em seguida, a CE se reduz abruptamente, chegando a 1,2mS/cm em 2,7m. Posteriormente, seus valores oscilam entre 2mS/cm (a 3,7m) e 3,45mS/cm (a 4,0m), sendo, por fim, igual a 2,98mS/cm em 4,5m. Os valores da CE no **Gráfico 2-FC.4** variam entre 3,0 e 1,5mS/cm, sendo igual a: 2,24mS/cm em 2,2m; 3,03mS/cm em 2,7m; 1,57mS/cm em 3,75m; e, finalmente, 2,12mS/cm em 4,75m.

## 8. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A água, quando em contato com o *BOF*, alcançou valores de pH superiores a 11,0 e este fato, muito provavelmente, afetou a taxa de desnitrificação na camada da BR composta por serragem e pedrisco (3,5-4,0m), que fica após 1m da base do *BOF* (1,5-2,5m) na FA. Além disso, a presença do *BOF* teve uma relação direta com alguns dos valores medidos dos parâmetros físico-químicos já citados, sendo eles os de CE e de alcalinidade.

Todos estes fatores influenciados pela presença do *BOF*, além da própria atuação da BR, serão discutidos abaixo. É importante destacar que as interpretações abaixo são preliminares e não são em absoluto definitivas, pois o projeto maior no qual esse Trabalho de Formatura encontra-se inserido terá continuidade até o final de 2009, sendo que outras diversas análises estarão disponíveis até a sua conclusão.

### 8.1. Fossa Alternativa: pH, temperatura, Eh, CE, alcalinidade e OD

Nos gráficos referentes à variação do pH com a profundidade (**Gráfico i-FA.1** - campanha inicial; **Gráfico 1-FA.1** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FA.1** - segunda campanha), o brusco aumento de pH entre aproximadamente 1,75 e 2,25m de profundidade, deve-se à presença do *BOF* nesta camada, pois como explicado anteriormente, este material é altamente cáustico e produz altos valores de pH. Quando o pH diminui bruscamente, a partir de 2,25m de profundidade, a camada de *BOF* não está mais presente, então o pH retorna a um valor próximo do inicial. Entretanto, as razões que levam ao aumento acentuado do pH novamente (a partir de 2,75m) ainda não foram

esclarecidas. Porém, nota-se que o aumento intenso do pH se dá na camada que possui areia média a grossa, entre 2,5 e 3,5m.

A diminuição acentuada do pH no **Gráfico i-FA.1** (campanha inicial) entre aproximadamente 3,5 e 4,5m, pode estar relacionada às primeiras atividades da BR com serragem e pedrisco, que fica entre 3,5 e 4,0m. No início de seu funcionamento, a matéria orgânica (a serragem) promove valores menores de pH, uma vez que na oxidação deste material, muitos ácidos são produzidos, como por exemplo, os ácidos húmicos. A degradação de matéria orgânica (em meio aeróbio) produz CO<sub>2</sub>, que resulta na criação de ácidos carbônicos, que também vão reduzir o pH. Todavia, teoricamente, não se espera um meio aeróbio na camada com serragem, porém a taxa de OD neste nível está elevada (acima de 2mg/L), como será comentado adiante (**Gráfico 1-FA.5**).

Ainda em relação à redução brusca do pH a partir de 3,5m, este fato não é verificado nos **Gráficos 1-FA.1** e **2-FA.1**. Isto porque a descarga contínua de efluentes começa a normalizar o sistema: os efeitos advindos de uma suposta degradação da matéria orgânica seriam mascarados pelo elevado pH ocasionado pelo *BOF*.

Os gráficos referentes à variação da temperatura com a profundidade (**Gráficos i-FA.2** – campanha inicial; e **1-FA.2** – primeira campanha) apresentam um aumento da temperatura em relação a inicial no trecho entre 2,5 e 3,5m, sendo um incremento de aproximadamente 3 a 3,5°C (**Gráfico i-FA.2**); e de 2°C (**Gráfico 1-FA.2**). Porém, no **Gráfico 2-FA.2** – segunda campanha, este aumento de temperatura no trecho entre 2,5 e 3,5m não ocorre. Na verdade, a temperatura inclusive diminui, passando de 28°C a 2,7m para 23,6°C a 3,6m.

Os gráficos referentes à variação do Eh com a profundidade (**Gráfico i-FA.3** - campanha inicial; **Gráfico 1-FA.3** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FA.3** - segunda campanha) indicam por meio de seus “picos” os meios mais oxidantes ou redutores. De 1,5 a 2,0m de profundidade, constata-se que o meio está mais oxidante. Porém, em seguida, ocorre uma queda brusca dos valores de Eh (entre 2,0 a 2,5m) e o meio torna-se mais redutor. Nesta profundidade entre 1,5 a 2,5m situa-se a mistura de *BOF*, em cujo topo deve existir uma maior quantidade de O<sub>2</sub> (onde predominam reações de oxidação) e, em direção à base desta mistura heterogênea, predominam mais reações de redução.

Analizando ainda os mesmos gráficos (**i-FA.3**, **1-FA.3** e **2-FA.3**) nota-se que entre 2,5 e 3,5m de profundidade, o meio torna-se oxidante novamente; e que em aproximadamente 3,5m, os valores de Eh diminuem, e, desta forma, revelando-se oscilações, o ambiente fica mais redutor. Estas constatações são pertinentes ao fato que entre 2,5 e 3,5m há uma camada mais aerada e homogênea com areia média a grossa, ao passo que entre 3,5 e 4,0m, onde está a barreira desnitrificante (BR), o meio é saturado.

Em relação à CE, nos três gráficos (**Gráfico i-FA.4** - campanha inicial; **Gráfico 1-FA.4** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FA.4** - segunda campanha) nota-se que a CE atinge

seu patamar mais elevado entre 2,0 a 2,5m de profundidade. Neste intervalo, encontra-se o BOF, que seria responsável por este comportamento, pois o elevado pH acaba por disponibilizar mais íons à solução, não somente íons metálicos, mas também outros como Na, Cl e K, por exemplo; inclusive estes últimos comumente encontram-se em maiores concentrações no meio.

Os mesmos gráficos (**i-FA.4**, **1-FA.4** e **2-FA.4**) descrevem ainda uma redução acentuada da CE entre 2,5 a 3,0m, onde está presente a areia média a grossa, que não se caracteriza por conter quantidades significativas de eletrólitos. Apesar disto, a diminuição da CE provavelmente estaria mais associada a algum tipo de diluição, por entrada de água lateral, por exemplo.

Todavia, existe um ligeiro aumento da CE entre 3,5 e 4,0m aproximadamente (**Gráficos 1-FA.4 e 2-FA.4**), onde está situada a camada com serragem. Uma hipótese para esta constatação seria a de que houve um acúmulo dos sólidos totais dissolvidos (STD) neste trecho, provocando o incremento da CE. Outra possibilidade é que estas amostragens representem os primeiros contatos da serragem com a água percolante. Desta forma, produtos disponibilizados à água pela serragem podem contribuir também ao aumento da CE. Depois de 4,0m (brita 0), a CE decresce, provavelmente por conta de uma diluição do efluente tratado.

O comportamento da alcalinidade para a campanha inicial (**Gráfico i-FA.5**) denota um aumento muito expressivo entre 2,0 e 2,5m, o que seria explicado pela presença do BOF neste local, já que o mesmo possui natureza alcalina e sua composição química é rica em óxidos de cálcio. Entre 2,5 e 3,0m, a alcalinidade se reduz consideravelmente, pois a camada de BOF é ultrapassada. Entretanto, a alcalinidade torna a crescer entre 3,0 e 3,5m, onde há areia média/grossa presente. Entre 3,5 e 4,5m, a alcalinidade se reduz; nesta camada há serragem e logo abaixo a brita 0.

Para a primeira campanha, a concentração de OD sofre um aumento progressivo desde 1,5 até 3,5m (**Gráfico 1-FA.5**). Em seguida, o OD decresce de forma relativamente contínua até 4,5m. Nota-se ainda que as curvas de variação Este e Oeste possuem um comportamento muito discrepante da curva Centro.

A explicação da variação de OD pode estar relacionada à evolução do efluente doméstico, que é caracterizada por zonas biogeoquímicas (como citado no **item 4.1**). A primeira seria constituída pelo próprio tanque séptico, sendo um meio anaeróbio com alta concentração de matéria orgânica, o que corresponderia ao início do **Gráfico 1-FA.5**. Entretanto, existe uma porção razoável de OD (1,6mg/L) a 1,25m de profundidade, que seria o ponto inicial deste gráfico.

Em seguida, estaria a segunda zona, onde teoricamente drenos dispostos logo abaixo do tanque, promoveriam uma zona não saturada e aeróbica. Porém, nesta **FA**, não existem drenos entre 1,5 e 3,5m, intervalo este em que a taxa de OD aumenta, mas há

mistura de BOF (de 1,5 a 2,5m) e areia média/grossa (de 2,5 a 3,5m). Sendo assim, possivelmente, estes materiais promoveram a aeração do meio.

Nesta segunda zona, os microorganismos utilizam o O<sub>2</sub> como receptor de elétrons na oxidação de matéria orgânica para CO<sub>2</sub> e de NH<sub>3</sub> para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrificação). No **Gráfico 1-FA.8** (primeira campanha), nota-se um aumento significativo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre 1,5 e 2,5m, porém este processo será discutido mais adiante no **item 8.3**.

No entanto, pela produção de CO<sub>2</sub> citada acima, esperar-se-ia uma redução do pH após 2,5m, pelo menos em duas ordens de magnitude, permitindo que as reações de desnitrificação se processassem na serragem. Provavelmente, esta reação, juntamente com aquelas associadas à nitrificação foram insuficientes para a diminuição do pH.

