UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS
CAUSADOS POR SISTEMAS DE SANEAMENTO *IN SITU*:
ESTUDO PILOTO EM PARELHEIROS - SÃO PAULO (SP)

Alexandra Vieira Suhogusoff

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO

2010

*Aos meus queridos pais,
Sandra e Dimitry,
à minha querida e "sem juízo" avó,
Juju,
e aos meus irmãos,
Mithia e Andrei.*

ÍNDICE

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
AGRADECIMENTOS	x
ESTRUTURAÇÃO DA TESE	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. ÁREA DE ESTUDO.....	4
3.1. Hidrogeologia	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1. Nitrogênio	7
4.2. Nitrificação.....	8
4.3. Desnitrificação	9
4.3.1. Atuação das bactérias.....	10
4.3.2. Suprimento de carbono e outros doadores de elétrons	10
4.3.3. Conteúdo de O ₂	12
4.3.4. Suprimento de NO ₃ ⁻	13
4.3.5. Efeitos de temperatura e pH.....	13
4.4. Comportamento de nutrientes em sistemas de saneamento in situ.....	14
4.5. Estudo de Isótopos nas reações de nitrificação/desnitrificação	20
4.5.1. Anammox	25
4.6. Doenças relacionadas à ingestão de água contaminada com nitrato	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1. Metodologia de risco sanitário.....	27
5.1.1. Cadastro dos lotes.....	28
5.1.2. Amostragem de água subterrânea	28
5.1.3. Mapa Potenciométrico.....	29
5.1.4. Divulgação dos resultados e orientações à comunidade	30
5.2. Ensaio de colunas de sedimentos	30
5.2.1. Preparação dos ensaios.....	30
5.2.2. Amostragem de solo.....	32
5.2.3. Injeção de nitrato e traçador.....	32
5.3. Metodologia das Barreiras Reativas	34
5.3.1. Definições.....	34
5.3.2. Instalação das fossas na área de estudo	37
6. ARTIGO: Aplicação de uma metodologia de risco sanitário no loteamento jardim Santo Antônio, Parelheiros, São Paulo	52
7. ARTIGO: Uso de serragem como material reativo permeável para atenuação de nitrato em ensaios de colunas de sedimentos	68
8. ARTIGO: Implantação de uma fossa alternativa com o emprego de serragem como barreira reativa permeável para remoção de nitrato: estudo piloto em Parelheiros (município de São paulo)	80
9. CONCLUSÕES	113
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Localização da área.	4
Figura 4.4.1. Esquema de uma fossa séptica (modificado de Wilhelm et al., 1994).	15
Figura 4.4.2. Funcionamento de um tanque séptico (ABNT, 1993).	16
Figura 4.5.1. Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{18}\text{O}$) para várias fontes de NO_3^- (Kendall, 1998).	22
Figura 4.5.2. Progresso da reação vs valores de $\delta^{15}\text{N}$ do reagente residual (NO_3^-) e do produto cumulativo resultante da desnitrificação (para três valores de fracionamento distintos- β) (Kendall, 1998).	23
Figura 5.2.3.1. Esquema das colunas de sedimentos.	33
Figura 5.3.2.1.1. Desenho da Fossa Alternativa.	39
Figura 5.3.2.3.1. Distribuição das camadas e instrumentos na Fossa Alternativa.	44
Figura 5.3.2.4.1. Distribuição das camadas e instrumentos na Fossa Controle.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.4.1. Principais reações químicas em sistemas de saneamento <i>in situ</i> (Wilhelm <i>et al.</i> , 1994)	19
Tabela 5.1.2.4. Bactérias e seus meios seletivos	29

LISTA DE ANEXOS

Anexo I: Registro Fotográfico	A.1
Anexo II: Questionário inicial	A.25
Anexo III: Tabelas	A.28
Anexo IV: Mapa Potenciométrico da Área de Estudos	A.70
Anexo V: Panfleto com orientações para uso da água de poços cacimba	A.72
Anexo VI: Artigo em Preparação: "Field Testing of an Alternative Latrine Design Incorporating Basic Oxygen Furnace Slag as Permeable Reactive Media for Pathogen Removal".....	A.74

MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS CAUSADOS POR SISTEMAS DE SANEAMENTO IN SITU: ESTUDO PILOTO EM PARELHEIROS - SÃO PAULO (SP)

RESUMO

O escopo principal desse projeto foi o de criar um conjunto de ações integradas que permitissem minimizar os impactos de sistemas de saneamento *in situ* nos recursos hídricos subterrâneo. Sendo as fossas sépticas, mesmo as bem construídas, pouco efetivas onde há alta densidade populacional, foi desenvolvido e aplicado no loteamento Jardim Santo Antônio (situado na APA de Capivari-Monos, Parelheiros) um novo conceito de saneamento *in situ*: uma fossa alternativa melhorada com uso de barreiras reativas, que possibilitasse a degradação mais eficiente de nitrato e de microorganismos patogênicos. Para a degradação de microorganismos, o material reativo utilizado correspondeu ao BOF (*Basic Oxygen Furnace* – resíduo de altos fornos de fundição em siderúrgicas) e para a desnitrificação, a serragem. A barreira reativa para remoção de nitrato foi alvo de estudos desse projeto.

Desenvolveu-se um questionário de avaliação de risco sanitário para uma área onde foram cadastrados 178 lotes, em um total de 218 poços e 182 fossas. A partir da análise dos dados por *Cluster* foi possível selecionar um conjunto de perguntas que estivessem mais relacionadas a riscos de contaminação por bactérias e nitrato. Observou-se que a relação entre as características de construção e operação dos poços pouco pode prever a contaminação por nitrato, o que evidencia que sua presença é de caráter regional, fruto de uma ocupação desordenada e densa. Em contrapartida, as perguntas tiveram maior relação com o parâmetro bactérias, o que implica em uma característica local (do poço em si).

Antes da implantação da fossa alternativa melhorada, foram realizados experimentos de colunas de sedimentos em laboratório para se testar a eficiência de serragem na degradação de nitrato. Montaram-se 3 colunas: uma só com sedimentos da área, que correspondeu ao branco, e as outras duas com sedimentos e 10cm e 20cm de espessura de uma mistura de serragem (Cedrinho) com areia, respectivamente. Os resultados mostraram uma eficiência de degradação do nitrato de até 96,5% e 99,7% para as colunas de 10cm e 20cm.

Foram instaladas duas fossas na área de estudo: a fossa alternativa melhorada com o uso de barreiras reativas (FA) e a fossa controle (FC), equivalente ao esgotamento usualmente empregado pela comunidade (ausência de materiais reativos). Na Fossa Alternativa, estruturada com as barreiras reativas contendo BOF (1m abaixo do tanque receptor do efluente) e serragem (abaixo do BOF, mas separada deste por 1m de pacote arenoso), é possível discriminar certos comportamentos ao longo de suas posições. O BOF que é rico em óxidos de cálcio e ferro confere ao efluente percolante uma condutividade elétrica mais acentuada e um pH muito básico, em torno de 12. Já a barreira com serragem caracterizou-se

por concentrações de oxigênio dissolvido mais baixas e presença de C orgânico na forma dissolvida, condições necessárias para a ocorrência da desnitrificação do nitrato gerado perfil acima. No entanto, as concentrações de oxigênio não devem ter sido suficientemente baixas para uma maior eficiência na desnitrificação na barreira de serragem. Além disso, a eficiência pode ter sido comprometida pelo elevado pH que essa barreira foi submetida pelo efluente percolado antes no BOF, o que afetou a capacidade das bactérias desnitrificantes em suas reações metabólicas. Na Fossa Controle, os íons distribuíram-se ao longo do perfil de forma mais regular. A composição dessa fossa representa a fonte em si, com altas concentrações de N-amoniacal e de carbono orgânico dissolvido e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Para esse tipo de cenário, a nitrificação deve ocorrer na zona não-saturada abaixo da fossa, para que depois o nitrato possa alcançar o lençol freático.

Palavras-chave: risco sanitário, ensaios de colunas, sistemas sépticos *in situ*, nitrato, serragem, barreira reativa, desnitrificação, APA Capivari-Monos.

MINIMIZATION OF SEPTIC SYSTEMS IMPACTS ON GROUNDWATER RESOURCES. PILOT STUDY IN PARELHEIROS - SAO PAULO (SP)

ABSTRACT

The main purpose of this project was to create a set of integrated actions that could minimize impacts of septic systems on groundwater resources. Since the septic tanks, even the well-constructed ones, are not effective on areas where the population density is high, an alternative latrine improved with reactive barriers was developed and applied in Jardim Santo Antônio settlement (Parelheiros, São Paulo, SP). In order to degrade the microorganisms, the reactive material was BOF (Basic Oxygen Furnace) slag from steel producer facilities, and in order to enhance the denitrification, the material of the reactive barrier was sawdust. The sawdust barrier was the main issue in this project.

A risk assessment questionnaire was developed and it was applied to an area where 178 residences were evaluated, totalizing 218 water wells and 182 latrines. A Cluster Analysis was used to select the questions that would be related to the risk of contamination by bacteria or nitrate. It was observed that the inappropriated construction and operation of the wells are poorly related to the level of nitrate contamination, what suggests that the nitrate contamination is a more regional problem. On the other hand, it was found a good relationship between the level of bacteria contaminations and the characteristics of construction and operation of the wells, what suggests that this contamination has a local factor.

Before the installation of the enhanced septic tank, soil columns breakthrough experiments were conducted in laboratory to test the efficiency of sawdust in nitrate removal. Three soil columns were set up: one filled only with sediments of Jardim Santo Antonio settlement, and another two with the same kind of sediments and sawdust layers introduced with 10cm and 20cm thickness. The results showed an efficiency of sawdust to denitrification of 96,5% and 99,7%, respectively.

Two septic tanks were installed in the study area: the alternative latrine enhanced with reactive barriers (AL), and the control latrine (CL), equivalent to the usual tanks founded on the area. In AL, structured with reactive barriers containing BOF (1m below the wastewater tank) and sawdust (under the BOF layer, but first separate from it by 1m of sand package), it's possible to discern few parameter behaviors. BOF, which is rich in calcium oxides and iron oxides, incrises the electrical conductivity and the pH of the effluent (~12). The sawdust barrier, in its turn, was characterized by low concentration of dissolved oxygen and by the presence of dissolved organic carbon, essential conditions denitrification occurrence. The denitrification efficiency of the sawdust barrier was affected by the high pH observed in the effluent that crossed the BOF barrier, which perturbed the denitrifying bacteria performance. In CL, the vertical distribution of the ions was more regular. The samples from this system presented high

levels of ammonium and DOC and low values for dissolved oxygen. For this case, the nitrification must happen in the unsaturated zone bellow the tank, so the nitrate formed can reach the groundwater.

Keywords: sanitary risk, breakthrough experiments, septic system, nitrate, sawdust, reactive barrier, denitrification, EPA Capivari-Monos.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos na pós-graduação, foram muitos os contatos que proporcionaram direta ou indiretamente contribuição ao trabalho que aqui se apresenta.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Ricardo (Instituto de Geociências da USP) e aos Profs. Dr. Ramon Aravena e Dr. Will Robertson (University of Waterloo, Canada) por suas orientações e discussões nas diversas etapas da pesquisa.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, em especial aos funcionários Ana Paula Cabanal e Magali Rizzo (Secretaria da Pós-Graduação), Sandra Andrade, Marinês e Margareth (Laboratório de Química e ICP-AES/MS), Paulo Mori (LFRX), Flávio Carvalho (LDRX), Claudio dos Santos (Biotita), aos motoristas Márcio, Marciano e Seu Antônio, Henrique (Gráfica), Paulinho (CEPAS), Giselle Magdaleno e Alyne Barros (Laboratório de Hidrogeoquímica II), Wagner e Zé Carlos (Seção de Apoio).

À Fundação de Amparo e Pesquisa ao Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento de todo o projeto, por meio da concessão da Bolsa de Doutorado (04/03484-4) e do Auxílio à Pesquisa (05/00315-5) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de Doutorado Sanduíche (BEX 0939/08-0).

Aos colegas e amigos do IGc, do laboratório LAMO (Laboratório de Modelos Físicos) e de demais departamentos, que participaram de alguma forma do projeto, Carlos Maldaner, Deyna Pinho, Adriana Alves (Bisteca), Ingo Wahnfried (Lalas), Claudia Varnier, Débora Buchrieser, Leonardo Marcolan, Alessandro Cesarino (Gummy), Sérgio Williams, Mariana Carpinelli, Daphne Pino, Diego Pacheco, Ana Maciel, Veridiana Martins e Reginaldo Bertolo. Aos meus alunos de trabalho de formatura, Marcus Sangiorge e Amanda Batista, que participaram ativamente dos campos.

À Prof. Irma Rivera, e às alunas Bianca e Claudiana, entre outras, do Laboratório de Microbiologia (Instituto de Ciências Biomédicas II) que fizeram as análises da parte bacteriológica das amostras, além de ajudar nas discussões do projeto.

Ao Jesse Stimson, então aluno de doutorado da University of Waterloo, que fez uma etapa de seu trabalho juntamente comigo. E ao funcionário e alunos da mesma universidade, Richard Elgood, Ariel Guo e Justin Harbin que, durante minha bolsa sanduíche, auxiliaram-me nos procedimentos de análises laboratoriais de minhas amostras.

À subprefeitura de Parelheiros, na pessoa do sub-prefeito Walter Tesch que incentivou os trabalhos realizados na área de estudos e aos funcionários da Secretaria do Verde e Meio Ambiente/APA de Capivari Monos, Oswaldo Landgraf Jr e Maria Lucia Bellenzani, que permitiram o acesso à comunidade local assim como ofereceram suporte durante a realização das atividades na área.

Aos amigos da comunidade, Hiromi Ogawa, Conceição, Dona Idália, Seu Antônio, Wilson, Eliane, Luiz Carlos, Romildo, Elza, Dona Chuchu, Miriam, Carlinhos, Zé Maria, Vanda,

Jair, Adélia, Agenor e Lúcia e às crianças Marquinhos, Larissa, Eduardo, Polaco, Rodrigo, aos oficiais da guarda ambiental Bento e Hugo, que estiveram ao nosso lado zelosos e hospitaleiros durante os trabalhos da última fase da pesquisa.

Aos amigos que estiveram presentes ao longo desses anos Simone Gomes, Adriana Midori, Tatiana Okano, Ita, Juliana, Paulinho, Zeka, Gaston e Bambina e aos amigos "canadenses" Daniela, Carlson e Carolina.

À minha família, minha mãe Sandra Suricata, meu falecido pai, Dimitry, meus irmãos Mithia e Andrei, minha avó Juju Tartus, Aninha Furacão e outros tantos tios e tias e primos, Regina, André, Celso, Bel, Luiz Carlos, Cris, Cláudia, Rafael, Sandra, Seu Luiz Frufru e Dona Lázara, pelo apoio, paciência e carinho que sempre tiveram comigo.

E por fim, expresso minha mais sincera gratidão a quem sempre esteve a meu lado, "me aturando" e tomando parte de todas as etapas de meu trabalho, Luiz Ferrari.

ESTRUTURAÇÃO DA TESE

Essa tese encontra-se dividida em 10 capítulos:

Capítulo 1: apresentação do cenário de saneamento básico no País e relevância dessa pesquisa em uma área carente do município de São Paulo;

Capítulo 2: objetivos propostos;

Capítulo 3: apresentação da área de estudos, no caso, um loteamento em Parelheiros;

Capítulo 4: pesquisa bibliográfica sobre o nitrogênio e suas formas na natureza e o problema de contaminação dos recursos hídricos pela espécie nitrato através de sistemas de saneamento in situ. Há ainda uma descrição sucinta dos métodos isotópicos que podem ser usados no entendimento das reações em que o nitrato toma parte.

Capítulo 5: descrição dos materiais e metodologias envolvidas na execução das três partes principais dessa pesquisa: aplicação de um questionário de risco sanitário para todos os poços do loteamento; estudo do comportamento da serragem como doador de elétrons para ocorrência de desnitrificação em ensaios de colunas de sedimentos; implantação de duas fossas em uma área do loteamento, uma empregando serragem como barreira reativa e outra sem qualquer material reativo, com o objetivo de se comparar a evolução do esgoto em um e outro caso.

Capítulo 6: artigo em preparação, onde se encontram os resultados referentes à aplicação do questionário de risco sanitário para os poços do loteamento;

Capítulo 7: artigo em preparação, onde se encontram os resultados referentes à execução dos ensaios de colunas de sedimento testando-se a eficiência da serragem como material reativo na desnitrificação;

Capítulo 8: artigo em preparação, onde se encontram os resultados referentes à instalação das fossas e a seu monitoramento em campanhas de amostragem de água e gases;

Capítulo 9: Conclusões;

Capítulo 10: Referências Bibliográficas;

Anexos: destacam-se o registro fotográfico dos materiais e métodos, modelo do questionário de risco sanitário inicialmente aplicado no loteamento e um panfleto contendo diretrizes para o melhor uso da água bebível, tabelas contendo os resultados das análises executadas para todo o trabalho, o mapa potenciométrico do loteamento e um artigo em preparação relacionado sobretudo à discussão da barreira reativa constituída de resíduo de siderúrgica construída para atenuação de patógenos.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do último levantamento da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2000), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 66,5% dos domicílios brasileiros (52,2% dos 5.507 municípios registrados para o ano da pesquisa) não têm serviço público de coleta de esgoto e para 36,1% (2,1% dos municípios registrados), a rede de abastecimento de água não está disponível. Para o caso de cidades pequenas (<20.000 habitantes), atingem-se índices tão elevados quanto 97% dos domicílios sem esgotamento sanitário e 54% deles sem abastecimento público de água (IBGE, 2000).

Esse cenário sanitário reflete-se nos insatisfatórios índices sociais brasileiros: para cada 1000 crianças menores do que 1 ano, 24 morrem sobretudo devido à falta de saneamento básico adequado (IBGE, 2007). No Brasil, para cada 100.000 habitantes, 308 são internados em hospitais devido a doenças relacionadas ao saneamento inadequado (IBGE, 2007). Segundo UNICEF (2005), mais de 5.000 crianças menores de cinco anos de idade morrem diariamente por doenças diarréicas (1,9 milhões ao ano), a imensa maioria delas devido à falta de água potável e de serviços sanitários básicos (1,6 milhões ao ano). Segundo o relatório *Progress for Children* elaborado pela UNICEF (2007), um levantamento realizado em 2004 mostrou que cerca de 1 bilhão de pessoas em todo o mundo não têm acesso à água potável e 2,6 bilhões não dispõem de saneamento básico.

As favelas agravam essa situação: segundo Foster & Hirata (1988), existe uma forte correlação entre a densidade de sistemas de saneamento e a contaminação por nitrato e microorganismos. Nas favelas, a densidade populacional é enorme, com grande concentração de fossas negras muito próximas aos poços cacimbas e os sistemas de saneamento *in situ*, mesmo aqueles bem construídos (ABNT NBR-7229), não têm capacidade de evitar a contaminação de aquíferos por nitrato (Foster & Hirata, 1988). A população favelada em São Paulo cresceu 38% nos últimos quatro anos: atualmente existem entre 1,6 e 2,0 milhões de pessoas vivendo em favelas (Estado de São Paulo, 2007). No País, há 12,4 milhões de pessoas vivendo em condições precárias em 3,2 milhões de domicílios (Folha de São Paulo, 2007).

O problema de contaminação dos recursos hídricos torna-se mais dramático em áreas de proteção de mananciais (APA). Somente na Bacia do Guarapiranga, dos 790 mil moradores, 100 mil vivem em favelas (SABESP, 2004), enquanto que no entorno da Represa Billings vivem 900 mil habitantes, sendo 161 mil em favelas. Contraditoriamente, nas APAs, por força da lei, não é possível construir redes públicas de esgoto.

A falta de uma rede pública de abastecimento faz com que grande porcentagem da população utilize poços cacimbas para o suprimento de suas necessidades de água, do mesmo jeito que as fossas sépticas ou negras (ou mesmo o lançamento dos efluentes diretamente nos corpos de água superficiais) substituem as conexões à rede pública de esgoto.

A precariedade dos sistemas de saneamento *in situ*, na prática, traduz-se na disposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Além de bactérias e vírus, o nitrato corresponde a um contaminante comum lançado nas águas subterrâneas através desses sistemas. Concentrações superiores a 10mg/L NO_3^- -N (aproximadamente 44mg/L NO_3^-) podem causar metahemoglobinemia e câncer (WHO, 1999; USEPA, 1995).

Este projeto objetivou a criação de um conjunto de ações integradas que permitissem minimizar os impactos de sistemas de saneamento *in situ* nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. O trabalho, realizado em um loteamento situado em área de mananciais no extremo sul do município de São Paulo, no distrito de Parelheiros, partiu do desenvolvimento de um método que caracterizou os riscos de contaminação da água captada através de poços cacimba. Adicionalmente, foram realizados ensaios de laboratório nos quais foi testada a eficiência de serragem para degradação de nitrato e que alicerçaram a parte mais importante do projeto: a construção, na mesma área de estudos, de um sistema séptico melhorado com uso de barreiras reativas. Este estudo propôs definir, a partir de técnicas geoquímicas, isotópicas e de hidráulica, como se processam as reações de nitrificação/desnitrificação em duas fossas construídas na área: uma fossa alternativa com o uso de barreira reativa (FA) e outra fossa de controle (FC), sem o emprego de material reativo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho almejou a criação de um grupo de procedimentos que permitisse minimizar os impactos de sistemas sépticos *in situ* (fossas negras e sépticas) nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, baseando-se na:

- Criação de uma técnica de identificação de poços cacimbas com maior risco de contaminação de seus usuários, por intermédio de um questionário simples aplicável por membros da comunidade;
- Desenvolvimento de uma fossa melhorada de baixo custo a partir da instalação de uma barreira reativa capaz de estimular a desnitrificação em plumas contaminantes de aquíferos rasos, em áreas de alta densidade populacional;

Esse doutorado esteve inserido em um projeto maior, que contou com a participação de um doutorando da *University of Waterloo* (UoW), cujo enfoque do trabalho correspondeu à atenuação de microorganismos e fosfato pelo sistema de barreiras reativas, e da sub-prefeitura de Parelheiros e da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMA), que auxiliaram no contato com a comunidade da área.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no loteamento Jardim Santo Antônio, bairro da Barragem, entre os distritos de Parelheiros e Engenheiro Marsilac (sub-prefeitura 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. Corresponde a uma área de manancial situada na Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos (APA-CM), que além da bacia do mesmo nome agrega parte dos reservatórios Guarapiranga e Billings.

O acesso principal à área é feito pela Avenida Robert Kennedy, depois pela Avenida Senador Teotônio Vilella, passando-se pela estrada de Parelheiros, de onde se segue pela estrada de Colônia. O bairro da Barragem dista 50 quilômetros do marco central da Praça da Sé.

Figura 3.1. Localização da área.

A APA-CM equivale a 1/6, ou 250km², da área total do município de São Paulo. Nela, há vários loteamentos irregulares e invasões, que vêm se adensando rapidamente, o que torna ainda mais urgente a adoção de estratégias ambientais. Nessa 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 de esgoto no aquífero ou nas drenagens superficiais); e à degradação do meio ambiente, resultante do desmatamento indiscriminado, da poluição das águas e conseqüente comprometimento dos mananciais.

Os distritos de Parelheiros e Marsilac apresentam os mais críticos indicadores sócio-econômicos. Cerca de 14% da população de Parelheiros reside em favelas e em Marsilac 4%, por ser uma área ainda mais rural (SMVA, 2004). Segundo o IBGE (2001), 81,4% dos domicílios em Parelheiros e 99,7% em Marsilac não estão conectados à rede de esgotos, enquanto que o abastecimento de água para 37% dos domicílios em Parelheiros e 97% em Marsilac é feito por poços e nascentes. Esses índices, por sua vez, estão associados às piores taxas de internação hospitalar por doenças de veiculação hídrica (diarréias) para crianças menores de 5 anos por 100.000 habitantes (2000-2003) no município: de 3,3 para Parelheiros e de 2,18 para Marsilac. As taxas de mortalidade infantil por 1000 nascidos vivos (2000-2003) para esses distritos também não são as melhores no município: de 19,1 para Parelheiros e de 15,56 para Marsilac (DATASUS, 2007).

3.1. Hidrogeologia

A geologia regional para o município de São Paulo consiste em seqüências pré-cambrianas (Neoproterozóico) representadas por rochas metamorizadas nas fácies xisto verde e anfibolito dos grupos Açungui, 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 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 Açungui, 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. Segundo Rodriguez (1998), essa unidade predomina na área da APA-CM 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.

Na APA-CM, sobre o cristalino ainda há ocorrências de sedimentação Terciária (Paleógeno) constituída pela Formação Resende, que caracteriza a Bacia de São Paulo e depósitos mais recentes, do Quaternário, representados por coluviões e aluviões em várzeas e terraços baixos, com espessura atingindo até 6m de profundidade.

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 nesse contexto hidrogeológico muito vulnerável à poluição.

O regime de chuvas na região é bastante influenciado pela proximidade da Serra do Mar. A média para o ano de 2006 foi de 1500mm (SIGRHI, 2007). Em se tratando da hidrogeoquímica, monitoramento realizado pela CETESB no período de 2001 a 2003 mostrou que a porção intempérica do aquífero cristalino para a RMSP apresenta como características um pH de 6,4, condutividade elétrica de 140mS/cm, dureza de 32mg/L, baixas concentrações de cloreto (~3mg/L) e de nitrato-N (~1mg/L) e bactérias em 25UFC/mL.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Nitrogênio

O nitrogênio (N) é de fundamental interesse geológico em função de sua ocorrência nas quatro esferas que compõem a Terra: a atmosfera, a litosfera, a hidrosfera e a biosfera. O maior domínio do nitrogênio refere-se à atmosfera, integrando 78% de seu volume. A litosfera é representada pela sua fixação e posterior mineralização através de microorganismos, sem mencionar os óxidos de nitrogênio que são produzidos durante a formação de rochas magmáticas. A hidrosfera tem sua parcela de nitrogênio à medida que interage com as outras esferas, seja pela erosão da litosfera, seja pela presença de seres vivos nesse sistema. E, finalmente, a biosfera é caracterizada por todos os seres vivos que utilizam nitrogênio para execução de suas funções vitais: para a síntese de constituintes celulares (crescimento) e/ou respiração celular (produção de ATP). Atualmente, deve-se considerar duas importantes fontes antrópicas de N para o solo: aquela resultante da decomposição de matéria orgânica (percolação de carga orgânica de lixões e aterros e de dejetos produzidos por criações de animais e por sistemas de saneamento *in situ*) e os fertilizantes industriais.

Certas bactérias heterotróficas capturam N_2 (forma inorgânica) da atmosfera e o fixam na forma orgânica para sua atividade celular (aminoácidos, ácidos nucléicos) através da hidrólise. Esse processo, definido pela transformação inorgânica para orgânica, é denominado *imobilização*. A utilização de NH_4^+ (amônio), NH_3 (amônia), NO_3^- (nitrato) e NO_2^- (nitrito) pelas plantas (seres autotróficos) também é um tipo de imobilização, pois elas empregam essas formas de nitrogênio inorgânico, produzidas por bactérias autotróficas ou heterotróficas, para a constituição de seus tecidos. O processo reverso, em que há a passagem do nitrogênio do estado orgânico para o inorgânico, chama-se mineralização. A amonificação é entendida como a mineralização de nitrogênio orgânico para o NH_4^+ , ao passo que a nitrificação é uma extensão desse processo com a rápida oxidação do amônio para o nitrato. A desnitrificação, que corresponde à conversão de formas oxidadas do N para seu estado gasoso, é um processo incluso na transformação inorgânica desse elemento.

O nitrogênio apresenta-se em muitos estados de oxidação, podendo variar de -3 (NH_3 – condição mais reduzida) a $+5$ (NO_3^- - condição mais oxidada):

As formas mais comumente encontradas na natureza são o NO_3^- , NH_4^+ e N_2 . Já as formas N_2O , NO_2^- e NO são intermediárias no processo de oxidação e pouco estáveis, implicando em baixas concentrações nas águas. O NH_3 é altamente volátil, podendo estar dissolvido na água somente a pH muito alcalino.

4.2. Nitrificação

A nitrificação é um processo marcado pela oxidação de N inorgânico (N_2) ou orgânico até o membro final NO_3^- . Ela pode ocorrer em lagos, mares, águas subterrâneas e solos.

Na decomposição de proteínas, ácidos nucleicos e outras substâncias orgânicas nitrogenadas (provenientes de animais e vegetais) por bactérias nitrificantes aeróbias autotróficas (família *Nitrobacteriaceae*), normalmente presentes nas raízes das plantas (reações 2 e 3), há liberação de NH_3 , que entra em equilíbrio com a forma ionizada em água, NH_4^+ (equações 3 e 4). Essa fase é denominada de amonificação e constitui a base para a ocorrência da nitrificação (Stevenson, 1982).

Quanto maior o pH, maior o grau de ionização da amônia (α). Para um pH próximo de 9,0 por exemplo, α corresponde a 50%. A estabilidade da amônia em solução ainda depende da temperatura e da concentração de íons NH_4^+ , sendo descrita segundo a equação 4 (Reddy & Patric, 1981):

A taxa de perda de amônia de uma solução é função da diferença de pressão parcial entre $NH_3(aq)$ e NH_3 na atmosfera (pNH_3). Em equilíbrio, a concentração de $NH_3(aq)$ está relacionada à pNH_3 na atmosfera de acordo com a constante de Henry (K_h):

O aumento da concentração de $NH_3(aq)$, propiciado pela adição de NH_4^+ ou pelo aumento nos valores de pH, resultará na sua volatilização:

Durante a volatilização, ocorre a diminuição nos valores de pH uma vez que íons H^+ são liberados a partir da conversão de NH_4^+ em $NH_3(aq)$. Segundo Vlek & Stumpe (1978 *in* Stevenson, 1982), a volatilização da amônia é mais eficiente com o aumento da temperatura. Os efeitos da temperatura segundo esses autores estão relacionados em parte com o aumento na constante de equilíbrio.

Se o NH_4^+ não for aprisionado em argilo-minerais através de troca catiônica (equação 7), poderá ser oxidado a NO_2^- pelas bactérias *Nitrossomonas* (equação 8):

Como o número de oxidação do nitrogênio salta de -3 a $+3$ (6 elétrons), devem existir compostos intermediários efêmeros (Nicholas, 1978 *in* Stevenson, 1982) (equação 9):

As *Nitrobacter* são as bactérias responsáveis pela conversão do NO_2^- em NO_3^- (equação 10). Como a oxidação de NO_2^- é mais rápida que a do NH_4^+ , há baixa concentração de nitrito nas esferas.

O NO_3^- é um composto nitrogenado de alta solubilidade em água e mobilidade, que prevalece em águas subterrâneas altamente oxidantes (Freeze & Cherry, 1979). Apesar de sua origem principal vincular-se à nitrificação, sabe-se que o N_2O produzido na atmosfera em torno de descargas elétricas pode ser convertido a nitrato por meio de oxidações fotoquímicas, que atinge a superfície terrestre através das precipitações.

Os fatores controladores da nitrificação são: pH, temperatura, Eh, conteúdo de O_2 e de CO_2 (Stevenson, 1982; Knowles, 1982; Chalamet, 1982; Wilhelm *et al.*, 1994; Wilhelm *et al.*, 1996). Os primeiros parâmetros serão abordados no tópico de desnitrificação, uma vez que se referem basicamente às atividades enzimáticas das bactérias participantes nesses dois processos. Com relação aos conteúdos de CO_2 e O_2 , pode-se dizer que o primeiro funciona comoceptor final de elétrons (o CO_2 é reduzido, enquanto o NH_4^+ é oxidado), ao passo que o oxigênio é fator limitante da reação de nitrificação, já que esta só pode ocorrer em ambiente oxidante. Seu conteúdo dependerá do teor de umidade (quanto menor, maior o espaço para o O_2 na forma gasosa); da temperatura (quanto menor, maior a solubilidade na água e conseqüentemente menor é a sua demanda por microorganismos heterotróficos); e da matéria orgânica oxidável (quanto maior seu teor, maior a competição por O_2).

4.3. Desnitrificação

O processo reverso à nitrificação, em que ocorre a conversão de formas nitrogenadas oxidadas (NO_3^-) para reduzidas (N_2 ou N_2O) é denominado de desnitrificação (equação 11).

Existem alguns fatores para a ocorrência da desnitrificação (Stevenson, 1982):

- bactérias com capacidade metabólica;
- doadores de elétrons como compostos de carbono orgânico (bactérias heterotróficas) ou inorgânico (bactérias autotróficas), compostos de enxofre reduzidos ou H_2 ;
- condições anaeróbias ou de conteúdo de O_2 restrito;
- óxidos de N, NO_3^- , NO_2^- , NO ou N_2O , como aceptores finais de elétrons.

Outros fatores, como temperatura e pH, podem influenciar as reações de desnitrificação, como se verá mais adiante.

4.3.1. Atuação das bactérias

Diversos estudos (Whitelaw & Rees, 1980; Smith & Duff, 1988; Robertson & Cherry, 1995; Robertson *et al.*, 1991) demonstram o papel estritamente biológico assumido na desnitrificação.

A desnitrificação é um processo respiratório de um limitado número de gêneros de bactérias anaeróbias obrigatórias ou facultativas que, na ausência de O₂, utilizam-se de óxidos nitrogenados para geração de ATP (Trifosfato de Adenosina) a fim de manter suas funções básicas (Mateju *et al.*, 1992). As reductases de nitrato, nitrito, óxido nítrico e óxido nitroso em contato com as desidrogenases (coenzimas capazes de retirar elétrons e íons hidrogênio de substratos oxidados) transportam os elétrons e, simultaneamente, liberam energia entre os pares de óxido-redução, proporcionando a geração de ATP e, conseqüentemente, a desnitrificação (Pelczar *et al.*, 1980; Hochstein & Tomlinson, 1988; Jetten *et al.*, 1997).

As bactérias desnitrificantes são heterotróficas, obtendo seu substrato oxidável a partir de compostos orgânicos complexos já sintetizados por outros organismos. Diversos trabalhos (Whitelaw & Edwards, 1980; Slater & Capone, 1987; Morris *et al.*, 1988 *in* Starr & Gillham, 1993) relacionam a existência de bactérias desnitrificantes com a presença de carbono orgânico. Já as bactérias autotróficas valem-se de compostos inorgânicos como H₂, CO₂, Fe e compostos de S oxidados para o mesmo fim (Mateju *et al.*, 1992).

Dentre os gêneros de bactérias desnitrificantes, segundo Mateju *et al.* (1992), citam-se: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Aquaspirillum*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Beggiatoa*, *Chromobacterium*, *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Erythrobacter*, *Galionella*, *Halobacterium*, *Halomonas*, *Hyphomicrobium*, *Jathionobacterium*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodobacter*, *Thiobacillus*, *Thiosphaera*, *Vibrio* e *Xanthomonas*.

4.3.2. Suprimento de carbono e outros doadores de elétrons

A matéria orgânica (MO) consiste em uma fonte de carbono a ser oxidada pela atividade microbiológica. Ela está concentrada principalmente na porção mais superficial do solo, onde há maior desenvolvimento de vegetação. As plantas estimulam a desnitrificação por suprir C no solo e criar locais com baixa concentração de O₂ através da respiração. Contudo, a profundidades maiores, encontram-se teores baixos de MO relacionados à natureza dos sedimentos, assim como representantes desnitrificantes. Além da distribuição de MO, outros fatores que podem controlar a desnitrificação ao longo da profundidade correspondem à estrutura (porosidade/ permeabilidade), pH, temperatura e variação do nível d'água.

A equação 11 simplifica o processo de desnitrificação a partir da matéria orgânica. Observa-se que são necessárias quantidades quase equivalentes de NO₃⁻ e de MO para

ocorrer a redução do primeiro para N_2 . Esse fato leva a outra análise: o teor de C em uma substância pode afetar a eficiência da redução do NO_3^- .

O fato das bactérias heterotróficas necessitarem de fontes complexas de C para seu crescimento e respiração fez com que surgissem diversos estudos com diversas substâncias dessa natureza, tais como acetato, glucose, propanol, butanol, pentanol, ácido fórmico, glicol, melão e nata do leite (Mateju *et al.*, 1992). Mohseni-Bandpi & Elliot (1998) compararam os papéis de metanol, etanol e ácido acético na desnitrificação, chegando à conclusão que o ácido acético era o mais eficiente dentre os três, degradando pelo menos 70% do nitrato.

Óleos vegetais (soja e milho) foram testados por Hunter *et al.* (1997), que comprovaram a conversão de nitrato a N_2 . Os mesmos autores determinaram uma massa de 1mg de óleo para desnitrificar 230mg de $N-NO_3^-$.

A celulose constitui outra fonte de carbono, estando presente em todas as plantas. Volokita *et al.* (1996a) obtiveram desnitrificação quase completa para concentração de 100mg/L de nitrato nas condições estabelecidas para os experimentos de coluna utilizando papel jornal como material reativo. Volokita *et al.* (1996b) também tiveram sucesso na desnitrificação com o emprego de algodão (forma mais pura de celulose encontrada na natureza).

A serragem é amplamente utilizada como material reativo para a reação de desnitrificação (Robertson & Cherry, 1995; Robertson & Anderson, 1999; Schipper & Vojvodic-Vulkovic, 1998, 2001; Robertson *et al.*, 2000; Hirata & Cesarino, 2003). Esses estudos fundamentaram-se na operação de sistemas de barreiras reativas como forma de interceptar plumas contaminantes de nitrato e reportaram a taxas de degradação desse contaminante variando de 60 a 100%.

A desnitrificação não precisa ocorrer necessariamente com o carbono funcionando como único doador de elétrons. As bactérias autotróficas (quimiosintetizantes) podem agir sobre compostos sulfurosos (Frind *et al.*, 1990; Postma *et al.*, 1991) e no ferro ferroso (Korom, 1992; Nielsen & Nielsen, 1998).

Koenig & Liu (1996) estudaram a desnitrificação autotrófica (*Thiobacillus denitrificans*) utilizando-se enxofre elementar como material reativo em experimentos de coluna. Chegaram a valores de degradação de 100%; contudo, foi observada a formação de sulfato, comprometendo a qualidade da água.

Estudos com *batch-tests* e colunas envolvendo ferro elementar (palha de aço), desenvolvidos por Till *et al.* (1998), mostraram que, combinando-se desnitrificações química (geração de H_2 a partir da oxidação do Fe^0 em contato com ar, sendo o H_2 utilizado como par de óxido-redução com o NO_3^- na atividade biológica) e biológica (*Paracoccus denitrificans*),

aumentava-se a eficácia da degradação de nitrato, tendo como subprodutos gases inócuos e nenhum amônio.

Cesarino (2002) e Hirata & Cesarino (2003), por meio de *batch-tests* com os materiais papel jornal, serragem, palha de aço (liga de ferro e carbono) e enxofre e água com nitrato, testaram a eficiência da degradação desse contaminante para cada caso. Misturaram-se, em frascos de polietileno de 1L, 188 g de solo de coberturas quaternárias (contendo bactérias desnitrificantes autóctones) e massas específicas dos materiais supramencionados, completados por efluente (para duas concentrações de N-NO_3^- : 10 e 20mg/L). Os frascos eram agitados por três segundos a cada dia para evitar a formação de zonas diferenciadas de desnitrificação. O fato de existirem séries de frascos de cada material reativo nas mesmas condições de concentração de efluente permitiu que se observasse a degradação do nitrato pelas bactérias ao longo do tempo experimentado. A palha de aço apresentou um consumo de 84-90% de nitrato para poucos dias de ensaio (cerca de seis dias). Os subprodutos da reação de oxidação do ferro corresponderam ao ferro ferroso e ao amônio. Obtiveram-se valores de 88% e 90-97% para o papel jornal e a serragem, respectivamente. Notou-se que, decorridos os nove primeiros dias dos experimentos, houve aumento nas concentrações de nitrato para o papel jornal, o que poderia ser explicado pela própria composição desse material. O enxofre apresentou a degradação de 90-96% do nitrato, porém passados quatro meses e meio. Houve o aumento das concentrações de sulfato e diminuição do pH. De todos os materiais estudados, o enxofre elementar foi o que forneceu a menor quantidade de energia para as bactérias desnitrificantes, o que mostra que oxigênio, nitrato e ferro são utilizados primeiramente como doadores de elétrons. Esse trabalho, portanto, revelou uma maior eficiência no processo de desnitrificação para a serragem.

4.3.3. Conteúdo de O_2

O teor de O_2 no solo, como já foi comentado no tópico de nitrificação, é um fator limitante para a ocorrência tanto desta quanto da desnitrificação. Como já se sabe, o primeiro processo não é alcançado em condições anóxicas, ao passo que o segundo é cercado de controvérsias quanto às condições de O_2 envolvidas. A inibição da redução do nitrato na presença de O_2 não parece ser devida a uma interferência desse gás nas enzimas e sim sua competição como acceptor final de elétrons (Stevenson, 1982).

Knowles (1982) mostrou que a partir da existência de um ambiente anaeróbio, as reductases do processo de desnitrificação começam a ser liberadas em um intervalo de 40 minutos a 3 horas. Constatou também que, quando havia a limpeza em um sistema fechado através da circulação de gás hélio (inerte), não havia a liberação de tais enzimas. Chalamet (1982) chama a atenção para esse mesmo fato quando afirma que a ausência de desnitrificação em ambientes totalmente anaeróbios é inegável.

Outros trabalhos (Calder *et al.*, 1980; Zumft & Vega, 1979; Swain *et al.*, 1978; *in* Stevenson, 1982) demonstram que as reductases são prontamente sintetizadas quando as condições de O_2 são limitadas. Isso porque a pouca respiração aeróbia que há é capaz de providenciar a energia necessária para a síntese de novas proteínas para estimular a redução do nitrato. De fato, tem sido sugerido que algumas espécies desnitrificantes não conseguem crescer quando passam de um ambiente expressivamente aeróbio para outro estritamente anaeróbio por não conseguirem energia suficiente para formação de novas enzimas (Payne *et al.*, 1971 *in* Stevenson, 1982).

Hwang & Hanaki (2000) verificaram, para um intervalo de 0 a 15% de O_2 dissolvido em água, que a desnitrificação ocorre mesmo com 5% de O_2 e que, entre 10 e 15%, nota-se a realização simultânea dos processos de nitrificação e desnitrificação. Essa situação não é difícil de ser encontrada na zona não saturada do aquífero, isso porque ela é formada por porções mais ou menos saturadas de água, as quais irão ditar a difusão do O_2 nos poros. Naqueles que tiverem ar, prevalecerá a nitrificação, enquanto que naqueles que tiverem água (onde o O_2 demora 10^4 vezes mais para se difundir) destacar-se-á a desnitrificação.

4.3.4. Suprimento de NO_3^-

Por muitos anos foi assumido que a taxa de desnitrificação no solo era independente da quantidade de nitrato presente.

Alguns autores (Doner & McLaren, 1978; Cho & Mills, 1979 *in* Chalamet, 1982) colocam a reação de desnitrificação como sendo de zero ordem (i.e. velocidade da reação é constante e independente da concentração de nitrato) talvez porque utilizaram concentrações elevadas de NO_3^- (normalmente 100mg/L de N- NO_3^-).

Outros (Starr & Parlange, 1975; Stanford *et al.*, 1975 *in* Stevenson, 1982; Chalamet & Lensi, 1981; Bowman & Focht, 1974 *in* Chalamet, 1982) consideram a desnitrificação como reação de primeira ordem (i.e. a velocidade da reação varia proporcionalmente à concentração de nitrato empregada) a baixas concentrações de nitrato e de zero ordem, a concentrações maiores. A diferença entre os dois tipos de reação não é dependente somente da quantidade de nitrato, mas também de sua difusão na água (o que relaciona também a sua quantidade envolvida) criando microcosmos mais ou menos concentrados (Laudelot, 1981; Reddy *et al.*, 1978 *in* Chalamet, 1982) e da quantidade de carbono presente, o que implicará na intensidade de consumo de nitrato em sua redução (Smid & Beauchamp, 1976 *in* Chalamet, 1982).

4.3.5. Efeitos de temperatura e pH

A temperatura (T) pode interferir no pH, na difusão do O_2 (quanto maior for a T, menor é a solubilidade de O_2 na água) e na atividade enzimática das bactérias. A temperatura mínima para atividade microbiológica é de alguns graus acima da temperatura de congelamento da

água e a máxima é abaixo daquela em que há a desnaturação das proteínas. A uma temperatura entre 2° e 25° C, observa-se um contínuo incremento na taxa de desnitrificação e, entre 25° e 60° C, pouca variação é constatada (Bremner & Shaw, 1958 *in* Chalamet, 1982). Acima de 60° C, baixa atividade é verificada (George & Antoine, 1982 *in* Chalamet, 1982), a não ser quando existem bactérias termodesnitrificantes (Garcia, 1974 *in* Chalamet, 1982; Focht & Verstraete, 1977 *in* Stevenson *et al.*, 1982).

O pH, em culturas puras e em sistemas naturais, apresenta maiores taxas de desnitrificação entre 7 e 8 (Chalamet, 1982; Knowles, 1982; Stevenson *et al.*, 1982). Entretanto, em solos naturalmente ácidos, a desnitrificação é inibida. Klemmedtsson *et al.* (1978, *in* Stevenson *et al.*, 1982) propôs que o pH é um fator limitante para a ocorrência da desnitrificação, uma vez que em seus experimentos, a um pH ácido (3,5), independente da adição de carbono e nutrientes, a redução de nitrato era inibida, tornando-se favorecida só após o incremento desse parâmetro. Já outros autores (Gilliam & Gambrell, 1978; Khan & Moore, 1968 *in* Chalamet, 1982) não consideram o pH um fator limitante e sim a taxa de mineralização do C orgânico (Koskinen & Keeney, 1982 *in* Chalamet, 1982).

4.4. Comportamento de nutrientes em sistemas de saneamento *in situ*

Dentre as diversas fontes antrópicas de geração de carga contaminante ao aquífero, as originadas pelos sistemas de saneamento *in situ* (fossas sépticas e negras) são motivo de preocupação principalmente em países subdesenvolvidos. Segundo Foster & Hirata (1988), as áreas urbanas são responsáveis pela geração de um grande volume de carga contaminante poluidora das águas subterrâneas.

A carga contaminante recebida pelos tanques sépticos e fossas negras e que pode afetar o aquífero é composta por nutrientes (nitrato e fosfato), sais, e microorganismos patogênicos, como bactérias e vírus. Pode haver também a presença de compostos organoclorados tais como clorobenzeno, triclorobenzeno, tetracloroetileno nos efluentes de áreas urbanas, que possuam postos de gasolina, lavanderias e pequenas oficinas de automóveis.

Os tanques sépticos, quando desenhados e construídos apropriadamente, oferecem uma alternativa muito eficiente e econômica para as soluções referentes ao saneamento básico. Isso se deve ao custo mais baixo que o dos sistemas de rede de esgoto convencionais; cerca de um terço da população norte-americana utiliza tanques sépticos (USEPA, 1986).

Contudo, a utilização desses sistemas não significa que as águas subterrâneas não possam ser contaminadas (Wilhelm *et al.*, 1994; Wilhelm *et al.*, 1996). Ainda mais em se tratando de sistemas construídos inadequadamente e sem devida manutenção, os quais contribuem para a contaminação em áreas urbanas, principalmente em aquíferos rasos caracterizados por grande densidade populacional (**Figura 4.4.1**).

Quando se consideram ainda aquíferos arenosos, estes, se por um lado favorecem a alta taxa de percolação do efluente para um desejável funcionamento do sistema séptico, por outro, sua alta permeabilidade e fraca dispersão resultam em plumas de elevada concentração de suas fontes contaminantes (Wilhelm *et al.*, 1996). Estudos realizados por Robertson *et al.* (1991) mostram que, ao contrário do que se pensava até pouco tempo (Sudicky *et al.* 1983; Freyberg, 1986 *in* Robertson & Cherry, 1995), não há muita diluição de plumas contaminantes de nitrato em aquíferos arenosos, pois não há significativa dispersão horizontal transversal. Isso pôde ser constatado pela observação de valores de nitrato acima dos padrões de potabilidade por mais de 100m a partir da fonte de contaminação.

Figura 4.4.1. Esquema de uma fossa séptica (modificado de Wilhelm *et al.*, 1994).

Segundo normas da ABNT (1993), a distância recomendada entre um poço (ou corpo de água de qualquer natureza) e uma fossa séptica é de 15m, critério baseado em termos bacteriológicos. Este valor é somente indicativo, pois diferentes litologias terão diferentes condutividades hidráulicas e estes causarão diferentes tempos de trânsito de microorganismos na água subterrânea. O mais aceitável, do ponto de vista hidrogeológico, seria definir distâncias que garantissem tempos de trânsito fossa - poço maiores que 50 dias. De qualquer forma, a proximidade de poços e de tanques sépticos tem causado a alta mortalidade infantil, resultado de doenças de veiculação hídrica, como a diarreia e cólera. O uso desta norma acaba dependendo de outros fatores, sendo necessária uma integração dos dados referentes à geologia, características naturais do terreno, profundidade do nível estático e tipo de construção do tanque séptico por onde será disposto o efluente doméstico (Ferreira & Hirata, 1993). Plumal contaminantes geradas pelos sistemas de saneamento *in situ* são descritas por vários autores em diversas situações hidrogeológicas (Walker *et al.*, 1973; Robertson *et al.*, 1991; Ferreira, 1999).

Segundo a ABNT (1993), define-se um tanque séptico como sendo uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão.

Há um tratamento físico e bioquímico dos esgotos dentro desses sistemas. O esgoto em contato com a água do sistema e na presença de microorganismos anaeróbios sofre uma série de reações como hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbia, redução de sulfatos e metanogênese (**Tabela 4.4.1**). Dentro do tanque, normalmente construído em concreto ou plástico, ocorre a separação de duas fases físicas: espuma e lodo que devem ser removidos periodicamente (2 a 10 anos, dependendo das características climáticas do local). A espuma é formada por matéria graxa e sólidos em mistura com gases, que flutuam no líquido em tratamento (ABNT, 1993). O lodo corresponde a um material acumulado na zona de digestão do tanque séptico, por sedimentação de partículas sólidas suspensas no esgoto (ABNT, 1993). O sistema séptico pode até ser ventilado, mas a difusão de O_2 para a água é muito lenta. O excesso de líquidos, após um período de retenção (dependente da faixa de contribuição diária de esgotos), é infiltrado no solo através de drenos ou tanques (**Figura 4.4.2**).

Figura 4.4.2. Funcionamento de um tanque séptico (ABNT, 1993).

As áreas de infiltração consistem em tubos perfurados colocados em trincheiras preenchidas por cascalho, e, algumas vezes, sobre leitos de areia. O solo deve ter propriedades que permitam a retenção dos líquidos por tempo suficiente para um tratamento adequado e para uma difusão de ar da superfície.

Os sistemas sépticos (fossas sépticas e negras) recebem dejetos alimentícios (proteínas, carboidratos e gorduras) e dejetos humanos (com alta concentração de uréia), que correspondem de 0,2 a 0,6g/L de matéria orgânica por peso. Segundo Tchobanoglous *et al.* (1991 *in* Wilhelm *et al.*, 1994), proteínas e uréia formam mais de 97% dos 20-70mg/L do nitrogênio tipicamente encontrado em esgotos. Juntos, C e N orgânicos, são responsáveis pela maior demanda por oxigênio no esgoto. O pH do efluente normalmente fica entre 6,5 e 8,0 e sua alcalinidade é superior à da água original de abastecimento em 100 a 200mg/L $CaCO_3$ (Wilhelm *et al.*, 1994).

Wilhelm *et al.* (1994) apresentam um modelo conceitual para a evolução geoquímica de esgoto doméstico gerado por sistemas sépticos *in situ*. Segundo os autores, essa evolução passa por três zonas distintas (**Tabela 4.4.1**):

Primeira Zona Anaeróbia caracterizada pelo tanque séptico e pela região onde se acumula material biológico (*biological mat*) na saída dos drenos de infiltração. Devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido, ocorre a digestão anaeróbia por microorganismos que usam aceptores de elétrons tais como C orgânico, H^+ , CO_2 e SO_4^{2-} para oxidar a MO e produzir H_2 , CO_2 , S^{2-} . A maior parte do N é liberado das moléculas orgânicas na forma inorgânica reduzida amônio. A digestão anaeróbia inclui reações que tanto aumentam quanto diminuem a alcalinidade do efluente. A produção de ácidos orgânicos pela fermentação e a oxidação formando H_2 diminuem a alcalinidade enquanto que a redução de SO_4^{2-} e o consumo metanogênico do acetato aumentam esse parâmetro. Em um sistema estável, o pH ficará próximo do neutro. Entretanto, a metanogênese é inibida por pH baixo, assim se a produção de ácido orgânico exceder significativamente o consumo de acetato, o pH do efluente irá despencar. Adicionalmente, a produção de CO_2 durante a digestão anaeróbia pode diminuir o pH do efluente se o CO_3 restar em solução.

Zona Aeróbia constituída pela região abaixo do *biomat* formado nos drenos de infiltração e que se encontra em contato com a zona não saturada do aquífero, onde existe a difusão do O_2 (proveniente da atmosfera) entre os sedimentos. A presença de O_2 estimula a oxidação do C orgânico a CO_2 e do NH_4^+ a NO_3^- (2 a 4 vezes o limite de potabilidade) pelas bactérias. Como há a liberação de H^+ nessa conversão (assim como com a oxidação de S para SO_4^-), ocorre o tamponamento do pH na água através da dissolução de minerais de calcita (se estes existirem), do contrário o pH tende a diminuir. O tamponamento torna viável a atividade bacteriológica, que do contrário estaria comprometida a um pH ácido (ex pH 5,5), o que poderia ocorrer em sedimentos pobremente tamponados. O N orgânico e NH_4^+ podem ser retidos por sedimentos: o primeiro pode permanecer junto com o C orgânico e o segundo pode se adsorver, através de troca catiônica, com vermiculita e outras argilas similares. Quando o conteúdo de O_2 é baixo, as reações redox são incompletas. Isso faz com que C orgânico e de NH_4^+ alcancem a zona saturada, ao mesmo tempo em que podem ser retidos ao longo do perfil de sedimentos enquanto não surgirem condições mais aeróbias. O acúmulo de matéria orgânica no sistema séptico poderá levar à sua inutilização. A variação do nível d'água ou do conteúdo de umidade no dreno devido ao entupimento com matéria orgânica também pode causar um decréscimo no O_2 , criando condições anóxicas e prejudicando o tratamento aeróbio.

Segunda Zona Anaeróbia corresponde à região saturada (ou próxima da saturação) do aquífero, onde as condições de O_2 são mais limitadas. Nessa porção, predomina o processo de desnitrificação, no qual o NO_3^- é convertido a N_2 quando existe uma quantidade de C suficiente, já que muito deste já foi consumido no processo de nitrificação. A redução do nitrato na pluma

contaminante por processos desnitrificantes envolve igual parte de carbono para cada porção de nitrato a ser desnitrificado. Se o fluxo de carbono para o aquífero aumentar a razão C:N, pode-se promover a transformação de nitrato em NH_3 ao invés de N_2 (Rehr & Klemme, 1989 *in* Gillham & Cherry, 1978). Contudo, normalmente, o grande limitante das reações de desnitrificação nos aquíferos é a baixa concentração de carbono (Starr & Gillham, 1993). Segundo Wilhelm *et al.* (1994), para a degradação de todo o nitrato presente no efluente de fossas sépticas são necessários de 20 a 70mg/L de C, tipicamente. Potencialmente, o carbono poderia ser suprido pelo próprio efluente ou mesmo pelo meio aquífero, mas muito do carbono presente nos líquidos do tanque séptico é consumido pela digestão aeróbia. Da mesma forma, as concentrações de carbono degradável presentes no aquífero também são baixas e, muitas vezes, ele é refratário à biodegradação, devido à sua mineralização. Segundo os autores Gillham & Cherry (1978), a desnitrificação ocorre onde o nível d'água não é muito profundo (não superior a 3m de profundidade). Isso seria explicado pela maior facilidade do carbono dissolvido na água atingir o aquífero se o trajeto de percolação for curto. Uma vez no aquífero, o carbono é oxidado, proporcionando condições redutoras para a ocorrência da desnitrificação. Se o nível d'água for muito profundo, o carbono, em seu processo de percolação, terá que atravessar uma maior distância para atingir o aquífero, sendo oxidado nesse ínterim. Portanto, parece que a desnitrificação está atrelada ao tempo de residência do carbono na zona não-saturada. O tempo de residência, por sua vez, depende da textura do solo, da taxa de infiltração, bem como da profundidade do lençol freático.

A desnitrificação natural de plumas contaminantes advindas de atividades de saneamento tem sido descrita em poucos casos (Starr & Gillham, 1989; Wilhelm *et al.*, 1994; Wilhelm *et al.*, 1996). Como já foi discutido, se o sistema séptico for mal construído com o prejuízo na constituição das zonas supracitadas ou se existir falta de carbono para a ocorrência da desnitrificação, o nitrato pode atingir o aquífero em concentrações acima do padrão de potabilidade. Cabe ressaltar ainda que o nitrato é móvel, e como tal, pode ser poupado da desnitrificação em regiões do aquífero que se mantêm aeróbias (Robertson *et al.*, 1991).

Tabela 4.4.1. Principais reações químicas em sistemas de saneamento *in situ* (Wilhelm *et al.*, 1994).**ZONA ANAERÓBIA (tanque séptico)**

Hidrólise de Moléculas Orgânicas: **Amônio:** **Fermentação:** **Oxidação Anaeróbia:** **Redução de Sulfato:** **Metanogênese:** **ZONA AERÓBIA (área de infiltração)**

Oxidação da Matéria Orgânica: **Nitrificação:** **Oxidação do Sulfato:** **Tampão de Carbonato:** **SEGUNDA ZONA ANAERÓBIA (zona saturada)**

Desnitrificação:

(a) matéria orgânica é simplificada para CH_2O .

(b) a redução do nitrato pode ser acompanhada via oxidação de compostos reduzidos de enxofre

4.5. Estudo de Isótopos nas reações de nitrificação/desnitrificação

O elemento nitrogênio apresenta oito isótopos que variam de ^{12}N até ^{19}N , sendo o ^{14}N e o ^{15}N as formas mais estáveis. O ^{14}N representa 99,63% do nitrogênio disponível na atmosfera e o ^{15}N , 0,37% (Clark & Fritz, 1997). O elemento oxigênio tem nove isótopos que variam entre ^{12}O e ^{20}O , mas apenas o ^{16}O (99,796%), ^{17}O (0,04%) e ^{18}O (0,204%) são as formas mais estáveis. O elemento carbono apresenta 11 isótopos de ^8C a ^{18}C , porém só ^{12}C (98,9%) e ^{13}C (1,1%) são estáveis.

A variação no número de nêutrons em um elemento origina massas diferentes, como por exemplo a água $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$, formada pelos isótopos mais pesados de H e O, tem $A=20$ enquanto que a água normal $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ tem $A=18$. Essa diferença na massa faz com que o isótopo mais leve seja mais rapidamente consumido (ou preferido) em uma reação do que o mais pesado (cujas ligações atômicas são mais fortes), acarretando seu fracionamento entre as fases constituídas. O estudo da concentração e abundância relativa entre os isótopos torna-os traçadores muito eficientes para compreensão de processos físicos e químicos.

Os isótopos estáveis são medidos como a razão dos dois isótopos mais abundantes de um elemento. Dessa forma, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}= 0,00371$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}= 0,00204$, $^2\text{H}/^1\text{H}= 0,00015$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}= 0,0111$, sendo que os processos de fracionamento modificam levemente essa razão. Como medir a razão isotópica absoluta ou abundância não é muito simples, espectrômetros de massa fazem medições precisas da diferença da razão de abundância entre a amostra e um gás de referência de abundância isotópica absoluta conhecida (referência internacionalmente reconhecida). A notação da medição isotópica corresponde ao símbolo " δ " e os resultados são expressos em per mil (‰) e representam, conforme o sinal, positivo ou negativo, se a amostra é mais enriquecida ou empobrecida no isótopo pesado do que a referência utilizada, respectivamente (Clark & Fritz, 1997). A equação do ^{18}O é usada como exemplo a seguir.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}} = \left(\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{referência}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{referência}}} \right) \cdot 1000\text{‰ VSMOW} \quad (14)$$

A referência para $\delta^{18}\text{O}$ corresponde ao *Vienna Standard Mean Ocean Water* (VSMOW - $\delta^{18}\text{O}=2,0052 \times 10^{-3}$), para $\delta^{15}\text{N}$, o N_2 atmosférico (AIR N_2 - $\delta^{15}\text{N}=3,677 \times 10^{-3}$) e para $\delta^{13}\text{C}$, o *Vienna Pee Dee Belemnite* (VPDB - $\delta^{13}\text{C}=1,1237 \times 10^{-2}$) (Clark & Fritz, 1997).

As concentrações isotópicas são controladas pela termodinâmica com a mudança na razão isotópica durante as reações geoquímicas (Kendall & Aravena, 2000), devido a diferenças nas taxas de reação para as diferentes espécies moleculares. Dessa forma, há uma segregação (fracionamento) entre isótopos nas reações, com os mais pesados "sobrando" (mais refratários) nos reagentes e os mais leves incorporados nos produtos. Claro que à medida que a reação evolui, as reservas vão sendo esgotadas, e mesmo os reagentes

enriquecidos nos isótopos mais pesados vão sendo consumidos para a geração de produtos, outrora mais empobrecidos nos pesados. Esse fenômeno corresponde à *destilação Rayleigh* durante um processo de fracionamento. O fracionamento pode ocorrer sob condições de equilíbrio (reações físico-químicas) e de não-equilíbrio (reações cinéticas).

O comportamento dos isótopos durante uma reação físico-química é afetado pela sua massa, o que influi em suas forças de ligação com outros átomos. Assim, os isótopos mais pesados tendem a ficar enriquecidos nas fases mais condensadas (líquida sobre a gasosa, ou sólida sobre a líquida).

Quando não existe equilíbrio químico, ou seja, quando as taxas das reações de formação de produtos e reagentes não são as mesmas e não há mistura dos dois reservatórios, o fracionamento cinético impera. Uma brusca mudança na temperatura ou a adição/remoção de um reagente faz com que haja uma aceleração na formação de produtos (em detrimento da formação dos reagentes), o que promove uma alta ou baixa segregação de massas. Outros exemplos de fracionamento isotópico correspondem a certas reações mediadas por bactérias como a redução do sulfato ou metanogênese, e à difusão atômica/molecular, cujo fracionamento aumenta a partir das diferenças de velocidade de difusão entre os isótopos.

No caso das transformações de nitrogênio, o fracionamento cinético é mais importante porque as reações são mediadas por bactérias (reação irreversível), as quais preferem consumir isótopos leves ao invés dos pesados (Kendall & Aravena, 2000).

O fator de fracionamento cinético associado à reação de não equilíbrio entre produto e substrato (reagente) é definido como:

$$\alpha_{p-s} = \frac{R_{prod}}{R_{subs}} \quad (15)$$

onde $R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ e α_{p-s} é o fator de fracionamento do produto em relação ao substrato.

Para expressar o fator α em termos de ‰, o fator de enriquecimento (ε) é usado:

$$\varepsilon_{p-s} = 1000 \cdot (\alpha - 1) \quad (16)$$

$$\varepsilon_{reagente-produto} = \delta_{reagente} - \delta_{produto} \quad (17)$$

A destilação de Rayleigh descreve a evolução da composição isotópica do reagente residual, no qual os isótopos mais pesados tendem a ficar mais enriquecidos nas fases mais condensadas enquanto os reservatórios são consumidos. A equação é dada por:

$$\delta \approx \delta_0 + \varepsilon_{p-s} \cdot \ln(f) \quad (18)$$

onde δ_0 é a composição inicial do substrato e f é o fator do substrato (sinal "+" para $\varepsilon_{p-s} < 0$ e sinal "-" para $\varepsilon_{p-s} > 0$).

Por conta do largo intervalo de números de oxidação, os processos biológicos envolvendo N resultam em muitos passos, cada um com grande potencial para fracionamento. Considera-se que o fracionamento ocorre quando pequena quantidade de material é convertida a partir de um grande reservatório de substrato. Por outro lado, se um pequeno reservatório é rapidamente convertido em produto, o fracionamento não irá ocorrer (Kendall & Aravena, 2000).

Valores típicos de N variam entre -2 a +4‰ para fertilizantes comerciais, +3 a +8‰ para solos orgânicos e +10 a +20‰ para dejetos humanos e animais (Kendall, 1998) (**Figura 4.5.1**).

Figura 4.5.1. Composição isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{18}\text{O}$) para várias fontes de NO_3^- (Kendall, 1998).

Os processos que afetam a composição isotópica do nitrogênio no nitrato nas águas subterrâneas incluem volatilização, nitrificação (mineralização), desnitrificação e mistura com águas subterrâneas de outras origens (Mariotti *et al.*, 1988).

A transformação de N orgânico para NH_4^+ (amonificação) envolve muito pouco fracionamento isotópico. Na decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos, há a liberação de NH_3 que fica em equilíbrio com sua forma ionizada NH_4^+ . Para pH acima de 9, a volatilização é mais intensa, e o gás NH_3 apresenta $\delta^{14}\text{N}$ mais empobrecido do que o amônio residual por causa da preferência do $\delta^{14}\text{N}$ pela fase gasosa (sob condição de equilíbrio) e incidência de difusão como fracionamento cinético (sob condição de não equilíbrio). Heaton (1986) reportou estudos com $\epsilon_{\text{NH}_4^+-\text{NH}_3}$ entre +25 a +35‰; o nitrato proveniente de dejetos animais é também mais enriquecido em ^{15}N (entre +10 a +20‰) do que aquele formado em um sistema sem volatilização. Mariotti *et al.* (1988) mediram a composição isotópica na saída de um sistema séptico de +10 a +13,5‰.

O fracionamento para a nitrificação como um todo depende de quais passos são limitantes para o processo (Heaton, 1986). Se um grande reservatório de amônio está presente

(criado pela rápida conversão de N orgânico) e nenhuma volatilização é observada, o processo será limitado pela conversão de amônio para nitrito ou nitrato. Assim, um grande fracionamento irá ocorrer e o primeiro nitrato formado será fortemente empobrecido em ^{15}N . Delwiche & Steyn (1970) e Mariotti *et al.* (1980, *in* Kendall & Aravena, 2000) observaram que esses passos causaram empobrecimento de ^{15}N em nitrato entre -5 e -36‰. Se um pequeno reservatório de amônio está presente (criado pela lenta conversão de N orgânico), o processo será limitado pela conversão de N orgânico para amônio, cujo fracionamento é muito pequeno. Dessa forma, o primeiro nitrato formado tenderá a ter uma composição isotópica semelhante àquela do N orgânico.

Experimentos laboratoriais (Andersson & Hooper, 1983; Kumar *et al.*, 1983; Hollocher, 1984) indicaram que o nitrato produzido por nitrificação microbológica tem dois átomos de oxigênio derivados da água e um da atmosfera. Considerando a contribuição de $\delta^{18}\text{O}$ da atmosfera (+23.5‰) e da água (-25 to +4‰), obtém-se o intervalo de -10 a +10‰ (Kendall & Aravena, 2000).

Aravena *et al.* (1993) aplicaram os isótopos ^{15}N e ^{18}O para delinear uma pluma contaminante de nitrato criado por um sistema séptico e cercado por água subterrânea impactada por atividades agrícolas. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ em nitrato variaram entre 8,1 e 13,9‰, os quais estão entre aqueles observados para dejetos animais. Contudo esses valores relativamente baixos indicam que a volatilização de amônia foi muito limitada. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ variaram entre +0,9 e +5,4‰, dando suporte ao modelo de origem do nitrato por nitrificação.

Já a desnitrificação faz com que o $\delta^{15}\text{N}$ do nitrato residual aumente exponencialmente à medida que a concentração de nitrato diminui (**Figura 4.5.2**). A equação de Rayleigh pode ser empregada para descrever as mudanças de $\delta^{15}\text{N}$ no nitrato residual.

Figura 4.5.2. Progresso da reação vs valores de $\delta^{15}\text{N}$ do reagente residual (NO_3^-) e do produto cumulativo resultante da desnitrificação (para três valores de fracionamento distintos- β) (Kendall, 1998).

Fatores de enriquecimento medidos, associados à desnitrificação, indicam que N_2 é empobrecido em relação a NO_3^- por um intervalo -40 a -5‰ (Kendall & Aravena, 2000). Heaton (1986) apresentou $\epsilon_{N_2-NO_3}$ para estudos de desnitrificação na parte oeste do Kalahari de aproximadamente -35‰. Experimentos de laboratório produziram valores de -33 a -5‰ dependendo das circunstâncias que influam no metabolismo microbológico (Mariotti *et al.*, 1982). Delwiche & Steyn (1970) encontraram valores de $\epsilon_{N_2-NO_3}$ entre -20 a -13‰.

Contudo, Mariotti *et al.* (1988) notou um intervalo estreito de -8 a -5‰ para muitas áreas com desnitrificação. Baseado em observações descritas em Mariotti *et al.* (1982), os autores conjecturaram que baixas taxas de desnitrificação implicaram em largo fracionamento. Portanto, pequenos valores de ϵ próximos a -5‰ sugerem desnitrificação relativamente rápida. Outra hipótese para a razão de valores baixos de ϵ corresponde ao consumo de nitrato pela desnitrificação em poros residuais, os quais criam um gradiente de concentração entre eles e o fluxo de água no entorno, favorecendo uma difusão de alta concentração de nitrato para dentro desses poros, o que diminui a diferença de massa entre as espécies isotópicas: $^{15}NO_3^-$ mais presente no poro residual e $^{14}NO_3^-$ mais presente na água que flui.

A diminuição de nitrato também pode ser atribuída a diluição ou à assimilação. A assimilação é mais provável de ocorrer para o amônio, mas de qualquer forma não é acompanhada por fracionamento isotópico. Se há mistura de duas águas, uma com nitrato e outra sem, isso não implicará em mudanças na composição isotópica. Entretanto se houver mistura de águas com nitrato a diferentes concentrações, a água com baixo nitrato e alto $\delta^{15}N$ pode provocar enriquecimento na mistura (Mariotti *et al.*, 1988). Análises físico-químicas, concentrações de gases e isótopos podem elucidar o que ocorre em um sistema.

A desnitrificação também causa um aumento de $\delta^{18}O$ no nitrato residual. Alguns estudos têm mostrado que a razão de enriquecimento do oxigênio em relação ao nitrogênio é de aproximadamente 1:2 (Böttcher *et al.*, 1990; Aravena & Robertson, 1998), o que significa um coeficiente angular de $\delta^{15}N$ vs. $\delta^{18}O$ de 0,5.

Aravena & Robertson (1998) avaliaram os processos envolvidos na atenuação de nitrato nas águas subterrâneas. Os autores notaram um padrão relacionado ao aumento de profundidade no qual enquanto as concentrações de NO_3-N diminuía (partindo de 65mg/L para menos de 10mg/L), $\delta^{15}N$ em nitrato aumentava, de +6 a +58‰ (sendo os valores mais baixos característicos de esgoto doméstico como fonte de contaminação), assim como $\delta^{18}O$, variando de +2 a +17‰. O fator de enriquecimento para a desnitrificação foi de -22.9‰. A presença de sulfato, Fe^{2+} e carbono inorgânico dissolvido (como HCO_3^-) indica que a redução de nitrato foi devida à oxidação de sulfetos (pirita) e carbono orgânico.

Uma variedade de compostos intermediários, incluindo NO e N_2O , é produzida como aceptores terminais de elétrons. O consumo destes gases cria uma série de mudanças no ciclo

da desnitrificação. Nitrito, NO, e N₂O podem servir melhor como aceptores finais de elétrons do que como intermediários, podendo substituir o N₂ como produto final. Segundo Goody *et al.* (2002), a detecção de N₂O deveria, no entanto, constituir em um bom indicador de desnitrificação. Contudo, este gás pode ser também produzido sob condições aeróbias, como produto intermediário durante a oxidação do amônio (NH₄⁺) nos processos de nitrificação. Desta forma, a detecção de N₂O por si só não pode garantir seguramente que a desnitrificação esteja acontecendo no local.

Torna-se importante avaliar as concentrações de gases como N₂, O₂, CH₄, N₂O e CO₂ porque eles participam dessas reações. Da mesma forma que se analisa os isótopos ¹⁵N e ¹⁸O em nitrato e amônio em amostras de água, a avaliação desses isótopos nos gases N₂, O₂ e N₂O também é uma importante ferramenta para entender o que ocorre nos processos nitrificantes e desnitrificantes que se instalam nos sistemas de saneamento *in situ*. O isótopo ¹³C analisado em CH₄ e em CO₂ indica como ocorre a metanogênese ou a oxidação do carbono orgânico em um sistema de saneamento.

4.5.1. Anammox

Existem alguns estudos recentes (Mulder *et al.*, 1995; Clark *et al.*, 2008) que relatam a existência de bactérias que oxidam NH₄⁺ na presença de um dos aceptores elétrons NO₃⁻ ou NO₂⁻ para produção de gás N₂ (equações 19 e 20). Essa reação é conhecida como anammox (*anaerobic ammonium oxidation*) e é realizada pelas bactérias do filo Planctomycetes, gêneros *Brocadia*, *Kuenenia*, *Jettenia*, *Anammoxoglobus*, e *Scalindua*. Esses microrganismos são responsáveis pela perda de até 50% de massa de N na forma de N₂ em ambientes marinhos. Essa reação ocorre sob condições muito baixas de O₂ (0,5% saturação do ar), temperatura entre 6 a 43°C e pH entre 6,7 e 8,3 e pode ser inibida se a concentração de nitrito for elevada.

Clark *et al.* (2008) foram os primeiros a relatar o processo anammox em águas subterrâneas contaminadas por uma companhia química e outra de fertilizantes a sul da província de Ontário, Canadá. As linhas de evidência abordadas nesse estudo, onde NH₄⁺ e NO₃⁻ coexistem em uma pluma parcialmente nitrificada, incluem: a) a perda em massa de NH₄⁺ e NO₃⁻ sob condições anóxicas ao longo do caminho de fluxo; b) enriquecimento isotópico progressivo de δ¹⁵N_{NH4} (de 5 a 15‰) e δ¹⁵N_{NO3} (de 12 a 24‰); c) valores de δ¹⁵N_{NO3} mais enriquecidos de 5 a 10‰ em relação a δ¹⁵N_{NH4} o que descarta o consumo de NH₄⁺ por nitrificação (em cujo processo, NH₄⁺ residual é gradualmente enriquecido em δ¹⁵N e não empobrecido em relação ao produto NO₃⁻); d) N₂ em excesso com valores crescentes de δ¹⁵N_{NH4}. Seguindo o raciocínio do fracionamento cinético já anteriormente discutido nos tópicos

de nitrificação e desnitrificação, à medida em que NH_4^+ e NO_3^- são consumidos, os reagentes residuais tendem a ficar enriquecidos no isótopo mais pesado, isto é ^{15}N , ao passo que os produtos, no caso N_2 , ficam empobrecidos. Na produção de N_2 , a reação anammox é acompanhada por uma maior liberação de energia livre do que a desnitrificação tendo o carbono como doador de elétrons.

4.6. Doenças relacionadas à ingestão de água contaminada com nitrato

A ingestão de água, cuja concentração exceda o valor de 10mg/L N-NO_3^- (aproximadamente 44mg/L NO_3^-), pode ocasionar doenças como a metahemoglobinemia e alguns tipos de cânceres (Portaria 1469 do Ministério de Saúde, 2000; WHO, 1999; USEPA, 1995).

A metahemoglobinemia é um tipo de doença provocada principalmente em crianças, em idades inferiores a seis meses, pelo acúmulo de metahemoglobina no sangue, provocando quedas respiratórias, cianose (mucosas azuladas), dispnéia, falta de ar, desmaios e óbitos em casos muito agudos. É um estado em que a hemoglobina é reduzida mediante oxidação, do seu estado ferroso de transportador de oxigênio para um estado férrico (ferrihemoglobina), incapaz de se ligar reversivelmente ao oxigênio e, desse modo, inadequada à função de transporte e liberação de oxigênio desempenhadas pelo sangue e pela hemoglobina (Watkins *et al.*, 2005). A oxigenação dos tecidos torna-se essencialmente dependente do oxigênio dissolvido no plasma, que provê apenas 1,5 a 2 vol% dos habituais 12-15 vol%, dependendo da temperatura. O paciente subsequente torna-se cianótico e exibe os sintomas e seqüelas da hipóxia (Watkins *et al.*, 2005). O diagnóstico é rápido, através de análises toxicológicas, e o tratamento é através da aplicação de azul de metileno a 1%.

Outro efeito adverso, relacionado à ingestão de águas com concentrações elevadas de nitrato, refere-se ao risco do surgimento de câncer, entre eles, o gástrico e o linfoma de non-Hodgkin. A reação de nitrito e nitrato com aminas e amidos presentes no corpo humano pode levar à formação de nitroamidas e nitrosamidas, compostos reconhecidamente cancerígenos, afetando primariamente o esôfago e a faringe (Niesink *et al.*, 1995).

As altas concentrações de nitrato podem também levar a uma intoxicação crônica, que produz um quadro subclínico, correspondente a uma baixa produtividade, redução no ganho de peso, queda de eficiência reprodutiva e abortos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Metodologia de risco sanitário

É urgente a necessidade dos países em desenvolvimento de disporem de técnicas baratas e eficientes para detecção de condições sanitárias em áreas que não contam com rede canalizada de abastecimento de água e de coleta de esgoto. Em se tratando de regiões periféricas ou de loteamentos irregulares, onde a assistência social é ainda mais precária, a aplicação dessas metodologias simples pela própria comunidade (previamente treinada) poderia conscientizá-la para a adoção de medidas intervenientes em caso de contaminação dos recursos hídricos utilizados para seu abastecimento.

