UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O EFEITO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DE
SISTEMAS DE SANEAMENTO "IN SITU" NA
QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQÜÍFEROS LIVRES E RASOS**

Claudia Luciana Varnier

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O EFEITO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DE SISTEMAS DE
SANEAMENTO "IN SITU" NA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM AQUÍFEROS LIVRES E RASOS**

CLAUDIA LUCIANA VARNIER

Orientador: Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Examinadores: Prof. Dr. Celso de Oliveira Loureiro

Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O EFEITO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DE
SISTEMAS DE SANEAMENTO "IN SITU" NA
QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
AQÜÍFEROS LIVRES E RASOS**

Claudia Luciana Varnier

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900007270

SÃO PAULO
2001

Aos meus pais

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTAS DE FIGURAS	iii
LISTAS DE TABELAS	vi
LISTAS DE FOTOS	vii
LISTAS DE ANEXOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativas e objetivos	1
1.2. Localização e caracterização da área de estudo	2
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS	5
2.1. Geologia regional	5
2.1.1. <i>Bacia de São Paulo</i>	5
2.1.2. <i>Coberturas quaternárias</i>	7
2.2. Hidrogeologia regional	10
2.2.1. <i>Sistema aquífero sedimentar</i>	10
2.3. Hidrogeoquímica regional	12
3. AQUÍFEROS LIVRES E RASOS	15
4. OS SISTEMAS DE SANEAMENTO <i>IN SITU</i> E A CONTAMINAÇÃO DE	
 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	18
4.1. Ciclo do nitrogênio	18
4.2. Sistemas de saneamento <i>in situ</i>	20
4.2.1. <i>Nitrificação</i>	22
4.2.2. <i>Denitrificação</i>	24
4.3. Riscos à saúde relacionados à contaminação de água subterrânea por	
nitrato	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1. Instalação de poços de monitoramento	30
5.2. Piezometria	30
5.3. Coleta de amostras	33
5.4. Análises químicas	33
5.5. Tratamento dos dados e confiabilidade dos resultados analíticos	35

5.6. Levantamento geofísico.....	36
5.6.1. Radar de penetração de solo (GPR).....	37
5.6.2. Eletromagnético indutivo.....	40
5.7. Slug-tests.....	42
5.8. Aplicação de modelação matemática tridimensional	43
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
6.1. O sistema de saneamento <i>in situ</i>	44
6.2. Investigação geofísica	47
6.3. Contexto hidrogeológico da área	52
6.3.1. Hidrogeologia da área	52
6.3.2. A influência dos parâmetros hidráulicos nas variações dos níveis potenciométricos.....	57
6.3.3. Resultados da modelação matemática tridimensional.....	62
6.4. Hidrogeoquímica.....	67
6.4.1. Acuracidade dos resultados.....	67
6.4.2. Composição e evolução química da água subterrânea	69
6.4.2.1. Evolução da série nitrogenada no aquífero.....	69
6.4.3. Variações temporais e espaciais dos parâmetros físico-químicos dos poços de monitoramento	79
7. CONCLUSÕES	85
8. RECOMENDAÇÕES.....	87
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração deste trabalho muitas pessoas e instituições tiveram importante participação e a elas expressei os meus agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata, pela orientação, discussões, paciência, apoio e confiança depositada durante todo este período.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), em especial ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental pela oportunidade de realizar este trabalho, dispondo de toda a infra-estrutura.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo auxílio financeiro, através da concessão das Bolsas de Mestrado (98/10481-4) e Auxílio à Pesquisa (97/6950-6).

Ao Parque Ecológico do Tietê – Engenheiro Goulart do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) através da sua diretora Priscilla Telles Siqueira Balotta de Oliveira por permitir a utilização das dependências do parque e, aos funcionários Fernando Antonio Pinto Teixeira, João Destro Junior, Osmar Luiz Costa, Rodolfo Ruiz Garcia pela atenção dispensada.

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

Ao Prof. Jesse Stimson pelas valiosas discussões e sugestões de hidroquímica.

Aos professores Paulo Roberto dos Santos e Thomas Rich Fairchild pelas revisões do *abstract*.

Aos funcionários do Instituto, em especial Ana Paula, Magali (secretária da pós-graduação), Biotita, aos funcionários da gráfica, setor de transporte e biblioteca.