A desnitrificação normalmente sucede em meios saturados ou nas proximidades, já abaixo do nível freático, exigindo condições anaeróbias e um doador de elétrons, como o carbono orgânico, sendo a serragem no caso desta FA. Em termos de condições anaeróbias, observa-se pelo **Gráfico 1-FA.5** (primeira campanha) que o OD decresceu continuamente a partir de 3,5m.

## 8.2. Fossa Controle: pH, temperatura, Eh, CE, alcalinidade e OD

Nos gráficos de variação do pH (**Gráfico i-FC.1** – campanha inicial; **Gráfico 1-FC.1** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FC.1** - segunda campanha), os valores de pH variam entre aproximadamente 5,5 e 7,0. De forma aproximada, com o aumento da profundidade, o comportamento do pH é o seguinte: no **Gráfico i-FC.1**, eleva-se em uma unidade; no **Gráfico 1-FC.1**, reduz-se em uma unidade; e no **Gráfico 2-FC.1**, se mantém estável.

Sendo assim, não existe um padrão para o comportamento do pH na FC com o aumento da profundidade. Na campanha inicial, ainda não havia esgoto dentro da fossa, portanto os valores de pH entre 5,38 e 6,6 correspondem àqueles normalmente encontrados em águas sub-superficiais não contaminadas. Nas demais campanhas (primeira e segunda), os valores de pH ficaram entre 7,0 e 6,0, que de forma aproximada, enquadram-se dentro da faixa usual de pH de esgotos brutos, que é de 6,7 a 7,5 (Von Sperling & Gonçalves, 2002).

O comportamento da temperatura com o aumento da profundidade nas três campanhas não é o mesmo. De forma generalizada, os gráficos de variação demonstram que na campanha inicial (**Gráfico i-FC.2**), a temperatura se mantém aproximadamente constante (de 19,9 a 19,7°C); na primeira campanha (**Gráfico 1-FC.2**), a temperatura aumenta (de 16,9°C a 19,8°C); e, finalmente, na segunda campanha (**Gráfico 2-FC.2**), a temperatura diminui (de 27,7°C a 22,7°C).

Em relação ao Eh, constata-se um mesmo padrão de comportamento na primeira e segunda campanhas. Em ambos os gráficos de variação do Eh (**Gráfico 1-FC.3** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FC.3** - segunda campanha), este parâmetro eleva-se com o

aumento da profundidade, ou seja, o meio antes redutor torna-se oxidante. Este fato poderia ser explicado pelo desenvolvimento das zonas biogeoquímicas do esgoto, que já foi exposta detalhadamente anteriormente.

Deste modo, a parte inicial dos gráficos acima (1-FC.3 e 2-FC.3), onde o meio estaria redutor, corresponderia à primeira zona que é um meio anaeróbio e com alta concentração de matéria orgânica. Em seguida, o incremento dos valores de Eh estaria relacionado ao aparecimento da segunda zona, que é não-saturada e aerobia. Esta transformação de um meio redutor para um oxidante seria favorecida pela presença de materiais permeáveis nesta FC, tais como pedrisco, areia e brita.

De maneira simplificada, na campanha inicial (**Gráfico i-FC.3**), o Eh decresce com o aumento da profundidade e o meio torna-se mais redutor, ou seja, pobre em OD. Considerando que ainda não existia esgoto na fossa neste período, a teoria das zonas biogeoquímicas no mesmo não se aplica. Para este caso, a diminuição da aeração à medida que se aprofunda na fossa afeta a água infiltrada a tal ponto de tornar o ambiente mais redutor. Da mesma forma, a degradação da matéria orgânica presente, contribuiu para o consumo de OD no meio.

Genericamente, a CE segue um mesmo padrão para as três campanhas. Em todos os gráficos de variação da CE (**Gráfico i-FC.4** – campanha inicial; **Gráfico 1-FC.4** - primeira campanha; e **Gráfico 2-FC.4** - segunda campanha), nota-se que a CE é menor no intervalo entre 3,5 e 4,0m. Esta CE mais baixa deve estar relacionada à permeabilidade conferida pela camada de areia média/grossa que existe neste trecho, já que corresponde ao material mais fino presente no perfil da FC. Isto porque esta maior permeabilidade atribuída proporcionaria a entrada lateral de água limpa, provocando uma maior diluição da concentração de STD; e, com isso, a redução da CE.

A alcalinidade (**Gráfico i-FC.5** – campanha inicial) torna-se menor no intervalo entre 2,25 a 2,7m; e aumenta continuamente desde 3,75 até 4,75m. O aumento brusco da alcalinidade a partir dos 3,75m estaria possivelmente relacionado com a dissolução de alguns compostos químicos (por exemplo, calcita –  $\text{CaCO}_3$ ), liberando alguns íons no meio, como bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Inclusive o **Gráfico i-FC.4** (campanha inicial) evidenciaria este fato, pois a CE e, consequentemente o conteúdo de STD, também se eleva a partir de 3,75m.

A curva de variação para a taxa de OD (**Gráfico 1-FC.5** – primeira campanha) é limitada, pois não há dados entre 2,75 e 4,75m. Os valores obtidos estão entre 2,0 e 1,4mg/L e, aparentemente, a taxa de OD decresce com o aumento da profundidade. Devido à restrição das informações, não são possíveis demais considerações.

### 8.3. Fossas Alternativa e Controle: Série Nitrogenada

De forma generalizada, a concentração de  $\text{NH}_3\text{-N}$  decresce com o aumento da profundidade em ambas as fossas, FA e FC. No **Gráfico 1-FA.6**, a  $\text{NH}_3\text{-N}$  inclusive chega a zero na camada que corresponde a da serragem (3,5-4,0m); em seguida há um pequeno aumento da mesma, sendo 4,1mg/L em 4,5m. No **Gráfico 1-FC.6**, a  $\text{NH}_3\text{-N}$  diminui muito até 3,75m, porém aumenta significativamente a partir desta última profundidade até 4,75m.

No caso de ambas as fossas, as altas concentrações de  $\text{NH}_3\text{-N}$  (acima de 0,1mg/L) indicam a contaminação recente por esgoto bruto. A sua conseqüente diminuição é uma evidência do processo de nitrificação, em que a  $\text{NH}_3$  se transforma em  $\text{NO}_2^-$  e/ou  $\text{NO}_3^-$  pela ação de bactérias aeróbias. O **Gráfico 1-FA.5** denota que a taxa de OD é suficiente para a atuação de bactérias aeróbias nesta profundidade em que ocorre a oxidação de  $\text{NH}_3$ .

De fato, em relação à FA, os **Gráficos 1-FA.8** e **1-FA.9** mostram que as concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N e  $\text{NO}_2^-$ -N, respectivamente, aumentam no intervalo entre 1,25 a 2,25m, justamente a faixa em que ocorre mais significativamente a diminuição de  $\text{NH}_3\text{-N}$  (**Gráfico 1-FA.6**). Na FC, os **Gráficos 1-FC.8** e **1-FC.9** também evidenciam este fato, pois há um pequeno aumento de  $\text{NO}_3^-$ -N e  $\text{NO}_2^-$ -N, respectivamente, entre 2,2 e 3,75m, onde no **Gráfico 1-FC.6**, nota-se que ocorre a diminuição de  $\text{NH}_3\text{-N}$ .

Os gráficos da FA, **1-FA.6** ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) e **1-FA.7** (NKT), são praticamente idênticos (isto porque quase todo NKT está sob a forma de  $\text{NH}_3\text{-N}$ ), apresentando o mesmo modelo a seguir: diminuição muito acentuada entre 1,25 e 2,25m; um pequeno aumento entre 2,25 e 2,75m; um decréscimo suave entre 2,75 e 3,75m. A causa para o primeiro decréscimo de  $\text{NH}_3\text{-N}$  já foi explicada acima, que seria seu consumo na reação de nitrificação. Há um ligeiro aumento de  $\text{NH}_3\text{-N}$  na porção arenosa (2,5-3,0m) possivelmente devido à diferença de permeabilidade.

Destaca-se também que as curvas de variação com a profundidade da FC dos **Gráficos 1-FC.6** ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) e **1-FC.7** (NKT) demonstram praticamente o mesmo desempenho, sendo que entre 2,2 e 3,75m, as concentrações de  $\text{NH}_3\text{-N}$  e de NKT se reduzem bruscamente; e entre 4,0 e 4,75m, elevam-se um pouco.

A variação do  $\text{NO}_3^-$ -N com a profundidade na FA (**Gráfico 1-FA.8**) é bem acentuada. No intervalo entre 1,25 e 2,25m, o  $\text{NO}_3^-$ -N se eleva (como comentado anteriormente); e neste local situa-se grande parte da mistura de BOF, ou seja, a nitrificação ocorreria nesta camada. O comportamento do  $\text{NO}_2^-$ -N, apresentado pelo **Gráfico 1-FA.9**, também evidencia a nitrificação, pois igualmente aumenta de concentração de 1,25 a 2,25m. Esta averiguação é interessante, pois, teoricamente, as atividades enzimáticas das bactérias aeróbias responsáveis pela nitrificação estariam muito mais restritas a um pH tão alcalino (superior a 11,0) (**Gráfico 1-FA.1**).

A partir de 2,25 até 2,75m (ainda no **Gráfico 1-FA.8**), a concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N é reduzida; e este intervalo corresponde a uma parte da mistura de *BOF* e outra de areia média/grossa. No caso do **Gráfico 1-FA.9**, verifica-se que o  $\text{NO}_2^-$ -N continua a aumentar. O comportamento inverso de ambos os compostos ( $\text{NO}_3^-$ -N e  $\text{NO}_2^-$ -N), poderia sugerir a ocorrência da desnitrificação, pois em um primeiro momento, o  $\text{NO}_3^-$  é reduzido a  $\text{NO}_2^-$  (teoria explicada no **item 4.1.2**), o que provocaria uma redução do teor de  $\text{NO}_3^-$ -N e um incremento em  $\text{NO}_2^-$ -N.