A metodologia de risco sanitário desenvolvida nesse projeto baseia-se em um questionário de poucas perguntas, como qualquer outro utilizado por organismos da Vigilância Sanitária a fim de caracterizar problemas e propor soluções. Contudo, a técnica aqui proposta procurou focar a questão das águas captadas pelas comunidades através de poços escavados (cacimba), cujas práticas inadequadas relacionadas à sua construção e operação podem acarretar doenças de veiculação hídrica.

Essa técnica foi adaptada dos estudos realizados por Lloyd & Helmer (1991) para a WHO (*World Health Organization*). Esses autores desenvolveram um questionário de 10 perguntas, cujo resultado corresponderia a um fator de risco sanitário relacionado às fontes de abastecimento de água utilizadas pelas comunidades rurais inventariadas e inspecionadas por equipes de vigilância sanitária bem preparadas. Por esse método, falhas no sistema de abastecimento, como presença de rachaduras no poço ou sua proximidade de fossa negra, podem ser automaticamente identificadas em uma inspeção cuidadosa do local. Ter-se-á um risco muito elevado de contaminação se todas as respostas do questionário forem positivas (pontuação 10), ao passo que não haverá risco se as respostas forem negativas (pontuação 0). Cabe ressaltar que não é possível calcular o peso de importância de cada fator de risco (pergunta) constatado no sistema de captação, em outras palavras, dizer que é a trinca no poço responsável pela contaminação, ao invés da fossa que está bem perto. Essa técnica só fornece uma quantificação absoluta, e deve ser acompanhada por análises químicas de água, embora ela permita a priorização daqueles poços que merecem maior atenção imediata.

O desenvolvimento dessa metodologia envolveu o cadastro de todos os lotes, poços e fossas através de um questionário inicial e registro fotográfico juntamente com a coleta e análises químico-bacteriológicas de amostras de água de um terço dos poços cacimba do loteamento. O tratamento estatístico contrapondo a situação levantada dos poços e as análises de suas águas permitiria a seleção do que seriam as perguntas mais relevantes na elaboração de um questionário final de risco sanitário.

5.1.1. Cadastro dos lotes

Foram cadastradas 178 casas, sendo que 175 no loteamento Jardim Santo Antônio e outras 3 em um bairro residencial à beira da Represa Guarapiranga. A inclusão desses três poços foi feita prevendo-se a necessidade de se encontrar poços bem construídos e operados com menor possibilidade de estarem contaminados. Esse questionário correspondeu a um levantamento de dados contendo fundamentalmente as seguintes observações:

- Número de adultos e crianças residentes no lote.
- Número de poços e fossas e tempo de funcionamento.
- Características construtivas de fossas e poços: tipo de revestimento externo e interno (anel, tijolo, terra, bloco, etc.); profundidade da obra; tipo de pavimento de entorno (cimento, terra, piso, brita, etc.); tipo de tampa (concreto, madeira, telha, metálica, etc.); origem do efluente (descarga, chuveiro, cozinha, total, tanque, etc.), no caso de fossa.
- Irregularidades observadas na operação do poço e seu entorno: se há percolação de água pela cobertura; se está localizado sob uma área coberta; se tem tampa, trincas, vão no acesso ao poço, vão no contato entre a o revestimento externo e a tampa de acabamento; se há possibilidades de infiltração pelo revestimento devido a certas características do poço, como presença de ladrão de água ou mesmo fiação elétrica e mangueira no revestimento externo; sinais de infiltração pelo revestimento; material em suspensão em sua coluna d'água; irregularidades no pavimento de entorno (bioturbações, rachaduras, etc.) e fontes de contaminação prováveis próximas ao poço (fossas, encanamento de esgoto, criação de animais, água servida, sarjeta, poço do vizinho, horta, etc.).

As **Fotos 5.1.1.1 a 5.1.1.26 do Anexo I** ilustram os diversos cenários encontrados no cadastro. O questionário inicial usado no cadastro pode ser visualizado no **Anexo II**.

5.1.2. Amostragem de água subterrânea

A partir do cadastro realizado, foi possível selecionar poços para coleta de água, que fossem representativos para a área de estudo, contemplando-se as diversas características encontradas na região.

Realizaram-se 56 coletas de amostras de água (em 53 poços do loteamento Jardim Santo Antônio e em 3 poços do bairro residencial da Represa Guarapiranga). O procedimento de amostragem compreendeu a obtenção de parâmetros físico-químicos *in situ* com medidores de campo *WTW pH 330i* (pH, temperatura, Eh) e *WTW cond 330i* (condutividade elétrica) e coleta de amostras para análise de ânions e bactérias (**Tabelas 5.1.2.1 a 5.1.2.3 do Anexo III**).

Os volumes coletados para ânions (dentre os quais está o nitrato, parâmetro de interesse para essa pesquisa) corresponderam a 100mL para cada poço, e foram acondicionados em frascos de plástico e submetidos a resfriamento (4°C). As amostras foram

encaminhadas ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) do Instituto de Geociências da USP. Nessas análises, utilizou-se um cromatógrafo de íons *Dionex 2010i*.

Para a coleta de amostras para análise bacteriológica, primeiramente os frascos foram esterilizados com autoclave. Foram empregados frascos de vidro e de plástico para testar o de maior eficiência já que no último tornou-se necessária a adição de pesos de chumbo para promover a imersão do frasco na água do poço. Antes de qualquer contato com a água, os frascos eram novamente esterilizados com álcool, bem como os acessórios a eles anexados, tais como os pesos, as presilhas que seguravam os pesos junto aos frascos de plástico e o fio de nylon. Todo o procedimento ocorria mediante uso de luvas descartáveis para cada poço. Após coleta de volumes equivalentes a 500mL, os frascos eram acondicionados em isopores com gelo para retardamento metabólico dos microorganismos.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da USP, obedecendo-se o prazo de 24h. As amostras foram analisadas para quatro tipos de parâmetros: coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium sulfitorredutores* e bactérias heterotróficas. Os três primeiros foram realizados em membranas filtrantes e o último pelo método de semeadura em placas (*Spread Plate*).

Na **Tabela 5.1.2.4** a seguir, relaciona-se cada tipo de bactéria com seu meio de cultura.

Tabela 5.1.2.4. Bactérias e seus meios seletivos.

Bactéria	Meio de cultura (transformação de cor)	Temperatura de incubação	Local
Coliformes totais	MEndo (rosa claro → verde brilhante)	35° C	Estufa
Coliformes fecais	MFC (rosa escuro → azul escuro)	44,5° C	Banho-maria
<i>Clostridium sulfitorredutores</i>	TSC (bege → preto)	35° C	Estufa
Heterotróficas	R2A (ausência de inibidores de crescimento) (incolor → branco leitoso)	35° C	Estufa

5.1.3. Mapa Potenciométrico

A topografia da área de estudos foi realizada com um GPS de alta precisão da marca *Ashtech® ProMark2TM* da *Thales Navigation*, a partir de uma estação base (L1), instalada no próprio loteamento, e caminhamento com um GPS móvel (L2). A transferência dos dados (contidos na base e no móvel) e sua conversão em UTM se deram pelo *software GNSS Solutions* também da *Thales Navigation*.

A estação base foi colocada em um sítio topograficamente mais elevado em relação ao loteamento. Nos dias de levantamento, a base era ligada desde cedo para captura de sinais de satélites. As medições topográfica e geográfica foram realizadas em modo estático (a medição durava pelo menos 5 minutos em cada ponto) e abrangeram poços, fossas, córregos e esquinas de ruas. Para elaboração do mapa potenciométrico, nos pontos de medida foram levantados os níveis d'água dos poços.

A elaboração de um mapa potenciométrico para a região foi necessária para observação da influência da contaminação de poços por fossas hidraulicamente mais elevadas. Esse critério de análise juntamente com outros aspectos levantados no questionário inicial foram usados no tratamento estatístico pelo método de *Clusters*.

Os dados referentes ao levantamento topográfico para poços e fossas encontram-se respectivamente nas **Tabelas 5.1.3.1 e 5.1.3.2 do Anexo III** e o mapa potenciométrico no **Anexo IV**.

5.1.4. Divulgação dos resultados e orientações à comunidade

Após a época de cadastro e de coleta de algumas amostras de água para análises químicas e bacteriológicas, foi combinado com os moradores do loteamento Jardim Santo Antônio a realização de um encontro onde seriam comentados os resultados dessa etapa da pesquisa. A comunicação sobre a palestra foi realizada porta-a-porta e marcada para ocorrer na Escola Barragem II (situada no próprio loteamento) no dia 15 de abril de 2007, com dois horários à tarde.

O objetivo da palestra foi o de esclarecer o papel da universidade nos estudos do bairro e também passar orientações quanto ao uso da água. Dentre as orientações passadas, citam-se algumas noções de como proteger o poço, distância entre fossa e poço, cloração de poço, e medidas paliativas imediatas para água bebível (filtração e cloração). Distribuíram-se panfletos, contendo as informações transmitidas na apresentação (**Anexo V**).

5.2. Ensaios de colunas de sedimentos

Antes de se partir para a construção das barreiras reativas em escala de campo, reproduziram-se em laboratório ensaios de coluna com sedimentos testando-se espessuras de serragem para observação de desnitrificação de uma solução com alta concentração de nitrato. No começo dos ensaios, injetou-se o traçador brometo a fim de se conhecer as propriedades hidráulicas do meio sedimentar.

Os materiais para a confecção das colunas bem como a técnica em montá-las e operá-las foram adquiridas mediante estágio no *Department of Earth Sciences da University of Waterloo* (Canadá).

O material sedimentar foi coletado através de furos de sondagem em alguns pontos do loteamento Jardim Santo Antônio.

5.2.1. Preparação dos ensaios

A coluna corresponde a um cilindro de acrílico (*plexiglas*) de 5cm de diâmetro e 40cm de comprimento, em cujas extremidades adaptam-se discos (*endplates*), também de *plexiglass*,

ranhurados concêntrica e radialmente e presos à coluna por parafusos. Na coluna, há 15 aberturas (portas) nas quais ficam fixadas 15 conexões macho em rosca (nylon) de 1/16" (fabricante *Swagelok*) para posterior inserção de seringas para amostragem em diversos pontos ao longo da coluna e em cada um dos *endplates* há duas conexões macho em rosca (nylon) de 1/8" com *O-ring* para inserção de mangueiras por onde atravessam os fluidos.

Antes de proceder com o experimento de injeção de nitrato, deve-se fazer quatro tipos de pesagem com a coluna: a) coluna seca; b) coluna preenchida d'água; c) coluna preenchida de sedimentos seca; e d) coluna preenchida de sedimentos saturada.

Deve-se observar se todos os acessórios estão incorporados à coluna, como filtros, *red septas* (dispositivos para interromper fluxo), mangueiras de Teflon, etc. para todas as pesagens.

A saturação da *coluna sem sedimentos* dá-se pela seguinte forma: 1) Abre-se o *endplate* superior, coloca-se um pouco de água destilada na coluna com um *becker*, permitindo que a água escape pelas duas mangueiras inferiores. 2) Enquanto ainda há fluxo, as mangueiras devem ser interrompidas com *red septas*. 3) Preenche-se o resto da coluna com água no máximo possível, colocam-se os filtros superiores, parafusa-se o *endplate*. 4) Ajusta-se uma vazão baixa na bomba peristáltica, conectando a mangueira desta com a mangueira de Teflon inferior e central da coluna. Imerge-se a mangueira da bomba em um *becker* contendo água destilada para que esta possa ser bombeada. Liga-se a bomba. 5) O *red septa* é tirado da mangueira de Teflon inferior lateral para que primeiro, por alívio de pressão, possam sair as bolhas de ar do fundo (as mangueiras de cima devem estar com *red septa*). 6) Depois de se notar que não há bolhas no fundo, fecha-se a mangueira inferior e abre-se a superior lateral ou central. 7) A melhor posição para retirada de bolhas corresponde à inclinada, quase 180°. 8) Pesa-se a coluna.

No empacotamento dos sedimentos, para se observar melhor a distribuição dos grãos em camadas através do *plexiglass*, é interessante não ultrapassar a marca de 200cm³ (mL) de cada vez. A partir desse volume, deve-se optar pela proporção entre os materiais que serão utilizados. A densidade de cada material é obtida pelo volume em um recipiente graduado e pela massa, dada pela balança.

Para saturação da *coluna com sedimentos*: 1) É necessária a injeção de CO₂, isso porque esse gás substitui o O₂ dos poros, sendo depois mais fácil de dissolver esse gás em água durante a saturação dos sedimentos. Abre-se a mangueira de Teflon superior, deixando o CO₂ fluir por 24h. 2) Depois disso, fecha-se a saída com *red septa*, diminui-se o fluxo e fecha-se a entrada rapidamente com *red septa*. 3) Da mesma forma que na coluna sem sedimentos, deve-se primeiro saturar com água o fundo. Deixar o sistema fechado (pelas mangueiras) por um curto tempo e depois abrir a mangueira de Teflon inferior lateral. Colocá-la em um *becker* d'água para se notar a saída de gás. 4) Quando a coluna d'água formada for suficiente para

empurrar água pela mangueira inferior lateral, fecha-se a mesma com *red septa* e abre-se a superior lateral. 5) Não pode ser constatada a presença de bolhas, do que subentende-se que o reservatório de água para a saturação da coluna seja suficiente. 6) Pesa-se a coluna.

O intuito das pesagens é o de obter parâmetros físicos tais como densidade do material e volume de poros da coluna. Após a coluna estar saturada, pode-se iniciar com a injeção do efluente. É de uso proceder com a injeção conjunta de um traçador conservativo, como brometo, a fim de se obterem parâmetros hidráulicos do microcosmo do aquífero proporcionado pela coluna, como velocidade de fluxo e dispersão.

A coleta de amostras pode ser realizada na extremidade superior da coluna (dado que sua saturação e a injeção do efluente ocorram por baixo) ou por meio das portas, de acordo com o interesse de se relacionar concentração *versus* distância.

5.2.2. Amostragem de solo

Foram selecionados 5 pontos na área para realização de sondagens a trado manual. O trado empregado foi o do tipo holandês com 4" de diâmetro. Os furos chegavam até a profundidade de 5m, com descrição geológica do perfil vertical. À proximidade de 2m, o solo era coletado até alcançar o nível d'água com o propósito desse material ser utilizado nos experimentos de colunas.

A geologia da área corresponde basicamente ao regolito de rochas gnáissicas a xistosas do Complexo Embu. A mineralogia consiste em quartzo, feldspatos, muscovita, biotita e anfibólio. Pelas descrições das sondagens a trado manual (**Tabelas 5.2.2.1 a 5.2.2.5 do Anexo III**), nota-se que a granulação predominante é areno-siltosa com porções mais grossas (veios ou porções félsicas mais cristalizadas) e finas (níveis xistosos onde predominam minerais máficos tais como biotita e anfibólitos). As cores mais claras (esbranquiçadas e acinzentadas) e escuras (lilás e avermelhadas) refletem essa variação composicional dos gnaisses, que muitas vezes são bandados.

5.2.3. Injeção de nitrato e traçador

Reproduziram-se em laboratório ensaios de colunas com sedimentos testando-se espessuras de uma mistura de areia com serragem (material reativo) para observação de desnitrificação de uma solução com alta concentração de nitrato.

O experimento contou com três colunas: a Coluna 1 (C1) foi montada apenas com solo da região, a Coluna 2 (C2) com 10cm de material reativo inserido no meio do solo e a Coluna 3 (C3) com 20cm de material reativo no meio do solo (**Figura 5.2.3.1**).

O solo e a serragem nos ensaios foram submetidos à análise elementar (%CHN) pelo laboratório Central Analítica (Instituto de Química –USP) pelo equipamento *Perkin-Elmer CHN 2400*. A serragem utilizada correspondeu ao Cedrinho (espécie *Erismia uncinatum* Warm.,

família *Vochysiaceae*). Obtiveram-se valores de teor de carbono para o solo e a serragem de 0,20% e 45,18%, respectivamente.

Baseando-se em estudos de Vogan (1993), em cujos experimentos de colunas adotou um *foc* (fração de carbono orgânico) de 2,5%, procurou-se na presente pesquisa aproximar-se desse valor. A proporção utilizada para compor a zona reativa foi de 5,5g de serragem para cada 100g de areia quartzosa média. A areia foi utilizada na mistura para evitar eventuais compactações e promover permeabilidade no meio reativo. As massas de serragem para compor as zonas reativas de 10cm e 20cm de espessura, para as Colunas 2 e 3, foram de 15,3g e 28,2g, respectivamente.

Em um mesmo dia, houve a compactação de todo material nas 3 colunas, suas pesagens, cálculo de VP (**Tabela 5.2.3.1 do Anexo III**) e saturação a partir de suas bases com água destilada + 2g de CaCO_3 (solução preparada 2 semanas antes com o borbulhamento de CO_2 por 24h) até o dia seguinte de manhã. Por dois dias, procedeu-se com a saturação das colunas por inteiras com a mesma solução.

Figura 5.2.3.1. Esquema das colunas de sedimentos.

Após as colunas estarem saturadas, pôde-se iniciar a injeção da solução com nitrato, acompanhado de um traçador conservativo (brometo), a fim de se obter parâmetros hidráulicos do microcosmo do aquífero proporcionado pela coluna, como velocidade de fluxo e dispersão. A coleta de amostras era realizada na extremidade superior da coluna, obedecendo o sentido da saturação inicial das colunas.

A vazão da bomba foi ajustada para a média de 1VP (VP das colunas C1, C2 e C3 respectivamente de 282, 250 e 338mL) por dia para as 3 colunas, correspondendo a aproximadamente 0,2mL/min.

A 1ª solução de influente apresentou uma concentração de $\text{NO}_3^- \cong 65\text{mg/L}$ e de $\text{Br}^- \cong 60\text{mg/L}$, tendo-se o cuidado de garantir um $\text{pH} \sim 7$ e $T = 25^\circ\text{C}$, a fim de assegurar uma boa *performance* das bactérias desnitrificantes.

Essa solução foi então injetada nas colunas previamente saturadas com água destilada. As amostragens iniciaram-se 0,5VP após essa injeção, com coleta sistemática de 3 em 3 horas

para levantamento da curva concentração vs tempo do traçador Br^- , com acúmulo de amostra de pelo menos 2h. A solução de influente apresentou um volume de 822mL, que, distribuído para as 3 colunas, perfaz 274mL para cada uma delas, i. e., aproximadamente 1 VP. Dessa forma, a solução inicial demorou 23h para ser completamente injetada (após o que outras soluções contendo só nitrato foram injetadas). A pluma contaminante Br^- e NO_3^- começou a chegar no ponto de amostragem findo esse período. A amostragem sistemática para captura da curva do traçador durou ao todo 60h (ou 2,5VP), com a coleta de 60 amostras (20 para cada coluna) com 20mL em média de volume. Em alguns intervalos de 1h, foram coletadas amostras para análise de COD (total de 12 amostras) e medidas instantâneas de pH e condutividade elétrica (CE) com os aparelhos *WTW pH 330i* e *WTW cond 330i*.

Outras soluções contendo apenas NO_3^- , à concentração aproximada de 65mg/L ($\text{pH} \cong 7,0$ e $T \cong 25^\circ\text{C}$), foram injetadas após a solução Br^- e NO_3^- , com o propósito de se acompanhar a evolução de sua degradação por um tempo mais longo. O experimento total teve uma duração de cerca de 3 meses, totalizando 108 amostras coletadas (36 para cada coluna).

As amostras para análise de ânions foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar, resfriadas (4°C) e analisadas em um cromatógrafo de íons *Dionex 2010i* pelo Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) do Instituto de Geociências da USP. As amostras de COD foram analisadas pelo método de combustão a alta temperatura por um *Shimadzu TOC 5000* pelo Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Os resultados de ânions e COD encontram-se respectivamente nas **Tabelas 5.2.3.2 e 5.2.3.3** do **Anexo III**. O pH, temperatura e condutividade elétrica médios para as três colunas corresponderam a 7,2, $23,6^\circ\text{C}$ e $1700\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os procedimentos de confecção das colunas e obtenção de amostras estão ilustrados nas **Fotos 5.2.3.1 a 5.2.3.16** do **Anexo I**.

5.3. Metodologia das Barreiras Reativas

5.3.1. Definições

Barreira Reativa (BR) é definida como uma obra de engenharia em subsuperfície caracterizada por um meio reativo interceptador de uma pluma contaminante capaz de transformar o(s) contaminante(s), de maneira passiva, em formas ambientalmente aceitas por processos físicos, químicos e biológicos, atendendo-se às metas de concentração de remediação à jusante da barreira (USEPA, 1998).

A primeira barreira completa foi instalada em *Sunnyvale* (Califórnia, EUA) em 1994, para o tratamento de uma pluma de solventes clorados (IBC, 1999). A remediação foi realizada com sucesso e, desde então, essa tecnologia vem sendo usada também para contaminantes

inorgânicos, muito mais complexos na sua degradação do que aqueles de natureza orgânica (Gavaskar *et al.*, 1998).

As barreiras reativas atuam na remoção de contaminantes por adsorção e/ou degradação, através de processos bióticos ou abióticos. Isso é possível ou pela mudança em sua especiação química ou fornecendo-se um elemento para a formação de um composto em estado sólido, para sua posterior remoção. Um contaminante é alterado tipicamente para uma forma inócua pela mudança de seu estado de oxidação.

As qualidades desejáveis em uma barreira são: a) baixo custo, b) fácil obtenção dos materiais construtivos, c) feita com um material que não venha a implicar em contaminação secundária, d) longa durabilidade, e) homogênea, para prevenir o carreamento das partículas constituintes da BR, gerando caminhos preferenciais de fluxo da água contaminada, e f) comprimento suficiente para evitar que o fluxo subterrâneo se disperse.

Existem três tipos de barreiras (Gavaskar *et al.*, 1998):

- *Barreiras de óxido-redução*: corresponde à alteração do estado de oxidação do contaminante, gerando-se produtos mais controlados quanto à toxicidade. São utilizados elementos para fazerem par com o contaminante que se objetiva transformar em uma forma inócua, seja pela sua redução, seja pela sua oxidação. Exemplos: carbono, ferro (valência zero), enxofre.
- *Barreiras biológicas*: caracterizam-se pelo estímulo do crescimento e atividade de microorganismos naturalmente presentes no meio. Certas comunidades manipulam os contaminantes em seus processos metabólicos, como doadores ou aceptores de elétrons, promovendo indiretamente reações de óxido-redução de acordo com o conteúdo de oxigênio presente. Exemplos: *Paracoccus*, *Desulfovibrio*, *Pseudomonas*.
- *Barreiras de sorção*: correspondem a materiais que atraem e causam a adsorção de contaminantes da água. As interações causadas não são permanentes e dependem de certas condições sub-superficiais, especialmente pH (Morrison & Spangler, 1993). Exemplos: carbono ativado, fosfatos, zeólitas, resinas sintéticas.

Há dois tipos de configuração para uma BR:

- Parede contínua (*continuous wall*): na qual todo o fluxo a atravessa. Sua permeabilidade deve ser equivalente ou maior do que aquela encontrada no aquífero. É a mais utilizada como forma de remediação da água subterrânea (USEPA, 1998).
- Funil e gaiola (*funnel and gate*): consiste em paredes construídas com material impermeável que desviam a água contaminada até atingir uma gaiola reativa (USEPA, 1998). Trincheiras de parede interrompida atuam de maneira a convergir fluxos hidráulicos heterogêneos e homogeneizar contaminantes em uma cela ou uma série de celas de alta condutividade (Gavaskar *et al.*, 1998). Muitas combinações podem ser realizadas com

esse tipo de parede, podendo chegar a ser mais barata do que uma parede contínua devido ao menor volume de meio reativo requerido em sua construção.

Em relação à existência ou não de um sistema séptico, Robertson & Cherry (1995) propuseram duas posições para as barreiras reativas. Se o sistema séptico vai ser construído, faz-se uma camada horizontal (*tile bed*) de material de baixa permeabilidade com C (serragem) abaixo dos drenos de infiltração (*drain pipes*) na zona não saturada do aquífero. Essa camada tem a capacidade de se manter tenso-saturada mesmo acima do nível d'água, pois sua granulometria é fina o suficiente para aprisionar água (silte grosso a areia fina; 10^{-4} a 10^{-3} cm/s, o que permite uma taxa de percolação de 10 a 100 cm/dia por unidade de gradiente hidráulico). A saturação é necessária para promover um ambiente redutor (quanto mais umidade, menos espaço para o ar, o qual tem difusão mais lenta para a água). E se o sistema séptico já existe e há a geração de uma pluma, constrói-se uma barreira vertical interceptando o fluxo. Dependendo do padrão do fluxo de água subterrânea, ela pode ser contínua ou em funil e gaiola.

Antes de se instalar uma BR, deve-se atentar para as características da área (modelo hidrogeológico), bem como para o material que será utilizado como meio reativo. Dentre as limitações que podem advir com a construção de uma BR, citam-se (Gavaskar *et al.*, 1998):

- A degradação de contaminantes por BR pode ser um processo lento, muito porque depende do movimento da água no aquífero, e baixas condutividades hidráulicas significam longos períodos de remediação.
- A barreira é permanente, ou seja, imóvel. Somente a parte da pluma que passa pela barreira pode ser remediada.
- Em função do material selecionado para a BR, os produtos das reações de óxido-redução podem gerar elementos tão ou mais contaminantes que o inicial.

Por ser um sistema passivo, toda contaminação deve atingir a BR pelo fluxo subterrâneo natural (pode ser induzido pela barreira por ter maior condutividade hidráulica). Desse modo, torna-se importante a determinação de certos parâmetros hidráulicos, como porosidade total e efetiva, condutividade hidráulica, efeitos de bombeamentos próximos ao local da BR (USEPA, 1999). Mudanças sazonais climáticas, como recargas, devem ser consideradas de maneira a avaliar flutuações nas cargas hidráulicas (IBC, 1999). A localização de materiais impermeáveis sob a forma de aquíardes ou lentes ou de fraturas também deve ser feita para a verificação de custos de instalação e de eficiência na operação da BR (Gavaskar *et al.*, 1998).

Para o tratamento da pluma como um todo, faz-se necessário o conhecimento de sua distribuição espacial e de suas concentrações, sendo necessário predizer movimentos futuros da mesma. O estabelecimento correto de sua extensão vertical evitará problemas como perdas

de fluxos sob ou sobre a BR (USEPA, 1998). Estudos sobre o meio geológico entre o foco de contaminação e a BR poderão verificar possíveis efeitos de atenuação natural que seriam responsáveis pela chegada de baixas concentrações do contaminante (USEPA, 1998). O comportamento dos constituintes da pluma como suas propriedades químicas e sua degradação em outros elementos devem ser bem caracterizados a fim de se contornar problemas como geração de produtos tóxicos e tempo de residência nas águas (IBC, 1999).

A fim de se maximizar o desempenho de uma BR é importante conhecer a geoquímica envolvida pela interação entre o meio reativo e o geológico da área e a água subterrânea. Isso inclui pH, Eh, alcalinidade e as concentrações das espécies que conseguem reagir nas condições propiciadas pela BR, que podem incluir SO_4^{2-} , Fe, Ca, Mg, Mn, Al, Ba, Cl, F, CO_3^{2-} (e espécies protonadas). Muitos desses elementos são importantes pois podem afetar a formação de precipitados, o que pode diminuir a reatividade pelo revestimento de superfícies dos materiais da BR e podem diminuir a permeabilidade com a obstrução dos poros (USEPA, 1998). Além disso, a sustentabilidade da BR refere-se a estequiometria C:N. Robertson & Cherry (1995) demonstram que se for assumido que em uma barreira reativa contendo carbono (C) este seja consumido apenas por desnitrificação heterotrófica, o tempo de vida dessa barreira tem um potencial de muitos anos (décadas). Schipper & Vojvodic-Vukovic (2001) defendem que as estimativas da sustentabilidade de BR baseadas em relações estequiométricas não consideram que a degradação anaeróbia da matéria orgânica continua a ocorrer por fermentação na ausência de aceptores de elétrons externos como o nitrato ou o sulfato. A desconsideração desse consumo de C levaria a uma super-estimativa do tempo de vida de barreiras reativas. Comunidades microbiológicas podem participar em interações complexas na zona reativa. Elas podem comprometer a BR caso sua população aumente muito, causando corrosão.

A barreira reativa empregada nesses estudos correspondeu ao tipo biológica. Nela, desenvolve-se uma reação de óxido-redução intermediada por bactérias desnitrificantes, onde o nitrato, na presença de um doador de elétrons (no caso, a serragem) e em condições redutoras, é convertido em N_2 . A barreira desnitrificante foi posicionada abaixo e ao longo da fonte de contaminação (tanque séptico), permitindo assim que todo o efluente alcançasse o meio reativo.

5.3.2. Instalação das fossas na área de estudo

Optou-se por construir duas fossas na área de estudos: uma Fossa Alternativa (FA) e uma Fossa Controle (FC). FA é uma fossa melhorada com duas barreiras reativas, uma contendo BOF (*Basic Oxygen Furnace* – resíduo de altos fornos de fundição em siderúrgicas), mais próxima à superfície para a degradação de microorganismos, e a outra contendo serragem, 1m abaixo da de BOF, para desnitrificação do nitrato. Já a fossa FC foi construída

sem a presença de materiais reativos. O propósito consistiu em comparar a evolução do nitrato entre uma fossa com serragem, onde ocorreria sua redução a partir das bactérias desnitrificantes, e outra desprovida desse meio reativo, o que representaria uma fossa comum encontrada no loteamento. Como se verá adiante, as camadas das duas fossas são constituídas pelos mesmos materiais de construção à exceção óbvia da serragem e do BOF na de controle. Muito embora a discussão da barreira reativa para remoção de patógenos não tenha sido foco dessa tese, é necessário mencioná-la a fim de se avaliar o funcionamento conjunto das duas barreiras para se entender a evolução hidrogeoquímica dessa fossa. A parte de patógenos encontra-se no **Anexo VI**.

FA e FC foram construídas na zona não saturada por três motivos principais: praticidade na construção; barateamento dos custos com apenas uma escavação; e a não necessidade de se saber o fluxo subterrâneo.

Anteriormente à fase de implantação das fossas, foi-se ao loteamento para a seleção das áreas. Dentre os aspectos levantados, deu-se preferência a locais: 1) com níveis freáticos a profundidades superiores a 5m (baseando-se no mapa potenciométrico); 2) com domicílios de pelo menos 4 pessoas que estivessem grande parte do dia gerando esgoto e que não tivessem intenção de se mudar; 3) com espaço e facilidade para manobras de escavação e construção das fossas; 4) mais afastados de transeuntes.

Foram pré-selecionados (com base no cadastro anteriormente realizado) e visitados cerca de 6 domicílios. Selecionaram-se duas casas muito próximas entre si, situadas na Rua Curucutu.

5.3.2.1. Modelagem Hidráulica da Fossa Alternativa

A partir de discussões entre integrantes do grupo de pesquisa, chegou-se ao desenho da **Figura 5.3.2.1.1**.

O intervalo de 0,5m a 1,5m corresponde aos filtros, por onde percola a parte líquida do efluente. A granulometria maior da brita 1 promoveria o desenvolvimento da *biomat*, sem que ocorra a oclusão dos poros. Como a camada contendo BOF (*Budget oxygen furnace* – resíduo de altos fornos de fundição em siderúrgicas) – responsável pela degradação de patógenos – eleva o pH a aproximadamente 12 (condição prejudicial às bactérias desnitrificantes), há a necessidade de uma camada de areia média de 1m antes do efluente atingir a camada com serragem. Na parte superior da camada de serragem, a oxidação do C originaria CO₂, diminuindo assim o pH para que a desnitrificação possa ocorrer em níveis mais profundos nessa camada. A camada de serragem é isolada hidraulicamente nas suas partes laterais e inferior e a passagem de efluente desta camada para a porção imediatamente abaixo da fossa se dá através de um dreno, de forma que a camada de serragem mantém-se saturada, condição necessária para assegurar um ambiente redutor para ocorrência da desnitrificação.

Figura 5.3.2.1.1. Desenho da Fossa Alternativa.

Precedendo à instalação da barreira reativa, testou-se o comportamento hidráulico desse projeto de fossa em 2D pelo programa de modelagem numérica *Hydrogeosphere* (Therrien *et al.*, 2004). Foi escrito um arquivo com as informações pertinentes à barreira (no caso, modelou-se tanto a barreira para nitrato como a para patógenos) para ser rodado nesse programa. Para o processamento deste programa, as seguintes informações foram necessárias:

- ❖ Discretização espacial bidimensional: divisão do modelo em blocos, segundo a orientação x (largura) e z (profundidade).
- ❖ Parâmetros da simulação (tipo do fluxo, unidades)
- ❖ Propriedades do aquífero (entorno)
- ❖ Entrada das camadas, ou seja, cada componente vertical da fossa, com suas dimensões e chamada para função em que há as propriedades para cada material (condutividade hidráulica, dispersividade, armazenamento específico, porosidade)
- ❖ Condições de limite para o modelo (profundidade do lençol freático, fluxo por recarga pluviométrica e por efluente na fossa em si)
- ❖ Parâmetros de convergência para transporte
- ❖ Tipo de saída dos resultados (inclusão de poços de observação)

Resultados do modelo para zona não saturada indicaram que as primeiras camadas da fossa mantiveram-se, em sua maior parte, não saturadas (10 a 30% saturadas), indicando que os materiais presentes nesse desenho seriam suficientemente permeáveis para permitir que o efluente percolasse através da fossa sem que essa começasse a transbordar. O modelo também mostrou que parte do efluente no topo da fossa infiltraria no aquífero sem passar pelas barreiras reativas, o que levaria a considerar um revestimento de baixa permeabilidade no momento de sua instalação a fim de se evitar esse fenômeno e de diminuir o risco de colapso das paredes da escavação. A camada comportada pela serragem manteve-se saturada, o que seria possível graças a uma manta impermeável em sua base, sendo o nível d'água no topo controlado pela presença de um dreno (cano de PVC perfurado).

O modelo também calculou as velocidades do fluxo vertical, que por sua vez indica o tempo de residência ao qual o efluente estaria submetido tanto no BOF quanto na serragem. Taxas de fluxo vertical da ordem de 0,2m/dia sugerem que o efluente permaneceria em contato com cada barreira reativa por pelo menos dois dias, tempo suficiente para garantir a remoção dos patógenos e do nitrato.

A análise do modelo da *performance* da Fossa Alternativa encontra-se no artigo em preparação "*Field testing of an alternative latrine design incorporating basic oxygen furnace slag as permeable reactive media for pathogen removal*" (**Anexo VI**).

5.3.2.2. Instrumentos de coleta de amostras

As amostras de água da Fossa Alternativa foram coletadas por pan-lisímetros nas porções menos saturadas da fossa e por piezômetros na barreira com serragem saturada. Em contrapartida, as amostras de água da Fossa Controle foram obtidas apenas com pan-lisímetros. Alguns amostradores de gases também foram alocados em algumas profundidades de ambas as fossas, excetuando-se o intervalo saturado da barreira com serragem.

Os piezômetros (Z) foram feitos com mangueiras de 5/16" de diâmetro. Essas mangueiras tiveram sua extremidade (últimos 5cm) ranhuradas com serra e envolvida com tela microporosa. 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 os 50cm de espessura para essa barreira (**Fotos 5.3.2.2.1 e 5.3.2.2.2**).

A amostragem nas demais camadas ficou a cargo dos pan-lisímetros (P), dada à sua maior capacidade volumétrica (porosidade equivalente a 2L) bem como por ser amostrador de zona não saturada. A estrutura cônica desses lisímetros 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 granular mais fino que o entorno (fossa). Essa estratégia foi 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 (**Fotos 5.3.2.2.3**). A base menor destes cones foi serrada, tampada com folha de PVC e cola quente (**Foto 5.3.2.2.4**). Depois, para confecção dos filtros internos, foram furados com furadeira tubos de PVC de 1" de diâmetro e 30cm de altura e cobertos com telas microporosas (estas foram coladas e fixadas com braçadeiras) (**Fotos 5.3.2.2.5 e 5.3.2.2.6**). Dentro desses tubos colocaram-se mangueiras cristal 5/16" – por onde amostras de água são succionadas - aplicando-se um selo na extremidade do tubo de PVC de 1" para não entrarem partículas indesejadas (**Fotos 5.3.2.2.7 e 5.3.2.2.8**). Estes tubos foram dispostos dentro do cone e sobre a base menor do mesmo (**Foto 5.3.2.2.9**).

Os amostradores de gases (G) são constituídos de cápsulas de teflon poroso na extremidade de um corpo de teflon não poroso, que é conectado por mangueira cristal 5/16" com extensão até a superfície. Esse tipo de material tende a atrair gás em detrimento da água (**Foto 5.3.2.2.10**).

O alinhamento de todos os instrumentos de coleta de amostras obedeceu às posições de Este (E), Centro (C) e Oeste (O) nas fossas. Todas as mangueiras provenientes dos instrumentos foram devidamente identificadas com fitas coloridas: branca para piezômetros, laranja para pan-lisímetros e cinza para amostradores de gases. A identificação correspondeu a: *Letra* que indica o tipo do instrumento (Z de piezômetro, P de pan-lisímetro e G de amostrador de gás) - *Número* do nível em que está o instrumento – *Orientação* (se centro C, oeste O, e leste E).

A sucção das amostras se dava pela conexão das mangueiras cristal dos instrumentos a uma bomba peristáltica *Geopump Series II*. As mangueiras provenientes de todos os amostradores foram direcionadas à parede do furo por onde se estendiam a até pelo menos 1m além da boca do furo, sendo então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço.

5.3.2.3. Fossa Alternativa

Os procedimentos estão ilustrados nas **Fotos 5.3.2.3.1 a 5.3.2.3.50** do **Anexo I**.

A Fossa Alternativa melhorada com barreiras reativas (FA) foi construída na casa de Idália Passos (58) e Antônio Passos (60). Convivem ainda o filho Wilson (30) e quatro netos: Marcos (8), Eduardo (5), Rodrigo (13) e Larissa (4) (**Fotos 5.3.2.3.1 e 5.3.2.3.2**).

Escavação da fossa

A fossa foi construída a uns 12m dos fundos da casa, próxima a algumas bananeiras e à fossa até então em uso (**Foto 5.3.2.3.3**). Devido às chuvas intensas e contínuas, montou-se uma cobertura com lona (**Foto 5.3.2.3.4**). Foi utilizada mão-de-obra local (normalmente uma equipe com 3 pessoas) como forma de se transmitir a técnica à comunidade.

Durante a escavação, foram coletadas amostras a cada 0,5m, feitas descrições macroscópicas e tiradas fotos dos horizontes dentro da fossa (**Fotos 5.3.2.3.5 a 5.3.2.3.8**).

Observou-se 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 gnaiss alterado cor 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 poder comportar um anel de concreto de 1,5m de diâmetro no nível da serragem, necessário para a impermeabilização lateral desta camada. Abaixo dele, perfurou-se com 1,25m a fim de se deixar um degrau para suportar seu peso. Um acesso lateral foi aberto para conexão dos drenos responsáveis pela manutenção do nível d'água na camada da serragem (**Fotos 5.3.2.3.9 e 5.3.2.3.10**).

A perfuração foi terminada após 3,5 dias de trabalho. O preenchimento da fossa com os materiais de construção (areia, brita, etc.) e reativos (serragem e BOF) e instalação dos instrumentos de coleta de amostras levaram mais 5 dias.

Preenchimento da fossa

O preenchimento da fossa da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir. A **Figura 5.3.2.3.1** ilustra a distribuição das camadas e dos instrumentos de amostragem.

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 4,7 a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,25m, totalizando 1,24m³ em volume de material (**Fotos 5.3.2.3.11 a 5.3.2.3.16**).
- 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 (**Foto 5.3.2.3.15**).
- **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 desse anel, foi colocado o dreno horizontal de 2" perfurado e o tubo não perfurado vertical para conexão com outro externo ao anel, fazendo assim a ligação entre os dois drenos das camadas 1 e 2. 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 de Peroba Rosa e 40% de pedrisco (1,0-5,0mm), correspondendo a 0,53m³ e 0,35m³ em volume, respectivamente (**Fotos 5.3.2.3.17 a 5.3.2.3.27**).
- 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 (**Fotos 5.3.2.3.23, 5.3.2.3.26 e 5.3.2.3.27**).

- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 3,5 a 2,5m a um diâmetro de 1,5m (**Fotos 5.3.2.3.28 a 5.3.2.3.32**).
- **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 $0,88\text{m}^3$, $0,53\text{m}^3$ e $0,35\text{m}^3$, respectivamente (**Fotos 5.3.2.3.33 a 5.3.2.3.35**).
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 1,5 a 1,17m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.3.36 a 5.3.2.3.38**).
- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 1,17 a 0,84m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.3.39 a 5.3.2.3.42**).
- **Camada 7:** filtro de brita 1 (9,5-19,0mm) de 0,84 a 0,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.3.43 a 5.3.2.3.45**).
- **Camada 8:** anel de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente de $0,9\text{m}^3$ de capacidade (**Fotos 5.3.2.3.46 a 5.3.2.3.47**).
- De 3,5m a 0,0m, foi feito um anel de brita 1 envolvendo os materiais internos. Essa estrutura foi possível de ser construída graças a um anel-guia de chapa de aço de 1,5mm de espessura e 1,5m de diâmetro. A cada 30cm de preenchimento interno e externo, esse anel-guia era sacado para os próximos 30cm. Foram despendidos $4,8\text{m}^3$ de material nesse anel (**Fotos 5.3.2.3.29 a 5.3.2.3.47**).
- 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 (**Fotos 5.3.2.3.39 a 5.3.2.3.47**).
- 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 (**Fotos 5.3.2.3.48 a 5.3.2.3.50**).

Antes da entrada da água para a caixa de corda no banheiro, foi colocado um registro com precisão de até $0,000001\text{m}^3$, para quantificação do efluente através das descargas.

Figura 5.3.2.3.1. Distribuição das camadas e instrumentos na Fossa Alternativa.

5.3.2.4. Fossa Controle

Os procedimentos estão ilustrados nas **Fotos 5.3.2.4.1 a 5.3.2.4.24** do **Anexo I**.

A fossa controle foi construída na casa de Agenor (58) e Adélia Mendes (55). Convivem ainda mais dois adultos: o filho Jair (30) e sua esposa Lúcia (35).

Escavação da fossa

A fossa foi construída a uns 10m dos fundos da casa, próxima a uma horta e à fossa até então em uso. Devido às chuvas intensas e contínuas, também foi montada uma cobertura com lona (**Fotos 5.3.2.4.1 e 5.3.2.4.2**).

Durante a escavação, foram coletadas amostras a cada 0,5m, feitas descrições macroscópicas e tiradas fotos dos horizontes dentro da fossa (**Fotos 5.3.2.4.3 a 5.3.2.4.5**).

Observou-se pelo perfil descrito, que a rocha predominante corresponde a gnaiss alterado cor 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 dessa profundidade. Um acesso lateral foi aberto nos últimos 3,5m para acomodação das mangueiras dos instrumentos de medida (**Foto 5.3.2.4.6**).

A perfuração foi terminada após 1,5 dias de trabalho. O preenchimento da fossa com os materiais de construção (areia, brita, etc.) e instalação dos instrumentos de coleta de amostras levaram mais 1,5 dias.

Preenchimento da fossa

O preenchimento da fossa da base em direção ao topo seguiu os passos descritos a seguir. A **Figura 5.3.2.4.1** ilustra a distribuição das camadas e instrumentos de amostragem.

- **Camada 1:** Brita 0 (4,8-9,5mm) de 5,0 a 4,5m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.4.7 a 5.3.2.4.9**).
- **Camada 2:** Pedrisco (1,0-5,0mm) de 4,5 a 4,0m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$.
- **Camada 3:** Areia média/grossa (0,25-1mm) de 4,0 a 3,5m a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,88\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.4.10 e 5.3.2.4.11**).
- **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 $1,34\text{m}^3$ e $0,58\text{m}^3$, respectivamente (**Fotos 5.3.2.4.12 a 5.3.2.4.14**).
- **Camada 5:** filtro de pedrisco de 2,5 a 2,16m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando $0,58\text{m}^3$ (**Fotos 5.3.2.4.15 e 5.3.2.4.16**).

- **Camada 6:** filtro de brita 0 de 2,16 a 1,83m de profundidade a um diâmetro de 1,5m, totalizando 0,58m³ (**Fotos 5.3.2.4.17 e 5.3.2.4.18**).
- **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 0,58m³ (**Fotos 5.3.2.4.19 a 5.3.2.4.21**).
- **Camada 8:** três anéis de concreto de 0,5m de altura e 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente (**Fotos 5.3.2.4.22 e 5.3.2.4.23**).
- Após a camada 5, a borda do escavação foi sendo incrementada com pedrisco com o objetivo de afunilar o fluxo para o centro da fossa (**Fotos 5.3.2.4.19 a 5.3.2.4.21**).
- 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 (**Fotos 5.3.2.4.23 e 5.3.2.4.24**).

Antes da entrada da água para a caixa de corda no banheiro, foi colocado um registro com precisão de até 0,000001m³, para quantificação do efluente através das descargas.

Figura 5.3.2.4.1. Distribuição das camadas e instrumentos na Fossa Controle.

5.3.2.5. Plano de amostragem e análises

Foram realizadas 8 campanhas de amostragens das Fossas Alternativa e Controle: inicial (18 de junho/2007), 1ª (01 de agosto/2007), 2ª (10 de setembro/2007) e 3ª (20 de novembro/2007), 4ª (29 de janeiro/2008), 5ª (30 de março/2008), 6ª (1º de junho/2008) e 7ª (10 de setembro/2008). A primeira coleta de água dos pan-lisímetros e piezômetros, denominada de campanha inicial, foi realizada após uma semana de irrigação com água de poço (~200L/dia) nos centros das fossas por parte dos moradores. O objetivo dessa amostragem foi o de testar os instrumentos assim como iniciar os sistemas de saneamento *in situ*.

Pela Fossa Alternativa, passaram-se cerca de 45m³ de esgoto (equivalente a um fluxo médio de 109L/dia) e pela Fossa Controle, cerca de 39m³ (equivalente a um fluxo médio de 85L/dia).

Nessas amostragens, foram coletadas alíquotas para análise de íons maiores, Série Nitrogenada, Carbono Orgânico Dissolvido, concentrações de gases e isótopos em gases e isótopos. Os parâmetros físico-químicos *in situ* foram obtidos com medidores de campo *WTW pH 330i* (pH, temperatura, Eh), *WTW cond 330i* (condutividade elétrica), *WTW oxi 330i* (oxigênio dissolvido). A alcalinidade foi medida em algumas campanhas no próprio campo com um titulador automático da marca *Hach Company* (0,16N e 1,6N H₂SO₄ e indicador verde bromocresol/vermelho de metila) e em outras em laboratório (titulação com 0,1119N H₂SO₄ e indicadores misto/fenolftaleína). Os resultados dos parâmetros *in situ* para todas as campanhas encontram-se nas **Tabelas 5.3.2.5.1 a 5.3.2.5.8 do Anexo III**.

Cátions

As amostras foram filtradas (0,45µm), aciduladas com HNO₃, armazenadas em frascos de polietileno 100mL e congeladas. As campanhas de junho, agosto e setembro foram analisadas no Laboratório de Química do IGc-USP e as demais foram encaminhadas para o laboratório privado CTQ Análises Químicas e Ambientais. As amostras foram analisadas pelo método de espectrometria de absorção atômica com plasma induzido (ICP-AES) por um *Applied Research Laboratories ARL-3410*. Os resultados das análises de cátions para todas as campanhas encontram-se nas **Tabelas 5.3.2.5.9 a 5.3.2.5.16 do Anexo III** e os balanços iônicos nas **Tabelas 5.3.2.5.17 a 5.3.2.5.24 do Anexo III**.

Ânions

As amostras foram filtradas (0,45µm), armazenadas em frascos de polietileno 100mL e congeladas. As campanhas de junho e agosto foram analisadas no Laboratório de Hidrogeoquímica do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-IGc-USP) pelo método de cromatografia de íons por um *Dionex ICS-90*. As demais campanhas foram

encaminhadas ao laboratório privado CTQ Análises Químicas e Ambientais. Os resultados das análises de ânions para todas as campanhas encontram-se nas **Tabelas 5.3.2.5.9 a 5.3.2.5.16** do **Anexo III** e os balanços iônicos nas **Tabelas 5.3.2.5.17 a 5.3.2.5.24** do **Anexo III**.

Série Nitrogenada

Alíquotas foram obtidas para análise de nitrato, TKN e nitrogênio amoniacal, armazenadas em frascos de polietileno 500mL, com preservante H_2SO_4 , e refrigeradas e alíquotas para nitrito, acondicionadas em frascos de polietileno 250mL e refrigeradas. As amostras foram entregues no prazo de até 48h ao laboratório privado Ceimic Análises Ambientais e analisadas por método colorimétrico por um *Spectronic Genesys 20*. De acordo com a ordem de coleta de amostras para as fossas, foram realizadas 6 campanhas para SN: 1ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª e 7ª. Os resultados das análises de Série Nitrogenada para todas as campanhas encontram-se nas **Tabelas 5.3.2.5.25 a 5.3.2.5.30** do **Anexo III**.

Carbono Orgânico Dissolvido

As amostras foram filtradas (0,45 μ m), aciduladas com HCl (ou H_3PO_4), armazenadas em frascos âmbar 30mL (para evitar fotodegradação) e refrigeradas. As amostras foram analisadas pelo método de combustão a alta temperatura: as campanhas de agosto e setembro pelo Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) por um *Shimadzu TOC 5000* e as de novembro em diante pelo *Environmental Geochemistry Laboratory* da *University of Waterloo* por um *Rosemount Analytical Dohrmann DC-190*. Os resultados das análises de Série Nitrogenada para todas as campanhas encontram-se na **Tabela 5.3.2.5.31** do **Anexo III**.

Gases e Isótopos

Amostras de gases e de água foram coletadas nas campanhas de março e junho de 2008 com o objetivo de auxiliar na interpretações das reações que ocorrem nas Fossas Alternativa e Controle.

As amostras de gases foram coletadas dos instrumentos do centro, sendo que na campanha de março corresponderam aos níveis G-5, G-4, G-3 e G-2 de Fossa Alternativa e G-4 a G-1 da Fossa Controle e na campanha de agosto foram todas as citadas, excetuando o nível G-5 (FA) e G-4 (FC).

Na extração dos gases, aplicou-se vácuo nos lisímetros de teflon acoplado-se a bomba peristáltica às conexões em T nos terminais das mangueiras amostradoras. Observava-se o esvaziamento de pouco mais de um volume do instrumento pelo deslocamento de água em uma garrafa de polietileno presa no final do sistema para onde os gases succionados se dirigiam (**Foto 5.3.2.5.1** do **Anexo I**). Utilizou-se desse recurso para garantir que o volume de gás a ser amostrado posteriormente fosse recente e não aquele eventualmente retido no

amostrador desde a coleta da campanha anterior. Após a sucção, os instrumentos ficavam em repouso por algumas horas para que ocorresse a migração dos gases no entorno da cápsula porosa para dentro da mesma. A extração foi realizada através de seringas de 200mL e transferência do conteúdo para frascos de vidro pré-evacuados de 30, 60 e 160mL, selados com septo de borracha de butilo e cravados com anéis de alumínio (**Foto 5.3.2.5.2 do Anexo I**).

No *Environmental Isotope Laboratory* da *University of Waterloo* as amostras de gases foram analisadas quanto à concentração (N_2O , O_2 , CO_2 e CH_4) e a assinatura de alguns isótopos nos mesmos (^{15}N e ^{18}O em N_2O , ^{18}O em O_2 , ^{13}C em CO_2 e ^{13}C em CH_4).

As concentrações de gases foram analisadas pelo cromatógrafo gasoso *Varian CP-3800*, que é equipado com um auto-amostrador *Combi-Pal*, coluna de 2m x 1/8" preenchida com o polímero poroso *Hayesep® D 80/100 mesh* (divinilbenzeno de alta pureza) e os detectores TCD (*Thermal Conductivity Detector*), FID (*Flame Ionization Detector*) e ECD (*Electron Capture Detector*). O gás de arraste usado na fase móvel correspondeu ao Argônio. Como a temperatura é controlada nesse sistema, as concentrações dos gases estão em função das pressões de vapores dos mesmos (Lei de Henry). A precisão associada a essas análises é tipicamente de $\pm 5\%$ em atm de concentração.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ foram obtidos por cromatografia gasosa por combustão acoplada à espectrometria de massas por razão isotópica. Uma sub-amostra de gás é injetada no cromatógrafo gasoso *HP 6890*, onde uma coluna *GS GasPro* (resfriada criogenicamente) separa CH_4 e CO_2 na presença do gás de arraste He. A coluna também separa N_2 de CH_4 . O metano é completamente queimado a CO_2 em um forno de combustão no espectrômetro de Isocromia de Micromassa *VG Isoprime* acoplado ao cromatógrafo gasoso. Os dois pulsos do fluxo de CO_2 no espectrômetro são divididos nas massas 44 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$), 45 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ou $^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$) e 46 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$) e convertidos para razões isotópicas ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). A precisão das análises é de $\pm 0,3\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ e de $\pm 0,5\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$.

As análises de $\delta^{18}\text{O}_{\text{O}_2}$ foram realizadas mediante cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de Isocromia de Micromassa *VG Isoprime*. Uma alíquota de gás é introduzida ao espectrômetro de massa, de razão isotópica, a partir de uma linha de gás de referência de um auto-amostrador *Gilson*, modificado para acomodar o equipamento necessário para a análise de $\delta^{18}\text{O}_{\text{O}_2}$ (Wassenaar & Koehler, 1999). Nesse sistema em linha, o CO_2 e a H_2O são aprisionados em armadilhas antes da amostra passar na peneira molecular de 5 Å, na qual ainda há separação do O_2 do N_2 . O espectrômetro é configurado para medir as massas 32 ($^{16}\text{O}_2$), 33 ($^{16}\text{O}^{17}\text{O}$) e 34 ($^{16}\text{O}^{18}\text{O}$), que são convertidas para razões isotópicas ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). A precisão das medidas para $\delta^{18}\text{O}_{\text{O}_2}$ é de $\pm 0,3\text{‰}$.

Para análise de $\delta^{15}\text{N}_{\text{N}_2\text{O}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{N}_2\text{O}}$, a amostra primeiramente é submetida a um sistema de "Purg and Trap", no qual, juntamente com o gás de arraste He, ela é enviada através de

uma série de armadilhas químicas e membranas dissecadoras para remoção de eventual H_2O e CO_2 da amostra. Uma armadilha de nitrogênio líquido, automatizada criogenicamente, concentra a amostra em N_2O , que depois de purgado, uma concentração de 3 a 15nmol desse gás é injetada em um sistema em linha consistindo de um pré-concentrador de gás traço (*trace gas pre-concentrator system*) acoplado ao espectrômetro de massa VG Isoprime. O pré-concentrador purifica a amostra e cromatograficamente separa N_2O de qualquer CO_2 remanescente. No espectrômetro, há a separação das massas 44 ($^{14}\text{N}_2^{16}\text{O}$), 45 ($^{15}\text{N}^{14}\text{N}^{16}\text{O}$) e 46 ($^{14}\text{N}_2^{18}\text{O}$) para conversão em razões isotópicas $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. As precisões das medidas de $^{15}\text{N}_{\text{N}_2\text{O}}$ e $^{18}\text{O}_{\text{N}_2\text{O}}$ são de 0,3‰ e 0,5‰, respectivamente.

Os resultados das análises de concentrações de gases e isótopos para as duas campanhas realizadas encontram-se na **Tabela 5.3.2.5.32 do Anexo III**.

As amostras de água foram coletadas dos instrumentos do centro para análise de ^{15}N em NH_4^+ e ^{15}N e ^{18}O em NO_3^- no *Environmental Isotope Laboratory* da *University of Waterloo* (UW-EIL). De acordo com as concentrações de NH_4^+ e NO_3^- , as amostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno de 1L ou 100mL. As alíquotas para análise ^{15}N em NH_4^+ foram aciduladas com HCL 1M e todas as amostras foram congeladas.

Para análise de $^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ e $^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$, usou-se uma técnica modificada de Chang *et al.* (1999) e Silva *et al.* (2000) e que consta nos Procedimentos Técnicos nº 30.2 do *Environmental Geochemistry Lab*. As amostras tiveram seu volume reduzido a 500mL respeitando a massa ótima entre 0,2 e 4mg N para que o nitrato pudesse ser concentrado em resinas de troca aniônica sem que ocorresse sua saturação. Adicionou-se cloreto de bário para precipitação de eventual sulfato original da amostra, a fim de que este ânion não competisse com o nitrato na resina. O sobrenadante foi gotejado então em uma resina de troca aniônica (na forma de Cl^-), *Bio-Rad AG1-X8* 100-200 mesh, a uma vazão entre 3 e 5mL/min. A coluna contendo nitrato adsorvido foi lavada com HCl 3M para remoção desse ânion. A solução resultante foi neutralizada pela adição de 8-10g de óxido de prata, até atingir um pH entre 5,3 e 5,9. A solução foi filtrada para remoção de cloreto de prata e desidratada em *freeze dryer* (-50°C) para obtenção do precipitado nitrato de prata, o qual foi armazenado em frascos de âmbar até sua análise pela técnica *EA-IRMS* (*Elemental Analyses - Isotope Ratio Mass Spectrometry*) para determinação de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{18}\text{O}$ em nitrato. O nitrogênio foi convertido a gás por combustão de *breakseal* a 850°C pela mistura de AgNO_3 com os catalisadores óxido de cobre, óxido de cálcio e grânulos de cobre. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ do N_2 obtido por combustão foi determinado pelo espectrômetro de Isocromia de Micromassa VG *Isogas Prism Series II* acoplado ao *Carla Erba Elemental Analyzer (CHNS-O EA1108)*, a partir da conversão das massas 28 ($^{14}\text{N}_2$) e 29 ($^{15}\text{N}^{14}\text{N}$) em razão isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), e relativos ao padrão N_2 da atmosfera. Análises repetidas de padrões e de algumas amostras selecionadas apresentaram uma precisão de $\pm 0,3\%$. O oxigênio foi convertido a CO_2 pela combustão de *breakseal* a 800°C pela mistura de AgNO_3

com grafita em excesso. O valor de $\delta^{18}\text{O}$ do CO_2 obtido foi determinado pelo mesmo espectrômetro de massa com a separação das massas 44 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$), 45 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ou $^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$) e 46 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$) e conversão para razões isotópicas ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), sendo os valores reportados relativos ao *Vienna Standard Mean Ocean Water* (VSMOW). Análises repetidas de padrões e de algumas amostras selecionadas apresentaram uma precisão de $\pm 0,8\text{‰}$.

As **Fotos 5.3.2.5.3 a 5.3.2.5.8 do Anexo I** ilustram os procedimentos de concentração de AgNO_3 para análise de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{18}\text{O}$ em nitrato.

A análise de $^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ foi conduzida usando-se a técnica de difusão (Murray, 2008). Um disco de filtro de quartzo acidificado encapsulado por uma membrana de politetrafluoretileno (PTFE) (**Foto 5.3.2.5.9 do Anexo I**) é colocado em um frasco de 60mL com 20mL de amostra. O pH da amostra é ajustado com uma solução tampão de forma a converter NH_4^+ em gás NH_3 . O frasco é devidamente vedado e colocado em um agitador magnético por aproximadamente 10 dias, a fim de que o NH_3 possa se difundir através do disco de filtro e ficar capturado na forma de NH_4^+ (**Foto 5.3.2.5.10 do Anexo I**). Após esse tempo, os discos são removidos, colocados em um *freeze dryer* por 24h, armazenados em frascos de vidro até serem analisados pelo mesmo espectrômetro de massa. As medidas para $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ apresentam uma precisão de $\pm 0,3\text{‰}$.

Os resultados das análises dos isótopos em água para as duas campanhas realizadas encontram-se na **Tabela 5.3.2.5.33 do Anexo III**.

6. ARTIGO: APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE RISCO SANITÁRIO NO LOTEAMENTO JARDIM SANTO ANTÔNIO, PARELHEIROS, SÃO PAULO

Suhogusoff, A. V.¹; Hirata, R.¹; Ferrari, L. C.²

¹Laboratório de Modelos Físicos (LAMO) - IGc - USP; ²Modcom Consultoria em Modelagem Numérica Ltda.

RESUMO

Os países em desenvolvimento têm uma necessidade urgente de técnicas eficientes e baratas para detecção das condições sanitárias em áreas desprovidas de redes públicas de abastecimento de água e coleta de esgoto. Em se tratando de subúrbios ou áreas com ocupações irregulares, onde existe falta de assistência social, a aplicação de uma metodologia simples pela própria comunidade (previamente treinada) poderia trazer a conscientização da importância de se proteger os recursos hídricos usados para sua subsistência. O método de risco sanitário desenvolvido nesse estudo é baseado em um questionário com algumas perguntas e respostas sim ou não, cujo objetivo principal é identificar problemas relacionados a uma inapropriada construção e/ou operação do poço e à presença de fontes de contaminação próximas ao poço. As perguntas foram selecionadas a partir de um tratamento estatístico denominado clustering, que verificou a relação de diversos aspectos levantados em poços de um loteamento no município de São Paulo com a análise química e bacteriológica para parte deles. Essa análise permitiu observar que a contaminação por bactérias apresentou forte componente local, relacionada ao próprio manejo do poço pelo morador, enquanto que a por nitrato esteve mais associada ao componente regional, ou seja, com o fator distância poço e fossa.

INTRODUÇÃO

É urgente a necessidade dos países em desenvolvimento de disporem de técnicas baratas e eficientes para detecção de condições sanitárias em áreas que não contam com rede canalizada de abastecimento de água e de coleta de esgoto. Em se tratando de regiões periféricas ou de loteamentos irregulares, onde a assistência social é ainda mais precária, a aplicação dessas metodologias simples pela própria comunidade (previamente treinada) poderia conscientizá-la para a adoção de medidas intervenientes em caso de contaminação dos recursos hídricos utilizados para seu abastecimento.

Na porção sul do município de São Paulo, os distritos de Parelheiros e de Engenheiro Marsilac destacam-se por carecer de todo tipo de infra-estrutura. Cerca de 14% da população de Parelheiros reside em favelas e em Marsilac 4%, por ser uma área ainda mais rural (SMVA, 2004). Segundo o IBGE (2001), 81,4% dos domicílios em Parelheiros e 99,7% em Marsilac não estão conectados a uma rede de esgotos, enquanto que o abastecimento de água para 37% dos domicílios em Parelheiros e 97% em Marsilac é feito por poços e nascentes. Esses índices estão associados às piores taxas de mortalidade infantil registradas no município de São Paulo entre 2000 e 2003: em Parelheiros e Marsilac morrem 19,1 e 15,6 crianças respectivamente para cada 1000 nascidos (DATASUS, 2007).

A metodologia de risco sanitário desenvolvida nesse projeto baseia-se em um questionário de poucas perguntas, como qualquer outro utilizado por organismos da Vigilância Sanitária a fim de caracterizar os problemas de saneamento que afetam uma comunidade. Contudo, a técnica aqui proposta procura focar a questão das águas captadas pelas comunidades através de poços escavados (cacimbas), cujas práticas inadequadas relacionadas à sua construção e operação podem acarretar doenças de veiculação hídrica a seus indivíduos.

OBJETIVOS

No presente estudo, pretendeu-se criar uma técnica de identificação de poços cacimbas com maior risco de contaminação de seus usuários, por intermédio de um questionário a ser aplicado por membros da comunidade.

ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo situa-se no loteamento Jardim Santo Antônio, bairro da Barragem, entre os distritos de Parelheiros e Engenheiro Marsilac (sub-prefeitura de Parelheiros), na porção sul do Município de São Paulo (**Figura 1**).

O loteamento fica a sul do braço Taquacetuba da Represa Billings, à margem esquerda do Rio Monos. Corresponde a uma área de manancial situada na Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos (APA-CM), que além da bacia do mesmo nome agrega parte dos reservatórios Guarapiranga e Billings.

A área de estudo está inserida entre as Bacias Hidrográficas do Alto Tietê (BAT) e da Baixada Santista (BBS), 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 da Billings e Guarapiranga e a nascente do Rio Monos (sub-bacia Capivari Monos).

A geologia regional para o município de São Paulo consiste em seqüências pré-cambrianas (Neoproterozóico) representadas por rochas metamorizadas nas fácies xisto verde e anfibolito dos grupos Açungui, São Roque e Serra do Itaberaba e pelos granitos de Embu-Guaçu, Parelheiros e Colônia, parcialmente recobertos por sedimentos terciários e quaternários.

A geologia local é caracterizada por rochas cristalinas metamorizadas do Grupo Açungui (Neoproterozóico), 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. Segundo Rodriguez (1998), essa 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.

METODOLOGIA

Na tentativa de se elaborar um questionário sucinto que pudesse caracterizar a situação sanitária de um poço a partir da observação simples de seus aspectos construtivos e operativos, foi realizado em um primeiro momento o cadastro de todos os 175 lotes do Jardim Santo Antônio, com seus poços e fossas por meio de um questionário inicial e registro fotográfico. A partir do cadastro realizado, foi possível selecionar poços para coleta de água, que fossem representativos para a área de estudo, contemplando-se as diversas características encontradas na região. O tratamento estatístico contrapondo a situação levantada dos poços e as análises de suas águas permitiu a seleção do que seriam as perguntas mais relevantes na elaboração de um questionário final de risco sanitário.

Essa técnica foi adaptada dos estudos realizados por Lloyd & Helmer (1991) para a WHO (World Health Organization). Esses autores desenvolveram um questionário de 10 perguntas, cujo resultado corresponderia a um fator de risco sanitário relacionado às fontes de abastecimento de água utilizadas pelas comunidades rurais inventariadas e inspecionadas por equipes de vigilância sanitária bem preparadas.

O questionário desenvolvido para o trabalho que ora se apresenta correspondeu a um levantamento de dados contendo fundamentalmente as seguintes observações:

- a) Número de adultos e crianças residentes no lote.
- b) Número de poços e fossas e tempo de funcionamento.
- c) Características construtivas das fossas e poços: tipo de revestimento externo e interno (anel, tijolo, terra, bloco); profundidade da obra; tipo de pavimento de entorno (cimento, terra, piso, brita); tipo de tampa (concreto, madeira, telha, metálica); origem do efluente (descarga, chuveiro, cozinha, total, tanque), no caso de fossa.
- d) Irregularidades observadas na operação do poço e seu entorno: se há percolação de água pela cobertura; se está localizado sob uma área coberta; se tem tampa, trincas, vão no acesso ao poço, vão no contato entre a o revestimento externo e a tampa de acabamento; se há possibilidades de infiltração pelo revestimento devido a certas características do poço, como presença de ladrão de água ou mesmo fiação elétrica e mangueira no revestimento externo; sinais de infiltração pelo revestimento; material em suspensão em sua coluna d'água; irregularidades no pavimento de entorno (bioturbações, rachaduras, etc.) e fontes de

contaminação prováveis próximas ao poço (fossas, encanamento de esgoto, criação de animais, água servida, sarjeta, poço do vizinho, horta, etc.).

Realizaram-se coletas de água de 53 poços no loteamento Jardim Santo Antônio. O procedimento de amostragem compreendeu a obtenção de parâmetros físico-químicos *in situ* (pH, temperatura, Eh e condutividade elétrica) com medidores de campo da marca WTW e análise dos ânions Cl^- , F^- , Br^- , NO_3^- , NO_2^- , HPO_4^{2-} e SO_4^{2-} e bactérias em laboratórios.

As amostras de ânions, filtradas e resfriadas, foram encaminhadas ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) do IGc-USP, onde foram analisadas por um cromatógrafo de íons *Dionex 2010i*.

Para a coleta de amostras para análise bacteriológica, primeiramente os frascos foram esterilizados com autoclave. Em campo, adotaram-se procedimentos esterilizantes a fim de evitar a contaminação dos frascos em seu manuseio. As amostras resfriadas foram encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da USP, obedecendo-se o prazo de 24h. As amostras foram analisadas para quatro tipos de parâmetros: coliformes totais, coliformes fecais, *Clostridium sulfitorredutores* e heterotróficas, sendo os três primeiros em membranas filtrantes e o último pelo método de semeadura em placas (*Spread Plate*).

A topografia da área de estudos foi executada com um GPS de alta precisão da marca *Ashtech® ProMark2TM* da *Thales Navigation*, a partir de um GPS móvel (L2), tendo como estação referência uma base (L1) no próprio loteamento. As medições topográfica e geográfica foram realizadas em modo estático e abrangeram poços, fossas, córregos e esquinas de ruas. Para elaboração do mapa potenciométrico, foram medidos os níveis d'água para todos os poços do cadastro (campanha Mar/ 2007). A elaboração de um mapa potenciométrico para a região foi necessária para observação da influência da contaminação de poços por fossas hidráulicamente mais elevadas. Esse critério de análise juntamente com outros aspectos levantados no questionário inicial foram usados no tratamento estatístico pelo método de *clustering*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cenário do loteamento

No Bairro Jardim Santo Antônio, o número de habitantes correspondeu a 790, sendo 72% adultos (com idade superior a 12 anos). O número médio de pessoas por casa é de 4,5 e o seu período médio de permanência é de 8,8 anos.

O abastecimento de água é feito exclusivamente por poços cacimba; registrou-se um total de 218 poços, sendo que 86% encontravam-se ativos.

Com relação à forma de destino do esgoto, 64% das residências utilizam fossas (negras/sépticas), 33% lançam seus efluentes nos córregos e 3% em seus próprios terrenos. Na época, existiam cerca de 180 fossas, sendo 73% delas ativas.

Nas **Figuras 2 a 8**, é possível observar muitos dos aspectos levantados nesse inventário.

O revestimento interno empregado para cerca de 82% dos poços e o externo (boca) para 60% deles correspondem a anéis de concreto. Para os poços com boca de concreto, a tampa de acabamento possui acesso para a água do poço e em 85% dos casos existe vão entre a tampa e o tubo externo; apenas 14% das tampas apresentam trincas significativas em sua superfície. Cerca de 83% dos poços ficam a céu aberto (descobertos) e 80% deles não contam com cimentação sanitária em seu entorno, sendo este predominantemente de terra batida.

Analisando-se os poços quanto à presença de irregularidades devido a sua inadequada operação ou manutenção, destaca-se que a maioria (~70%) apresentou problemas como bioturbação, mato e buracos em seu entorno, independente do tipo do pavimento. Os sinais de infiltração foram observados para pelo menos 44% dos poços sendo a maior parte entre anéis de revestimento interno, seguido pela boca do revestimento externo e pelo acesso da mangueira e fiação elétrica. Cerca de 69% dos poços mostraram-se vulneráveis à contaminação em função da proximidade de algumas fontes potenciais a um raio de influência próximo de 15m, destacando-se as águas servidas (cozinha, chuveiro e tanque) (20%), esgoto indife-renciado (fossas/canos de esgotos), (14%) córregos e sarjetas (8%), além de outras fontes (21%), como alagamento (para bocas de poços muito baixas). Em 58% dos poços, foi verificada presença de material em suspensão, principalmente sujeira, bolhas e espuma.

Qualidade das águas dos poços cacimbas

A maioria das amostras apresentou-se contaminada por bactérias e nitrato. Valores expressivos de nitrato e cloreto sugerem a existência de uma contaminação regional pelas fossas e córregos. As fossas nas porções mais altas da área são construídas muitas vezes até atingirem o lençol freático, ao passo que nas porções mais rasas predomina o lançamento de esgoto diretamente nos córregos.

Apenas dois poços praticamente não apresentaram concentração de nitrato, o que indica que o teor de fundo (*background*) para esse sal nas águas subterrâneas da região é nulo. Cerca de 18% dos poços mostraram valores de nitrato próximos ou muito superiores ao estabelecido pelo padrão de potabilidade (45 mg/L).

Em se tratando de contaminação por bactérias, 7% dos poços apresentaram ausência de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) tanto para coliformes fecais quanto totais, como

prescreve a portaria 518 do Ministério da Saúde. Analisadas para um indicador de contaminação fecal, *Clostridium sulfito-redutores*, todas as amostras apresentaram colônias exceto dois poços. Esses poços com ausência de UFC estão situados em lotes maiores e são menos acessíveis.

Mapa Potenciométrico da área

O mapa potenciométrico pode ser visto na **Figura 9**, bem como a direção do fluxo de água subterrânea em diversos pontos da área. O gradiente hidráulico médio da área estabelece-se em torno de 0,03m/m mas com valores de até 0,12m/m em determinados pontos.

Modelos de Contaminação

Foram inicialmente calculados os semi-variogramas experimentais para os valores dos logaritmos naturais do número de UFC de coliformes totais, coliformes fecais e *clostridium sulfito-redutores* e também dos valores de concentração de nitrato (Kitanidis, 1997). Verificou-se a existência de dois padrões distintos destes semi-variogramas. No caso dos coliformes totais e fecais e do *clostridium*, os semi-variogramas observados, exemplificados na **Figura 10**, apresentaram aspecto de efeito pepita puro. Tal comportamento indica que os números de UFC destes três microorganismos medidos em um determinado poço, pouco ou nada se relacionam às medidas em poços próximos, o que identifica a contaminação por estes microorganismos como fenômeno local, relacionado à operação de cada poço particularmente. Alternativamente, no caso do nitrato, o semi-variograma (**Figura 11**) mostrou o aspecto do de uma variável correlacionada espacialmente, o que identifica a contaminação por nitrato como um fenômeno em escala mais regional. Ao semi-variograma experimental do logaritmo de concentração de nitrato, foi ajustado um modelo esférico, com *range* de 22,3m. Este modelo foi empregado na interpolação dos logaritmos para a área de estudo, através do método de krigagem ordinária (Kitanidis, 1997). Após este procedimento, todos os dados interpolados foram reconvertidos para valores de concentração de NO_3 , resultando no mapa de isovalores apresentado na **Figura 12**. Cabe ressaltar que o mapa de isovalores de nitrato foi elaborado a partir de poços amostrados, o que explica a área retangular mais restrita da figura.

Para o caso dos microorganismos, os mapas de contaminação contêm apenas os valores de UFC medidos (**Figuras 13, 14 e 15**), uma vez que a interpolação de valores de uma variável com aspecto de efeito pepita puro geraria apenas pequenas plumas centradas nos pontos amostrados.

Análise dos dados por Cluster

Os dados levantados através do inventário dos poços e fossas e das análises químicas e bacteriológicas foram analisados pelo Método “*Cluster Analysis*”. Esse método foi utilizado pela primeira vez por Tryon, em 1939, e compreende um conjunto de técnicas e algoritmos para classificação de dados ou elementos. O agrupamento (*joining*) ou *clustering* em árvore (*tree clustering*) usa as dissimilaridades (similaridades) entre objetos (poços, no caso) quando está formando os *clusters*. Similaridades são um conjunto de regras que servem como critério para agrupar ou separar itens, em outras palavras, as variáveis descritivas referentes aos poços e podem ser representadas como distâncias no espaço multidimensional, onde cada dimensão corresponde, neste trabalho, a um tipo de observação realizada nos poços. Esse método visa resolver o problema de como particionar um conjunto de N objetos em k classes mutuamente exclusivas, de tal forma que os objetos em uma mesma classe sejam semelhantes entre si, mas diferentes dos objetos pertencentes às outras classes.

O caminho mais direto para computar distâncias entre objetos em um espaço multidimensional é através de distâncias euclidianas. Se houver um espaço bi ou tridimensional essa medida é a distância geométrica entre os objetos nesse espaço. As distâncias são computadas por dados de observação e não padrões. A vantagem desse método é que a distância entre quaisquer dois objetos não é afetada pela adição de um novo objeto à análise. Entretanto, as distâncias podem ser muito afetadas por diferenças em escala entre as dimensões das quais as distâncias são atribuídas. É conveniente colocar as dimensões em escalas semelhantes.

Para relacionar os *clusters* entre si, foi utilizado como regra de combinação (*amalgamation*) o método *Weighted pair-group average* (Método de Média Aritmética Ponderada, Sneath & Sokal, 1973). Nele, a distância entre dois clusters é calculada como a distância média entre todos os pares de objetos nos dois clusters distintos, porém o tamanho dos respectivos clusters (i.e., o número de objetos contidos neles) é usado como um peso. Dessa forma, esse método deve ser usado quando os tamanhos dos clusters são suspeitos de ser muito desiguais. O programa utilizado para essa análise estatística foi o *Statistica 7.0* da *Statsoft*.

Para a análise de *clustering*, foram selecionados, além dos 53 poços do loteamento para os quais foram realizadas análises químicas de ânions e bactérias, outros 3 em um bairro residencial à beira da Represa Guarapiranga. Isso foi feito objetivando inserir no espaço amostral investigado poços bem construídos e operados, com menor possibilidade de estarem contaminados e assim aumentar a capacidade de avaliação do questionário.

Com o objetivo de se estudar a correlação entre as perguntas do questionário e as respostas de contaminação, atribuíram-se intervalos de 0 a 1 de acordo com a resposta de cada pergunta, sendo “0” para situação adequada e “1” inadequada. Por exemplo, para a

questão “O poço apresenta tampa?”, *sim* é 0 e *não* é 1; para “Há fontes de contaminação próximas ao poço?”, *sim* é 1 e *não* é 0; para “Revestimento interno do poço”, *anel de concreto* é 0 pois se trata de uma situação mais ideal se comparada a *tijolo* ou a *sem revestimento* (poço somente escavado), em cujos casos o valor “1” é mais apropriado. Portanto, através desta representação numérica das respostas do questionário, poços com mais respostas “0” estariam com menor probabilidade de estarem ou virem a ser contaminado do que outros com mais “1”.

No caso de contaminação por nitrato (NO_3^-), atribuíram-se valores 1 para qualquer poço que apresentasse concentração de NO_3^- maior que 1mg/L e 0 para poços praticamente não contaminados, ou seja, com NO_3^- menor que 1mg/L. A contaminação definida desta forma foi denominada “ NO_3^- - Contaminação Crua”.

Considerando-se as variáveis “Coliformes totais”, “Coliformes fecais” e “*Clostridium sulfito-redutores*”, valores 0 foram designados para amostras de poços com nenhuma ou 1 UFC (Unidade Formadora de Colônia) e valores 1 para amostras com mais de 1 UFC.