Aos amigos do Laboratório de Modelos Físicos, Alessandro Cesarino (Ghummy), Alexandra Suhogusoff, Angélica Souza Gutierrez, Cristiano Mazur Chiessi, Fabiana Cagnon, Fabíola Rossato, Jeane Gláucia Santos (Manah), Liliana Otalvaro, Luiz Carlos Ferrari (Louis), Marta Almodovar, Marcos Mondin (Zeca), Reginaldo Bertolo, pela agradável convivência durante esses anos além das indispensáveis ajudas nos trabalhos de campo, discussões e revisões do texto de que tanto pude aproveitar.

Ao Benedito "Paquita" Ubiratã da Silva e Aimar Nicoletti pelas inúmeras idas ao campo e ajuda com o levantamento topográfico.

Ao Sérgio Ataíde Martins e Abelar da Silva Zeferino pela ajuda na instalação dos poços de monitoramento da área.

Aos amigos da pós-graduação, Alexandre Tomio (Xoquito), Alexandre Carnier da Silva (Tobias), Anísia Castro Pereira, Cristiane Lorena, Claudio, Douglas Bastianon, Gilson Burigo Guimarães, George de Barros (Cecê), Ivo, Iraldo, Jamile Dehaini, Lucelene Martins, Luciano Gobbo (Americana), Marcelo Gramani (Metralha), Marcia Mika Saito, (Waldemar), Silvia Cremonese, Silvia Maria, Veridiana.

Aos amigos da graduação, Abelha, Alejandra, Bizu, Couver, Digo, Eunuco, Fepasa, Haxta, Japa, Phoça, Metanol, Meio Belo, Magry, Metralha, Moribundo, Rui (Laura), Sibebe, Sivuka, Uga, Vangay.

Ao Gaston, companhia constante em todos estes anos.

À minha família, Luiz, Cleusa, Ana Paula, Giseli e "Gabi" pelo apoio, carinho e por tudo o que representam.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.....	3
Figura 1.2 – Histograma das variações médias mensais de precipitação pluviométrica referentes à Estação Meteorológica da Água Funda (Fonte: IAG).....	4
Figura 2.1 - Mapa geológico com a indicação da área de estudo (TAKIYA, 1997)	8
Figura 3.1 – Profundidade atingida pelas linhas de fluxo no aquífero (APPELO & POSTMA, 1993).....	15
Figura 3.2 – Efeitos da precipitação no contorno das linhas de fluxo (APPELO & POSTMA, 1993).....	16
Figura 3.3 – Efeito da condutividade hidráulica nas mudanças de contorno das linhas de fluxo (APPELO & POSTMA, 1993).....	17
Figura 4.1 - Modelo esquemático da distribuição dos diversos compostos de nitrogênio na natureza (extraído de STUMM & MORGAN, 1996)	18
Figura 4.2 - Diagrama de equilíbrio Eh-pH para o sistema nitrogenado a 25°C e $pN_2 = 0,77$ atm.....	20
Figura 4.3 - Seção esquemática de uma fossa séptica apresentando o seu funcionamento (extraído de WILHELM <i>et al.</i> , 1994)	21
Figura 5.1 - Localização dos poços de monitoramento.....	31
Figura 5.2 – Mapa de localização dos perfis de caminamento (GPR – 1ª campanha).....	38
Figura 5.3 - Mapa de localização dos perfis de caminamento (GPR – 2ª campanha).....	39
Figura 5.4 - Mapa de localização dos perfis de caminamento (EM31 – 2ª campanha)	41
Figura 5.5 – Gráfico h/h_o versus tempo utilizado pelo método de Hvorslev (FETTER, 1994)....	42
Figura 6.1. – Seção esquemática do funcionamento do sistema séptico no Parque Ecológico do Tietê.....	44
Figura 6.2 – Localização do sistema séptico na área de estudo.....	45
Figura 6.3. - Resultados obtidos através do levantamento geofísico (GPR – 1ª campanha).....	48
Figura 6.4. - Resultados obtidos através do levantamento geofísico (GPR – 2ª campanha).....	49