Porém, a hipótese acima é contrariada em alguns aspectos referentes às condições ideais para proporcionar a desnitrificação. Primeiro, entre 2,25 a 2,75m, ainda há uma certa proporção de *BOF* e o pH é alto (acima de 9,0 pelo **Gráfico 1-FA.1**), sendo que o pH favorável à desnitrificação está entre 6,5 a 8,0. Segundo, neste mesmo intervalo (2,25-2,75m), o meio não é saturado e é aeróbio, o que é demonstrado pelo **Gráfico 1-FA.5**, em que as taxas de OD estão entre 4,2 e 5,0mg/L. Para propiciar a desnitrificação, o meio deve estar saturado, pois proporções de OD acima de 1,0mg/L afetam a mesma.

Além disso, é necessária uma fonte de carbono orgânico para a desnitrificação ocorrer, o que só estará disponível entre 3,5 e 4,0m (nível da serragem). Portanto, a razão para a diminuição de  $\text{NO}_3^-$ -N e o incremento de  $\text{NO}_2^-$ -N de 2,25 a 2,75m poderia ser a de que a nitrificação neste ponto não estaria sendo plena. Outra possibilidade seria a diluição causada pelo ingresso de água limpa (não contaminada em  $\text{NO}_3^-$ ) no intervalo onde há diminuição nos teores de  $\text{NO}_3^-$ -N. Este evento é evidenciado pelo **Gráfico 1-FA.4**, em que a CE se reduz bruscamente a partir de 2,25 até 2,75m.

Em seguida (ainda nos **Gráficos 1-FA.8** e **1-FA.9**), as proporções de  $\text{NO}_3^-$ -N e  $\text{NO}_2^-$ -N crescem entre 2,75 a 3,75m. Conforme a comparação com o **Gráfico 1-FA.6** ( $\text{NH}_3$ -N) já exposta acima, confere-se à nitrificação a razão deste fato.

Entre 3,75 e 4,5m, a taxa de  $\text{NO}_3^-$ -N decresce (**Gráfico 1-FA.8**); e, neste caso, poder-se-ia atribuir a causa disto à desnitrificação. A camada de serragem (3,5-4,0m) é a fonte de carbono orgânico para esta reação. Teoricamente, este meio é saturado e anaeróbio, apesar de que o **Gráfico 1-FA.5** ainda mostra taxas de OD acima de 1,0mg/L para esta profundidade.

Contudo, embora o **Gráfico 1-FA.3** apresente valores de Eh negativos neste intervalo (3,75-4,5m), evidenciando um meio redutor e anaeróbio, o pH muito elevado à profundidade entre 3,5 e 4,0m (BR com serragem) seria desfavorável à desnitrificação. Portanto, serão necessários mais dados para se poder descartar a desnitrificação e ficar com a hipótese de uma diluição nesta zona por meio de infiltrações laterais na FA.

No **Gráfico 1-FA.9**, a concentração de  $\text{NO}_2^-$ -N se reduz entre 3,75 e 4,0m; e em seguida, se eleva de 4,0 a 4,5m. As variações deste ânion são momentâneas graças à instabilidade deste estado de oxidação do nitrogênio.

Finalmente, efetuou-se uma comparação entre os parâmetros da série nitrogenada das fossas FA e FC no nível tipo P-1 (mais profundo). Para tanto, executou-se uma média de cada um destes parâmetros, considerando-se todas as curvas (Centro, Este e Oeste). Assim, constatou-se que há uma redução significativa da carga contaminante de  $\text{NO}_3^-$ -N na FA. A tabela abaixo exemplifica este fato:

Fossa/Parâmetro	$\text{NH}_3\text{-N}$	NKT	$\text{NO}_3^-$ -N	$\text{NO}_2^-$ -N
FA (4,5m)	4,5mg/L	6,0mg/L	21,2mg/L	6,1mg/L
FC (4,75m)	65,8mg/L	66,1mg/L	73,6mg/L	22,6mg/L

Tabela 2. Média dos parâmetros da série nitrogenada, considerando as curvas Centro, Este e Oeste do nível tipo P-1: FA (P-1E e P-1C) e FC (P-1E, P-1C e P-1O).

Ainda assim, é preciso confrontar as médias das concentrações iniciais, “medianas” e finais de cada parâmetro da série nitrogenada em ambas as fossas (FA e FC), como nas **Tabelas 14 e 15** abaixo. No caso da FA, a “mediana” será representada pela média dos teores encontrados dentro da BR (3,5-4,0m); e na FC esta mesma medida significará a média dos teores encontrados em 3,75m (nível correspondente à BR nesta fossa). Neste caso, também se considerou a média de todas as curvas.

Profundidade/Parâmetro (FA)	$\text{NH}_3\text{-N}$	NKT	$\text{NO}_3^-$ -N	$\text{NO}_2^-$ -N
1,25m (início)	77,7mg/L	79,1mg/L	0,5mg/L	0,0mg/L
3,5-4,0m (BR)	4,0mg/L	6,8mg/L	24,5mg/L	6,2mg/L
4,5m (fim)	4,5mg/L	6,0mg/L	21,2mg/L	6,1mg/L

Tabela 3. Confronto entre as concentrações iniciais, “medianas” (dentro da BR) e finais de cada parâmetro da série nitrogenada em FA (Centro, Este e Oeste).

Profundidade/Parâmetro (FC)	$\text{NH}_3\text{-N}$	NKT	$\text{NO}_3^-$ -N	$\text{NO}_2^-$ -N
1,25m (início)	193,6mg/L	203,3mg/L	35,5mg/L	12,6mg/L
3,75m	12,1mg/L	11,5mg/L	13,0mg/L	2,0mg/L
4,75m (fim)	65,8mg/L	66,1mg/L	73,6mg/L	22,6mg/L

Tabela 4. Confronto entre as concentrações iniciais, “medianas” e finais de cada parâmetro da série nitrogenada em FC (Centro, Este e Oeste).

Concebendo como principais indicativos, as concentrações iniciais e finais de  $\text{NH}_3\text{-N}$  e  $\text{NO}_3^-$ -N, percebe-se o seguinte: as reduções das proporções iniciais de  $\text{NH}_3\text{-N}$  (1,25m) em relação às suas finais na FA (4,5m) e na FC (4,75m) são, respectivamente, 94% e 66%; e na FA, a concentração inicial de  $\text{NO}_3^-$ -N era muito baixa, havendo um aumento significativo desta proporção com a profundidade e na FC, este valor inicial já apresenta-se relativamente elevado e a sua concentração final é praticamente o dobro da inicial.

A análise das proporções “medianas” constata um padrão semelhante entre FA e FC e um outro distinto. A semelhança está em relação ao desempenho do teor de  $\text{NH}_3\text{-N}$ , que

tem uma redução acentuada até aproximadamente 3,75m, sendo de 95% em **FA** e de 94% em **FC**; e, em seguida, sofre uma elevação, que é significativa em **FC**, mas muito pouco em **FA**. Já o comportamento diferente está no teor de  $\text{NO}_3^-$ -N, que diminui e depois aumenta em **FC**; e em **FA** este elemento se amplia até 3,5m e, após ultrapassar a BR, o mesmo sofre um pequeno decréscimo de 13,5% em sua concentração.

#### **8.4. Curvas de variação: Centro, Este e Oeste**

Nota-se em diversos gráficos que as curvas de variação diferem muito uma da outra em termos de comportamento do parâmetro analisado. Por exemplo, no **Gráfico 1-FA.5** (variação de OD – primeira campanha), a curva Este diverge em alguns pontos da curva Centro. No **Gráfico 1-FC.8** (variação de  $\text{NO}_3^-$ -N – primeira campanha), a curva Oeste apresenta-se em desacordo com ambas as curvas Este e Centro. O Gráfico **2-FA.1** (variação de pH – segunda campanha), demonstra uma diferença acentuada entre as três curvas: Centro, Este e Oeste. Este tipo de divergência também ocorre no **Gráfico 1-FC.9** (variação de  $\text{NO}_2^-$ -N – primeira campanha).

Em alguns gráficos estas discordâncias são significativas, em outros também há diferenças, porém, analisando-se as tendências gerais das curvas, encontram-se semelhanças. Como exemplo cita-se o **Gráfico 1-FC.4** (variação de CE – primeira campanha), entre as curvas Centro e Este.

Nas camadas de ambas as fossas onde foram instalados equipamentos, existem três pan-lisímetros de acordo com as posições de Centro, Leste e Oeste; exceto o nível tipo P-1 da **FA**, em que só há dois pan-lisímetros (Centro e Leste).

Normalmente, a maior concentração do fluxo do efluente se dá através do centro, porém devido a algumas particularidades do meio (caminhos preferenciais), a água poderá ser desviada ou sofrer diluição e ocorrerão mudanças nos parâmetros físico-químicos das extremidades (leste e oeste) em relação ao centro. É possível verificar este fato comparando a CE a outros parâmetros: se a CE diminui junto com variações fortes de outros parâmetros, poderia ser uma entrada de água externa lateral. Também é indicado o confronto com o perfil construtivo da fossa em questão (**FA** ou **FC**).

### **9. CONCLUSÕES**

Primeiramente, destaca-se que as metas e os objetivos desse Trabalho de Formatura foram alcançados. A proposta inicial de auxiliar no desenvolvimento e instalação de uma BR, subjacente a uma fossa negra, capaz de promover a degradação de uma pluma de  $\text{NO}_3^-$  formada em um aquífero livre de uma região entre Parelheiros e Marsilac (extremo sul do Município de São Paulo) foi atingida. Além disso, o auxílio no monitoramento deste

sistema séptico melhorado, dentro do prazo deste Trabalho de Formatura, também foi efetivado.