Foi adicionada mais uma variável baseada na relação de distância poço e fossa a partir da observação do mapa potenciométrico. Por meio de raios de influência centralizados em cada um dos poços amostrados, pôde-se notar quais fossas estavam à montante hidráulica do poço em questão. A cada poço foi associado um valor de 0, 0,25, 0,5, 0,75 e 1, caso a fossa mais próxima do poço e à montante hidráulica estivesse a uma distância maior que 30 metros, entre 30 e 25 metros, entre 25 e 20 metros, entre 20 e 15 metros e menor que 15 metros, respectivamente.

A **Tabela 1** ilustra a atribuição de valores para cada uma das variáveis consideradas no método.

Na **Figura 16**, observa-se o resultado da aplicação do método aos 56 poços amostrados sobre 17 aspectos levantados pelo questionário, acrescidos de questões baseadas nas análises da água de cada poço. Verifica-se fundamentalmente a constituição de dois grupos principais: o Primeiro Grupo relaciona um conjunto de perguntas (desde “Revestimento da boca do poço” a “Percolação de Água pela Cobertura”) e o Segundo Grupo relaciona o restante das perguntas (desde “Poço coberto” a “Sinais de infiltração na parede interna”), onde aparecem as variáveis “Coliformes totais”, “Coliformes fecais”, “*Clostridium sulfito-redutores*” e “ NO_3^- - contaminação crua”.

De acordo com o método, quanto menor a distância entre dois objetos no gráfico, maior é a correlação entre eles. Desta forma, verifica-se que as perguntas do Segundo Grupo são as que mais se relacionam às contaminações examinadas, enquanto a relação entre as questões contidas no Primeiro Grupo são muito pouco relacionadas às tais contaminações e, portanto, desnecessárias na avaliação da qualidade da água dos poços estudados.

A **Figura 16** indica que a contaminação por nitrato pouco se relaciona à existência de fossas próximas e à montante hidráulica do poço, associando apenas às características locais de construção dos poços, o que contradiz o que foi discutido sobre o semi-variograma das concentrações de nitrato. Para estudar melhor o efeito regional sobre este contaminante, foram introduzidas duas outras variáveis: " NO_3^- - contaminação considerando padrão de potabilidade" e " NO_3^- - contaminação em escala". Em contaminação considerando padrão de potabilidade, aos poços que apresentaram concentrações de NO_3^- superiores a 45mg/L, associaram-se valores 1, e 0 para concentrações menores do que esta. Em contaminação em escala, foi empregado um intervalo fracionado para abranger os diversos graus de contaminação por NO_3^- : de 0 a 10mg/L (0), de 10 a 20mg/L (0,25), de 20 a 30mg/L (0,50), de 30 a 40mg/L (0,75) e para $\text{NO}_3^- > 40\text{mg/L}$ (1). Considerando que, dentre as variáveis levantadas na **Tabela 1**, apenas "distância poço – fossa (fluxo)" teve caráter regional, verificou-se como esta variável se relacionava com todas as contaminações definidas. Na **Figura 17**, observa-se que as contaminações em escala e pela potabilidade se relacionam bem à variável regional, enquanto as contaminações por microorganismos e " NO_3^- - contaminação crua" não. Desta forma, conclui-se que, de fato, as contaminações por microorganismos vinculam-se à origem local, não tendo relação com o transporte de microorganismos de fossas até os poços contaminados através de água subterrânea. Por outro lado, muito embora exista relação entre variáveis locais e contaminação por nitrato, este efeito local sofre superposição de outro mais regional, ligado ao transporte de NO_3^- pela água subterrânea. A existência de um aspecto local da contaminação por nitrato evidencia-se mais uma vez na **Figura 17**, onde se verifica que " NO_3^- - contaminação crua" não se relaciona à variável regional.

CONCLUSÕES

Segundo a análise de clusters, no Segundo Grupo estão envolvidas questões com as variáveis de contaminação (nitrato e bactérias), e, portanto, seriam elas as mais apropriadas para serem inseridas em um questionário de risco sanitário. O questionário pode ser mais sucinto também se forem eliminados atributos com grandezas semelhantes. Dessa forma, o questionário poderia ter o formato da **Figura 18**.

Cabe ressaltar que quanto maior o número de "sim", maior o risco do poço estar contaminado, o que não quer dizer que para casos em que há todas respostas negativas não haja contaminação. O interessante é notar que se trata de uma avaliação limitada, pois é difícil ter o controle de variáveis que fogem ao campo de visão do examinador, como por exemplo, fontes de contaminação subterrâneas, provenientes de um poço vizinho contaminado ou de um encanamento subterrâneo abandonado cuja existência não fora mencionada pelo proprietário do lote. A importância desse questionário está em separar

poços que apresentam todas as chances de estarem contaminados daqueles que podem não estar, o que poderia restringir a malha de amostragem de água para análises químicas durante uma caracterização sanitária de uma dada área.

No caso específico do nitrato, cabe ressaltar que muito embora exista uma relação entre a existência de concentrações maiores do que 1mg/L e as características levantadas no Segundo Grupo, a intensidade destas concentrações parece governada pela existência de fossas a pequenas distâncias dos poços e à montante em termos hidráulicos. Desta forma, apenas a aplicação do questionário seria insuficiente para indicar se determinado poço apresenta valores de nitrato acima dos de potabilidade.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo e à Pesquisa do Estado de São Paulo através de um Projeto de Auxílio (processo nº 05/00315-5) e uma bolsa de doutorado direto (processo nº 04/03484-4). Os autores contaram com a ajuda valiosa de diversos colegas do IGc-USP, além membros da própria comunidade, na etapa de cadastro dos lotes na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DATASUS (2007). Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. URL: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>.
- IBGE (2001). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico do Brasil. URL: <http://www.ibge.gov>.
- Kitanidis, P. K. (1997). Introduction to geostatistics: applications to hydrogeology. Cambridge, Cambridge University Press, 249p.
- Lloyd, B & Helmer, R. (1991). Sanitary Inspections. In Surveillance of drinking water quality in rural areas. Published on behalf of the World Health Organization and United Nations Environment Programme. Longman Scientific & Technical, London, p. 62-81.
- Rodriguez S. K. (1998). Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 171p.
- SMVA (2004). Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente. URL: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente.
- Statsoft (2004). Statistica: data analysis software system. Version 7, Statsoft, Inc. Tulsa, Oklahoma, USA
- Vieira, S. R. S. (1996). Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP. Tese de Doutorado. Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 210p.
- Sneath, P. H. A. & Sokal, R.R (1973). Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. San Francisco, W. H. Freeman, 573p.

Figura 1. Mapa de localização.

Figura 2. Materiais usados no revestimento da boca do poço.

Figura 3. Materiais usados no revestimento interno do poço.

Figura 4. Tipos de materiais usados como tampa do poço.

Figura 5. Tipo de pavimento na região de entorno ao poço.

Figura 6. Fontes potenciais de contaminação do poço.

Figura 7. Sinais de infiltração observados na parede do poço.

Figura 8. Número de casos contabilizados para as Categorias: 1) "Uso de balde"; 2) Percolação de água pela cobertura em direção à boca do poço"; 3) "Poço sob cobertura"; 4) "Mudança nos aspectos da água notada pelo morador"; 5) Presença de acesso na tampa"; 6) "Presença de vão entre a tampa e o tubo do revestimento externo"; 7) Presença de vão no acesso ao poço"; e 8) "Presença de trincas na tampa do poço".

Figura 9. Mapa potenciométrico levantado para a área.

Figura 10. Semi-variograma experimental relacionado ao logaritmo natural do número de UFC de Coliformes Totais.

Figura 11. Semi-variograma experimental relacionado ao logaritmo natural da concentração de nitrato.

Figura 12. Distribuição de nitrato na área.

Figura 13. Distribuição de coliformes totais na área.

Figura 14. Distribuição de coliformes fecais na área.

Figura 15. Distribuição de *clostridium sulfito-redutores* na área.

Figura 16. Análise de *cluster* para 21 variáveis.

Figura 17. Análise de *cluster* apresentando caráter regional da contaminação por nitrato.

PROGRAMA DE VIGILÂNCIA E MELHORAMENTO DA ÁGUA

FORMULÁRIO DE PESQUISA SANITÁRIA PARA A DETERMINAÇÃO DE RISCOS DE CONTAMINAÇÃO EM POÇOS

Poço escavado (cacimba)

1) Informações Gerais

Localização:
 Cidade (Bairro):
 Proprietário:
 Data de visita:
 Uso da água: () água bebível, () rega jardim (), agrícola (), lavagem de quintal (), saneamento (), doméstico (), outros () _____

2) Informações Específicas para o Diagnóstico

	RISCOS	
	SIM	NÃO
A) O poço é descoberto?	☐	☐
B) Caso o poço apresente acesso, há vão à mostra?	☐	☐
C) Há vão entre a tampa de acabamento e o revestimento externo?	☐	☐
D) O pavimento de entorno é cimentado?	☐	☐
E) Existem irregularidades no pavimento de entorno ao poço?	☐	☐
F) Há sinais de infiltração em sua parede interna ?	☐	☐
G) Há material em suspensão na água do poço?	☐	☐
H) Há alguma fonte de contaminação próxima ao poço?	☐	☐

Figura 18. Modelo de questionário de risco sanitário.

Tabela 1. Atribuição de valores para as variáveis consideradas.

VARIÁVEIS	VALOR 0	VALOR 1
Revestimento da boca do poço	Anel de cimento	Outro
Revestimento do poço	Anel de cimento	Outro
Poço em atividade	Sim	Não
Idade do poço	t<13anos (0) / 13-30anos (0,5) / t>30anos (1)	
Uso de balde	Não	Sim
Percolação de água pela cobertura	Não	Sim
Poço coberto	Sim	Não
Tampa	Sim	Não
Tipo de tampa	Concreto	Outra
Vão entre a tampa e o tubo	Não	Sim
Vão no acesso ao poço	Não	Sim
Trincas na tampa	Não	Sim
Tipo de revestimento no pavimento de entorno	Cimento	Outro
Irregularidades no pavimento de entorno	Não	Sim
Fontes de contaminação prováveis	Não	Sim
Sinais de infiltração na parede interna	Não	Sim
Irregularidades na parede interna	Não	Sim
Material em suspensão	Não	Sim
Distância poço-fossa (fluxo)	D>30m (0) / 30-25m (0,25) / 25-20m (0,5) / 20-15m (0,75) / D<15m (1)	
NO ₃ ⁻ - contaminação crua	NO ₃ ⁻ <1mg/L	NO ₃ ⁻ >1mg/L
NO ₃ ⁻ - contaminação pela potabilidade	NO ₃ ⁻ <45mg/L	NO ₃ ⁻ >45mg/L
NO ₃ ⁻ - contaminação em escala	<10mg/L (0) / 10-20mg/L (0,25) / 20-30mg/L (0,5) / 30-40mg/L (0,75) / C>40mg/L (1)	
Coliformes totais	UFC<=1	UFC>1
Coliformes fecais	UFC<=1	UFC>1
Clostridium sulfito-redutores	UFC<=1	UFC>1

7. ARTIGO: USO DE SERRAGEM COMO MATERIAL REATIVO PERMEÁVEL PARA ATENUAÇÃO DE NITRATO EM ENSAIOS DE COLUNAS DE SEDIMENTOS

Suhogusoff, A. V.¹; Hirata, R.¹; Ferrari, L. C.²

¹Laboratório de Modelos Físicos (LAMO) - IGc - USP; ²Modcom Consultoria em Modelagem Numérica Ltda.

RESUMO

Sendo as fossas sépticas, mesmo as bem construídas, pouco efetivas onde há alta densidade populacional, foi desenvolvido e aplicado no loteamento Jardim Santo Antônio (Parelheiros) um novo conceito de saneamento *in situ*: uma fossa alternativa melhorada com uso de barreiras reativas, que possibilitasse a degradação mais eficiente de nitrato e de microorganismos patogênicos. A barreira reativa para remoção de nitrato foi alvo de estudos desse projeto. Antes da implantação da fossa alternativa melhorada, foram realizados experimentos de colunas de sedimentos em laboratório para se testar a eficiência de serragem na degradação de nitrato. Montaram-se 3 colunas: uma só com sedimentos da área (C1) e as outras duas com sedimentos e 10cm (C2) e 20cm (C3) de espessura de uma mistura de areia com serragem (material reativo). A eficiência na remoção de nitrato da solução nas colunas com material reativo foi inicialmente bastante elevada: C3 atuou por 600 horas com mais de 90% de eficiência e C2, por apenas 40 horas. C3 foi em média 1,3 vezes mais eficiente na redução das concentrações de nitrato do que C2. As porcentagens correspondentes à remoção de nitrato em relação às massas totais injetadas em C2 e C3 foram de respectivamente 13,5% e 37%.

INTRODUÇÃO

Foi selecionada no distrito de Parelheiros (sul do município de São Paulo) uma área piloto em um loteamento carente de infraestrutura de saneamento básico para implantação de um sistema de barreiras reativas com a função de atenuar patógenos e nitrato advindos de fossas negras.

A falta de uma rede pública de abastecimento nesse tipo de cenário faz com que grande porcentagem da população utilize poços cacimbas para o suprimento de suas necessidades de água, do mesmo jeito que as fossas sépticas ou negras (ou mesmo o lançamento dos efluentes diretamente nos corpos de água superficiais) substituem as conexões à rede pública de esgoto. A precariedade dos sistemas de saneamento *in situ*, na prática, traduz-se na disposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Além de bactérias e vírus, o nitrato corresponde a um contaminante comum lançado nas águas subterrâneas através desses sistemas. A densidade demográfica em um loteamento apenas piora a situação de contaminação.

O desenvolvimento de uma fossa melhorada com barreiras reativas mostra-se como alternativa na tentativa de abrandar o problema de contaminação.

Para a atenuação de nitrato, existem diversos estudos (Robertson & Cherry, 1995; Robertson & Anderson, 1999; Schipper & Vojvodic-Vulkovic, 1998, 2001; Robertson *et al.*, 2000; Hirata & Cesarino, 2003) mostrando a potencialidade de carbono como doador de elétrons em reações de desnitrificação. O presente artigo descreve os ensaios de colunas de sedimentos realizados em laboratório, nos quais testou-se a eficiência da serragem (material reativo) para degradação de nitrato, com o objetivo de alicerçar a implementação da tecnologia de barreiras reativas em escala de campo.

OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi o de estudar o papel da serragem na degradação de nitrato em colunas de acrílico contendo material geológico da área de estudos. Realizaram-se em laboratório ensaios testando-se duas espessuras distintas de uma mistura de areia com serragem (material reativo) para observação da variação de concentração de nitrato com o tempo a partir de injeções de soluções com alta concentração desse ânion.

MATERIAIS

A coluna correspondeu a um cilindro de acrílico (*plexiglass*) de 5cm de diâmetro e 40cm de comprimento, em cujas extremidades adaptam-se discos (*endplates*), também de *plexiglass*, ranhurados concêntrica e radialmente e presos à coluna por parafusos; sob a depressão das ranhuras nos *endplates* são ajustados um filtro grosso e um fino (este em contato direto com os sedimentos). Em cada um dos *endplates*, há duas conexões macho em rosca (*nylon*) de 1/8" com *O-ring* (fabricante *Swagelok*) para inserção de duas mangueiras de Teflon por onde percolam os fluidos (**Figura 1**).

Os sedimentos usados nas colunas foram coletados de alguns pontos da área de estudos, o loteamento Jardim Santo Antônio (Parelheiros). Esse loteamento fica a sul do braço Taquacetuba da Represa Billings, à margem esquerda do Rio Monos. Corresponde a uma área de manancial situada na Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos (APA-CM), que além da bacia do mesmo nome agrega parte dos reservatórios Guarapiranga e Billings. A geologia local é caracterizada por rochas cristalinas metamorizadas do Grupo Açungui (Neoproterozoico), 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. Segundo Rodriguez (1998), essa 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.

Os sedimentos coletados a uma profundidade média de 3m corresponderam basicamente ao regolito de rochas gnáissicas a xistosas do Complexo Embu. A mineralogia consiste em quartzo, feldspatos, muscovita, biotita e anfibólio. Os sedimentos apresentaram coloração predominantemente avermelhada com granulação areno-siltosa.

METODOLOGIA

O experimento contou com três colunas: a Coluna 1 (C1) foi montada apenas com solo da região, a Coluna 2 (C2) com 10cm de material reativo inserido no meio do solo e a Coluna 3 (C3) com 20cm de material reativo no meio do solo.

O material sedimentar foi seco em estufa a 60°C por 48h e depois desagregado, passando por uma peneira de 9 $mesh$. Os sedimentos foram então empacotados gradualmente (~200cm³ de cada vez) com o auxílio de um pilão de aço. Para a inserção do material reativo nos intervalos de 10 e 20cm das Colunas 2 e 3, respectivamente, foi preparada uma mistura de serragem de cedrinho (espécie *Erismia uncinatum* Warm., família *Vochysiaceae*) e areia quartzosa média, de forma a corresponder a um *foc* de 2,5%. O teor de carbono para o solo e a serragem obtidos pela análise elementar através do laboratório Central Analítica (Instituto de Química –USP), utilizando-se um *Perkin-Elmer CHN 2400*, foram de 0,20% e 45,18%, respectivamente.

As colunas foram pesadas de quatro formas diferentes: seca; preenchida d'água; preenchida de sedimentos seca; e preenchida de sedimentos saturada. O objetivo das pesagens foi o de obter parâmetros físicos tais como densidade do material e volume de poros (VP) da coluna (**Tabela 1**).

Antes da saturação das colunas preenchidas de sedimentos, estas foram submetidas à uma injeção de CO₂ por 24h para que este gás substituísse o O₂ dos poros. Esse artifício é usado para aumentar as chances de se obter uma saturação por água completa, já que o CO₂ é mais facilmente dissolvido em água do que o O₂. O escape de gases das colunas foi observado em suas outras extremidades pelo borbulhamento em um *becker* preenchido de água.

A saturação das colunas foi realizada através de uma bomba peristáltica de baixa vazão da marca *Watson Marlow* modelo 401U/DM3 e foi feita de baixo para cima com água artificial.

Após as colunas estarem saturadas, procedeu-se com a injeção contínua da solução com nitrato, o que durou por todo o experimento. No início desses ensaios, criou-se um pulso de um traçador conservativo (brometo), a fim de se obter parâmetros hidráulicos do microcosmo do aquífero proporcionado pela coluna, como velocidade de fluxo e dispersão. A coleta de amostras era realizada na extremidade superior da coluna, obedecendo o sentido da saturação inicial das colunas.

A vazão da bomba foi ajustada para a média de 1VP (VP das colunas C1, C2 e C3 respectivamente de 282, 250 e 338mL) por dia para as 3 colunas, correspondendo a aproximadamente 0,2mL/min.

A primeira solução de influente foi introduzida nas três colunas com uma concentração de $\text{NO}_3^- \cong 65\text{mg/L}$ e de $\text{Br}^- \cong 60\text{mg/L}$, e a um pH de aproximadamente 7 e temperatura em torno de 25°C , condições essas satisfatórias para um bom desempenho das bactérias desnitrificantes.

Essa solução foi então injetada nas colunas previamente saturadas com água destilada. As amostragens iniciaram-se 0,5VP após essa injeção, com coleta sistemática de 3 em 3 horas para levantamento da curva concentração vs tempo do traçador Br^- , com acúmulo de amostra de pelo menos 2h. A solução de influente apresentou um volume de 822mL, que, distribuído para as 3 colunas, perfaz 274mL para cada uma delas, i. e., aproximadamente 1 VP. Dessa forma, a solução inicial demorou 23h para ser completamente injetada (após o que outras soluções contendo só nitrato foram injetadas). A frente dos solutos Br^- e NO_3^- começou a chegar no ponto de amostragem findo esse período. A amostragem sistemática para captura da curva do traçador durou ao todo 60h (ou 2,5VP), com a coleta de 60 amostras (20 para cada coluna) com 20mL em média de volume. Em alguns intervalos de 1h, foram coletadas amostras para análise de COD (total de 12 amostras) e análises instantâneas de pH e condutividade elétrica (CE).

Após o pulso de Br^- , continuou-se com a injeção de NO_3^- à concentração aproximada de 65mg/L ($\text{pH} \cong 7,0$ e $T \cong 25^\circ\text{C}$) com o propósito de se acompanhar a evolução de sua degradação por um tempo mais longo. O experimento total teve uma duração de 2140h (cerca de 3 meses), totalizando 108 amostras coletadas (36 para cada coluna).

Análises

As amostras para análise dos ânions NO_3^- e Br^- foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar, resfriadas e processadas em um cromatógrafo de íons *Dionex 2010i* pelo Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) do Instituto de Geociências da USP. As amostras de COD foram analisadas pelo método de combustão a alta temperatura por um *Shimadzu TOC 5000* pelo Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curvas Concentração vs Quantidade de Volumes de Poros

Curvas de brometo (C/C_0) vs VP para as três colunas foram construídas (**Figuras 2 a 7, Tabela 2**), adotando-se C_0 de 59mg/L.

A injeção de 24h de brometo em cada coluna gerou essas curvas aproximadamente gaussianas que se estenderam a até 80h ou (aproximadamente 3,5VP). O maior espalhamento da curva na Coluna 1 (branco) ocorre devido à maior dispersão do soluto (traçador) para esse caso; o empacotamento presente na espessura com serragem das Colunas 2 e 3 diminui a dispersão, uma vez que os tamanhos dos poros e os trajetos intraporos mais uniformes propiciam caminhos menos divergentes para o fluxo d'água.

Para se obter valores de parâmetros de transporte para as três colunas, utilizou-se o *software STANMOD CXTFIT 2.2* (Toride *et al.*, 1999). Esse programa, baseando-se em uma solução analítica da equação de advecção e dispersão, permite que se ajustem os parâmetros de transporte de soluto, de forma que a diferença entre os valores de concentração preconizados pela solução analítica e os das concentrações observadas em experimentos de injeção de traçador em laboratório ou em campo seja mínima.

Os valores calibrados para velocidade e dispersividade, considerando o brometo como traçador conservativo e sem retardação, são apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3 Valores calibrados pelo CXTFIT 2.2.

Parâmetros	C1	C2	C3
v (cm/h)	1,7	1,7	1,5
D (cm)	4,17	1,66	0,55

As velocidades calculadas pelo programa mostram que o tempo de residência da solução para as colunas C1, C2 e C3 correspondem a 24,4h, 23,5h e 27,4h. Os tempos de residência da solução no material reativo, calculados através das velocidades acima e das espessuras da mistura areia-serragem de cada coluna foram de aproximadamente 5,9 h para a coluna 2 e 13,3 h para a coluna 3.

No levantamento das curvas de nitrato (C/C_0) vs VP para as três colunas (**Figuras 2 a 7, Tabela 2**), adotou-se C_0 médio de 65mg/L.

Considerando uma injeção contínua de nitrato no período ensaiado, as curvas para a Coluna 1 mostram que o nitrato se comporta como o brometo: em questão de 10h (0,43VP), esse ânion atinge o fim da coluna com concentrações máximas daquelas de entrada (~65mg/L). Para o caso da Coluna 2 (10cm de material reativo), o nitrato começa a aparecer após 20h (1VP), alcançando concentrações da ordem de $0,90C_0$ após 591h (28VP) e para a Coluna 3 (20cm de material reativo), esse ânion começa a surgir somente após 364,5h (13VP), atingindo concentrações de cerca de $0,90C_0$ após 741h (26VP), cabendo ressaltar que os valores de concentrações finais para essa coluna não atingiram aquele da injeção.

Eficiência da desnitrificação

As **Figuras 8 a 11** mostram a eficiência na redução de concentrações de nitrato e a taxa de degradação de nitrato de cada uma das colunas com serragem (tendo como base

comparativa a Coluna 1) como função do tempo. A eficiência em porcentagem da Coluna 2, por exemplo, foi calculada segundo a equação

$$Eficiência(t) = 100 \cdot \frac{I_{C1}(t) - I_{C2}(t)}{I_{C1}(t)} \quad \text{equação 1}$$

na qual $I_{Ci}(t)$ é a integral, calculada através do método do trapézio, da curva C/C_0 de Nitrato vs tempo para a coluna i entre o tempo 0 e o tempo t . Já a taxa de degradação da Coluna 2, $\lambda_2(t)$ que regula o decaimento exponencial provocado pela ação da serragem presente na Coluna 2 na degradação do nitrato como função do tempo foi calculada através da equação:

$$\lambda_2(t) = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{I_{C1}(t)}{I_{C2}(t)} \right) \quad \text{equação 2}$$

A eficiência e a taxa de degradação da Coluna 3 foram calculadas de modo análogo (**Tabela 4**).

Observa-se que a curva de eficiência da Coluna 2 apresenta uma linha de tendência exponencial, enquanto que a curva da Coluna 3 tenta esboçar o mesmo padrão, contudo com a definição de dois patamares: um entre 0 e 500h e outro entre 1100 e 1700h.

Em ambas as colunas, a eficiência na remoção de nitrato da solução é inicialmente bastante elevada: a Coluna 2 chega a atingir uma eficiência de 96,5% e a Coluna 3, 99,7%. Em quase 1300h de experimento, tal eficiência reduz-se a valores da ordem de 20% para a Coluna 2 e 40% na Coluna 3, sendo que o tempo em que a Coluna 3 atua com mais de 90% de eficiência (~600 horas) é consideravelmente superior ao tempo em que a Coluna 2 atua com mesma porcentagem (~40 horas). A comparação entre as eficiências das duas colunas indica que, na média, a Coluna 3 é 1,3 vezes mais eficiente na redução das concentrações de nitrato que a Coluna 2, considerando-se todo o tempo de experimento.

Considerando uma eficiência de cerca de 30%, suficiente para reduzir C_0 a um valor abaixo do padrão de potabilidade, a Coluna 2 seria adequada, ao propósito de remediação, por um tempo de 935h e a Coluna 3 por 1673h.

A comparação das curvas de taxa de degradação mostra que λ relativo à Coluna 3 é em média 6 vezes superior que o relacionado à Coluna 2. Considerando-se o intervalo entre 17 e 56h, a meia vida média do nitrato da Coluna 2 é de 15h, ao passo que a da Coluna 3 é de apenas 4h. Em 460h para a Coluna 2 e 600h para a Coluna 3, a meia vida decai abruptamente para aproximadamente 1300h e 1000h, respectivamente.

As massas de nitrato que atravessaram as colunas após todo o experimento corresponderam a 1,68g para a Coluna 1, 1,66g para Coluna 2 e 1,46g para a Coluna 3. A massa de carbono contida nas misturas reativas das Colunas 2 e 3 por meio da serragem corresponderam a 6,3g e 12g, respectivamente. A integração das massas desnitrificadas ao

longo do tempo experimentado da Coluna 2 e Coluna 3 resultaram nos valores de 224mg (13,5% da massa injetada em C2) e 538mg (37% da massa injetada em C3), respectivamente. Já a integração da tendência das massas de COD ao longo do tempo mostra que houve passagem de aproximadamente 1g de COD para cada uma das colunas. Esse 1g de COD não utilizado na desnitrificação indica que o tempo de residência da solução nas colunas não são suficientes para interação máxima de aproveitamento entre bactérias e carbono/nitrato. O tempo de residência mostra que o fluxo de nitrato é superior à capacidade de carbono ser liberado da serragem e assimilado em solução. O fato da eficiência da Coluna 3 ser maior do que a Coluna 2 e a massa desnitrificada de C3 ser 2,5 vezes maior do que C2 também sugere que não só a quantidade de carbono, mas a espessura do material reativo, e portanto, o tempo de residência, tem influência na taxa de desnitrificação.

A diferença expressiva entre o carbono contabilizado na serragem e o carbono consumido na desnitrificação somado ao COD (excesso) pode ser explicada pela disponibilidade de carbono livre na estrutura molecular da serragem. No emprego de materiais em barreiras reativas, torna-se desejável que a real taxa de solubilização de carbono seja conhecida a fim de não se utilizar essa tecnologia a uma capacidade inferior da esperada somente por estequiometria simples de massas.

CONCLUSÕES

Nas duas colunas com materiais reativos, a eficiência na remoção de nitrato da solução é inicialmente bastante elevada: na Coluna 3, o tempo em que a serragem atua com mais de 90% de eficiência é de aproximadamente 600 horas, ao passo que na Coluna 2, esse tempo é bem menor, de apenas 40 horas. A Coluna 3 é em média 1,3 vezes mais eficiente na redução das concentrações de nitrato que a Coluna 2 considerando todo o tempo ensaiado. As porcentagens das massas totais de nitrato que passaram pelas Colunas 2 e 3 foram respectivamente de 13,5% e 37%. A quantidade de nitrato degradada obtida não é condizente com o que se esperava pela estequiometria $C:NO_3^-$, o que mostra a observância de dois fatores: tempo de residência adequado da solução contaminada no material reativo e pronta disponibilidade de carbono na fase dissolvida.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo e à Pesquisa do Estado de São Paulo através de um Projeto de Auxílio (processo nº 05/00315-5) e uma bolsa de doutorado direto (processo nº 04/03484-4). Os autores também são gratos ao Dr. Jesse Stimson pela assistência na montagem das primeiras colunas e pela obtenção dos materiais envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hirata, R. & Cesarino, A. (2003). Barreiras reativas: Uma tecnologia de baixo custo para aquíferos contaminados. *Meio Ambiente Industrial*. p. 109-113.
- Robertson, W. D. & Anderson, M. R. (1999). Nitrogen removal from landfill leachate using an infiltration bed coupled with a denitrification barrier. *Groundwater monitoring & remediation*, Fall, 1999, p.73-80.
- Robertson, W.D.; Blowes, D. W.; Ptacek, C. J. & Cherry, J.A. (2000). Long-term performance of in situ reactive barriers for nitrate remediation. *Groundwater*, v. 38, n. 5, p. 689-695.
- Robertson, W. D. & Cherry, J. A. (1995). In situ denitrification of septic-system nitrate using reactive porous media barriers: Field trials. *Groundwater*, v. 33, n. 1, p. 99-111.
- Rodriguez S. K. (1998). Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 171p.
- Schipper, L. & Vojvodic-Vukovic, M. (2001). Five years of nitrate removal, denitrification and carbon dynamics in denitrification wall. *Water Research*, v. 35, n. 14, p. 3473-3477.
- Schipper, L. & Vojvodic-Vukovic, M. (1998). Nitrate removal from groundwater using a denitrification wall amended with sawdust: field trial. *Journal of Environmental Quality*, v. 27, n. 3, p. 664-668.
- Statsoft, 2004. Statistica: data analysis software system. Version 7, Statsoft, Inc. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Toride, N., F. J.; Leij, van Genuchten M. Th. (1999). The CXTFIT code for estimating transport parameters from laboratory or field tracer experiments. Version 2.1. Research Report nº 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA. 121 p.
- Vieira, S. R. S. (1996). Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP. Tese de Doutorado. Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 210p.

Figura 1. Esquema de uma coluna de sedimentos.

Figura 2. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 1 (intervalo de 0-100 VP).

Figura 3. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 1 (intervalo de 0-12 VP).

Figura 4. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 2 (intervalo de 0-100 VP).

Figura 5. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 2 (intervalo de 0-20 VP).

Figura 6. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 3 (intervalo de 0-80 VP).

Figura 7. Curvas de nitrato e brometo para a Coluna 3 (intervalo de 0-20 VP).

Figura 8. Eficiência (%) da Coluna 2 vs tempo (h).

Figura 9. Eficiência (%) da Coluna 3 vs tempo (h).

Figura 10. Taxa de degradação (1/h) vs tempo (h) - Coluna 2.

Figura 11. Taxa de degradação (1/h) vs tempo (h) - Coluna 3.

Tabela 1. Dados obtidos para as Colunas 1, 2 e 3.

Parâmetro	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Unidade
Peso seco	1144	1154	1158	g
Peso úmido	1978	2023	2019	g
Peso sedimentar seco	2370	2482	2374	g
Peso sedimentar úmido	2652	2732	2712	g
Volume total	834	869	861	g ou mL
Densidade	1.470	1.528	1.412	g/cm ³
Porosidade	0.338	0.288	0.393	%
Volume de Poros	282	250	338	mL
Q	0.196	0.174	0.235	mL/min

Tabela 2. Valores de C/C_0 para NO_3^- e Br^- vs VP.

Tempo (h)	COLUNA 1		COLUNA 2					COLUNA 3				
	$f(t)=C/C_0$	Integração numérica	$f(t)=C/C_0$	Integração numérica	$EC_2(t)$ (%)	λ (1/h)	$t_{1/2}$ (h)	$f(t)=C/C_0$	Integração numérica	$EC_3(t)$ (%)	λ (1/h)	$t_{1/2}$ (h)
0	0.000		0.000					0.000				
2	0.002	0.002	0.001	0.001	13.861	0.075	9.291	0.003	0.003	-69.307	-0.263	-2.633
5	0.001	0.006	0.001	0.005	16.511	0.050	13.984	0.002	0.009	-61.784	-0.076	-9.102
8	0.002	0.010	0.001	0.007	28.750	0.110	6.274	0.001	0.013	-26.838	0.110	6.274
11	0.006	0.021	0.002	0.011	48.948	0.113	6.140	0.001	0.015	28.505	0.193	3.588
14	0.069	0.134	0.001	0.015	89.148	0.322	2.154	0.002	0.019	85.983	0.269	2.573
17	0.169	0.492	0.001	0.017	96.509	0.302	2.295	0.002	0.024	95.166	0.269	2.577
20	0.314	1.217	0.027	0.060	95.095	0.122	5.678	0.001	0.028	97.681	0.277	2.500
23	0.442	2.351	0.038	0.157	93.307	0.107	6.482	0.001	0.031	98.674	0.278	2.492
26	0.579	3.882	0.035	0.266	93.141	0.108	6.413	0.027	0.073	98.112	0.117	5.903
29	0.707	5.812	0.041	0.381	93.452	0.098	7.078	0.083	0.239	95.880	0.074	9.405
32	0.798	8.069	0.066	0.541	93.290	0.078	8.899	0.021	0.395	95.099	0.114	6.066
35	0.830	10.510	0.106	0.800	92.388	0.059	11.814	0.001	0.428	95.932	0.200	3.472
38	0.918	13.132	0.148	1.182	90.997	0.048	14.450	0.001	0.430	96.726	0.185	3.737
41	0.903	15.864	0.165	1.653	89.582	0.041	16.735	0.001	0.432	97.274	0.168	4.135
44	0.909	18.582	0.195	2.193	88.201	0.035	19.786	0.000	0.434	97.665	0.302	2.295
47	0.923	21.330	0.211	2.800	86.872	0.031	22.041	0.000	0.434	97.966	0.283	2.448
50	0.946	24.134	0.240	3.475	85.599	0.027	25.247	0.000	0.434	98.202	0.267	2.600
53	0.999	27.050	0.283	4.260	84.253	0.024	29.142	0.000	0.434	98.396	0.253	2.744
56	1.015	30.071	0.339	5.193	82.731	0.020	35.390	0.001	0.435	98.554	0.130	5.338
59	1.021	33.126	0.379	6.270	81.073	0.017	41.243	0.007	0.446	98.653	0.085	8.148
74.5	1.020	48.946	0.339	11.832	75.826	0.015	46.856	0.002	0.513	98.953	0.085	8.174
79.5	1.022	54.052	0.363	13.586	74.864	0.013	53.202	0.002	0.523	99.033	0.078	8.938
105.5	1.012	80.501	0.326	22.542	71.997	0.011	64.553	0.001	0.563	99.301	0.066	10.442
129.5	1.022	104.909	-	-	-	-	-	0.002	0.598	99.430	0.048	14.388
200	1.017	176.769	0.440	58.752	66.763	0.004	165.569	0.001	0.705	99.601	0.034	20.142
268.5	1.032	246.942	0.480	90.285	63.439	0.003	243.454	0.000	0.740	99.700	0.050	13.869
364.5	-	-	0.677	145.852	-	-	-	0.020	1.712	-	-	-
460.5	1.023	444.221	0.805	217.014	51.147	0.001	1333.355	0.079	6.476	98.542	0.006	124.626
604.5	1.021	591.397	0.910	340.488	42.426	0.000	3627.943	0.670	60.383	89.790	0.001	993.682
770.5	1.011	760.013	0.941	494.068	34.992	0.000	7462.643	0.949	194.777	74.372	0.000	8570.525
941.5	1.023	933.892	0.946	655.425	29.818	0.000	8378.607	-	-	-	-	-
1133.5	1.008	1128.888	0.959	838.320	25.739	0.000	15639.597	0.937	537.244	42.473	0.000	10803.058
1277.5	1.005	1273.855	1.023	980.989	22.990	0.000	-51349.700	0.975	674.933	40.213	0.000	28865.785
1469	1.022	1468.006	1.018	1176.433	19.862	0.000	260510.718	0.949	859.199	32.551	0.000	13772.030
1612	1.030	1614.740	1.012	1321.621	18.153	0.000	64673.713	0.870	989.274	32.611	0.000	6611.332
2140	1.006	2152.277	0.998	1852.354	13.935	0.000	182855.016	0.874	1449.707	10.220	0.000	10555.709

Tabela 4. Valores de eficiência e de taxa de degradação para as Colunas 2 e 3.

Amostra	Hora	COLUNA 1			COLUNA 2			COLUNA 3		
		VP	C/C ₀ Br ⁻	C/C ₀ NO ₃ ⁻	VP	C/C ₀ Br ⁻	C/C ₀ NO ₃ ⁻	VP	C/C ₀ Br ⁻	C/C ₀ NO ₃ ⁻
1	2	0.09	1.70E-06	1.55E-03	0.10	1.70E-06	1.33E-03	0.07	1.70E-06	2.62E-03
2	5	0.21	1.70E-06	1.26E-03	0.24	1.70E-06	9.82E-04	0.18	1.70E-06	1.84E-03
3	8	0.34	1.70E-06	1.86E-03	0.38	1.70E-06	7.67E-04	0.28	1.70E-06	7.67E-04
4	11	0.47	3.59E-03	5.52E-03	0.53	2.21E-03	1.60E-03	0.39	1.70E-06	6.60E-04
5	14	0.60	6.22E-02	6.93E-02	0.67	2.23E-03	7.67E-04	0.50	1.70E-06	1.60E-03
6	17	0.72	1.68E-01	1.69E-01	0.82	4.65E-02	9.97E-04	0.60	1.70E-06	1.75E-03
7	20	0.85	3.23E-01	3.14E-01	0.96	2.07E-01	2.74E-02	0.71	7.51E-03	1.23E-03
8	23	0.98	4.66E-01	4.42E-01	1.10	4.37E-01	3.77E-02	0.82	9.10E-02	7.36E-04
9	26	1.11	6.14E-01	5.79E-01	1.25	6.20E-01	3.49E-02	0.92	2.99E-01	2.73E-02
10	29	1.23	7.08E-01	7.07E-01	1.39	8.14E-01	4.13E-02	1.03	6.25E-01	8.34E-02
11	32	1.36	7.98E-01	7.98E-01	1.54	9.42E-01	6.60E-02	1.14	8.87E-01	2.06E-02
12	35	1.49	8.06E-01	8.30E-01	1.68	9.87E-01	1.06E-01	1.24	1.02E+00	7.67E-04
13	38	1.62	8.98E-01	9.18E-01	1.82	9.85E-01	1.48E-01	1.35	1.04E+00	7.98E-04
14	41	1.74	8.21E-01	9.03E-01	1.97	9.11E-01	1.65E-01	1.46	1.04E+00	9.36E-04
15	44	1.87	6.72E-01	9.09E-01	2.11	8.49E-01	1.95E-01	1.56	1.08E+00	1.53E-06
16	47	2.00	5.41E-01	9.23E-01	2.26	6.27E-01	2.11E-01	1.67	1.01E+00	1.53E-06
17	50	2.13	4.45E-01	9.46E-01	2.40	4.17E-01	2.40E-01	1.78	7.88E-01	1.53E-06
18	53	2.26	3.49E-01	9.99E-01	2.54	2.38E-01	2.83E-01	1.88	4.41E-01	1.53E-06
19	56	2.38	2.44E-01	1.02E+00	2.69	1.02E-01	3.39E-01	1.99	1.94E-01	7.06E-04
20	59	2.51	1.78E-01	1.02E+00	2.83	4.44E-02	3.79E-01	2.09	8.38E-02	6.75E-03
21	74.5	3.17	2.06E-02	1.02E+00	3.58	3.26E-03	3.39E-01	2.64	3.98E-03	1.84E-03
22	79.5	3.38	8.84E-03	1.02E+00	3.82	2.04E-03	3.63E-01	2.82	3.04E-03	2.15E-03
23	105.5	4.49	6.80E-04	1.01E+00	5.06	1.53E-03	3.26E-01	3.75	1.19E-03	9.20E-04
24	129.5	5.51	1.70E-06	1.02E+00	6.21	-	-	4.60	1.19E-03	1.99E-03
25	200	8.51	1.70E-06	1.02E+00	9.60	1.02E-03	4.40E-01	7.10	1.70E-06	1.04E-03
26	268.5	11.43	1.70E-06	1.03E+00	12.89	1.70E-06	4.80E-01	9.53	1.70E-06	1.53E-06
27	364.5	15.50	-	-	17.50	1.70E-06	6.77E-01	12.94	1.70E-06	2.02E-02
28	460.5	19.60	4.25E-04	1.02E+00	22.10	1.70E-06	8.05E-01	16.35	1.70E-06	7.90E-02
29	604.5	25.72	1.70E-06	1.02E+00	29.02	1.70E-06	9.10E-01	21.46	1.70E-06	6.70E-01
30	770.5	32.79	1.70E-06	1.01E+00	36.98	1.70E-06	9.41E-01	27.36	1.70E-06	9.49E-01
31	941.5	40.06	1.70E-06	1.02E+00	45.19	1.70E-06	9.46E-01	33.40	-	-
32	1133.5	48.23	1.70E-06	1.01E+00	54.41	1.70E-06	9.59E-01	40.24	1.70E-06	9.37E-01
33	1277.5	54.36	1.70E-06	1.01E+00	61.32	1.70E-06	1.02E+00	45.36	1.70E-06	9.75E-01
34	1469	62.51	1.70E-06	1.02E+00	70.51	1.70E-06	1.02E+00	52.15	1.70E-06	9.49E-01
35	1612	68.60	1.70E-06	1.03E+00	77.38	1.70E-06	1.01E+00	57.23	1.70E-06	8.70E-01
36	2140	91.06	1.70E-06	1.01E+00	102.72	1.70E-06	9.98E-01	75.98	1.70E-06	8.74E-01

C₀ Br⁻=59mg/L e C₀ NO₃⁻=65mg/L

8. ARTIGO: IMPLANTAÇÃO DE UMA FOSSA ALTERNATIVA COM O EMPREGO DE SERRAGEM COMO BARREIRA REATIVA PERMEÁVEL PARA REMOÇÃO DE NITRATO: ESTUDO PILOTO EM PARELHEIROS (MUNICÍPIO DE SÃO PAULO)

Suhogusoff, A. V.¹; Stimson, J.²; Hirata, R.¹; Aravena, R.³; Blowes, D.³; Ptacek, C.³;
Robertson, W.³; Ferrari, L. C.⁴

¹ Instituto de Geociências - USP; ²Amec Geomatrix Consultants, Inc.; ³ Department of Earth and Environmental Sciences - University of Waterloo; ⁴Modcom Consultoria em Modelagem Numérica Ltda.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi o de implantar e avaliar uma tecnologia que viesse a minimizar os impactos causados por sistemas de saneamento *in situ* nos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Sendo as fossas sépticas, mesmo as bem construídas, pouco efetivas onde há alta densidade populacional, foi desenvolvido e aplicado no loteamento Jardim Santo Antônio (Parelheiros) um novo conceito de saneamento *in situ*: uma fossa alternativa (FA) melhorada com uso de barreiras reativas, que possibilitasse a desnitrificação de nitrato e degradação de microorganismos patogênicos. A barreira reativa com serragem para remoção de nitrato foi alvo de estudos desse projeto. Além de FA, para base de comparação, foi construída uma Fossa Controle (FC), sem materiais reativos, representando o esgotamento usualmente empregado pela comunidade. A construção de FA contou com o uso de materiais de baixo custo e de fácil obtenção, mas de grande alcance no que diz respeito à remoção de patógenos e nitrato. Embora a degradação de cerca de 65% da maior concentração de nitrato alcançada em FA esteja longe de ser ideal, certos aprimoramentos no desenho dessa fossa podem trazer resultados muito mais satisfatórios.

INTRODUÇÃO

Segundo dados do último levantamento da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2000), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 66,5% dos domicílios brasileiros (52,2% dos 5.507 municípios registrados para o ano da pesquisa) não têm serviço público de coleta de esgoto e para 36,1% (2,1% dos municípios registrados), a rede de abastecimento de água não está disponível.

Focando os distritos a sul do Município de São Paulo, 81,4% dos domicílios em Parelheiros e 99,7% em Marsilac não estão conectados à uma rede de esgotos, enquanto o abastecimento de água para 37% dos domicílios em Parelheiros e 97% em Marsilac é feito por poços e nascentes.

O saneamento inadequado nessa região tem grande peso nos índices de mortalidade infantil (mortes de crianças menores do que 1 ano por 1000 nascidos vivos): Parelheiros apresenta uma taxa de 19,1 e Marsilac de 15,6, em levantamento realizado entre os anos de 2000 a 2003 (DATASUS, 2007).

De uma forma geral, a falta de uma rede pública de abastecimento faz com que grande porcentagem da população utilize poços cacimbas, do mesmo jeito que as fossas sépticas ou negras (ou mesmo o lançamento dos efluentes diretamente nos corpos de água superficiais) substituem as conexões à rede pública de esgoto. A precariedade dos sistemas de saneamento *in situ*, na prática, traduz-se na disposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Além de bactérias e vírus, o nitrato corresponde a um contaminante comum lançado nas águas subterrâneas através desses sistemas. Concentrações superiores a 10mg/L NO_3^- -N (aproximadamente 44mg/L NO_3^-) podem causar metahemoglobinemia e câncer (WHO, 1999; USEPA, 1995).

As favelas agravam essa situação uma vez que a densidade populacional é grande, com a concentração de fossas negras muito próximas aos poços cacimbas, sendo piores os casos quando os assentamentos ocorrem em áreas de proteção de mananciais (APA), onde, por força da lei, não é possível ter infra-estrutura pública. Somente na Bacia do Guarapiranga, dos 790 mil moradores, 100 mil vivem em favelas, enquanto que no entorno da Represa Billings vivem 900 mil habitantes, sendo 161 mil em favelas (SABESP, 2004).

Os estudos, conduzidos em um loteamento situado em área de mananciais a sul do Município de São Paulo (Sub-prefeitura de Parelheiros), partiram primeiramente do desenvolvimento de um método que caracterizou os riscos de contaminação da água captada através de poços cacimba, apresentado em Suhogusoff *et al.* (2010a). Após o cadastro de todo loteamento e experimentos de colunas de sedimentos em laboratório para testes de materiais reativos (Suhogusoff *et al.*, 2010b), selecionou-se uma área piloto para instalação de uma fossa alternativa melhorada com um sistema de barreiras reativas para atenuação de bactérias/vírus e nitrato. Para a degradação de microorganismos, o material reativo utilizado correspondeu ao BOF (*Basic Oxygen Furnace* – resíduo de altos fornos de fundição em siderúrgicas) (Stimson *et al.*, 2008, 2010) e para a desnitrificação, a serragem. Esse artigo descreve os resultados advindos do desempenho da barreira reativa para remoção de nitrato.

OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma fossa melhorada de baixo custo com a instalação de uma barreira reativa capaz de estimular a desnitrificação em plumas contaminantes de aquíferos rasos, em áreas de alta densidade populacional.

ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo situa-se no loteamento Jardim Santo Antônio, bairro da Barragem, entre os distritos de Parelheiros e Engenheiro Marsilac (Sub-prefeitura de Parelheiros), na porção sul do Município de São Paulo.

A área de estudo está inserida entre as bacias hidrográficas do Alto Tietê (BAT) e da Baixada Santista (BBS), 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).

O loteamento fica a sul do braço Taquacetuba da Represa Billings, à margem esquerda do rio Monos. Corresponde a uma área de manancial situada na Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos (APA-CM), que além da bacia do mesmo nome agrega parte dos reservatórios Guarapiranga e Billings, e conta com 65 mil habitantes.

A geologia regional para o município de São Paulo consiste em seqüências pré-cambrianas (Neoproterozóico) representadas por rochas metamorizadas nas fácies xisto verde e anfibolito dos grupos Açungui, São Roque e Serra do Itaberaba e pelos granitos de Embu-Guaçu, Parelheiros e Colônia, parcialmente recobertos por sedimentos terciários e quaternários.

A geologia local é caracterizada por rochas cristalinas metamorizadas do Grupo Açungui (Neoproterozóico), 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. Segundo Rodriguez (1998), essa 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. Sondagens a trado realizadas no loteamento Jardim Santo Antônio revelaram um material avermelhado de granulação areno-siltosa, correspondendo ao regolito de rochas gnáissicas do Complexo Embu, cuja mineralogia consistia de quartzo, feldspato, muscovita, biotita e anfibólio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Definição

Barreira reativa (BR) é definida como uma obra de engenharia em subsuperfície caracterizada por um meio reativo interceptador de uma pluma contaminante capaz de

transformar o(s) contaminante(s), de maneira passiva, em formas inócuas por processos físicos, químicos e biológicos, atendendo-se às metas de concentração de remediação à jusante da barreira (USEPA, 1998).

As qualidades desejáveis em uma barreira são: a) baixo custo; b) fácil obtenção dos materiais construtivos; c) feita com um material que não venha a implicar em contaminação secundária; d) longa durabilidade; e) homogênea, para prevenir o carreamento das partículas constituintes da BR, gerando caminhos preferenciais de fluxo da água contaminada; e f) largura suficiente para evitar que o fluxo subterrâneo se disperse (Gavaskar *et al.*, 1998).

A BR à qual esse artigo se refere correspondeu ao tipo biológica. Nela, desenvolve-se uma reação de óxido-redução intermediada por bactérias desnitrificantes, onde o nitrato, na presença de um doador de elétrons (no caso, a serragem) e em condições redutoras, é convertido em N₂.

Instalação das fossas

Foram construídas duas fossas na área de estudos: uma Fossa Alternativa melhorada com barreiras reativas (FA) e uma sem a presença de materiais reativos, denominada de Fossa Controle (FC). Essa fossa representou a forma de esgotamento sanitário comum encontrada no loteamento e serviu como base comparativa para a observação da evolução do nitrato junto à fossa provida de material reativo.

As duas fossas foram construídas na zona não saturada devido à praticidade na construção e ao barateamento dos custos com apenas uma escavação.

A seleção das áreas para instalação das fossas considerou os seguintes aspectos: níveis freáticos mais profundos do que a extensão vertical das fossas; domicílios de pelo menos 4 pessoas que estivessem grande parte do dia gerando esgoto e que não tivessem intenção de se mudar; espaço e facilidade para manobras de escavação e construção das fossas; e distância de transeuntes.

O desenho inicial de FA correspondeu à seguinte sucessão de camadas com o aumento da profundidade: um tanque para recepção de até 130L/dia de esgoto; três camadas de filtros formados por materiais granulares grossos (sucessão de brita 0, brita 1 e pedrisco) para melhor infiltração do efluente e formação do *biomat*; primeira barreira reativa composta por uma mistura com BOF para a remoção de patógenos, responsável por elevar o pH para cerca de 12; camada arenosa para a regulação do pH para valores ótimos (~7) permitindo assim a atuação de bactérias nitrificantes na transformação de todo nitrogênio para a forma oxidada de nitrato; segunda barreira reativa, constituída por uma mistura de serragem com pedrisco, que sob condição anaeróbia promovida pela saturação induzida nessa camada,

age como doador de elétrons para a redução de nitrato a N_2 ou um composto intermediário, como N_2O , por intermédio de bactérias desnitrificantes; e por fim, uma camada granular grossa para onde o efluente já tratado em termos de patógenos e nitrato infiltra-se.

Precedendo à instalação da FA na área piloto, esse desenho teve seu comportamento hidráulico testado em 2D pelo programa de modelagem numérica de elementos finitos *Hydrogeosphere* (Therrien *et al.*, 2004). Os resultados mostraram que o desenho proposto para essa fossa funcionaria apropriadamente para uma carga de esgoto esperada de aproximadamente 130L/dia. Os índices de saturação para a fossa, à exceção da barreira com serragem (onde a saturação foi induzida a fim de garantir condições anaeróbias para a ocorrência da desnitrificação), mantiveram-se entre 10 e 30%. A velocidade vertical linear de 0,2 a 0,5m/dia sugeriu que o efluente permaneceria em contato com cada barreira reativa entre um e dois dias, tempo suficiente para a remoção do nitrato e patógenos. A modelagem hidráulica de FA encontra-se melhor descrita em Stimson *et al.* (2010) (**Anexo VI**).

Instrumentos de coleta de amostras

O alinhamento de todos os instrumentos de coleta de amostras obedeceu às posições de Este (E), Centro (C) e Oeste (O) nas fossas.

As amostras de água da barreira reativa com serragem foram obtidas através de *piezômetros* (Z), feitos com mangueira de 5/16" de diâmetro. Essas mangueiras tiveram sua extremidade (últimos 5cm) ranhuradas com serra e envolvida com tela microporosa. Os piezômetros na camada da serragem compuseram cinco níveis de amostragem para cada posição E, C e O, com seus filtros espaçados de 10 em 10cm perfazendo os 50cm de espessura para essa barreira.

Todas as demais amostras de água ao longo do perfil das duas fossas foram coletadas por meio de *pan-lisímetros* (P). Estes correspondem a cones de polietileno com 50cm de altura e 30cm de diâmetro de boca, preenchidos por material granular mais fino que o entorno para melhor captura do fluxo. Um filtro interno (tubo de PVC de 1" de diâmetro e 30cm de altura, furado e coberto com tela microporosa) é posicionado na base menor do cone e conectado por mangueira cristal 5/16" com extensão até a superfície.

Alguns *amostradores de gases* (G) também foram alocados em algumas profundidades, que não fossem o intervalo saturado induzido da barreira com serragem. Esses instrumentos constituem-se de cápsulas de teflon poroso (material hidrofóbico) na extremidade de um corpo de teflon não poroso, que é conectado por mangueira cristal 5/16" com extensão até a superfície.

A sucção das amostras se dava pela conexão das mangueiras cristal dos instrumentos a uma bomba peristáltica *Geopump Series II*. As mangueiras provenientes de todos os

amostradores foram direcionadas à parede do furo por onde se estendiam a até pelo menos 1m além da boca do furo, sendo então dispostas em uma caixa cimentada com tampa de aço.

A identificação dos instrumentos correspondeu a: Letra que indica o tipo do instrumento (P de pan-lisímetro, Z de piezômetro ou G de amostrador de gás) - Número do nível em que está o instrumento (1, 2, 3, 4 e 5 para FA ou 1, 2, 3 e 4 para FC) – Orientação (centro C, oeste O, e leste E) (**Figuras 1 e 2**). Grande parte dos resultados descritos a seguir referem-se aos níveis dos instrumentos, p.e., P-5, P-4, ..., Z).

Fossa Alternativa

A Fossa Alternativa foi construída a 12m dos fundos de uma casa onde viviam 3 adultos e quatro crianças. Um registro instalado antes da caixa de descarga mostrou que o esgoto médio produzido pela família era de 109L/dia.

A escavação atingiu 4,7m de profundidade total, 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 poder comportar um anel de concreto de 1,5m de diâmetro no nível da barreira com serragem (entre 3,5 e 4,0). Abaixo dele, perfurou-se com 1,25m a fim de se deixar um degrau para suportar seu peso.

A **Figura 1** ilustra a distribuição das camadas e dos instrumentos na Fossa Alternativa. A seguir, descrevem-se as camadas da base em direção ao topo:

Camada 1 (de 4,7 a 4,0m): brita 0 (4,8-9,5mm);

Camada 2 (de 4,0 a 3,5m): anel de cimento de 1,5m de diâmetro envolto por uma manta impermeável e preenchido por uma mistura de 60% de serragem de peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) e 40% de pedrisco (1,0-5,0mm), um dreno de PVC de 2" de diâmetro na base dessa camada com conexão a outro no topo da Camada 1 controla o nível da água no topo da barreira;

Camada 3 (de 3,5 a 2,5m): areia média a grossa (0,25-1mm);

Camada 4 (de 2,5 a 1,5m): mistura de 50% BOF (3-18mm), 30% de pedrisco e 20% de brita 0;

Camada 5 (de 1,5 a 1,17m): pedrisco;

Camada 6 (de 1,17 a 0,84m): brita 0;

Camada 7 (de 0,84 a 0,5m): brita 1 (9,5-19,0mm);

Camada 8 (de 0,5 a 0m): anel de concreto de 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente (capacidade de 0,9m³).

De 3,5m a 0,0m, foi feito um anel de brita 1 envolvendo os materiais internos com o auxílio de um anel-guia de chapa de aço de 1,2m de diâmetro.

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.

Fossa Controle

A Fossa Controle foi construída a 10m dos fundos de uma casa onde viviam 4 adultos. Um registro instalado antes da caixa de descarga mostrou que o esgoto médio produzido pela família era de 85L/dia.

A escavação atingiu 5,0m de profundidade total, com 1,7m de diâmetro até 1,5m (folga necessária para colocação de 3 anéis de cimento), e com 1,5m de diâmetro até 5,0m.

A **Figura 2** apresenta a distribuição das camadas e dos instrumentos na Fossa Controle. Abaixo estão descritas as camadas da base em direção ao topo:

Camada 1 (de 5,0 a 4,5m): brita 0;

Camada 2 (de 4,5 a 4,0m): pedrisco;

Camada 3 (de 4,0 a 3,5m): areia média a grossa;

Camada 4 (de 3,5 a 2,5m): mistura de 70% de brita 0 e 30% de pedrisco;

Camada 5 (de 2,5 a 2,16m): pedrisco;

Camada 6 (de 2,16 a 1,83m): brita 0;

Camada 7 (de 1,83 a 1,5m): brita 1;

Camada 8 (de 1,5 a 0m): três anéis de concreto de 1,5m de diâmetro compondo o tanque vazio para recepção do efluente (capacidade de 2,7m³).

Plano de Amostragem e análises

Antes de conectar os canos de esgotos às fossas, estas foram irrigadas por uma semana com água de poço para teste dos instrumentos, sendo realizada então a primeira coleta de amostras (junho de 2007). Após a ligação com o esgoto, foram realizadas mais 7 campanhas de amostragem, no período entre agosto/2007 e setembro/2008 e que corresponderam aos tempos corridos $t = 45, 85, 155, 225, 285, 346$ e 448 dias. Como se verá no tópico de *Resultados*, a visualização por meio de figuras, no entanto, considerou apenas 4 campanhas para uma observação mais clara ($t = 45, 155, 285$ e 448 dias). A descrição dos resultados em si por outro lado é baseada nos dados dos instrumentos de coleta do centro da fossa, já que o centro representa de forma semelhante o comportamento das demais posições. Seções considerando as três posições também ilustram o comportamento dos diversos parâmetros analisados.

As amostras foram submetidas a análises de cátions (método ICP-AES em um *Applied Research Laboratories ARL-3410*, pelos laboratórios de Química do IGc-USP e CTQ Análises Químicas e Ambientais), ânions (método de cromatografia de íons em um *Dionex ICS-90*, pelos laboratórios de Hidrogeoquímica do IGc-USP e CTQ Análises Químicas e

Ambientais), Série Nitrogenada (método colorimétrico em um *Spectronic Genesys 20*, pelo laboratório Ceimic Análises Ambientais) e Carbono Orgânico Dissolvido (método de combustão a alta temperatura em um *Shimadzu TOC 5000* pelo Laboratório de Saneamento da EESC-USP e em um *Rosemount Analytical Dorhmann DC-190* pelo *Environmental Geochemistry Laboratory* da *University of Waterloo*). Somente para a campanha de t=85 dias, não foram coletadas amostras para análise de Série Nitrogenada.

Em duas campanhas (t= 285 e 346 dias), coletaram-se gases para análise de concentração de N_2O , O_2 , CO_2 e CH_4 e dos isótopos ^{15}N e ^{18}O em N_2O , ^{18}O em O_2 , ^{13}C em CO_2 e ^{13}C em CH_4 pelo *Environmental Isotope Laboratory* da *University of Waterloo*. As concentrações de gases foram analisadas pelo cromatógrafo gasoso *Varian CP-3800*, enquanto que $\delta^{13}C_{CO_2}$, $\delta^{13}C_{CH_4}$, $\delta^{18}O_{O_2}$, $\delta^{15}N_{N_2O}$ e $\delta^{18}O_{N_2O}$ foram obtidos por um cromatógrafo gasoso *HP 6890* acoplado ao espectrômetro de Isocromia de Micromassa *VG Isoprime*.

Amostras de água também foram coletadas nessas duas campanhas para análise dos isótopos ^{15}N e ^{18}O em NO_3^- e ^{15}N em NH_4^+ pelo *Environmental Isotope Laboratory* da *University of Waterloo*. Na análise de $^{15}N_{NO_3}$ e $^{18}O_{NO_3}$, usou-se uma técnica modificada de Chang *et al.* (1999) e Silva *et al.* (2000) e que consta nos Procedimentos Técnicos nº 30.2 do *Environmental Geochemistry Lab*. Nitrato é concentrado em resinas de troca aniônica, removido com HCl 3M, e precipitado na forma de $AgNO_3$ mediante reação com óxido de prata. Por combustão a alta temperatura, os valores de $\delta^{15}N$ e $\delta^{18}O$ são obtidos através do espectrômetro de Isocromia de Micromassa *VG Isogas Prism Series II* acoplado ao *Carla Erba Elemental Analyzer (CHNS-O EA1108)*. A análise de $^{15}N_{NH_4}$ foi conduzida usando-se a técnica de difusão (Murray 2008, modificada de Spoelstra *et al.* 2006), na qual um disco de filtro de quartzo acidificado encapsulado por uma membrana de politetrafluoretileno (PTFE) é colocado em um frasco contendo amostra. O pH da amostra é ajustado com uma solução tampão de forma a converter NH_4^+ em gás NH_3 , que ao se difundir pelo disco de filtro, é capturado na forma de NH_4^+ . Os valores de $\delta^{15}N$ são então obtidos pelo equipamento supracitado após a combustão a alta temperatura.

Os parâmetros físico-químicos *in situ* foram obtidos em todas as 7 campanhas com medidores de campo *WTW pH 330i* (pH, temperatura, Eh), *WTW Cond 330i* (condutividade elétrica) e *WTW Oxi 330i* (oxigênio dissolvido). A alcalinidade foi medida em algumas campanhas no próprio campo com um titulador automático *Hach Company* (0,16N e 1,6N H_2SO_4 e indicador verde bromocresol/vermelho de metila) e em outras em laboratório (titulação com 0,1119N H_2SO_4 e indicadores misto/fenolftaleína).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fossa Alternativa

A Fossa Alternativa (FA) construída nesse projeto reproduz as três zonas redox apresentadas no modelo conceitual descrito em Wilhelm *et al.* (1994) pelas quais o efluente atravessa: a zona anaeróbia (tanque séptico), a zona aeróbia (área de infiltração) e 2ª zona anaeróbia (barreira com serragem).

Como se verá adiante, a evolução físico-química do efluente é fortemente marcada pela presença da barreira reativa com BOF, que se trata de resíduo da indústria siderúrgica composto essencialmente de portlandita $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, óxidos ferrosos (Ca-, Mg- e Mn-ferritas), silicatos de di- e tri-cálcio e óxidos e hidróxidos férricos.

O comportamento um tanto destoante dos parâmetros físico-químicos da 1ª campanha em relação às demais reflete um meio com pouco contato com o esgoto e submetido à irrigação por água de poço por pouco tempo. À medida que as campanhas de amostragem desenrolam-se, a evolução físico-química fica mais definida, sujeita a variações naturais da composição do esgoto de origem.

A condutividade elétrica (CE) (**Figuras 3 e 4**) é elevada próxima ao tanque (nível P-5) (1500 a $2200\mu\text{S}/\text{cm}$) e praticamente permanece em torno desse valor nas camadas abaixo do BOF. Entretanto, nessa barreira, CE salta para valores entre 6000 e $8000\mu\text{S}/\text{cm}$, devido ao contato dos altos teores de óxido de cálcio e magnésio presentes no BOF com o efluente, mas perde intensidade com o tempo. As concentrações para alguns dos íons maiores encontram-se na **Tabela 1**. O cálcio apresenta concentrações entre 20 e $200\text{mg}/\text{L}$ próximo ao tanque (nível P-5), as quais saltam para um intervalo de 300 a $800\text{mg}/\text{L}$ na região do BOF. Abaixo dessa barreira, as concentrações diminuem, ficando entre 200 e $400\text{mg}/\text{L}$. O magnésio apresenta um intervalo de concentração entre 5 e $60\text{mg}/\text{L}$ ao longo do perfil, não se notando nenhum padrão especial, à exceção da barreira com o BOF, onde suas concentrações baixas devem-se a sua captura para troca catiônica com o cálcio. As concentrações de sódio tendem a se distribuir de modo parecido, com variação entre 150 e $200\text{mg}/\text{L}$. O comportamento do cloreto é semelhante ao do sódio. Sua concentração está entre 100 e $170\text{mg}/\text{L}$ e sua distribuição ao longo da fossa não apresenta nenhum padrão especial. O fosfato surge com baixas concentrações acima do BOF (0 e $15\text{mg}/\text{L}$) e nessa barreira desaparece por conta de sua adsorção em compostos de cálcio e magnésio presentes no resíduo de siderúrgica em condições alcalinas (Stimson *et al.*, 2008, 2010). O sulfato apresenta um intervalo de concentração amplo, entre 15 e $300\text{mg}/\text{L}$, mas de distribuição irregular com a profundidade.

Na porção mais próxima do tanque da fossa (nível P-5), o pH permanece em torno de 7 ao longo das campanhas (**Figuras 3 e 5**). Na primeira barreira reativa, constituída pela mistura de BOF (lisímetros P-3), o pH atinge picos da ordem de 12 devido à hidrólise do hidróxido de cálcio (equação 1) e continua elevado conforme se aprofunda no perfil.

Somente após 285 dias, o pH torna-se mais definido, próximo de 7, nas camadas subjacentes ao BOF (inclusive na barreira com serragem). O pH elevado por tanto tempo pode ter comprometido a atuação plena das bactérias nas reações de nitrificação e desnitrificação.

A temperatura oscila entre 15 e 25°C, refletindo as estações em que foram realizadas as campanhas (**Figura 3**).

O efluente próximo ao tanque apresenta elevada alcalinidade (8 a 15meq/L de $CaCO_3$), oriunda da digestão anaeróbia do carbono orgânico com a produção de CO_2 (**Figuras 3 e 6**). A um pH entre neutro e ácido, essa alcalinidade surge sob a forma de HCO_3^- . Na barreira com BOF, a alcalinidade é ainda maior (15 a 30meq/L de $CaCO_3$). A degradação de COD proveniente do próprio esgoto consome O_2 e produz CO_2 , que depois de hidrolisado, a um pH elevado (>8), torna-se CO_3^{2-} (equação 2).

O pH só não diminui nesse caso em vista da dissolução dos óxidos de cálcio. As mais baixas alcalinidades encontram-se nas camadas que delimitam a barreira com o BOF, onde parte da base HCO_3^- é consumida na formação de ácido carbônico (**Figuras 3 e 6**). Na camada arenosa, abaixo do BOF, a nitrificação é responsável pelo consumo de alcalinidade já que a oxidação de $N-NH_4^+$ libera H^+ em solução (equação 3), o que também explicaria a diminuição do pH elevado proveniente do BOF.

Na zona saturada constituída pela barreira com serragem, apesar da alcalinidade variar bastante (na forma de HCO_3^-), observam-se valores em meq de $CaCO_3$ tão elevados quanto aos medidos na barreira com BOF, o que indica que a reação de desnitrificação (com a formação de N_2 ou espécies intermediárias) deve estar se processando (equação 4) (**Figuras 3 e 6**).

A oxidação do carbono orgânico dissolvido (advindo da serragem) produz CO_2 que é hidrolisado para HCO_3^- a um pH próximo do neutro, o que faz com que o pH diminua ao mesmo tempo em que a alcalinidade aumente.

Cabe ressaltar que a última campanha ($t = 448$ dias) caracterizou-se por um intervalo de alcalinidade muito mais estreito, que aparece com cerca de 4meq/L de CaCO_3 próximo ao tanque aumentando até 10meq/L de CaCO_3 até a base da fossa (**Figuras 3 e 6**).

O Eh apresenta-se em largos espectros ao longo das camadas, denotando a variabilidade da composição do esgoto de entrada e sua evolução ao longo da fossa. Genericamente, a porção mais próxima ao tanque (nível P-5) é mais redutora (0 a 150mV) assim como na barreira com BOF (0 a 200mV). Como se esperava, a camada arenosa logo abaixo do BOF é a mais oxidante na fossa (200 a 400mV). O Eh na barreira com serragem saturada (-100 a 400mV) atinge as condições mais redutoras, mas também altos valores indicam que a oxidação prepondera entre os compostos presentes no esgoto (**Figuras 3 e 7**). O oxigênio dissolvido (OD) apresenta forte variação (1,5 a 6mg/L) ao longo da parte aerada da fossa (0 a 3,5m). No entanto, próximo do tanque (nível P-5) e na parte saturada (nível de piezômetros Z - de 3,5 a 4,0m), encontram-se as menores concentrações (1 a 3mg/L). Observa-se também que o OD fica mais estável ao longo do perfil após 285 dias, com uma variação entre 1 e 3mg/L (**Figuras 3 e 8**).

Evolução do Nitrogênio e Carbono

O comportamento do nitrogênio, em suas formas principais NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- pode ser bem definido ao longo da estratigrafia da Fossa Alternativa (**Figuras 9 a 13**). As concentrações mais elevadas de N-NH_4^+ (50 a 120mg/L) encontram-se na porção mais próxima ao tanque (P-5) e, ao longo dos níveis P-4 a P-2, decrescem para valores menores do que 5% da concentração observada no nível P-5 (0,06 a 2,7mg/L), à exceção da 1ª campanha ($t = 45$ dias), na qual a concentração de N-NH_4^+ em P-2 é de 13mg/L. É interessante notar que em três campanhas (para $t = 225$, 285 e 346 dias), N-NH_4^+ ressurge na base da barreira com serragem bem como no nível P-1 com concentrações entre 3,3 e 8,2mg/L (**Figuras 9, 10 e 11**).

Embora a forma N-NO_2^- seja mais difícil de existir dada sua instabilidade, ela surge em baixas concentrações junto a N-NO_3^- . As concentrações maiores estão no intervalo P-3 e P-2 (0,35 a 22,5mg/L), onde se espera que a nitrificação ocorra com maior intensidade. Na barreira reativa com serragem, N-NO_2^- aparece com baixas concentrações (2 a 6mg/L). Apenas na última campanha ($t = 448$ dias), esse ânion fica abaixo de 2mg/L (**Figuras 9, 10 e 12**).

O N-NO_3^- apresenta um comportamento antagônico ao do N-NH_4^+ , como é de se esperar com o progresso das reações redox. Concentrações de nitrato aumentam à medida que as concentrações de N-NH_4^+ diminuem (P-2), o que mostra o consumo deste na reação de nitrificação (equação 3). As concentrações de N-NO_3^- chegam ao seu máximo entre os níveis P-3 e P-2, em média 150mg/L. Para a penúltima campanha ($t = 285$ dias), embora as

concentrações de N-NO_3^- sejam mais elevadas do que àquelas esperadas pela entrada de N-NH_4^+ , observa-se a formação precipitada de N-NO_3^- próximo ao tanque, indicando oxidação incompleta de N-NH_4^+ . Na barreira com serragem, as concentrações tornam-se bem mais baixas (em média, 58mg/L), o que mostra uma degradação de 62% da concentração "máxima" referente ao nível P-2 e P-3 (**Figuras 9, 10 e 13**). A **Figura 14** ilustra como a variação de nitrogênio ocorre em relação ao ânion conservativo Cl^- , contrapondo as concentrações médias de cada nível de instrumentos pelas razões de N/Cl^- . É possível observar que há uma diminuição das concentrações passando pela barreira com serragem.

A presença de concentrações de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) ao longo das 7 campanhas (5 a 46mg/L C) (**Figuras 15 e 16**) indica que a serragem cumpre seu papel em fornecer um doador de elétrons para que as bactérias promovam a desnitrificação do nitrato. No entanto, constata-se que só a presença dos pares redox NO_3^- - C não é suficiente para que se atinja um potencial de desnitrificação mais eficiente do que 62%. Concentrações de oxigênio dissolvido da ordem de 3mg/L estão longe de ser ideais (**Figuras 3 e 8**).

As concentrações de COD são maiores na região próxima ao tanque (20 a 145mg/L C) em função da elevada carga orgânica do próprio esgoto (**Figuras 15 e 16**). O COD tende a ser consumido conforme é transportado em profundidade em vista de sua oxidação para CO_2 , chegando a valores inferiores a 35% da concentração no nível P-5. Como já se mencionou, essa reação também tem forte influência na alcalinidade do meio.

Gases e isótopos

Na Fossa Alternativa (**Tabela 1**), observam-se concentrações de CO_2 (5 a 6%) ao longo de todo perfil (G-5 a G-2), o que mostra que o material orgânico está sendo oxidado pelas bactérias. O O_2 surge a uma concentração expressiva de aproximadamente 12% próximo ao tanque (nível G-5) e decresce em profundidade (nível G-2) a valores em torno de 4%, provavelmente pelo seu consumo na oxidação do carbono orgânico. A presença de baixas concentrações de CH_4 (0,01 a 0,004%), que deve ter sido gerado por metanogênese no próprio tanque de recepção de esgoto, mostra que esse gás foi em grande parte oxidado para CO_2 . Notam-se também baixas concentrações de N_2O (0,03%) ao longo do perfil, o que pode ser proveniente de reações incompletas de nitrificação ou desnitrificação.

As reações de nitrificação e desnitrificação podem gerar N_2O , que é empobrecido em $\delta^{15}\text{N}$ em relação às formas antecessoras NO_3^- ou NH_4^+ . Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ (-16 a -23‰) e $\delta^{18}\text{O}$ (32 a 44‰) (**Tabela 1**) obtidos encaixam-se nos intervalos reportados de literatura para reação de desnitrificação (Wada e Ueda, 1996). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ costumam ser muito

mais empobrecidos para nitrificação, onde o fracionamento é muito maior na oxidação incompleta de NH_4^+ para N_2O .

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ em O_2 (23 a 27,5‰) (**Tabela 2**) estão entre aqueles encontrados em literatura para atmosfera (Clark & Fritz, 1997).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em CO_2 (-16 a -23,5‰) (**Tabela 2**) são próximos daqueles reportados em literatura para a situação de oxidação de matéria orgânica (Aravena & Robertson, 1998; Wassenaar *et al.*, 1991). Torna-se difícil analisar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em CH_4 devido às baixíssimas concentrações, do contrário seria de se esperar um enriquecimento desse gás em relação ao CO_2 com a ocorrência da oxidação de CH_4 .

Na porção onde existe maior nitrificação (níveis P-4 a P-2), a assinatura isotópica $\delta^{15}\text{N}$ em NO_3^- permanece entre 10 e 15‰, típica de esgotos (Kendall, 1998). Alguns valores maiores, em torno de 29‰, podem estar relacionados à volatilização de NH_3 e enriquecimento do NH_4^+ (reagente) a ser nitrificado, implicando em valores absolutamente maiores para o produto NO_3^- (Heaton, 1986) (**Figura 17**). Na porção saturada da barreira com serragem, o isótopo $\delta^{15}\text{N}$ em NO_3^- mostra aquele comportamento característico reportado em literatura (Aravena & Robertson, 1998; Kendall & Aravena, 2000): conforme a concentração do reagente diminui, o enriquecimento do isótopo tende a aumentar, o que no caso indica o consumo de nitrato na desnitrificação. Conforme há a desnitrificação na parte saturada da barreira, as concentrações de NO_3^- caem de 110mg/L no topo para 45mg/L na base e o $\delta^{15}\text{N}$ fica mais enriquecido, aumentando de 14‰ a 23‰ no mesmo sentido (**Figura 17**).

Os valores do isótopo $\delta^{18}\text{O}$ em NO_3^- (2 a 8‰) (**Figura 18**) situam-se dentro do intervalo citado em literatura entre -10 e 10‰ (Kendall e Aravena, 2000), com expressivo enriquecimento na parte saturada da barreira por conta da desnitrificação. O gráfico de $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ vs $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ (**Figura 18**) fornece duas equações (uma para cada campanha realizada) onde se pode constatar que o fator de enriquecimento do $\delta^{18}\text{O}$ é aproximadamente a metade do $\delta^{15}\text{N}$ (Böttcher *et al.*, 1990; Aravena & Robertson, 1998).

O isótopo $\delta^{15}\text{N}$ em NH_4^+ também enriquece de 10 a 32‰ conforme a concentração de NH_4^+ diminui de 120mg/L na região próxima ao tanque (nível P-5) para 30mg/L no nível P-4 (**Figura 19**).

A presença de baixa concentração de NH_4^+ e NO_2 na base da fossa (**Figuras 9 e 10**) somada ao fato do NH_4^+ estar relativamente mais enriquecido comparado à posição próxima à fonte de esgoto (**Figura 19**) são observações que podem indicar a ocorrência de *anammox*, isto é, oxidação de NH_4^+ na presença do aceptor NO_2^- e produção de N_2 .

Fossa Controle

A Fossa Controle é muito parecida em termos de materiais de preenchimento com a Fossa Alternativa, mas, ao contrário dessa, não apresenta materiais reativos para a degradação de nitrato ou microrganismos. A Fossa Controle também não conta com o anel de brita 1 em seu entorno, que é empregado na Fossa Alternativa para promover maior aeração do sistema.