Figura 6.5 – Resultados obtidos através do levantamento geofísico (EM31- 2ª campanha)	50
Figura 6.6 – Mapas de isocondutividade elétrica e isoconcentração (cloreto) referentes ao mês de abril de 2000	51
Figura 6.7 – Mapas potenciométricos referentes aos meses de março a agosto de 1999	53
Figura 6.8 – Mapas potenciométricos referentes aos meses de setembro de 1999 a julho de 2000	54
Figura 6.9 – Mapa de isocondutividade hidráulica horizontal (m/s) da área de estudo	56
Figura 6.10 – Diagramas dos totais diários de precipitação e níveis estáticos nos poços de monitoramento	58
Figura 6.11 – Variações dos valores mensais de nível estático durante os períodos de chuva e estiagem	59
Figura 6.12 – Ilustração das condições de contorno, condutividades hidráulicas e recarga adotados no modelo	63
Figura 6.13 – Ilustração dos números de camadas adotados no modelo matemático	62
Figura 6.14 – Ilustração das condições de contorno adotadas nas porções superior e inferior da área.	64
Figura 6.15 – Representação das trajetórias das partículas atribuídas nas quatro situações ...	66
Figura 6.16 – Histograma ilustrando a distribuição dos erros superiores e inferiores a 10% (total de 121 amostras)	68
Figura 6.17 – Distribuição dos domínios hidroquímicos na área de estudo	70
Figura 6.18 – Isoconcentrações referentes ao mês de janeiro de 1999	71
Figura 6.19 – Isoconcentrações referentes ao mês de julho de 1999	72
Figura 6.20 – Isoconcentrações referentes ao mês de agosto de 1999	73
Figura 6.21 – Isoconcentrações referentes ao mês de setembro de 1999	74
Figura 6.22 – Isoconcentrações referentes ao mês de janeiro de 2000	75
Figura 6.23 – Perfil esquemático ilustrando as zonas dos diferentes compostos nitrogenados e íons maiores na pluma e suas porcentagens de variação para as diferentes	

épocas do ano. Os valores em asterisco representam os dados observados na campanha de amostragem	76
Figura 6.24 – Gráficos de correlação entre os parâmetros físico-químicos das amostras cloro-nitratadas sódicas.....	78
Figura 6.25 – Diagramas mostrando a variação de concentração ao longo dos períodos amostrados	80
Figura 6.26. – Variações mensais nas concentrações de nitrato para os poços de monitoramento.	81
Figura 6.27 – Comportamento da pluma contaminante nos períodos de chuva e estiagem	82

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre as espécies de nitrogênio e seus respectivos estados de oxidação (STUMM & MORGAN, 1996).....	18
Tabela 2 - Dados termodinâmicos para o nitrogênio.	19
Tabela 3 - Reações químicas mais importantes associadas a sistemas de saneamento <i>in situ</i> (WILHELM <i>et al.</i> , 1994).	25
Tabela 4 - Métodos, equipamentos e faixa de leitura dos compostos medidos em campo	34
Tabela 5 - Equipamentos utilizados para a determinação dos parâmetros físico-químicos	34
Tabela 6 - Métodos analíticos adotados para a determinação dos parâmetros em laboratório.	35
Tabela 7 – Resultados das análises totais das fossas.....	46
Tabela 8 – Valores de condutividade hidráulica obtidos pelos <i>slug-tests</i>	55
Tabela 9 – Resultados dos coeficientes de correlação entre nível estático e condutividade hidráulica. Todas as correlações encontradas têm significância de 5% (DAVIS, 1986).	57
Tabela 10 – Relação do número de vizinhos para cada raio de influência dos poços	60
Tabela 11 – Resultados obtidos através da análise por circunvizinhança considerando r_i igual a 3,5 m.....	61
Tabela 12 – Resultados dos coeficientes de correlação obtidos para as diferentes campanhas de amostragem.....	61
Tabela 13 – Valores dos parâmetros hidráulicos adotados no modelo matemático.....	64
Tabela 14 – Valores de carga hidráulica utilizados na condição de contorno do tipo carga conhecida.....	64
Tabela 15 – Distribuição das taxas de recarga utilizadas no modelo matemático.....	65
Tabela 16 - Relação das porcentagens dos erros obtidos para os resultados de campo e laboratório.	68
Tabela 17 - Relação das concentrações de nitrato e amônio entre os poços de 3 e 5 m de profundidade durante os períodos de chuva e estiagem.	83
Tabela 18 – Relação dos valores de condutividade hidráulica, nível estático e concentração de nitrato para um raio de influência de 3,5 m.....	83
Tabela 19 – Relação entre condutividade hidráulica e concentração em diferentes épocas do ano ($r_i = 3,5$ m).....	83

LISTAS DE FOTOS

Foto 1 - Martelete pneumático (Piönjar) utilizado para a instalação dos poços mais profundos	32
Foto 2 - Porção superior do tubo de aço galvanizado e peça de acoplamento do Piönjar	32
Foto 3 - Detalhe de instalação dos poços.....	32