A avaliação da eficiência deste sistema séptico alternativo (**FA**) foi parcialmente efetuada, uma vez que as conclusões obtidas não são definitivas. É importante destacar que as análises químicas da série nitrogenada somente foram realizadas para a primeira campanha de amostragem. Por exemplo, na **FC**, a concentração de  $\text{NO}_3^-$ -N é aproximadamente 3,5 vezes maior do que no nível equivalente da **FA** (vide **Tabela 2**), ou seja, houve uma redução aproximada de 70% do teor de  $\text{NO}_3^-$ -N na **FA** em relação à **FC**.

O nível da **FC** citado acima corresponde ao mais profundo (tipo P-1) desta fossa, sendo que na **FA** o mesmo situa-se logo abaixo da mistura de serragem, portanto comparativamente pode-se supor que de alguma forma o *design* da **FA** diminuiu as concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N, embora de uma maneira não totalmente satisfatória, já que os teores de  $\text{NO}_3^-$ -N (21,2mg/L) ainda se encontram acima do limite de potabilidade (10mg/L).

Contudo, é importante destacar que se averiguaram apenas as concentrações finais de  $\text{NO}_3^-$ -N em cada fossa. Examinando as **Tabelas 3 e 4**, se deduz que, na verdade, houve um aumento do teor de  $\text{NO}_3^-$ -N com a profundidade, proporcionalmente maior em **FA** do que em **FC**. Isto significa que o mecanismo de nitrificação é eficiente em ambas as fossas, embora que em **FC** os valores envolvidos são maiores. Ainda assim, é impressionante o registro de que mesmo o pH elevado provocado pelo *BOF*, não tenha inibido a atuação das bactérias nitrificantes. Inclusive o **Gráfico 1-FA.8** demonstra uma acentuada nitrificação justamente dentro da camada com *BOF*.

Continuando a análise das **Tabelas 3 e 4**, constatou-se que houve uma maior redução da proporção inicial de  $\text{NH}_3$ -N com o aumento da profundidade na **FA** do que na **FC**. Portanto, há uma menor disponibilidade do elemento  $\text{NH}_3$  para ser convertido a  $\text{NO}_3^-$ , através da nitrificação, no nível mais profundo da **FA** em relação ao mesmo local da **FC**. Isto é uma ocorrência favorável, pois as concentrações de elementos químicos (incluindo o  $\text{NO}_3^-$ ) nesta última camada seriam aquelas que poderiam alcançar e contaminar o aquífero da região.

Ainda argumentando sobre a questão da eficácia do sistema de BR, verifica-se que a redução do teor de  $\text{NO}_3^-$ -N após a ultrapassagem da camada com serragem, é muito pequena, apenas 13,5% comparativamente (vide **Tabela 3**). Agora na **FC**, a proporção de  $\text{NO}_3^-$ -N num nível equivalente (3,75m), é bem menor do que a sua quantidade inicial, porém na camada em seguida, este valor aumenta muito (aproximadamente 5,5 vezes) (vide **Tabela 4**). De certa forma, mesmo que a atuação da BR pareça insignificante, se a mesma não estivesse presente na **FA**, os valores compreendidos para o  $\text{NO}_3^-$ -N poderiam ser muito maiores.

Considerando a possibilidade da ocorrência ou não da desnitrificação, esta seria insatisfatória analisando-se o pH, que está acima daquele considerado ótimo (entre 6,5 e

8,0) para as atividades das bactérias, devido à influência do BOF, que se encontra acima da camada de serragem. A taxa de desnitrificação é reduzida quando o pH do meio se mantém abaixo de 6,0 e acima de 9,0; e, neste caso, o pH apresenta-se em torno de 12,0 na camada com serragem (3,5 a 4,0m).

Adicionalmente, foram analisados os outros parâmetros físico-químicos que influenciam a taxa de desnitrificação. A temperatura na camada com serragem encontrava-se entre 16,6 e 18,7°C (**Gráfico 1-FA.2**), que não está dentro da faixa ideal considerada para a desnitrificação (25-35°C), porém esta reação ainda se processa entre 0 e 50°C. O Eh demonstra valores negativos na camada com serragem (**Gráfico 1-FA.3**), denotando um meio redutor e, portanto, favorável à desnitrificação. Entretanto, as taxas de OD na camada com serragem (**Gráfico 1-FA.5**) não encontram-se propícias à desnitrificação, pois os valores estão acima de 1,0mg/L, o que já afetaria este processo.

Por conseguinte, não é possível afirmar com certeza que a reação de desnitrificação foi a responsável pela diminuição da carga contaminante de  $\text{NO}_3^-$ -N na FA. Ainda serão necessárias outras campanhas de amostragem para a obtenção de mais dados com as análises dos parâmetros físico-químicos. Inclusive os resultados obtidos demonstram que muitos dos comportamentos destes parâmetros são arbitrários e necessitam ser explorados mais profundamente na continuidade do projeto maior (Minisis).

Entretanto, é possível, de forma preliminar, relacionar a possível ocorrência da reação de desnitrificação com a presença e/ou ausência de bactérias heterotróficas. De acordo com laudos de análises de bactérias, constatou-se que existe uma quantidade significativa de bactérias heterotróficas no meio, inclusive dentro da BR com serragem, sendo que as mesmas poderiam ser responsáveis pela desnitrificação.

Outra provável causa já mencionada para a redução das concentrações de  $\text{NO}_3^-$ -N na FA, em determinados intervalos, seria uma eventual diluição provocada por infiltrações laterais de água límpida ou não contaminada por este composto. A presença de materiais mais permeáveis no perfil construtivo da FA (como areia e pedrisco) poderia favorecer esta situação de entrada externa lateral de água.

Também é imprescindível identificar certos padrões que os parâmetros físico-químicos seguem. Por exemplo, na FA, para as três campanhas, averigua-se o seguinte modelo com a profundidade: entre 2,0 e 2,5m existe BOF e o pH eleva-se, o Eh reduz-se e a CE aumenta; entre 2,5 e 3,0m há areia e o pH diminui, o Eh aumenta e a CE se reduz; e, por fim, entre 3,0 e 3,5m também há areia e o pH se eleva, o Eh diminui e a CE aumenta.

A continuidade do monitoramento deste sistema séptico alternativo e as futuras análises físico-químicas permitirão determinar o significado dos padrões citados acima, assim como o esclarecimento de diversas questões contraditórias em relação aos dados obtidos.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDO, E. G. (1987). Guia de coleta e preservação de amostra de água – São Paulo. CETESB, p. 11-30.
- ALMEIDA, F.F.M. (1976). The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciência, v. 48, p.15-26.
- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. (1973). The precambrian evolution of the South American cratonic margin South Amazon River. In: Naim Stehli – The ocean basin and margins. New York, v. 1, p. 411-446.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 17<sup>a</sup> ed. Washington, p.4-75/ 4-93.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1993). Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. NBR 13696/97.
- BOUCHARD, D.C.; WILLIANS, M.K. & SURAMPALLI, R.Y (1992). Nitrate contamination of ground water: sources and potential health effects. J. Am. Water Works Ass., v.84, p. 85-90.
- CESARINO, A. (2002). Seleção de materiais para remediação de aquíferos contaminados por nitrato através de barreiras reativas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 88p.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (2006). Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: <http://www.marcadagua.org.br/bacia14.htm>
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (1988). Norma CETESB. Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas.
- EPA (1998). United States Environmental Protection Agency. Permeable reactive barrier technologies for contaminant remediation. EPA 600-R-98-125.
- FREEZE, R. & CHERRY, J. (1979). Groundwater. New Jersey, Prentice-Hall, 604p.
- FORBES, D. (2003). Nutrient and pathogen removal in a household septic system using passive porous media filters. Dissertação de Mestrado. Department of Earth Sciences, University of Waterloo, 37p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. (1988) Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data. Lima, CEPIS-PAHO/WHO. 89p.
- GALRÃO, D. (2003). Preservação de Efluentes para análises de Carbono Orgânico Dissolvido. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 121p.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. & COIMBRA, A. M. (1975). The Ribeira Folded Belt. Revista Brasileira de Geociências, v. 4, p. 257-266.
- HASUI, Y. (1973). Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 190p.
- HENDRY, M. J. ; GILHAM, R. W. & CHERRY, J. A. (1983). An integrated approach to hydrogeologic investigations – a case study. Journal of Hydrology, v. 63, p. 211-232.

- HIRATA, R. (2003). Modelamento inverso tridimensional de fluxo e transporte em aquífero livre e raso: aplicação no Parque Ecológico do Tietê – São Paulo. Relatório final de projeto (processo FAPESP nº 00/14446-0), São Paulo, 259 p.
- HIRATA, R. & CESARINO, A. (2003). Barreiras reativas: Uma tecnologia de baixo custo para aquíferos contaminados. Meio Ambiente Industrial, p. 109-113.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). Censo demográfico do Brasil. URL: <http://www.ibge.gov.br>.
- JULIANI, C. (1992). O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. Seminário: Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 3-20.
- KEENEY, D. (1986). Sources of nitrate to groundwater. CRC Critical Reviews in Environmental Control, v. 16, p. 257-304.
- KRAUSE, L. G. T. (2006). Influência das Relações DQO/N e So/Xo na Atividade de Microorganismos Desnitrificantes. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 93p.
- MANCINI, F. & RICCOMINI, C. (1994). Estilos estruturais da formação Pindamonhangaba, Bacia de Taubaté, SP. Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Resumo expandido. Camboriú, SBG, v. 1, p. 564-565.
- MANSELL, B.O. & SCHROEDER, E.D. (1998). Biological denitrification in a continuous flow membrane reactor. Water Science Technology, London., v.38, n.1, p.9-14.
- MORRISON, S.J. & SPANGLER, R.R. (1993). Chemical barriers for controlling groundwater contamination. Environmental Progress, v. 12, p. 175-181.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS (2004). Water for Health: WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Água para a Saúde: Diretrizes da OMS para a Qualidade da Água Potável. 3ª edição, Genebra, OMS.
- PACKHAM, R. F. (1992). Public health and regulatory aspects of inorganic nitrogen compounds in drinking water. Water Supply, v.10, n.3, p.1-6.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M. & TAKIYA, H. (1992). Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. Seminário de Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. Atas, São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 21-45.
- RICCOMINI, C. (1989). O *rift* continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 304p.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B. & MARTIN, L. (1989). The Colônia Astrobleme. International Symposium on Global Changes in South America During the Quartenary. Excursion field guide. São Paulo, INQUA, 14p.
- RITTMANN, B.E. & LANGELAND, W.E. (1985). Simultaneous denitrification with nitrification in single channel oxidation ditches. Journal Water Pollution Control Federation Washington, v. 45, n.2, p.249 – 260.
- ROBERTSON, W.D. & CHERRY, J.A. (1995). In situ denitrification of septic-system nitrate using reactive porous media barriers: field trials. Ground Water, v. 33, n.1, p. 99-111.