A interpretação do nível P-2 (à profundidade de 3,5m) foi levada com cautela, uma vez que as medições realizadas são destoantes em relação às demais camadas, o que pode ser fruto da diferente hidráulica que opera nessa região, como baixo aporte de efluente e presença de mais oxigênio.

A condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) parece distribuir-se uniformemente ao longo do perfil e aumenta com o tempo, partindo de valores como $1500\mu\text{S}/\text{cm}$ para chegar a mais de $4000\mu\text{S}/\text{cm}$ nas campanhas mais recentes (**Figuras 20 e 21**). As concentrações para alguns dos íons maiores encontram-se na **Tabela 1**. O cálcio possui concentrações entre 20 e $45\text{mg}/\text{L}$, o magnésio entre 5 e $17\text{mg}/\text{L}$ e o sódio entre 140 e $230\text{mg}/\text{L}$. As concentrações de cloreto variam entre 200 e $350\text{mg}/\text{L}$ e de sulfato entre 0 e $120\text{mg}/\text{L}$, baixando para menos do que $20\text{mg}/\text{L}$ nas últimas duas campanhas. O fosfato apresenta um significativo intervalo de concentrações (0 a $130\text{mg}/\text{L}$) e distribuição regular em profundidade. O maior teor de fosfato na Fossa Controle, quando comparado a Fossa Alternativa, deve indicar descarga de alvejantes/detergentes (que são ricos em P) junto aos dejetos humanos.

O pH da Fossa Controle assemelha-se ao da Fossa Alternativa em seu nível P-5, permanecendo entre 6,5 e 7,5 sem distinção de camadas, ao longo das campanhas (**Figuras 20 e 22**). A temperatura apresenta o mesmo comportamento notado em FA, ou seja, entre 15 e 25°C (**Figura 19**).

A alcalinidade (meq/L de CaCO_3) ocorre mais na forma de HCO_3^- e apresenta intervalo de concentração de 5 a $35\text{meq}/\text{L}$. Ao contrário do que se percebe na Fossa Alternativa, a alcalinidade aumenta com o tempo, tal como a CE (**Figuras 20 e 23**).

O Eh (mV) é mais redutor do que o encontrado em FA, muito provavelmente porque a Fossa Controle não conta com um anel de oxigenação em seu entorno tal como acontece na Fossa Alternativa. O Eh de FC aparece entre -100 e 200mV , com aumento em profundidade (**Figuras 20 e 24**). As concentrações de oxigênio dissolvido compreendem o intervalo de 1 a pouco mais de $2\text{mg}/\text{L}$ (**Figuras 20 e 25**).

Comportamento do Nitrogênio e Carbono

Na Fossa Controle, as concentrações de N-NH_4^+ próximas ao tanque (nível P-4) variam entre 150 e 400mg/L considerando todas as campanhas. Em perfil, esse ânion comporta-se com um padrão zigue-zague para esse intervalo, exceto nas primeiras campanhas onde os níveis mais basais, anteriormente irrigados com água de poço, podem acarretar diluição das elevadas concentrações de entrada (**Figuras 26, 27 e 28**).

As formas oxidadas N-NO_3^- e N-NO_2^- aparecem apenas na 1ª campanha de amostragem ($t=45$ dias) sob concentrações de 60 e 14mg/L, respectivamente. Nas demais campanhas, a única espécie de Nitrogênio encontrada é N-NH_4^+ (**Figuras 26, 27, 29 e 30**).

O Carbono Orgânico Dissolvido (COD) apresenta concentrações elevadas nas primeiras campanhas (170 a 240mg/L), mas que passam a variar entre 10 e 70mg/L (média de 35mg/L) ao longo do perfil para as campanhas sub-sequentes (**Figuras 31 e 32**).

A Fossa Controle apresenta nitrogênio basicamente em sua forma amoniacal. À exceção da 1ª campanha, em que se nota alguma concentração de nitrato e nitrito, nas demais observa-se um padrão zigue-zague de concentração de N-amoniacal, e cujas concentrações tendem a aumentar com o tempo. Grande parte dessa fossa deve estar saturada e sem a entrada de O_2 não é possível a transformação do N para formas oxidadas. Isso só deve ocorrer no caminho entre o fundo da fossa e o aquífero. Em suma, as altas concentrações de N-amoniacal e COD denotam o caráter de fonte de contaminação bruta para esse tipo de fossa.

Gases e isótopos

Na Fossa Controle (**Tabela 2**), as concentrações de CO_2 (12 a 26%) e CH_4 (1 a 32%) são comparativamente mais elevadas do que em FA e maiores à medida que se aproxima do tanque (G-4). As concentrações de O_2 e N_2O são muito baixas, ainda mais se comparadas com FA, o que por sua vez compromete uma interpretação adequada dos isótopos para esses gases.

Os isótopos dos gases (**Tabela 2**) para essa fossa mostram maior empobrecimento em relação à FA, a qual é mais evoluída em termo de reações. O mais importante a observar é que o $\delta^{13}\text{C}$ é muito mais enriquecido no CO_2 (-17 a -23‰) do que em CH_4 (-37 a -44‰), o que evidencia a metanogênese, na qual o CO_2 (reagente) é reduzido (consumido) para formação de CH_4 .

Com relação ao $\delta^{15}\text{N}$ em NH_4^+ (**Figura 33**), não se observa claramente a formação de um padrão, muito porque não existe o contraponto para comparação, ou seja, o NO_3^- , por ser FC ainda primitiva com a constituição apenas da 1ª zona anaeróbia.

CONCLUSÕES

Esse projeto procurou implantar uma tecnologia de barreiras reativas em uma área pobre e sem infra-estrutura de saneamento básico, visando mitigar os impactos nas águas subterrâneas causados pela contaminação por fossas. Foram instaladas duas fossas na área de estudo: a Fossa Alternativa (FA) melhorada com o uso de barreiras reativas e a Fossa Controle (FC), sem materiais reativos e que representa o esgotamento utilizado pela comunidade.

A composição química genérica das duas fossas mostrou um alto teor de sólidos dissolvidos, destacando-se a presença dos cátions Ca, Na, Mg, K, NH_4 e os ânions Cl, NO_3 , NO_2 , SO_4 , HCO_3 , CO_3 e HPO_4 .

Na Fossa Controle, os íons distribuem-se ao longo do perfil de forma mais regular. A composição dessa fossa representa a fonte em si, com altas concentrações de N-amoniacoal e de carbono orgânico dissolvido. Os valores de oxigênio dissolvido são baixo e o Eh também é mais redutor. A nitrificação deve ocorrer na zona não-saturada abaixo da fossa, para que depois o nitrato possa alcançar o lençol freático.

Já na Fossa Alternativa, estruturada com as barreiras reativas de BOF (1m abaixo do tanque receptor do efluente) e de serragem (abaixo do BOF, mas separada deste por 1m de pacote arenoso), foi possível discriminar certos comportamentos ao longo de suas posições. O BOF que é rico em óxidos de cálcio e ferro confere ao efluente que o percola uma condutividade elétrica mais acentuada (com elevadas concentrações de Ca e CO_3) e um pH muito básico, em torno de 12. A fossa como um todo apresenta concentrações consideráveis de OD, à exceção da barreira de serragem, onde essas concentrações são menores (1 a 3mg/L) em vista da saturação permanente. Essa barreira caracteriza-se também pela presença de C orgânico na forma dissolvida, parte advinda da própria carga orgânica do esgoto e parte pela contribuição da serragem. O N-amoniacoal (forma reduzida) concentra-se na porção mais próxima ao tanque e é convertido a nitrato entre a base dessa porção e o topo da barreira de serragem. A não tão plena eficiência da desnitrificação na barreira de serragem (62%) pode ser devida à combinação de dois fatores: valores relativamente altos de oxigênio dissolvido e pH elevado a que essa região foi submetida pelo efluente percolado através do BOF por até 285 dias de funcionamento da fossa, fatores esses que afetaram a capacidade das bactérias desnitrificantes em suas reações metabólicas. Um estudo de mestrado ainda não publicado, desenvolvido na *University of Waterloo*, mostrou que a posição invertida das barreiras (i.e. serragem primeiro e BOF depois) não compromete as eficiências de degradação do nitrato e das bactérias o que pode ser uma melhor alternativa para implementação.

Dessa forma, a Fossa Alternativa avaliada neste trabalho, com a camada de BOF sobre a camada de serragem, apesar de ocasionar uma total degradação de patógenos e parcial degradação de nitrato, não se evidencia como a melhor solução para a minimização de impactos advindos do saneamento *in situ*.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo e à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) através de um Projeto de Auxílio (processo nº 05/00315-5) e uma bolsa de doutorado direto (processo nº 04/03484-4) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio de uma bolsa sanduíche (processo nº 0939-08-0). Os autores também são gratos a diversos colegas do IGc que ajudaram nos trabalhos de campo, em especial, a Carlos Maldaner (LAMO - IGc - USP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aravena R. & Robertson W.D. 1998. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in groundwater: case study of nitrate from a large-flux septic system plume. *Ground Water*, 36, 975-982.
- Clark, I. and Fritz, P. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. 1a ed. New York, Lewis Publishers. 328p.
- DATASUS (2007). Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. URL: <http://www.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>.
- Gavaskar, A.R.; Gupta, N.; Sass, B.; Janosy, R.; O'Sullivan, D. (1998). *Permeable barriers for groundwater remediation: design, construction and monitoring*. Battelle Press, Columbus, OH.
- Golden Software, 2002. *Surfer 8*, Golden Software, Inc. Golden, Colorado, USA.
- Heaton, T.H.E. 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chem. Geol. (Isot. Geo. Sect.)*, 5: 87-102.
- IBGE (2001). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico do Brasil*. URL: <http://www.ibge.gov>.
- Kendall, C., & Aravena, R., 2000. Nitrate isotopes in groundwater systems, Chapter 9, In: P. Cook and Herczeg, A.L. (Eds.), *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*, Kluwer Academic Publishers, p. 261-297.
- Kendall, C. 1998. Tracing sources and cycling of nitrate in catchments. In *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (1998), C. Kendall and J. J. McDonnell (Eds.). Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 519-576.
- Rodriguez S. K. (1998). *Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo*. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental. Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 171p.
- SMVA (2004). Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente. URL: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente.
- Statsoft, 2004. *Statistica: data analysis software system*. Version 7, Statsoft, Inc. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stimson J.; Chae G.; Ptacek C. J.; Emelko M. B.; Mesquita M. M.; Hirata R.; Blowes D. W. (2008). Basic oxygen furnace slag as a treatment material for pathogens: contribution of inactivation and attachment in virus attenuation. Submetido para a *Water Research*.
- Stimson, J.; Suhogusoff, A. V.; Blowes, D. W.; Hirata, R. A.; Ptacek, C. J.; Robertson, W. D.; Emelko, M. B. (2010). Field testing of an alternative latrine design incorporating basic oxygen furnace slag as permeable reactive media for pathogen removal. Em preparação.

- Toride, N., F. J.; Leij, van Genuchten M. Th. (1999). The CXTFIT code for estimating transport parameters from laboratory or field tracer experiments. Version 2.1. Research Report No. 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA. 121 p.
- Vieira, S. R. S. (1996). Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP. Tese de Doutorado. Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 210p.
- Suhogusoff, A. V.; Hirata, R. & Ferrari, L. C. (2010a). Aplicação de uma metodologia de risco sanitário no loteamento Jardim Santo Antônio, Parelheiros, São Paulo. Em preparação.
- Suhogusoff, A. V.; (2010b). Uso de serragem como material reativo permeável para atenuação de nitrato em ensaios de colunas de sedimentos. Em preparação.
- Wada, E.; Ueda, S. (1996). Carbon, nitrogen and oxygen isotope ratios of CH₄ and N₂O on soil ecosystems. In: Boutton, T.W.; Yamasaki, S. (eds) - Mass Spectrometry of Soils, New York, Marcel Dekker, Inc., p. 177–204.
- Wassenaar, S. R.; Schiff, S. L.; Robertson, W. D. (1996). Control on the transport and carbon isotopic composition of dissolved organic carbon in a shallow groundwater system, Central Ontario, Canada, Chemical Geology (Isotope Geoscience) 27, 39-57.

Figura 1. Distribuição das camadas e instrumentos de medição na Fossa Alternativa.

Figura 2. Distribuição das camadas e instrumentos de medição na Fossa Controle.

Figura 3. Evolução dos parâmetros de pH, Temperatura (°C), Eh (mV), Condutividade Elétrica (μS/cm), Oxigênio Dissolvido (mg/L) e Alcalinidade (meq/L CaCO₃) em profundidade ao longo do tempo para FA (posição C).

Figura 4. Evolução da Condutividade Elétrica em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 5. Evolução do pH em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 6. Evolução da Alcalinidade (meq/L CaCO_3) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 7. Evolução do Eh (mV) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 11. Evolução de N-NH_4^+ (mg/L) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 12. Evolução de N-NO_2^- (mg/L) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 13. Evolução de N-NO_3^- (mg/L) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 16. Evolução de COD (mg/L C) em seção ao longo do tempo (FA).

Figura 17. Concentração de N-NO_3^- e $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ em profundidade para duas campanhas de amostragem em FA (posição C).

Figura 18. Correlação entre $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ vs $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ para duas campanhas de amostragem em FA (posição C).

Figura 21. Evolução da Condutividade Elétrica em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 22. Evolução do pH em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 23. Evolução da Alcalinidade (meq/L CaCO_3) em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 24. Evolução do Eh (mV) em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 25. Evolução do Oxigênio Dissolvido em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 26. Evolução das espécies N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e N-NO₂⁻ em profundidade ao longo do tempo para FC (posição C).

Figura 27. Comportamento das N-espécies (mg/L N) por campanha de amostragem para FC (posição C).

Figura 28. Evolução de N-NH_4^+ (mg/L) em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 29. Evolução de N-NO_2^- (mg/L) em seção para $t = 45$ dias (FC).

Figura 32. Evolução de COD (mg/L C) em seção ao longo do tempo (FC).

Figura 33. Concentração de N-NH_4^+ e $\delta^{15}\text{N-NH}_4^+$ em profundidade para duas campanhas de amostragem em FC (posição C).

Tabela 1. Valores de concentrações de gases e seus isótopos para FA e FC para as duas campanhas realizadas.

Prof. (m)	Instrumento	30.03.2008 (t= 285 dias)								
		CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂ O (%)	O ₂ (%)	δ ¹³ C-CO ₂ (‰)	δ ¹³ C-CH ₄ (‰)	δ ¹⁵ N-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-O ₂ (‰)
0.80	G-5C (FA)	6.005	0.011	0.033	11.766	-16.0	-13.8	-23.1	32.2	27.5
1.50	G-4C (FA)	5.148	0.002	0.029	4.711	-20.5	-23.5	-16.7	41.5	23.4
2.00	G-3C (FA)	5.753	0.004	0.037	4.567	-22.7	-21.0	-16.6	43.3	23.9
2.50	G-2C (FA)	6.627	0.004	0.036	3.682	-20.6	-33.0	-16.6	44.0	25.5
4.20	G-1C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.85	G-4C (FC)	26.260	32.080	0.003	0.273	-23.4	-	-	-	-
2.50	G-3C (FC)	12.696	5.145	0.005	0.359	-20.7	-39.5	-10.2	38.6	-
3.50	G-2C (FC)	15.473	2.749	0.002	0.547	-21.0	-41.1	-13.0	35.8	-
4.50	G-1C (FC)	14.400	0.922	0.005	0.229	-21.0	-43.9	-9.1	39.9	-
Prof. (m)	Instrumento	01.06.2008 (t= 346 dias)								
		CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂ O (%)	O ₂ (%)	δ ¹³ C-CO ₂ (‰)	δ ¹³ C-CH ₄ (‰)	δ ¹⁵ N-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-O ₂ (‰)
0.80	G-5C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	G-4C (FA)	5.579	0.001	0.031	5.267	-18.1	-30.8	-19.6	42.0	23.0
2.00	G-3C (FA)	5.435	0.001	0.037	5.609	-21.9	-11.4	-18.7	43.4	24.1
2.50	G-2C (FA)	6.058	0.001	0.034	4.427	-20.4	-17.4	-18.7	43.7	24.7
4.20	G-1C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.85	G-4C (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	G-3C (FC)	11.702	7.072	0.006	0.258	-16.8	-36.8	-22.9	29.7	-
3.50	G-2C (FC)	15.869	3.975	0.002	0.231	-18.0	-37.1	-29.4	28.7	-
4.50	G-1C (FC)	12.658	2.442	0.006	0.160	-18.6	-37.3	-26.0	28.1	-

Tabela 2. Concentrações para alguns íons maiores para as campanhas t= 45, 155, 285 e 448 dias em FA e FC.

Prof. m	Instrumento	t= 45 dias								t= 155 dias							
		Ca ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L		
0.80	P-5C (FA)	22.9	33.7	8.2	128.1	91.8	0.0	0.5	95.0	79.0	47.0	197.0	153.0	11.0	186.0		
1.50	P-4C (FA)	17.7	23.6	4.3	225.2	94.0	0.0	210.3	94.0	77.0	28.0	159.0	129.0	9.6	173.0		
2.00	P-3C (FA)	160.6	23.0	0.1	89.0	64.2	0.0	0.7	371.0	64.0	0.0	150.0	119.0	0.0	2.0		
2.50	P-2C (FA)	21.8	4.8	0.8	87.8	62.7	0.0	20.0	245.0	43.0	0.7	167.0	145.0	0.0	61.0		
3.60	Z-5C (FA)	395.3	17.8	0.1	64.1	48.7	0.2	1.8	215.0	37.0	0.1	150.0	133.0	0.0	89.0		
3.70	Z-4C (FA)	394.1	14.2	0.1	59.3	47.3	0.0	3.1	114.0	35.0	5.1	135.0	133.0	0.1	94.0		
3.80	Z-3C (FA)	385.8	18.6	0.1	63.6	43.6	0.0	3.1	149.0	45.0	7.8	137.0	135.0	0.1	83.0		
3.90	Z-2C (FA)	401.5	12.9	0.2	64.5	80.0	0.0	1.5	170.0	46.0	3.1	135.0	134.0	0.1	80.0		
4.00	Z-1C (FA)	363.5	15.9	0.1	64.6	45.4	0.0	1.6	266.0	48.0	0.3	149.0	129.0	0.1	82.0		
4.20	P-1C (FA)	336.3	18.8	0.1	74.7	48.3	0.0	6.1	315.0	49.0	9.2	151.0	150.0	0.0	60.0		
1.85	P-4C (FC)	24.0	61.2	10.3	195.8	257.6	4.0	0.4	30.0	74.0	15.0	169.0	246.0	63.0	63.0		
2.50	P-3C (FC)	20.6	68.4	9.7	154.6	221.2	11.1	35.8	16.0	78.0	13.0	175.0	264.0	42.0	0.7		
3.50	P-2C (FC)	20.8	7.3	4.9	98.4	145.9	0.0	39.7	46.0	38.0	10.0	164.0	202.0	0.0	44.0		
4.50	P-1C (FC)	173.1	38.8	12.2	192.4	227.7	0.0	72.2	20.0	66.0	11.0	160.0	225.0	13.0	5.5		

Prof. m	Instrumento	t= 285 dias								t= 448 dias							
		Ca ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L		
0.80	P-5C (FA)	106.0	53.0	23.0	174.0	130.0	0.4	660.0	62.0	36.0	12.0	211.0	114.0	3.9	316.0		
1.50	P-4C (FA)	229.0	104.0	47.0	230.0	115.0	14.0	1310.0	98.0	45.0	19.0	186.0	115.0	4.4	214.0		
2.00	P-3C (FA)	498.0	55.0	0.1	186.0	135.0	0.0	50.0	276.0	40.0	0.4	161.0	130.0	0.0	150.0		
2.50	P-2C (FA)	287.0	50.0	32.0	200.0	115.0	0.1	68.0	352.0	43.0	52.0	186.0	115.0	0.0	159.0		
3.60	Z-5C (FA)	304.0	43.0	62.0	175.0	103.0	0.0	188.0	254.0	37.0	19.0	179.0	113.0	0.0	178.0		
3.70	Z-4C (FA)	305.0	36.0	46.0	157.0	110.0	0.0	148.0	248.0	36.0	19.0	180.0	114.0	0.0	173.0		
3.80	Z-3C (FA)	301.0	36.0	47.0	156.0	107.0	0.0	151.0	243.0	34.0	18.0	174.0	116.0	0.5	182.0		
3.90	Z-2C (FA)	297.0	35.0	44.0	154.0	106.0	0.1	130.0	260.0	35.0	20.0	170.0	120.0	0.1	172.0		
4.00	Z-1C (FA)	308.0	43.0	40.0	178.0	101.0	0.3	136.0	262.0	31.0	20.0	162.0	122.0	0.0	153.0		
4.20	P-1C (FA)	296.0	49.0	44.0	191.0	109.0	0.0	143.0	223.0	33.0	19.0	165.0	111.0	1.0	134.0		
1.85	P-4C (FC)	27.0	104.0	17.0	206.0	270.0	115.0	0.1	26.0	97.0	15.0	198.0	338.0	47.0	0.2		
2.50	P-3C (FC)	23.0	97.0	15.0	214.0	288.0	128.0	4.4	19.0	86.0	12.0	193.0	315.0	68.0	0.9		
3.50	P-2C (FC)	21.0	70.0	11.0	190.0	261.0	0.6	0.9	19.0	90.0	16.0	195.0	309.0	0.8	0.4		
4.50	P-1C (FC)	24.0	83.0	12.0	186.0	252.0	62.0	0.8	20.0	89.0	12.0	191.0	290.0	47.0	0.2		

9. CONCLUSÕES

Esse projeto objetivou avaliar e propor uma tecnologia que mitigasse o problema de contaminação de fossas negras em regiões de média a alta densidade populacional. A área selecionada foi o loteamento Jardim Santo Antônio situado na Área de Proteção Ambiental dos rios Capivari-Monos, na zona sul do município de São Paulo. Os critérios para sua seleção foi o de não ser uma região coberta pelo sistema de água e esgoto. Esse loteamento insere-se em uma região de forte caráter rural e de mananciais, sendo os poços cacimbas a única opção para o abastecimento de água e as fossas negras ou os córregos a saída para o despejo dos dejetos. O questionário de risco sanitário aplicado em 178 lotes, onde foram cadastrados 218 poços e 182 fossas, revelou diversos problemas de construção, operação e manutenção dos poços, e de fossas muitas vezes próximas e/ou à montante dos poços. Na análise da água para 1/3 dos poços da região, a quase totalidade das amostras apresentou altos níveis de bactérias e concentrações de nitrato variáveis entre 10 e 50mg/L.

Tendo em vista esse problema, foi desenvolvida uma fossa com capacidade de degradação de nitrato e bactérias, capacidade essa avaliada em laboratório através de ensaios de colunas. Foram instaladas duas fossas na área de estudo: a fossa alternativa melhorada com o uso de barreiras reativas (FA) e a fossa controle (FC), que corresponde ao branco (ausência de materiais reativos). A composição química genérica das duas fossas mostrou um alto teor de sólidos dissolvidos, destacando-se a presença dos cátions Ca, Na, Mg, K, NH_4 e os ânions Cl, NO_3 , NO_2 , SO_4 , HCO_3 , CO_3 e HPO_4 . Na Fossa Alternativa, estruturada com as barreiras reativas de BOF (1m abaixo do tanque receptor do efluente) e de serragem (abaixo do BOF, mas separada deste por 1m de pacote arenoso), foi possível discriminar certos comportamentos ao longo de suas posições. O BOF que é rico em óxidos de cálcio e ferro confere ao efluente que o percola uma condutividade elétrica mais acentuada (com elevadas concentrações de Ca e CO_3) e um pH muito básico, em torno de 12. Por tais propriedades, o BOF foi capaz de remover grande parte dos microrganismos advindos com os dejetos, além de promover a adsorção do fosfato. A fossa como um todo apresenta concentrações consideráveis de OD à exceção da barreira de serragem, onde foi induzida uma saturação permanente. Essa barreira caracteriza-se também por menores valores de Eh e presença de C orgânico na forma dissolvida, condições que permitem a desnitrificação do nitrato gerado perfil acima. O N-amoniacal (forma reduzida) concentra-se na porção mais próxima ao tanque. Entre a base dessa porção a até o topo da barreira de serragem o N-amoniacal é convertido a nitrato. A baixa eficiência na desnitrificação na barreira de serragem pode ser devida ao elevado pH que essa região foi submetida pelo efluente percolado antes no BOF, o que afetou a capacidade das bactérias desnitrificantes em suas reações metabólicas (embora o pH tenha se tornado mais baixo com o tempo). Um estudo de mestrado não publicado, desenvolvido na *University of Waterloo*, mostrou que a posição invertida das barreiras (i.e. serragem na porção

superior e BOF em um nível inferior) não compromete as eficiências de degradação do nitrato e das bactérias o que se configura como uma melhor alternativa para implementação. Quando se contemplam também os resultados da análise de clustering sobre as respostas do questionário de risco sanitário, conclui-se que se poderia implementar fossas com apenas uma barreira de serragem, i.e. sem a camada de BOF, já que a contaminação dos poços por bactérias está mais relacionada ao manejo de cada poço particularmente e não pela presença de fossas próximas aos poços. Contudo, a análise de clustering apenas não mostrou relação entre as distâncias de poços e fossas da área com as contaminações por bactérias, não podendo dessa forma desconsiderar a presença de fontes potenciais muito próximas aos poços que tem peso semelhante a outros aspectos considerados no questionário.

Em suma, os resultados desta pesquisa indicam que os problemas de contaminação em loteamentos como o do Jardim Santo Antônio podem ser minimizados através da aplicação de um questionário de risco sanitário com a conseqüente orientação dos moradores para práticas corretas de construção, manutenção e operação dos poços, e também com a implantação de fossas sépticas modificadas para serem capazes de degradarem o nitrato, contaminação esta que está relacionada à interações fossa-poço.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersson, K.K. & Hooper, A.B. (1983). O₂ and H₂O and each the source of one O in NO₂ produced from NH₃ by Nitrosomonas: ¹⁵N evidence. *FEBS Letters*, 164: 236-240.
- Aravena, M.L. & Robertson, W.D. (1998). Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in groundwater: Study of nitrate from a large-flux septic system plume. *Groundwater*, v. 36, n. 6, p. 975-982.
- Aravena R., Evans M.L., Cherry J.A. (1993). Stable isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems. *Ground Water* 31, 180-186.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993). Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. NBR 13696/97.
- Böttcher, J., Strebel, O., Voerkelius, S., Schmidt, H.L. 1990. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. *J. Hydrol.*, 114: 413-424.
- Cesarino, A. (2002). Seleção de materiais para remediação de aquíferos contaminados por nitrato através de barreiras reativas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências (USP). São Paulo.
- CETESB (2004). Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2001- 2003. São Paulo, 137p.
- Chalamet, A. (1982). Effects of environmental factors on denitrification. *In: Gotterman, H.L. – Denitrification in the nitrogen cycle*. New York, p. 7-29.
- Chang, C.C.Y.; Langston, J.; Riggs, M.; Campbell, D.H.; Silva, S.R.; Kendall, C. (1999). A method for nitrate collection for $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ analysis from waters with low nitrate concentrations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* v. 56, p. 1856-1864.
- Clark, I. & Fritz, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*. 1a ed. New York, Lewis Publishers. 328p.
- Clark, I.; Timlin, R.; Bourbonnais, A.; Jones, K.; Lafleur, D.; Wickens, K. (2008). Origin and fate of industrial ammonium in anoxic groundwater - ¹⁵N evidence for anaerobic oxidation (Anammox). *Ground water Monitoring & Remediation* 28, nº 3, p. 73-82.
- Delwiche, C.C. & Steyn, P.L. (1970). Nitrogen isotope fractionation in soils and microbial reactions. *Environ. Sci. and Technol.*, 4: 929-935.
- Estado de São Paulo (2007). Acesso em 2007. URL: <http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=view&id=2474>.
- Ferreira, L.M.R. (1999). A prática de disposição de efluentes domiciliares *in situ* e os impactos nas águas subterrâneas. Estudo de caso: município de Campinas. São Paulo, 136p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Ferreira, L. e Hirata, R. (1993). Determinação dos riscos de contaminação das águas subterrâneas por sistemas de saneamento *in situ*. Estudo de caso: município de Campinas. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 10., Gramado, 1993. *Anais. Gramado*, IPH/ABRH, v. 4, p. 443-452.
- Folha de São Paulo (2007). Acesso em 2007. URL: <http://www.cidades.gov.br/index.php?option=content&task=view&id=2472>.
- Foster, S. & Hirata, R. (1988) *Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data*. Lima, CEPIS-PAHO/WHO. 89p.

- Frind, E. O.; Duynisveld, W. H. M.; Strebel, O.; Böttcher, J. (1990). Modeling of multicomponent transport with microbial transformation in groundwater: The Fuhrberg case. *Water Resource Research*, v. 26, n. 8, p. 1707-1719.
- Gavaskar, A.R.; Gupta, N.; Sass, B.; Janosy, R.; O'Sullivan, D. (1998). Permeable barriers for groundwater remediation: design, construction and monitoring. Battelle Press, Columbus, OH.
- Gillham, R. W. & Cherry, J. A. (1978). Field evidence of denitrification in shallow groundwater flow systems. *Water Pollution Research in Canada*. V. 13, p. 53-71.
- Goody, D. C.; Clay, J.W.; Bottrell, S. H. (2002). Redox-driven changes in pore water chemistry in the unsaturated zone of the chalk aquifer beneath unlined cattle slurry lagoons. *Applied Geochemistry* v. 17, p. 903-921.
- Heaton, T. H. E., 1986. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. *Chem. Geol. (Iso. Geo. Sect.)*, 5: 87-102.
- Hirata, R. & Cesarino, A. (2003). Barreiras reativas: Uma tecnologia de baixo custo para aquíferos contaminados. *Meio Ambiente Industrial*. p. 109-113.
- Hochstein, L. I. & Tomlinson G. A. (1988). The enzymes associated with denitrification. *Annual Review of Microbiology*, v. 42, p. 231-261.
- Hollocher, T. C. (1984). Source of the oxygen atoms of nitrate in the oxidation of nitrite by *Nitrocacter agilis* and evidence against a P-O-N anhydride mechanism in oxidative phosphorylation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 233: 721-727.
- Hunter, W. J.; Follett, R. F.; Cary, J. W. (1997). Use of vegetable oil to remove nitrate from flowing groundwater. *Transactions of the ASCE. American Society of Agricultural Engineers*, v. 40, v. 2, p. 345-353.
- Hwang, S. & Hanaki, K. (2000). Effects of oxygen concentration and moisture content of refuse on nitrification, denitrification and nitrous oxide production. *Bioresources Technology*, v. 71, n. 2, p. 159-165.
- IBGE (2000, 2001, 2007). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Censo demográfico do Brasil. URL <http://www.ibge.gov>.
- IBC (1999). International Business Communications. "Subsurface Barrier Technologies". Environmental Technology Symposium Proceedings, Scottsdale, AZ, February 1-2.
- Jetten, M. S. M.; Logemann, S. M.; Muyzer, G.; De Vries, S.; Van Loosdrecht, M. C. M.; Robertson, L. A.; Kuenen, J. G. (1997). Novel principles in microbial conversion of nitrogen compounds. *Anthonie van Leenwenhoek*, v. 71, p. 75-93.
- Kendall, C. & Aravena, R. (2000). Nitrate isotopes in groundwater systems, Chapter 9, In: P. Cook and Herczeg, A. L. (Eds.), *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*, Kluwer Academic Publishers, p. 261-297.
- Kendall, C. (1998). Tracing sources and cycling of nitrate in catchments. In *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (1998), C. Kendall and J. J. McDonnell (Eds.). Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 519-576.
- Knowles, R. (1982). Denitrification. *Microbiological Reviews*, v. 46, n. 1, p. 43-70.
- Koenig, A. & Liu, L.H. (1996) Autotrophic denitrification of landfill leachate using elemental sulphur. *Water Science and Technology*, v. 34, n. 5-6, p. 469-476.
- Korom, S.F. (1992). Natural denitrification in the saturated zone: a review. *Water Resources Research*, v. 28, n. 6, p. 1657-1668.

- Kumar, S., Nicholas, D. J. D., Williams, E. H. (1983). Definitive ^{15}N NMR evidence that water serves as a source of 'O' during nitrite oxidation by *Nitrobacter agilis* FEBS Letters, 152: 71-74.
- Lloyd, B & Helmer, R. (1991). Sanitary Inspections. In Surveillance of drinking water quality in rural areas. Published on behalf of the World Health Organization and United Nations Environment Programme. Longman Scientific & Technical, London, p. 62-81.
- Mariotti, A., Germon, J.C., Leclerc, A. (1982). Nitrogen isotope fractionation associated with the $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ step of denitrification in soils. Can. J. Soil Sci. 62: 227-241.
- Mariotti, A.; Landreau, A.; Simon, B. (1988). ^{15}N isotope biochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the chalk aquifer of northern France. *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 52, p. 549-555.
- Martin, M. J., Logan, B. E., Johnson, W. P., Jewett, D. G. & Arnold, R. G. (1996). Scaling bacterial filtration rates in different sized porous media, J. Environ. Eng., 122:5, 407-415.
- Mateju, V.; Cizinska, S.; Krejci, J.; Janock, T. (1992). Biological water denitrification – a review. *Enzyme Microb. Technology*, v. 14, p. 170-183.
- Ministério da Saúde (2000). Sistema de informações sobre mortalidade. URL <http://www.datasus.gov.br>
- Mohseni-Bandpi, A. & Elliott, D. J. (1998). Groundwater denitrification with alternative carbon sources. *Water Science and Technology*, v.38, n. 6, p. 237-243.
- Mulder, A.; van de Graaf, A. A.; Robertson, L. A.; Kuenen, J. G. (1995). Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology* 16, p. 177-184.
- Murray, M. (2008). Evaluating the isotopic fingerprint of wastewater treatment plant nitrogen and its evolution in the Grand River. Waterloo 45p. Trabalho de Formatura - Department of Earth Sciences, University of Waterloo.
- Nielsen, J. L. & Nielsen, P. H. (1998). Microbial nitrate dependent oxidation of ferrous iron in activated sludge. *Environmental Science & Technology*, v. 32, n. 22, p. 3356-3361.
- Niesink, R. J. N.; Varies, J. D; Hollinger, M. A. (1995). Toxicology principles and applications. Boca Raton, CRC Press. 648p.
- Pelczar, M.; Reid, R.; Chan, E. C. S (1980). Microbiologia. São Paulo, Mc Graw Hill, 2v.
- PNSB (2000). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Acesso em 2004. URL: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>.
- Postma, D.; Boesen, C.; Kristiansen, H.; Jasen, F. (1991). Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer, water chemistry, reduction processes and geochemical modeling. *Water Resources Research*, v. 27, n. 8, p. 2027-2045.
- Reddy, K. R. & Patric, W. H. (1981). Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. In: CRC Critical Reviews in Environmental Control, v. 13, n. 4, p. 273-303.
- Robertson, W. D.; Blowes, D. W.; Ptacek, C. J.; Cherry, J.A. (2000). Long-term performance of *in situ* reactive barriers for nitrate remediation. *Groundwater*, v. 38, n. 5, p. 689-695.
- Robertson, W. D. & Anderson, M. R. (1999). Nitrogen removal from landfill leachate using an infiltration bed coupled with a denitrification barrier. *Groundwater monitoring & remediation*, Fall, 1999, p.73-80.
- Robertson, W. D. & Cherry, J. A. (1995). *In situ* denitrification of septic-system nitrate using reactive porous media barriers: Field trials. *Groundwater*, 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. *Groundwater*, 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 (USP). São Paulo. 171p.
- SABESP (2004). Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, <http://www.sabesp.com.br>.
- Schipper, L. & Vojvodic-Vukovic, M. (1998). Nitrate removal from groundwater using a denitrification wall amended with sawdust: field trial. *Journal of Environmental Quality*, v. 27, n. 3, p. 664-668.
- Schipper, L. & Vojvodic-Vukovic, M. (2001). Five years of nitrate removal, denitrification and carbon dynamics in denitrification wall. *Water Research*, v. 35, n. 14, p. 3473-3477.
- SIGRHI (2007). URL: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plu>
- Silva, S. R.; Kendall, C.; Wilkison, D. H.; Ziegler, A. C.; Chang, C. C. Y.; Avanzino, R. J. (2000). A new method for collection of nitrate from fresh water and the analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. *Journal of Hydrology*, v. 228, p. 22-36.
- Smith, R. L. & Duff, J. H. (1988). Denitrification in a sand and gravel aquifer. *Applied Environmental Microbiology*, v. 54, n. 5, p. 1071-1078.
- Starr, R. C. & Gillham, R. W. (1989). Controls on denitrification in shallow unconfined aquifers. In: Contaminant Transport in Groundwater. Proc. Of the International Symposium on Contaminant Transport in Groundwater, Stuttgart, Germany, 1989. Balkema, Rotterdam, p. 51-56.
- Starr, R. C. & Gillham, R. W. (1993). Denitrification and organic carbon availability in two aquifers. *Groundwater*, v. 31, n. 6, p. 934-947.
- Stevenson, F. J. (editor) (1982). Nitrogen in agricultural soils. Serie Agronomy, n 22. Madison, Wisconsin (USA), 940p.
- Therrien, R., McLaren, R. G., Sudicky, E. A., & Panday, S. M. (2004). HydroGeoSphere. A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport. Université Laval, University of Waterloo, Canada 300 pp.
- Till, B.A.; Weathers, L. J.; Alvarez, P. J. J. (1998) Fe(0) supported autotrophic denitrification. *Environmental Science and Technology*, v. 32, n. 5, p. 634-639.
- Toride, N., F. J.; Leij, van Genuchten M. Th. (1999). The CXTFIT code for estimating transport parameters from laboratory or field tracer experiments. Version 2.1. Research Report No. 137, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA. 121 p.
- UNICEF (2005). United Nations Children's Fund. http://www.unicef.org/media/media_19974.
- UNICEF (2007). Progress for Children Report. <http://www.unicef.org>.
- USEPA (1999). United States Environmental Protection Agency. "Field Applications of *in situ* Remediation Technologies: Permeable Reactive Barriers". EPA 542-R-99-002.
- USEPA (1998). United States Environmental Protection Agency. "Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation". EPA 600-R-98-125.
- USEPA (1995). United States Environmental Protection Agency. "Drinking water regulations and health advisors". Acesso em 2004. URL: <http://www.epa.gov>.

- USEPA (1986). United States Environmental Protection Agency. "Septic systems and groundwater protection: an executives guide". Technical report, Office of Groundwater protection, Washington, DC.
- 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 Petrologia, Instituto de Geociências (USP). São Paulo. 210p.
- Vogan, J. L. (1993). The use of emplaced denitrifying layers to promote nitrate removal from septic effluent. Dissertação de Mestrado. Dpt Earth Sciences, University of Waterloo. Ontario, 232p.
- Volokita, M.; Belkin, S.; Abeliovich, A.; Soares, M. I. M. (1996a). Biological denitrification of drinking water using newspapers. *Water Research*, v. 30, n. 4, p. 965-972.
- Volokita, M.; Abeliovich, A.; Soares, M. I. M. (1996b). Denitrification of groundwater using cotton as energy source. *Water Science and Technology*, v. 34, n. 1-2, p. 379-385.
- Walker, W. G.; Bouma, J.; Keeney D. R.; Magdoff F. R. (1973). Nitrogen Transformations during Subsurface Disposal of Septic Tank Effluent in sands: I Soil Transformations. *Jour. Environ. Qual.* 2:475-480.
- Wassenaar, L. I. & Koehler, G. (1999). An on-line technique for the determination of the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{17}\text{O}$ of gaseous and dissolved oxygen. *Analytical Chemistry*, v. 71, p. 4965-4968.
- Watkins, G.F.; Pope, T.; Williams, G.; Luft, T.; Bowen, G.; Kyle M.; Fiser, W. (2005). METAHEMOGLOBINEMIA in Case Studies - Cardiopulmonary Perfusion Associates. Acesso em 2005: Revista Latinoamericana de Tecnologia Extracorpórea. URL: <http://perflin.com/revista/volume7/v7n2/v7n2-04.html>.
- Whitelaw, K. & Rees, J.F. (1980). Nitrate-reducing and ammonium-oxidizing bacteria in the vadose zone of the Chalk aquifer of England. *Geomicrobiology Journal*, v. 2, n. 2, p. 1979-1987.
- Wilhelm, S. R.; Schiff, S. L.; Robertson, W. D. (1996). Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: 2. application of conceptual model in sandy aquifers. *Groundwater*, v. 34, n. 5, p. 853-864.
- Wilhelm, S. R.; Schiff, S.; Cherry, J. (1994). Biogeochemical evolution of domestic waste in septic systems: Conceptual Model. *Groundwater*, v. 32, n. 6, p. 905-916.
- WHO (1999). World Health Organization. "Environmental health information". Acesso em 2004. URL: <http://www.who.int>.

ANEXO I

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Item 5.1.1. Cadastro dos lotes

Foto 5.1.1.1. Revestimento em anéis.

Foto 5.1.1.2. Revestimento em tijolo.

Foto 5.1.1.3. Poço sem revestimento interno.

Foto 5.1.1.4. Cimento como pavimento de entorno.

Foto 5.1.1.5. Piso como pavimento de entorno.

Foto 5.1.1.6. Terra como pavimento de entorno.

Foto 5.1.1.7. Poço bem acabado sem vão de acesso.

Foto 5.1.1.8. Poço com telha como tampa.

Foto 5.1.1.9. Poço com tampa metálica.

Foto 5.1.1.10. Poço em área desbarrancada.

Foto 5.1.1.11. Cimento como pavimento de entorno.

Foto 5.1.1.12. Junção entre revestimentos interno e externo.

Foto 5.1.1.13. Revestimento interno fragmentado.

Foto 5.1.1.14. Revestimento externo rachado.

Foto 5.1.1.15. Infiltração pelo revestimento externo.

Foto 5.1.1.16. Infiltração por antigo acesso da mangueira.

Foto 5.1.1.17. Presença de insetos no poço.

Foto 5.1.1.18. Formigueiro próximo à boca do poço.

Foto 5.1.1.19. Poço com esgoto e animais no entorno.

Foto 5.1.1.20. Fossa a montante do poço.

Foto 5.1.1.21. Fossa negra.

Foto 5.1.1.22. Fossa em concreto.

Foto 5.1.1.23. Sarjeta na Rua Tito Pedro Mascellani.

Foto 5.1.1.24. Criação de porcos a 0,5m do poço.

Foto 5.1.1.25. Presença de fungos na parede do poço.

Foto 5.1.1.26. Bolhas na superfície da água.

Item 5.2.3. Injeção de nitrato e traçador

Figura 5.2.3.1. Pesagem seca da Coluna 1.

Figura 5.2.3.2. Sedimentos desagregados da área.

Figura 5.2.3.3. Preenchimento da Coluna 1.

Figura 5.2.3.4. Compactação dos sedimentos na coluna.

Figura 5.2.3.5. Primeiro nível compactado.

Figura 5.2.3.6. Pesagem da coluna a cada nível de sedimentos compactado.

Figura 5.2.3.7. Coluna 1 quase toda preenchida.

Figura 5.2.3.8. Pesagem final da coluna completa.

Figura 5.2.3.9. Nivelamento de sedimentos no topo da coluna.

Figura 5.2.3.10. Colocação dos filtros.

Figura 5.2.3.11. Coluna 2 completa com 10cm de serragem e areia.

Figura 5.2.3.12. Coluna 3 completa com 20cm de serragem e areia.

Figura 5.2.3.13. Saturação das colunas com CO_2 .

Figura 5.2.3.14. Saturação das colunas com água destilada.

Figura 5.2.3.15. Injeção da solução 1 nas 3 colunas.

Figura 5.2.3.16. Amostragem das 3 colunas.

Item 5.3.2.2. Instrumentos de coleta de amostras

Figura 5.3.2.2.1. Ranhuras na mangueira.

Figura 5.3.2.2.2. Filtro do piezômetro envolvido com tela microporosa.

Figura 5.3.2.2.3. Cone de PE com base menor serrada.

Figura 5.3.2.2.4. Base menor colada com folha de PVC.

Figura 5.3.2.2.5. Tela microporosa sendo colada com cola de silicone quente.

Figura 5.3.2.2.6. Fixação da tela com braçadeiras.

Figura 5.3.2.2.7. Finalização do filtro com colagem de folha de PVC e mangueira para sucção de amostra.

Figura 5.3.2.2.8. Filtros prontos para serem inseridos nos cones de PE.

Figura 5.3.2.2.9. Pan-lisímetro.

Figura 5.3.2.2.10. Amostrador de gás com cápsula de teflon.

Item 5.3.2.3. Fossa Alternativa

Figura 5.3.2.3.1. Eliane, Rodrigo, Idália, Larissa, Antônio e Jesse.

Figura 5.3.2.3.2. Marcos, Eduardo e Larissa.

Figura 5.3.2.3.3. Início da escavação.

Figura 5.3.2.3.4. Cobertura com lona da área de trabalho.

Figura 5.3.2.3.5. Descrição macroscópica do furo.

Figura 5.3.2.3.6. Coleta de amostras a cada 0,5m.

Figura 5.3.2.3.7. Fotos e filmagem dos horizontes do furo.

Figura 5.3.2.3.8. Foto da face sudeste do furo.

Figura 5.3.2.3.9. Escavação finalizada.

Figura 5.3.2.3.10. Escavação com 3 diâmetros decrescentes e acesso para o dreno.

Figura 5.3.2.3.11. Camada 1 e instrumentos.

Figura 5.3.2.3.12. Detalhe do lisímetro de aço.

Figura 5.3.2.3.13. Posicionamento do amostrador de gases.

Figura 5.3.2.3.14. Instrumentos da camada 1 já cobertos.

Figura 5.3.2.3.15. Posicionamento do dreno inferior.

Figura 5.3.2.3.16. Finalização da camada 1.

Figura 5.3.2.3.17. Introdução do anel de concreto na camada 2 por talha.

Figura 5.3.2.3.18. Vista do anel de concreto posicionado.

Figura 5.3.2.3.19. Cobertura do anel de concreto com vinilona.

Figura 5.3.2.3.20. Conexão do tubo que atravessa a vinilona com o cotovelo externo ao anel.

Figura 5.3.2.3.21. Fixação do dreno interno ao anel e conexões com o tubo vertical.

Figura 5.3.2.3.22. Dreno sendo envolvido com brita 0 por toda sua circunferência e colocação de brita 0 sobre as abas da vinilona.

Figura 5.3.2.3.23. Posicionamento do poço de monitoramento a 4,2m (nivelado ao dreno).

Figura 5.3.2.3.24. Espaçamento entre os piezômetros para a posição do centro (C).

Figura 5.3.2.3.25. Instalação dos piezômetros, guiados através de um pedaço de tronco já na mistura com a serragem.

Figura 5.3.2.3.26. Camada 2 já finalizada com o posicionamento do 2º poço de monitoramento a 3,5m de profundidade.

Figura 5.3.2.3.27. Vista dos dois poços de monitoramento.

Figura 5.3.2.3.28. Início da camada 3.

Figura 5.3.2.3.29. Colocação do anel-guia de aço no furo.

Figura 5.3.2.3.30. Acomodação do anel-guia para separação entre brita 1 externa ao anel e o material interno.

Figura 5.3.2.3.31. Lisímetros na camada 3.

Figura 5.3.2.3.32. Disposição do amostrador de gás.

Figura 5.3.2.3.33. Início da camada 4 (mistura com BOF).

Figura 5.3.2.3.34. Lisímetros no meio da camada 4.

Figura 5.3.2.3.35. Instalação do amostrador de gás e do outro nível de pan-lisímetros entre as camadas 4 e 5.

Figura 5.3.2.3.36. Disposição final dos lisímetros na base da camada 5.

Figura 5.3.2.3.37. Instalação do amostrador de gases na base da camada 5.

Figura 5.3.2.3.38. Finalização da camada 5.

Figura 5.3.2.3.39. Início da camada 6, com disposição de pedrisco na borda interna do anel para direcionamento do fluxo do efluente.

Figura 5.3.2.3.40. Posicionamento do último nível de instrumentos.

Figura 5.3.2.3.41. Disposição final de todos instrumentos.

Figura 5.3.2.3.42. Finalização da camada 6.

Figura 5.3.2.3.43. Início da camada 7.

Figura 5.3.2.3.44. Preenchimento completo das camadas antes do tanque vazio.

Figura 5.3.2.3.45. Vista do preenchimento e das mangueiras amostradoras.

Figura 5.3.2.3.46. Anel de concreto (tanque) sendo colocado.

Figura 5.3.2.3.47. Pedrisco na borda interna do tanque.

Figura 5.3.2.3.48. Grupo de mangueiras amostradoras.

Figura 5.3.2.3.49. Caixa de concreto para acomodação das mangueiras.

Figura 5.3.2.3.50. Fossa sem a tampa de concreto e caixa de concreto com as mangueiras.

Item 5.3.2.4. Fossa Controle

Figura 5.3.2.4.1. Localização da fossa de controle.

Figura 5.3.2.4.2. Escavação da fossa.

Figura 5.3.2.4.3. Face nordeste no primeiro metro da fossa.

Figura 5.3.2.4.4. Rocha alterada com presença de estruturas.

Figura 5.3.2.4.5. Descrição macroscópica.

Figura 5.3.2.4.6. Escavação finalizada.

Figura 5.3.2.4.7. Camada 1 e instrumentos.

Figura 5.3.2.4.8. Pan-lisímetros preenchidos.

Figura 5.3.2.4.9. Instalação do amostrador de gás.

Figura 5.3.2.4.10. Início da camada 3.

Figura 5.3.2.4.11. Camada 3 quase finalizada.

Figura 5.3.2.4.12. Início da camada 4.

Figura 5.3.2.4.13. Instalação dos lisímetros.

Figura 5.3.2.4.14. Disposição final dos lisímetros.

Figura 5.3.2.4.15. Início da camada 5.

Figura 5.3.2.4.16. Instrumentos entre as camadas 5 e 6.

Figura 5.3.2.4.17. Início da camada 6.

Figura 5.3.2.4.18. Finalização da camada 6.

Figura 5.3.2.4.19. Início da camada 7.

Figura 5.3.2.4.20. Borda de pedrisco na camada 7.

Figura 5.3.2.4.21. Término do preenchimento.

Figura 5.3.2.4.22. Anéis de concreto colocados.

Figura 5.3.2.4.23. Vista da fossa e da caixa de concreto com as mangueiras amostradoras.

Figura 5.3.2.4.24. Fossa com tampa de concreto e respiro.

Item 5.3.2.5. Plano de amostragem e análises

Foto 5.3.2.5.1. Sistema de sucção de gases.

Foto 5.3.2.5.2. Amostragem de gases.

Foto 5.3.2.5.3. Passagem da amostra pela coluna de troca aniônica.

Foto 5.3.2.5.4. Eluição das colunas por HCl.

Foto 5.3.2.5.5. Adição de AgNO_3 às amostras submetidas à eluição.

Foto 5.3.2.5.6. Reação das amostras ao AgNO_3 .

Foto 5.3.2.5.7. Filtração das amostras.

Foto 5.3.2.5.8. Solução pronta para ser seca em freeze dryer.

Foto 5.3.2.5.9. Discos de SiO_2 para captura de NH_4^+ .

Foto 5.3.2.5.10. Amostras em agitador magnético.

ANEXO II

QUESTIONÁRIO INICIAL

PROGRAMA DE VIGILÂNCIA E MELHORAMENTO DA ÁGUA

FORMULÁRIO DE PESQUISA SANITÁRIA PARA A DETERMINAÇÃO DE RISCOS DE CONTAMINAÇÃO EM POÇOS NO BAIRRO DA BARRAGEM (PARELHEIROS-SP)

Responsável: _____

Informações Gerais

Data da visita: _____ Localização: _____

Nome do morador: _____ Tempo de residência: _____

Nº de adultos (>12 anos): _____ Nº de crianças (idade): _____

Uso da água: () tudo, () tudo menos bebível, outros () **Obs.** _____

Pré-tratamento da água consumida: _____

Telefone para contato: _____

Informações Específicas para o Diagnóstico

POÇOS

Poço nº	UTM	Data Início	Data Fim	Forma de desativação

FOSSAS () Sim () Não _____

Fossa nº	UTM	Data Início	Data Fim	Forma de desativação

POÇO N^o

FOSSA N^o

Acabamento
☐ furo com anel de concreto
☐ somente aterrado
☐ tijolado
☐ furo aberto
☐ com tampa de concreto
☐ outros _____

Origem do efluente
☐ descarga
☐ cozinha
☐ chuveiro
☐ tanque
☐ outros _____

Tipo de fossa
☐ úmida
☐ seca

Escape para gases S/N

Percolação de água pela cobertura S / N

Poço coberto S / N
 Obs. _____

Aspectos da água S / N
☐ Sabor _____
☐ Cheiro _____
☐ Cor _____
☐ Outros _____

Tampa S / N
 obs. _____

Vão no contato com a tampa S / N
 obs. _____

Acesso com vão S / N
 obs. _____

Trincas S / N
 obs. _____

Tipo de revestimento no pavimento de entorno (m):

Entorno ao poço S / N
☐ bioturbações
☐ formigueiro
☐ buracos
☐ rachaduras
☐ outros _____

Fontes de contaminação prováveis S / N
☐ água servida
☐ poço sujeito à alagamento
☐ criação de animais
☐ horta
☐ outros _____

Possível infiltração pela parede S / N
☐ Trinca
☐ Mangueira de bombeamento
☐ Fiação elétrica
☐ Pelo tipo de revestimento
☐ Raízes

Sinais de infiltração na parede S / N
 obs. _____

Irregularidades na parede interna S / N
 obs. _____

Material em suspensão S / N
☐ objeto
☐ insetos
☐ espuma
☐ algas
☐ outros _____

ANEXO III

TABELAS

Tabela 5.1.2.1. Análises físico-químicas, amônio e nitrato por RQFlex para os poços.

Data	Hora	Poço	NA	pH	ToC	Eh	C.E. (μS/cm)	Amônio (mg/L)	Nitrato (mg/L)
1/15/2006	14:00	AOL 20	3,12	5,97	22,4	290	69,4	-	10
1/15/2006	15:10	AOL 45	1,98	5,83	22	253	210	0,6	15
1/15/2006	15:30	AOL 46	2,81	5,37	21,4	241	70,3	0,6	9
1/15/2006	16:05	AOL 47	1,85	5,16	22,3	310	151,5	0,7	16
1/15/2006	16:45	AR 123	2,69	5,27	21,9	360	51,6	-	12
1/15/2006	17:10	AR 163	6,1	5,11	21,4	343	51,6	-	10
1/15/2006	17:50	AR 295	4,07	4,94	22,5	351	162	0,7	< 5
1/15/2006	18:20	EN 14	2,26	5,77	21	282	177,1	0,5	29
1/15/2006	19:00	EN 15	1,75	5,14	22,4	365	32,9	0,3	3
1/16/2006	14:00	JAG 05	4,21	5,59	21,1	360	111,5	0,3	21
1/16/2006	14:30	JAG 06	4,67	5,52	21,3	335	193,7	0,7	24
1/16/2006	15:30	JAG 07	2,15	5,05	22,3	370	145,8	0,4	31
1/16/2006	16:00	JAG 10	1,6	5,69	21,6	182	89	0,8	2
1/16/2006	16:30	JAG 12	5,41	5,91	21,5	293	206	-	21
1/16/2006	17:00	JAG 27	7,59	5,4	20,8	300	122,6	0,7	21
1/16/2006	17:30	JAG 300	106	5,65	23,5	250	122,1	0,2	7
1/16/2006	18:30	JCR 25/31	7,37	6,11	22,4	270	88,8	0,6	12
1/17/2006	13:40	KRU 209	3,93	5,24	20,6	346	98,7	0,6	34
1/17/2006	14:15	KRU 211	5,05	5,75	20,4	466	136,1	0,5	39
1/17/2006	14:45	KRU 215	8,43	5,56	20,3	300	105,7	0,5	28
1/17/2006	15:10	KRU 290	1,2	5,38	20,5	285	44,6	0,5	3
1/17/2006	15:30	KRU 300	5,26	5,89	20,3	290	38,9	0,4	7
1/17/2006	16:00	KRU 312	10,79	5,54	20,5	355	139,2	0,4	37
1/17/2006	17:00	LMA 28	6,17	6,32	22,6	290	258	0,2	60
1/17/2006	17:30	LMA 72	3,4	6,25	23,4	221	227	0,5	21
1/17/2006	17:45	LMA 74	5,2	5,71	23,8	207	117,4	0,2	34
1/17/2006	18:30	LMA 77	2,25	6,14	21,8	281	259	0,4	21
1/17/2006	19:00	LMA 78	5,06	6,21	21,6	262	347	3,8	73
1/17/2006	19:30	LMA 80	4,02	5,45	24,3	288	96,3	0,7	30
2/5/2006	13:50	LMA 82	9,44	5,89	23	226	47	0,4	8
2/5/2006	14:20	OGA 300	-	5,47	21,6	370	89,9	0,2	12
2/5/2006	14:50	SF 01	0,48	4,94	21,4	400	45,9	0,6	0
2/5/2006	15:20	SF 02	2,17	5,65	21,4	253	223	0,4	46
2/5/2006	15:50	SF 06	1,01	5,75	24,3	295	140,1	0,1	18
2/5/2006	16:20	SF 08A	3,34	5,62	21,5	269	153,7	0,4	21
2/5/2006	16:35	SF 3/4	1,44	5,63	22,3	293	207	0,4	21
2/5/2006	16:55	SF 49	3,37	6,44	22,5	257	303	6,3	35
2/5/2006	17:30	SF 60	3,74	5,54	21,9	291	38,1	0,8	< 5
2/5/2006	17:50	SF 62	2,17	5,36	23,3	312	61,1	0,3	6
2/6/2006	13:30	SF 64	1,8	5,78	25	305	124,5	0,3	20
2/6/2006	14:10	SF 65	1,97	5,86	24,7	290	134,1	0,1	16
2/6/2006	14:30	SF 66	2,83	5,9	22,3	304	127	0,2	27
2/6/2006	15:00	SF 69	4,83	5,83	21,9	305	77,9	0,4	16
2/6/2006	15:25	SF 69B	1,8	6,18	24	223	116	0,3	17
2/6/2006	15:45	SF 7B	2,1	5,33	23,2	280	52	0	11
2/6/2006	16:00	TP 102	1,98	5,26	22,6	317	152,7	0,2	33
2/6/2006	17:00	TP 180	2,03	5,15	23,8	307	206	0,3	42
2/7/2006	13:40	TP 30B	1,98	5,86	23,1	308	94,4	0,5	14
2/7/2006	14:00	TP 33	0,5	5,33	24	305	78,4	< 0,2	10
2/7/2006	14:20	TP 33B	1,47	6,62	23,6	263	250	0,4	11
2/7/2006	14:40	TP 35	3,26	5,00	23,8	340	82	-	17
2/7/2006	15:10	TP 35C	1,88	4,6	23,3	335	173,6	0,2	43
2/7/2006	15:30	TP 38B	1,2	5,32	25,4	344	144,9	0,3	33
2/7/2006	16:00	TP 38C	2,29	5,45	22,3	348	154	0,9	19
2/7/2006	18:30	TP 40	1,89	5,35	22,9	298	143,8	0,2	29
2/7/2006	19:05	TP 40A1	1,2	5,21	25,6	300	48,1	0,6	< 5

Tabela 5.1.2.2. Análises químicas de ânions para os poços amostrados.

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
LD (mg/L)	0.002	0.013	0.006	0.001	0.026	0.01	0.002
SF 01	0,386 (±0,004)	3,95 (±0,02)	< LD	0,015 (±0,001)	0,162 (±0,002)	< LD	8,819 (± 0,009)
SF 02	< LD	17,28 (±0,07)	< LD	0,160 (±0,007)	39,14 (±0,05)	< LD	12,2 (± 0,1)
SF 07B	< LD	6,36 (± 0,01)	< LD	< LD	8,04 (± 0,02)	< LD	0,582 (±0,008)
SF 08A	< LD	13,67 (±0,04)	< LD	< LD	17,32 (± 0,04)	< LD	9,19 (± 0,04)
SF 69	< LD	10,53 (±0,02)	< LD	< LD	12,86 (± 0,02)	< LD	4,60 (±0,04)
LMA 72	0,061 (± 0,003)	5,05 (±0,06)	< LD	0,326 (± 0,007)	17,4 (± 0,1)	< LD	5,4 (± 0,1)
LMA 74	< LD	4,93 (± 0,07)	< LD	0,196 (± 0,004)	31,18 (± 0,09)	< LD	0,97 (± 0,03)
LMA 77	< LD	27,48 (± 0,08)	< LD	0,276 (± 0,003)	16,67 (± 0,02)	< LD	4,877 (± 0,002)
LMA 78	< LD	27,68 (± 0,07)	< LD	< LD	65,3 (± 0,1)	< LD	2,434 (± 0,005)
LMA 80	< LD	6,92 (±0,03)	< LD	< LD	29,5 (± 0,1)	< LD	0,26 (± 0,02)
LMA 82	< LD	3,53 (±0,01)	< LD	< LD	4,88 (± 0,02)	< LD	0,704 (± 0,007)
AOL 45	< LD	59,05 (± 0,09)	< LD	< LD	11,2 (± 0,1)	< LD	6,12 (± 0,01)
AOL 47	< LD	20,52 (± 0,03)	< LD	< LD	13,63 (± 0,07)	< LD	9,4 (± 0,1)
AOL 56	< LD	7,056 (± 0,004)	< LD	< LD	4,65 (± 0,04)	< LD	4,08 (±0,03)
OGA 300	< LD	10,40 (± 0,03)	< LD	0,06 (± 0,01)	9,86 (± 0,06)	< LD	0,60 (± 0,05)
JCR 31	< LD	7,04 (± 0,09)	< LD	< LD	10,3 (± 0,1)	< LD	0,466 (± 0,007)
JAG 05	< LD	31,86 (± 0,07)	< LD	< LD	19,74 (± 0,01)	< LD	0,921 (± 0,006)
JAG 06	0,003 (± 0,001)	29,65 (± 0,07)	< LD	0,170 (± 0,003)	20,75 (± 0,04)	< LD	0,659 (± 0,006)
JAG 07	< LD	15,96 (± 0,09)	< LD	< LD	26,72 (± 0,08)	< LD	6,0 (± 0,1)
JAG 10	< LD	5,102 (± 0,009)	< LD	< LD	1,303 (± 0,001)	< LD	3,41 (± 0,02)
JAG 27	< LD	17,16 (± 0,03)	< LD	< LD	15,8 (± 0,3)	< LD	2,6 (± 0,2)
KRU 209	< LD	4,06 (± 0,02)	< LD	< LD	33,69 (± 0,05)	< LD	0,288 (± 0,005)
KRU 211	< LD	5,13 (± 0,03)	< LD	< LD	44,2 (± 0,3)	< LD	0,51 (± 0,02)
KRU 215	< LD	8,64 (± 0,03)	< LD	< LD	28,27 (± 0,03)	< LD	0,349 (± 0,003)
KRU 290	< LD	3,911 (± 0,009)	< LD	< LD	2,664 (± 0,007)	< LD	2,185 (± 0,004)
KRU 300	< LD	2,53 (± 0,01)	< LD	< LD	4,766 (± 0,004)	< LD	0,749 (± 0,003)
KRU 312	< LD	6,446 (± 0,005)	< LD	< LD	23,94 (± 0,02)	< LD	0,659 (± 0,008)
EN 14	< LD	16,06 (± 0,06)	< LD	< LD	26,35 (± 0,04)	< LD	6,354 (± 0,006)
EN 15	< LD	3,665 (± 0,006)	< LD	0,037 (± 0,001)	1,50 (± 0,02)	< LD	1,05 (± 0,02)
LMA 28	0,017 (±0,001)	13,3 (±0,1)	< LD	0,053 (±0,001)	56,72 (±0,06)	0,033 (±0,004)	0,927 (±0,004)
AOL 20	0,002 (±0,001)	6,20 (±0,04)	< LD	0,030 (±0,001)	5,33 (±0,03)	< LD	1,540 (± 0,009)
AR 123	< LD	6,81 (±0,05)	< LD	0,050 (±0,001)	6,42 (±0,04)	< LD	1,63 (± 0,01)
AR 163	< LD	6,35 (± 0,04)	< LD	0,044 (± 0,001)	8,16 (± 0,08)	0,023 (± 0,003)	0,19 (±0,01)
AR 295	< LD	1,543 (±0,002)	< LD	0,010 (±0,001)	1,120 (± 0,001)	< LD	0,192 (± 0,002)
JAG 10 B	< LD	5,092 (±0,009)	< LD	0,130 (± 0,004)	1,35 (± 0,05)	< LD	3,499 (±0,001)
JAG 12	0,041 (± 0,001)	17,640 (±0,006)	< LD	0,033 (± 0,002)	18,07 (± 0,01)	< LD	16,688 (± 0,009)
JAG 300	0,005 (± 0,001)	15,63 (± 0,03)	< LD	0,213 (± 0,005)	4,66 (± 0,03)	< LD	2,67 (± 0,01)
SF 03/04	0,004 (± 0,001)	21,5 (± 0,1)	< LD	0,091 (± 0,004)	18,5 (± 0,1)	0,036 (± 0,008)	14,89 (± 0,05)
SF 06	0,011 (± 0,001)	13,24 (± 0,01)	< LD	0,457 (± 0,003)	15,13 (± 0,03)	< LD	2,172 (± 0,007)
SF 56	< LD	0,689 (±0,005)	< LD	0,018 (±0,001)	0,110 (± 0,005)	< LD	0,814 (± 0,003)
SF 62	0,010 (± 0,001)	4,40 (±0,01)	< LD	0,074 (± 0,002)	3,24 (± 0,03)	< LD	1,974 (± 0,005)
SF 64	0,016 (± 0,001)	5,62 (± 0,02)	< LD	0,097 (± 0,002)	16,72 (± 0,03)	< LD	12,31 (± 0,02)
SF 65	0,011 (± 0,002)	7,26 (± 0,03)	< LD	0,270 (± 0,005)	12,56 (± 0,02)	< LD	6,91 (± 0,03)
SF 66	0,002 (± 0,001)	9,57 (± 0,04)	< LD	0,050 (± 0,002)	24,30 (± 0,02)	0,017 (± 0,001)	3,53 (±0,01)
SF 69	0,015 (± 0,001)	7,694 (± 0,009)	< LD	0,038 (± 0,004)	13,59 (± 0,02)	< LD	0,63 (± 0,01)
TP S/N	< LD	2,83 (± 0,02)	< LD	0,019 (± 0,001)	1,15 (± 0,01)	< LD	4,080 (± 0,003)
TP 30 B	0,008 (± 0,001)	7,39 (± 0,01)	< LD	0,060 (± 0,003)	10,70 (± 0,02)	< LD	3,64 (± 0,02)
TP 33 Z	0,010 (± 0,001)	8,59 (± 0,01)	0,046 (± 0,001)	0,023 (± 0,002)	7,625 (± 0,008)	< LD	2,298 (± 0,006)
TP 33 T	0,036 (± 0,001)	4,155 (± 0,009)	< LD	0,262 (± 0,005)	9,263 (± 0,007)	< LD	4,49 (± 0,02)
TP 35	0,011 (± 0,002)	17,67 (± 0,03)	< LD	0,100 (± 0,003)	37,82 (± 0,03)	< LD	17,40 (± 0,06)
TP 37 B	0,008 (± 0,001)	11,71 (± 0,02)	< LD	0,043 (± 0,001)	27,20 (± 0,04)	< LD	13,2 (± 0,1)
TP 38 D	< LD	17,2 (± 0,1)	< LD	0,171 (± 0,002)	13,16 (± 0,02)	< LD	15,90 (± 0,03)
TP 38 E	< LD	3,69 (± 0,04)	< LD	0,034 (± 0,002)	9,39 (± 0,01)	< LD	6,9 (± 0,1)
TP 40	0,029 (± 0,001)	11,42 (± 0,04)	< LD	0,059 (± 0,002)	24,52 (± 0,04)	< LD	11,3 (± 0,1)
TP 49	0,008 (± 0,001)	24,45 (± 0,02)	< LD	0,084 (± 0,002)	32,42 (± 0,01)	0,032 (± 0,001)	7,05 (± 0,03)
TP 102	0,020 (± 0,001)	14,50 (± 0,02)	< LD	0,028 (± 0,001)	30,17 (± 0,01)	< LD	8,72 (± 0,04)
TP 180	0,020 (± 0,001)	17,73 (± 0,01)	< LD	0,067 (± 0,002)	30,55 (± 0,01)	< LD	14,02 (± 0,02)

Tabela 5.1.2.3. Análises bacteriológicas para os poços amostrados.

Amostra	Data da Coleta	Horário	CE (μS/cm)	Salinidade (‰)	TDS (mg/L)	pH (1)	T °C (2)	CBH	CT	CF	CSR
								UFC/mL	UFC/100 mL	UFC/100 mL	UFC/100 mL
01 - LMA 72	1/15/2006	13:50	228	0.1	108	6.0	17.6	4990.0	114.0	<1	210.0
02 - LMA 74	1/15/2006	15:00	116.1	0.1	55	5.5	15.9	1037.0	32.0	<1	80.0
03 - LMA 80	1/15/2006	15:40	95.6	0	45	5.0	16.0	1060.0	37.0	<1	220.0
04 - LMA 82	1/15/2006	16:05	43.2	0	21	5.0	17.8	4105.0	258.0	2.0	410.0
05 - SF 69B	1/15/2006	16:45	109.3	0.1	52	5.0	15.7	2150.0	20.0	<1	1250.0
06 - SF 7B	1/15/2006	17:10	50.6	0	24	5.0	15.9	690.0	69.0	9.0	620.0
07 - SF 02	1/15/2006	17:50	213	0.1	102	5.0	14.9	670.0	8.0	<1	120.0
08 - SF 08A	1/15/2006	18:20	146.9	0.1	70	5.0	15.9	615.0	2.0	<1	560.0
09 - SF 01	1/15/2006	19:00	21	0	44.2	5.0	16.0	560.0	184.0	21.0	46.0
10 - LMA 77	1/16/2006	14:00	242	0.1	115	5.5	15.2	2360.0	235.0	68.0	70.0
11 - LMA 78	1/16/2006	14:30	331	0.2	159	5.5	15.8	3640.0	2320.0	11.0	30.0
12 - LMA 78B	1/16/2006	14:30	337	0.2	159	5.5	13.2	1440.0	420.0	<1	30.0
13 - JAG 27	1/16/2006	15:30	117.1	0.1	55	5.0	12.9	>1600	2020.0	19.0	88.0
14 - JCR 25/31	1/16/2006	16:00	84.3	0	40	5.0	13.3	1550.0	1300.0	<1	30.0
15 - AOL 45	1/16/2006	16:30	195.3	0.1	93	5.5	15.6	2560.0	1590.0	191.0	960.0
16 - AOL 47	1/16/2006	17:00	124.8	0.1	59	5.0	16.5	4600.0	72.0	6.0	190.0
17 - AOL 46	1/16/2006	17:30	65.5	0	31	5.0	15.1	15.0	<1	<1	1.0
18 - OGA 300	1/16/2006	18:30	84.2	0	40	6.0	14.2	1035.0	230.0	<1	440.0
19 - JAG 10	1/17/2006	13:40	81.6	0	39	5.0	20.3	380.0	2960.0	80.0	27.0
20 - EN 14	1/17/2006	14:15	181.6	0.1	86	5.0	16.2	12160.0	4640.0	37.0	>1600
21 - EN 15	1/17/2006	14:45	39.9	0	19	5.0	15.6	2507.0	340.0	73.0	750.0
22 - JAG 05	1/17/2006	15:10	106.7	0.1	50	5.0	19.8	1387.0	8.0	<1	9.0
23 - JAG 06	1/17/2006	15:40	170.1	0.1	83	5.0	23.9	58.0	1.0	<1	50.0
24 - JAG 07	1/17/2006	16:00	133.6	0.1	63	5.0	20.6	107.0	7.0	3.0	36.0
25 - KRU 300	1/17/2006	17:00	42.9	0	20	5.0	19.4	2980.0	46.0	20.0	260.0
26 - KRU 290	1/17/2006	17:30	41.2	0	20	5.0	19.9	9280.0	<1	4.0	460.0
27 - KRU 312	1/17/2006	17:45	132.1	0.1	63	5.0	19.0	9020.0	41.0	22.0	108.0
28 - KRU 215	1/17/2006	18:30	102.5	0	49	5.0	15.0	618.0	<1	<1	9.0
29 - KRU 211	1/17/2006	17:00	129.9	0.1	62	5.0	16.8	45.0	1.0	<1	51.0
30 - KRU 209	1/17/2006	19:30	94.4	0	45	5.0	15.8	445.0	<1	<1	150.0
31 - LMA 28	2/5/2006	13:50	260	0.1	124	7.0	22.2	5200.0	250.0	12.0	102.0
32 - SF 06	2/5/2006	14:20	138.9	0.1	66	5.5	21.5	1580.0	1260.0	<1	4400.0
33 - JAG 300	2/5/2006	14:50	120.6	0.1	57	5.5	19.1	155.0	10.0	2.0	860.0
34 - SF 69	2/5/2006	15:00	81.1	0	38	5.5	18.8	1100.0	70.0	<1	100.0
35 - SF 66	2/5/2006	15:25	125.5	0.1	60	6.0	17.2	110.0	220.0	7.0	160.0
36 - SF 65	2/5/2006	16:10	127.9	0.1	61	6.0	17.1	15.0	110.0	<1	40.0
37 - SF 64	2/5/2006	16:35	125.2	0.1	59	5.5	16.7	493.0	130.0	<1	40.0
38 - SF 62	2/5/2006	16:55	61.3	0	29	5.5	17.8	477.0	33.0	1.0	173.0
39 - TP 38B	2/5/2006	17:30	145.7	0.1	69	6.0	17.6	228.0	8.0	10.0	42.0
40 - TP 180	2/5/2006	17:50	210	0.1	100	5.5	17.8	463.0	180.0	<1	1240.0
41 - SF 03/04	2/6/2006	13:20	145.9	0.1	94	6.0	23.1	470.0	100.0	<1	80.0
42 - TP 102	2/6/2006	14:10	149.7	0.1	71	5.0	22.5	833.0	160.0	40.0	57.0
43 - TP 40	2/6/2006	14:30	134.6	0.1	65	5.0	25.0	90.0	130.0	20.0	110.0
44 - TP 33B	2/6/2006	15:00	244	0.1	116	7.0	14.5	1050.0	13600.0	10880.0	1380.0
45 - TP 30B	2/6/2006	15:45	89.4	0	44	5.5	18.8	645.0	56.0	12.0	1120.0
46 - TP CÔR	2/6/2006	16:00	84.2	0	40	6.5	13.6	1840.0	10720.0	6320.0	8240.0
47 - TP 33	2/6/2006	17:00	66.3	0	32	5.0	18.0	45.0	100.0	<1	260.0
50 - TP 35C	2/6/2006	15:20	169.6	0.1	57	5.0	18.8	73.0	12.0	<1	360.0
51 - SF 60	2/7/2006	13:40	34.1	0	16	5.5	20.5	120.0	470.0	61.0	<1
52 - SF 49	2/7/2006	14:00	303	0.1	146	6.0	19.1	2630.0	120.0	1070.0	138.0
53 - TP 38C	2/7/2006	14:20	151.7	0.1	72	5.0	18.9	350.0	38.0	1.0	10.0
54 - TP 40A1	2/7/2006	14:40	49.2	0	23	5.5	17.3	2970.0	1000.0	28.0	340.0
55 - TP 35	2/7/2006	15:10	81.9	0	39	5.5	17.0	78.0	770.0	15.0	120.0
56 - JAG 12	2/7/2006	15:40	202	0.1	97	5.5	17.6	53.0	90.0	2.0	64.0
57 - AOL 20	2/7/2006	16:00	66.5	0	31	5.5	18.0	43.0	10.0	<1	12.0
58 - AR 295	2/7/2006	18:30	15.7	0	7	5.0	19.3	55.0	900.0	363.0	1080.0
59 - AR 163	2/7/2006	19:00	51.6	0	25	5.0	19.0	52.0	15.0	5.0	218.0
60 - AR 123	2/7/2006	19:30	46.3	0	22	5.0	22.5	5.0	<1	<1	8.0

1- pH no momento da análise

2- Temperatura no momento da análise

CBH - Contagem de Bactérias Heterotróficas (Método de Contagem em Placas)

CT - Coliformes Totais (Método de Membrana Filtrante)

CF - Coliformes Fecais (Método de Membrana Filtrante)

CSR - Clostridium Sulfito Redutores (Método de Membrana Filtrante)

Tabela 5.1.3.1. Coordenadas, cota topográfica, profundidade, NA, altura da boca e carga hidráulica dos poços.