ROBERTSON, W.D.; CHERRY, J.A. & SUDICKY, E.A. (1991). Groundwater contamination from two small septic systems on sand aquifers. *Ground Water*, v. 29, n. 1, p. 82-92.

RODRIGUEZ S. K. (1998). Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 171p.

SABESP (2006). Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. <http://www.sabesp.com.br>.

SADOWSKI, G.R. (1991). A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, 108p.

SMYTH, D.J.A.; BLOWES, D.W.; PTACEK, C.J.; BAKER, M.J.; FORD, G.; FOSS, S. & BERNSTENE, E. (2002). Removal of phosphate and waterborne pathogens from wastewater effluent using permeable reactive materials. In: Proceedings of the 55<sup>th</sup> Canadian Geotechnical/3<sup>rd</sup> Joint IAH-CNC/CGS Groundwater Specialty Conference. Niagara Falls, Canada.

SOUZA J. T. & FORESTI E. (1999). Utilização de lodo anaeróbio como fonte externa de carbono no processo de desnitrificação de águas residuárias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3, n.1, p.69-73.

STARR, R. (1988). An investigation into the role of organic carbon in denitrification in shallow sandy aquifers. Tese de Doutorado – Department of Earth Sciences, University of Waterloo.

STIMSON, J. (2005). Development of an alternative latrine design utilizing a permeable reactive barrier for pathogen and nutrient attenuation. Tese de Doutorado – Department of Earth Sciences, University of Waterloo, 75p.

TAKIYA, H. (1997). Estudo da sedimentação neogênico-quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 152p.

VARNIER, C. L. & HIRATA, R. (2002). Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, n. 16, p. 77-82.

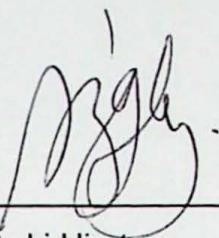
VIEIRA, S. R. S. S. (1996). Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP. Tese de Doutorado. Departamento de Mineralogia e Geotectônica. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 210p.

VON SPERLING, M. & GONÇALVES, R.F. (2002). Sludge Production in Wastewater Treatment in Warm Climatic Countries. 3th IWA Conference, Melbourne, Australia.

WILHELM, S.; SCHIFF, S. & CHERRY, J. (1994). Biogeochemical evolution of domestic waste in septic systems: Conceptual Model. *Groundwater*, v. 32, n. 6, p. 905-916.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

De acordo,

p/ CTF-2007   
Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Amanda RB - - -  
Amanda Rencato Batista

São Paulo  
Novembro de 2007

**Anexo 1. Figuras da construção da fossa alternativa**

## FIGURAS DA CONSTRUÇÃO DA FOSSA ALTERNATIVA



Figura 4.1 Camada 1 e instrumentos

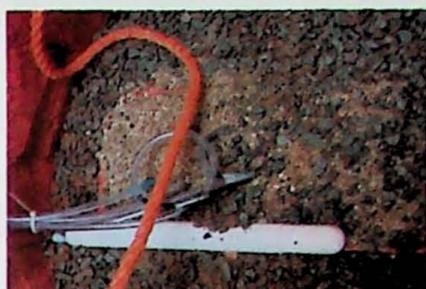


Figura 4.2 Posicionamento do amostrador de gases



Figura 4.3 Instrumentos da camada 1 já cobertos



Figura 4.4 Posicionamento do dreno inferior



Figura 4.5 Finalização da camada 1



Figura 4.6 Vista do anel de concreto posicionado



Figura 4.7 Cobertura do anel de concreto com vinilona



Figura 4.8 Fixação do dreno interno ao anel e conexões com o tubo vertical



Figura 4.9 Dreno sendo envolvido com brita 0 por toda sua circunferência e colocação de brita 0 sobre as abas da vinilona



Figura 4.10 Posicionamento do poço de monitoramento a 4,2m (nivelado ao dreno)



Figura 4.11 Espaçamento entre os piezômetros para a posição do centro (C)



Figura 4.12 Instalação dos piezômetros, guiados através de um pedaço de tronco já na mistura com a serragem

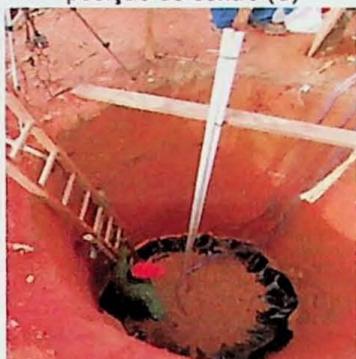


Figura 4.13 Vista dos dois poços de monitoramento



Figura 4.14 Início da camada 3



Figura 4.15 Acomodação do anel-guia para separação entre brita 1 externa ao anel e o material interno



Figura 4.16 Lísímetros na camada 3



Figura 4.17 Disposição do amostrador de gás



Figura 4.18 Início da camada 4



Figura 4.19 Lísímetros no meio da camada 4



Figura 4.20 Instalação do amostrador de gás e do outro nível de pan-lísímetros entre as camadas 4 e 5



Figura 4.21 Disposição final dos lísímetros na base da camada 5



Figura 4.22 Instalação do amostrador de gases na base da camada 5



Figura 4.23 Finalização da camada 5



Figura 4.24 Início da camada 6, com disposição de pedrisco na borda interna do anel para direcionamento do fluxo do efluente



Figura 4.25 Posicionamento do último nível de instrumentos



Figura 4.27 Finalização da camada 6



Figura 4.29 Vista do preenchimento e das mangueiras amostradoras



Figura 4.26 Disposição final de todos instrumentos



Figura 4.28 Início da camada 7



Figura 4.30 Anel de concreto (tanque) sendo colocado



Figura 4.31 Pedrisco na borda interna do tanque

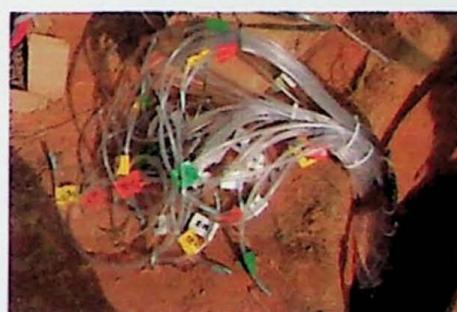


Figura 4.32 Grupo de mangueiras amostradoras



Figura 4.33 Caixa de concreto para acomodação das mangueiras



Figura 4.34 Fossa sem a tampa de concreto e caixa de concreto com as mangueiras

**Anexo 2. Figuras da construção da fossa controle**

## FIGURAS DA CONSTRUÇÃO DA FOSSA CONTROLE



Figura 6.1 Camada 1 e instrumentos



Figura 6.2 Instalação do amostrador de gás



Figura 6.3 Início da camada 3



Figura 6.4 Camada 3 quase finalizada



Figura 6.5 Início da camada 4



Figura 6.6 Instalação dos lisímetros.



Figura 6.7 Início da camada 5



Figura 6.8 Instrumentos entre as camadas 5 e 6



Figura 6.9 Início da camada 6.



Figura 6.10 Finalização da camada 6



Figura 6.11 Início da camada 7



Figura 6.12 Término do preenchimento



Figura 6.13 Anéis de concreto colocados



Figura 6.14 Vista da fossa e da caixa de concreto com as mangueiras amostradoras



Figura 6.15 Fossa com tampa de concreto e respiro

Anexo 3. Dados da amostragem de solo

**Anexo 3. Dados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo**

Dados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo - Campanha Inicial  
 18 e 19 de Junho de 2007  
 Fossas Alternativa e de Controle

Fossa	Instrumento	Tipo	Camada	Posição	Data	Horário	pH	Temp (°C)	Eh (mV)	CE (mS/cm)	Volume de amostra (ml)	Observações sobre as amostras			Álcalinidade Cátion	Vol (ml)	Dígitos	Fator	meq CaCO <sub>3</sub> /L
A	P-1C	P	1	C	19-jun-07	14:00	6,51	22,6	12	670	1000	marrom escuro, odor de madeira	x	10	243	0,002	0,486	48,6	
A	P-1E	P	1	E	18-jun-07	16:05	6,31	21,1	102	500	1500+1600	marrom escuro, odor de madeira	x	10	156	0,002	0,312	31,2	
A	Z-1C	Z	2	C	19-jun-07	14:30	8,30	22,2	-76	940	saturado	marrom escuro, odor de madeira	x	10	334	0,002	0,667	66,8	
A	Z-1E	Z	2	E	18-jun-07	16:15	6,43	19,9	75	450	saturado	marrom escuro, odor de madeira	x	10	145	0,002	0,290	29,0	
A	Z-1O	Z	2	O	19-jun-07	18:15	6,98	19,1	120	640	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	Z-2C	Z	3	C	19-jun-07	15:00	9,60	21,8	-142	920	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	Z-2E	Z	3	E	18-jun-07	16:50	10,40	19,3	-90	520	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	Z-3C	Z	4	C	19-jun-07	14:45	11,36	21,8	-193	1380	saturado	marrom escuro, odor de madeira	x	10	498	0,002	0,996	99,7	
A	Z-3E	Z	4	E	18-jun-07	16:40	11,75	19,4	-145	1450	saturado	marrom claro, odor de madeira							
A	Z-4C	Z	5	C	19-jun-07	15:10	11,72	22,3	-167	1690	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	Z-4E	Z	5	E	18-jun-07	17:00	11,85	19,5	-120	1780	saturado	marrom claro, odor de madeira							
A	Z-4O	Z	5	O	19-jun-07	18:00	11,31	18,9	-85	1250	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	Z-5C	Z	6	C	19-jun-07	15:25	11,70	22	-58	1700	saturado	marrom escuro, odor de madeira	x	10	509	0,002	1,02	102	
A	Z-5E	Z	6	E	18-jun-07	16:25	12,15	19,5	-105	2600	saturado	marrom claro, odor de madeira	x	10	570	0,002	1,14	114	
A	Z-5O	Z	6	O	19-jun-07	17:50	-	-	-	-	saturado	marrom escuro, odor de madeira							
A	P-2C	P	7	C	19-jun-07	15:40	6,50	22,5	170	90	500	marrom	x	10	6	0,002	0,012	1,2	
A	P-2E	P	7	E	19-jun-07	15:50	6,00	22,8	198	150	100 (após 1 dia)	transparente							
A	P-2E	P	7	E	18-jun-07	17:10	6,55	19,2	155	140	500+200 (5m)	sedimentos presentes, avermelhada	x	40	27	0,0005	0,014	1,4	
A	P-2O	P	7	O	18-jun-07	17:20	6,50	19,1	70	120	300	sedimentos presentes, avermelhada							
A	P-3C	P	8	C	19-jun-07	16:00	12,45	21,3	-145	7430	1200	transparente	x	10	1577	0,002	3,154	315,7	
A	P-3E	P	8	E	19-jun-07	16:10	12,38	20,6	-100	7390	500 (após 1 dia)	pouca amostra, transparente							
A	P-3O	P	8	O	19-jun-07	16:20	12,52	20,4	-205	7580	1200	transparente	x	10	1644	0,002	3,288	329,1	
A	P-3E	P	8	E	18-jun-07	17:30	12,58	18,9	-115	7060	1500	turva							
A	P-4E	P	9	E	19-jun-07	16:30	6,25	20,5	269	210	1200	transparente	x	40	125	0,0005	0,0063	0,63	
A	P-4C	P	9	C	19-jun-07	16:40	5,24	19,7	320	210	1200	transparente	x	40	14	0,0005	0,0070	0,70	
A	P-4O	P	9	O	19-jun-07	17:00	5,17	19,4	325	200	1000	sedimentos presentes	x	40	15	0,0005	0,0075	0,75	
A	P-5C	P	10	C	19-jun-07	17:20	5,88	19	315	280	1000	turva	x	10	72,5	0,002	0,145	14,5	
A	P-5E	P	10	E	19-jun-07	17:10	6,35	18,9	287	430	900	levemente turva							
A	P-5O	P	10	O	19-jun-07	17:25	6,10	NA	315	NA	1200	turva	x	40	10	17,5	0,002	0,035	3,5
A	Casa Idália	W			19-jun-07	17:40	4,91	17,4	360	210	NA	turva, pouca amostra							
C	P-1C	P	1	C	19-jun-07	09:25	6,60	19,7	162	570	1200	levemente turva	x	10	189	0,002	0,378	37,8	
C	P-1E	P	1	E	19-jun-07	09:00	6,47	19,2	214	470	1500	levemente turva							
C	P-2C	P	2	C	19-jun-07	09:50	5,40	19,7	156	90	50 (4m)	turva, pouca amostra	x	10	35	0,002	0,070	7,0	
C	P-2E	P	2	E	19-jun-07	09:40	5,70	20,7	179	100	30	turva, pouca amostra							
C	P-2O	P	2	O	19-jun-07	10:20	6,27	22,9	150	350	30	turva, pouca amostra							
C	P-3C	P	3	C	19-jun-07	11:00	5,08	20,2	295	210	1500	turva	x	40	37	0,0005	0,019	1,9	
C	P-3E	P	3	E	19-jun-07	10:35	5,25	21,8	254	350	1500	turva	x	40	39,5	0,0005	0,020	2,0	
C	P-4C	P	4	C	19-jun-07	11:30	5,38	19,9	306	230	1500	levemente turva	x	10	35	0,002	0,070	7,0	
C	P-4E	P	4	E	19-jun-07	11:15	5,17	20,4	318	260	500	levemente turva	x	40	34	0,0005	0,017	1,7	
C	P-4O	P	4	O	19-jun-07	11:50	5,74	22,5	226	NA	1500	levemente turva							
C	Casa Mendes	W			19-jun-07	12:15	4,76	24,5	226	260	NA	bem transparente	x	40	15	0,0005	0,0075	0,75	

\* W = poço/ NA = parâmetro não analisado

Dados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo - Primeira Campanha de Amostragem  
 30 e 31 de Julho e 01 de Agosto de 2007  
 Fossas Alternativa e de Controle

Fossa	Instrumento	Tipo	Camada	Posição	Data	Horário	pH	Temp (°C)	Eh (mV)	CE (mS/cm)	OD	Série Nitrogenada
A	P-1C	P	1	C	31-jul-07	13:50	12,12	20,10	-270	3,94	2,3	x
A	P-1E	P	1	E	31-jul-07	13:30	11,96	21,60	-259	3,05	2,5	x
A	P-10	P	1	O	31-jul-07	-	-	-	-	-	-	-
A	Z-1C	Z	2	C	31-jul-07	11:20	12,32	18,70	-231,4	5,65	2,7	x
A	Z-1E	Z	2	E	31-jul-07	10:20	12,22	17,60	-16	4,17	1,2	x
A	Z-10	Z	2	O	31-jul-07	11:50	12,08	18,70	-146,9	3,3	2,2	x
A	Z-2C	Z	3	C	31-jul-07	11:15	12,29	16,70	-191	4,65	2,8	
A	Z-2E	Z	3	E	31-jul-07	10:05	10,21	17,70	-44,5	5,33	1,2	
A	Z-20	Z	3	O	31-jul-07	11:45	11,61	19,50	-114	1,68	1,4	
A	Z-3C	Z	4	C	31-jul-07	11:10	12,23	17,90	-142	3,43	2,7	x
A	Z-3E	Z	4	E	31-jul-07	09:50	11,45	16,50	-70	0,86	2,6	x
A	Z-30	Z	4	O	31-jul-07	11:40	11,38	19,80	-90,4	1,26	2,3	x
A	Z-4C	Z	5	C	31-jul-07	11:00	12,16	18,00	-92,5	4,12	3,1	
A	Z-4E	Z	5	E	31-jul-07	09:40	11,39	17,10	-58	0,89	2,9	
A	Z-40	Z	5	O	31-jul-07	11:35	11,49	19,10	-80	1,48	2,8	x
A	Z-5C	Z	6	C	31-jul-07	10:30	12,03	16,60	-113,9	2,42	5,7 (duvidoso)	x
A	Z-5E	Z	6	E	31-jul-07	09:30	11,48	14,50	-25	0,98	4,8	x
A	Z-50	Z	6	O	31-jul-07	-	-	-	-	-	-	
A	P-2C	P	7	C	30-jul-07	14:50	9,31	16,20	-12	0,58	5	x
A	P-2E	P	7	E	30-jul-07	14:35	7,42	15,80	70,3	0,53	2,2	x
A	P-20	P	7	O	30-jul-07	15:00	11,78	16,10	-135,8	1,66	5,4	x
A	P-3C	P	8	C	30-jul-07	11:45	12,6	16,7	-159,9	8,82	4,2	x
A	P-3E	P	8	E	30-jul-07	11:35	12,58	16,70	-234,2	8,83	3,4	x
A	P-30	P	8	O	30-jul-07	11:50	12,62	16,20	-159,1	8,77	3,5	x
A	P-4C	P	9	C	30-jul-07	10:45	7,20	15,70	-94,1	2,32	1,7	x
A	P-4E	P	9	E	30-jul-07	10:35	7,11	16,40	-153,2	1,42	1,8	x
A	P-40	P	9	O	30-jul-07	11:00	7,04	15,30	-191,5	1,42	2	x
A	P-5C	P	10	C	30-jul-07	10:00	7,28	14,40	-167,4	1,51	1,6	x
A	P-5E	P	10	E	30-jul-07	09:30	7,91	14,40	-265,5	1,83	1,1	x
A	P-50	P	10	O	30-jul-07	10:10	7,33	14,70	-130,1	1,41	2,20	x
C	P-1C	P	1	C	01-ago-07	11:25	6,38	19,80	142,5	2,43	1,4	x
C	P-1E	P	1	E	01-ago-07	11:15	6,46	19,40	135,50	2,71	1,40	x
C	P-10	P	1	O	01-ago-07	11:30	6,06	19,50	159,00	2,16	1,40	x
C	P-2C	P	2	C	01-ago-07	10:40	6,01	18,70	35,00	0,56	-	x
C	P-2E	P	2	E	01-ago-07	10:30	5,54	18,00	48,50	0,71	-	x
C	P-20	P	2	O	01-ago-07	11:05	5,78	19,60	112,00	1,66	-	x
C	P-3C	P	3	C	01-ago-07	10:05	6,90	16,30	-185,00	2,68	1,50	x
C	P-3E	P	3	E	01-ago-07	09:55	7,48	17,20	-265,00	5,97	?	x
C	P-30	P	3	O	01-ago-07	10:15	5,93	16,60	-28,20	0,94	1,80	x
C	P-4C	P	4	C	01-ago-07	09:30	7,07	16,90	-170,00	2,56	2,00	x
C	P-4E	P	4	E	01-ago-07	09:25	6,91	17,60	185,10	3,80	4,20	x
C	P-40	P	4	O	01-ago-07	09:40	6,85	16,00	-138,40	1,35	2,50	x