Poço	Leste (m)	Norte (m)	Cota do Solo (m)	Profundidade do Poço (m)	Profundidade do NA (m)	Altura da boca (m)	Carga hidráulica (m)
AOL14	332988.363	7358413.281	799.840	12.00	6.83	0.10	793.11
AOL20	333077.335	7358415.900	800.244	6.62	3.70	0.68	797.22
AOL45	332951.259	7358450.566	792.482	3.12	0.80	0.14	791.82
AOL47	332972.075	7358446.765	790.463	3.92	1.99	0.26	788.73
AOL49	333001.624	7358455.200	791.908	4.44	2.61	0.43	789.73
AOL55	333016.312	7358456.831	793.017	4.65	2.89	0.29	790.42
AOL56	332982.249	7358450.038	790.834	4.72	4.01	0.18	787.00
AOL58	333053.956	7358444.241	792.764	4.84	2.12	0.09	790.73
EN01	332951.788	7358517.789	803.863	3.50	0.77	0.24	803.33
EN04	332989.642	7358521.316	796.543	9.83	4.75	0.60	792.39
EN12	333053.504	7358463.117	791.085	2.55	0.20	0.09	790.98
EN14	333107.697	7358473.884	798.138	5.56	2.00	0.26	796.40
EN15	333117.507	7358452.938	799.952	3.72	1.58	0.05	798.42
EN60	333085.191	7358514.811	798.772	7.64	1.31	0.24	797.70
JAG01	333161.840	7358517.638	829.019	5.81	2.83	0.46	826.65
JAG02	333154.672	7358500.087	803.208	5.34	3.01	0.37	800.57
JAG03	333169.160	7358489.957	806.266	8.25	4.84	0.42	801.85
JAG04	333117.689	7358463.390	799.683	3.91	2.16	0.66	798.18
JAG06	333125.533	7358487.845	800.594	5.72	4.74	0.36	796.21
JAG07	333120.045	7358492.233	799.524	5.06	1.71	0.23	798.04
JAG10	333106.930	7358427.999	799.830	3.23	1.21	0.44	799.06
JAG27	332991.455	7358379.228	801.151	12.60	7.31	0.23	794.07
JAG300	333096.493	7358420.272	797.448	2.08	1.07	0.22	796.60
JAGA5	333118.542	7358473.606	798.660	4.91	3.23	0.60	796.03
JB299	333030.807	7358772.688	825.190	27.00	18.06	0.87	808.00
JB500	332892.332	7358811.693	806.696	9.50	6.02	0.15	800.83
JB970	332972.565	7358726.886	819.955	21.00	14.40	0.68	806.24
JCR25/31	332960.464	7358358.790	796.799	7.84	3.27	0.41	793.94
JCR26	332899.326	7358377.998	788.069	7.19	4.51	0.29	783.85
JCR27	332908.529	7358367.243	789.978	10.55	4.39	0.82	786.41
JCR28	332865.099	7358333.072	802.839	15.50	9.95	0.37	793.26
KRU01	333048.520	7358827.150	822.795	15.58	14.32	0.28	808.76
KRU02	333048.474	7358853.260	822.263	17.86	13.54	0.59	809.31
KRU141	332807.623	7358702.070	793.423	1.05	0.50	0.00	792.92
KRU143	332839.622	7358703.578	795.960	2.88	1.37	0.38	794.97
KRU146	332838.142	7358620.199	799.371	15.53	10.34	0.50	789.53
KRU207	332868.363	7358703.232	796.236	5.54	2.54	0.98	794.68
KRU215	332911.275	7358686.229	807.892	11.09	7.38	0.96	801.47
KRU290	332971.441	7358652.462	808.837	2.43	0.61	0.38	808.61
KRU290	332966.782	7358648.197	807.466	1.08	0.05	0.10	807.52
KRU297	332947.381	7358750.710	819.719	18.37	13.16	0.21	806.77
KRU297B	333046.862	7358728.972	822.927	-	14.38	0.28	808.83
KRU949	332963.690	7358695.524	813.529	13.84	9.89	0.06	803.70
LMA09	333277.094	7358239.313	808.417	6.83	4.99	0.11	803.54
LMA28	333172.350	7358234.474	804.817	10.53	6.90	0.28	798.20
LMA74	333063.390	7358255.867	797.105	7.20	3.95	0.08	793.24
LMA80	333062.634	7358233.316	792.376	6.40	3.41	0.55	789.52
LMA82	333041.256	7358224.384	794.295	15.00	8.79	1.25	786.76
MCC19	333082.076	7358356.897	814.865	13.61	9.12	0.25	806.00
MCC38	333093.934	7358314.085	811.428	15.00	9.94	0.60	802.09
OGA300	333287.581	7357955.864	819.489	17.42	9.81	0.43	810.11
OGA300	333251.047	7358023.509	816.711	15.67	10.63	0.38	806.46
OGA300	333151.020	7357970.559	811.664	17.00	11.20	0.15	800.61
SEV301	332997.614	7358900.493	817.695	16.64	12.93	0.58	805.35
SF01	333080.534	7358170.690	782.736	1.52	0.02	0.00	782.72
SF05B	333109.920	7358187.975	786.749	5.63	3.09	0.65	784.31
SF06	333148.082	7358194.982	800.235	5.05	0.82	0.30	799.72
SF06A/B	333145.699	7358211.931	791.837	4.85	0.56	0.24	791.52
SF07B	333092.717	7358240.268	795.839	4.57	2.65	0.48	793.67
SF08	332958.648	7358426.145	790.904	5.83	3.03	0.11	787.98
SF08A	333165.732	7358174.871	799.890	5.00	2.34	0.30	797.85
SF10	333161.205	7358178.536	796.597	7.50	2.78	0.45	794.27
SF14	333214.101	7358203.086	801.701	5.00	1.00	0.40	801.10
SF22	332868.699	7358318.886	801.905	12.28	11.95	0.15	790.11
SF35	332832.381	7358329.945	802.215	13.93	10.85	0.42	791.79
SF4/3	333176.551	7358198.280	800.602	4.23	2.03	0.00	798.57
SF48	332893.656	7358428.363	798.020	5.85	3.96	0.46	794.53
SF48	332857.311	7358437.520	799.632	5.75	3.09	0.63	797.17
SF49	332974.277	7358188.309	789.405	6.21	3.50	0.35	786.25
SF50	332997.681	7358204.292	798.288	6.53	4.95	0.24	793.58
SF500	333189.827	7358172.792	796.519	5.95	2.30	0.22	794.44
SF58	332955.869	7358201.935	798.405	9.98	6.03	0.50	792.88

Tabela 5.1.3.1. Coordenadas, cota topográfica, profundidade, NA, altura da boca e carga hidráulica dos poços. (Cont)

Poço	Leste (m)	Norte (m)	Cota do Solo (m)	Profundidade do Poço (m)	Profundidade do NA (m)	Altura da boca (m)	Carga hidráulica (m)
SF58	332915.798	7358220.920	800.168	9.62	6.19	0.26	794.24
SF60	332891.160	7358220.159	793.455	8.00	4.50	0.34	789.30
SF62	332876.849	7358243.560	792.094	7.74	2.87	0.10	789.32
SF63	332863.573	7358245.196	791.118	5.93	4.25	0.60	787.47
SF65	332853.187	7358259.788	791.645	4.26	2.47	0.62	789.80
SF66	332839.841	7358270.861	790.496	6.11	3.42	0.54	787.62
SF69B	333066.705	7358218.635	788.422	4.50	1.67	0.64	787.39
SF75B	333202.902	7358174.409	799.473	-	2.05	0.30	797.72
TMP02A	332727.813	7358415.174	782.126	3.05	1.93	0.18	780.38
TPM01	332719.578	7358386.919	781.805	2.62	1.37	0.09	780.53
TPM02B	332692.354	7358329.537	780.825	2.87	1.46	0.70	780.07
TPM03	333007.539	7358163.484	793.102	2.98	1.19	0.14	792.05
TPM03A/B	332924.961	7358500.864	801.629	4.72	1.60	1.09	801.12
TPM04	332734.524	7358443.013	782.089	4.68	2.62	0.26	779.72
TPM05	332687.829	7358350.533	780.404	2.70	1.37	0.30	779.33
TPM05B	332692.378	7358340.310	780.070	2.70	0.83	0.35	779.59
TPM07	332774.593	7358263.964	781.236	3.00	0.35	0.38	781.27
TPM09	332762.900	7358270.095	781.305	2.72	0.82	0.35	780.84
TPM100	332877.295	7358161.314	781.509	3.36	1.48	0.40	780.43
TPM102	332846.388	7358159.015	783.715	5.00	1.85	0.10	781.97
TPM103	332897.592	7358160.565	784.770	3.04	1.58	0.26	783.45
TPM13	332704.824	7358304.440	780.820	3.14	1.34	0.28	779.76
TPM13A	332705.448	7358299.116	780.780	3.65	1.14	0.00	779.64
TPM150B	332813.639	7358170.299	782.161	2.85	0.99	0.23	781.40
TPM16	332729.626	7358290.167	780.452	3.87	1.22	0.29	779.52
TPM180B	332844.783	7358170.199	784.210	3.92	1.87	0.00	782.34
TPM180B	332841.940	7358156.860	783.393	3.00	1.84	0.35	781.90
TPM19	332759.258	7358268.636	781.504	3.91	0.91	0.13	780.72
TPM200	332979.559	7358157.881	781.018	5.80	2.74	1.04	779.32
TPM22	332730.999	7358339.000	780.639	9.04	1.71	0.58	779.51
TPM22B	332725.363	7358326.153	781.687	7.91	1.49	0.58	780.78
TPM25	332754.743	7358310.770	782.113	3.78	1.93	0.58	780.76
TPM33	332829.066	7358520.075	797.312	2.11	0.54	0.12	796.89
TPM33B	332823.658	7358268.880	785.727	4.37	1.25	0.29	784.76
TPM34	332804.626	7358447.410	783.533	8.33	4.08	0.38	779.83
TPM35	332818.485	7358445.990	791.370	8.03	5.49	0.66	786.54
TPM35C	332831.532	7358224.725	784.375	3.79	1.83	0.37	782.92
TPM36	332812.768	7358200.650	782.691	5.89	2.08	0.40	781.01
TPM38	332834.331	7358453.053	793.855	4.75	1.39	0.40	792.87
TPM38A	332828.878	7358452.087	795.136	7.47	3.21	0.74	792.67
TPM38B	332831.704	7358188.525	783.154	4.14	1.08	0.20	782.27
TPM39B	332708.059	7358370.267	780.283	2.80	1.42	0.56	779.42
TPM39CO	332813.997	7358193.043	782.226	1.31	0.91	0.00	781.32
TPM40	332877.987	7358189.745	785.846	2.93	0.52	0.00	785.33
TPM40	332814.318	7358181.869	783.731	4.84	1.84	0.36	782.25
TPM40A	332732.967	7358361.907	787.127	3.31	1.72	0.29	785.70
TPM40A1	332711.180	7358374.526	781.615	2.73	1.25	0.32	780.69
TPM41	332885.714	7358508.965	795.289	6.55	2.65	0.40	793.04
TPM41B	332893.977	7358515.424	797.920	7.83	2.31	0.22	795.83
TPM42	332891.052	7358181.744	786.811	3.69	0.77	0.32	786.36
TPM45	332821.774	7358165.807	782.811	3.71	1.54	0.45	781.72
TPM45B	332828.570	7358175.143	784.280	3.44	2.01	0.45	782.72
TPM46	332909.007	7358160.571	787.804	3.38	1.79	0.37	786.38
TPM56	332705.420	7358241.534	783.323	5.03	2.54	0.39	781.17
TPM56	332735.449	7358240.964	782.640	3.85	1.93	0.53	781.24
TPM58	332760.192	7358496.597	783.555	3.00	1.56	0.57	782.57
TPM62	332785.270	7358515.761	788.255	3.02	2.72	0.27	785.81
TPM69	332846.671	7358521.241	794.839	5.09	1.66	0.58	793.76
TPM69A	332821.745	7358498.587	789.263	2.90	0.35	0.29	789.20
TPM69B	332820.946	7358511.901	788.961	2.03	0.68	0.14	788.42
TPM72A	332921.282	7358153.449	787.817	2.98	1.24	0.28	786.86
TPM72A	332863.024	7358455.804	794.266	4.80	2.91	0.77	792.13
TPM72B	332922.141	7358153.008	785.516	3.75	1.93	0.13	783.72
TPM72E	332930.778	7358150.121	792.533	2.60	1.70	0.00	790.83
TPM75	332942.183	7358146.955	789.395	3.90	2.90	0.32	786.82
TPM76	332955.814	7358152.127	780.926	3.57	2.49	0.54	778.98
TPM78	332993.196	7358171.377	782.920	5.90	2.70	0.33	780.55
TPM91	333013.644	7358169.940	785.401	4.70	1.93	0.09	783.56
VVM215	333346.312	7358140.191	814.224	11.27	8.13	0.49	806.58
VVM216	333346.692	7358149.425	813.211	9.55	5.81	1.03	808.43
VVM230	333306.366	7358186.498	806.992	2.85	1.52	0.73	806.20

Tabela 5.1.3.2. Coordenadas e cotas topográficas das fossas.

Fossa	Leste (m)	Norte (m)	Cota Topográfica (m)	Fossa	Leste (m)	Norte (m)	Cota Topográfica (m)
AOL07C	332968.819	7358436.997	792.538	MCC38	333085.679	7358311.951	810.339
AOL14	332983.211	7358423.857	797.197	MCC38	333088.988	7358324.108	811.212
AOL56	332978.957	7358468.253	790.071	MCCESCOA	333001.238	7358328.467	794.882
EN01	332953.640	7358495.830	798.184	MCCESCOA	332986.549	7358325.047	792.778
EN01	332951.201	7358509.622	795.771	OGA300	333264.411	7357955.734	816.886
EN04	332988.697	7358485.999	797.240	OGA300	333242.172	7358040.717	817.196
EN12	333068.869	7358455.439	793.821	OGA300	333174.981	7357962.287	816.638
EN14	333094.066	7358457.487	791.948	SEV301	332987.090	7358900.610	816.472
EN15	333100.217	7358450.159	797.653	SF02	333163.058	7358187.192	796.754
EN60	333076.183	7358500.660	795.938	SF05	333111.939	7358178.722	785.569
FT01	333212.341	7358191.258	802.893	SF05B	333106.128	7358182.707	785.606
JAG01	333138.533	7358515.617	801.622	SF06	333147.400	7358196.448	798.489
JAG02	333149.282	7358495.360	802.595	SF06A/B	333142.447	7358195.978	788.825
JAG03	333155.692	7358489.023	804.230	SF07B	333087.073	7358234.633	795.189
JAG04	333106.947	7358463.945	799.957	SF08	332955.462	7358416.896	795.135
JAG06	333106.231	7358489.375	799.238	SF08A	333167.570	7358163.871	798.289
JAG07	333109.921	7358499.311	797.665	SF14	333211.940	7358191.056	801.036
JAG16	333041.281	7358389.445	803.712	SF22	332854.085	7358317.169	806.247
JAG16	333059.905	7358386.714	804.750	SF22	332852.657	7358307.717	801.181
JAG27	332985.169	7358390.482	799.591	SF35	332825.644	7358335.341	803.595
JAGA5	333098.659	7358485.267	797.294	SF48	332894.945	7358446.861	793.041
JAGXX	333095.267	7358399.108	805.900	SF49	332978.028	7358189.072	788.004
JB299	333019.135	7358780.590	823.785	SF50	332987.775	7358190.259	794.079
JB299	333014.277	7358764.970	824.756	SF50	333007.019	7358203.397	798.264
JB500	332898.899	7358814.711	808.644	SF62	332863.918	7358235.727	790.155
JB970	332966.048	7358741.199	821.467	SF63	332854.743	7358237.268	789.324
JCR26	332907.000	7358395.584	789.932	TPM03A/B	332919.186	7358499.203	793.832
JCR27	332916.828	7358391.462	789.152	TPM03A/B	332920.583	7358507.010	793.138
JCR28	332871.645	7358356.199	802.985	TPM05	332675.698	7358331.200	779.600
KRU01	333039.034	7358823.470	821.652	TPM17	332718.607	7358297.506	780.760
KRU02	333043.463	7358840.935	821.648	TPM200	332988.362	7358155.485	780.971
KRU14	332888.645	7358640.021	799.170	TPM23	332727.351	7358317.356	780.405
KRU143	332827.814	7358721.659	797.806	TPM25	332743.630	7358294.296	781.250
KRU146	332838.885	7358646.416	800.133	TPM29	332786.792	7358296.421	784.655
KRU148	332846.498	7358632.302	800.454	TPM34	332797.193	7358463.612	792.978
KRU207	332858.357	7358683.625	800.804	TPM34	332797.680	7358470.970	784.949
KRU209	332868.605	7358665.187	795.872	TPM35	332808.751	7358460.789	790.555
KRU211	332897.841	7358661.211	800.744	TPM35C	332820.584	7358224.031	783.946
KRU215	332915.378	7358674.526	799.661	TPM38	332834.135	7358471.481	788.981
KRU290	333024.240	7358625.066	812.671	TPM40	332875.513	7358173.512	776.986
KRU297	332946.136	7358720.617	818.106	TPM40A	332711.910	7358356.877	781.580
KRU297	332944.913	7358738.701	819.580	TPM40A	332732.049	7358354.252	781.532
KRU297B	333056.113	7358714.553	820.002	TPM41	332878.190	7358507.074	795.101
KRU300	333068.831	7358675.781	820.465	TPM42	332893.066	7358174.363	784.982
KRU949	332963.289	7358679.276	813.576	TPM45	332821.002	7358155.371	782.185
LMA27	333153.950	7358224.928	806.232	TPM56	332717.605	7358262.527	781.593
LMA77	333066.013	7358248.023	795.131	TPM72A	332856.742	7358473.276	790.722
LMA80	333071.960	7358228.737	796.966	VVM215	333327.342	7358143.898	813.605
LMA82	333045.290	7358218.986	791.950	VVM216	333331.071	7358156.897	810.523
MCC19	333062.270	7358350.093	807.628	VVM230	333284.825	7358214.383	805.516

Tabela 5.2.2.1. Descrição geológica da sondagem S01.

S01 - TPM33 (casa do Ze Maria)	
0,00-0,10	argila marrom escura com raízes
0,10-1,20	argila preta plástica com pouca areia média
1,20-1,45	argila preta plástica com mais areia média
1,45-1,60	argila marrom claro plástica com areia média
1,60-1,90	material argilo-siltoso cinza claro com pouca areia média; presença de foliação
1,90-2,25	material silto-arenoso (fino a grosso) gradando para seixos (até 1cm) e para material areno-siltoso
2,25-2,50	material arenoso médio a fino com silte
2,50-2,80	material areno-siltoso com níveis vermelho/amarelo; presença de foliação
2,80-3,40	material areno médio-siltoso (topo) a silto-arenoso médio (base), lilás acinzentado. 3,20: areia grossa
3,40-3,50	material siltoso com seixos (até 0,5cm); material caulinizado
3,50-4,40	material areno-siltoso com níveis vermelho e amarelo; presença de foliação
4,40-5,00	material areno-siltoso úmido; 4,50: volta a ficar seco

Tabela 5.2.2.2. Descrição geológica da sondagem S02.

S02 - AOL20 (fundos da casa)	
0,00-1,70	solo siltoso marrom avermelhado com pouca areia grossa; presença de porções foliadas lilás acinzentada
1,70-2,70	material areno médio-siltoso amarelo ocre
2,70-4,00	material arenoso fino avermelhado com com silte/areia grossa
4,00-4,20	material silto-argiloso
4,20-4,45	material areno fino-siltoso com pouca areia grossa
4,45-4,60	material silto-argiloso com areia fina/grossa, úmido
4,60-5,00	material areno fino-siltoso; 4,70: níveis mais félsicos

Tabela 5.2.2.3. Descrição geológica da sondagem S03.

S03 - terreno próximo a SF7B	
0,00-0,30	solo argiloso marrom com pouca areia média
0,30-0,65	solo argiloso preto
0,65-1,50	material areno fino-siltoso com pouca areia média/grossa
1,50-2,05	material areno fino-siltoso amarelo com pouca argila
2,05-4,10	material arenoso fino a médio com pouco silte/argila (cristais de muscovita~0,5cm); 3,30: úmido
4,10-5,00	material arenoso fino a médio com níveis vermelho/amarelo/cinza; 4,85: ocre

Tabela 5.2.2.4. Descrição geológica da sondagem S04.

S04 - SF62 (casa do Adelino)	
0,00-1,50	solo argiloso marrom escuro com pouca areia média
1,50-2,20	solo argilo-siltoso amarelo; 1,90: com areia média/grossa
2,20-4,30	material areno fino a médio siltoso com níveis vermelho/amarelo; 4,00: úmido
4,30-5,00	material areno fino a médio siltoso com níveis vermelho/amarelo alternando material seco e úmido

Tabela 5.2.2.5. Descrição geológica da sondagem S05.

S05 - KRU290 (casa da Maria)	
0,00-0,60	solo argilo-siltoso amarelo
0,60-1,50	material silto-arenoso médio com argila em níveis vermelho/amarelo e lilás esverdeados (ricos em muscovita)
1,50-1,90	material areno fino a médio-siltoso com níveis félsicos (cristais~0,5cm)
1,90-5,00	material inconsolidado arenoso fino a médio avermelhado com pouco silte/argila/areia grossa; 3,10: úmido; 3,50: mais argiloso

Tabela 5.2.3.1. Dados obtidos para as Colunas 1, 2 e 3.

Parâmetro	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Unidade
Peso seco	1144	1154	1158	g
Peso úmido	1978	2023	2019	g
Peso sedimentar seco	2370	2482	2374	g
Peso sedimentar úmido	2652	2732	2712	g
Volume total	834	869	861	g ou mL
Densidade	1.470	1.528	1.412	g/cm ³
Porosidade	0.338	0.288	0.393	%
Volume de Poros	282	250	338	mL
Q	0.196	0.174	0.235	mL/min

Tabela 5.2.3.2. Resultados das análises de ânions para as 3 colunas.

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
LD (mg/L)	0.001	0.008	0.004	0.001	0.019	0.005	0.001
Solução 1	1,22 (± 0,03)	0,63 (± 0,02)	< LD	58,82 (± 0,09)	62,1 (± 0,1)	< LD	0,81 (± 0,02)
Solução 2	0,049 (± 0,002)	0,50 (± 0,01)	< LD	0,064 (± 0,005)	65,45 (± 0,07)	< LD	0,566 (± 0,007)
Solução 3	0,025 (± 0,003)	0,254 (± 0,006)	< LD	< LD	65,94 (± 0,04)	< LD	0,13 (± 0,01)
Solução 4	0,18 (± 0,01)	0,40 (± 0,09)	0,10 (± 0,01)	< LD	67,28 (± 0,008)	0,13 (± 0,02)	0,09 (± 0,01)

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
LD (mg/L)	0.001	0.008	0.004	0.001	0.019	0.005	0.001
1.1	0,052 (± 0,006)	0,37 (± 0,01)	< LD	< LD	0,101 (± 0,008)	0,093 (± 0,006)	27,63 (± 0,07)
1.2	0,064 (± 0,004)	0,359 (± 0,001)	< LD	< LD	0,082 (± 0,001)	0,09 (± 0,01)	26,40 (± 0,07)
1.3	0,069 (± 0,003)	0,373 (± 0,006)	< LD	< LD	0,121 (± 0,01)	0,11 (± 0,02)	25,09 (± 0,07)
1.4	0,065 (± 0,001)	0,343 (± 0,006)	< LD	0,211 (± 0,008)	0,36 (± 0,01)	0,12 (± 0,01)	24,1 (± 0,4)
1.5	0,061 (± 0,008)	0,439 (± 0,02)	< LD	3,66 (± 0,01)	4,52 (± 0,02)	0,10 (± 0,02)	23,83 (± 0,09)
1.6	0,050 (± 0,007)	0,30 (± 0,02)	< LD	9,87 (± 0,02)	11,034 (± 0,005)	< LD	23,09 (± 0,05)
1.7	0,049 (± 0,001)	0,51 (± 0,02)	< LD	18,99 (± 0,09)	20,5 (± 0,1)	0,095 (± 0,005)	23,6 (± 0,2)
1.8	0,054 (± 0,002)	0,50 (± 0,01)	0,052 (± 0,006)	27,39 (± 0,01)	28,79 (± 0,02)	< LD	23,29 (± 0,03)
1.9	0,056 (± 0,001)	1,0 (± 0,1)	0,06 (± 0,01)	36,14 (± 0,04)	37,75 (± 0,09)	0,083 (± 0,005)	24,7 (± 0,2)
1.10	0,059 (± 0,001)	0,522 (± 0,005)	0,063 (± 0,003)	41,63 (± 0,07)	46,1 (± 0,2)	0,13 (± 0,01)	22,59 (± 0,04)
1.11	< LD	0,62 (± 0,04)	0,036 (± 0,004)	46,93 (± 0,04)	52,0 (± 0,3)	0,25 (± 0,05)	20,5 (± 0,2)
1.12	< LD	0,696 (± 0,002)	0,063 (± 0,001)	47,41 (± 0,05)	54,1 (± 0,2)	< LD	18,5 (± 0,1)
1.13	0,095 (± 0,002)	0,90 (± 0,01)	0,076 (± 0,001)	52,82 (± 0,07)	59,85 (± 0,04)	< LD	18,60 (± 0,04)
1.14	< LD	0,62 (± 0,05)	0,029 (± 0,001)	48,27 (± 0,04)	58,9 (± 0,1)	< LD	17,72 (± 0,07)
1.15	< LD	0,60 (± 0,03)	0,090 (± 0,008)	39,50 (± 0,03)	59,23 (± 0,02)	< LD	16,2 (± 0,1)
1.16	< LD	0,74 (± 0,03)	0,097 (± 0,002)	31,85 (± 0,04)	60,2 (± 0,1)	< LD	15,03 (± 0,09)
1.17	0,70 (± 0,02)	0,988 (± 0,006)	0,142 (± 0,005)	26,16 (± 0,02)	61,64 (± 0,01)	0,11 (± 0,02)	14,86 (± 0,03)
1.18	< LD	1,0 (± 0,1)	0,12 (± 0,02)	20,55 (± 0,07)	65,12 (± 0,03)	< LD	14,53 (± 0,07)
1.19	< LD	0,67 (± 0,02)	0,15 (± 0,01)	14,34 (± 0,08)	66,18 (± 0,06)	< LD	14,1 (± 0,1)
1.20	< LD	0,46 (± 0,04)	0,187 (± 0,002)	10,473 (± 0,009)	66,579 (± 0,008)	0,10 (± 0,02)	14,44 (± 0,07)
1.21	0,071 (± 0,008)	0,71 (± 0,03)	0,217 (± 0,001)	1,21 (± 0,05)	66,5 (± 0,2)	0,10 (± 0,03)	13,9 (± 0,3)
1.22	< LD	0,399 (± 0,001)	0,263 (± 0,002)	0,52 (± 0,05)	66,64 (± 0,02)	< LD	13,1 (± 0,1)
1.23	< LD	0,306 (± 0,002)	0,315 (± 0,003)	0,04 (± 0,01)	66,0 (± 0,1)	0,14 (± 0,01)	12,08 (± 0,05)
1.24	< LD	0,333 (± 0,005)	0,137 (± 0,002)	< LD	66,6 (± 0,4)	< LD	7,76 (± 0,05)
1.25	< LD	0,31 (± 0,04)	0,217 (± 0,002)	< LD	66,3 (± 0,2)	< LD	2,99 (± 0,01)
1.26	0,036 (± 0,005)	0,46 (± 0,02)	0,037 (± 0,002)	< LD	67,27 (± 0,05)	< LD	3,06 (± 0,04)
1.27*	0,184 (± 0,001)	3,21 (± 0,02)	0,059 (± 0,005)	0,041 (± 0,001)	46,2 (± 0,1)	0,26 (± 0,05)	1,57 (± 0,01)
1.28	0,095 (± 0,004)	0,323 (± 0,005)	0,046 (± 0,006)	0,025 (± 0,001)	66,7 (± 0,2)	< LD	1,646 (± 0,001)
1.29	0,113 (± 0,001)	0,36 (± 0,03)	0,043 (± 0,001)	< LD	66,56 (± 0,04)	0,15 (± 0,02)	1,05 (± 0,04)
1.30	0,085 (± 0,003)	0,15 (± 0,01)	0,044 (± 0,003)	< LD	65,88 (± 0,02)	0,13 (± 0,02)	0,84 (± 0,01)
1.31	0,154 (± 0,003)	0,104 (± 0,004)	0,032 (± 0,002)	< LD	66,7 (± 0,1)	< LD	1,50 (± 0,01)
1.32	0,182 (± 0,003)	0,47 (± 0,01)	0,064 (± 0,002)	< LD	65,72 (± 0,07)	0,15 (± 0,02)	0,87 (± 0,04)
1.33	0,094 (± 0,001)	0,076 (± 0,003)	0,050 (± 0,006)	< LD	65,54 (± 0,05)	0,12 (± 0,01)	0,579 (± 0,04)
1.34	0,264 (± 0,006)	0,55 (± 0,04)	0,025 (± 0,002)	< LD	66,65 (± 0,08)	0,240 (± 0,009)	0,64 (± 0,03)
1.35	0,14 (± 0,01)	0,41 (± 0,02)	0,054 (± 0,001)	< LD	67,14 (± 0,02)	0,21 (± 0,05)	0,50 (± 0,03)
1.36	0,185 (± 0,003)	0,53 (± 0,01)	< LD	< LD	65,6 (± 0,1)	< LD	0,34 (± 0,01)

Tabela 5.2.3.2. Resultados das análises de ânions para as 3 colunas. (Cont)

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
LD (mg/L)	0.001	0.008	0.004	0.001	0.019	0.005	0.001
2.1	0,057 (± 0,002)	0,306 (± 0,004)	< LD	< LD	0,087 (± 0,007)	0,13 (± 0,03)	19,24 (± 0,04)
2.2	0,064 (± 0,002)	0,414 (± 0,007)	< LD	< LD	0,064 (± 0,001)	0,099 (± 0,002)	19,21 (± 0,03)
2.3	0,104 (± 0,001)	0,494 (± 0,009)	< LD	< LD	0,050 (± 0,001)	0,12 (± 0,03)	18,66 (± 0,07)
2.4	0,154 (± 0,007)	0,466 (± 0,009)	< LD	0,13 (± 0,04)	0,104 (± 0,005)	< LD	17,56 (± 0,09)
2.5	0,15 (± 0,01)	0,39 (± 0,04)	< LD	0,131 (± 0,006)	0,050 (± 0,008)	< LD	17,67 (± 0,06)
2.6	0,183 (± 0,001)	0,39 (± 0,02)	0,065 (± 0,001)	2,733 (± 0,008)	0,065 (± 0,009)	0,152 (± 0,003)	16,75 (± 0,05)
2.7	0,139 (± 0,005)	0,336 (± 0,004)	0,541 (± 0,005)	12,16 (± 0,05)	1,784 (± 0,006)	0,09 (± 0,01)	16,69 (± 0,06)
2.8	0,082 (± 0,003)	0,511 (± 0,008)	1,558 (± 0,009)	25,7 (± 0,1)	2,461 (± 0,008)	0,24 (± 0,03)	16,4 (± 0,1)
2.9	0,099 (± 0,005)	0,67 (± 0,05)	1,51 (± 0,03)	36,44 (± 0,06)	2,272 (± 0,005)	0,22 (± 0,03)	17,1 (± 0,1)
2.10	0,085 (± 0,004)	0,590 (± 0,009)	0,711 (± 0,002)	47,90 (± 0,04)	2,693 (± 0,006)	0,10 (± 0,02)	17,00 (± 0,08)
2.11	0,052 (± 0,001)	0,68 (± 0,05)	0,51 (± 0,01)	55,4 (± 0,1)	4,30 (± 0,06)	0,14 (± 0,04)	16,2 (± 0,1)
2.12	0,062 (± 0,002)	0,69 (± 0,02)	0,234 (± 0,006)	58,05 (± 0,04)	6,94 (± 0,02)	0,09 (± 0,01)	15,49 (± 0,04)
2.13	0,058 (± 0,008)	0,671 (± 0,009)	0,070 (± 0,006)	57,91 (± 0,06)	9,67 (± 0,02)	0,17 (± 0,04)	13,40 (± 0,02)
2.14	< LD	0,565 (± 0,01)	0,063 (± 0,001)	53,56 (± 0,08)	10,78 (± 0,01)	< LD	10,70 (± 0,03)
2.15	0,074 (± 0,001)	0,69 (± 0,01)	0,082 (± 0,003)	49,91 (± 0,09)	12,68 (± 0,02)	0,10 (± 0,02)	10,42 (± 0,01)
2.16	0,002 (± 0,001)	0,75 (± 0,09)	0,073 (± 0,003)	36,89 (± 0,06)	13,73 (± 0,02)	0,16 (± 0,02)	9,82 (± 0,07)
2.17	0,048 (± 0,004)	0,64 (± 0,03)	0,084 (± 0,001)	24,5 (± 0,1)	15,62 (± 0,07)	0,16 (± 0,06)	9,96 (± 0,05)
2.18	< LD	0,50 (± 0,02)	0,036 (± 0,007)	13,98 (± 0,09)	18,46 (± 0,03)	0,23 (± 0,02)	9,42 (± 0,09)
2.19	0,11 (± 0,02)	0,906 (± 0,002)	0,10 (± 0,01)	6,01 (± 0,03)	22,1 (± 0,1)	0,09 (± 0,1)	9,89 (± 0,02)
2.20	< LD	0,666 (± 0,006)	0,115 (± 0,005)	2,613 (± 0,004)	24,7 (± 0,1)	0,07 (± 0,01)	9,66 (± 0,03)
2.21	< LD	0,55 (± 0,02)	0,089 (± 0,009)	0,192 (± 0,009)	22,09 (± 0,05)	0,10 (± 0,05)	9,10 (± 0,02)
2.22	0,032 (± 0,003)	0,52 (± 0,05)	0,02 (± 0,01)	0,12 (± 0,01)	23,654 (± 0,005)	0,13 (± 0,01)	10,08 (± 0,07)
2.23	0,069 (± 0,004)	0,85 (± 0,02)	0,035 (± 0,002)	0,090 (± 0,005)	21,26 (± 0,02)	0,22 (± 0,05)	7,95 (± 0,02)
2.24	0,135 (± 0,003)	0,93 (± 0,01)	0,231 (± 0,002)	0,08 (± 0,01)	17,36 (± 0,08)	0,10 (± 0,03)	5,2 (± 0,1)
2.25	0,074 (± 0,001)	0,81 (± 0,02)	0,26 (± 0,02)	< LD	28,7 (± 0,3)	0,22 (± 0,01)	2,69 (± 0,03)
2.26	< LD	0,50 (± 0,02)	0,029 (± 0,003)	< LD	31,32 (± 0,01)	0,078 (± 0,002)	2,31 (± 0,02)
2.27	0,065 (± 0,003)	0,29 (± 0,01)	0,94 (± 0,01)	< LD	44,15 (± 0,05)	0,25 (± 0,03)	1,52 (± 0,03)
2.28	0,110 (± 0,004)	0,357 (± 0,008)	0,208 (± 0,004)	< LD	52,5 (± 0,4)	< LD	1,214 (± 0,005)
2.29	0,112 (± 0,004)	0,375 (± 0,001)	0,037 (± 0,002)	< LD	59,3 (± 0,2)	< LD	0,84 (± 0,03)
2.30	0,120 (± 0,005)	0,20 (± 0,02)	0,038 (± 0,001)	< LD	61,33 (± 0,08)	0,111 (± 0,002)	0,68 (± 0,02)
2.31	0,165 (± 0,002)	0,13 (± 0,02)	0,032 (± 0,001)	< LD	61,702 (± 0,007)	< LD	1,26 (± 0,03)
2.32	0,146 (± 0,003)	0,15 (± 0,09)	0,035 (± 0,003)	< LD	62,5 (± 0,2)	< LD	0,509 (± 0,002)
2.33	0,22 (± 0,02)	0,713 (± 0,006)	0,058 (± 0,002)	< LD	66,68 (± 0,08)	0,12 (± 0,03)	0,48 (± 0,02)
2.34	0,248 (± 0,001)	0,92 (± 0,05)	0,14 (± 0,04)	< LD	66,39 (± 0,02)	0,12 (± 0,07)	0,467 (± 0,003)
2.35	0,233 (± 0,002)	0,99 (± 0,05)	0,039 (± 0,002)	< LD	65,99 (± 0,03)	0,16 (± 0,01)	0,30 (± 0,02)
2.36*	0,666 (± 0,004)	2,78 (± 0,04)	0,208 (± 0,004)	< LD	65,07 (± 0,07)	0,25 (± 0,03)	0,52 (± 0,01)

Tabela 5.2.3.2. Resultados das análises de ânions para as 3 colunas. (Cont)

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
LD (mg/L)	0.001	0.008	0.004	0.001	0.019	0.005	0.001
3.1	0,080 (± 0,002)	0,46 (± 0,03)	< LD	< LD	0,171 (± 0,006)	0,07 (± 0,01)	6,21 (± 0,03)
3.2	0,094 (± 0,001)	0,46 (± 0,01)	< LD	< LD	0,12 (± 0,02)	0,141 (± 0,001)	8,1 (± 0,1)
3.3	0,072 (± 0,001)	0,51 (± 0,02)	< LD	< LD	0,05 (± 0,01)	0,16 (± 0,03)	8,9 (± 0,1)
3.4	0,089 (± 0,001)	0,43 (± 0,02)	< LD	< LD	0,043 (± 0,002)	0,113 (± 0,001)	7,3 (± 0,1)
3.5	0,096 (± 0,003)	0,457 (± 0,001)	< LD	< LD	0,104 (± 0,006)	0,133 (± 0,009)	7,05 (± 0,08)
3.6	0,085 (± 0,001)	0,43 (± 0,02)	< LD	< LD	0,114 (± 0,004)	0,11 (± 0,03)	7,06 (± 0,07)
3.7	0,082 (± 0,001)	0,42 (± 0,02)	< LD	0,442 (± 0,004)	0,08 (± 0,07)	0,244 (± 0,005)	6,66 (± 0,03)
3.8	0,124 (± 0,001)	0,42 (± 0,01)	0,328 (± 0,001)	5,35 (± 0,03)	0,048 (± 0,002)	0,122 (± 0,007)	6,36 (± 0,04)
3.9	0,203 (± 0,005)	0,62 (± 0,03)	2,39 (± 0,03)	17,61 (± 0,03)	1,782 (± 0,002)	0,29 (± 0,04)	6,18 (± 0,02)
3.10	0,683 (± 0,006)	0,61 (± 0,02)	3,658 (± 0,002)	36,771 (± 0,008)	5,439 (± 0,001)	0,19 (± 0,01)	6,02 (± 0,09)
3.11	0,562 (± 0,008)	0,580 (± 0,007)	2,33 (± 0,02)	52,18 (± 0,06)	1,343 (± 0,007)	< LD	5,72 (± 0,02)
3.12	0,516 (± 0,004)	0,838 (± 0,005)	0,316 (± 0,001)	60,2 (± 0,5)	0,05 (± 0,01)	0,10 (± 0,5)	6,24 (± 0,03)
3.13	0,88 (± 0,01)	0,7 (± 0,02)	0,351 (± 0,009)	61,24 (± 0,1)	0,052 (± 0,005)	0,19 (± 0,01)	5,82 (± 0,01)
3.14	0,134 (± 0,006)	0,76 (± 0,03)	0,034 (± 0,002)	60,9 (± 0,2)	0,061 (± 0,008)	0,29 (± 0,01)	5,38 (± 0,08)
3.15	< LD	0,69 (± 0,01)	< LD	63,5 (± 0,1)	< LD	0,12 (± 0,01)	5,21 (± 0,03)
3.16	< LD	0,69 (± 0,01)	< LD	59,54 (± 0,04)	< LD	0,14 (± 0,01)	5,29 (± 0,08)
3.17	< LD	0,67 (± 0,02)	< LD	46,34 (± 0,06)	< LD	0,09 (± 0,01)	5,331 (± 0,003)
3.18	< LD	0,717 (± 0,008)	< LD	25,95 (± 0,04)	< LD	0,11 (± 0,04)	5,59 (± 0,02)
3.19	< LD	0,78 (± 0,01)	< LD	11,39 (± 0,02)	0,046 (± 0,007)	0,14 (± 0,03)	5,603 (± 0,003)
3.20	< LD	0,873 (± 0,002)	< LD	4,93 (± 0,03)	0,44 (± 0,01)	< LD	5,77 (± 0,01)
3.21	< LD	0,79 (± 0,02)	< LD	0,234 (± 0,006)	0,12 (± 0,01)	0,21 (± 0,03)	6,12 (± 0,04)
3.22	< LD	0,90 (± 0,03)	< LD	0,179 (± 0,008)	0,14 (± 0,01)	0,070 (± 0,2)	5,624 (± 0,008)
3.23	< LD	0,64 (± 0,01)	< LD	0,070 (± 0,003)	0,06 (± 0,03)	0,15 (± 0,04)	3,23 (± 0,01)
3.24	< LD	0,72 (± 0,02)	< LD	0,07 (± 0,01)	0,13 (± 0,01)	0,14 (± 0,02)	2,58 (± 0,01)
3.25	0,98 (± 0,01)	0,62 (± 0,02)	< LD	< LD	0,068 (± 0,005)	0,14 (± 0,03)	1,981 (± 0,005)
3.26*	0,56 (± 0,01)	1,39 (± 0,03)	< LD	< LD	< LD	0,12 (± 0,06)	2,16 (± 0,03)
3.27*	0,244 (± 0,002)	0,28 (± 0,01)	4,84 (± 0,04)	< LD	1,32 (± 0,01)	0,164 (± 0,004)	1,46 (± 0,03)
3.28	0,224 (± 0,002)	0,146 (± 0,005)	0,98 (± 0,03)	< LD	5,15 (± 0,02)	0,204 (± 0,001)	0,997 (± 0,003)
3.29	0,144 (± 0,002)	0,200 (± 0,001)	0,98 (± 0,02)	< LD	43,66 (± 0,08)	0,161 (± 0,001)	0,70 (± 0,03)
3.30	1,39 (± 0,006)	0,84 (± 0,09)	0,366 (± 0,009)	< LD	61,9 (± 0,2)	0,22 (± 0,04)	0,303 (± 0,002)
3.31	0,355 (± 0,005)	0,759 (± 0,003)	0,20 (± 0,01)	< LD	0,58 (± 0,06)	0,12 (± 0,02)	0,86 (± 0,02)
3.32	0,182 (± 0,003)	0,511 (± 0,001)	0,3 (± 0,1)	< LD	61,11 (± 0,05)	0,29 (± 0,04)	0,52 (± 0,04)
3.33	0,204 (± 0,002)	0,76 (± 0,02)	0,152 (± 0,007)	< LD	63,56 (± 0,06)	0,27 (± 0,02)	0,44 (± 0,01)
3.34*	0,44 (± 0,02)	1,43 (± 0,08)	0,17 (± 0,01)	< LD	61,9 (± 0,2)	0,22 (± 0,04)	0,303 (± 0,002)
3.35	0,097 (± 0,005)	1,03 (± 0,04)	0,128 (± 0,008)	< LD	56,7 (± 0,2)	0,11 (± 0,03)	1,236 (± 0,004)
3.36*	0,807 (± 0,008)	2,08 (± 0,07)	0,34 (± 0,02)	< LD	57,00 (± 0,05)	0,10 (± 0,01)	0,46 (± 0,03)

Tabela 5.2.3.3. Resultados das análises de COD para C2 e C3.

Amostra	Tempo (h)	Concentração (mg/L)
2.1/21H	12	14.82
2.2	30	73.09
2.3	54	110.4
2.4	1470	3.066
3.1/21H	12	36.73
3.2	30	83.43
3.3	54	97.72
3.4	1470	3.334

Tabela 5.3.2.5.1. Dados *in situ* levantados na campanha inicial de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	6.10	19.0	525.8	320	-	-
A	0.80	P-5E	6.35	18.9	497.9	430	-	-
A	0.80	P-5C	5.88	19.0	525.8	280	-	1.45
A	1.50	P-4O	5.17	19.4	535.5	200	-	-
A	1.50	P-4E	6.25	20.5	478.7	210	-	0.06
A	1.50	P-4C	5.24	19.7	530.3	210	-	0.07
A	2.00	P-3O	12.52	20.4	4.8	7580	-	32.85
A	2.00	P-3E	12.38	20.6	109.6	7390	-	-
A	2.00	P-3C	12.45	21.3	64.1	7430	-	31.51
A	2.50	P-2O	6.50	19.1	280.8	120	-	-
A	2.50	P-2E	6.55	19.2	365.7	140	-	0.13
A	2.50	P-2C	6.50	22.5	378.2	90	-	0.12
A	3.60	Z-5O	-	-	-	-	-	-
A	3.60	Z-5E	12.15	19.5	105.5	2600	-	11.39
A	3.60	Z-5C	11.70	22.0	150.6	1700	-	10.17
A	3.70	Z-4O	11.31	18.9	125.9	1250	-	-
A	3.70	Z-4E	11.85	19.5	90.5	1780	-	-
A	3.70	Z-4C	11.72	22.3	41.4	1690	-	-
A	3.80	Z-3O	-	-	-	-	-	-
A	3.80	Z-3E	11.75	19.4	65.5	1450	-	-
A	3.80	Z-3C	11.36	21.8	15.8	1380	-	9.95
A	3.90	Z-2O	-	-	-	-	-	-
A	3.90	Z-2E	10.40	19.3	120.6	520	-	-
A	3.90	Z-2C	9.60	21.8	66.8	920	-	-
A	4.00	Z-1O	6.98	19.1	330.8	640	-	-
A	4.00	Z-1E	6.43	19.9	285.2	450	-	2.90
A	4.00	Z-1C	8.30	22.2	132.5	940	-	6.66
A	4.20	P-1E	6.31	21.1	311.3	500	-	3.12
A	4.20	P-1C	6.51	22.6	220.2	670	-	4.86
C	1.85	P-4O	5.74	22.5	434.2	200	-	-
C	1.85	P-4E	5.17	20.4	527.8	260	-	0.17
C	1.85	P-4C	5.38	19.9	516.2	230	-	0.70
C	2.50	P-3O	-	-	-	-	-	-
C	2.50	P-3E	5.25	21.8	462.8	350	-	0.20
C	2.50	P-3C	5.08	20.2	504.9	210	-	0.18
C	3.50	P-2O	6.27	22.9	357.9	350	-	-
C	3.50	P-2E	5.70	20.7	388.6	100	-	-
C	3.50	P-2C	5.40	19.7	366.3	90	-	0.35
C	4.50	P-1O	-	-	-	-	-	-
C	4.50	P-1E	6.47	19.2	424.7	470	-	-
C	4.50	P-1C	6.60	19.7	372.3	570	-	3.78
C		Cacimba	4.76	24.5	432.7	260	-	0.07
A		Cacimba	4.91	17.4	572.0	210	-	0.07

Tabela 5.3.2.5.2. Dados *in situ* levantados na 1ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.3	14.7	83.9	1410	2.2	8.8
A	0.80	P-5E	7.9	14.4	-51.2	1830	1.1	10.6
A	0.80	P-5C	7.3	14.4	46.9	1510	1.6	8.4
A	1.50	P-4O	7.0	15.3	22.1	1420	2.0	6.2
A	1.50	P-4E	7.1	16.4	59.6	1420	1.8	12.6
A	1.50	P-4C	7.2	15.7	119.2	2320	1.7	2.0
A	2.00	P-3O	12.6	16.2	53.8	8770	3.5	27.2
A	2.00	P-3E	12.6	16.7	-21.6	8830	3.4	32.8
A	2.00	P-3C	12.6	16.7	52.7	8820	4.2	29.6
A	2.50	P-2O	11.8	16.1	77.2	1660	5.4	5.4
A	2.50	P-2E	7.4	15.8	283.5	530	2.2	3.2
A	2.50	P-2C	9.3	16.2	200.9	580	5.0	1.8
A	3.60	Z-5O	-	-	-	-	-	-
A	3.60	Z-5E	11.5	14.5	189.2	980	4.8	21.0
A	3.60	Z-5C	12.0	16.6	98.7	2420	5.7	20.8
A	3.70	Z-4O	11.5	19.1	130.8	1480	2.8	7.2
A	3.70	Z-4E	11.4	17.1	154.3	890	2.9	8.0
A	3.70	Z-4C	12.2	18.0	119.1	4120	3.1	21.4
A	3.80	Z-3O	11.4	19.8	119.8	1260	2.3	6.6
A	3.80	Z-3E	11.5	16.5	142.7	860	2.6	3.4
A	3.80	Z-3C	12.2	17.9	69.7	3430	2.7	23.2
A	3.90	Z-2O	11.6	19.5	96.5	1680	1.4	8.2
A	3.90	Z-2E	10.2	17.7	167.3	5330	1.2	3.2
A	3.90	Z-2C	12.3	16.7	21.6	4650	2.8	24.2
A	4.00	Z-1O	12.1	18.7	64.2	3300	2.2	18.6
A	4.00	Z-1E	12.2	17.6	195.9	4170	1.2	22.8
A	4.00	Z-1C	12.3	18.7	-20.3	5650	2.7	30.8
A	4.20	P-1E	12.0	21.6	-50.1	3050	2.5	14.2
A	4.20	P-1C	12.1	20.1	-60.0	3940	2.3	16.6
C	1.85	P-4O	6.9	16.0	74.7	1350	2.5	9.0
C	1.85	P-4E	6.9	17.6	397.0	3800	4.2	-
C	1.85	P-4C	7.1	16.9	42.4	2560	2.0	22.4
C	2.50	P-3O	5.9	16.6	184.4	940	1.8	3.0
C	2.50	P-3E	7.5	17.2	-52.8	5970	1.6	14.0
C	2.50	P-3C	6.9	16.3	27.8	2680	1.5	15.0
C	3.50	P-2O	5.8	19.6	322.4	1660	-	-
C	3.50	P-2E	5.5	18.0	260.1	710	-	4.8
C	3.50	P-2C	6.0	18.7	246.1	560	-	4.0
C	4.50	P-1O	6.1	19.5	369.5	2160	1.4	5.0
C	4.50	P-1E	6.5	19.4	346.0	2710	1.4	12.8
C	4.50	P-1C	6.4	19.8	352.7	2430	1.4	12.2

Tabela 5.3.2.5.3. Dados *in situ* levantados na 2ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.11	25.3	43.4	2050	-	10.79
A	0.80	P-5E	7.35	24.1	35.5	2430	-	16.39
A	0.80	P-5C	7.02	25.4	-51.1	1840	-	14.39
A	1.50	P-4O	6.76	24.7	95.8	1460	-	4.66
A	1.50	P-4E	6.81	26.6	99.9	1640	-	3.66
A	1.50	P-4C	6.60	25.3	161.5	1510	-	2.13
A	2.00	P-3O	12.14	25.2	-71.2	8650	-	29.17
A	2.00	P-3E	11.98	27.7	-68.2	8520	-	30.77
A	2.00	P-3C	12.08	26.7	-51.7	8570	-	31.17
A	2.50	P-2O	11.44	27.2	181.7	2520	-	7.99
A	2.50	P-2E	8.65	26.0	258.6	1890	-	1.80
A	2.50	P-2C	7.84	28.0	164.2	1190	-	7.39
A	3.60	Z-5O	11.60	25.3	44.1	2990	-	-
A	3.60	Z-5E	7.95	24.3	201.9	1690	-	-
A	3.60	Z-5C	11.51	23.6	64.4	2180	-	-
A	3.70	Z-4O	11.57	25.4	51.1	2990	-	9.79
A	3.70	Z-4E	7.44	27.8	264.3	1590	-	3.53
A	3.70	Z-4C	11.30	23.1	122.8	2000	-	4.20
A	3.80	Z-3O	11.72	23.5	25.5	3310	-	-
A	3.80	Z-3E	7.83	23.9	259.2	1580	-	-
A	3.80	Z-3C	11.54	23.6	7.4	2500	-	-
A	3.90	Z-2O	11.77	23.6	0.4	3330	-	-
A	3.90	Z-2E	7.63	24.0	249.1	1680	-	-
A	3.90	Z-2C	11.60	23.6	-22.6	2980	-	-
A	4.00	Z-1O	11.74	23.3	-26.4	3320	-	10.79
A	4.00	Z-1E	11.80	25.3	46.1	3990	-	9.79
A	4.00	Z-1C	11.69	23.9	68.2	3450	-	11.59
A	4.20	P-1E	7.80	23.4	242.2	1760	-	20.38
A	4.20	P-1C	11.68	23.5	7.5	2980	-	8.59
C	1.85	P-4O	6.73	27.1	78.8	1800	-	9.59
C	1.85	P-4E	6.51	31.2	71.8	2240	-	11.79
C	1.85	P-4C	6.80	27.7	46.4	2240	-	12.39
C	2.50	P-3O	6.90	23.2	32.7	3160	-	23.58
C	2.50	P-3E	6.92	24.7	34.6	3720	-	19.58
C	2.50	P-3C	6.85	23.3	51.5	3030	-	14.79
C	3.50	P-2O	5.71	24.8	227.5	880	-	1.07
C	3.50	P-2E	6.42	24.9	251.4	1760	-	7.79
C	3.50	P-2C	6.39	24.5	252.7	1570	-	5.59
C	4.50	P-1O	6.37	22.3	269.5	1800	-	8.59
C	4.50	P-1E	6.36	22.2	326.5	2080	-	7.79
C	4.50	P-1C	6.39	22.7	295.1	2120	-	7.99

Tabela 5.3.2.5.4. Dados *in situ* levantados na 3ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.0	22.0	33.8	2520	2.2	13.2
A	0.80	P-5E	7.1	22.5	-52.3	2300	2.3	10.0
A	0.80	P-5C	7.0	22.1	15.9	2200	2.3	15.9
A	1.50	P-4O	6.9	22.3	202.7	1625	2.1	0.9
A	1.50	P-4E	6.7	22.4	116.1	1940	2.1	0.6
A	1.50	P-4C	6.7	22.1	149.0	1790	2.3	1.4
A	2.00	P-3O	12.2	22.2	9.2	7330	2.5	15.6
A	2.00	P-3E	12.2	21.8	-59.3	6220	2.8	13.2
A	2.00	P-3C	12.2	21.8	-19.5	6470	2.7	16.4
A	2.50	P-2O	11.3	23.2	234.8	2140	7.5	8.0
A	2.50	P-2E	7.7	22.9	303.0	2000	3.1	8.8
A	2.50	P-2C	11.6	24.3	196.4	3180	4.2	5.2
A	3.60	Z-5O	9.5	25.2	272.3	1690	2.0	1.8
A	3.60	Z-5E	7.9	22.9	324.6	1650	2.2	2.7
A	3.60	Z-5C	11.1	28.9	237.5	2220	1.7	3.0
A	3.70	Z-4O	10.2	25.1	266.5	1550	1.9	1.5
A	3.70	Z-4E	7.7	23.3	310.0	1540	1.5	2.3
A	3.70	Z-4C	8.4	28.5	272.4	1490	1.9	2.8
A	3.80	Z-3O	11.1	26.6	251.4	1900	1.8	2.7
A	3.80	Z-3E	7.5	23.3	308.3	1490	1.8	5.8
A	3.80	Z-3C	8.2	26.9	281.0	1480	1.7	1.5
A	3.90	Z-2O	10.5	25.6	175.9	1890	1.7	3.2
A	3.90	Z-2E	7.5	23.7	308.6	1590	2.2	2.6
A	3.90	Z-2C	10.5	26.2	251.5	1680	1.4	2.9
A	4.00	Z-1O	11.4	24.8	151.5	2340	1.6	4.6
A	4.00	Z-1E	11.1	23.7	240.5	2160	1.8	4.2
A	4.00	Z-1C	11.6	27.4	229.5	2620	1.8	4.3
A	4.20	P-1E	7.3	22.9	348.1	2190	2.0	5.2
A	4.20	P-1C	7.1	22.1	372.6	2210	2.0	9.5
C	1.85	P-4O	7.2	21.5	142.8	3130	1.8	15.8
C	1.85	P-4E	7.2	23.5	295.8	2070	2.2	9.8
C	1.85	P-4C	7.1	21.4	349.7	2560	2.1	10.6
C	2.50	P-3O	7.2	21.5	100.0	3700	2.0	18.0
C	2.50	P-3E	7.0	22.7	98.4	2920	1.7	14.2
C	2.50	P-3C	7.0	21.4	79.6	3230	1.5	22.4
C	3.50	P-2O	6.9	20.7	275.0	1860	2.1	14.4
C	3.50	P-2E	6.9	21.5	240.4	2130	2.0	7.2
C	3.50	P-2C	7.0	21.2	205.7	2140	1.9	15.4
C	4.50	P-1O	7.0	20.2	204.9	2540	1.9	12.6
C	4.50	P-1E	6.9	20.1	163.9	2550	1.9	12.4
C	4.50	P-1C	6.9	20.5	107.6	2520	1.9	18.5

Tabela 5.3.2.5.5. Dados *in situ* levantados na 4ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.1	21.5	55.9	2030	1.6	17.9
A	0.80	P-5E	6.9	19.7	6.3	2200	1.6	9.0
A	0.80	P-5C	7.0	21.4	29.7	1992	1.7	16.8
A	1.50	P-4O	7.0	21.7	36.0	1953	1.6	15.4
A	1.50	P-4E	6.5	21.1	109.2	2170	1.8	2.2
A	1.50	P-4C	7.1	21.4	99.3	2060	2.0	10.0
A	2.00	P-3O	12.3	21.9	26.1	7940	1.9	33.6
A	2.00	P-3E	12.3	20.8	-10.5	7850	2.0	22.7
A	2.00	P-3C	12.3	21.8	3.2	6930	2.1	30.5
A	2.50	P-2O	7.4	19.9	239.2	1732	2.2	16.9
A	2.50	P-2E	7.4	21.1	193.1	1684	2.1	-
A	2.50	P-2C	9.1	20.5	137.2	2110	2.6	-
A	3.60	Z-5O	7.1	21.6	205.7	1946	1.8	7.6
A	3.60	Z-5E	6.9	21.7	123.7	1770	2.0	11.6
A	3.60	Z-5C	7.2	21.1	184.2	2100	1.7	8.1
A	3.70	Z-4O	7.3	21.7	206.1	1565	1.8	9.9
A	3.70	Z-4E	6.9	20.7	222.3	1682	1.9	10.9
A	3.70	Z-4C	7.0	21.3	198.5	1940	2.3	9.1
A	3.80	Z-3O	7.0	21.9	211.5	1822	2.0	7.0
A	3.80	Z-3E	6.8	20.7	146.3	1485	1.5	9.7
A	3.80	Z-3C	7.0	21.1	185.6	1954	1.9	7.9
A	3.90	Z-2O	7.3	21.3	208.1	1869	2.1	7.5
A	3.90	Z-2E	6.9	21.1	48.1	1614	1.8	10.6
A	3.90	Z-2C	7.1	21.0	221.5	1714	1.5	7.9
A	4.00	Z-1O	7.6	21.6	189.9	1468	2.1	8.1
A	4.00	Z-1E	7.0	21.1	40.2	1691	1.8	10.0
A	4.00	Z-1C	7.2	21.5	217.3	1608	1.7	9.6
A	4.20	P-1E	6.9	20.9	239.4	1766	2.3	8.7
A	4.20	P-1C	6.9	21.0	277.3	1777	2.0	9.4
C	1.85	P-4O	7.2	21.1	19.3	3500	1.5	24.6
C	1.85	P-4E	6.9	20.5	1.0	2990	1.6	19.0
C	1.85	P-4C	7.0	20.8	6.4	3360	1.6	21.3
C	2.50	P-3O	7.0	20.8	6.5	3710	1.8	28.0
C	2.50	P-3E	7.0	20.8	-10.7	3410	2.0	22.4
C	2.50	P-3C	7.0	20.7	3.1	3560	1.7	26.9
C	3.50	P-2O	6.8	19.9	93.7	2260	1.4	-
C	3.50	P-2E	6.9	20.1	68.9	2310	2.1	-
C	3.50	P-2C	6.9	19.8	84.8	2450	1.7	-
C	4.50	P-1O	6.9	19.9	68.9	2770	1.8	21.3
C	4.50	P-1E	6.8	19.9	62.7	2680	1.4	18.7
C	4.50	P-1C	6.8	19.9	58.2	2690	1.9	19.0

Tabela 5.3.2.5.6. Dados *in situ* levantados na 5ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	6.9	20.5	116.5	2170	1.2	14.7
A	0.80	P-5E	6.8	19.8	215.8	2010	2.0	3.1
A	0.80	P-5C	6.7	20.3	74.2	2150	1.3	9.3
A	1.50	P-4O	6.9	21.3	186.7	3010	1.4	4.2
A	1.50	P-4E	6.3	20.6	190.4	2410	1.5	1.0
A	1.50	P-4C	6.4	20.8	221.0	3330	1.7	1.2
A	2.00	P-3O	12.0	20.3	53.9	7980	1.3	10.0
A	2.00	P-3E	12.1	21.4	-13.5	7120	1.8	18.6
A	2.00	P-3C	11.3	21.2	29.5	7570	1.6	23.3
A	2.50	P-2O	6.9	21.6	319.5	2180	2.6	25.3
A	2.50	P-2E	7.2	19.3	332.0	2350	2.4	17.5
A	2.50	P-2C	6.5	22.4	366.7	1995	2.4	6.4
A	3.60	Z-5O	7.0	31.6	283.5	2700	1.7	12.4
A	3.60	Z-5E	6.7	22.3	178.7	1995	1.5	11.9
A	3.60	Z-5C	7.0	22.3	250.2	2710	2.0	-
A	3.70	Z-4O	7.0	21.3	281.2	2500	1.9	15.5
A	3.70	Z-4E	6.7	22.4	178.6	2190	1.5	13.4
A	3.70	Z-4C	6.9	22.3	213.5	2530	2.0	14.4
A	3.80	Z-3O	7.0	20.6	293.1	2300	2.1	16.3
A	3.80	Z-3E	6.8	23.0	156.6	2200	1.6	14.8
A	3.80	Z-3C	7.0	21.8	236.7	2500	2.2	15.1
A	3.90	Z-2O	7.1	20.5	267.8	2120	1.7	17.2
A	3.90	Z-2E	6.8	22.0	169.9	2170	2.3	16.8
A	3.90	Z-2C	7.0	21.7	252.0	2460	2.2	24.0
A	4.00	Z-1O	7.0	20.9	191.6	2210	1.7	18.3
A	4.00	Z-1E	6.7	22.3	161.7	2140	2.4	17.7
A	4.00	Z-1C	7.0	21.0	269.4	2510	1.7	15.3
A	4.20	P-1E	6.9	20.6	292.9	2350	1.9	17.8
A	4.20	P-1C	6.9	20.3	302.0	2360	1.7	17.7
C	1.85	P-4O	7.0	20.8	36.1	3450	1.0	26.5
C	1.85	P-4E	6.9	20.9	70.8	2960	2.3	18.6
C	1.85	P-4C	7.0	20.6	65.2	3670	1.3	28.5
C	2.50	P-3O	6.9	20.5	89.7	3410	1.0	24.1
C	2.50	P-3E	6.9	19.4	66.5	3100	1.2	19.1
C	2.50	P-3C	6.9	20.2	99.1	3480	1.3	25.9
C	3.50	P-2O	6.9	19.3	138.3	2590	3.2	18.1
C	3.50	P-2E	6.9	19.6	138.4	2700	2.6	20.6
C	3.50	P-2C	7.1	19.7	136.0	2650	5.7	15.8
C	4.50	P-1O	6.8	19.2	72.7	3390	1.6	40.0
C	4.50	P-1E	6.8	19.6	114.0	3000	1.2	22.1
C	4.50	P-1C	6.8	19.4	75.4	3020	1.2	22.9

Tabela 5.3.2.5.7. Dados *in situ* levantados na 6ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.0	18.5	113.1	2100	2.1	12.5
A	0.80	P-5E	6.6	16.8	279.9	1717	2.4	1.5
A	0.80	P-5C	6.8	18.0	204.8	1929	2.0	7.2
A	1.50	P-4O	6.0	18.3	397.8	1911	3.0	1.0
A	1.50	P-4E	5.9	18.7	381.0	1597	3.0	0.7
A	1.50	P-4C	6.0	18.8	397.0	1902	3.0	1.1
A	2.00	P-3O	12.8	19.0	96.2	4390	7.4	12.3
A	2.00	P-3E	12.3	18.7	118.5	2200	3.8	4.3
A	2.00	P-3C	12.6	18.7	114.9	3130	3.0	6.9
A	2.50	P-2O	7.2	16.7	406.1	2510	2.4	11.8
A	2.50	P-2E	7.3	17.6	370.7	2530	3.8	16.7
A	2.50	P-2C	7.3	16.6	400.5	2630	2.9	14.9
A	3.60	Z-5O	7.0	18.0	202.0	2410	2.2	11.4
A	3.60	Z-5E	6.9	18.6	278.9	1919	2.4	8.2
A	3.60	Z-5C	7.1	17.8	296.5	2460	2.2	12.2
A	3.70	Z-4O	7.0	17.1	182.3	2240	2.4	11.7
A	3.70	Z-4E	6.9	18.0	167.1	1792	2.3	9.7
A	3.70	Z-4C	7.0	18.0	243.6	2140	2.4	12.4
A	3.80	Z-3O	7.0	17.6	179.9	2370	2.4	12.2
A	3.80	Z-3E	6.9	17.8	142.6	1952	2.5	11.0
A	3.80	Z-3C	7.1	17.2	303.9	2340	2.2	12.7
A	3.90	Z-2O	7.1	17.7	222.5	1967	2.3	13.9
A	3.90	Z-2E	6.9	17.8	143.7	1856	1.8	12.5
A	3.90	Z-2C	7.0	17.4	267.7	1995	2.3	13.7
A	4.00	Z-1O	7.1	16.4	180.8	2010	2.3	14.4
A	4.00	Z-1E	7.0	17.5	119.0	1875	2.1	13.6
A	4.00	Z-1C	7.1	17.9	307.7	2260	2.3	15.9
A	4.20	P-1E	7.0	17.4	374.6	2200	1.9	13.9
A	4.20	P-1C	7.0	16.8	385.5	2200	1.9	14.0
C	1.85	P-4O	7.2	16.0	92.6	4300	2.2	22.6
C	1.85	P-4E	7.2	16.1	90.8	3430	2.2	23.0
C	1.85	P-4C	7.2	16.0	88.4	3890	1.5	23.1
C	2.50	P-3O	7.1	15.6	92.3	4270	1.3	24.7
C	2.50	P-3E	7.1	16.0	82.9	3770	1.3	20.8
C	2.50	P-3C	7.1	15.9	72.5	4210	1.8	23.6
C	3.50	P-2O	6.9	15.2	122.8	3030	2.4	21.8
C	3.50	P-2E	7.0	15.6	110.7	3010	1.5	24.1
C	3.50	P-2C	6.9	16.3	116.8	3000	2.3	21.5
C	4.50	P-1O	6.9	16.0	127.8	3500	1.8	25.9
C	4.50	P-1E	6.9	15.8	122.4	3470	2.0	21.9
C	4.50	P-1C	7.0	16.0	134.9	3650	1.4	23.1

Tabela 5.3.2.5.8. Dados *in situ* levantados na 7ª campanha de amostragem para FA e FC.

Fossa	Prof (m)	Instrumento	pH	T (°C)	Eh (mV)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Alcalinidade (meq/L CaCO ₃)
A	0.80	P-5O	7.1	21.5	212.8	2080	2.0	9.2
A	0.80	P-5E	6.4	20.2	353.3	1772	2.4	1.6
A	0.80	P-5C	6.7	20.5	161.2	2030	1.8	3.4
A	1.50	P-4O	6.2	21.3	348.1	1762	2.4	0.9
A	1.50	P-4E	6.2	21.4	365.2	1808	1.7	0.6
A	1.50	P-4C	6.4	21.3	320.9	1714	1.8	0.8
A	2.00	P-3O	11.5	26.2	140.6	3800	2.4	11.7
A	2.00	P-3E	11.7	21.8	273.3	3540	2.3	1.1
A	2.00	P-3C	11.9	23.8	186.7	4540	1.8	3.6
A	2.50	P-2O	7.1	24.4	399.8	2250	1.7	9.4
A	2.50	P-2E	7.2	24.6	377.0	2390	1.8	14.5
A	2.50	P-2C	7.2	23.3	392.5	2510	2.1	8.9
A	3.60	Z-5O	6.7	23.2	321.2	2020	1.4	7.0
A	3.60	Z-5E	7.0	24.2	394.3	2120	1.7	10.4
A	3.60	Z-5C	6.9	24.3	402.3	2080	1.5	8.2
A	3.70	Z-4O	6.7	24.9	438.9	2000	1.5	7.5
A	3.70	Z-4E	6.9	24.9	422.5	2110	1.3	10.0
A	3.70	Z-4C	6.9	24.8	426.3	2050	1.6	8.9
A	3.80	Z-3O	6.7	24.8	433.9	1949	1.3	7.8
A	3.80	Z-3E	6.9	24.4	416.0	2080	1.3	10.5
A	3.80	Z-3C	6.9	24.6	436.8	1989	1.6	9.6
A	3.90	Z-2O	6.8	23.6	410.2	1858	1.6	8.5
A	3.90	Z-2E	6.9	24.5	415.5	2010	1.3	12.1
A	3.90	Z-2C	6.9	23.6	444.9	2050	1.6	10.0
A	4.00	Z-1O	6.8	24.0	400.1	1830	1.7	9.2
A	4.00	Z-1E	6.9	23.5	142.4	1861	1.5	14.7
A	4.00	Z-1C	6.9	23.9	402.0	2040	1.7	10.5
A	4.00	Z-0	6.9	23.5	399.1	1847	1.8	10.2
A	4.20	P-1E	6.8	23.5	303.8	1835	1.5	9.5
A	4.20	P-1C	6.8	23.3	383.9	1816	1.5	9.1
C	1.85	P-4O	7.2	21.6	55.4	4090	1.5	28.3
C	1.85	P-4E	7.1	24.1	-20.9	3920	0.4	17.3
C	1.85	P-4C	7.1	22.0	74.6	3870	1.4	33.4
C	2.50	P-3O	7.0	21.2	30.6	4010	1.5	26.9
C	2.50	P-3E	7.1	21.4	65.1	4120	1.7	28.4
C	2.50	P-3C	7.1	21.6	52.9	4100	1.2	28.3
C	3.50	P-2O	6.7	20.7	72.1	3740	1.4	26.9
C	3.50	P-2E	6.9	21.1	77.8	3690	1.7	27.7
C	3.50	P-2C	6.9	21.0	97.4	3530	1.8	26.9
C	4.50	P-1O	6.9	19.9	55.2	4210	1.6	27.4
C	4.50	P-1E	7.0	20.5	75.9	4190	1.6	28.0
C	4.50	P-1C	6.9	20.3	48.7	4070	2.0	28.0

Tabela 5.3.2.5.9. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - Campanha inicial.

Prof. m	19.06.2007	CATIONS												ANIONS										TDS+ mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe t mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L	
		MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	
	MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	
0.80	P-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.80	P-5E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.80	P-5C (FA)	0.37	0.03	39.32	0.00	0.14	2.39	4.82	0.68	17.35	0.00	-	0.05	0.03	0.24	21.73	0.70	0.08	41.20	0.01	11.02	88.44	0.00	228.61
1.50	P-4O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50	P-4E (FA)	0.27	0.07	10.57	0.00	0.02	3.03	2.70	0.62	20.50	0.00	-	0.03	0.02	0.09	24.44	0.03	0.08	51.90	0.01	2.56	3.81	0.00	120.75
1.50	P-4C (FA)	0.19	0.05	11.67	0.00	0.02	2.46	2.69	0.70	14.87	0.00	-	0.03	0.01	0.09	20.40	0.06	0.09	47.50	0.01	2.02	4.27	0.00	107.12
2.00	P-3O (FA)	0.34	0.13	632.65	0.00	0.00	4.14	0.10	0.01	20.77	0.00	-	12.48	0.01	0.03	6.28	0.22	0.06	36.50	0.01	0.24	6.02	983.44	1703.43
2.00	P-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00	P-3C (FA)	0.47	0.10	489.68	0.00	0.00	2.30	0.10	0.01	14.32	0.00	-	8.77	0.01	0.03	6.37	0.23	0.03	29.95	0.01	0.55	6.79	942.86	1502.57
2.50	P-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	P-2E (FA)	0.12	0.02	10.72	0.00	0.02	2.85	1.82	1.18	8.12	0.00	-	0.06	0.01	0.03	15.32	0.02	0.09	17.20	0.01	11.54	8.23	0.00	77.35
2.50	P-2C (FA)	0.25	0.01	5.13	0.00	0.04	1.59	0.63	0.31	4.81	0.00	-	0.01	0.01	0.04	8.38	0.02	0.07	4.09	0.01	5.26	7.32	0.00	37.98
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	Z-5E (FA)	2.42	0.07	273.23	0.00	0.00	1.03	0.17	0.02	25.91	0.00	-	2.43	0.01	0.03	19.50	0.12	0.10	54.80	0.01	2.56	4.88	339.60	726.89
3.60	Z-5C (FA)	1.71	0.11	257.77	0.00	0.00	1.25	0.35	0.09	26.18	0.00	-	1.97	0.01	0.03	20.10	11.33	0.11	37.80	0.01	3.45	12.12	299.44	673.82
3.70	Z-4O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.70	Z-4E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.70	Z-4C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3C (FA)	0.14	0.24	252.93	0.00	0.01	4.06	0.46	0.08	31.37	0.00	-	4.03	0.01	0.03	20.90	4.34	0.16	46.50	0.01	3.15	25.35	286.33	680.10
3.90	Z-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	Z-1O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	Z-1E (FA)	0.46	0.29	42.52	0.00	0.45	10.26	6.72	4.00	12.80	0.00	-	0.88	0.04	0.73	17.90	2.24	0.22	16.66	0.01	8.70	176.85	0.02	301.76
4.00	Z-1C (FA)	0.22	0.56	177.07	0.00	0.02	7.34	4.90	3.27	31.06	0.00	-	4.29	0.02	0.03	21.49	0.00	0.10	0.15	0.01	3.03	398.89	3.92	656.36
4.20	P-1E (FA)	0.45	0.55	30.57	0.00	0.68	16.88	7.81	10.42	11.72	0.00	-	0.22	0.04	0.03	26.79	0.00	0.35	0.11	0.19	20.90	190.28	0.02	318.02
4.20	P-1C (FA)	0.24	1.45	73.24	0.01	1.88	24.95	18.25	25.60	12.33	0.01	-	0.36	0.03	0.03	38.69	0.00	0.25	0.08	0.01	30.40	296.36	0.05	524.21
1.85	P-4O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.85	P-4E (FC)	0.21	0.05	12.14	0.00	0.02	3.21	2.48	0.54	29.20	0.00	-	0.03	0.01	0.13	41.30	0.00	0.12	52.80	0.01	5.79	10.37	0.00	158.43
1.85	P-4C (FC)	0.21	0.03	18.12	0.00	0.03	2.83	3.15	0.67	19.69	0.00	-	0.03	0.02	0.15	35.00	0.12	0.10	35.50	0.01	6.37	42.70	0.00	164.74
2.50	P-3O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50	P-3E (FC)	0.16	0.05	12.02	0.00	0.01	2.91	2.62	0.51	24.71	0.00	-	0.03	0.02	0.10	35.41	0.02	0.14	40.50	0.01	3.51	12.05	0.00	134.78
2.50	P-3C (FC)	0.16	0.04	11.39	0.00	0.02	2.74	3.06	0.59	18.22	0.00	-	0.03	0.02	0.09	30.50	0.02	0.09	35.28	0.01	3.31	11.28	0.00	116.86
3.50	P-2O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	P-2E (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.50	P-2C (FC)	0.36	0.04	6.51	0.00	0.03	2.34	0.99	1.61	5.48	0.00	-	0.02	0.04	0.06	8.74	0.04	0.16	1.49	0.01	6.27	21.35	0.00	55.52
4.50	P-1O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.50	P-1E (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.50	P-1C (FC)	0.06	0.02	85.28	0.00	0.01	2.27	7.38	0.34	15.50	0.00	-	0.08	0.01	0.06	33.09	0.00	0.12	40.70	0.01	14.50	230.49	0.05	429.96

* sem adição de sílica

Tabela 5.3.2.5.10. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 1ª Campanha.

Prof. m	01.08.2007	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe ^t mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	60.09
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09
0.80	P-5O (FA)	0.11	1.03	20.74	0.00	1.22	33.53	5.60	18.30	74.17	0.00	113.08	0.15	0.05	0.44	68.70	0.14	0.10	0.59	2.67	0.11	535.65	0.56	10.20	887.14
0.80	P-5E (FA)	0.02	0.25	16.37	0.00	0.03	29.69	3.43	5.66	68.25	0.00	81.33	0.10	0.02	0.68	104.00	0.00	0.17	0.29	0.01	284.40	641.37	2.57	9.27	1247.91
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.84	22.87	0.00	0.07	33.69	8.22	18.98	128.10	0.00	100.34	0.16	0.02	0.03	91.80	0.24	0.12	0.09	0.01	0.46	511.42	0.48	7.15	925.09
1.50	P-4O (FA)	0.04	0.16	25.08	0.00	0.10	28.70	6.31	35.42	130.18	0.00	87.09	0.09	0.04	0.03	87.89	0.10	0.13	0.31	0.01	39.20	377.78	0.20	6.74	825.60
1.50	P-4E (FA)	0.01	0.07	23.66	0.00	0.02	17.83	4.24	14.67	91.84	0.00	52.02	0.10	0.02	0.13	78.20	3.76	0.12	81.51	0.69	80.50	767.61	0.49	10.40	1227.87
1.50	P-4C (FA)	0.03	0.06	17.70	0.00	0.03	23.61	4.26	20.88	225.21	0.00	33.89	0.06	0.04	0.22	93.96	2.18	0.11	140.90	0.01	210.30	121.81	0.10	9.19	904.54
2.00	P-3O (FA)	0.28	0.21	730.21	0.01	0.00	30.68	0.10	0.01	95.25	0.00	0.00	3.72	0.01	0.31	84.80	8.75	0.11	231.50	0.01	1.02	3.96	814.05	0.25	2005.24
2.00	P-3E (FA)	1.10	0.09	320.96	0.01	0.00	15.94	0.10	0.01	72.22	0.00	0.00	2.82	0.01	0.27	53.40	13.83	0.11	122.10	0.01	1.06	5.24	981.42	0.25	1590.96
2.00	P-3C (FA)	0.39	0.14	160.63	0.02	0.00	23.04	0.10	0.01	88.99	0.00	0.00	4.67	0.01	0.03	64.18	9.82	0.10	213.60	0.01	0.69	4.51	885.78	0.25	1456.96
2.50	P-2O (FA)	9.67	0.02	111.36	0.00	0.00	11.40	0.08	0.01	91.27	0.00	0.04	0.62	0.05	0.94	79.10	22.00	0.12	117.30	0.01	7.04	5.36	159.36	0.25	616.01
2.50	P-2E (FA)	4.10	0.01	196.00	0.00	0.02	3.76	0.17	0.01	88.73	0.00	19.70	0.13	0.04	0.87	67.41	14.61	0.10	77.30	0.01	28.10	194.69	0.25	0.25	519.87
2.50	P-2C (FA)	0.63	0.03	21.79	0.00	0.01	4.77	0.75	0.10	87.77	0.00	7.65	0.18	0.07	0.56	62.70	10.44	0.12	126.90	0.01	20.04	91.15	9.17	0.25	445.10
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
3.60	Z-5E (FA)	3.14	0.01	105.87	0.00	0.01	12.38	0.19	0.01	57.96	0.00	0.07	0.34	0.03	0.16	41.20	26.58	0.10	103.38	0.01	14.40	40.96	609.85	10.70	1027.35
3.60	Z-5C (FA)	3.68	0.01	395.28	0.00	0.00	17.80	0.10	0.01	64.10	0.00	0.00	1.36	0.02	0.03	48.70	13.40	0.10	126.50	0.17	1.84	11.70	618.24	4.03	1307.08
3.70	Z-4O (FA)	7.23	0.01	180.46	0.00	0.01	19.45	0.07	0.01	95.90	0.00	0.00	0.60	0.03	0.03	105.76	16.72	0.11	172.60	0.01	75.71	13.74	209.25	11.60	909.28
3.70	Z-4E (FA)	1.64	0.03	63.66	0.00	0.00	12.98	0.12	0.01	60.98	0.00	-	0.30	0.02	0.03	41.90	37.30	0.10	43.80	0.01	20.68	19.06	230.63	-	533.24
3.70	Z-4C (FA)	6.50	0.04	394.05	0.00	0.00	14.19	0.06	0.01	59.29	0.00	0.00	0.93	0.03	0.03	47.30	17.80	0.09	93.83	0.01	3.06	8.95	637.60	-	1283.75
3.80	Z-3O (FA)	6.53	0.01	141.62	0.00	0.00	16.99	0.06	0.01	79.89	0.00	0.01	0.44	0.02	0.03	83.40	23.50	0.10	141.80	0.22	50.40	16.07	190.09	12.40	763.60
3.80	Z-3E (FA)	2.37	0.03	58.02	0.00	0.02	10.49	0.15	0.01	66.83	0.00	0.09	0.50	0.05	0.20	46.67	29.58	0.08	23.10	0.01	22.80	7.09	98.51	7.44	374.03
3.80	Z-3C (FA)	6.54	0.02	385.79	0.00	0.00	18.55	0.10	0.01	63.56	0.00	0.00	1.32	0.01	0.03	43.60	12.71	0.11	124.00	0.01	3.07	8.27	691.94	4.20	1363.84
3.90	Z-2O (FA)	7.01	0.03	163.90	0.00	0.01	18.25	0.06	0.01	76.35	0.00	0.00	0.65	0.02	0.03	71.10	27.80	0.08	110.90	0.01	19.60	11.96	240.12	-	747.88
3.90	Z-2E (FA)	1.47	0.03	28.36	0.00	0.03	10.61	0.30	0.03	79.20	0.00	0.00	0.55	0.05	0.03	41.50	19.76	0.08	3.66	0.35	32.40	74.34	59.44	-	352.20
3.90	Z-2C (FA)	5.60	0.05	401.49	0.00	0.02	12.86	0.20	0.02	64.54	0.00	0.00	1.06	0.14	0.03	80.00	14.70	0.11	103.45	0.01	1.52	7.51	722.30	-	1415.59
4.00	Z-1O (FA)	3.47	0.10	336.07	0.00	0.00	20.22	0.08	0.02	68.25	0.00	0.00	1.27	0.02	0.03	58.70	24.21	0.11	99.10	0.01	5.60	9.34	553.41	9.48	1189.49
4.00	Z-1E (FA)	0.44	0.11	266.19	0.00	0.01	14.22	0.08	0.02	74.49	0.00	0.01	1.28	0.01	0.03	46.64	15.00	0.12	84.80	0.01	5.26	8.31	679.91	10.40	1207.33
4.00	Z-1C (FA)	3.41	0.05	363.50	0.00	0.00	15.94	0.10	0.01	64.56	0.00	0.00	0.89	0.01	0.03	45.38	10.19	0.10	122.25	0.01	1.57	8.93	919.61	2.45	1558.99
4.20	P-1E (FA)	4.49	0.16	264.74	0.00	0.00	17.13	0.10	0.01	79.36	0.00	0.01	1.36	0.02	0.03	53.50	18.50	0.09	94.23	0.01	8.00	9.37	421.39	9.52	982.01
4.20	P-1C (FA)	4.17	0.22	336.31	0.00	0.01	18.79	0.10	0.01	74.70	0.00	0.01	1.40	0.03	0.03	48.30	16.86	0.10	91.80	0.01	6.06	7.61	494.26	7.53	1108.31
1.85	P-4O (FC)	0.07	1.82	35.51	0.00	0.03	37.33	9.03	60.19	82.38	0.00	91.27	0.21	0.03	0.03	104.00	0.00	0.12	0.15	0.16	1.90	548.61	0.19	5.82	978.85
1.85	P-4E (FC)	0.60	0.19	60.12	0.01	0.40	92.46	14.41	5.27	273.51	0.00	299.34	0.15	0.14	0.03	342.30	38.70	0.32	211.30	63.23	62.50	-	-	22.50	1487.49
1.85	P-4C (FC)	0.04	0.77	23.99	0.00	0.03	61.20	10.28	12.90	195.76	0.00	355.12	0.12	0.02	0.03	257.60	0.06	0.20	0.32	3.99	0.37	1364.79	0.79	0.25	2288.62
2.50	P-3O (FC)	0.03	0.38	39.46	0.00	0.02	24.96	7.15	2.67	75.63	0.00	46.45	0.13	0.05	0.05	89.30	0.10	0.13	214.00	0.57	13.70	182.98	0.01	8.86	706.61
2.50	P-3E (FC)	0.05	0.64	22.92	0.00	0.06	106.18	10.13	9.78	285.83	0.00	622.80	0.11	0.06	0.03	418.90	0.04	0.29	0.54	30.10	41.20	851.42	1.27	20.00	2422.37
2.50	P-3C (FC)	0.03	0.72	20.57	0.00	0.05	68.43	9.68	12.46	154.61	0.00	303.23	0.10	0.04	0.03	221.20	3.56	0.22	45.90	11.10	35.75	914.27	0.36	0.25	1802.54
3.50	P-2O (FC)	0.11	0.08	31.76	0.00	0.71	3.14	3.10	14.17	13.65	0.00	0.08	0.09	0.07	0.03	24.60	0.36	0.19	46.50	0.01	6.97	-	-	0.25	145.85
3.50	P-2E (FC)	0.07	0.29	41.50	0.00	0.83	13.12	6.82	19.95	125.59	0.00	24.39	0.17	0.06	0.07	179.30	13.70	0.26	92.50	0.17	59.20	292.79	0.01	7.82	878.61
3.50	P-2C (FC)	0.07	0.42	20.82	0.00	23.06	7.33	4.88	12.26	98.36	0.00	3.48	0.12	0.11	0.03	145.90	8.03	0.24	59.10	0.01	39.70	243.97	0.01	6.11	674.00
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.41	184.46	0.00	0.00	14.49	25.60	0.21	132.78	0.00	3.35	0.83	0.01	0.03	189.00	3.96	0.19	585.60	0.01	50.60	304.96	0.02	7.40	1503.93
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.13	129.90	0.00	0.00	58.59	10.71	2.12	210.07	0.00	177.84	0.72	0.03	0.03	265.04	143.60	0.20	117.70	0.01	73.10	780.57	0.11	4.24	1974.72
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.15	173.09	0.00	0.00	38.77	12.22	2.16	192.35	0.00	73.47	0.85	0.03	0.03	227.69	33.65	0.43	304.70	0.01	72.20	744.02	0.09	5.07	1880.99

Tabela 5.3.2.5.11. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 2ª Campanha

Prof. m	10.09.2007	CATIONS													ANIONS								TDS* mg/L	
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe t mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L		CO ₃ ²⁻ mg/L
		MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM		MM
	MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	
0.80	P-5O (FA)	0.34	0.32	33.05	0.01	0.45	47.37	8.56	17.21	158.99	0.00	-	0.16	0.03	0.26	156.00	-	0.15	0.35	2.50	80.00	657.95	0.42	1164.14
0.80	P-5E (FA)	0.03	0.32	41.23	0.00	0.33	60.97	4.67	10.30	212.07	0.00	-	0.11	0.01	0.31	222.00	-	0.18	0.13	9.40	1.70	998.16	1.10	1563.02
0.80	P-5C (FA)	0.04	0.86	19.04	0.01	1.36	52.60	5.69	11.97	174.80	0.00	-	0.13	0.01	0.35	153.00	-	0.16	0.02	0.59	3.30	877.48	0.45	1301.87
1.50	P-4O (FA)	0.05	0.15	23.38	0.01	0.05	39.72	5.12	18.29	173.72	0.00	-	0.10	0.01	0.09	142.00	-	0.15	179.00	0.36	148.00	284.50	0.08	1014.78
1.50	P-4E (FA)	0.03	0.08	32.07	0.00	0.03	29.73	4.80	21.77	202.01	0.00	-	0.10	0.03	0.09	151.00	-	0.15	254.00	0.13	174.00	223.52	0.07	1093.61
1.50	P-4C (FA)	0.06	0.11	32.73	0.00	0.03	32.35	5.79	22.34	185.08	0.00	-	0.13	0.02	0.07	146.00	-	0.15	324.00	0.11	131.00	130.08	0.03	1010.08
2.00	P-3O (FA)	0.36	0.16	804.13	0.00	0.00	37.60	0.10	0.01	139.84	0.00	-	1.54	0.01	0.29	120.00	-	0.17	550.00	0.01	0.40	12.78	869.71	2537.13
2.00	P-3E (FA)	0.44	0.13	755.02	0.01	0.00	35.68	0.10	0.01	180.40	0.00	-	3.09	0.01	0.35	115.00	-	0.16	525.00	0.05	0.56	19.42	914.45	2549.88
2.00	P-3C (FA)	0.58	0.14	821.11	0.01	0.00	34.15	0.10	0.01	151.91	0.00	-	2.06	0.01	0.30	112.00	-	0.16	492.00	0.03	0.33	15.66	928.30	2558.86
2.50	P-2O (FA)	14.27	0.04	188.71	0.01	0.00	27.78	0.10	0.01	169.48	0.00	-	1.18	0.02	0.35	128.00	-	0.22	406.00	0.03	2.00	17.06	231.61	1186.86
2.50	P-2E (FA)	1.61	0.03	87.25	0.01	0.00	15.70	0.26	0.08	190.84	0.00	-	0.41	0.02	0.35	124.00	-	0.17	323.00	0.07	174.00	105.09	2.31	1025.23
2.50	P-2C (FA)	13.75	0.03	140.43	0.01	0.00	22.11	0.10	0.01	150.98	0.00	-	1.47	0.01	0.49	118.00	-	0.10	2225.00	0.05	12.00	448.29	1.53	3134.37
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	Z-5E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	Z-5C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.70	Z-4O (FA)	3.93	0.01	232.48	0.00	0.00	37.46	0.10	0.01	180.74	0.00	-	0.55	0.01	0.15	134.00	-	0.18	308.00	0.01	27.00	15.63	286.31	1226.57
3.70	Z-4E (FA)	0.18	0.02	105.40	0.00	0.01	30.99	1.80	0.15	207.35	0.00	-	0.23	0.01	0.04	132.00	-	0.18	302.00	0.05	175.00	214.94	0.29	1170.63
3.70	Z-4C (FA)	1.20	0.006	115	0.001	0.002	33	0.1	0.01	202	0.001	-	0.212	0.01	0.20	157.00	-	0.18	234.00	0.01	111.00	12.20	120.00	986.05
3.80	Z-3O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	Z-1O (FA)	2.46	0.01	273.69	0.00	0.00	37.47	0.10	0.01	175.05	0.00	-	0.27	0.01	0.36	134.00	-	0.18	312.00	0.05	18.00	11.75	318.22	1283.63
4.00	Z-1E (FA)	0.27	0.04	309.34	0.00	0.02	32.80	0.10	0.01	173.25	0.00	-	0.25	0.01	0.81	152.00	-	0.21	319.00	0.31	46.00	9.30	289.42	1333.16
4.00	Z-1C (FA)	1.88	0.02	310.32	0.00	0.00	37.40	0.10	0.01	184.69	0.00	-	0.49	0.01	0.31	145.00	-	0.19	311.00	0.04	28.00	14.13	341.05	1374.63
4.20	P-1E (FA)	0.02	0.22	127.69	0.00	0.02	36.51	7.92	1.32	200.76	0.00	-	0.91	0.01	0.02	142.00	-	0.17	299.00	0.10	53.00	1236.58	3.85	2110.08
4.20	P-1C (FA)	4.35	0.05	213.21	0.00	0.00	34.80	0.10	0.01	179.20	0.00	-	0.57	0.01	0.14	147.00	-	0.18	327.00	0.07	21.00	10.71	252.73	1191.15
1.85	P-4O (FC)	0.06	2.06	34.14	0.00	0.93	50.62	8.56	33.01	131.84	0.00	-	0.14	0.02	0.09	191.00	-	0.19	0.17	0.34	1.20	585.28	0.15	1039.80
1.85	P-4E (FC)	0.02	0.11	25.03	0.00	0.12	58.69	8.09	13.19	152.75	0.00	-	0.06	0.01	0.09	281.00	-	0.22	58.00	85.00	76.00	719.57	0.11	1478.07
1.85	P-4C (FC)	0.03	0.07	45.05	0.01	0.07	98.58	8.21	1.79	182.72	0.00	-	0.07	0.01	0.19	230.00	-	0.20	0.49	9.80	0.35	755.92	0.24	1333.79
2.50	P-3O (FC)	0.08	1.24	45.99	0.00	0.17	68.02	9.97	18.05	156.25	0.00	-	0.15	0.04	0.20	251.00	-	0.21	0.13	17.00	4.80	1438.45	0.56	2012.31
2.50	P-3E (FC)	0.03	0.10	22.91	0.01	0.40	72.44	5.90	12.24	193.31	0.00	-	0.04	0.01	0.16	323.00	-	0.25	1.10	47.00	20.00	1194.60	0.49	1893.99
2.50	P-3C (FC)	0.09	0.18	26.18	0.01	0.22	73.56	9.81	16.72	151.29	0.00	-	0.08	0.01	0.20	238.00	-	0.23	0.13	27.00	4.00	902.16	0.31	1450.17
3.50	P-2O (FC)	0.13	0.44	69.92	0.00	0.05	8.31	10.40	17.66	51.85	0.00	-	0.27	0.06	0.10	79.00	-	0.20	236.00	0.01	12.00	65.06	0.00	551.46
3.50	P-2E (FC)	0.10	0.40	41.39	0.00	0.03	25.19	4.71	8.68	162.29	0.00	-	0.12	0.01	0.05	249.00	-	0.21	56.00	0.04	86.00	475.67	0.06	1109.96
3.50	P-2C (FC)	0.02	0.45	25.20	0.00	0.00	19.37	4.52	29.22	149.43	0.00	-	0.11	0.01	0.05	211.00	-	0.21	56.00	0.01	74.00	341.52	0.04	911.17
4.50	P-1O (FC)	0.07	0.44	196.58	0.00	0.00	16.73	13.83	4.23	137.41	0.00	-	0.62	0.03	0.03	176.00	-	0.17	178.00	0.02	47.00	524.48	0.06	1295.71
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.47	83.73	0.00	0.04	45.99	3.90	0.73	142.37	0.00	-	0.26	0.01	0.15	208.00	-	0.17	400.00	0.03	51.00	475.69	0.05	1412.61
4.50	P-1C (FC)	0.04	0.45	146.24	0.00	0.00	34.23	5.71	0.84	131.54	0.00	-	0.39	0.01	0.15	183.00	-	0.17	342.00	0.02	45.00	487.88	0.06	1377.73

* sem adição de sílica

Tabela 5.3.2.5.12. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 3ª Campanha

Prof. m	20.11.2007	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fet mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	60.09
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.89	38.00	0.01	2.10	97.00	22.00	8.10	180.00	0.01	174.44	0.18	0.01	0.20	164.00	0.00	0.15	0.08	42.00	12.00	804.32	0.43	14	1559.92
0.80	P-5E (FA)	0.01	0.58	56.00	0.01	0.13	52.00	14.00	9.20	178.00	0.01	120.41	0.27	0.01	0.17	158.00	0.00	0.16	1.20	26.00	19.00	609.20	0.40	16	1260.75
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.10	95.00	0.01	0.10	79.00	47.00	8.90	197.00	0.02	70.63	0.34	0.01	0.12	153.00	0.26	0.14	0.77	11.00	186.00	972.73	0.43	23	1845.56
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.22	47.00	0.01	0.04	58.00	16.00	13.00	216.00	0.01	33.41	0.18	0.05	0.12	131.00	1.95	0.15	478.00	20.00	211.00	56.08	0.02	22	1304.24
1.50	P-4E (FA)	0.01	0.20	118.00	0.01	0.02	65.00	29.00	13.00	181.00	0.01	27.68	0.52	0.04	0.08	111.00	1.98	0.16	640.00	17.00	191.00	36.58	0.01	26	1458.30
1.50	P-4C (FA)	0.02	0.33	94.00	0.01	0.02	77.00	28.00	22.00	159.00	0.01	40.53	0.36	0.11	0.21	129.00	3.89	0.13	631.00	9.60	173.00	88.40	0.02	31	1487.64
2.00	P-3O (FA)	0.01	0.15	191.00	0.01	0.01	56.00	0.02	0.01	165.00	0.01	0.00	2.50	0.00	0.24	107.00	3.50	0.14	565.00	0.01	5.60	5.56	465.27	0.32	1567.34
2.00	P-3E (FA)	0.01	0.09	340.00	0.01	0.01	46.00	0.08	0.01	158.00	0.01	0.00	3.50	0.00	0.29	116.00	0.17	0.14	497.00	0.01	35.00	5.15	393.47	0.9	1595.84
2.00	P-3C (FA)	0.93	0.14	371.00	0.01	0.01	64.00	0.01	0.01	150.00	0.01	0.00	2.80	0.00	0.27	119.00	2.97	0.14	630.00	0.01	2.00	6.55	488.78	0.31	1838.94
2.50	P-2O (FA)	17.00	0.04	245.00	0.01	0.03	43.00	0.70	0.03	167.00	0.01	0.02	1.80	0.00	0.14	145.00	74.25	0.17	556.00	0.01	61.00	21.28	229.53	3.7	1565.72
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.10	214.00	0.01	0.02	42.00	22.00	0.37	159.00	0.01	1.96	1.20	0.01	0.02	122.00	37.95	0.12	370.00	0.01	119.00	534.24	1.26	12	1637.28
2.50	P-2C (FA)	17.00	0.04	245.00	0.01	0.03	43.00	0.70	0.03	167.00	0.01	0.02	1.80	0.00	0.14	145.00	74.25	0.17	556.00	0.01	61.00	21.28	229.53	3.7	1565.72
3.60	Z-5O (FA)	4.30	0.01	81.00	0.01	0.01	38.00	1.50	0.01	209.00	0.01	0.15	0.32	0.01	0.11	119.00	0.10	0.12	356.00	0.02	231.00	83.71	11.63	3.6	1139.61
3.60	Z-5E (FA)	0.07	0.03	184.00	0.01	0.01	49.00	12.00	0.20	161.00	0.01	0.43	0.90	0.00	0.04	118.00	6.34	0.15	451.00	0.11	80.00	162.10	0.68	7.1	1233.17
3.60	Z-5C (FA)	5.20	0.01	215.00	0.03	0.01	37.00	0.07	0.01	150.00	0.01	0.01	0.60	0.00	0.21	133.00	15.31	0.14	523.00	0.04	89.00	13.73	83.25	3.3	1268.92
3.70	Z-4O (FA)	4.60	0.04	127.00	0.01	0.01	40.00	1.20	0.02	193.00	0.01	0.12	0.84	0.02	0.17	123.00	0.33	0.13	363.00	0.04	194.00	38.38	26.72	5.5	1118.15
3.70	Z-4E (FA)	0.06	0.10	135.00	0.01	0.05	44.00	9.60	0.87	150.00	0.01	1.21	0.60	0.00	0.06	135.00	18.18	0.16	301.00	0.17	67.00	140.86	0.32	6.6	1010.86
3.70	Z-4C (FA)	2.10	0.08	114.00	0.02	0.01	35.00	5.10	0.14	135.00	0.01	1.02	0.60	0.01	0.17	133.00	39.27	0.14	472.00	0.06	94.00	166.21	2.26	3.2	1203.40
3.80	Z-3O (FA)	6.00	0.03	176.00	0.01	0.02	40.00	0.13	0.01	171.00	0.01	0.02	0.91	0.01	0.14	123.00	47.85	0.11	363.00	0.06	125.00	12.71	75.35	6.5	1147.86
3.80	Z-3E (FA)	0.01	0.35	123.00	0.01	0.10	42.00	11.00	2.80	144.00	0.01	2.28	0.66	0.00	0.06	141.00	32.27	0.17	180.00	0.19	52.00	352.78	0.50	7.9	1093.09
3.80	Z-3C (FA)	1.10	0.21	149.00	0.01	0.01	45.00	7.80	0.44	137.00	0.01	1.97	1.20	0.00	0.18	135.00	75.57	0.16	415.00	0.07	83.00	91.37	0.67	5	1149.76
3.90	Z-2O (FA)	3.30	0.02	104.00	0.01	0.01	18.00	0.01	0.01	82.00	0.01	0.07	0.48	0.00	0.17	125.00	64.68	0.13	362.00	0.05	135.00	49.54	70.44	3.3	1018.22
3.90	Z-2E (FA)	0.15	0.52	145.00	0.01	0.15	46.00	12.00	3.70	145.00	0.01	2.38	0.95	0.01	0.08	140.00	67.98	0.17	251.00	0.42	51.00	158.10	0.25	8.1	1032.97
3.90	Z-2C (FA)	2.90	0.15	170.00	0.01	0.01	46.00	3.10	0.04	135.00	0.01	0.09	1.20	0.00	0.20	134.00	108.24	0.15	401.00	0.12	80.00	39.96	66.75	6.3	1195.23
4.00	Z-1O (FA)	5.70	0.06	243.00	0.01	0.01	43.00	0.02	0.01	165.00	0.01	0.01	1.00	0.00	0.26	124.00	82.50	0.14	398.00	0.05	91.00	10.25	132.96	6.4	1303.37
4.00	Z-1E (FA)	3.30	0.14	193.00	0.01	0.01	40.00	0.11	0.03	127.00	0.01	0.02	0.95	0.00	0.19	130.00	84.15	0.16	446.00	1.40	85.00	17.27	117.51	5.3	1251.55
4.00	Z-1C (FA)	3.50	0.05	266.00	0.01	0.01	48.00	0.31	0.01	149.00	0.01	0.01	0.95	0.00	0.18	129.00	74.58	0.13	493.00	0.14	82.00	7.14	124.89	4.5	1383.41
4.20	P-1E (FA)	0.01	0.42	187.00	0.01	0.01	31.00	5.70	5.70	106.00	0.01	0.29	1.10	0.04	0.30	87.00	33.33	0.14	319.00	0.67	39.00	316.57	0.31	8.9	1142.51
4.20	P-1C (FA)	0.01	0.74	315.00	0.01	0.01	49.00	9.20	12.00	151.00	0.01	1.27	1.70	0.01	0.00	150.00	38.94	0.14	573.00	0.01	60.00	580.01	0.36	13	1955.41
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.71	20.00	0.01	0.08	85.00	12.00	9.20	181.00	0.01	273.46	0.11	0.01	0.29	272.00	0.00	0.23	0.12	20.00	45.00	962.12	0.82	4.7	1886.89
1.85	P-4E (FC)	0.01	0.08	42.00	0.01	0.06	57.00	18.00	3.40	140.00	0.01	139.47	0.12	0.01	0.09	209.00	0.26	0.20	85.00	49.00	86.00	596.89	0.45	11	1438.06
1.85	P-4C (FC)	0.01	0.09	30.00	0.01	0.06	74.00	15.00	7.50	169.00	0.01	190.83	0.00	0.01	0.22	246.00	0.00	0.21	0.28	63.00	63.00	645.73	0.43	9.6	1514.98
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.16	14.00	0.01	0.12	104.00	11.00	7.60	190.00	0.01	364.73	0.06	0.01	0.20	267.00	0.00	0.22	0.10	72.00	0.44	1096.37	0.80	7.6	2136.44
2.50	P-3E (FC)	0.01	0.14	20.00	0.01	0.14	69.00	13.00	9.60	169.00	0.01	284.97	0.08	0.02	0.21	261.00	1.02	0.21	10.00	65.00	17.00	865.37	0.41	8.6	1794.80
2.50	P-3C (FC)	0.01	0.21	16.00	0.01	0.23	78.00	13.00	13.00	175.00	0.01	285.08	0.08	0.00	0.23	264.00	0.00	0.22	0.04	42.00	0.73	1365.23	0.60	7.3	2260.98
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.71	65.00	0.01	0.04	23.00	10.00	40.00	132.00	0.01	84.81	0.24	0.01	0.07	177.00	0.33	0.20	0.88	0.01	31.00	877.72	0.34	1.5	1444.88
3.50	P-2E (FC)	0.01	0.46	43.00	0.01	0.02	35.00	6.80	13.00	180.00	0.01	133.58	0.18	0.01	0.08	225.00	0.73	0.21	4.40	0.06	65.00	438.83	0.18	1	1147.57
3.50	P-2C (FC)	0.01	0.57	46.00	0.01	0.01	38.00	10.00	25.00	164.00	0.01	174.51	0.20	0.01	0.08	202.00	0.30	0.21	0.64	0.02	44.00	938.47	0.47	1.2	1645.71
4.50	P-1O (FC)	0.01	1.90	9.90	0.01	0.01	59.00	8.40	1.60	135.00	0.01	241.36	0.34	0.00	0.12	198.00	0.00	0.20	0.03	0.26	1.90	767.88	0.35	5.4	1431.68
4.50	P-1E (FC)	0.01	3.10	29.00	0.01	0.01	66.00	12.00	1.00	151.00	0.01	233.77	0.26	0.00	0.13	201.00	0.00	0.19	0.03	0.01	4.30	755.76	0.32	6.1	1464.00
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.62	20.00	0.01	0.07	66.00	11.00	21.00	160.00	0.01	267.28	0.09	0.01	0.24	225.00	0.00	0.23	0.03	13.00	5.50	1126.44	0.43	11	1927.97

Tabela 5.3.2.5.13. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 4ª Campanha

Prof. m	29.01.2008	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe t mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.22	24.00	0.01	0.30	71.00	13.00	5.80	164.00	0.01	156.46	0.12	0.00	0.21	123.00	0.00	0.17	0.05	46.00	0.47	1091.93	0.60	12	1709.36
0.80	P-5E (FA)	0.01	0.15	90.00	0.01	0.41	63.00	16.00	10.00	175.00	0.01	141.34	0.43	0.01	0.13	119.00	0.00	0.14	0.07	11.00	430.00	546.14	0.21	15	1618.06
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.11	52.00	0.01	0.09	71.00	24.00	4.10	165.00	0.01	152.72	0.21	0.01	0.17	121.00	0.00	0.14	0.04	38.00	5.40	784.89	0.39	18	1437.29
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.08	29.00	0.01	0.14	59.00	10.00	10.00	177.00	0.01	192.45	0.13	0.01	0.20	125.00	0.36	0.16	0.08	32.00	30.00	941.97	0.49	13	1621.10
1.50	P-4E (FA)	0.01	0.14	124.00	0.01	0.03	67.00	27.00	19.00	199.00	0.01	57.33	0.54	0.02	0.07	116.00	0.00	0.14	607.00	12.00	393.00	131.84	0.02	31	1785.16
1.50	P-4C (FA)	0.01	0.06	22.00	0.01	0.02	38.00	7.50	5.50	94.00	0.01	129.49	0.10	0.01	0.22	119.00	0.79	0.15	83.00	3.00	294.00	608.74	0.35	5.2	1411.15
2.00	P-3O (FA)	0.41	0.16	435.00	0.01	0.01	49.00	0.01	0.01	166.00	0.01	0.00	2.60	0.00	0.30	105.00	9.57	0.15	598.00	0.01	2.10	9.52	1003.30	0.27	2381.42
2.00	P-3E (FA)	0.31	0.12	473.00	0.02	0.01	44.00	0.09	0.01	154.00	0.01	0.00	3.10	0.02	0.22	114.00	6.93	0.15	565.00	0.01	3.20	6.58	677.76	0.38	2048.90
2.00	P-3C (FA)	0.33	0.15	662.00	0.01	0.01	53.00	0.01	0.01	164.00	0.01	0.00	3.00	0.00	0.30	109.00	16.34	0.14	599.00	0.01	1.20	10.14	909.49	0.42	2528.56
2.50	P-2O (FA)	0.02	0.07	140.00	0.01	0.01	44.00	11.00	0.11	174.00	0.01	0.65	1.00	0.02	0.05	115.00	38.28	0.13	419.00	0.01	110.00	1031.65	1.19	4.6	2090.81
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.11	268.00	0.01	0.01	40.00	26.00	0.30	139.00	0.01	0.08	1.10	0.01	0.01	99.00	4.29	0.10	364.00	0.02	126.00	-	-	18	1086.06
2.50	P-2C (FA)	0.41	0.04	253.00	0.02	0.02	40.00	0.13	0.04	141.00	0.01	1.37	1.60	0.02	0.06	164.00	43.56	0.20	728.00	0.01	26.00	-	-	1.5	1400.98
3.60	Z-5O (FA)	0.05	0.01	178.00	0.01	0.01	49.00	46.00	0.11	177.00	0.01	0.28	0.83	0.01	0.02	116.00	1.65	0.15	524.00	0.04	100.00	460.99	0.29	8.4	1662.85
3.60	Z-5E (FA)	0.02	0.04	118.00	0.02	0.02	61.00	7.00	0.12	178.00	0.01	50.13	0.42	0.01	0.10	120.00	6.86	0.16	79.00	20.00	139.00	705.05	0.26	27	1512.20
3.60	Z-5C (FA)	0.04	0.02	215.00	0.01	0.02	46.00	39.00	0.10	175.00	0.01	0.26	1.10	0.00	0.02	115.00	4.72	0.16	499.00	0.06	133.00	493.70	0.42	10	1732.64
3.70	Z-4O (FA)	0.03	0.05	171.00	0.01	0.01	45.00	39.00	0.36	171.00	0.01	0.40	0.69	0.00	0.02	116.00	7.36	0.14	509.00	0.01	119.00	605.48	0.58	7.7	1792.85
3.70	Z-4E (FA)	0.02	0.04	136.00	0.02	0.03	57.00	8.40	0.26	177.00	0.01	35.96	0.50	0.01	0.07	121.00	3.47	0.16	40.00	15.00	136.00	665.44	0.28	26	1422.67
3.70	Z-4C (FA)	0.01	0.07	216.00	0.01	0.01	38.00	21.00	0.34	162.00	0.01	2.08	0.86	0.01	0.03	120.00	8.91	0.15	346.00	0.14	110.00	553.38	0.26	23	1602.26
3.80	Z-3O (FA)	0.01	0.11	195.00	0.01	0.01	46.00	39.00	0.76	175.00	0.01	0.37	0.83	0.00	0.02	115.00	13.37	0.14	463.00	0.01	134.00	428.24	0.19	10	1621.07
3.80	Z-3E (FA)	0.01	0.05	135.00	0.01	0.02	44.00	8.50	0.39	158.00	0.01	30.22	0.49	0.01	0.08	119.00	4.13	0.16	81.00	8.70	116.00	593.09	0.19	23	1322.04
3.80	Z-3C (FA)	0.01	0.08	198.00	0.01	0.02	39.00	19.00	0.64	162.00	0.01	14.76	0.78	0.01	0.02	123.00	8.91	0.15	421.00	0.16	94.00	480.89	0.24	27	1589.68
3.90	Z-2O (FA)	0.07	0.12	202.00	0.01	0.01	46.00	37.00	0.90	174.00	0.01	0.68	0.89	0.00	0.01	118.00	18.32	0.16	449.00	0.01	140.00	454.02	0.48	12	1653.68
3.90	Z-2E (FA)	0.01	0.10	135.00	0.01	0.02	49.00	8.30	1.10	173.00	0.01	37.02	0.53	0.01	0.06	121.00	7.43	0.16	177.00	7.90	89.00	645.74	0.24	24	1476.62
3.90	Z-2C (FA)	0.01	0.11	159.00	0.01	0.02	44.00	14.00	0.91	166.00	0.01	25.90	0.62	0.01	0.04	120.00	10.16	0.20	365.00	0.21	84.00	480.83	0.27	29	1500.31
4.00	Z-1O (FA)	0.25	0.16	172.00	0.01	0.02	49.00	32.00	0.97	180.00	0.01	0.62	0.81	0.00	0.02	113.00	44.88	0.16	289.00	0.05	122.00	492.81	0.86	12	1510.63
4.00	Z-1E (FA)	0.01	0.83	144.00	0.01	0.32	42.00	16.00	5.60	165.00	0.01	14.64	0.80	0.01	0.06	113.00	12.54	0.16	145.00	1.90	80.00	612.68	0.28	19	1373.85
4.00	Z-1C (FA)	0.03	0.23	163.00	0.01	0.02	43.00	21.00	1.50	173.00	0.01	5.49	0.85	0.01	0.03	119.00	11.48	0.20	195.00	0.65	114.00	585.86	0.50	20	1454.86
4.20	P-1E (FA)	0.01	0.18	82.00	0.01	0.01	21.00	10.00	1.50	80.00	0.01	3.53	0.48	0.01	0.06	114.00	19.64	0.14	231.00	0.79	106.00	533.67	0.22	7.1	1211.35
4.20	P-1C (FA)	0.05	0.28	154.00	0.23	0.06	43.00	21.00	3.30	162.00	0.01	4.75	0.88	0.02	0.04	123.00	18.98	0.13	214.00	0.10	108.00	573.19	0.25	16	1443.26
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.47	19.00	0.01	0.04	117.00	15.00	6.30	235.00	0.01	332.39	0.09	0.01	0.24	352.00	1.72	0.25	21.00	15.00	177.00	1500.60	1.23	4.7	2799.05
1.85	P-4E (FC)	0.01	0.05	42.00	0.01	0.10	95.00	18.00	4.90	219.00	0.01	256.89	0.12	0.01	0.16	344.00	0.00	0.24	0.02	66.00	76.00	1160.49	0.49	8.9	2292.39
1.85	P-4C (FC)	0.01	0.13	31.00	0.01	0.10	96.00	18.00	4.70	31.00	0.01	292.75	0.09	0.01	0.18	331.00	0.00	0.22	0.08	55.00	116.00	1296.94	0.58	8.2	2282.00
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.21	25.00	0.01	0.34	99.00	15.00	5.70	230.00	0.01	423.26	0.09	0.01	0.13	380.00	0.00	0.27	0.08	77.00	2.60	1706.19	0.92	7.3	2973.13
2.50	P-3E (FC)	0.01	0.15	32.00	0.01	0.10	95.00	16.00	6.00	228.00	0.01	318.31	0.10	0.01	0.15	371.00	0.00	0.24	0.12	73.00	37.00	1365.11	0.66	9	2551.97
2.50	P-3C (FC)	0.01	0.15	25.00	0.01	0.11	100.00	16.00	5.30	233.00	0.01	369.55	0.09	0.01	0.17	361.00	0.00	0.23	0.10	79.00	2.90	1189.50	0.60	7.4	2390.14
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.67	36.00	0.01	0.03	35.00	8.10	42.00	126.00	0.01	187.72	0.15	0.04	0.12	217.00	0.00	0.20	0.07	0.06	1.60	-	-	2.3	657.09
3.50	P-2E (FC)	0.01	0.60	48.00	0.01	0.02	46.00	9.90	32.00	154.00	0.01	218.47	0.19	0.03	0.11	216.00	0.00	0.20	0.08	0.29	13.00	-	-	1.1	740.02
3.50	P-2C (FC)	0.01	0.66	33.00	0.01	0.02	48.00	9.50	40.00	152.00	0.01	197.89	0.16	0.01	0.11	217.00	0.00	0.19	0.05	0.11	5.00	-	-	1.5	705.23
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.56	21.00	0.01	0.05	73.00	12.00	9.60	155.00	0.01	277.53	0.11	0.00	0.26	241.00	0.00	0.20	0.05	16.00	0.06	992.29	0.39	9.4	1808.53
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.38	24.00	0.01	0.38	69.00	12.00	11.00	176.00	0.01	246.89	0.09	0.00	0.25	281.00	0.00	0.22	0.12	14.00	11.00	1137.95	0.37	10	1994.68
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.12	23.00	0.01	0.05	71.00	12.00	10.00	176.00	0.01	246.84	0.08	0.00	0.23	280.00	0.00	0.22	0.07	27.00	5.10	1160.68	0.40	9.9	2022.71

Tabela 5.3.2.5.14. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 5ª Campanha

Prof. m	30.03.2008	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe t mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	60.09
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.48	37.00	0.01	0.09	57.00	13.00	7.40	182.00	0.01	172.24	0.18	0.00	0.21	138.00	14.19	0.29	34.00	25.00	179.00	899.71	0.32	11	1771.14
0.80	P-5E (FA)	0.06	0.18	122.00	0.01	0.73	41.00	17.00	21.00	161.00	0.01	23.54	0.39	0.01	0.08	133.00	28.71	0.26	292.00	0.78	241.00	187.76	0.06	16	1286.57
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.06	106.00	0.01	0.70	53.00	23.00	20.00	174.00	0.01	120.95	0.42	0.01	0.10	130.00	46.86	0.27	24.00	0.42	660.00	568.21	0.15	11	1939.17
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.09	130.00	0.01	0.02	69.00	29.00	49.00	193.00	0.01	101.50	0.41	0.02	0.17	118.00	8.25	0.24	281.00	4.70	777.00	253.56	0.10	23	2038.09
1.50	P-4E (FA)	0.04	0.11	205.00	0.01	0.03	54.00	27.00	44.00	184.00	0.02	12.25	0.64	0.17	0.09	115.00	4.95	0.12	532.00	13.00	513.00	60.99	0.01	30	1796.43
1.50	P-4C (FA)	0.01	0.08	229.00	0.01	0.03	104.00	47.00	90.00	230.00	0.01	86.36	0.79	0.06	0.12	115.00	6.93	0.17	371.00	14.00	1310.00	75.62	0.01	34	2714.19
2.00	P-3O (FA)	1.40	0.07	430.00	0.01	0.01	53.00	0.70	0.01	221.00	0.01	0.00	1.40	0.00	0.29	152.00	6.60	0.22	709.00	0.02	41.00	5.76	297.17	2	1921.66
2.00	P-3E (FA)	0.46	0.05	247.00	0.01	0.02	39.00	2.50	0.04	163.00	0.01	0.00	1.10	0.00	0.27	143.00	3.56	0.19	499.00	0.02	53.00	9.55	553.30	4.4	1719.48
2.00	P-3C (FA)	1.00	0.11	498.00	0.01	0.01	55.00	0.10	0.01	186.00	0.01	0.00	1.70	0.00	0.27	135.00	8.91	0.21	743.00	0.01	50.00	72.34	664.02	1	2416.70
2.50	P-2O (FA)	1.20	0.18	333.00	0.01	0.16	57.00	45.00	1.40	182.00	0.01	0.41	1.80	0.01	0.00	109.00	8.68	0.19	565.00	0.05	171.00	1543.20	0.65	19	3038.95
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.14	409.00	0.01	0.01	42.00	41.00	0.50	162.00	0.01	0.28	1.50	0.00	0.04	103.00	2.97	0.20	410.00	0.22	104.00	1066.95	0.87	33	2377.70
2.50	P-2C (FA)	2.10	0.11	287.00	0.01	0.28	50.00	32.00	0.34	200.00	0.01	0.45	2.20	0.01	0.01	115.00	13.20	0.20	520.00	0.06	68.00	387.85	0.05	16	1694.87
3.60	Z-5O (FA)	0.01	0.06	340.00	0.01	0.01	41.00	36.00	0.07	144.00	0.01	1.12	1.30	0.00	0.13	121.00	1.19	0.25	603.00	1.50	150.00	758.10	0.37	25	2224.12
3.60	Z-5E (FA)	0.01	0.04	239.00	0.01	0.01	36.00	28.00	0.16	179.00	0.01	0.93	0.81	0.01	0.07	132.00	5.71	0.18	323.00	8.30	137.00	726.78	0.17	38	1855.18
3.60	Z-5C (FA)	0.01	0.07	304.00	0.01	0.01	43.00	62.00	0.10	175.00	0.01	0.08	1.60	0.00	0.03	103.00	1.12	0.14	470.00	0.01	188.00	-	-	16	1364.18
3.70	Z-4O (FA)	0.01	0.08	305.00	0.01	0.01	38.00	33.00	0.27	153.00	0.01	19.26	1.30	0.00	0.05	122.00	2.74	0.24	490.00	0.16	128.00	945.86	0.43	21	2260.42
3.70	Z-4E (FA)	0.01	0.06	250.00	0.01	0.01	37.00	31.00	0.20	164.00	0.01	0.86	0.91	0.01	0.03	130.00	12.71	0.18	284.00	4.20	136.00	819.43	0.20	36	1906.82
3.70	Z-4C (FA)	0.01	0.08	305.00	0.01	0.01	36.00	46.00	0.13	157.00	0.01	0.27	1.30	0.00	0.07	110.00	2.57	0.15	461.00	0.04	148.00	880.07	0.38	20	2168.11
3.80	Z-3O (FA)	0.01	0.10	257.00	0.01	0.02	37.00	27.00	0.66	154.00	0.01	41.70	1.10	0.00	0.03	121.00	5.61	0.25	349.00	0.03	111.00	996.94	0.50	19	2121.97
3.80	Z-3E (FA)	0.01	0.10	287.00	0.01	0.02	41.00	37.00	0.35	169.00	0.01	0.55	1.10	0.01	0.04	127.00	16.34	0.18	281.00	2.20	128.00	904.67	0.28	37	2032.86
3.80	Z-3C (FA)	0.01	0.09	301.00	0.01	0.01	36.00	47.00	0.23	156.00	0.01	0.65	1.40	0.00	0.10	107.00	1.75	0.18	464.00	0.03	151.00	921.40	0.45	18	2206.31
3.90	Z-2O (FA)	0.01	0.22	221.00	0.01	0.09	39.00	24.00	1.70	160.00	0.01	52.55	1.00	0.00	0.04	120.00	6.44	0.14	251.00	0.12	95.00	1047.94	0.62	16	2036.89
3.90	Z-2E (FA)	0.01	0.34	290.00	0.01	0.06	38.00	34.00	1.80	156.00	0.01	0.48	1.10	0.04	0.04	120.00	22.44	0.23	196.00	1.10	125.00	1024.12	0.33	31	2042.10
3.90	Z-2C (FA)	0.01	0.12	297.00	0.01	0.01	35.00	44.00	0.52	154.00	0.01	1.43	1.40	0.00	0.06	106.00	4.62	0.15	415.00	0.10	130.00	1462.66	0.66	20	2672.75
4.00	Z-1O (FA)	0.01	0.94	251.00	0.01	0.24	45.00	32.00	4.30	173.00	0.01	30.79	1.40	0.00	0.18	100.00	10.99	0.14	206.00	0.02	108.00	1118.76	0.59	18	2101.38
4.00	Z-1E (FA)	0.01	2.00	270.00	0.01	0.24	42.00	35.00	8.30	171.00	0.01	3.47	1.40	0.00	0.10	114.00	7.43	0.23	133.00	0.94	134.00	1082.79	0.28	23	2029.21
4.00	Z-1C (FA)	0.01	0.39	308.00	0.01	0.02	43.00	40.00	2.20	178.00	0.01	6.81	1.50	0.00	0.07	101.00	4.72	0.22	356.00	0.33	136.00	933.67	0.42	20	2132.37
4.20	P-1E (FA)	0.01	0.72	280.00	0.01	0.03	46.00	41.00	4.00	181.00	0.01	9.38	1.50	0.00	0.13	106.00	7.52	0.14	286.00	0.02	137.00	1087.33	0.45	20	2208.24
4.20	P-1C (FA)	0.01	0.81	296.00	0.01	0.02	49.00	44.00	4.30	191.00	0.01	8.73	1.50	0.00	0.08	109.00	7.26	0.14	287.00	0.02	143.00	1082.42	0.46	20	2244.78
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.42	17.00	0.01	0.98	92.00	13.00	8.30	191.00	0.01	307.96	0.08	0.00	0.22	240.00	0.00	0.22	0.02	59.00	3.60	1613.62	0.81	9	2557.27
1.85	P-4E (FC)	0.01	0.06	30.00	0.01	0.10	104.00	18.00	3.70	239.00	0.01	190.08	0.10	0.01	0.69	319.00	0.00	0.24	15.00	85.00	89.00	1133.61	0.49	12	2240.10
1.85	P-4C (FC)	0.01	0.21	27.00	0.01	1.80	104.00	17.00	3.60	206.00	0.01	333.80	0.09	0.01	0.43	270.00	0.00	0.54	0.02	115.00	0.07	1738.09	0.80	9.3	2827.79
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.18	25.00	0.01	0.56	106.00	16.00	5.10	236.00	0.01	372.53	0.09	0.01	0.35	333.00	0.00	0.26	0.05	118.00	4.60	1467.66	0.60	6.2	2692.22
2.50	P-3E (FC)	0.01	0.09	27.00	0.01	0.17	86.00	14.00	6.30	206.00	0.01	257.05	0.09	0.00	0.46	288.00	0.00	0.26	0.23	111.00	4.00	1163.02	0.43	10	2174.12
2.50	P-3C (FC)	0.01	0.10	23.00	0.01	0.42	97.00	15.00	5.10	214.00	0.01	346.76	0.08	0.00	0.31	288.00	0.00	0.37	0.21	128.00	4.40	1579.74	0.68	8	2711.20
3.50	P-2O (FC)	0.03	0.52	21.00	0.01	0.18	72.00	11.00	23.00	195.00	0.01	280.01	0.11	0.00	0.19	257.00	0.00	0.26	0.05	0.46	1.30	1106.82	0.46	5.3	1974.71
3.50	P-2E (FC)	0.14	0.78	27.00	0.01	0.30	67.00	11.00	30.00	200.00	0.01	235.20	0.14	0.00	0.14	265.00	0.00	0.27	0.07	3.10	2.40	1255.67	0.46	3.6	2102.29
3.50	P-2C (FC)	0.01	0.87	21.00	0.01	0.03	70.00	11.00	29.00	190.00	0.01	240.94	0.12	0.00	0.15	261.00	0.00	0.31	0.08	0.61	0.88	965.05	0.59	3.8	1795.46
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.08	20.00	0.01	0.15	90.00	13.00	6.30	199.00	0.01	299.55	0.07	0.00	0.29	265.00	0.00	0.31	0.01	59.00	0.32	2438.31	0.83	12	3404.26
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.11	27.00	0.01	0.12	80.00	12.00	8.10	185.00	0.01	228.92	0.10	0.00	0.25	240.00	0.00	0.27	0.32	42.00	0.59	1346.03	0.42	13	2184.26
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.06	24.00	0.01	0.13	83.00	12.00	6.46	186.00	0.01	248.24	0.08	0.00	0.22	252.00	0.00	0.28	0.02	62.00	0.77	1399.69	0.43	11	2286.40

Tabela 5.3.2.5.15. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 6ª Campanha

Prof. m	01.06.2008	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fet	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻		
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	60.09
	MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09	
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.52	43.00	0.01	0.16	42.00	9.80	6.20	154.00	0.01	161.70	0.20	0.05	0.15	136.00	0.00	0.20	0.35	36.00	192.00	763.90	0.38	12	1558.63
0.80	P-5E (FA)	0.01	0.11	121.00	0.01	0.08	34.00	13.00	16.00	156.00	0.03	9.98	0.33	0.01	0.07	130.00	7.03	0.19	543.00	14.00	210.00	89.68	0.02	18	1362.55
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.06	60.00	0.01	0.18	30.00	10.00	9.10	155.00	0.01	119.64	0.21	0.01	0.13	137.00	0.79	0.22	17.00	3.70	438.00	439.97	0.13	12	1433.17
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.10	108.00	0.01	0.08	51.00	22.00	32.00	184.00	0.02	27.48	0.36	0.03	0.05	127.00	7.10	0.23	734.00	9.40	225.00	64.06	0.00	31	1622.93
1.50	P-4E (FA)	0.01	0.10	103.00	0.01	0.03	34.00	9.60	18.00	175.00	0.01	0.41	0.34	0.04	0.06	115.00	7.16	0.19	486.00	10.00	243.00	44.71	0.00	25	1271.66
1.50	P-4C (FA)	0.04	0.08	97.00	0.01	0.04	52.00	17.00	37.00	167.00	0.01	28.77	0.34	0.03	0.07	132.00	14.52	0.19	670.00	13.00	251.00	64.69	0.00	32	1576.78
2.00	P-3O (FA)	1.70	0.07	345.00	0.01	0.01	41.00	0.02	0.01	173.00	0.01	0.00	1.10	0.00	0.27	167.00	8.35	0.29	692.00	0.06	47.00	1.13	369.22	1.7	1848.94
2.00	P-3E (FA)	0.52	0.02	129.00	0.01	0.02	30.00	6.20	0.01	166.00	0.01	0.00	0.67	0.00	0.27	153.00	5.18	0.23	450.00	0.06	123.00	1.36	127.42	6.1	1199.06
2.00	P-3C (FA)	3.10	0.04	276.00	0.01	0.01	40.00	0.10	0.01	171.00	0.01	0.00	0.93	0.00	0.23	177.00	1.72	0.26	677.00	0.06	103.00	1.11	207.49	3.1	1662.17
2.50	P-2O (FA)	0.01	0.12	288.00	0.01	0.01	40.00	32.00	1.20	170.00	0.01	0.08	1.30	0.00	0.06	125.00	5.18	0.21	540.00	0.05	152.00	716.41	0.60	24	2096.24
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.09	340.00	0.01	0.01	27.00	30.00	0.19	160.00	0.01	0.34	1.30	0.00	0.01	110.00	0.00	0.23	443.00	0.14	153.00	1016.63	0.89	34	2316.86
2.50	P-2C (FA)	0.05	0.09	294.00	0.01	0.02	42.00	37.00	0.27	180.00	0.01	0.08	1.70	0.00	0.11	121.00	10.66	0.19	497.00	0.08	135.00	906.25	0.85	14	2240.37
3.60	Z-5O (FA)	0.01	0.05	282.00	0.01	0.01	71.00	22.00	0.04	162.00	0.01	2.18	1.10	0.00	0.16	136.00	4.88	0.17	421.00	3.20	138.00	694.05	0.34	42	1980.22
3.60	Z-5E (FA)	0.01	0.03	216.00	0.01	0.01	31.00	19.00	0.10	164.00	0.01	0.27	0.63	0.00	0.25	141.00	3.86	0.25	420.00	9.40	81.00	501.76	0.19	43	1631.77
3.60	Z-5C (FA)	0.01	0.07	218.00	0.01	0.01	34.00	40.00	0.01	182.00	0.01	0.32	1.50	0.00	0.10	118.00	1.16	0.17	518.00	0.04	161.00	745.37	0.47	21	2041.23
3.70	Z-4O (FA)	0.01	0.06	287.00	0.01	0.01	37.00	23.00	0.06	168.00	0.01	0.50	1.20	0.00	0.04	134.00	9.67	0.17	375.00	0.13	135.00	714.70	0.34	41	1926.90
3.70	Z-4E (FA)	0.01	0.03	237.00	0.01	0.01	31.00	21.00	0.08	166.00	0.01	0.30	0.71	0.00	0.22	136.00	10.73	0.24	394.00	4.80	91.00	591.13	0.21	42	1726.49
3.70	Z-4C (FA)	0.01	0.05	190.00	0.01	0.01	28.00	31.00	0.01	169.00	0.01	0.40	1.10	0.00	0.06	125.00	11.78	0.19	473.00	0.12	141.00	755.84	0.40	30	1956.98
3.80	Z-3O (FA)	0.01	0.06	273.00	0.01	0.08	32.00	21.00	0.12	158.00	0.01	1.64	1.20	0.00	0.10	130.00	13.20	0.18	369.00	1.20	150.00	742.08	0.40	35	1928.29
3.80	Z-3E (FA)	0.01	0.04	236.00	0.01	0.01	29.00	20.00	0.08	158.00	0.01	0.31	0.71	0.00	0.20	130.00	10.89	0.20	356.00	7.30	98.00	670.12	0.27	39	1756.15
3.80	Z-3C (FA)	0.01	0.07	298.00	0.01	0.01	27.00	31.00	0.09	169.00	0.01	0.50	1.30	0.00	0.08	120.00	9.01	0.17	489.00	0.25	148.00	772.94	0.45	26	2092.89
3.90	Z-2O (FA)	0.01	0.15	288.00	0.01	0.73	41.00	23.00	0.94	174.00	0.11	9.87	1.40	0.01	0.07	117.00	11.39	0.16	401.00	0.76	161.00	848.56	0.47	32	2111.64
3.90	Z-2E (FA)	0.01	0.05	240.00	0.01	0.02	29.00	19.00	0.21	153.00	0.02	0.50	0.71	0.00	0.15	122.00	19.80	0.19	270.00	7.20	102.00	762.94	0.29	35	1762.09
3.90	Z-2C (FA)	0.01	0.06	292.00	0.01	0.01	27.00	27.00	0.10	168.00	0.01	0.50	1.20	0.00	0.11	115.00	15.68	0.20	424.00	1.30	139.00	832.94	0.41	30	2074.53
4.00	Z-1O (FA)	0.01	0.61	235.00	0.01	0.16	38.00	19.00	3.90	175.00	0.01	16.40	1.20	0.00	0.06	111.00	9.01	0.18	229.00	0.20	118.00	879.36	0.55	28	1864.65
4.00	Z-1E (FA)	0.01	0.18	190.00	0.01	0.24	27.00	15.00	1.70	152.00	0.01	5.20	0.62	0.00	0.08	111.00	8.75	0.28	58.00	8.70	67.00	828.14	0.36	33	1507.28
4.00	Z-1C (FA)	0.01	0.14	312.00	0.01	0.02	28.00	22.00	0.71	168.00	0.01	10.52	1.20	0.00	0.06	103.00	14.52	0.23	332.00	0.57	142.00	968.80	0.54	28	2132.33
4.00	Z-0 (FA)	0.01	0.24	268	0.01	0.0716	32	23	1.3	165	0.005	4.94	1.1	0.002	0.041	114	9.90	0.15	315	1.4	116	-	-	33	1085.17
4.20	P-1E (FA)	0.01	0.55	270.00	0.01	0.05	35.00	26.00	2.80	173.00	0.01	4.17	1.20	0.00	0.06	109.00	1.35	0.21	315.00	1.00	139.00	846.02	0.41	29	1953.86
4.20	P-1C (FA)	0.01	0.62	255.00	0.01	0.02	32.00	24.00	2.80	161.00	0.01	4.23	1.20	0.00	0.02	109.00	19.80	0.20	324.00	0.32	138.00	853.91	0.45	27	1953.60
1.85	P-4O (FC)	0.02	0.10	17.00	0.01	0.45	83.00	11.00	4.40	186.00	0.01	268.59	0.06	0.00	0.21	297.00	0.00	0.28	0.03	90.00	0.97	1377.40	1.08	7.3	2344.91
1.85	P-4E (FC)	0.05	0.08	27.00	0.01	0.24	111.00	13.00	1.20	217.00	0.01	361.95	0.10	0.01	0.09	339.00	0.00	2.00	0.04	125.00	2.80	1404.41	1.10	5.9	2612.00
1.85	P-4C (FC)	0.02	0.09	22.00	0.01	0.60	94.00	14.00	1.70	206.00	0.01	351.94	0.08	0.00	0.17	338.00	0.00	0.32	0.04	109.00	1.50	1410.34	1.03	7.8	2558.65
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.16	20.00	0.01	0.60	90.00	12.00	3.40	214.00	0.01	377.82	0.07	0.00	0.11	359.00	0.00	0.33	0.45	104.00	4.90	1508.94	1.00	6.2	2703.01
2.50	P-3E (FC)	0.01	0.16	25.00	0.01	0.85	92.00	14.00	3.50	224.00	0.01	333.43	0.09	0.00	0.14	389.00	0.00	0.36	0.54	111.00	6.70	1271.24	0.70	7.2	2479.95
2.50	P-3C (FC)	0.02	0.16	21.00	0.01	0.98	91.00	13.00	3.30	212.00	0.01	378.08	0.07	0.00	0.12	346.00	0.00	0.32	0.06	110.00	4.30	1438.36	0.87	6.7	2626.35
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.33	18.00	0.01	0.17	83.00	12.00	15.00	205.00	0.01	308.23	0.01	0.00	0.25	331.00	0.00	0.36	0.03	0.88	0.32	1331.13	0.57	6	2312.30
3.50	P-2E (FC)	0.11	0.70	23.00	0.01	0.44	84.00	13.00	22.00	202.00	0.01	250.38	0.10	0.00	0.39	369.00	0.00	0.32	0.04	72.00	0.30	1472.28	0.66	5.5	2516.23
3.50	P-2C (FC)	0.01	0.81	18.00	0.01	0.10	78.00	11.00	22.00	195.00	0.01	292.85	0.10	0.00	0.21	328.00	0.00	0.36	0.08	5.00	1.20	1312.77	0.55	5.3	2271.36
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.07	24.00	0.01	0.16	93.00	12.00	3.30	209.00	0.01	372.57	0.08	0.00	0.37	364.00	0.00	0.33	0.05	70.00	0.33	1577.87	0.63	8.9	2736.69
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.08	19.00	0.01	0.41	68.00	9.50	2.70	167.00	0.01	318.58	0.07	0.00	0.31	338.00	0.00	0.29	0.18	60.00	0.62	1334.55	0.55	7.8	2327.66
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.09	25.00	0.01	0.47	91.00	12.00	3.40	212.00	0.01	365.85	0.09	0.00	0.30	351.00	0.00	0.31	0.11	75.00	0.32	1411.08	0.66	9	2557.71

Tabela 5.3.2.5.16. Composição química das amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 7ª Campanha

Prof. m	10.09.2008	CATIONS												ANIONS										SiO ₂ mg/L	TDS mg/L
		Al ³⁺ mg/L	Ba ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Fe ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	Ni ²⁺ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Sr ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	CO ₃ ²⁻ mg/L		
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00	60.09
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00	60.09
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.25	44.00	0.10	0.07	40.00	10.00	7.90	218.00	0.01	137.22	0.20	0.01	0.16	111.00	5.10	0.11	178.00	3.20	382.00	563.61	0.31	14	1715.26
0.80	P-5E (FA)	0.01	0.12	132.00	0.01	0.03	39.00	13.00	22.00	187.00	0.01	2.04	0.36	0.01	0.07	120.00	2.00	0.15	446.00	5.30	259.00	100.59	0.01	28	1356.71
0.80	P-5C (FA)	0.01	0.09	62.00	0.01	0.17	36.00	12.00	12.00	211.00	0.01	65.37	0.22	0.01	0.10	114.00	17.00	0.14	390.00	3.90	316.00	208.30	0.06	27	1475.37
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.10	95.00	0.01	0.03	42.00	18.00	26.00	179.00	0.01	12.43	0.32	0.05	0.06	124.00	2.00	0.15	457.00	5.10	265.00	53.44	0.00	43	1322.70
1.50	P-4E (FA)	0.01	0.14	143.00	0.01	0.03	38.00	16.00	21.00	166.00	0.01	0.34	0.48	0.12	0.08	114.00	0.16	0.13	522.00	3.20	201.00	34.40	0.00	38	1298.10
1.50	P-4C (FA)	0.01	0.07	98.00	0.01	0.03	45.00	19.00	30.00	186.00	0.01	15.60	0.35	0.05	0.25	115.00	2.40	0.14	499.00	4.40	214.00	47.21	0.01	44	1320.53
2.00	P-3O (FA)	1.30	0.07	342.00	0.01	0.01	37.00	0.09	0.01	167.00	0.01	0.01	1.70	0.00	0.31	122.00	0.44	0.15	489.00	2.50	240.00	22.40	340.52	3.1	1769.62
2.00	P-3E (FA)	0.49	0.02	135.00	0.01	0.01	35.00	16.00	0.06	161.00	0.01	0.00	0.92	0.01	0.12	124.00	1.90	0.14	523.00	0.06	140.00	1.25	32.24	12	1183.23
2.00	P-3C (FA)	0.09	0.05	276.00	0.01	0.01	40.00	0.42	0.01	161.00	0.01	0.00	1.40	0.00	0.12	130.00	7.40	0.35	585.00	0.01	150.00	3.06	107.71	7.6	1470.23
2.50	P-2O (FA)	0.01	0.11	275.00	0.01	0.02	35.00	29.00	1.30	169.00	0.01	0.69	1.20	0.00	0.01	106.00	2.70	0.13	421.00	0.12	145.00	572.66	0.38	39	1798.35
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.10	376.00	0.01	0.02	31.00	33.00	0.37	164.00	0.01	0.65	1.40	0.00	0.04	118.00	1.00	0.15	421.00	0.02	138.00	885.96	0.74	51	2222.47
2.50	P-2C (FA)	0.01	0.09	352.00	0.01	0.01	43.00	52.00	0.38	186.00	0.01	0.08	1.90	0.00	0.01	115.00	9.00	0.14	485.00	0.01	159.00	541.56	0.43	21	1966.63
3.60	Z-5O (FA)	0.01	0.03	217.00	0.01	0.01	35.00	16.00	0.22	186.00	0.01	0.81	0.66	0.00	0.32	115.00	2.30	0.06	507.00	0.01	180.00	429.06	0.11	39	1728.62
3.60	Z-5E (FA)	0.01	0.05	276.00	0.01	0.01	35.00	22.00	0.07	169.00	0.01	0.26	0.96	0.00	0.17	121.00	11.00	0.14	395.00	0.15	171.00	634.13	0.29	48	1884.26
3.60	Z-5C (FA)	0.01	0.05	254.00	0.01	0.02	37.00	19.00	0.26	179.00	0.01	0.36	0.80	0.01	0.18	113.00	6.20	0.13	443.00	0.01	178.00	500.67	0.19	53	1784.90
3.70	Z-4O (FA)	0.01	0.03	208.00	0.01	0.01	35.00	14.00	0.35	186.00	0.01	0.28	0.64	0.00	0.21	114.00	8.10	0.10	440.00	0.01	182.00	458.48	0.13	38	1685.36
3.70	Z-4E (FA)	0.01	0.06	265.00	0.01	0.01	35.00	21.00	0.11	170.00	0.01	0.08	0.88	0.01	0.13	121.00	12.00	0.10	383.00	0.07	169.00	611.95	0.23	49	1838.65
3.70	Z-4C (FA)	0.01	0.06	248.00	0.01	0.01	36.00	19.00	0.20	180.00	0.01	0.08	0.79	0.01	0.10	114.00	11.00	0.14	367.00	0.01	173.00	544.59	0.22	53	1747.22
3.80	Z-3O (FA)	0.01	0.04	230.00	0.01	0.01	31.00	15.00	0.70	179.00	0.01	0.30	0.68	0.00	0.14	112.00	10.00	0.14	378.00	0.01	184.00	477.20	0.13	55	1673.38
3.80	Z-3E (FA)	0.01	0.06	265.00	0.01	0.01	35.00	21.00	0.14	167.00	0.01	0.08	0.86	0.01	0.09	119.00	11.00	0.10	347.00	0.04	161.00	640.37	0.25	49	1817.03
3.80	Z-3C (FA)	0.01	0.06	243.00	0.01	0.01	34.00	18.00	0.36	174.00	0.01	0.28	0.75	0.00	0.07	116.00	9.10	0.10	331.00	0.45	182.00	586.46	0.23	52	1747.90
3.90	Z-2O (FA)	0.01	0.10	227.00	0.01	0.02	31.00	15.00	1.30	174.00	0.01	0.32	0.71	0.01	0.07	114.00	10.00	0.14	301.00	0.01	171.00	520.49	0.16	53	1619.35
3.90	Z-2E (FA)	0.01	0.10	263.00	0.01	0.07	33.00	21.00	0.51	161.00	0.01	0.68	0.90	0.01	0.06	110.00	9.30	0.13	215.00	0.05	137.00	736.18	0.31	47	1735.31
3.90	Z-2C (FA)	0.01	0.07	260.00	0.01	0.01	35.00	20.00	0.34	170.00	0.01	0.28	0.78	0.01	0.08	120.00	7.60	0.14	368.00	0.10	172.00	612.69	0.23	49	1816.36
4.00	Z-1O (FA)	0.01	0.29	219.00	0.01	0.04	31.00	15.00	3.50	167.00	0.01	0.53	0.85	0.01	0.05	114.00	7.60	0.11	224.00	0.01	149.00	563.86	0.19	46	1542.06
4.00	Z-1E (FA)	0.01	0.80	247.00	0.01	0.38	32.00	21.00	4.10	153.00	0.01	2.07	0.95	0.01	0.04	108.00	3.10	0.13	56.00	0.21	78.00	897.24	0.36	42	1646.42
4.00	Z-1C (FA)	0.01	0.20	262.00	0.01	0.04	31.00	20.00	1.50	162.00	0.01	0.08	0.90	0.01	0.07	122.00	5.40	0.14	313.00	0.03	153.00	637.95	0.26	43	1752.61
4.05	Z-0 (FA)	0.01	0.43	200	0.01	0.0887	36	14	2.9	171	0.005	0.80	0.78	0.0048	0.082	118	7.3	0.14	234	0.01	154	621.43	0.2554	33	1594.24
4.20	P-1E (FA)	0.01	0.56	225.00	0.01	0.08	33.00	19.00	3.60	160.00	0.01	0.51	0.94	0.01	0.02	107.00	0.17	0.08	244.00	1.60	127.00	581.86	0.19	43	1547.65
4.20	P-1C (FA)	0.01	0.48	223.00	0.01	0.07	33.00	19.00	3.10	165.00	0.01	0.40	0.92	0.01	0.06	111.00	0.31	0.09	239.00	0.98	134.00	553.23	0.19	44	1527.85
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.30	18.00	0.01	1.40	91.00	12.00	3.60	190.00	0.01	455.33	0.08	0.01	0.24	319.00	0.01	0.24	0.02	57.00	1.00	1723.91	1.34	9.4	2883.91
1.85	P-4E (FC)	0.05	0.12	19.00	0.01	0.44	84.00	12.00	1.80	190.00	0.01	444.41	0.09	0.02	0.13	316.00	0.02	0.24	0.03	44.00	22.00	1054.82	0.70	8.2	2198.08
1.85	P-4C (FC)	0.01	0.11	26.00	0.01	0.43	97.00	15.00	2.00	198.00	0.01	508.95	0.09	0.01	0.26	338.00	0.01	0.26	0.02	47.00	0.23	2035.45	1.18	10	3280.03
2.50	P-3O (FC)	0.05	0.33	17.00	0.01	1.10	85.00	12.00	2.70	189.00	0.01	441.45	0.08	0.02	0.09	314.00	0.01	0.18	0.14	71.00	2.10	1640.71	0.81	7.8	2785.60
2.50	P-3E (FC)	0.02	0.20	20.00	0.01	1.30	85.00	11.00	3.30	190.00	0.01	460.32	0.08	0.02	0.18	318.00	0.01	0.24	0.01	64.00	1.00	1730.03	0.98	9.8	2895.50
2.50	P-3C (FC)	0.02	0.25	19.00	0.01	1.40	86.00	12.00	2.90	193.00	0.01	437.31	0.07	0.01	0.13	315.00	0.01	0.18	0.01	68.00	0.90	1723.47	0.95	8.4	2869.03
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.29	18.00	0.01	0.16	83.00	14.00	10.00	185.00	0.01	428.58	0.08	0.01	0.25	319.00	0.01	0.26	0.04	0.47	0.10	1641.53	0.41	7.3	2708.52
3.50	P-2E (FC)	0.01	0.39	21.00	0.01	0.17	87.00	16.00	16.00	190.00	0.01	424.02	0.10	0.01	0.24	320.00	0.01	0.25	0.03	0.01	0.50	1689.81	0.66	7.8	2774.02
3.50	P-2C (FC)	0.01	0.64	19.00	0.01	0.21	90.00	16.00	15.00	195.00	0.01	396.98	0.11	0.00	0.22	309.00	0.01	0.20	0.01	0.79	0.35	1641.03	0.66	7.7	2692.93
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.06	19.00	0.01	0.34	88.00	11.00	2.50	186.00	0.01	434.09	0.07	0.03	0.32	285.00	0.01	0.22	0.01	44.00	0.68	1671.74	0.72	12	2755.81
4.50	P-1E (FC)	0.01	0.05	20.00	0.01	0.29	86.00	9.80	2.10	184.00	0.01	460.96	0.08	0.01	0.00	1.20	0.01	0.04	0.05	0.02	0.19	1706.50	0.77	11	2483.10
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.06	20.00	0.01	0.33	89.00	12.00	2.30	191.00	0.01	445.72	0.08	0.01	0.38	290.00	0.01	0.23	0.14	47.00	0.24	1706.62	0.71	11	2816.84

Tabela 5.3.2.5.17. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - Campanha inicial.

Prof. m	19.06.2007	CÁTIONS														ÂNIONS										Σ Cátions	Σ Ânions	Erro (%)	TDS* mg/L	CE Σcátions*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻								
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00							
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00							
0.80	P-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.80	P-5E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.80	P-5C (FA)	0.04	0.00	1.96	0.00	0.01	0.06	0.40	0.02	0.75	0.00	-	0.00	0.00	0.01	0.61	0.02	0.00	0.66	0.00	0.23	1.45	0.00	-	3.25	2.99	4.21	228.61	324.85	280	
1.50	P-4O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.50	P-4E (FA)	0.03	0.00	0.53	0.00	0.00	0.08	0.22	0.02	0.89	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.84	0.00	0.05	0.06	0.00	-	1.77	1.65	3.67	120.75	177.45	210	
1.50	P-4C (FA)	0.02	0.00	0.58	0.00	0.00	0.06	0.22	0.03	0.65	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.77	0.00	0.04	0.07	0.00	-	1.56	1.46	3.37	107.12	156.28	210	
2.00	P-3O (FA)	0.04	0.00	31.57	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.90	0.00	-	0.28	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.10	32.78	-	32.91	33.66	-1.12	1703.43	3291.25	7580	
2.00	P-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.00	P-3C (FA)	0.05	0.00	24.44	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.62	0.00	-	0.20	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.48	0.00	0.01	0.11	31.43	-	25.38	32.22	-11.88	1502.57	2537.97	7430	
2.50	P-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.50	P-2E (FA)	0.01	0.00	0.53	0.00	0.00	0.07	0.15	0.04	0.35	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.28	0.00	0.24	0.13	0.00	-	1.17	1.09	3.58	77.35	116.90	140	
2.50	P-2C (FA)	0.03	0.00	0.26	0.00	0.00	0.04	0.05	0.01	0.21	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.07	0.00	0.11	0.12	0.00	-	0.60	0.54	5.65	37.98	59.94	90	
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.60	Z-5E (FA)	0.27	0.00	13.63	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	1.13	0.00	-	0.06	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.88	0.00	0.05	0.08	11.32	-	15.13	12.89	7.98	726.89	1512.82	2600	
3.60	Z-5C (FA)	0.19	0.00	12.86	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	1.14	0.00	-	0.04	0.00	0.00	0.57	0.25	0.00	0.61	0.00	0.07	0.20	9.98	-	14.30	11.68	10.10	673.82	1430.18	1700	
3.70	Z-4O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.70	Z-4E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.70	Z-4C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.80	Z-3O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.80	Z-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.80	Z-3C (FA)	0.02	0.00	12.62	0.00	0.00	0.10	0.04	0.00	1.36	0.00	-	0.09	0.00	0.00	0.59	0.09	0.00	0.75	0.00	0.07	0.42	9.54	-	14.24	11.46	10.81	680.10	1424.18	1380	
3.90	Z-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.90	Z-2E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.90	Z-2C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.00	Z-1O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.00	Z-1E (FA)	0.05	0.00	2.12	0.00	0.02	0.26	0.55	0.15	0.56	0.00	-	0.02	0.00	0.04	0.50	0.05	0.00	0.27	0.00	0.18	2.90	0.00	-	3.73	3.94	-2.76	301.76	373.27	450	
4.00	Z-1C (FA)	0.02	0.01	8.84	0.00	0.00	0.19	0.40	0.12	1.35	0.00	-	0.10	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	6.54	0.13	-	11.03	7.34	20.05	656.36	1102.76	940	
4.20	P-1E (FA)	0.05	0.01	1.53	0.00	0.02	0.43	0.64	0.38	0.51	0.00	-	0.01	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	3.12	0.00	-	3.58	4.32	-9.42	318.02	357.83	500	
4.20	P-1C (FA)	0.03	0.02	3.65	0.00	0.07	0.64	1.50	0.93	0.54	0.00	-	0.01	0.00	0.00	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	4.86	0.00	-	7.39	6.59	5.71	524.21	738.79	670	
1.85	P-4O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.85	P-4E (FC)	0.02	0.00	0.61	0.00	0.00	0.08	0.20	0.02	1.27	0.00	-	0.00	0.00	0.01	1.17	0.00	0.00	0.85	0.00	0.12	0.17	0.00	-	2.21	2.32	-2.38	158.43	220.82	260	
1.85	P-4C (FC)	0.02	0.00	0.90	0.00	0.00	0.07	0.26	0.02	0.86	0.00	-	0.00	0.00	0.01	0.99	0.00	0.00	0.57	0.00	0.13	0.70	0.00	-	2.14	2.40	-5.74	164.74	214.36	230	
2.50	P-3O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.50	P-3E (FC)	0.02	0.00	0.60	0.00	0.00	0.07	0.22	0.02	1.07	0.00	-	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.07	0.20	0.00	-	2.00	1.93	1.86	134.78	200.33	350	
2.50	P-3C (FC)	0.02	0.00	0.57	0.00	0.00	0.07	0.25	0.02	0.79	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00	0.00	0.57	0.00	0.07	0.18	0.00	-	1.73	1.69	1.04	116.86	172.52	210	
3.50	P-2O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.50	P-2E (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.50	P-2C (FC)	0.04	0.00	0.32	0.00	0.00	0.06	0.08	0.06	0.24	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.02	0.00	0.13	0.35	0.00	-	0.81	0.76	3.16	55.52	80.62	90	
4.50	P-1O (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.50	P-1E (FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.50	P-1C (FC)	0.01	0.00	4.26	0.00	0.00	0.06	0.61	0.01	0.67	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.66	0.00	0.30	3.78	0.00	-	5.62	5.68	-0.53	429.96	561.67	570	

* sem adição de sílica

Tabela 5.3.2.5.18. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 1ª Campanha.