Dados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo - Segunda Campanha de Amostragem  
 09 e 10 de Setembro de 2007  
 Fossas Alternativa e de Controle

Fossa	Instrumento	Tipo	Camada	Posição	Data	Horário	pH	Temp (°C)	Eh (mV)	CE (mS/cm)
A	P-1C	P	1	C	09-Set-07	15:23	11.68	23.50	-200	2.98
A	P-1E	P	1	E	09-Set-07	15:19	7.80	23.40	34.6	1.76
A	P-1O	P	1	O	09-Set-07	-	-	-	-	-
A	Z-1C	Z	2	C	09-Set-07	14:49	11.69	23.90	-139	3.45
A	Z-1E	Z	2	E	09-Set-07	14:15	11.80	25.30	-160	3.99
A	Z-1O	Z	2	O	09-Set-07	15:11	11.74	23.30	-234	3.32
A	Z-2C	Z	3	C	09-Set-07	14:46	11.60	23.60	-230	2.98
A	Z-2E	Z	3	E	09-Set-07	14:24	7.63	24.00	42	1.68
A	Z-2O	Z	3	O	09-Set-07	15:15	11.77	23.60	-207	3.33
A	Z-3C	Z	4	C	09-Set-07	14:44	11.54	23.60	-200	2.5
A	Z-3E	Z	4	E	09-Set-07	14:20	7.83	23.90	52	1.58
A	Z-3O	Z	4	O	09-Set-07	15:07	11.72	23.50	-182	3.31
A	Z-4C	Z	5	C	09-Set-07	14:35	11.30	23.10	-85	2
A	Z-4E	Z	5	E	09-Set-07	14:10	7.44	27.80	60	1.59
A	Z-4O	Z	5	O	09-Set-07	14:57	11.57	25.40	-155	2.99
A	Z-5C	Z	6	C	09-Set-07	14:39	11.51	23.60	-143	2.18
A	Z-5E	Z	6	E	09-Set-07	14:31	7.95	24.30	-5	1.69
A	Z-5O	Z	6	O	09-Set-07	15:03	11.60	25.30	-162	2.99
A	P-2C	P	7	C	09-Set-07	12:03	7.84	28.00	-39.9	1.19
A	P-2E	P	7	E	09-Set-07	13:44	8.65	26.00	53	1.89
A	P-2O	P	7	O	09-Set-07	13:55	11.44	27.20	-23	2.52
A	P-3C	P	8	C	09-Set-07	11:26	12.08	26.70	-256.8	8.57
A	P-3E	P	8	E	09-Set-07	11:21	11.98	27.70	-272.6	8.52
A	P-3O	P	8	O	09-Set-07	11:30	12.14	25.20	-277.4	8.65
A	P-4C	P	9	C	09-Set-07	10:41	6.60	25.30	-44.6	1.51
A	P-4E	P	9	E	09-Set-07	10:30	6.81	26.60	-105.3	1.64
A	P-4O	P	9	O	09-Set-07	10:50	6.76	24.70	-110.8	1.46
A	P-5C	P	10	C	09-Set-07	10:05	7.02	25.40	-257.2	1.84
A	P-5E	P	10	E	09-Set-07	09:40	7.35	24.10	-171.5	2.43
A	P-5O	P	10	O	09-Set-07	09:53	7.11	25.30	-162.7	2.05
C	P-1C	P	1	C	10-Set-07	15:34	6.39	22.70	87	2.12
C	P-1E	P	1	E	10-Set-07	15:30	6.36	22.20	118	2.08
C	P-1O	P	1	O	10-Set-07	15:40	6.37	22.30	61.1	1.8
C	P-2C	P	2	C	10-Set-07	15:17	6.39	24.50	46	1.57
C	P-2E	P	2	E	10-Set-07	15:10	6.42	24.90	45	1.76
C	P-2O	P	2	O	10-Set-07	15:21	5.71	24.80	21	0.88
C	P-3C	P	3	C	10-Set-07	14:44	6.85	23.30	-156.1	3.03
C	P-3E	P	3	E	10-Set-07	14:40	6.92	24.70	-172	3.72
C	P-3O	P	3	O	10-Set-07	14:50	6.90	23.20	-175	3.16
C	P-4C	P	4	C	10-Set-07	14:10	6.80	27.70	-158	2.24
C	P-4E	P	4	E	10-Set-07	14:00	6.51	31.20	-130	2.24
C	P-4O	P	4	O	10-Set-07	14:15	6.73	27.10	-126	1.80

#### **Anexo 4. Dados da Série Nitrogenada**

**Resultados sobre a Série Nitrogenada para Fossa Alternativa**  
**Primeira Campanha de Amostragem: 30 e 31 de Julho e 01 de Agosto de 2007**

Nível da Fossa Alternativa	Amônia como N	FD	LQ	Nitrogênio Kjeldahl Total	FD	LQ	Nitrogênio Orgânico	FD	LQ	Nitrato como N	FD	LQ	Nitrito como N	FD	LQ	Unidade	
P-1E	5,00	10	2,00		6,40	5	2,00		5	2,00	21,60		6,00	6,40	20	1,00 mg/L	
P-1C	4,10	10	2,00		5,60	5	2,00	ND		2,00	20,80	20	6,00	5,80	50	1,00 mg/L	
P-2E	15,5	50	10,00		15,50	10	4,00	ND		0,40	25,20	20	6,00	4,70	50	1,00 mg/L	
P-2C		13,00	50	10,00		13,00	10	4,00	ND		0,40	25,90	20	6,00	3,50	50	1,00 mg/L
P-20	9,90	20	4,00			12,00	20	8,00	ND		8,00	23,80	20	6,00	7,05	50	1,00 mg/L
P-3E	6,00	10	2,00			6,40	5	2,00	ND		2,00	28,10	20	6,00	3,90	50	1,00 mg/L
P-3C	1,20	0,20				1,20		0,40	ND		0,40	49,20	40	12,00	1,95	50	1,00 mg/L
P-30	1,00		0,20			1,22		0,40	ND		0,40	46,10	40	12,00	1,55	50	1,00 mg/L
P-4E	40,60	100	20,00			44,00	50	20,00	ND		20,00	19,70	20	6,00	1,75	50	1,00 mg/L
P-4C	26,50	50	10,00			26,50	25	10,00	ND		10,00	36,40	20	6,00	0,37	10	0,20 mg/L
P-40	67,90	100	20,00			67,90	50	20,00	ND		20,00	0,43	0,30	0,98	25	0,50 mg/L	
P-5E	66,00	100	20,00			70,00	50	20,00	ND		20,00	0,61	0,30	ND	2	0,04 mg/L	
P-5C	78,60	100	20,00			78,60	50	20,00	ND		20,00	0,36	0,30	ND	2	0,04 mg/L	
P-50	88,70	100	20,00			88,70	50	20,00	ND		20,00	0,47	0,30	ND	5	0,10 mg/L	
Z-SE	9,00	25	5,00			9,00	10	4,00	ND		4,00	23,70	20	6,00	8,50	100	2,00 mg/L
Z-SC	2,40	5	1,00			2,68	2	0,80	ND		0,80	34,00	20	6,00	4,55	50	1,00 mg/L
Z-40		ND	0,20			1,03		0,40	ND		0,40	40,00	40	12,00	5,20	50,00	1,00 mg/L
Z-3E	12,00	50	10,00			12,00	10	4,00	ND		4,00	1,55			8,75	100	2,00 mg/L
Z-3C	2,50	5	1,00			2,96	2	0,80	ND		0,80	30,00	20	6,00	4,35	50	1,00 mg/L
Z-30	0,98		0,20			0,98		0,40	ND		0,40	30,60	20	6,00	7,05	50	1,00 mg/L
Z-1E	5,90	25	5,00			8,80	10	4,00	ND		4,00	12,50	10	3,00	4,90	50	1,00 mg/L
Z-1C	2,10	5	1,00			2,64	2	0,80	ND		0,80	29,00	20	6,00	3,25	50	1,00 mg/L
Z-10	1,00		0,20			2,04		0,40			0,40	24,80	20	6,00	7,00	50	1,00 mg/L

**LEGENDA:**

FD = Fator de Diluição  
 LQ = Limite de Quantificação  
 ND = Não Detectado

**Resultados sobre a Série Nitrogenada para Fossa Controle**  
**Primeira Campanha de Anostragem: 30 e 31 de Julho e 01 de Agosto de 2007**