Prof. m	01.08.2007	CATIONS														ANIONS										Σ Cations	Σ Anions	Erro (%)	SiO ₂	TDS	CE Σ cations*100 μS/cm	CE campo μS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻									
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00								
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00								
0.80	P-5O (FA)	0.01	0.01	1.03	0.00	0.04	0.86	0.46	0.67	3.23	0.00	6.28	0.00	0.00	0.02	1.94	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	8.78	0.02	12.60	10.83	7.56	0.17	887.14	1260.39	1410.0		
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.00	0.82	0.00	0.00	0.76	0.28	0.21	2.97	0.00	4.52	0.00	0.00	0.04	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	5.92	10.51	0.09	9.56	19.50	-34.19	0.15	1247.91	956.07	1830.0		
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.01	1.14	0.00	0.00	0.86	0.68	0.69	5.57	0.00	5.57	0.00	0.00	0.00	2.59	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	8.38	0.02	14.54	11.01	13.81	0.12	925.09	1453.70	1510.0		
1.50	P-4O (FA)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.73	0.52	1.29	5.66	0.00	4.84	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	0.00	0.01	0.00	0.82	6.19	0.01	14.31	9.51	20.17	0.11	825.60	1430.84	1420.0		
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	1.18	0.00	0.00	0.46	0.35	0.53	3.99	0.00	2.89	0.00	0.00	0.01	2.21	0.08	0.00	1.31	0.01	1.68	12.58	0.02	9.41	17.90	-31.09	0.17	1227.87	941.00	1420.0		
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.60	0.35	0.76	9.80	0.00	1.88	0.00	0.00	0.01	2.65	0.05	0.00	2.27	0.00	4.38	2.00	0.00	14.28	11.36	11.40	0.15	904.54	1428.47	2320.0		
2.00	P-3O (FA)	0.03	0.00	36.44	0.00	0.00	0.78	0.01	0.00	4.14	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	2.39	0.19	0.00	3.73	0.00	0.02	0.06	27.14	41.49	33.56	10.58	0.00	2005.24	4149.40	8770.0		
2.00	P-3E (FA)	0.12	0.00	16.02	0.00	0.00	0.41	0.01	0.00	3.14	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	1.51	0.30	0.00	1.97	0.00	0.02	0.09	32.71	19.76	36.61	-29.89	0.00	1590.96	1976.29	8830.0		
2.00	P-3C (FA)	0.04	0.00	8.02	0.00	0.00	0.59	0.01	0.00	3.87	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	1.81	0.21	0.00	3.45	0.00	0.01	0.07	29.53	12.64	35.09	-47.04	0.00	1456.96	1263.72	8820.0		
2.50	P-2O (FA)	1.08	0.00	5.56	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	3.97	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	2.23	0.48	0.00	1.89	0.00	0.15	0.09	5.31	10.92	10.20	3.41	0.00	616.01	1091.91	1660.0		
2.50	P-2E (FA)	0.46	0.00	0.98	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	3.86	0.00	1.09	0.00	0.00	0.05	1.90	0.32	0.00	1.25	0.00	0.58	3.19	0.01	6.50	7.30	-5.76	0.00	519.87	650.37	530.0		
2.50	P-2C (FA)	0.07	0.00	1.09	0.00	0.00	0.12	0.06	0.00	3.82	0.00	0.42	0.00	0.00	0.03	1.77	0.23	0.00	2.05	0.00	0.42	1.49	0.31	5.60	6.29	-5.84	0.00	445.10	559.57	580.0		
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.60	Z-5E (FA)	0.35	0.00	5.28	0.00	0.00	0.32	0.02	0.00	2.52	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	1.16	0.58	0.00	1.67	0.00	0.30	0.67	20.33	8.50	24.72	-48.83	0.18	1027.35	849.90	980.0		
3.60	Z-5C (FA)	0.41	0.00	19.72	0.00	0.00	0.46	0.01	0.00	2.79	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.37	0.29	0.00	2.04	0.00	0.04	0.19	20.61	23.42	24.55	-2.36	0.07	1307.08	2341.76	2420.0		
3.70	Z-4O (FA)	0.80	0.00	9.00	0.00	0.00	0.50	0.01	0.00	4.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	2.98	0.36	0.00	2.78	0.00	1.58	0.23	6.97	14.50	14.91	-1.40	0.19	909.28	1449.85	1480.0		
3.70	Z-4E (FA)	0.18	0.00	3.18	0.00	0.00	0.33	0.01	0.00	2.65	0.00	-	0.01	0.00	0.00	1.18	0.81	0.00	0.71	0.00	0.43	0.31	7.69	6.36	11.13	-27.27	-	533.24	636.22	890.0		
3.70	Z-4C (FA)	0.72	0.00	19.66	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	2.58	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	1.33	0.39	0.00	1.51	0.00	0.06	0.15	21.25	23.36	24.70	-2.80	-	1283.75	2335.52	4120.0		
3.80	Z-3O (FA)	0.73	0.00	7.07	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	3.47	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	2.35	0.51	0.00	2.29	0.00	1.05	0.26	6.34	11.72	12.81	-4.43	0.21	763.60	1171.93	1260.0		
3.80	Z-3E (FA)	0.26	0.00	2.90	0.00	0.00	0.27	0.01	0.00	2.91	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	1.32	0.64	0.00	0.37	0.00	0.47	0.12	3.28	6.37	6.22	1.17	0.12	374.03	636.52	860.0		
3.80	Z-3C (FA)	0.73	0.00	19.25	0.00	0.00	0.47	0.01	0.00	2.76	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.23	0.28	0.00	2.00	0.00	0.06	0.14	23.06	23.26	26.77	-7.03	0.07	1363.84	2325.73	3430.0		
3.90	Z-2O (FA)	0.78	0.00	8.18	0.00	0.00	0.47	0.01	0.00	3.32	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	2.01	0.60	0.00	1.79	0.00	0.41	0.20	8.00	12.77	13.01	-0.94	-	747.88	1276.76	1680.0		
3.90	Z-2E (FA)	0.16	0.00	1.42	0.00	0.00	0.27	0.02	0.00	3.45	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.17	0.43	0.00	0.06	0.01	0.67	1.22	1.98	5.34	5.54	-1.90	-	352.20	533.67	5330.0		
3.90	Z-2C (FA)	0.62	0.00	20.03	0.00	0.00	0.33	0.02	0.00	2.81	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	2.26	0.32	0.00	1.67	0.00	0.03	0.12	24.08	23.84	28.48	-8.87	-	1415.59	2383.99	4650.0		
4.00	Z-1O (FA)	0.39	0.00	16.77	0.00	0.00	0.52	0.01	0.00	2.97	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.66	0.53	0.00	1.60	0.00	0.12	0.15	18.45	20.68	22.50	-4.21	0.16	1189.49	2068.07	3300.0		
4.00	Z-1E (FA)	0.05	0.00	13.28	0.00	0.00	0.36	0.01	0.00	3.24	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.32	0.33	0.00	1.37	0.00	0.11	0.14	22.66	16.97	25.92	-20.86	0.17	1207.33	1697.45	4170.0		
4.00	Z-1C (FA)	0.38	0.00	18.14	0.00	0.00	0.41	0.01	0.00	2.81	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	1.28	0.22	0.00	1.97	0.00	0.03	0.15	30.65	21.76	34.31	-22.37	0.04	1558.99	2176.41	5650.0		
4.20	P-1E (FA)	0.50	0.00	13.21	0.00	0.00	0.44	0.01	0.00	3.45	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.51	0.40	0.00	1.52	0.00	0.17	0.15	14.05	17.64	17.80	-0.44	0.16	982.01	1764.36	3050.0		
4.20	P-1C (FA)	0.46	0.00	16.78	0.00	0.00	0.48	0.01	0.00	3.25	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.36	0.37	0.00	1.48	0.00	0.13	0.12	16.48	21.02	19.94	2.64	0.13	1108.31	2102.14	3940.0		
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.03	1.77	0.00	0.00	0.95	0.74	2.19	3.58	0.00	5.07	0.00	0.00	0.00	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	8.99	0.01	14.36	11.98	9.01	0.10	978.85	1435.54	1350.0		
1.85	P-4E (FC)	0.07	0.00	3.00	0.00	0.01	2.36	1.19	0.19	11.90	0.00	16.63	0.00	0.00	0.00	9.66	0.84	0.00	3.41	1.32	1.30	-	-	35.36	16.53	36.29	0.37	1487.49	3536.18	3800.0		
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.01	1.20	0.00	0.00	1.57	0.85	0.47	8.52	0.00	19.73	0.00	0.00	0.00	7.27	0.00	0.00	0.01	0.08	0.01	22.37	0.03	32.34	29.77	4.14	0.00	2288.62	3234.13	2560.0		
2.50	P-3O (FC)	0.00	0.01	1.97	0.00	0.00	0.64	0.59	0.10	3.29	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	2.52	0.00	0.00	3.45	0.01	0.29	3.00	0.00	9.18	9.27	-0.53	0.15	706.61	917.63	940.0		
2.50	P-3E (FC)	0.01	0.01	1.14	0.00	0.00	2.72	0.83	0.36	12.43	0.00	34.60	0.00	0.00	0.00	11.82	0.00	0.00	0.01	0.63	0.86	13.96	0.04	52.10	27.32	31.21	0.33	2422.37	5210.40	5970.0		
2.50	P-3C (FC)	0.00	0.01	1.03	0.00	0.00	1.75	0.80	0.45	6.73	0.00	16.85	0.00	0.00	0.00	6.24	0.08	0.00	0.74	0.23	0.74	14.99	0.01	27.62	23.04	9.04	0.00	1802.54	2761.67	2680.0		
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.00	1.58	0.00	0.03	0.08	0.26	0.																							

Tabela 5.3.2.5.19. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 2ª Campanha.

Prof. m	10.09.2007	CÁTIONS													ÂNIONS										Σ Cátions	Σ Ânions	Erro (%)	TDS* mg/L	CE Σcátions*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻							
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00						
		MM	valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00					
0.80	P-5O (FA)	0.04	0.00	1.65	0.00	0.02	1.21	0.70	0.63	6.92	0.00	-	0.00	0.00	0.01	4.40	-	0.00	0.01	0.05	1.66	10.79	0.01	11.17	16.94	-20.52	1164.14	1117.14	2050	
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.00	2.06	0.00	0.01	1.56	0.38	0.37	9.22	0.00	-	0.00	0.00	0.02	6.26	-	0.00	0.00	0.20	0.04	16.36	0.04	13.62	22.91	-25.43	1563.02	1362.31	2430	
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.01	0.95	0.00	0.05	1.35	0.47	0.44	7.60	0.00	-	0.00	0.00	0.02	4.32	-	0.00	0.00	0.01	0.07	14.38	0.02	10.87	18.82	-26.76	1301.87	1087.25	1840	
1.50	P-4O (FA)	0.01	0.00	1.17	0.00	0.00	1.02	0.42	0.67	7.56	0.00	-	0.00	0.00	0.00	4.01	-	0.00	2.89	0.01	3.08	4.66	0.00	10.84	14.65	-14.97	1014.78	1083.80	1460	
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	0.76	0.40	0.79	8.79	0.00	-	0.00	0.00	0.00	4.26	-	0.00	4.10	0.00	3.62	3.66	0.00	12.34	15.65	-11.82	1093.61	1234.41	1640	
1.50	P-4C (FA)	0.01	0.00	1.63	0.00	0.00	0.83	0.48	0.81	8.05	0.00	-	0.00	0.00	0.00	4.12	-	0.00	5.23	0.00	2.73	2.13	0.00	11.81	14.21	-9.21	1010.08	1181.38	1510	
2.00	P-3O (FA)	0.04	0.00	40.13	0.00	0.00	0.96	0.01	0.00	6.08	0.00	-	0.04	0.00	0.02	3.39	-	0.00	8.87	0.00	0.01	0.21	28.99	47.26	41.48	6.51	2537.13	4725.73	8650	
2.00	P-3E (FA)	0.05	0.00	37.68	0.00	0.00	0.91	0.01	0.00	7.85	0.00	-	0.07	0.00	0.02	3.24	-	0.00	8.47	0.00	0.01	0.32	30.48	46.57	42.54	4.51	2549.88	4656.55	8520	
2.00	P-3C (FA)	0.06	0.00	40.97	0.00	0.00	0.87	0.01	0.00	6.61	0.00	-	0.05	0.00	0.02	3.16	-	0.00	7.94	0.00	0.01	0.26	30.94	48.58	42.32	6.88	2558.86	4857.72	8570	
2.50	P-2O (FA)	1.59	0.00	9.42	0.00	0.00	0.71	0.01	0.00	7.37	0.00	-	0.03	0.00	0.02	3.61	-	0.00	6.55	0.00	0.04	0.28	7.72	19.12	18.22	2.41	1186.86	1912.22	2520	
2.50	P-2E (FA)	0.18	0.00	4.35	0.00	0.00	0.40	0.02	0.00	8.30	0.00	-	0.01	0.00	0.02	3.50	-	0.00	5.21	0.00	3.62	1.72	0.08	13.27	14.15	-3.21	1025.23	1327.13	1890	
2.50	P-2C (FA)	1.53	0.00	7.01	0.00	0.00	0.57	0.01	0.00	6.57	0.00	-	0.03	0.00	0.03	3.33	-	0.00	3.63	0.00	0.25	7.35	0.05	15.71	46.89	3.55	3134.37	1571.29	1190	
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	Z-5E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.60	Z-5C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.70	Z-4O (FA)	0.44	0.00	11.60	0.00	0.00	0.96	0.01	0.00	7.86	0.00	-	0.01	0.00	0.01	3.78	-	0.00	4.97	0.00	0.56	0.26	9.54	20.88	19.12	4.40	1226.57	2087.88	2990	
3.70	Z-4E (FA)	0.02	0.00	5.26	0.00	0.00	0.79	0.15	0.01	9.02	0.00	-	0.01	0.00	0.00	3.72	-	0.00	4.87	0.00	3.64	3.52	0.01	15.25	15.77	-1.69	1170.63	1525.11	1590	
3.70	Z-4C (FA)	0.13	0.00	5.72	0.00	0.00	0.84	0.01	0.00	8.81	0.00	-	0.00	0.00	0.01	4.43	-	0.00	3.77	0.00	2.31	0.20	4.00	15.51	14.73	2.60	634.59	1551.17	2000	
3.80	Z-3O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.80	Z-3C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2O (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2E (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.90	Z-2C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.00	Z-1O (FA)	0.27	0.00	13.66	0.00	0.00	0.96	0.01	0.00	7.61	0.00	-	0.01	0.00	0.02	3.78	-	0.00	5.03	0.00	0.37	0.19	10.61	22.52	20.01	5.90	1283.63	2251.81	3320	
4.00	Z-1E (FA)	0.03	0.00	15.44	0.00	0.00	0.84	0.01	0.00	7.54	0.00	-	0.01	0.00	0.04	4.29	-	0.00	5.15	0.01	0.96	0.15	9.65	23.86	20.24	8.20	1333.16	2385.75	3990	
4.00	Z-1C (FA)	0.21	0.00	15.48	0.00	0.00	0.96	0.01	0.00	8.03	0.00	-	0.01	0.00	0.02	4.09	-	0.00	5.02	0.00	0.58	0.23	11.37	24.70	21.31	7.38	1374.63	2470.43	3450	
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.00	6.37	0.00	0.00	0.93	0.65	0.05	8.73	0.00	-	0.02	0.00	0.00	4.01	-	0.00	4.82	0.00	1.10	20.27	0.13	16.76	30.34	-28.81	2110.08	1676.49	1760	
4.20	P-1C (FA)	0.48	0.00	10.64	0.00	0.00	0.89	0.01	0.00	7.79	0.00	-	0.01	0.00	0.01	4.15	-	0.00	5.27	0.00	0.44	0.18	8.42	19.83	18.47	3.56	1191.15	1983.09	2980	
1.85	P-4O (FC)	0.01	0.03	1.70	0.00	0.03	1.29	0.70	1.20	5.73	0.00	-	0.00	0.00	0.00	5.39	-	0.00	0.00	0.01	0.02	9.59	0.01	10.71	15.03	-16.77	1039.80	1071.33	1800	
1.85	P-4E (FC)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	1.50	0.67	0.48	6.64	0.00	-	0.00	0.00	0.00	7.93	-	0.00	0.94	1.77	1.58	11.80	0.00	10.55	24.02	-38.97	1478.07	1055.02	2240	
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	2.25	0.00	0.00	2.52	0.68	0.07	7.95	0.00	-	0.00	0.00	0.01	6.49	-	0.00	0.01	0.20	0.01	12.39	0.01	13.47	19.12	-17.35	1333.79	1346.63	2240	
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.02	2.29	0.00	0.01	1.74	0.82	0.66	6.80	0.00	-	0.00	0.00	0.01	7.08	-	0.00	0.00	0.35	0.10	23.58	0.02	12.35	31.15	-43.23	2012.31	1234.61	3160	
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.14	0.00	0.01	1.85	0.49	0.45	8.41	0.00	-	0.00	0.00	0.01	9.11	-	0.00	0.02	0.98	0.42	19.58	0.02	12.36	30.14	-41.84	1893.99	1235.60	3720	
2.50	P-3C (FC)	0.01	0.00	1.31	0.00	0.01	1.88	0.81	0.61	6.58	0.00	-	0.00	0.00	0.01	6.71	-	0.00	0.00	0.56	0.08	14.79	0.01	11.21	22.18	-32.86	1450.17	1120.71	3030	
3.50	P-2O (FC)	0.01	0.01	3.49	0.00	0.00	0.21	0.86	0.64	2.26	0.00	-	0.01	0.00	0.01	2.23	-	0.00	3.81	0.00	0.25	1.07	0.00	7.49	7.36	0.86	551.46	748.60	880	
3.50	P-2E (FC)	0.01	0.01	2.07	0.00	0.00	0.64	0.39	0.32	7.06	0.00	-	0.00	0.00	0.00	7.02	-	0.00	0.90	0.00	1.79	7.80	0.00	10.49	17.52	-25.09	1109.96	1049.38	1760	
3.50	P-2C (FC)	0.00	0.01	1.26	0.00	0.00	0.50	0.37	1.06	6.50	0.00	-	0.00	0.00	0.00	5.95	-	0.00	0.90	0.00	1.54	5.60	0.00	9.70	14.00	-18.14	911.17	970.07	1570	
4.50	P-1O (FC)	0.01	0.01	9.81	0.00	0.00	0.43	1.14	0.15	5.98	0.00	-	0.01	0.00	0.00	4.96	-	0.00	2.87	0.00	0.98	8.60	0.00	17.54	17.42	0.34	1295.71	1753.58	1800	
4.50	P-1E (FC)	0.00	0.01	4.18	0.00	0.00	1.18	0.32	0.03	6.19	0.00	-	0.01	0.00	0.01	5.87	-	0.00	6.45	0.00	1.06	7.80	0.00	11.91	21.19	-28.04	1412.61	1191.03	2080	
4.50	P-1C (FC)	0.00	0.01	7.30	0.00	0.00	0.88	0.47	0.03	5.72	0.00	-	0.01	0.00	0.01	5.16	-	0.00	5.52	0.00	0.94	8.00	0.00	14.41	19.63	-15.31	1377.73	1441.50	2120	

* sem adição de sílica

Tabela 5.3.2.5.20. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 3ª Campanha.

Prof. m	20.11.2007	CATIONS												ANIONS												Σ Cátions	Σ Ânions	Erro (%)	SiO ₂	TDS	CE Σcations*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻									
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.32	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00								
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00								
0.80	P-50 (FA)	0.00	0.01	1.90	0.00	0.08	2.48	1.81	0.29	7.83	0.00	9.69	0.00	0.00	0.01	4.63	0.00	0.00	0.00	0.88	0.25	13.19	0.01	24.10	18.96	11.92	0.23	1559.92	2409.6972	2520.0		
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.01	2.79	0.00	0.00	1.33	1.15	0.33	7.74	0.00	6.69	0.01	0.00	0.01	4.46	0.00	0.00	0.02	0.54	0.40	9.99	0.01	20.06	15.42	13.07	0.27	1260.75	2006.4534	2300.0		
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.00	4.74	0.00	0.00	2.02	3.87	0.32	8.57	0.00	3.92	0.01	0.00	0.01	4.32	0.01	0.00	0.01	0.23	3.87	15.95	0.01	23.46	24.40	-1.97	0.38	1845.56	2346.1036	2200.0		
1.50	P-40 (FA)	0.00	0.00	2.35	0.00	0.00	1.48	1.32	0.47	9.40	0.00	1.86	0.00	0.00	0.01	3.70	0.04	0.00	7.71	0.42	4.39	0.92	0.00	16.88	17.18	-0.88	0.37	1304.24	1688.2223	1625.0		
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	5.89	0.00	0.00	1.66	2.39	0.47	7.87	0.00	1.54	0.01	0.00	0.00	3.13	0.04	0.00	10.32	0.35	3.98	0.60	0.00	19.84	18.43	3.68	0.43	1458.30	1983.9912	1940.0		
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	4.69	0.00	0.00	1.97	2.30	0.80	6.92	0.00	2.25	0.01	0.00	0.01	3.64	0.08	0.00	10.18	0.20	3.60	1.45	0.00	18.95	19.16	-0.55	0.52	1487.64	1895.2871	1790.0		
2.00	P-30 (FA)	0.00	0.00	9.53	0.00	0.00	1.43	0.00	0.00	7.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	3.02	0.08	0.00	9.11	0.00	0.12	0.09	15.51	18.20	27.94	-21.10	0.01	1567.34	1820.2984	7330.0		
2.00	P-3E (FA)	0.00	0.00	16.97	0.00	0.00	1.18	0.01	0.00	6.87	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	3.27	0.00	0.00	8.02	0.00	0.73	0.08	13.12	25.11	25.24	-0.26	0.01	1595.84	2510.5252	6220.0		
2.00	P-3C (FA)	0.10	0.00	18.51	0.00	0.00	1.64	0.00	0.00	6.52	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	3.36	0.06	0.00	10.16	0.00	0.04	0.11	16.29	26.85	30.04	-5.62	0.01	1838.94	2684.5426	6470.0		
2.50	P-20 (FA)	1.89	0.00	12.23	0.00	0.00	1.10	0.06	0.00	7.26	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	4.09	1.61	0.00	8.97	0.00	1.27	0.35	7.65	22.58	23.95	-2.94	0.06	1565.72	2258.2326	2140.0		
2.50	P-2E (FA)	0.00	0.00	10.68	0.00	0.00	1.07	1.81	0.01	6.92	0.00	0.11	0.03	0.00	0.00	3.44	0.83	0.00	5.97	0.00	2.48	8.76	0.04	20.63	21.51	-2.09	0.20	1637.28	2063.3363	2000.0		
2.50	P-2C (FA)	1.89	0.00	12.23	0.00	0.00	1.10	0.06	0.00	7.26	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	4.09	1.61	0.00	8.97	0.00	1.27	0.35	7.65	22.58	23.95	-2.94	0.06	1565.72	2258.2326	3180.0		
3.60	Z-50 (FA)	0.48	0.00	4.04	0.00	0.00	0.97	0.12	0.00	9.09	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	3.36	0.00	0.00	5.74	0.00	4.81	1.37	0.39	14.72	15.68	-3.13	0.06	1139.61	1472.3583	1690.0		
3.60	Z-5E (FA)	0.01	0.00	9.18	0.00	0.00	1.25	0.99	0.01	7.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.33	0.14	0.00	7.27	0.00	1.66	2.66	0.02	18.49	15.09	10.11	0.12	1233.17	1848.6477	1650.0		
3.60	Z-5C (FA)	0.58	0.00	10.73	0.00	0.00	0.95	0.01	0.00	6.52	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	3.75	0.33	0.00	8.44	0.00	1.85	0.23	2.77	18.80	17.39	3.91	0.05	1268.92	1879.9485	2220.0		
3.70	Z-40 (FA)	0.51	0.00	6.34	0.00	0.00	1.02	0.10	0.00	8.39	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	3.47	0.01	0.00	5.85	0.00	4.04	0.63	0.89	16.39	14.90	4.77	0.09	1118.15	1639.4341	1550.0		
3.70	Z-4E (FA)	0.01	0.00	6.74	0.00	0.00	1.13	0.79	0.03	6.52	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	3.81	0.40	0.00	4.85	0.00	1.39	2.31	0.01	15.30	12.78	8.97	0.11	1010.86	1529.9473	1540.0		
3.70	Z-4C (FA)	0.23	0.00	5.69	0.00	0.00	0.90	0.42	0.01	5.87	0.00	0.06	0.01	0.00	0.01	3.75	0.85	0.00	7.61	0.00	1.96	2.72	0.08	13.19	16.99	-12.59	0.05	1203.40	1318.7575	1490.0		
3.80	Z-30 (FA)	0.67	0.00	8.78	0.00	0.00	1.02	0.01	0.00	7.44	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.47	1.04	0.00	5.85	0.00	2.60	0.21	2.51	17.95	15.70	6.68	0.11	1147.86	1794.5053	1900.0		
3.80	Z-3E (FA)	0.00	0.01	6.14	0.00	0.00	1.07	0.91	0.10	6.26	0.00	0.13	0.02	0.00	0.00	3.98	0.70	0.00	2.90	0.00	1.08	5.78	0.02	14.64	14.47	0.56	0.13	1093.09	1463.5125	1490.0		
3.80	Z-3C (FA)	0.12	0.00	7.44	0.00	0.00	1.15	0.64	0.02	5.96	0.00	0.11	0.03	0.00	0.01	3.81	1.64	0.00	6.69	0.00	1.73	1.50	0.02	15.47	15.40	0.20	0.08	1149.76	1546.6213	1480.0		
3.90	Z-20 (FA)	0.37	0.00	5.19	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	3.57	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	3.53	1.41	0.00	5.84	0.00	2.81	0.81	2.35	9.60	16.75	-27.14	0.05	1018.22	960.05633	1890.0		
3.90	Z-2E (FA)	0.02	0.01	7.24	0.00	0.01	1.18	0.99	0.13	6.31	0.00	0.13	0.02	0.00	0.00	3.95	1.48	0.00	4.05	0.01	1.06	2.59	0.01	16.03	13.15	9.85	0.13	1032.97	1602.5853	1590.0		
3.90	Z-2C (FA)	0.32	0.00	8.48	0.00	0.00	1.18	0.26	0.00	5.87	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	3.78	2.35	0.00	6.47	0.00	1.66	0.66	2.22	16.15	17.16	-3.05	0.10	1195.23	1614.6348	1680.0		
4.00	Z-10 (FA)	0.63	0.00	12.13	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	7.18	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.50	1.79	0.00	6.42	0.00	1.89	0.17	4.43	21.06	18.22	7.23	0.11	1303.37	2106.2845	2340.0		
4.00	Z-1E (FA)	0.37	0.00	9.63	0.00	0.00	1.02	0.01	0.00	5.52	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.67	1.83	0.00	7.19	0.03	1.77	0.28	3.92	16.58	18.70	-6.01	0.09	1251.55	1658.0513	2160.0		
4.00	Z-1C (FA)	0.39	0.00	13.27	0.00	0.00	1.23	0.03	0.00	6.48	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.64	1.62	0.00	7.95	0.00	1.71	0.12	4.16	21.42	19.21	5.43	0.07	1383.41	2142.0664	2620.0		
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.01	9.33	0.00	0.00	0.79	0.47	0.21	4.61	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	2.45	0.72	0.00	5.15	0.01	0.81	5.19	0.01	15.46	14.37	3.67	0.15	1142.51	1546.2266	2190.0		
4.20	P-1C (FA)	0.00	0.01	15.72	0.00	0.00	1.25	0.76	0.44	6.57	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	4.23	0.85	0.00	9.24	0.00	1.25	9.51	0.01	24.86	25.09	-0.47	0.22	1955.41	2485.5957	2210.0		
1.85	P-40 (FC)	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	2.17	0.99	0.33	7.87	0.00	15.19	0.00	0.00	0.02	7.67	0.00	0.00	0.00	0.42	0.94	15.77	0.03	27.58	24.85	5.21	0.08	1886.89	2757.7515	3130.0		
1.85	P-4E (FC)	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	1.46	1.48	0.12	6.09	0.00	7.75	0.00	0.00	0.00	5.90	0.01	0.00	1.37	1.02	1.79	9.79	0.01	19.00	19.89	-2.28	0.18	1438.06	1900.4618	2070.0		
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	1.89	1.23	0.27	7.35	0.00	10.60	0.00	0.00	0.01	6.94	0.00	0.00	0.00	1.31	1.31	10.59	0.01	22.86	20.18	6.21	0.16	1514.98	2285.5025	2560.0		
2.50	P-30 (FC)	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	2.66	0.91	0.28	8.26	0.00	20.26	0.00	0.00	0.01	7.53	0.00	0.00	0.00	1.50	0.01	17.97	0.03	33.08	27.06	10.01	0.13	2136.44	3307.7773	3700.0		
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.00	0.00	0.01	1.76	1.07	0.35	7.35	0.00	15.83	0.00	0.00	0.01	7.36	0.02	0.00	0.16	1.35	0.35	14.19	0.01	27.38	23.47	7.69	0.14	1794.80	2737.6013	2920.0		
2.50	P-3C (FC)	0.00	0.00	0.80	0.00	0.01	1.99	1.07	0.47	7.61	0.00	15.84	0.00	0.00	0.01	7.45	0.00	0.00	0.00	0.88	0.02	22.38										

Tabela 5.3.2.5.21. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 4ª Campanha.

Prof. m	29.01.2008	CATIONS													ANIONS										Σ Cations	Σ Anions	Erro (%)	SiO ₂	TDS	CE Σ cations*100 μS/cm	CE campo μS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻								
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00							
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00							
0.80	P-5O (FA)	0.00	0.00	1.20	0.00	0.01	1.82	1.07	0.21	7.13	0.00	8.69	0.00	0.00	0.01	3.47	0.00	0.00	0.00	0.96	0.01	17.90	0.02	20.14	22.37	-5.26	0.20	1709.36	2013.8505	2030.0	
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.00	4.49	0.00	0.01	1.61	1.32	0.36	7.61	0.00	7.85	0.01	0.00	0.01	3.36	0.00	0.00	0.00	0.23	8.95	8.95	0.01	23.28	21.51	3.95	0.25	1618.06	2327.5819	2200.0	
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.00	2.59	0.00	0.00	1.82	1.98	0.15	7.18	0.00	8.48	0.00	0.00	0.01	3.41	0.00	0.00	0.00	0.79	0.11	12.87	0.01	22.21	17.21	12.68	0.30	1437.29	2220.806	1992.0	
1.50	P-4O (FA)	0.00	0.00	1.45	0.00	0.01	1.51	0.82	0.36	7.70	0.00	10.69	0.00	0.00	0.01	3.53	0.01	0.00	0.00	0.67	0.62	15.44	0.02	22.54	20.30	5.25	0.22	1621.10	2254.4794	1953.0	
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	6.19	0.00	0.00	1.71	2.22	0.69	8.66	0.00	3.19	0.01	0.00	0.00	3.27	0.00	0.00	0.00	9.79	0.25	8.18	2.16	0.00	22.67	23.66	-2.13	0.52	1785.16	2267.3726	2170.0
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.97	0.62	0.20	4.09	0.00	7.19	0.00	0.00	0.01	3.36	0.02	0.00	1.34	0.06	6.12	9.98	0.01	14.18	20.90	-19.17	0.09	1411.15	1417.5315	2060.0	
2.00	P-3O (FA)	0.05	0.00	21.71	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	7.22	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	2.96	0.21	0.00	9.65	0.00	0.04	0.16	33.44	30.29	46.48	-21.09	0.00	2381.42	3028.911	7940.0	
2.00	P-3E (FA)	0.03	0.00	23.60	0.00	0.00	1.13	0.01	0.00	6.70	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	3.22	0.15	0.00	9.11	0.00	0.07	0.11	22.59	31.54	35.26	-5.56	0.01	2048.90	3154.2664	7850.0	
2.00	P-3C (FA)	0.04	0.00	33.03	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	7.13	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	3.07	0.36	0.00	9.66	0.00	0.02	0.17	30.32	41.63	43.62	-2.33	0.01	2528.56	4163.2417	6930.0	
2.50	P-2O (FA)	0.00	0.00	6.99	0.00	0.00	1.13	0.91	0.00	7.57	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	3.24	0.83	0.00	6.76	0.00	2.29	16.91	0.04	16.65	30.08	-28.73	0.08	2090.81	1665.2834	1732.0	
2.50	P-2E (FA)	0.00	0.00	13.37	0.00	0.00	1.02	2.14	0.01	6.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	2.79	0.09	0.00	5.87	0.00	2.62	-	-	22.63	11.38	33.07	0.30	1086.06	2262.6724	1684.0	
2.50	P-2C (FA)	0.05	0.00	12.62	0.00	0.00	1.02	0.01	0.00	6.13	0.00	0.08	0.04	0.00	0.00	4.63	0.95	0.00	11.74	0.00	0.54	-	-	19.95	17.86	5.53	0.02	1400.98	1995.3727	2110.0	
3.60	Z-5O (FA)	0.01	0.00	8.88	0.00	0.00	1.25	3.79	0.00	7.70	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.27	0.04	0.00	8.45	0.00	2.08	7.56	0.01	21.67	21.41	0.59	0.14	1662.85	2166.5954	1946.0	
3.60	Z-5E (FA)	0.00	0.00	5.89	0.00	0.00	1.56	0.58	0.00	7.74	0.00	2.78	0.01	0.00	0.01	3.39	0.15	0.00	1.27	0.42	2.89	11.56	0.01	18.57	19.69	-2.93	0.45	1512.20	1857.0596	1770.0	
3.60	Z-5C (FA)	0.00	0.00	10.73	0.00	0.00	1.18	3.21	0.00	7.61	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	3.24	0.10	0.00	8.05	0.00	2.77	8.09	0.01	22.78	22.27	1.11	0.17	1732.64	2277.6265	2100.0	
3.70	Z-4O (FA)	0.00	0.00	8.53	0.00	0.00	1.15	3.21	0.01	7.44	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.27	0.16	0.00	8.21	0.00	2.48	9.93	0.02	20.39	24.07	-8.28	0.13	1792.85	2038.8128	1565.0	
3.70	Z-4E (FA)	0.00	0.00	6.79	0.00	0.00	1.46	0.69	0.01	7.70	0.00	2.00	0.01	0.00	0.00	3.41	0.08	0.00	0.65	0.31	2.83	10.91	0.01	18.66	18.20	1.24	0.43	1422.67	1865.8173	1682.0	
3.70	Z-4C (FA)	0.00	0.00	10.78	0.00	0.00	0.97	1.73	0.01	7.05	0.00	0.12	0.02	0.00	0.00	3.39	0.19	0.00	5.58	0.00	2.29	9.07	0.01	20.68	20.54	0.34	0.38	1602.26	2067.5959	1940.0	
3.80	Z-3O (FA)	0.00	0.00	9.73	0.00	0.00	1.18	3.21	0.03	7.61	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.24	0.29	0.00	7.47	0.00	2.79	7.02	0.01	21.80	20.82	2.30	0.17	1621.07	2180.0013	1822.0	
3.80	Z-3E (FA)	0.00	0.00	6.74	0.00	0.00	1.13	0.70	0.01	6.87	0.00	1.68	0.01	0.00	0.00	3.36	0.09	0.00	1.31	0.18	2.41	9.72	0.01	17.14	17.08	0.17	0.38	1322.04	1714.161	1485.0	
3.80	Z-3C (FA)	0.00	0.00	9.88	0.00	0.00	1.00	1.56	0.02	7.05	0.00	0.82	0.02	0.00	0.00	3.47	0.19	0.00	6.79	0.00	1.96	7.88	0.01	20.35	20.31	0.11	0.45	1589.68	2035.276	1954.0	
3.90	Z-2O (FA)	0.01	0.00	10.08	0.00	0.00	1.18	3.05	0.03	7.57	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	3.33	0.40	0.00	7.24	0.00	2.91	7.44	0.02	21.97	21.34	1.45	0.20	1653.68	2197.0831	1869.0	
3.90	Z-2E (FA)	0.00	0.00	6.74	0.00	0.00	1.25	0.68	0.04	7.53	0.00	2.06	0.01	0.00	0.00	3.41	0.16	0.00	2.85	0.16	1.85	10.59	0.01	18.31	19.05	-1.97	0.40	1476.62	1831.0544	1614.0	
3.90	Z-2C (FA)	0.00	0.00	7.93	0.00	0.00	1.13	1.15	0.03	7.22	0.00	1.44	0.01	0.00	0.00	3.39	0.22	0.00	5.89	0.00	1.75	7.88	0.01	18.92	19.14	-0.57	0.48	1500.31	1892.2927	1714.0	
4.00	Z-1O (FA)	0.03	0.00	8.58	0.00	0.00	1.25	2.63	0.04	7.83	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	3.19	0.98	0.00	4.66	0.00	2.54	8.08	0.03	20.42	19.48	2.37	0.20	1510.63	2041.8959	1468.0	
4.00	Z-1E (FA)	0.00	0.01	7.19	0.00	0.01	1.07	1.32	0.20	7.18	0.00	0.81	0.02	0.00	0.00	3.19	0.27	0.00	2.34	0.04	1.66	10.04	0.01	17.81	17.56	0.71	0.32	1373.85	1781.4311	1691.0	
4.00	Z-1C (FA)	0.00	0.00	8.13	0.00	0.00	1.10	1.73	0.05	7.53	0.00	0.31	0.02	0.00	0.00	3.36	0.25	0.00	3.15	0.01	2.37	9.60	0.02	18.87	18.76	0.30	0.33	1454.86	1887.3781	1608.0	
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.00	4.09	0.00	0.00	0.54	0.82	0.05	3.48	0.00	0.20	0.01	0.00	0.00	3.22	0.43	0.00	3.73	0.02	2.21	8.75	0.01	9.20	18.35	-33.22	0.12	1211.35	919.83065	1766.0	
4.20	P-1C (FA)	0.01	0.00	7.68	0.01	0.00	1.10	1.73	0.12	7.05	0.00	0.26	0.02	0.00	0.00	3.47	0.41	0.00	3.45	0.00	2.25	9.40	0.01	17.98	18.99	-2.73	0.27	1443.26	1798.3633	1777.0	
1.85	P-4O (FC)	0.00	0.01	0.95	0.00	0.00	2.99	1.23	0.23	10.22	0.00	18.47	0.00	0.00	0.01	9.93	0.04	0.00	0.34	0.31	3.68	24.60	0.04	34.10	38.96	-6.64	0.08	2799.05	3410.4419	3500.0	
1.85	P-4E (FC)	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	2.43	1.48	0.18	9.53	0.00	14.27	0.00	0.00	0.01	9.70	0.00	0.00	0.00	1.38	1.58	19.02	0.02	29.99	31.71	-2.79	0.15	2292.39	2999.1573	2990.0	
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	1.55	0.00	0.00	2.46	1.48	0.17	1.35	0.00	16.26	0.00	0.00	0.01	9.34	0.00	0.00	0.00	1.15	2.41	21.26	0.02	23.28	34.19	-18.99	0.14	2282.00	2327.6177	3360.0	
2.50	P-3O (FC)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.01	2.53	1.23	0.21	10.00	0.00	23.51	0.00	0.00	0.01	10.72	0.00	0.00	0.00	1.60	0.05	27.97	0.03	38.76	40.39	-2.06	0.12	2973.13	3875.9721	3710.0	
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	2.43	1.32	0.22	9.92	0.00	17.68	0.00	0.00	0.01	10.47	0.00	0.00	0.00	1.52	0.77	22.38	0.02	33.17	35.17	-2.92	0.15	2551.97	3317.2806	3410.0	
2.50	P-3C (FC)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	2.56	1.32	0.19	10.13	0.00	20.53	0.00																		

Tabela 5.3.2.5.22. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 5ª Campanha.

Prof. m	30.03.2008	CATIONS													ANIONS										Σ Cátions	Σ Ânions	Erro (%)	SiO ₂ 60.09 60.09	TDS	CE Σcations*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻								
		26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00								
		MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM							
MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00									
0.80	P-5O (FA)	0.00	0.01	1.85	0.00	0.00	1.46	1.07	0.27	7.92	0.00	9.57	0.00	0.00	0.01	3.89	0.31	0.00	0.55	0.52	3.73	14.75	0.01	22.15	23.77	-3.54	0.18	1771.14	2214.5127	2170.0	
0.80	P-5E (FA)	0.01	0.00	6.09	0.00	0.03	1.05	1.40	0.76	7.00	0.00	1.31	0.01	0.00	0.00	3.75	0.62	0.00	4.71	0.02	5.02	3.08	0.00	17.66	17.20	1.29	0.27	1286.57	1765.5285	2010.0	
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.00	5.29	0.00	0.03	1.36	1.89	0.73	7.57	0.00	6.72	0.01	0.00	0.01	3.67	1.02	0.00	0.39	0.01	13.74	9.31	0.01	23.59	28.15	-8.80	0.18	1939.17	2359.123	2150.0	
1.50	P-4O (FA)	0.00	0.00	6.49	0.00	0.00	1.76	2.39	1.78	8.39	0.00	5.64	0.01	0.00	0.01	3.33	0.18	0.00	4.53	0.10	16.17	4.16	0.00	26.47	28.48	-3.66	0.38	2038.09	2647.0084	3010.0	
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	10.23	0.00	0.00	1.38	2.22	1.60	8.00	0.00	0.68	0.01	0.01	0.00	3.24	0.11	0.00	8.58	0.27	10.68	1.00	0.00	24.15	23.89	0.54	0.50	1796.43	2414.7261	2410.0	
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	11.43	0.00	0.00	2.66	3.87	3.28	10.00	0.00	4.80	0.02	0.00	0.01	3.24	0.15	0.00	5.98	0.29	27.26	1.24	0.00	36.06	38.18	-2.86	0.57	2714.19	3605.7155	3330.0	
2.00	P-3O (FA)	0.16	0.00	21.46	0.00	0.00	1.36	0.06	0.00	9.61	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	4.29	0.14	0.00	11.44	0.00	0.85	0.09	9.91	32.67	26.74	9.99	0.03	1921.66	3267.2775	7980.0	
2.00	P-3E (FA)	0.05	0.00	12.33	0.00	0.00	1.00	0.21	0.00	7.09	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	4.03	0.08	0.00	8.05	0.00	1.10	0.16	18.44	20.70	31.88	-21.27	0.07	1719.48	2069.8374	7120.0	
2.00	P-3C (FA)	0.11	0.00	24.85	0.00	0.00	1.41	0.01	0.00	8.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	3.81	0.19	0.00	11.98	0.00	1.04	1.19	22.13	34.51	40.36	-7.82	0.02	2416.70	3450.8336	7570.0	
2.50	P-2O (FA)	0.13	0.00	16.62	0.00	0.01	1.46	3.70	0.05	7.92	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	3.07	0.19	0.00	9.11	0.00	3.56	25.30	0.02	29.95	41.26	-15.88	0.32	3038.95	2995.217	2180.0	
2.50	P-2E (FA)	0.00	0.00	20.41	0.00	0.00	1.07	3.37	0.02	7.05	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	2.91	0.06	0.00	6.61	0.00	2.16	17.49	0.03	31.98	29.28	4.41	0.55	2377.70	3197.6574	2350.0	
2.50	P-2C (FA)	0.23	0.00	14.32	0.00	0.01	1.28	2.63	0.01	8.70	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	3.24	0.29	0.00	8.39	0.00	1.42	6.36	0.00	27.27	19.70	16.12	0.27	1694.87	2726.6738	1995.0	
3.60	Z-5O (FA)	0.00	0.00	16.97	0.00	0.00	1.05	2.96	0.00	6.26	0.00	0.06	0.03	0.00	0.01	3.41	0.03	0.00	9.73	0.03	3.12	12.43	0.01	27.34	28.77	-2.55	0.42	2224.12	2733.8448	2700.0	
3.60	Z-5E (FA)	0.00	0.00	11.93	0.00	0.00	0.92	2.30	0.01	7.79	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	3.72	0.12	0.00	5.21	0.17	2.85	11.91	0.01	23.02	24.01	-2.11	0.63	1855.18	2301.5925	1995.0	
3.60	Z-5C (FA)	0.00	0.00	15.17	0.00	0.00	1.10	5.10	0.00	7.61	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	2.91	0.02	0.00	7.58	0.00	3.91	-	-	29.03	14.43	33.61	0.27	1364.18	2903.1823	2710.0	
3.70	Z-4O (FA)	0.00	0.00	15.22	0.00	0.00	0.97	2.72	0.01	6.66	0.00	1.07	0.03	0.00	0.00	3.44	0.06	0.00	7.90	0.00	2.66	15.51	0.01	26.68	29.60	-5.19	0.35	2260.42	2667.5328	2500.0	
3.70	Z-4E (FA)	0.00	0.00	12.48	0.00	0.00	0.95	2.55	0.01	7.13	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	3.67	0.28	0.00	4.58	0.09	2.83	13.43	0.01	23.19	24.89	-3.54	0.60	1906.82	2318.5284	2190.0	
3.70	Z-4C (FA)	0.00	0.00	15.22	0.00	0.00	0.92	3.79	0.00	6.83	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	3.10	0.06	0.00	7.44	0.00	3.08	14.43	0.01	26.81	28.12	-2.39	0.33	2168.11	2680.8126	2530.0	
3.80	Z-3O (FA)	0.00	0.00	12.82	0.00	0.00	0.95	2.22	0.02	6.70	0.00	2.32	0.03	0.00	0.00	3.41	0.12	0.00	5.63	0.00	2.31	16.34	0.02	25.06	27.84	-5.25	0.32	2121.97	2506.1211	2300.0	
3.80	Z-3E (FA)	0.00	0.00	14.32	0.00	0.00	1.05	3.05	0.01	7.35	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	3.58	0.36	0.00	4.53	0.05	2.66	14.83	0.01	25.84	26.02	-0.36	0.62	2032.86	2583.8766	2200.0	
3.80	Z-3C (FA)	0.00	0.00	15.02	0.00	0.00	0.92	3.87	0.01	6.79	0.00	0.04	0.03	0.00	0.01	3.02	0.04	0.00	7.48	0.00	3.14	15.10	0.02	26.67	28.81	-3.85	0.30	2206.31	2667.4328	2500.0	
3.90	Z-2O (FA)	0.00	0.00	11.03	0.00	0.00	1.00	1.98	0.06	6.96	0.00	2.92	0.02	0.00	0.00	3.39	0.14	0.00	4.05	0.00	1.98	17.18	0.02	23.97	26.76	-5.49	0.27	2036.89	2397.2819	2120.0	
3.90	Z-2E (FA)	0.00	0.00	14.47	0.00	0.00	0.97	2.80	0.07	6.79	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	3.39	0.49	0.00	3.16	0.02	2.60	16.79	0.01	25.15	26.46	-2.54	0.52	2042.10	2515.3736	2170.0	
3.90	Z-2C (FA)	0.00	0.00	14.82	0.00	0.00	0.90	3.62	0.02	6.70	0.00	0.08	0.03	0.00	0.00	2.99	0.10	0.00	6.69	0.00	2.71	23.98	0.02	26.17	36.50	-16.48	0.33	2672.75	2616.9193	2460.0	
4.00	Z-1O (FA)	0.00	0.01	12.52	0.00	0.01	1.15	2.63	0.16	7.53	0.00	1.71	0.03	0.00	0.01	2.82	0.24	0.00	3.32	0.00	2.25	18.34	0.02	25.76	27.00	-2.36	0.30	2101.38	2575.7648	2210.0	
4.00	Z-1E (FA)	0.00	0.03	13.47	0.00	0.01	1.07	2.88	0.30	7.44	0.00	0.19	0.03	0.00	0.01	3.22	0.16	0.00	2.15	0.02	2.79	17.75	0.01	25.43	26.10	-1.29	0.38	2029.21	2543.2485	2140.0	
4.00	Z-1C (FA)	0.00	0.01	15.37	0.00	0.00	1.10	3.29	0.08	7.74	0.00	0.38	0.03	0.00	0.00	2.85	0.10	0.00	5.74	0.01	2.83	15.31	0.01	28.00	26.86	2.09	0.33	2132.37	2800.4278	2510.0	
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.01	13.97	0.00	0.00	1.18	3.37	0.15	7.87	0.00	0.52	0.03	0.00	0.01	2.99	0.16	0.00	4.61	0.00	2.85	17.83	0.01	27.11	28.47	-2.44	0.33	2208.24	2711.0022	2350.0	
4.20	P-1C (FA)	0.00	0.01	14.77	0.00	0.00	1.25	3.62	0.16	8.31	0.00	0.49	0.03	0.00	0.00	3.07	0.16	0.00	4.63	0.00	2.98	17.74	0.02	28.64	28.60	0.07	0.33	2244.78	2864.312	2360.00	
1.85	P-4O (FC)	0.00	0.01	0.85	0.00	0.04	2.35	1.07	0.30	8.31	0.00	17.11	0.00	0.00	0.01	6.77	0.00	0.00	0.00	1.23	0.07	26.45	0.03	30.03	34.57	-7.02	0.15	2557.27	3003.4847	3450.0	
1.85	P-4E (FC)	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	2.66	1.48	0.13	10.40	0.00	10.56	0.00	0.00	0.04	9.00	0.00	0.00	0.24	1.77	1.85	18.58	0.02	26.74	31.50	-8.18	0.20	2240.10	2673.7166	2960.0	
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	1.35	0.00	0.06	2.66	1.40	0.13	8.96	0.00	18.54	0.00	0.00	0.02	7.62	0.00	0.01	0.00	2.40	0.00	28.49	0.03	33.11	38.56	-7.60	0.15	2827.79	3311.4163	3670.0	
2.50	P-3O (FC)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.02	2.71	1.32	0.19	10.27	0.00	20.70	0.00	0.00	0.02	9.39	0.00	0.00	0.00	2.46	0.10	24.06	0.02	36.45	36.05	0.55	0.10	2692.22	3644.9107	3410.0	
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.35	0.00	0.01	2.20	1.15	0.23	8.96	0.00	14.28	0.00	0.00	0.02	8.12	0.00	0.00	0.00	2.31	0.08	19.07	0.01	28.18	29.63	-2.51	0.17	2174.12	2818.065	3100.0	
2.50	P-3C (FC)	0.00	0.00	1.15	0.00	0.02	2.48	1.23	0.19																						

Tabela 5.3.2.5.23. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 6ª Campanha.

Prof. m	01.06.2008	CATIONS														ANIONS										Σ Cátions	Σ Anions	Erro (%)	SiO ₂	TDS	CE Σcations*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻									
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00								
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	61.00	30.00								
0.80	P-5O (FA)	0.00	0.01	2.15	0.00	0.01	1.07	0.81	0.23	6.70	0.00	8.98	0.00	0.00	0.01	3.84	0.00	0.00	0.01	0.75	4.00	12.52	0.01	19.95	21.13	-2.87	0.20	1558.63	1995.50	2100.0		
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.00	6.04	0.00	0.00	0.87	1.07	0.58	6.79	0.00	0.55	0.01	0.00	0.00	3.67	0.15	0.00	8.76	0.29	4.37	1.47	0.00	15.91	18.72	-8.09	0.30	1362.55	1591.45	1717.0		
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.00	2.99	0.00	0.01	0.77	0.82	0.33	6.74	0.00	6.65	0.00	0.00	0.01	3.86	0.02	0.00	0.27	0.08	9.12	7.21	0.00	18.32	20.58	-5.80	0.20	1433.17	1831.85	1929.0		
1.50	P-4O (FA)	0.00	0.00	5.39	0.00	0.00	1.30	1.81	1.16	8.00	0.00	1.53	0.01	0.00	0.00	3.58	0.15	0.00	11.84	0.20	4.68	1.05	0.00	19.21	21.51	-5.64	0.52	1622.93	1921.49	1911.0		
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	5.14	0.00	0.00	0.87	0.79	0.66	7.61	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	3.24	0.16	0.00	7.84	0.21	5.06	0.73	0.00	15.10	17.24	-6.62	0.42	1271.66	1510.26	1597.0		
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	4.84	0.00	0.00	1.33	1.40	1.35	7.26	0.00	1.60	0.01	0.00	0.00	3.72	0.32	0.00	10.81	0.27	5.22	1.06	0.00	17.79	21.41	-9.22	0.53	1576.78	1779.46	1902.0		
2.00	P-3O (FA)	0.19	0.00	17.22	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00	7.53	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	4.71	0.18	0.00	11.16	0.00	0.98	0.02	12.31	26.01	29.38	-6.08	0.03	1848.94	2600.71	4390.0		
2.00	P-3E (FA)	0.06	0.00	6.44	0.00	0.00	0.77	0.51	0.00	7.22	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	4.32	0.11	0.00	7.26	0.00	2.56	0.02	4.25	15.01	18.53	-10.51	0.10	1199.06	1501.00	2200.0		
2.00	P-3C (FA)	0.34	0.00	13.77	0.00	0.00	1.02	0.01	0.00	7.44	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	4.99	0.04	0.00	10.92	0.00	2.14	0.02	6.92	22.61	25.04	-5.11	0.05	1662.17	2260.92	3130.0		
2.50	P-2O (FA)	0.00	0.00	14.37	0.00	0.00	1.02	2.63	0.04	7.39	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	3.53	0.11	0.00	8.71	0.00	3.16	11.74	0.02	25.50	27.28	-3.37	0.40	2096.24	2550.39	2510.0		
2.50	P-2E (FA)	0.00	0.00	16.97	0.00	0.00	0.69	2.47	0.01	6.96	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	3.10	0.00	0.00	7.15	0.00	3.18	16.67	0.03	27.14	30.13	-5.22	0.57	2316.86	2714.41	2530.0		
2.50	P-2C (FA)	0.01	0.00	14.67	0.00	0.00	1.07	3.05	0.01	7.83	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	3.41	0.23	0.00	8.02	0.00	2.81	14.86	0.03	26.68	29.37	-4.79	0.23	2240.37	2668.05	2630.0		
3.60	Z-5O (FA)	0.00	0.00	14.07	0.00	0.00	1.82	1.81	0.00	7.05	0.00	0.12	0.03	0.00	0.01	3.84	0.11	0.00	6.79	0.07	2.87	11.38	0.01	24.90	25.07	-0.35	0.70	1980.22	2489.56	2410.0		
3.60	Z-5E (FA)	0.00	0.00	10.78	0.00	0.00	0.79	1.56	0.00	7.13	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	3.98	0.08	0.00	6.77	0.20	1.69	8.23	0.01	20.30	20.97	-1.60	0.72	1631.77	2030.39	1919.0		
3.60	Z-5C (FA)	0.00	0.00	10.88	0.00	0.00	0.87	3.29	0.00	7.92	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	3.33	0.03	0.00	8.35	0.00	3.35	12.22	0.02	23.01	27.30	-8.53	0.35	2041.23	2301.16	2460.0		
3.70	Z-4O (FA)	0.00	0.00	14.32	0.00	0.00	0.95	1.89	0.00	7.31	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	3.78	0.21	0.00	6.05	0.00	2.81	11.72	0.01	24.53	24.58	-0.11	0.68	1926.90	2452.83	2240.0		
3.70	Z-4E (FA)	0.00	0.00	11.83	0.00	0.00	0.79	1.73	0.00	7.22	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	3.84	0.23	0.00	6.35	0.10	1.89	9.69	0.01	21.61	22.13	-1.20	0.70	1726.49	2160.61	1792.0		
3.70	Z-4C (FA)	0.00	0.00	9.48	0.00	0.00	0.72	2.55	0.00	7.35	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	3.53	0.26	0.00	7.63	0.00	2.93	12.39	0.01	20.15	26.76	-14.09	0.50	1956.98	2014.96	2140.0		
3.80	Z-3O (FA)	0.00	0.00	13.62	0.00	0.00	0.82	1.73	0.00	6.87	0.00	0.09	0.03	0.00	0.01	3.67	0.29	0.00	5.95	0.03	3.12	12.17	0.01	23.17	25.24	-4.27	0.58	1928.29	2317.05	2370.0		
3.80	Z-3E (FA)	0.00	0.00	11.78	0.00	0.00	0.74	1.65	0.00	6.87	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	3.67	0.24	0.00	5.74	0.15	2.04	10.99	0.01	21.08	22.85	-4.03	0.65	1756.15	2107.55	1952.0		
3.80	Z-3C (FA)	0.00	0.00	14.87	0.00	0.00	0.69	2.55	0.00	7.35	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	3.39	0.20	0.00	7.89	0.01	3.08	12.67	0.01	25.53	27.25	-3.26	0.43	2092.89	2552.68	2340.0		
3.90	Z-2O (FA)	0.00	0.00	14.37	0.00	0.03	1.05	1.89	0.03	7.57	0.00	0.55	0.03	0.00	0.00	3.30	0.25	0.00	6.47	0.02	3.35	13.91	0.02	25.53	27.31	-3.38	0.53	2111.64	2552.98	1967.0		
3.90	Z-2E (FA)	0.00	0.00	11.98	0.00	0.00	0.74	1.56	0.01	6.66	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	3.44	0.43	0.00	4.35	0.15	2.12	12.51	0.01	20.99	23.03	-4.62	0.58	1762.09	2099.17	1856.0		
3.90	Z-2C (FA)	0.00	0.00	14.57	0.00	0.00	0.69	2.22	0.00	7.31	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	3.24	0.34	0.00	6.84	0.03	2.89	13.65	0.01	24.85	27.02	-4.18	0.50	2074.53	2485.27	1995.0		
4.00	Z-1O (FA)	0.00	0.01	11.73	0.00	0.01	0.97	1.56	0.14	7.61	0.00	0.91	0.03	0.00	0.00	3.13	0.20	0.00	3.69	0.00	2.46	14.42	0.02	22.97	23.92	-2.02	0.47	1864.65	2297.11	2010.0		
4.00	Z-1E (FA)	0.00	0.00	9.48	0.00	0.01	0.69	1.23	0.06	6.61	0.00	0.29	0.01	0.00	0.00	3.13	0.19	0.00	0.94	0.18	1.39	13.58	0.01	18.40	19.43	-2.73	0.55	1507.28	1839.56	1875.0		
4.00	Z-1C (FA)	0.00	0.00	15.57	0.00	0.00	0.72	1.81	0.03	7.31	0.00	0.58	0.03	0.00	0.00	2.91	0.32	0.00	5.35	0.01	2.96	15.88	0.02	26.05	27.45	-2.62	0.47	2132.33	2604.52	2260.0		
4.00	Z-0 (FA)	0.00	0.00	13.37	0.00	0.00	0.82	1.89	0.05	7.18	0.00	0.27	0.03	0.00	0.00	3.22	0.22	0.00	5.08	0.03	2.41	-	-	23.62	10.96	36.61	0.55	1085.17	2361.65	-		
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.01	13.47	0.00	0.00	0.90	2.14	0.10	7.53	0.00	0.23	0.03	0.00	0.00	3.07	0.03	0.00	5.08	0.02	2.89	13.87	0.01	24.41	24.99	-1.18	0.48	1953.86	2440.57	2200.0		
4.20	P-1C (FA)	0.00	0.01	12.72	0.00	0.00	0.82	1.98	0.10	7.00	0.00	0.24	0.03	0.00	0.00	3.07	0.43	0.00	5.23	0.01	2.87	14.00	0.02	22.90	25.63	-5.62	0.45	1953.60	2289.74	2200.00		
1.85	P-4O (FC)	0.00	0.00	0.85	0.00	0.02	2.12	0.91	0.16	8.09	0.00	14.92	0.00	0.00	0.01	8.38	0.00	0.00	0.00	1.88	0.02	22.58	0.04	27.07	32.90	-9.73	0.12	2344.91	2707.04	4300.0		
1.85	P-4E (FC)	0.01	0.00	1.35	0.00	0.01	2.84	1.07	0.04	9.44	0.00	20.11	0.00	0.00	0.00	9.56	0.00	0.03	0.00	2.60	0.06	23.02	0.04	34.87	35.32	-0.64	0.10	2612.00	3486.60	3430.0		
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	1.10	0.00	0.02	2.40	1.15	0.06	8.96	0.00	19.55	0.00	0.00	0.01	9.53	0.00	0.00	0.00	2.27	0.03	23.12	0.03	33.26	35.01	-2.56	0.13	2558.65	3325.57	3890.0		
2.50	P-3O (FC)	0.00	0.00	1.00	0.00	0.02	2.30	0.99	0.12	9.31	0.00	20.99	0.00	0.00	0.01	10.13	0.00	0.00	0.01	2.17	0.10	24.74	0.03	34.74	37.18	-3.40	0.10	2703.01	3473.65	4270.0		
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.25	0.00	0.03	2.35	1.15	0.13	9.74	0.00	18.52	0.00	0.00	0.01	10.97	0.00	0.00	0.01	2.31	0.14											

Tabela 5.3.2.5.24. Balanço iônico, TDS e CE para as amostras das fossas alternativa (FA) e controle (FC) - 7ª Campanha.

Prof. m	10.09.2008	CATIONS														ANIONS										Σ Cátions	Σ Ânions	Erro (%)	SiO ₂	TDS	CE Σcátions*100 µS/cm	CE campo µS/cm
		Al ³⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺	Ni ²⁺	NH ₄ ⁺	Sr ²⁺	Zn ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻									
		MM	26.98	137.33	40.08	63.55	55.85	39.10	24.30	54.94	22.99	58.69	18.00	87.62	65.41	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	95.98	96.10	61.00	60.00								
		MM/valencia	8.99	68.67	20.04	31.78	27.93	39.10	12.15	27.47	22.99	29.35	18.00	43.81	32.71	19.00	35.45	46.00	79.90	62.00	47.99	48.05	91.00	30.00								
0.80	P-5O (FA)	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00	1.02	0.82	0.29	9.48	0.00	7.62	0.00	0.00	0.01	3.13	0.11	0.00	2.87	0.07	7.95	9.24	0.01	21.45	23.39	-4.32	0.23	1715.26	2145.03	2080.0		
0.80	P-5E (FA)	0.00	0.00	6.59	0.00	0.00	1.00	1.07	0.80	8.13	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	3.39	0.04	0.00	7.19	0.11	5.39	1.65	0.00	17.72	17.78	-0.18	0.47	1356.71	1771.53	1772.0		
0.80	P-5C (FA)	0.00	0.00	3.09	0.00	0.01	0.92	0.99	0.44	9.18	0.00	3.63	0.01	0.00	0.01	3.22	0.37	0.00	6.29	0.08	6.58	3.41	0.00	18.26	19.96	-4.43	0.45	1475.37	1826.26	2030.0		
1.50	P-4O (FA)	0.00	0.00	4.74	0.00	0.00	1.07	1.48	0.95	7.79	0.00	0.69	0.01	0.00	0.00	3.50	0.04	0.00	7.37	0.11	5.52	0.88	0.00	16.73	17.41	-2.00	0.72	1322.70	1673.21	1762.0		
1.50	P-4E (FA)	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.97	1.32	0.76	7.22	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	3.22	0.00	0.00	8.42	0.07	4.18	0.56	0.00	17.45	16.46	2.92	0.63	1298.10	1744.73	1808.0		
1.50	P-4C (FA)	0.00	0.00	4.89	0.00	0.00	1.15	1.56	1.09	8.09	0.00	0.87	0.01	0.00	0.01	3.24	0.05	0.00	8.05	0.09	4.45	0.77	0.00	17.67	16.68	2.88	0.73	1320.53	1766.73	1714.0		
2.00	P-3O (FA)	0.14	0.00	17.07	0.00	0.00	0.95	0.01	0.00	7.26	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02	3.44	0.01	0.00	7.89	0.05	4.99	0.37	11.35	25.47	28.12	-4.95	0.05	1769.62	2546.93	3800.0		
2.00	P-3E (FA)	0.05	0.00	6.74	0.00	0.00	0.90	1.32	0.00	7.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.50	0.04	0.00	8.44	0.00	2.91	0.02	1.07	16.03	15.99	0.12	0.20	1183.23	1603.06	3540.0		
2.00	P-3C (FA)	0.01	0.00	13.77	0.00	0.00	1.02	0.03	0.00	7.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	3.67	0.16	0.00	9.44	0.00	3.12	0.05	3.59	21.88	20.04	4.39	0.13	1470.23	2187.67	4540.0		
2.50	P-2O (FA)	0.00	0.00	13.72	0.00	0.00	0.90	2.39	0.05	7.35	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	2.99	0.06	0.00	6.79	0.00	3.02	9.39	0.01	24.47	22.26	4.73	0.65	1798.35	2447.27	2250.0		
2.50	P-2E (FA)	0.00	0.00	18.76	0.00	0.00	0.79	2.72	0.01	7.13	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	3.33	0.02	0.00	6.79	0.00	2.87	14.52	0.02	29.49	27.57	3.37	0.85	2222.47	2949.04	2390.0		
2.50	P-2C (FA)	0.00	0.00	17.56	0.00	0.00	1.10	4.28	0.01	8.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	3.24	0.20	0.00	7.82	0.00	3.31	8.88	0.01	31.10	23.47	13.99	0.35	1966.63	3109.98	2510.0		
3.60	Z-5O (FA)	0.00	0.00	10.83	0.00	0.00	0.90	1.32	0.01	8.09	0.00	0.05	0.02	0.00	0.02	3.24	0.05	0.00	8.18	0.00	3.75	7.03	0.00	21.20	22.27	-2.46	0.65	1728.62	2120.16	2020.0		
3.60	Z-5E (FA)	0.00	0.00	13.77	0.00	0.00	0.90	1.81	0.00	7.35	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	3.41	0.24	0.00	6.37	0.00	3.56	10.40	0.01	23.87	24.00	-0.27	0.80	1884.26	2387.10	2120.0		
3.60	Z-5C (FA)	0.00	0.00	12.67	0.00	0.00	0.95	1.56	0.01	7.79	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	3.19	0.13	0.00	7.15	0.00	3.70	8.21	0.01	23.02	22.40	1.37	0.88	1784.90	2302.16	2080.0		
3.70	Z-4O (FA)	0.00	0.00	10.38	0.00	0.00	0.90	1.15	0.01	8.09	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	3.22	0.18	0.00	7.10	0.00	3.79	7.52	0.00	20.56	21.81	-2.94	0.63	1685.36	2056.27	2000.0		
3.70	Z-4E (FA)	0.00	0.00	13.22	0.00	0.00	0.90	1.73	0.00	7.39	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.41	0.26	0.00	6.18	0.00	3.52	10.03	0.01	23.27	23.42	-0.31	0.82	1838.65	2327.30	2110.0		
3.70	Z-4C (FA)	0.00	0.00	12.38	0.00	0.00	0.92	1.56	0.01	7.83	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	3.22	0.24	0.00	5.92	0.00	3.60	8.93	0.01	22.72	21.92	1.80	0.88	1747.22	2272.18	2050.0		
3.80	Z-3O (FA)	0.00	0.00	11.48	0.00	0.00	0.79	1.23	0.03	7.79	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	3.16	0.22	0.00	6.10	0.00	3.83	7.82	0.00	21.35	21.14	0.50	0.92	1673.38	2135.07	1949.0		
3.80	Z-3E (FA)	0.00	0.00	13.22	0.00	0.00	0.90	1.73	0.01	7.26	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	3.36	0.24	0.00	5.60	0.00	3.35	10.50	0.01	23.14	23.06	0.19	0.82	1817.03	2314.32	2080.0		
3.80	Z-3C (FA)	0.00	0.00	12.13	0.00	0.00	0.87	1.48	0.01	7.57	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.27	0.20	0.00	5.34	0.01	3.79	9.61	0.01	22.09	22.23	-0.31	0.87	1747.90	2209.42	1989.0		
3.90	Z-2O (FA)	0.00	0.00	11.33	0.00	0.00	0.79	1.23	0.05	7.57	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.22	0.22	0.00	4.85	0.00	3.56	8.53	0.01	21.01	20.39	1.49	0.88	1619.35	2100.87	1858.0		
3.90	Z-2E (FA)	0.00	0.00	13.12	0.00	0.00	0.84	1.73	0.02	7.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	3.10	0.20	0.00	3.47	0.00	2.85	12.07	0.01	22.78	21.71	2.41	0.78	1735.31	2278.19	2010.0		
3.90	Z-2C (FA)	0.00	0.00	12.97	0.00	0.00	0.90	1.65	0.01	7.39	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.39	0.17	0.00	5.94	0.00	3.58	10.04	0.01	22.96	23.13	-0.36	0.82	1816.36	2295.89	2050.0		
4.00	Z-1O (FA)	0.00	0.00	10.93	0.00	0.00	0.79	1.23	0.13	7.26	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	3.22	0.17	0.00	3.61	0.00	3.10	9.24	0.01	20.40	19.35	2.65	0.77	1542.06	2040.31	1830.0		
4.00	Z-1E (FA)	0.00	0.01	12.33	0.00	0.01	0.82	1.73	0.15	6.66	0.00	0.11	0.02	0.00	0.00	3.05	0.07	0.00	0.90	0.00	1.62	14.71	0.01	21.84	20.37	3.48	0.70	1646.42	2184.01	1861.0		
4.00	Z-1C (FA)	0.00	0.00	13.07	0.00	0.00	0.79	1.65	0.05	7.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	3.44	0.12	0.00	5.05	0.00	3.18	10.46	0.01	22.65	22.26	0.85	0.72	1752.61	2264.50	2040.0		
4.00	Z-0 (FA)	0.00	0.01	9.98	0.00	0.00	0.92	1.15	0.11	7.44	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	3.33	0.16	0.00	3.77	0.00	3.20	10.19	0.01	19.67	20.67	-2.48	0.55	1594.24	1966.98	1847.0		
4.20	P-1E (FA)	0.00	0.01	11.23	0.00	0.00	0.84	1.56	0.13	6.96	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	3.02	0.00	0.00	3.94	0.03	2.64	9.54	0.01	20.79	19.18	4.02	0.72	1547.65	2078.89	1835.0		
4.20	P-1C (FA)	0.00	0.01	11.13	0.00	0.00	0.84	1.56	0.11	7.18	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	3.13	0.01	0.00	3.85	0.02	2.79	9.07	0.01	20.88	18.88	5.03	0.73	1527.85	2087.98	1816.00		
1.85	P-4O (FC)	0.00	0.00	0.90	0.00	0.05	2.33	0.99	0.13	8.26	0.00	25.30	0.00	0.00	0.01	9.00	0.00	0.00	0.00	1.19	0.02	28.26	0.04	37.96	38.53	-0.74	0.16	2883.91	3796.35	4090.0		
1.85	P-4E (FC)	0.01	0.00	0.95	0.00	0.02	2.15	0.99	0.07	8.26	0.00	24.69	0.00	0.00	0.01	8.91	0.00	0.00	0.00	0.92	0.46	17.29	0.02	37.13	27.61	14.70	0.14	2198.08	3712.98	3920.0		
1.85	P-4C (FC)	0.00	0.00	1.30	0.00	0.02	2.48	1.23	0.07	8.61	0.00	28.27	0.00	0.00	0.01	9.53	0.00	0.00	0.00	0.98	0.00	33.37	0.04	41.99	43.94	-2.27	0.17	3280.03	4199.39	3870.0		
2.50	P-3O (FC)	0.01	0.00	0.85	0.00	0.04	2.17	0.99	0.10	8.22	0.00	24.53	0.00	0.00	0.00	8.86	0.00	0.00	0.00	1.48	0.04	26.90	0.03	36.91	37.31	-0.55	0.13	2785.60	3690.69	4010.0		
2.50	P-3E (FC)	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	2.17	0.91	0.12	8.26	0.00	25.57	0.00	0.00	0.01	8.97	0.00	0.00	0.00	1.33	0.02											

Tabela 5.3.2.5.25. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 1ª campanha.

Aug-07							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniaco	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	0.80	P-5O	88.7	88.70	0.10	0.47	0.00
A	0.80	P-5E	66.0	70.00	0.10	0.61	0.00
A	0.80	P-5C	78.6	78.60	0.10	0.36	0.00
A	1.50	P-4O	67.9	67.90	0.10	0.43	0.98
A	1.50	P-4E	40.6	44.00	0.10	19.70	1.75
A	1.50	P-4C	26.5	26.50	0.10	36.40	0.37
A	2.00	P-3O	1.0	1.22	0.10	46.10	1.55
A	2.00	P-3E	6.0	6.40	0.10	28.10	3.90
A	2.00	P-3C	1.2	1.20	0.10	49.20	1.95
A	2.50	P-2O	9.9	12.00	0.10	23.80	7.05
A	2.50	P-2E	15.5	15.50	0.10	25.20	4.70
A	2.50	P-2C	13.0	13.00	0.10	25.90	3.50
A	3.60	Z-5O	-	-	-	-	-
A	3.60	Z-5E	9.0	9.00	0.10	23.70	8.50
A	3.60	Z-5C	2.4	2.68	0.10	34.00	4.55
A	3.70	Z-4O	0.1	1.03	0.10	40.00	5.20
A	3.70	Z-4E	-	-	-	-	-
A	3.70	Z-4C	-	-	-	-	-
A	3.80	Z-3O	1.0	0.98	0.10	30.60	7.05
A	3.80	Z-3E	12.0	12.00	0.10	1.55	8.75
A	3.80	Z-3C	2.5	2.96	0.10	30.00	4.35
A	3.90	Z-2O	-	-	-	-	-
A	3.90	Z-2E	-	-	-	-	-
A	3.90	Z-2C	-	-	-	-	-
A	4.00	Z-1O	1.0	2.04	1.04	24.80	7.00
A	4.00	Z-1E	5.9	8.80	0.10	12.50	4.90
A	4.00	Z-1C	2.1	2.64	0.10	29.00	3.25
A	4.20	P-1E	5.0	6.40	0.10	21.60	6.40
A	4.20	P-1C	4.1	5.60	0.10	20.80	5.80
C	1.85	P-4O	71.0	71.00	0.10	2.56	0.16
C	1.85	P-4E	233.0	262.00	0.10	68.50	12.60
C	1.85	P-4C	277.0	277.00	0.10	0.06	0.00
C	2.50	P-3O	36.0	36.00	0.10	55.00	0.08
C	2.50	P-3E	491.0	510.00	0.10	2.08	0.00
C	2.50	P-3C	236.0	240.00	0.10	3.00	2.55
C	3.50	P-2O	0.1	0.13	0.10	14.30	0.15
C	3.50	P-2E	18.9	20.00	0.10	21.00	2.00
C	3.50	P-2C	2.7	3.04	0.10	3.80	2.10
C	4.50	P-1O	2.6	3.30	0.10	138.00	0.16
C	4.50	P-1E	138.0	138.00	0.10	23.50	54.00
C	4.50	P-1C	57.0	57.00	0.10	59.40	13.60

Tabela 5.3.2.5.26. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 3ª campanha.

Nov-07							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniaco	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	1.25	P-5O	136.00	152.00	0.10	2.65	0.00
A	1.25	P-5E	94.00	94.00	0.10	1.68	0.00
A	1.25	P-5C	55.00	59.00	0.10	2.07	0.08
A	1.75	P-4O	26.00	27.50	0.10	107.00	0.59
A	1.75	P-4E	21.50	23.00	0.10	144.00	0.60
A	1.75	P-4C	31.50	32.00	0.10	140.00	1.18
A	2.25	P-3O	0.52	0.84	0.10	118.00	1.06
A	2.25	P-3E	1.16	1.64	0.48	111.00	0.05
A	2.25	P-3C	0.68	0.96	0.10	128.00	0.90
A	2.70	P-2O	1.17	2.04	0.87	64.00	29.50
A	2.70	P-2E	1.56	2.14	0.58	66.00	11.50
A	2.70	P-2C	2.70	2.76	0.10	152.00	22.50
A	3.60	Z-5O	0.31	0.64	0.10	91.00	0.03
A	3.60	Z-5E	0.35	0.66	0.10	88.10	1.92
A	3.60	Z-5C	0.56	0.88	0.10	126.00	4.64
A	3.70	Z-4O	0.86	1.30	0.44	94.00	0.10
A	3.70	Z-4E	0.96	1.40	0.44	57.00	5.51
A	3.70	Z-4C	0.92	1.52	0.60	103.00	11.90
A	3.80	Z-3O	1.06	1.44	0.10	86.50	14.50
A	3.80	Z-3E	1.80	2.08	0.10	32.70	9.78
A	3.80	Z-3C	1.66	2.30	0.64	73.60	22.90
A	3.90	Z-2O	0.97	1.72	0.75	74.40	19.60
A	3.90	Z-2E	1.88	2.52	0.10	47.90	20.60
A	3.90	Z-2C	1.52	2.40	0.88	87.20	32.80
A	4.00	Z-1O	0.90	1.62	0.72	77.00	25.00
A	4.00	Z-1E	1.22	1.92	0.70	73.00	25.50
A	4.00	Z-1C	0.99	1.60	0.61	114.00	22.60
A	4.5	P-1E	0.23	0.94	0.71	114.00	10.10
A	4.50	P-1C	0.99	1.54	0.55	110.00	11.80
C	2.2	P-4O	214.00	228.00	0.10	0.47	0.00
C	2.2	P-4E	109.00	120.00	0.10	27.50	0.08
C	2.2	P-4C	149.00	174.00	0.10	3.40	0.00
C	2.7	P-3O	285.00	308.00	0.10	0.64	0.00
C	2.7	P-3E	222.00	252.00	0.10	4.64	0.31
C	2.7	P-3C	222.00	248.00	0.10	0.71	0.00
C	3.75	P-2O	66.00	86.00	0.10	0.06	0.10
C	3.75	P-2E	104.00	136.00	0.10	0.38	0.22
C	3.75	P-2C	136.00	136.00	0.10	0.06	0.09
C	4.75	P-1O	188.00	194.00	0.10	0.34	0.00
C	4.75	P-1E	182.00	182.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1C	208.00	210.00	0.10	0.47	0.00

Tabela 5.3.2.5.27. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 4ª campanha.

Jan-08							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniaco	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	1.25	P-5O	122.00	130.00	0.10	0.62	0.00
A	1.25	P-5E	110.00	110.00	0.10	0.49	0.00
A	1.25	P-5C	119.00	119.00	0.10	0.70	0.00
A	1.75	P-4O	150.00	156.00	0.10	1.02	0.11
A	1.75	P-4E	44.50	44.50	0.10	126.00	0.00
A	1.75	P-4C	101.00	101.00	0.10	36.10	0.24
A	2.25	P-3O	0.51	0.51	0.10	128.00	2.90
A	2.25	P-3E	0.44	0.74	0.10	111.00	2.10
A	2.25	P-3C	1.62	1.90	0.10	126.00	4.95
A	2.70	P-2O	0.51	0.58	0.10	98.40	11.60
A	2.70	P-2E	0.06	0.47	0.47	85.20	1.30
A	2.70	P-2C	1.86	1.96	0.10	134.00	13.20
A	3.60	Z-5O	0.22	0.13	0.10	1.57	0.50
A	3.60	Z-5E	39.00	42.00	0.10	15.80	2.08
A	3.60	Z-5C	0.20	0.70	0.50	0.98	1.43
A	3.70	Z-4O	0.31	0.76	0.45	0.06	2.23
A	3.70	Z-4E	28.00	28.00	0.10	15.00	1.05
A	3.70	Z-4C	1.62	1.90	0.10	0.06	2.70
A	3.80	Z-3O	0.29	0.40	0.10	97.00	4.05
A	3.80	Z-3E	23.50	23.50	0.10	28.50	1.25
A	3.80	Z-3C	11.50	11.50	0.10	89.80	2.70
A	3.90	Z-2O	0.53	0.54	0.10	82.00	5.55
A	3.90	Z-2E	28.80	32.00	0.10	44.80	2.25
A	3.90	Z-2C	20.20	24.40	0.10	84.90	3.08
A	4.00	Z-1O	0.49	0.49	0.10	0.06	13.60
A	4.00	Z-1E	11.40	15.20	0.10	17.80	3.80
A	4.00	Z-1C	4.30	5.75	0.10	32.20	3.48
A	4.5	P-1E	2.75	2.75	0.10	0.06	5.95
A	4.50	P-1C	3.70	3.70	0.10	0.06	5.75
C	2.2	P-4O	260.00	228.00	0.10	2.58	0.52
C	2.2	P-4E	200.00	200.00	0.10	1.33	0.00
C	2.2	P-4C	228.00	228.00	0.10	0.67	0.00
C	2.7	P-3O	330.00	330.00	0.10	0.84	0.00
C	2.7	P-3E	248.00	248.00	0.10	0.99	0.00
C	2.7	P-3C	288.00	288.00	0.10	0.70	0.00
C	3.75	P-2O	146.00	146.00	0.10	0.38	0.00
C	3.75	P-2E	170.00	170.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2C	154.00	162.00	0.10	1.26	0.00
C	4.75	P-1O	216.00	216.00	0.10	0.74	0.00
C	4.75	P-1E	192.00	192.00	0.10	0.90	0.00
C	4.75	P-1C	192.00	192.00	0.10	0.97	0.00

Tabela 5.3.2.5.28. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 5ª campanha.

Mar-08							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniaco	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	1.25	P-5O	134.00	134.00	0.10	14.60	4.30
A	1.25	P-5E	18.30	18.30	0.10	106.00	8.70
A	1.25	P-5C	94.00	95.00	0.10	27.80	14.20
A	1.75	P-4O	79.00	79.00	0.10	73.00	2.50
A	1.75	P-4E	9.50	9.50	0.10	126.00	1.50
A	1.75	P-4C	67.00	67.00	0.10	71.70	2.10
A	2.25	P-3O	0.25	0.13	0.10	175.00	2.00
A	2.25	P-3E	0.23	0.13	0.10	130.00	1.08
A	2.25	P-3C	0.27	0.13	0.10	323.00	2.70
A	2.70	P-2O	0.32	0.13	0.10	165.00	2.63
A	2.70	P-2E	0.22	0.13	0.10	110.00	0.90
A	2.70	P-2C	0.35	0.13	0.10	134.00	4.00
A	3.60	Z-5O	0.87	0.87	0.10	155.00	0.36
A	3.60	Z-5E	0.72	0.72	0.10	91.80	1.73
A	3.60	Z-5C	0.06	0.13	0.10	119.00	0.34
A	3.70	Z-4O	15.00	15.00	0.10	129.00	0.83
A	3.70	Z-4E	0.67	0.67	0.10	59.70	3.85
A	3.70	Z-4C	0.21	0.13	0.10	91.00	0.78
A	3.80	Z-3O	32.50	32.50	0.10	93.30	1.70
A	3.80	Z-3E	0.43	0.43	0.10	94.60	4.95
A	3.80	Z-3C	0.51	0.51	0.10	103.00	0.53
A	3.90	Z-2O	41.00	41.00	0.10	64.00	1.95
A	3.90	Z-2E	0.37	0.13	0.10	38.20	6.80
A	3.90	Z-2C	1.11	1.11	0.10	92.60	1.40
A	4.00	Z-1O	24.00	24.00	0.10	51.70	3.33
A	4.00	Z-1E	2.70	4.60	0.10	14.00	2.25
A	4.00	Z-1C	5.30	5.30	0.10	46.10	1.43
A	4.5	P-1E	7.30	7.30	0.10	77.20	2.28
A	4.50	P-1C	6.80	6.80	0.10	89.30	2.20
C	2.2	P-4O	240.00	265.00	0.10	1.06	0.00
C	2.2	P-4E	148.00	175.00	0.10	19.10	0.00
C	2.2	P-4C	260.00	305.00	0.10	1.83	0.00
C	2.7	P-3O	290.00	365.00	0.10	0.77	0.00
C	2.7	P-3E	200.00	205.00	0.10	1.13	0.00
C	2.7	P-3C	270.00	305.00	0.10	0.65	0.00
C	3.75	P-2O	218.00	245.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2E	183.00	220.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2C	188.00	250.00	0.10	0.32	0.00
C	4.75	P-1O	233.00	238.00	0.10	0.74	0.00
C	4.75	P-1E	178.00	200.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1C	193.00	210.00	0.10	0.49	0.00

Tabela 5.3.2.5.29. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 6ª campanha.

Jun-08							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniacoal	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	1.25	P-5O	126.00	128.00	0.10	0.06	0.00
A	1.25	P-5E	7.75	7.75	0.10	112.00	2.13
A	1.25	P-5C	93.00	97.00	0.10	6.01	0.24
A	1.75	P-4O	21.30	21.30	0.10	149.00	2.15
A	1.75	P-4E	0.32	0.13	0.10	104.00	2.17
A	1.75	P-4C	22.30	22.30	0.10	145.00	4.40
A	2.25	P-3O	0.39	0.13	0.10	125.00	2.53
A	2.25	P-3E	0.23	0.13	0.10	84.40	1.57
A	2.25	P-3C	0.21	0.13	0.10	160.00	0.52
A	2.70	P-2O	0.06	0.13	0.10	112.00	1.57
A	2.70	P-2E	0.27	0.13	0.10	87.50	0.00
A	2.70	P-2C	0.06	0.13	0.10	120.00	3.23
A	3.60	Z-5O	1.70	1.70	0.10	64.50	1.48
A	3.60	Z-5E	0.21	0.13	0.10	96.30	1.17
A	3.60	Z-5C	0.25	0.13	0.10	111.00	0.35
A	3.70	Z-4O	0.39	0.13	0.10	60.00	2.93
A	3.70	Z-4E	0.23	0.13	0.10	81.80	3.25
A	3.70	Z-4C	0.31	0.13	0.10	82.40	3.57
A	3.80	Z-3O	1.28	1.28	0.10	70.80	4.00
A	3.80	Z-3E	0.24	0.13	0.10	74.70	3.30
A	3.80	Z-3C	0.39	0.13	0.10	91.30	2.73
A	3.90	Z-2O	7.70	7.70	0.10	74.90	3.45
A	3.90	Z-2E	0.39	0.13	0.10	29.80	6.00
A	3.90	Z-2C	0.39	0.13	0.10	76.80	4.75
A	4.00	Z-1O	12.80	12.80	0.10	47.10	2.73
A	4.00	Z-1E	4.05	6.10	0.10	18.20	2.65
A	4.00	Z-1C	8.20	8.20	0.10	57.10	4.40
A	4.5	P-1E	3.25	3.25	0.10	69.00	0.41
A	4.50	P-1C	3.30	3.30	0.10	68.00	6.00
C	2.2	P-4O	210.00	280.00	0.10	0.06	0.00
C	2.2	P-4E	283.00	333.00	0.10	6.60	0.00
C	2.2	P-4C	275.00	300.00	0.10	0.06	0.00
C	2.7	P-3O	295.00	310.00	0.10	0.06	0.00
C	2.7	P-3E	260.00	275.00	0.10	0.06	0.00
C	2.7	P-3C	295.00	305.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2O	240.00	240.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2E	195.00	195.00	0.10	0.06	0.00
C	3.75	P-2C	228.00	243.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1O	290.00	315.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1E	248.00	263.00	0.10	0.50	0.00
C	4.75	P-1C	285.00	290.00	0.10	0.06	0.00

Tabela 5.3.2.5.30. Resultados da Série Nitrogenada para FA e FC na 7ª campanha.

Sep-08							
Fossa	Prof. (m)	Instrumento	N-amoniaco	TKN	Norg	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻
A	1.25	P-5O	107.00	107.00	0.10	50.60	1.40
A	1.25	P-5E	1.58	1.58	0.10	113.00	0.50
A	1.25	P-5C	50.80	54.00	0.10	95.50	10.50
A	1.75	P-4O	9.64	9.64	0.10	98.00	0.47
A	1.75	P-4E	0.26	0.13	0.10	114.00	0.40
A	1.75	P-4C	12.10	12.10	0.10	120.00	0.60
A	2.25	P-3O	0.85	0.85	0.10	114.00	6.40
A	2.25	P-3E	0.06	0.13	0.10	115.00	1.48
A	2.25	P-3C	0.06	0.13	0.10	127.00	8.10
A	2.70	P-2O	0.54	0.54	0.10	115.00	2.03
A	2.70	P-2E	0.51	0.51	0.10	95.00	0.42
A	2.70	P-2C	0.06	0.13	0.10	107.00	6.30
A	3.60	Z-5O	0.63	0.63	0.10	103.00	0.45
A	3.60	Z-5E	0.20	0.13	0.10	86.80	3.20
A	3.60	Z-5C	0.28	0.13	0.10	96.30	1.73
A	3.70	Z-4O	0.22	0.13	0.10	99.00	2.98
A	3.70	Z-4E	0.06	0.13	0.10	95.30	3.70
A	3.70	Z-4C	0.06	0.13	0.10	83.70	3.80
A	3.80	Z-3O	0.23	0.13	0.10	82.70	3.30
A	3.80	Z-3E	0.06	0.13	0.10	83.40	3.60
A	3.80	Z-3C	0.22	0.13	0.10	71.60	3.38
A	3.90	Z-2O	0.25	0.13	0.10	68.40	3.65
A	3.90	Z-2E	0.53	0.58	0.10	57.50	3.50
A	3.90	Z-2C	0.22	0.41	0.10	80.90	2.63
A	4.00	Z-1O	0.41	0.42	0.10	41.70	2.80
A	4.00	Z-1E	1.61	1.74	0.10	20.00	1.00
A	4.00	Z-1C	0.06	0.13	0.10	64.30	1.73
A	4.5	P-1E	0.40	0.41	0.10	65.00	0.11
A	4.50	P-1C	0.31	0.13	0.10	61.00	0.16
C	2.2	P-4O	356.00	423.00	0.10	3.50	0.00
C	2.2	P-4E	347.00	362.00	0.10	5.70	0.00
C	2.2	P-4C	397.00	429.00	0.10	2.60	0.00
C	2.7	P-3O	344.00	354.00	0.10	4.25	0.00
C	2.7	P-3E	359.00	371.00	0.10	3.40	0.00
C	2.7	P-3C	341.00	374.00	0.10	4.20	0.00
C	3.75	P-2O	333.00	345.00	0.10	0.95	0.00
C	3.75	P-2E	330.00	342.00	0.10	0.64	0.00
C	3.75	P-2C	309.00	319.00	0.10	0.67	0.00
C	4.75	P-1O	338.00	391.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1E	359.00	371.00	0.10	0.06	0.00
C	4.75	P-1C	347.00	420.00	0.10	0.06	0.00

Tabela 5.3.2.5.31. Resultados de COD para FA e FC para todas as campanhas.

Prof. (m)	Instrumento	7/30/2007	9/10/2007	11/20/2007	1/29/2008	3/30/2008	6/2/2008	9/10/2008
		COD mg C/L	COD mg C/L	COD mg C/L	COD mg C/L	COD mg C/L	COD mg C/L	COD mg C/L
1.25	P-5O (FA)	94.5	160.2	-	33.4	22.4	33.5	23.7
1.25	P-5E (FA)	79.1	174.1	29.4	17.1	11.2	10.8	12.5
1.25	P-5C (FA)	83.7	145.9	33.0	28.4	17.3	20.8	16.0
1.75	P-4O (FA)	37.1	49.6	-	15.3	11.7	9.5	10.1
1.75	P-4E (FA)	28.6	41.9	17.2	11.9	10.8	9.2	9.6
1.75	P-4C (FA)	24.6	18.5	19.0	18.1	14.7	9.1	12.3
2.25	P-3O (FA)	20.3	9.0	-	8.2	6.6	6.3	7.6
2.25	P-3E (FA)	23.0	12.9	9.2	8.5	3.9	5.8	4.8
2.25	P-3C (FA)	16.9	9.2	8.6	11.6	-	7.9	6.9
2.70	P-2O (FA)	20.7	25.0	-	12.5	7.1	7.5	9.1
2.70	P-2E (FA)	7.9	14.6	12.6	6.5	6.6	7.9	10.5
2.70	P-2C (FA)	5.8	23.5	14.3	10.5	6.9	8.7	9.2
3.60	Z-5O (FA)	-	-	-	2.2	4.9	10.2	10.3
3.60	Z-5E (FA)	18.1	-	9.1	17.5	7.5	9.2	10.8
3.60	Z-5C (FA)	34.5	-	14.2	5.6	5.1	5.7	9.9
3.70	Z-4O (FA)	32.6	34.1	21.5	9.6	6.5	10.7	11.3
3.70	Z-4E (FA)	-	17.1	16.1	20.2	7.0	10.0	10.4
3.70	Z-4C (FA)	-	42.7	17.5	11.5	5.5	6.9	10.4
3.80	Z-3O (FA)	38.3	-	26.0	10.3	6.6	10.5	12.6
3.80	Z-3E (FA)	28.2	-	21.3	19.7	8.5	8.8	11.9
3.80	Z-3C (FA)	46.4	-	19.1	12.1	8.7	7.0	12.3
3.90	Z-2O (FA)	-	-	28.3	10.8	10.2	9.9	16.6
3.90	Z-2E (FA)	-	-	25.2	20.3	7.4	11.0	14.3
3.90	Z-2C (FA)	-	-	27.9	15.4	-	9.0	12.9
4.00	Z-1O (FA)	60.1	60.4	27.0	15.4	13.0	14.3	14.5
4.00	Z-1E (FA)	47.3	60.8	27.2	19.8	13.0	22.6	17.3
4.00	Z-1C (FA)	20.9	45.5	26.0	18.3	9.5	11.3	11.9
4.50	P-1E (FA)	55.9	59.0	10.3	11.8	11.6	10.8	12.0
4.50	P-1C (FA)	43.4	56.6	12.2	12.7	10.2	10.5	13.5
2.20	P-4O (FC)	24.9	106.0	-	34.5	-	60.3	65.6
2.20	P-4E (FC)	-	-	22.2	19.2	25.8	101.5	61.4
2.20	P-4C (FC)	214.5	164.6	24.6	24.6	35.4	61.5	60.3
2.70	P-3O (FC)	10.8	174.9	-	5.8	-	44.7	47.5
2.70	P-3E (FC)	323.5	254.5	24.7	6.9	22.2	43.8	44.6
2.70	P-3C (FC)	188.4	238.6	26.9	32.0	33.1	40.7	53.9
3.75	P-2O (FC)	-	7.1	-	6.9	21.3	34.3	35.7
3.75	P-2E (FC)	8.6	39.7	-	6.2	-	38.0	37.8
3.75	P-2C (FC)	-	12.7	12.3	7.1	-	32.2	35.2
4.75	P-1O (FC)	15.3	56.8	-	-	24.0	45.6	46.5
4.75	P-1E (FC)	56.4	105.1	-	-	19.8	41.8	45.1
4.75	P-1C (FC)	34.9	47.6	22.8	-	22.1	44.5	50.1

Tabela 5.3.2.5.32. Resultados de concentrações de gases e isótopos para FA e FC.

Prof. (m)	Instrumento	30.03.2008 (t= 285 dias)								
		CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂ O (%)	O ₂ (%)	δ ¹³ C-CO ₂ (‰)	δ ¹³ C-CH ₄ (‰)	δ ¹⁵ N-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-O ₂ (‰)
1.25	G-5C (FA)	6.0	0.0	0.0	11.8	-16.0	-13.8	-23.1	32.2	27.5
1.75	G-4C (FA)	5.1	0.0	0.0	4.7	-20.5	-23.5	-16.7	41.5	23.4
2.25	G-3C (FA)	5.8	0.0	0.0	4.6	-22.7	-21.0	-16.6	43.3	23.9
2.70	G-2C (FA)	6.6	0.0	0.0	3.7	-20.6	-33.0	-16.6	44.0	25.5
4.50	G-1C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.20	G-4C (C)	26.3	32.1	0.0	0.3	-23.4	-	-	-	-
2.70	G-3C (C)	12.7	5.1	0.0	0.4	-20.7	-39.5	-10.2	38.6	0
3.75	G-2C (C)	15.5	2.7	0.0	0.5	-21.0	-41.1	-13.0	35.8	0
4.75	G-1C (C)	14.4	0.9	0.0	0.2	-21.0	-43.9	-9.1	39.9	0
Prof. (m)	Instrumento	01.06.2008 (t= 346 dias)								
		CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	N ₂ O (%)	O ₂ (%)	δ ¹³ C-CO ₂ (‰)	δ ¹³ C-CH ₄ (‰)	δ ¹⁵ N-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-N ₂ O (‰)	δ ¹⁸ O-O ₂ (‰)
1.25	G-5C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.75	G-4C (FA)	5.6	0.0	0.0	5.3	-18.1	-30.8	-19.6	42.0	23.0
2.25	G-3C (FA)	5.4	0.0	0.0	5.6	-21.9	-11.4	-18.7	43.4	24.1
2.70	G-2C (FA)	6.1	0.0	0.0	4.4	-20.4	-17.4	-18.7	43.7	24.7
4.50	G-1C (FA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.20	G-4C (C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.70	G-3C (C)	11.7	7.1	0.0	0.3	-16.8	-36.8	-22.9	29.7	0
3.75	G-2C (C)	15.9	4.0	0.0	0.2	-18.0	-37.1	-29.4	28.7	0
4.75	G-1C (C)	12.7	2.4	0.0	0.2	-18.6	-37.3	-26.0	28.1	0

Tabela 5.3.2.5.31. Resultados de isótopos ¹⁵N e ¹⁸O em nitrato dissolvido na água para FA e FC.

Fossa	Prof. (m)	Instrumento	30/3/2008						1/6/2008				
			[NO ₃] mg/L	[NH ₄ ⁺] mg/L	δ ¹⁵ N _{NO3} (‰)	δ ¹⁸ O _{NO3} (‰)	δ ¹⁵ N _{NH4} (‰)		[NO ₃] mg/L	[NH ₄ ⁺] mg/L	δ ¹⁵ N _{NO3} (‰)	δ ¹⁸ O _{NO3} (‰)	δ ¹⁵ N _{NH4} (‰)
A	1.25	P-5C	27.8	121.0	29.1	-	9.9		6.0	119.6	26.7	-	9.8
A	1.75	P-4C	71.7	86.4	13.9	5.5	32.8		145.0	28.8	11.9	3.0	32.5
A	2.25	P-3C	323.0	0.0	15.5	4.6	-		160.0	0.0	13.5	1.9	-
A	2.70	P-2C	134.0	0.5	16.2	3.7	-		120.0	0.1	18.7	4.8	-
A	3.60	Z-5C	119.0	0.1	16.0	4.1	-		111.0	0.3	14.3	1.8	-
A	3.80	Z-3C	103.0	0.7	17.1	4.5	-		91.3	0.5	17.2	3.9	16.8
A	4.00	Z-1C	46.1	6.8	19.4	7.0	14.4		57.1	10.5	22.9	6.7	13.8
A	4.50	P-1C	89.3	8.7	22.5	8.6	15.3		68.0	4.2	20.0	5.5	27.8
C	2.20	P-4C	8.1	333.8	-	-	6.0		0.3	351.9	-	-	14.4
C	2.70	P-3C	2.9	346.8	-	-	7.6		0.3	378.1	-	-	10.9
C	3.75	P-2C	1.4	240.9	-	-	8.7		0.3	292.9	-	-	10.3
C	4.75	P-1C	2.2	248.2	-	-	7.1		0.3	365.8	-	-	11.1

ANEXO IV

MAPA POTENCIOMÉTRICO DA ÁREA DE ESTUDOS

ANEXO V

PANFLETO COM ORIENTAÇÕES PARA USO DA ÁGUA DE
POÇOS CACIMBA

O que fizemos até agora no seu bairro: olhamos as condições sanitárias dos seus poços, analisando a água de alguns deles quanto a seu conteúdo de bactérias. Isso permite verificar se o jeito de se construir e operar um poço pode afetar a qualidade da água que vocês consomem.

Resultados: a água consumida no Bairro Jardim Santo Antônio indicou presença de bactérias.

O que isso significa? A presença de certas bactérias pode significar que há agente infeccioso, isto é, que você (e principalmente suas crianças!) tem chances de ficar doente, se não adotar algumas medidas de prevenção.

Examine a qualidade da sua água regularmente: Pegue um copo de vidro transparente e encha com água do seu poço.

A ÁGUA está TURVA, com COR ou CHEIRO???

Se a resposta for SIM para pelo menos um desses aspectos, você tem um poço com sérios problemas. Construa outro poço e até lá pegue a água de beber e de cozinhar do seu vizinho, **não se esquecendo** de seguir as indicações de desinfecção apresentadas por esse panfleto.

Se a resposta for NÃO para esses três aspectos, siga as orientações de desinfecção da água de beber e de cozinhar deste panfleto.

Caso a água NÃO apresente nenhum desses problemas, então você pode usar a água do poço sem qualquer tratamento para:

- Lavar quintal, louças, roupas;
- Tomar banho;
- Dar de beber aos animais;
- Irrigar plantações.

ORIENTAÇÕES PARA DESINFECÇÃO DA ÁGUA DE BEBER E DE COZINHAR

FILTRAÇÃO

Antes ou de clorar sua água, prefira filtrá-la com filtro de barro. Se você notar que a água está com um pouco de terra, passe a água primeiro em um tecido fino de algodão limpo para remover o grosso do material. Limpe seu filtro de barro de 15 em 15 dias, utilizando 1 litro de água para cada colher de sopa de água sanitária. Depois lave só com água para retirar o excesso da água sanitária.

FERVURA

Se você for preparar mamadeiras ou comida para **bebês e crianças pequenas**, recomenda-se que ela seja filtrada e depois fervida durante pelo menos 5 minutos.

Se você não puder clorar sua água para consumo próprio, recomenda-se também a fervura da água por pelo menos 5 minutos.

CLORAÇÃO

Desinfecção de água de beber e de cozinhar

A cada **1 litro** de água, coloque 2 gotas de água sanitária ou de hipoclorito de sódio (frasco distribuído no posto de saúde).

Se você usar **20 litros**, coloque 1 colher de sopa de água sanitária.

Para os dois casos acima, misture bem a água e, após 30 minutos, ela poderá ser consumida.

Atenção: Mantenha a água sanitária ou o hipoclorito de sódio fora do alcance de crianças.

Tratamento de poços cacimbas

Você pode construir um clorador para o seu poço de forma rápida e barata:

- 1) Pegue uma garrafa plástica de 1,5 ou 2 litros (como a de refrigerante) e areia de construção;
- 2) Coloque a areia depois de lavada e seca dentro da garrafa até um pouco acima da metade;
- 3) Com a ajuda de um funil, coloque 3 copos de água sanitária dentro da garrafa, tampe-a e agite bastante;
- 4) Amarre um fio de varal no gargalo da garrafa;
- 5) Com uma caneta ou prego, faça dois furos um de um lado e outro do outro na garrafa e dois dedos acima do nível da areia;
- 6) Coloque a garrafa abaixo do nível da água, na mesma profundidade que a bomba só que longe de onde ela está.

A garrafa deve ser trocada a cada **10 dias**. Você pode reaproveitar a garrafa bem como a areia, desde que lave e seque tudo novamente.

Atenção: Mantenha o clorador fora do alcance de crianças.

Limpeza da caixa d'água

- 1) Feche o registro da entrada de água na casa ou amarre a bóia.
- 2) Esvazie a caixa até restar um palmo de água.
- 3) Tampe a saída para poder usar este palmo de água do fundo e para que a sujeira não desça pelo ralo.
- 4) Utilize um pano ou escova com fio de plástico macio para lavar as paredes e o fundo da caixa (sem nenhum produto químico). Retire a água da lavagem e a sujeira com uma pá de plástico, balde e panos.
- 5) Ainda com a saída da caixa fechada, deixe entrar um palmo de água e adicione dois litros de água sanitária. Deixe por duas horas e use esta solução desinfetante para molhar as paredes com a ajuda de uma brocha e um balde.
- 6) Verifique a cada 30 minutos se as paredes secaram. Se isso tiver acontecido, faça quantas aplicações da mistura forem necessárias até completar duas horas.
- 7) Não use esta água de forma alguma por duas horas.
- 8) Passadas as duas horas, ainda com a bóia amarrada ou o registro fechado, abra a saída da caixa e a esvazie. Abra todas as torneiras e acione as descargas para desinfetar todas as tubulações da casa.
- 9) Procure usar a primeira água para lavar o quintal, banheiros e pisos.
- 10) Tampe bem a caixa para que não entrem insetos, sujeiras ou pequenos animais. A tampa tem que ter sido lavada antes de ser colocada no lugar.
- 11) Limpe sua caixa d'água a cada 6 meses.

Organização:

Em parceria com:

APRENDA A CUIDAR DA SUA ÁGUA E DESSA
FORMA TER UMA VIDA MAIS SAUDÁVEL
PARA VOCÊ E SUA FAMÍLIA

**ORIENTAÇÕES PARA USO DA
ÁGUA DE POÇO**

ANEXO VI

**ARTIGO EM PREPARAÇÃO
"FIELD TESTING OF AN ALTERNATIVE LATRINE DESIGN
INCORPORATING BASIC OXYGEN FURNACE SLAG AS
PERMEABLE REACTIVE MEDIA FOR PATHOGEN
REMOVAL"**

FIELD TESTING OF AN ALTERNATIVE LATRINE DESIGN INCORPORATING BASIC OXYGEN FURNACE SLAG AS PERMEABLE REACTIVE MEDIA FOR PATHOGEN REMOVAL

Jesse Stimson^{a,*}, Alexandra V. Suhogusoff^b, David W. Blowes^a, Ricardo A. Hirata^b, Carol J. Ptacek^a, William D. Robertson^a, and Monica B. Emelko^c

^aDepartment of Earth and Environmental Sciences, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1

^bGeosciences Institute, University of São Paulo, São Paulo, CEP 05508-080, Brazil

^cDepartment of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1

keywords: latrine, cesspool, on site sanitation, pathogen, pathogenic indicator, permeable reactive barrier, wastewater

*Corresponding author. Tel.: +1 519 885 1211 x37177; Fax: +1 519 746 7484. E-mail address: jrstimso@sciborg.uwaterloo.ca

Nomenclature

PRB: permeable reactive barrier.

BOF slag: basic oxygen furnace slag.

EC: electrical conductivity.

DOC: dissolved organic carbon.

HB: heterotrophic bacteria, a class of microbes that use energy sources other than sunlight.

TC bacteria: total coliform bacteria, a class of heterotrophic bacteria.

TTC bacteria: thermotolerant coliform bacteria, a class of total coliform bacteria, also referred to as faecal coliform bacteria.

E. coli: *Escherischia coli*, a species of thermotolerant bacteria.

SRC: Sulfite-reducing Clostridia, a genus of obligate anaerobes that form endospores.

CP: *Clostridium perfringens*, a species of sulfite-reducing Clostridia.

SC: Somatic coliphage, a bacteriophage whose host is *E. coli*, by attachment to the sidewall of the bacterium.

Abstract

Appropriate setback distances for pit latrines often cannot be met in densely-populated communities in developing countries. This study presents the testing of an alternative latrine that incorporates two permeable reactive media. Basic oxygen furnace (BOF) slag in contact with wastewater effluent elevates pH to levels that inactivate pathogens. Saturated woodchip creates reducing conditions that encourage growth of denitrifying bacteria that remove NO_3^- . The field application was constructed in a peri-urban community located near São Paulo, Brazil. Pathogen indicator removal is approximately 4-5 log concentration units in less than one meter of vertical transport through the BOF slag media. In a control latrine, constructed with similar hydraulic characteristics and nonreactive materials, comparable reductions in pathogenic indicators were observed over three meters of vertical transport. Somatic coliphage concentrations are 1-2 log concentration units lower in stainless steel lysimeters compared to adjacent pan lysimeters, suggesting that the filtration of coliphage by the porous cup may negatively bias sampling.

1. Introduction

Pathogen contamination of shallow groundwater used for drinking water supply has been identified as a significant cause of waterborne disease (Cairncross, 2003). In developed countries, septic systems are the primary source of microbiological contamination in groundwater (Yates et al., 1985). Pathogen contamination of drinking water supplies has been far less studied in developing countries. Latrines have been identified as the most frequent source of groundwater faecal contamination in the developing world (Mzuga et al., 2001; Chaggu et al., 2002; Palamuleni, 2002; Piranha et al., 2006; Kulabako et al., 2007). The presence of animal husbandry wastes (Godfrey et al., 2006) and the quality of sanitary seals on wells (Gelinas et al., 1996) have also been identified as important factors in the degree of well water contamination.

In densely-populated peri-urban communities, latrines and water wells are usually installed in close proximity. Wastewater effluent discharged from pit latrines creates groundwater mounds in the local water table (Dzwairo et al., 2006). Specific discharge rates from latrines (100 m yr^{-1}) are higher than weeping fields of septic systems ($30\text{--}50 \text{ m yr}^{-1}$), which discharge over a larger area (Pedley and Howard, 1997). Pit latrines can be relatively deep ($> 3 \text{ m}$), and wastewater effluent bypasses the soil zone, the most active zone for pathogen attenuation. Groundwater extraction in nearby wells can lead to high hydraulic gradients that induce rapid transport of effluent to drinking water sources.

Appropriate setback distances for pit latrines have not been investigated in great detail. Development agency guidelines specify that latrine pits should be placed at least 2 m above the water table and 15 m from the nearest well, to avoid microbiological agents from entering the drinking water supply (Davis and Lambert, 1995). In a peri-urban area near Dakar, Senegal, Tandia et al. (1999) suggest, based on latrine-well distances and the level of pathogen contamination, that a minimum setback distance of 50 m is necessary to achieve drinking water limits for pathogen indicators. However, these setback distances cannot be achieved in densely-populated communities, especially in areas of shallow water table.

This study presents the design and initial testing of a cost-effective permeable reactive barrier (PRB) technology for attenuating waterborne pathogens emanating from pit latrines, which could potentially reduce setback distances substantially. Basic oxygen furnace (BOF) slag is a reactive material produced by the steel-making industry, which is composed primarily of portlandite [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], di- and tri-calcium silicate, ferrous oxide, and Ca-,

Mg- and Mn-ferrite (Proctor et al., 2000, Mikhail et al., 1994). Effluent in contact with portlandite rapidly reaches elevated pH (11-12). BOF slag also has a high content of ferric (oxy)hydroxide surfaces, which represent preferred attachment sites for biocolloids (Ryan et al., 2002).

A previous field trial for a BOF slag PRB, that was emplaced downgradient from an anaerobic tank in a septic system, reduced coliform bacteria concentration by ~4 log during 1 day of residence in the media (Smyth et al., 2002). Column experiments were conducted to determine the efficacy of BOF slag to attenuate a bacteriophage, PRD-1, a conservative surrogate for viral pathogen transport studies. The media reduced PRD-1 concentration by approximately 1.5 log concentration units during one day residence time. In batch tests of PRD-1 suspended in alkaline (11.4) artificial groundwater, in the absence of BOF slag surfaces, higher removal rates (2.1 log concentration units day⁻¹) were achieved. The lower removal rate in the presence of BOF surfaces is possibly due to a lower inactivation rate for attached phage. Previous column and field studies also indicated that BOF slag effectively removes PO₄ (Baker et al., 1997).

This investigation discusses the technical criteria of an alternative latrine design, which employs a BOF slag PRB to treat pathogens, and a woodchip PRB (Robertson and Cherry, 1995) that creates denitrifying conditions to remove nitrate from wastewater. The design of the woodchip PRB and nitrate removal efficiency of the alternative latrine design will be the topic of a future publication. A field application of the design was constructed in Jardim Santo Antônio, a low-income, peripheral community of São Paulo, Brazil. Flush toilets are the most culturally-acceptable option for on site sanitation, because most peri-urban communities in São Paulo have access to water supply. This design is based on wastewater discharge from flush toilets to a latrine pit. This type of on site sanitation is also referred to as a cesspool or septic well. The woodchip PRB can be emplaced in a geotextile liner in the unsaturated zone or in the saturated portion of the aquifer, in areas of shallow water table. In order to make the design more modular for varying water table conditions, the demonstration latrine was constructed entirely within the unsaturated zone. A latrine with the same dimensions and hydraulic characteristics, but without PRB media, was constructed to compare pathogen removal between transport in reactive and natural geological media. A two-dimensional array of lysimeters and piezometers was installed in the two latrines, which were monitored to evaluate the efficiency of the design to remove pathogen indicators.

2. Materials and Methods

2.1 Sampling devices

Unsaturated sampling devices were installed in the latrine design to permit monitoring of wastewater effluent. Pan lysimeters were constructed of inverted polyethylene (PE) traffic cones. An interior PVC (polyvinyl chloride) sampling screen, wrapped in 0.1 mm Nylon mesh, attached to a PVC ¼" sampling tube, was glued to the bottom of the cone with silicon glue. Microbes have relatively low affinities for attachment to PVC and PE (Wingender and Flemming, 2004). Glued areas were minimized within the device to avoid contact between glue and sampled water. The pan lysimeter was filled with material of a finer grain size than the media in which they were installed, to ensure hydraulic connection between the lysimeter and the unsaturated zone. The devices had a porosity of 30-40%, and when saturated produced a volume of 1 L.

Stainless-steel porous cup lysimeters (Soil Systems Measurement Inc., Tucson, Arizona), that collect sample in a PVC receptacle, were installed next to pan lysimeters in most locations. The 2 µm pore size of the porous cup is considerably larger than the diameter of coliphage (< 0.01 µm in diameter). The stainless steel pores have low affinity for microbial attachment (Pederson, 1990). The device was emplaced in a 30-cm packing of fine silica sand to ensure hydraulic connection with the coarser materials of the design. However, small sample volumes (< 50 mL) were obtained, which were only sufficient for field determinations of pH, Eh, and electrical conductivity, and sampling for coliphage analysis.

Multilevel piezometers were constructed from 1-inch PVC tubing, and standpipe piezometers from 3-inch PVC casing. The tip of the piezometers were slotted along a 5-cm section and wrapped with 0.1 mm nylon mesh. An array of lysimeters were placed in several elevations in both designs (Figure 5). Lysimeters were placed in a row in three equally-spaced horizontal positions, one 0.25 m from the east wall of the excavation, one in a centre position, and one 0.25 m from the west wall. In most positions, pan lysimeters and stainless steel porous cup lysimeters were positioned side by side to sample similar wastewater effluent conditions. Within the woodchip PRB, multilevel lysimeters were placed in the same positions. Each multilevel piezometer had five levels, vertically spaced 8 cm apart. All sampling tubing from lysimeters and multilevel piezometers was directed horizontally to the sidewall of the excavation and up to the surface, to avoid forming preferential transport pathways along vertical sample tubing within the design. Standpipe piezometers were placed at 5 cm and 45 cm above the base of the geotextile, to measure saturation of the woodchip PRB.

Aquadis+ volumetric hydrometers (Actaris Ltd., Luxembourg, Luxembourg) were installed in the wastewater discharge pipe of toilets, to measure effluent discharge to the latrines. Particle size distributions were determined from oven-dried samples of BOF slag mixtures by sieve analysis, to estimate characteristic grain diameters for the media.

2.2. Geochemical and microbiological sampling and analyses

Wastewater samples were collected with a Geopump Geotech Series 1 peristaltic pump (Fondriest Environmental Monitoring Products, Alpha, OH, USA). Pump tubing was rinsed with distilled water before each sampling. Field parameters measured in the field included temperature, pH, Eh, electrical conductivity (EC), alkalinity and dissolved O₂. Field blanks were prepared by passing distilled water through the rinsed pump tubing. Pan lysimeters were bailed dry and sampled 4-6 days after recovery was achieved.

Electrical conductivity measurements were made in the field with an TetraCon electric conductivity meter (WTW, Weilheim, Germany), corrected for temperature. Measurements of Eh and pH were made in a sealed test tube. The pH was measured using a SenTix 41 pH electrode (WTW, Weilheim, Germany), calibrated with standard buffer solutions at pH 7, 4, and 10. The Eh was measured using a SenTix Orp redox electrode (WTW, Weilheim, Germany), checked against Zobell's and Light's solution. Eh and pH probes were checked every 2 hours during sampling. Dissolved oxygen analyses were performed using a Cellox O₂ meter (WTW, Weilheim, Germany). A Hach digital titrator (Hach Company, Loveland, CO, USA) was used to determine alkalinity concentration by titration with bromocresol green/methyl red indicator and 0.16 N H₂SO₄.

Dissolved organic carbon (DOC) samples were collected in amber bottles to avoid photodegradation of DOC. Samples for nitrogen species analysis were acidified with HCl to a pH of less than 2. DOC was analyzed by CO₂ conversion and infrared detection at the Engineering School Sanitation Laboratory at the University of São Paulo (USP). Nitrate and ammonia were analyzed at the CEIMIC Environmental Laboratory in São Paulo by colorimetric methods.

Microbiological assays were conducted at the Environmental Microbiology Laboratory at USP. Heterotrophic bacteria (HB) assays were analysed by propagation on R2A agar, incubated 24 to 48 hours at 35°C, and enumerated by direct count (Method #9215 – A, APHA et al., 2006). Total coliform (TC) analyses were determined by membrane filtration and incubation on mEndo agar for 22-24 hours at 35°C, and counted directly (#Method 9222-B, APHA et al., 2006). Thermotolerant coliform (TTC) counts were completed by membrane filtration, incubation on mFC agar for 22-26 hours at 44.5°C, and enumeration by direct counting using Method 9222-D (APHA et al., 2006). The IMVC procedure was used to enumerate *E. coli* concentration by the most probable number method (Method # 9222-E, APHA et al., 2006). Sulfite-reducing *clostridia* (SRC) assays were determined by propagation on TSC (Tryptose sulfite cycloserine) agar, incubation for 24 hours at 35 °C and enumeration by direct counting. Assays of *Clostridium perfringens* were determined by testing for nitrate reduction, gelative liquefaction and lactose fermentation, using the most probable number method (APHA et al., 1992). Somatic coliphage (SC) were enumerated by direct counting of plaques after inoculating an *E. coli* host for 4-6 hours at 35 °C (APHA et al., 1992). Results are expressed in colony-forming units (cfu) mL⁻¹ for bacteria indicators and plaque-forming units (pfu) mL⁻¹ for virus indicators. All samples were stored at ~4 °C and were analyzed within appropriate holding times. The average relative standard deviation for replicates of HB, TC, TTC and SRC were 37 (*n* = 18), 28 (*n* = 13), 39 (*n* = 10) and 64% (*n* = 6). Quadruplicates of SC had an average relative standard deviation of 65% (*n* = 10).

3. Results and discussion

3.1. Design and construction of alternative and control latrines

3.1.1. Selection and characterization of field site

Jardim Santo Antônio is a poor, informal settlement located on the southern periphery of São Paulo (Figure 1). In the study area, Precambrian schists, phyllites, gneisses and migmatites are overlain by 6-10 m of Quaternary colluvium and alluvium (Vieira, 1996; Riccomini et al., 1992). The water table is situated in Quaternary deposits at approximately 10 m depth, measured in several drinking water wells in the vicinity. Two localities for the alternative and control latrines were selected within close proximity (200 m). In June 2007, a cylindrical pit, 4.5-m deep and 2 m in diameter, was excavated for the alternative latrine (Figure 2A), and another pit, 5 m in depth and 1.5 m in diameter, was created for the control latrine. The unsaturated zone in both excavations consisted of red clayey sand, which became finer with depth (Figure 3). Evidence of an older garbage pit was exposed in the sidewall of the alternative latrine excavation. However, the pit did not exhibit evidence of having received wastewater, such as organic residue. Hematite staining of the clay and the presence of highly-weathered clasts of gneiss and schist in the profile indicate that the alluvial material was produced from the weathering of the metamorphic basement (Figure 2A).

The alternative latrine serviced a larger family group (4 adults and 5 children) than did the control latrine (4 adults). Wastewater hydrometer measurements over 82 days of monitoring indicate a wastewater discharge rate for the alternative latrine ($0.134 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ or 134 L day^{-1}) that is nearly twice that of the control latrine ($0.083 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$) (Figure 4). These effluent discharge rates are similar to average household discharge rates ($0.1 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$) observed in these communities. Rates varied considerably in both households over time, indicating that the alternative latrine design will have to function with variable effluent discharge rates.

3.1.2. Design of alternative latrine

An infiltration gallery of gravel, 1 m in depth, was located at the bottom of the excavation (Figure 5). A 0.5-m thick woodchip PRB was formed with coarse-chipped hardwood ($\sim 0.5 - 2 \text{ cm}$ in diameter) within a 2-mm PVC geotextile which lined the interior of a cement ring (Figure 2B). A drainage pipe was placed in the bottom of the woodchip PRB, such that overflow occurs when the PRB is fully saturated and drains into the infiltration gallery below. Saturated conditions are necessary in this bottom layer to reduce O_2 diffusion into the media, ensuring reducing conditions are present to encourage the growth of denitrifying bacteria.

Overlying the woodchip layer, a 1-m thick layer of coarse sand was emplaced (Figure 5). The alkaline effluent emanating from the BOF slag PRB can adversely affect the activity of denitrifying bacteria in the woodchip. At a pH of 9-10, many bacteria are inactivated (Allievi et al., 1994). However, degradation of organic material in the woodchip produces CO_2 and acidity, which should migrate upwards into the coarse sand layer. The inclusion of an intermediate layer between the PRBs may allow highly alkaline effluent to be partially neutralized by CO_2 .

The 1-m thick BOF slag PRB consists of a 50:30:20 mixture of medium gravel, coarse sand and BOF slag, by weight (Figure 2C). The BOF slag was collected from a steel-making industry (Companhia Siderúrgica de Tubarão, Serra, Brazil) and sieved to select the 3-18 mm fraction. The median grain diameter, d_{50} , of the mixture was 6.8 mm, and the characteristic diameter, d_{60}/d_{10} , for the media was 10.5 (Table 1). Measured hydraulic

conductivity of the BOF slag mixture was $1.3 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$, determined by Hazen's approximation, using measured value of d_{10} (Table 1). This mixture has been shown to remove bacteriophage PRD-1 at a rate of $\sim 1.5 \text{ log concentration units day}^{-1}$ in column studies.

The BOF slag PRB was overlain by a series of coarse sand to medium gravel layers, which coarsened upwards (Figure 5). An annular ring of medium gravel, which was emplaced from the woodchip barrier to the surface, which enclosed the inner layers of the design (Figure 2D). The filters and annular ring permit a zone of oxygenation and biofilm development, which is necessary to degrade organic material more efficiently (Potts et al., 1994; Beal et al., 2005), and to encourage the growth of bacteriovorous organisms (Amador et al., 1996). If organic material clogs the filters, the latrine will fail quickly and the wastewater tank will flood. Complete oxidation of organic nitrogen and ammonium must occur in the upper portion of the alternative latrine, because the saturated woodchip does not treat reduced forms of nitrogen (Robertson and Cherry, 1995).

A 0.5-m cement ring was placed at the top of the latrine design to form a wastewater tank. The finest filter material, coarse sand, was emplaced in a 30-cm-thick packing around the edge of the inner filters and wastewater tank. This sand reduces hydraulic connection between the wastewater tank and the annular gravel ring (Figure 2D and 4). A cement lid was installed with a 10-cm PVC vertical pipe to allow gases to escape. A 10-cm PVC pipe drained effluent from the toilet to the wastewater tank by gravity.

Four water level measurements of standpipe piezometers over 82 days indicate that the woodchip PRB remained saturated. The water level in the wastewater tank of the alternative latrine was examined after 82 days (~ 3 months) of wastewater application. A shallow water level ($< 2 \text{ cm}$) occurred above the coarse gravel filter. Biofilm formation was visible in the central portion of the tank, but the outer 30 cm of the wastewater tank surface was still not discoloured by bacteria growth (Figure 2F). This observation suggests that biosolids in the wastewater had degraded rapidly.

3.1.3. Variably-saturated numerical modeling of the alternative latrine design

A three-dimension, variably-saturated, finite-element numerical model, HydroGeoSphere (Therrien et al., 2005), was used to represent the unsaturated flow conditions in and around the latrine design. The numerical model was simplified to represent a two-dimensional, vertical cross-section of the design. The model domain was divided into a grid of 344 by 54 elements, which was highly-refined in the region of the latrine design. The third dimension of the model domain was represented by a double row of elements. Constant discharge boundaries were placed along the top of the model domain to represent rainfall infiltration in the study area (1500 mm yr^{-1}) and latrine discharge (132 L day^{-1}) (Figure 6). Lateral boundaries were located at distance from the latrine design, where flow in the unsaturated zone is vertical, permitting the use of no flow boundaries. The water table in the model is represented by a constant head boundary, placed at 15 m depth, which is sufficiently distant from the latrine design to ensure that mounding of groundwater will not be affect the simulation of unsaturated flow in the alternative design. Hydraulic conductivities and van Genuchten unsaturated parameters for the aquifer and the PRB materials were estimated from previous studies and tabulated values (Table 1). Residual water content values for fine-grained materials are underestimated to ensure convergence of the model. The model was run under transient conditions for 1000 days to achieve steady-state flow conditions.

The results of the modeling indicated that the alternative latrine design would function properly under a flow rate of 132 L day^{-1} , the measured effluent discharge rate measured at the alternative latrine. Simulated saturation

indices indicate that the latrine remains unsaturated (10-30%), except for the woodchip PRB, which becomes fully saturated (Figure 7). The design is sufficiently permeable to allow most effluent to infiltrate into the design. The simulation suggests the wastewater tank did not fill with effluent over the first 82 days of operation. The calculated vertical linear groundwater velocity within the BOF slag PRB is approximately 0.4 m day^{-1} (Figure 8), indicating that wastewater will remain in contact with the reactive material for approximately 2.5 days. Negative pressures remain sufficiently low ($< -0.15 \text{ m H}_2\text{O}$; Figure 9) to permit sampling of stainless steel suction lysimeters.

3.1.4. Design of control latrine

The control latrine was constructed with layers of the same dimension and hydraulic properties, but consisting of unreactive materials (Figure 2E and 5). The outer annular gravel ring was not included in the control latrine. The geochemical evolution of effluent in the alternative latrine can be compared to changes in geochemistry that occur under natural conditions in the control latrine. The removal efficiency of the alternative latrine can be assessed by examining the difference in removal of pathogenic indicators in the two latrines. A larger wastewater tank (1.5-m depth) was installed in the control design. Lower oxygen diffusion into the unimproved design, which lacks a annular gravel ring, may degrade organic material less efficiently. Because the wastewater tank may fill quickly with biosolids, shortening the lifetime of the latrine (Figure 5), a greater volume of wastewater can be accommodate in the larger tank.

3.2. Monitoring of geochemistry and pathogen indicators

3.2.1. Monitoring alternative latrine prior to wastewater application

The two latrines were monitored prior to wastewater application to determine the contribution of the construction materials to observed geochemistry and pathogenic indicator concentration in the absence of wastewater. Before commissioning the latrines, water was pumped from household wells into the wastewater tanks of the alternative and control latrines. Water was applied at a rate of 200 L d^{-1} for 7 days, to ensure that all sampling devices were saturated.

In the upper portions of both latrines, electrical conductivity (EC) of infiltrating water was less than $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Appendix B). In the alternative latrine, EC reached values above $6,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ in and below the BOF layer. Calcium oxides dissolve rapidly in contact with neutral water resulting in elevated electrical conductivity measurements. The pH of the unsaturated zone in the control latrine was near neutral pH (Appendix B), suggesting that construction materials do not alter the neutral pH of well water introduced into the well. Water sampled from the upper portion of the alternative latrine was also neutral. Dissolution of calcium oxides resulted in increased pH to values greater than 12 in and below the BOF slag PRB. Water infiltrating into the alternative and control latrines exhibited oxidizing conditions ($+200 \text{ mV}$; Appendix B). Eh values decreased with depth in both latrines, but reached lower values ($< -200 \text{ mV}$) in the woodchip PRB of the alternative latrine. Reducing conditions in the woodchip PRB are expected given the low rates of O_2 diffusion in the saturated layer, because degradation of organic matter in the woodchip consumes O_2 .

Low concentrations of pathogenic indicators in samples of the two latrines were expected near the wastewater tank. Detectable concentration of total coliform (TC) and thermotolerant (TTC) bacteria were observed in 91 and 57% of water wells during a water quality survey conducted in the community. In the control latrine, heterotrophic bacteria (HB) concentration ($> 10^4 \text{ cfu mL}^{-1}$) did not decrease with depth, but concentrations of TC and TTC

bacteria decreased from $> 10^2$ to $<10^{-1}$ pfu mL⁻¹, a 2-3 log concentration decrease in three meters of transport through the latrine (Appendix B). Similar concentrations were measured for these pathogenic indicators in the upper portion of the alternative latrine. In the BOF slag layer, HB concentrations decreased from $> 10^3$ to $< 10^1$ cfu mL⁻¹, all other bacteria indicator concentrations decreased from $> 10^3$ to $< 10^2$ cfu mL⁻¹ and SC concentration decreased from $> 10^1$ to $< 10^2$ cfu mL⁻¹, probably due to the elevated pH generated in effluent passing through the slag (Appendix B). Detectable concentrations of these indicators were measured in sampling devices below the woodchip PRB. Samples from the lowest level of lysimeters below the woodchip layer had elevated HB, TC and TTC concentrations. These concentrations are anomalous considering that they are several orders of magnitude higher than concentrations measured below the wastewater tank.

3.2.2. Natural attenuation of biocolloids under the control latrine

The control and alternative latrines were monitored for geochemical parameters and pathogen indicator concentration after 42 days (July 2007) and 82 days (September 2007) of commissioning the latrines (Appendix A). In both sampling events, EC readings varied between 500 and 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Figure 10) in the control latrine. This observation indicates some variability in wastewater composition and transport of effluent through the latrine, possibly in part due to preferred transport pathways in the inert media. The pH decreased from values between 7 and 8, typical of raw sewage (Wilhelm et al., 1994), to values below 6 (Figure 11). Eh readings indicated an increasingly-oxidizing environment with depth (from $> +200$ mV to values below -100 mV; Figure 12). Oxygen concentrations decreased from 4 mg L⁻¹ to values near 1 mg L⁻¹ (Figure 13), which suggests the presence of more reducing conditions with depth. O₂ diffusion through the fine-grained aquifer and the wastewater tank may be limiting O₂ ingress into the lower portion of the control latrine.

Alkalinity concentrations varied considerably, but a general trend of increasing alkalinity in the first meter of the alternative latrine was observed (Figure 14). DOC concentration also decreased with depth, from 200-300 mg L⁻¹ near the wastewater tank to approximately 100 mg L⁻¹ (Figure 15) in the BOF layer. The oxidation of DOC (represented as CH₂O) produces CO₂, which hydrolyzes to HCO₃⁻ near neutral pH, contributes to a decrease in pH, and an increase in alkalinity following (Wilhelm et al., 1994):

This reaction is likely influencing the water chemistry in the first meter of the latrine, where alkalinity concentrations increased and DOC concentrations sharply decreased.

Ammonium concentrations decreased from > 200 to < 50 mg NH₄-N L⁻¹ and NO₃⁻ concentration increase from <5 to >20 mg NO₃-N L⁻¹ at depth (Appendix A). Incomplete nitrification of ammonium may occur because of limited O₂ diffusion into the bottom portion of the control latrine. The decrease in NH₄⁺ concentration may result from NH₃ degassing from effluent. In slightly-alkaline wastewater (pH = 8) in the top portion of the latrine, NH₃ is an appreciable form of reduced inorganic N (Jacks et al., 1999):

Ammonium loss may also be due to NH₄⁺ oxidation, which depresses pH and produces nitrate (Wilhelm et al., 1994):

However, variable concentrations of geochemical indicators in both latrines, as indicated by the heterogeneous distribution of EC, make geochemical trends difficult to recognize.

The concentration of HB decreased from $10^4 - 10^5$ cfu mL⁻¹ to values around $10^2 - 10^4$ cfu mL⁻¹ in both wastewater samplings (Figure 16), a reduction of one to two orders of magnitude in concentration. TC, TTC and *E. coli* concentrations in the upper portion of the control latrine (10^3 to 10^5 cfu mL⁻¹; Figure 17, 18 and 19) are a few orders of magnitude lower than concentrations typically measured in human faeces ($10^6 - 10^9$ cfu mL⁻¹) for these pathogen indicators (Gleeson and Gray, 1997). TC, TTC and *E. coli* concentration decrease to values below detection at the bottom of the control latrine.

This decrease represents a reduction in concentration of at least five to seven orders of magnitude in three meters of vertical transport in the control latrine. If pathogenic indicator concentrations were higher, their removal might be greater, because the concentration of these indicators were all decreased to below detection in effluent considerably above the bottom of the control latrine. HB may be removed less efficiently than coliform bacteria, because it is a more heterogeneous group of bacteria which include some more resistant strains that withstand elevated pH. *E. coli* has been shown to be more exclusively associated with faeces than TC and TTC (LeClerc et al., 2001; Tallon et al., 2005), although other studies have suggested that in tropical climates, *E. coli* can also replicate in the environment (Roll and Fujioka, 1997).

Sulfite-reducing *Clostridia* (SRC) concentration varies from 10^4 cfu mL⁻¹ near the top of the control latrine to concentrations below detection ($< 10^{-2}$ cfu mL⁻¹) at a depth of 3 m (Figure 20), a reduction of 4 orders of magnitude within in 3 m of vertical transport. *Clostridium perfringens* (CP), a species of SRC, is much more limited in distribution. CP was only detected after 82 days of wastewater application, and only at a few sampling locations (Figure 21). SRC and CP concentrations in the latrine are lower than those observed in typical wastewater ($10^3 - 10^6$ cfu mL⁻¹) (Cronin et al., 2006). SRC form endospores, which are more resistant to inactivation than unencapsulated bacteria, which may make this class of bacteria a more appropriate indicator of distal faecal contamination (Payment and Franco, 1993). Unlike coliform bacteria, SRC are obligate anaerobes which cannot replicate in the aerobic environment (Tallon et al., 2005).

The presence of coliform bacteria not always correlated with the presence of bacterial pathogens in wastewater (Payment and Franco, 1993). The presence of CP in wastewater has been the only indicator which correlates well with the presence of parazoan oocysts and enteric viruses (Payment and Franco, 1993; Harwood et al., 2005). CP is considered by many researchers to be a more appropriate indicator of human faecal contamination than coliform bacteria (Huysman et al., 1993; Roll and Fujioka, 1997). Research on SRC subsurface transport is very limited in the literature, but is also expected to be persistent due to the ability to form endospores.

Somatic coliphage (SC) concentration varies from 10^1 pfu mL⁻¹ in the filter layers to values below detection (< 0.01 pfu mL⁻¹) in the lower two tiers of lysimeters in the control latrine (Figure 22). Somatic coliphage are present at lower concentrations than its host, *E. coli*. Elevated ammonia concentrations have been shown to have a preferential viricidal effect on coliphage (Ward, 1978). A log concentration decrease in the virus surrogate, f2, in a solution with NH₄⁺ concentration of 100 mg L⁻¹ was observed in 92 hours at 30°C (Burge et al., 1983).

3.2.3. Efficacy of BOF slag into remove pathogen indicators

This section examines changes in geochemical parameters and pathogen indicators between the wastewater tank and the woodchip PRB. Electric conductivity measurements increased from 1,000 to 2,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ in the wastewater tank to values in excess of 8,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ in the BOF slag PRB (Figure 10). The EC measurements in the BOF slag were approximately 2,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ higher than those measured in the PRB before wastewater

application. The pH measured in lysimeters in the BOF slag PRB in the alternative design reaches values above 12.5 after 42 days of wastewater application, and 12 after 82 days of wastewater application (Figure 11). HydroGeoSphere modeling results suggested that vertical porewater velocities were much higher in the centre section of the PRB (Figure 7). However, the horizontal distributions of these parameters were relatively homogenous in the PRB, suggesting that sufficient mixing occurs in this zone to ensure pH augmentation throughout the barrier.

Eh readings suggested a mildly-reducing environment (-200 to 0 mV) occurred throughout the alternative latrine in both wastewater samplings (Figure 12). DOC concentration decreased from > 200 mg L⁻¹ to < 10 mg L⁻¹ near the woodchip PRB (Figure 15), probably due to organic matter degradation, as was observed in the control latrine. Alkalinity concentration increased from 100 mg CaCO₃ L⁻¹ near the top of the alternative latrine, to concentrations above 300 mg CaCO₃ L⁻¹ in the BOF slag layer (Figure 14). Oxygen concentrations increased from 1-2 mg L⁻¹ to values above 5 mg L⁻¹ in the sand filter between the two PRBs (Figure 13). Organic matter (DOC) degradation produces CO₂ and consumes O₂:

Carbon dioxide hydrolyzes to become CO₃⁻ at elevated pH, contributing to increasing alkalinity concentration. The pH was not lowered because the predominate control of pH in the system is the dissolution of calcium oxides. Below the BOF PRB, once DOC concentrations reached low levels, O₂ concentrations increased, possibly due to decreased O₂ consumption from DOC reduction. The gravel annular ring may permit greater O₂ diffusion to occur into the layers above the woodchip PRB, permitting more efficient DOC degradation in these zones. By comparison, in the control latrine, in which the annular ring is absent, O₂ decreased significantly with depth (Figure 13). However, Eh values (< 0 mV) are low in sampling points (Figure 12) that have elevated O₂ concentrations (> 5 mg L⁻¹), which are not geochemically consistent. Because the O₂ meter was calibrated frequently, this may suggest that Eh measurements are in error, possibly due to insufficient equilibration of the probe in the solution.

Elevated pH occurs in the BOF slag layer due to the hydrolysis of calcium oxide surfaces, producing hydroxide and elevating pH:

The pH decrease between the two monitorings, from 12.5 to 12, indicates a three-fold decrease in hydroxide concentration. This decrease suggests that the BOF slag is losing capacity to produce high pH effluent with time. During the laboratory column experiments, lower removal rates for fluorescent microspheres were observed in experiments that had elevated DOC concentration (14-28 mg L⁻¹). Over the duration of the laboratory experiment (12-15 days), the effluent pH decreased by approximately 0.5. One potential cause for pH decrease and the increased removal of microspheres was the development of DOC coatings of calcium oxide surfaces with effluent DOC over time. In the latrine design with more elevated DOC concentrations (up to 200 mg L⁻¹), this effect would be enhanced.

HB concentration decreased from > 10⁴ cfu mL⁻¹ to 10² to 10³ cfu mL⁻¹ in the BOF slag PRB (Figure 16). TC bacteria, TTC bacteria and *E. coli* concentration are reduced from concentrations > 10³ cfu mL⁻¹ to below detection (< 0.01 cfu mL⁻¹) in the BOF slag barrier (Figures 17, 18 and 19). As was observed in the control latrine, HB removal (a 2-log decrease in concentration) was less than TC, TTC and *E. coli* removal (> 5-log decrease in concentration). SRC and CP concentration decreased from > 10³ cfu mL⁻¹ in the upper portion of the alternative design to concentrations below detection (< 10⁻² cfu mL⁻¹) (Figure 20 and 21), a > 4 log decrease in

concentration. The distribution of SC was more variable, but generally concentrations from $> 10^2$ pfu mL⁻¹ to concentrations below detection ($<10^{-2}$ pfu mL⁻¹) (Figure 22). HydroGeoSphere modeling results suggest that vertical porewater velocities in the centre of the BOF slag PRB would be up to 0.5 m d⁻¹ (Figure 8). The residence time of pathogen indicators in the PRB will be 2 days or greater based on these velocities. In column experiments, concentrations of bacteriophage, PRD-1, were reduced by 1.5 to 2 log per day. If we assume similar reductions for other microbial indicators, a minimum 3 to 4 log reduction in concentration in the barrier is expected from these calculations, which is what is observed in the monitoring of the alternative latrine.

8.3.2.4. Subsurface infiltration from the sidewall into the alternative latrine design

EC measured in lysimeters on the east side between the two PRBs in the alternative latrine are low (< 500 $\mu\text{S cm}^{-1}$; Figure 10). Values of pH were below 7 (Figure 11) and Eh values were positive (Figure 12) in this portion of the latrine. Bacterial and viral pathogenic indicators are also appreciable in and above the woodchip PRB, particularly on the east side of the excavation (Figures 16-22). This trend was observed in the initial wastewater sampling and was particularly evident in the sampling campaign after 82 days of wastewater application.

These data suggest that water may be infiltrating in from the annular gravel ring. This water probably does not originate in the wastewater tank, which has considerably higher electrical conductivity values ($500 - 2000$ $\mu\text{S cm}^{-1}$; Figure 10). HydroGeoSphere modeling indicates that appreciable flow is not bypassing the upper portion of the latrine via the annular ring (Figure 7). Modeling results suggest that the placement of sand along the edge of the wastewater tank was sufficient to avoid loss of water to the annular ring. Berms were installed around the alternative latrine to avoid surface water drainage into the annular ring at the surface. It is possible that a shallow trench carrying graywater drainage, located two metres from the latrine, may periodically induce subsurface flow into the sidewall of the latrine excavation at depth, via fractures or root traces that were observed (Figure 2). Graywater would have lower electrical conductivity measurements and more neutral pH, and would be more oxidized.

3.2.5. Impact of elevated pH on the woodchip PRB

Effluent in the woodchip PRB reaches elevated pH (12 after 42 days and 11-12 after 82 days of wastewater application). The pH data suggest that the woodchip PRB did not produce sufficient CO₂ to counteract the high pH effluent infiltrating from the BOF PRB above. The concentration of nitrate, which was only determined in the wastewater sampling after 42 days of wastewater application, is not reduced appreciably in the woodchip barrier (Appendix A). The distribution of HB, a crude indicator of denitrifying bacteria distribution, are reduced to concentrations below 10^3 cfu mL⁻¹ in the woodchip PRB after 82 days of wastewater application (Figure 16), probably due to the elevated pH (Allievi et al., 1994). This reduction suggests that the BOF slag PRB is negatively impacting the capability of woodchip media to remove nitrate from effluent.

3.2.6. Comparison of geochemical parameters and somatic coliphage concentration between adjacent pan and stainless steel lysimeters

Electrical conductivity measurements were consistently lower (Figure 10), pH was lower (Figure 11), and Eh was higher in stainless steel lysimeters compared with adjacent pan lysimeters (Figure 12). The stainless steel porous cup (0.2 μm pore size) may strain out larger organic colloids that contribute to elevated pH and reducing

conditions. The vacuum suction during sampling of the stainless steel lysimeter may further oxidize the sample due to bubbling and increase Eh readings from these devices.

Somatic coliphage concentrations are generally lower by one to two orders of magnitude in stainless steel lysimeters than in adjacent pan lysimeters (Figure 22). These results indicate that the stainless steel cup filters out a significant portion of coliphage in wastewater and suggests that these devices will negatively bias coliphage concentration. Somatic coliphage (~0.2 μm) are approximately a tenth the size of the pores in the lysimeter. If a biofilm forms in the pores of stainless steel lysimeter cup, coliphage may be attached to this surface, reducing SC concentration in these devices. Coliphage attached to larger organic colloids would be excluded from the devices.

4. Conclusions

Monitoring of the alternative latrine for pathogen indicators indicate that a minimum 4-5 log decrease in concentration is achieved by the BOF slag PRB in less than one meter of media. Similar reductions in concentrations of coliform indicators (5-7 orders of magnitude) and *Clostridia* indicators (> 4 orders of magnitude) were observed in three meters of vertical transport through the control latrine. These reductions suggest that the alternative latrine may improve log removal of pathogenic surrogates by more than three times the rate observed in an unimproved latrine. HydroGeoSphere modeling results suggest that wastewater effluent has a minimum residence time of two days in the reactive media. These results agree with column experiments that showed that the bacteriophage, PRD-1, is reduced by a rate of approximately 1.5 log concentration units day^{-1} . These removals might be higher, if influent concentrations were more elevated, because all indicators were reduced to concentrations below their detection limit during both samplings.

Monitoring of sampling devices of the alternative latrines for pathogen indicators will indicate the long term performance of the BOF slag PRB over time. The pH reduction observed between monitoring after 42 and 82 days of wastewater application suggest that BOF slag reactivity is reduced over time. This loss of pH-generating capacity may be due to coating of calcium oxide surface with effluent DOC.

The generation of CO_2 in the woodchip PRB was not sufficient to reduce elevated pH effluent emanating from the BOF slag PRB. The elevated pH appears to have negatively impacted the growth of denitrifying bacteria in the woodchip, because NO_3 concentrations are not reduced in this PRB. Previous column experiments suggest that the elimination of pathogens occurs due to elevated pH, not because of contact with the reactive media. In future applications, the thickness of the BOF slag PRB thickness could be reduced, or the woodchip PRB emplaced above the BOF slag media, to avoid the negative impact of alkaline water on woodchip reactivity.

The alternative latrine design was tested in this application with liquid wastewater discharge. In areas without sufficient water supply for the use of flush toilets, the design may also function with dry wastes. However, the reduced water content of dry waste may contribute to greater clogging of the media with time and might reduce the longevity of the design. The alternative latrine was constructed entirely in the unsaturated zone, but in areas of low water table, the woodchip barrier can be placed in the saturated portion of the aquifer. The use of this technology is limited to those regions that have steel-making industries, because the cost of transporting BOF slag long distances is prohibitive. The other materials are readily-available and inexpensive, making the design appropriate for poorer communities in developing countries. To reduce costs to users, several households can be attached to the same latrine. Greater care can be taken to avoid surface water runoff or subsurface flow to reach

the annular ring or the design may be modified. Surface water drainage should be distant from the latrine, and shallow berms or trenches should be place around the excavation to divert surface runoff.

Somatic coliphage concentration is reduced by a factor of 10-100 times in stainless steel lysimeters in comparison with adjacent pan lysimeters. Lower pH and higher Eh values in pan lysimeters suggest that filtering of colloids by the porous cup may create differing geochemical conditions between the two lysimeters. Biofilm development in the pores of the stainless steel lysimeter may contribute to SC concentration reduction in these devices. Coliphage attachment to larger organic colloids in effluent may also exclude the organism from entering the porous cup. These results indicate that pan lysimeters are the preferred unsaturated sampling devices for coliphage in wastewater.

5. References

- Amador, J. A., Potts, D. A., Savin, M. C., Tomlinson, P., Görres J. H., and Nicosia, E. L., 2006. Mesocosm-scale evaluation of faunal and microbial communities of aerated and unaerated leachfield, *Soil. J. Environ. Qual.*, 35:4, 1160-1169.
- Allievi, L., Colombi, A., Calcaterra, E., Ferrari, A., 1994. Inactivation of fecal bacteria in sewage sludge by alkaline treatment, *Bioresource Technol.*, 49:1, 25-30.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation), 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., Washington, D.C., USA.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation), 2006. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed., Washington, D.C., USA.
- Baker, M. J., Blowes, D. W., and Ptacek, C. J., 1997. Phosphorus adsorption and precipitation in a permeable reactive wall: Applications for wastewater disposal systems, *Land Contam. Reclam.*, 5:3, 189-193.
- Beal, C. D., Gardner, E. A., and Menzies, N. W., 2005. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank-soil absorption systems, *Austral. J. Soil Res.*, 43:7, 781-802.
- Burge, W. D., Cramer, W. N., and Kawata, K., 1983. Effect of heat on virus inactivation by ammonia, *Appl. Environ. Microbiol.*, 46:2, 446-451.
- Cairncross, S., 2003. Sanitation in the developing world: current status and future solutions, *Int. J. Environ. Health*, 13, S123-S131.
- Chaggu, E., Mashauri, D., van Buuren, J., Sanders, W., and Lettinga, G., 2002. Excreta disposal in Dar-es-Salaam, *Environ. Manage.*, 30:5, 609-620.
- Cronin, A. A., Rueedi, J., and Morris, B. L., 2006. The effectiveness of selected microbial and chemical indicators to detect sewer leakage impacts on urban groundwater quality, *Water Sci. Technol.*, 54:6-7, 145-152.
- Davis, J. and Lambert, R., 1995. Engineering in emergencies – A practical guide for relief workers, Intermediate Technology Publications, London, Great Britain.
- Dzwairo, B., Hoko, Z., Love, D., and Guzha, E., 2006. Assessment of the impacts of pit latrines on groundwater quality in rural areas: A case study from Marondera district, Zimbabwe, *Phys. Chem. Earth*, 31:15-16, 779-788.
- Fayer, M. J., Rockhold, M. L., and Campbell, M. D., 1992. Hydraulic modeling of protective barriers: Comparison of field experiment and simulated results, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:3, 690-700.
- Freeze, A. R., and Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Gelinas, Y., Randall, H., Robidoux, L., and Schmit, J.-P., 1996. Well water survey in two districts of Conakry (Republic of Guinea) and comparison with the piper city water, *Water Res.*, 30:9, 2017-2026.
- Gleeson, C., and Gray, N., 1997. The coliform index and waterborne disease: Problems of microbial drinking water assessment, E&FN Spon Publishers, London, Great Britain.
- Godfrey, S., Timo, F., Smith, M., 2006. Microbiological risk assessment and management of shallow groundwater sources in Lichinga, Mozambique, *Water Environ. J.*, 20:3, 194-202.
- Huysman, F., van Renterghem, B., and Verstraete, W., 1993. Antibiotic resistant sulphite-reducing Clostridia in soil and groundwater as indicator of manuring practice, *Water Air Soil Poll.*, 69:3-4, 243-255.

- Kulabako, N.R., Nalubega, M., Thunvik, R., 2007. Study of the impact of land use and hydrogeological settings on shallow groundwater quality in a peri-urban area of Kampala, Uganda, *Sci. Total Environ.*, 381:1-3, 180-199.
- Mikhail, S. A., Owens, D. R., Wang, S. S. B., Lastra, R. and van Huyssteen, E., 1994. Characterization of basic oxygen furnace dust and slag in steelmaking, Report MSL No. 691.
- Jacks, G., Sefer, F., Carling, M., Hammar, M., and Letsamao, P., 1999. Tentative nitrogen budget for pit latrines - eastern Botswana, *Environ. Geol.*, 38:3, 199-203.
- Leclerc, H., Mossel, D. A., Edberg, S. C., and Struijk, C. B., 2001. Advances in the bacteriology of the coliform group: Their suitability as markers of microbial water safety, *Ann. Rev. Microbiol.*, 55, 201-234.
- Mzuga, J. M., Tole, M. P., and Ucakuwun, E. K., 2001. Contamination of groundwater resources by pit latrines in Kwale District, Kenya, *Discov. Innovat.*, 13:3-4, 201-212.
- Palamuleni, L. G., 2002. Effect of sanitation facilities, domestic solid waste disposal and hygiene practices on water quality in Malawi's urban poor areas: a case study of South Lunzu Township in the city of Blantyre, *Phys. Chem. Earth*, 27:11-12, 845-850.
- Payment, P., and Franco, E., 1993. *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts, *Appl. Environ. Microbiol.*, 59:8, 2418-2424.
- Pedersen, K., 1990. Biofilm development on stainless steel and PVC surface in drinking water, *Water Res.*, 24:2, 239-243.
- Pedley, S., and Howard, G., 1997. The public health implications of microbiological contamination of groundwater, *Quart. J. Eng. Geol.*, 30:2, 179-188.
- Pirinha, J. M., Pacheco, A., Gamba, R.C., Mehnert, D. U., Garrafa, P., and Barrella, K. M., 2006. Faecal contamination (viral and bacteria) detection in groundwater used for drinking purposes in Sao Paulo, Brazil, *Geomicrobiol. J.*, 23:5, 279-283.
- Potts, D. A., Görres, J. H., Nicosia, E. L., and Amador, J. A., 2004. Effects of aeration on water quality from septic system leachfields, *J. Environ. Qual.*, 33:5, 1828-1838.
- Proctor, D. M., Fehling, K. A., Shay, E. C., Wittenborn, J. L., Green, L. L., Avent, C., Bigham, R. D., Connolly, M., Lee, B., Shepker, T. O., and Zak, M. A., 2000. Physical and chemical characteristics of blast furnace basic oxygen furnace and electric arc furnace steel industry slags, *Env. Sci. Technol.*, 34:8, 1576-1582.
- Riccomini, C., Coimbra, A. M., Takiya, H., 1992. Tectonics and sedimentation of the São Paulo Basin (Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo). In: Seminar on geological and geotechnical problems in the metropolitan region of São Paulo (Seminário de Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo), ABAS/ABGE/DBG, São Paulo, Brazil, pp. 21-45.
- Robertson, W. D. and Cherry, J. A., 1995. In situ denitrification of septic-system nitrate using reactive porous media barriers: Field trials, *Ground Water*, 33:1, 99-111.
- Roll, B. M., and Fujioka, R. S., 1997. Sources of faecal indicator bacteria in a brackish, tropical stream and their impact on recreational water quality, *Water Sci. Technol.*, 35:11-12, 179-186.
- Ryan, J.N., Harvey, R.W., Metge, D., Elimelech, M., Navigato, T., and Pieper, A. P., 2002. Field and laboratory investigations of inactivation of viruses (PRD1 and MS-2) attached to iron oxide-coated quartz sand, *Environ. Sci. Technol.*, 36:11, 2403-2413.
- Schaap, M. G., Leij, F. J., and van Genuchten, M. Th., 2000. Estimation of soil hydraulic properties. In: B. B. Looney and R. W. Falls (eds.), *Vadose zone hydraulic properties*, Battelle Press, Columbus, OH, pp 501-509.

- Smyth, D. J. A., Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Baker, M. J., Ford, G., Foss, S. and Bernstene, E., 2002. Removal of phosphate and waterborne pathogens from wastewater effluent using permeable reactive materials. In: Proceedings of the 55th Canadian Geotechnical and 3rd Joint IAHC-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Niagara Falls, Ontario, Canada, pp 1123-1128.
- Tallon, P., Magajna, B., Lofranco, C., and Leung, K. T., 2005. Microbial indicators of faecal contamination in water: A current perspective, *Water Air Soil Poll.*, 166:1-4, 139-166.
- Tandia, A. A., Diop, E. S., and Gaye, C. B., 1999. Nitrate groundwater pollution in suburban areas: Example of groundwater from Yeumbeul, Senegal, *J. Afr. Earth Sci.*, 29:4, 809-822.
- Therrien, R., Sudicky, E. A., McLaren, R. G., and Panday, S.M., 2005. HydroGeoSphere: A Three-Dimensional Numerical Model Describing Fully-Integrated Subsurface and Surface Flow and Solute Transport, User's Guide, Groundwater Simulations Group, Waterloo, ON, Canada.
- Ward, R. L., 1978. Mechanism for poliovirus inactivation by ammonia, *J. Virol.*, 26:2, 299-305.
- Wilhelm, S. R., Schiff, S. L. and Robertson, W. D., 1994. Chemical fate and transport in a domestic septic system: Unsaturated and saturated zone geochemistry, *Environ. Toxicol. Chem.*, 13:2, 193-203.
- Wingender, J., and Flemming, H.-C., 2004. Contamination potential of drinking water distribution network biofilms, *Water Sci. Technol.*, 49:11-12, 277-286.
- Vieira, S. R. S. S., 1996. Investigation of metamorphism and metasomatism of the Embu and Pilar Complexes, Juquitiba quadrant, São Paulo (Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos complexos Embu e Pilar no Bloco Juquitiba, SP), Ph.D. Thesis, University of São Paulo, Brazil.
- Yates, M. V., Gerba, C. P., and Kelley, L. M., 1985. Virus persistence in groundwater, *Appl. Environ. Microbiol.*, 49:4, 778-781.

Figure 1: Location of field site.

Figure 2: Photographs of alternative and control latrine construction. **A.** Final appearance excavation. Lower cavity for infiltration gallery below woodchip PRB, **B.** Emplacement of the woodchip PRB with a coarse gravel pack around the overflow drainage (upper section) inside geotextile, **C.** Placement of lysimeters in BOF slag PRB, **D.** Emplacement of filters above the BOF slag PRB. A metal guide is used to ensure that the medium gravel of the outer annular ring does not mix with finer materials of the inner layers., **E.** Installation of lysimeters in the control latrine, **F.** Appearance of the wastewater tank of the alternative latrine after 82 days of wastewater application. Formation of biofilm near centre of tank.

Figure 3: Geological profile of the alternative and control excavations. Axes given for cardinal direction and distance along circumference from the east position.

Figure 4: Effluent discharge rates for the alternative and control latrines during first 82 days of wastewater application

Figure 5: Design of alternative and control latrine.

Figure 2: Model domain and hydraulic boundary conditions for HydroGeoSphere simulation.

Figure 3: Saturation indices (%) calculated by HydroGeoSphere.

Figure 4: Vertical linear porewater velocities (m d⁻¹) calculated by HydroGeoSphere.

Figure 5: Negative pressure (m H₂O) calculated by HydroGeoSphere.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Electrical conductivity (μScm^{-1})

Figure 6: Measured electrical conductivity (CE) measurements ($\mu\text{S cm}^{-1}$) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative septic well

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control septic well

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

pH

Figure 7: Measured pH readings of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Eh (mV)

Figure 8: Measured Eh readings (mV) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

O₂ concentration (mg L⁻¹)

Figure 9: Measured O₂ concentration (mg L⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Alkalinity concentration (mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)

Figure 10: Measured alkalinity concentration (mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Heterotrophic bacteria (cfu mL⁻¹)

Figure 12: Measured heterotrophic bacteria (HB) concentration (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Total coliform bacteria (cfu mL⁻¹)

Figure 13: Measured total coliform (TC) bacteria concentration (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Thermotolerant coliform bacteria (cfu mL⁻¹)

Figure 14: Measured thermotolerant coliform (TTC) bacteria concentration (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

E. coli (cfu mL⁻¹)

Figure 15: Measured *E. coli* (EC) concentration (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Sulphur-reducing *Clostridia* (cfu mL⁻¹)

Figure 16: Measured sulfite-reducing *Clostridia* (SRC) (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrine.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Clostridium perfringens (cfu mL⁻¹)

Figure 17: Measured *Clostridium perfringens* concentration (cfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Alternative latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Control latrine

After 42 days of
wastewater
application

After 82 days of
wastewater
application

Somatic coliphage (pfu mL⁻¹)

Figure 18: Measured somatic coliphage concentration (pfu mL⁻¹) of wastewater effluent sampled 42 and 82 days after commissioning alternative and control latrines.

Table 1: Estimated values of hydraulic conductivity and van Genuchten unsaturated flow parameters for construction materials and aquifer matrix used in HydroGeoSphere modeling.

Material	K_s , Saturated hydraulic conductivity ^a	θ_R , Residual water content	Porosity (%)	van Genuchten parameters	
	($m\ s^{-1}$)	(—)		α (unitless)	β (m)
Unsaturated zone (clayey sand)	10^{-6}	0.04	35	1.5 ^d	1.6
Empty tank and overflow drainage	10^0 ^b	0.005	100	50 ^e	2.2
Coarse filter layer (medium gravel)	10^{-2}	0.04	30	50 ^e	2.2
Medium filter layer (fine gravel)	10^{-3}	0.01	30	50 ^e	2.2
Fine filter layer (coarse sand)	10^{-4}	0.04	30	14.5 ^d	2.7
BOF slag PRB	5×10^{-3}	0.01	35	50 ^e	2.2
Coarse sand layer	10^{-3}	0.04	30	14.5 ^d	2.7
Geotextile layer and Wastewater tank walls	10^{-10} ^c	0.01	35	14.5 ^d	2.7
Woodchip PRB	10^{-2}	0.005	30	50 ^e	2.2
Annular gravel ring (medium gravel)	10^{-1}	0.005	35	50 ^e	2.2

^a hydraulic conductivities, residual porosities and porosities estimated from grain-size descriptions and reported values in Freeze and Cherry (1979).

^b an extremely high value of hydraulic conductivity was used for voids.

^c an extremely low value of hydraulic conductivity was used for impermeable materials.

^d values for α and β for clayey sand and sand based on estimates given by Schaap et al. (1992).

^e values for α and β for gravel based on estimates given by Fayer et al. (1992).