Nível da Fossa Controle	Amônia como N	FD	LQ	Nitrogênio Kjeldahl Total	FD	LQ	Nitrogênio Orgânico	FD	LQ	Nitrito como N	FD	LQ	Nitrito como N	FD	LQ	Unidade
P-1E	138,00	250	50,00	138,00	125	50,00	ND	50,00	23,50	50	15,00	54,00	1000	20,00	mg/L	
P-1C	57,00	100	20,00	57,00	50	20,00	ND	20,00	59,40	50	15,00	13,60	200	4,00	mg/L	
P-10	2,60	10	2,00	3,30	5	2,00	ND	2,00	138,00	100	30,00	0,16	10	0,20	mg/L	
P-2E	18,90	40	8,00	20,00	20	8,00	ND	8,00	21,00	25	7,50	2,00	50	1,00	mg/L	
P-2C	2,70	4	0,80	3,04	2	0,80	ND	0,40	3,80	5	1,50	2,10	50	1,00	mg/L	
P-20	ND	4	0,80	ND	2	0,80	ND	0,80	14,30	10	3,00	0,15	5	0,10	mg/L	
P-3E	491,00	500	100,00	510,00	250	100,00	ND	100,00	2,08	2	0,60	ND	5	0,10	mg/L	
P-3C	236,00	500	100,00	240,00	250	100,00	ND	100,00	3,00	5	1,50	2,55	50	1,00	mg/L	
P-3O	36,00	100	20,00	36,00	50	20,00	ND	20,00	55,00	50	15,00	0,08	2	0,04	mg/L	
P-4E	233,00	500	100,00	262,00	250	100,00	ND	100,00	68,50	50	15,00	12,60	100	2,00	mg/L	
P-4C	277,00	500	100,00	277,00	250	100,00	ND	100,00	ND	5	1,50	ND	5	0,10	mg/L	
P-4O	71,00	100	20,00	71,00	100	40,00	ND	40,00	2,56	2	0,60	0,16	5	0,10	mg/L	

**LEGENDA:**

FD = Fator de Diluição

LQ = Limite de Quantificação

ND = Não Detectado

**Anexo 5. Dados utilizados para confeccionar os gráficos das campanhas inicial, primeira e segunda**

Dados da campanha inicial para FA

Prof	pH c	pH e	pH o	Tc	Te	To	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o	meq c	meq e	meq o
1,25	5,88	6,35	6,10	19	18,9		315	287	315	0,28	0,43		14,515		
1,75	5,24	6,25	5,17	19,7	20,5	19,4	320	269	325	0,21	0,21	0,2	0,7007	0,6256	
2,25	12,45	12,38	12,52	21,3	20,6	20,4	-145	-100	-205	7,43	7,39	7,58	315,72		329,129
2,7	6,5	6,55	6,50	22,5	19,2	19,1	170	155	70	0,09	0,14	0,12	1,2012	1,3514	
3,6	11,7	12,15		22	19,5		-58	-105		1,7	2,6		101,9	114,11	
3,7	11,72	11,85	11,31	22,3	19,5	18,9	-167	-120	-85	1,69	1,78	1,25			
3,8	11,36	11,75		21,8	19,4		-193	-145		1,38	1,45		99,7		
3,9	9,6	10,40		21,8	19,3		-142	-90		0,92	0,52				
4	8,3	6,43	6,98	22,2	19,9	19,1	-76	75	120	0,94	0,45	0,64	66,767	29,029	
4,5	6,51	6,31		22,6	21,1		12	102		0,67	0,5		48,649	31,231	

Dados da campanha inicial para FC

Prof	pH c	pH e	pH o	Tc	Te	To	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o	meq c	meq e
2,2	5,38	5,17	5,74	19,9	20,4	22,5	306	318	226	0,23	0,26		7,007	1,7017
2,7	5,08	5,25		20,2	21,8		295	254		0,21	0,35		1,85185	1,977
3,75	5,40	5,70	6,27	19,7	20,7	22,9	156	179	150	0,09	0,1	0,35	3,5035	
4,75	6,60	6,47		19,7	19,2		162	214		0,57	0,47		37,8378	

Dados da primeira campanha para FA

Prof	pH c	pH e	pH o	Tc	Te	To	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o	OD c	OD e	OD o
1,25	7,28	7,91	7,33	14	14	15	-167	-266	-130,1	1,5	1,8	1,4	1,6	1,1	2,2
1,75	7,2	7,11	7,04	16	16	15	-94,1	-153	-191,5	2,3	1,4	1,4	1,7	1,8	2
2,25	12,6	12,58	12,62	17	17	16	-160	-234	-159,1	8,8	8,8	8,8	4,2	3,4	3,5
2,7	9,31	7,42	11,78	16	16	16	-12	70,3	-135,8	0,6	0,5	1,7	5	2,2	5,4
3,6	12	11,48		17	15		-114	-25		2,4	1		5,7	4,8	
3,7	12,2	11,39	11,49	18	17	19	-92,5	-58	-80	4,1	0,9	1,5	3,1	2,9	2,8
3,8	12,2	11,45	11,38	18	17	20	-142	-70	-90,4	3,4	0,9	1,3	2,7	2,6	2,3
3,9	12,3	10,21	11,61	17	18	20	-191	-44,5	-114	4,7	5,3	1,7	2,8	1,2	1,4
4	12,3	12,22	12,08	19	18	19	-231	-16	-146,9	5,7	4,2	3,3	2,7	1,2	2,2
4,5	12,1	11,96		20	22		-270	-259		3,9	3,1		2,3	2,5	

Continuação:

Prof	Amônia como N c	Amônia como N e	Amônia como N o	Nitrogênio Kjeldahl Total c	Nitrogênio Kjeldahl Total e	Nitrogênio Kjeldahl Total o	Nitrato como N c	Nitrato como N e	Nitrato como N o	Nitrito como N c	Nitrito como N e	Nitrito como N o	Nitrito como N c	Nitrito como N e	Nitrito como N o
1,25	78,6	66	88,7	78,6	70	88,7	0,36	0,61	0,47	0,00045	0,00045	0,00045			
1,75	26,5	40,6	67,9	26,5	44	67,9	36,4	19,7	0,43	0,37	1,75	0,98			
2,25	1,2	6	1	1,2	6,4	1,22	49,2	28,1	46,1	1,95	3,9	1,55			
2,7	13	15,5	9,9	13	15,5	12	25,9	25,2	23,8	3,5	4,7	7,05			
3,6	2,4	9		2,68	9		34	23,7		4,55	8,5				
3,7	0,03			1,03			40			5,2					
3,8	2,5	12	0,98	2,96	12	0,98	30	1,55	30,6	4,35	8,75	7,05			
3,9															
4	2,1	5,9	1	2,64	8,8	2,04	29	12,5	24,8	3,25	4,9	7			
4,5	4,1	5		5,6	6,4		20,8	21,6		5,8	6,4				

Dados da primeira campanha para FC

Prof	pH c	pH e	pH o	T c	T e	T o	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o	OD c	OD e	OD o
2,2	7,07	6,91	6,85	16,90	17,60	16,00	-170,00	185,1	-138	2,56	3,8	1,35	2	4,2	2,5
2,7	6,9	7,48	5,93	16,30	17,20	16,60	-185,00	-265	-28,2	2,68	6	0,94	1,5		1,8
3,75	6,01	5,54	5,78	18,70	18,00	19,60	35,00	48,5	112	0,56	0,7	1,66			
4,75	6,38	6,46	6,06	19,80	19,40	19,50	142,5	135,5	159	2,43	2,7	2,16	1,40	1,4	1,4

Continuação:

Prof	Amônia como N c	Amônia como N e	Amônia como N o	Nitrogênio Kjeldahl Total c	Nitrogênio Kjeldahl Total e	Nitrogênio Kjeldahl Total o	Nitrato como N c	Nitrato como N e	Nitrato como N o	Nitrito como N c	Nitrito como N e	Nitrito como N o
2,2	277	233	71	277	262	71	0,03	68,5	2,56	0,00045	12,6	0,16
2,7	236	491	36	240	510	36	3	2,08	55	2,55	0,00045	0,08
3,75	2,7	18,9	0,03	3,04	20	0,065	3,8	21	14,3	2,1	2	0,15
4,75	57	138	2,6	57	138	3,3	59,4	23,5	138	13,6	54	0,16

Dados da segunda campanha para FA

Prof	pH c	pH e	pH o	T c	T e	T o	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o
1.25	7.02	7.35	7.11	25.4	24.1	25.3	-257.2	-171.5	-162.7	1.84	2.43	2.05
1.75	6.6	6.81	6.76	25.3	26.6	24.7	-44.6	-105.3	-110.8	1.51	1.64	1.46
2.25	12.08	11.98	12.14	26.7	27.7	25.2	-256.8	-272.6	-277.4	8.57	8.52	8.65
2.7	7.84	8.65	11.44	28	26	27.2	-39.9	53	-23	1.19	1.89	2.52
3.6	11.51	7.95	11.60	23.6	24.3	25.3	-143	-5	-162	2.18	1.69	2.99
3.7	11.3	7.44	11.57	23.1	27.8	25.4	-85	60	-155	2	1.59	2.99
3.8	11.54	7.83	11.72	23.6	23.9	23.5	-200	52	-182	2.5	1.58	3.31
3.9	11.6	7.63	11.77	23.6	24	23.6	-230	42	-207	2.98	1.68	3.33
4	11.69	11.80	11.74	23.9	25.3	23.3	-139	-160	-234	3.45	3.99	3.32
4.5	11.68	7.80		23.5	23.4		-200	34.6		2.98	1.76	

Dados da segunda campanha para FC

Prof	pH c	pH e	pH o	T c	T e	T o	Eh c	Eh e	Eh o	CE c	CE e	CE o
2.20	6.80	6.51	6.73	27.70	31.20	27.10	-158.00	-130.00	-126.00	2.24	2.24	1.80
2.70	6.85	6.92	6.90	23.30	24.70	23.20	-156.10	-172.00	-175.00	3.03	3.72	3.16
3.75	6.39	6.42	5.71	24.50	24.90	24.80	46.00	45.00	21.00	1.57	1.76	0.88
4.75	6.39	6.36	6.37	22.70	22.20	22.30	87.00	118.00	61.10	2.12	2.08	1.80

LEGENDA: Prof = profundidade/ c = centro/ e = leste/ o = oeste/ T = temperatura/ CE = condutividade elétrica/  
OD = oxigênio dissolvido/ meq = alcalinidade