LISTAS DE ANEXOS

Anexo 1 – Perfis geológicos dos furos de sondagem	96
Anexo 2 – Características construtivas dos poços de monitoramento	98
Anexo 3 - Resultados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo	101
Anexo 4 – Resultados das análises químicas totais dos poços de monitoramento	113
Anexo 5 - Confiabilidade dos resultados analíticos.....	121
Anexo 6 – Diagramas Piper.....	137
Anexo 7 – Composição química das águas subterrâneas	140
Anexo 8 - Tratamento estatístico dos dados referentes às águas cloro-nitradas sódicas. .	143

RESUMO

O nitrato é um dos mais sérios contaminantes nas águas subterrâneas e estudos detalhados sobre o seu comportamento ainda são restritos sobretudo em países de clima tropical. Este trabalho tem como objetivos, estudar e avaliar os impactos causados por sistemas de saneamento *in situ* nas águas subterrâneas, no Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart (PET-EG), zona leste do município de São Paulo.

A área compreende um aquífero do tipo livre, homogêneo, com valores de condutividade hidráulica variando de $6,75 \times 10^{-5}$ m/s a $1,51 \times 10^{-7}$ m/s. A recarga ocorre em toda a sua zona aflorante sendo a descarga junto às drenagens superficiais e lagos.

Os mapas potenciométricos mensais referentes ao período de janeiro de 1999 a setembro de 2000 apresentam duas direções principais do fluxo da água subterrânea no local: uma a norte em direção ao Rio Tietê e outra a noroeste da área, em direção ao lago.

Os métodos utilizados consistiram na caracterização físico-química das águas de 68 poços de monitoramento instalados progressivamente numa área de 2.500m². Alguns parâmetros como nitrato, nitrito, amônio, cloreto, pH, Eh, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido foram acompanhados quinzenalmente com equipamentos de campo, já os íons maiores (cálcio, magnésio, ferro, sódio, potássio, cloreto, sulfato e a série nitrogenada) foram medidos com frequência mensal.

As análises dos parâmetros físico-químicos indicaram contaminação da água subterrânea ocasionada pelo sistema de saneamento *in situ*, com concentrações de nitrato superiores àquelas permitidas por lei.

Este monitoramento detalhado permitiu identificar dois ambientes hidroquímicos distintos: cloro-sulfatadas cálcicas e cloro-nitratadas sódicas, estas últimas decorrentes do sistema de saneamento *in situ*. No domínio das cloro-nitratadas sódicas foi possível definir três diferentes zonas da série nitrogenada na pluma de contaminação, com predominância das formas reduzidas (nitrogênio orgânico + amônio) próximas ao sistema séptico e das formas oxidadas (amônio + nitrato) em locais mais distantes.

Todos os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram uma variação espacial e temporal em suas concentrações em função dos efeitos da recarga, que alteraram também o traçado da superfície equipotencial. Na época de chuvas, os tubos de fluxos que contém maiores concentrações de contaminantes provenientes da fossa séptica são deslocados para baixo pelos novos tubos de fluxos que ali se formam devido à recarga.

Tal constatação foi comprovada através da modelação matemática tridimensional utilizando-se do aplicativo Visual Modflow. Vários cenários foram criados de modo a avaliar as mudanças nos traçados dos tubos de fluxo mediante variações na recarga e na condutividade hidráulica. Os resultados obtidos indicaram mudanças significativas no traçado das partículas e por conseguinte das linhas de fluxo, alcançando estas maiores profundidades quanto maior a recarga ou sofrendo maior deflexão quanto mais heterogêneo o meio.

ABSTRACT

Nitrate (NO_3^-) is the most common contaminant in groundwater. This work investigated the impacts on groundwater caused by septic systems, which leak domestic effluents into a shallow, unconfined sandy alluvial aquifer at Parque Ecológico do Tietê, São Paulo, Brazil. In the study area, this aquifer is homogeneous with a hydraulic conductivity varying from 6.75×10^{-5} to 1.51×10^{-7} m/s. Recharge occurs over the entire area and is most effective during the rainy season. Monthly potentiometric maps indicate two main flow directions within this aquifer: one northwards toward the Tietê River and the other northeastwards toward the artificial lakes in the area.

The present study is based on chemical analyses of 68 shallow wells (up to 5.0 m deep), each installed in an area 50x50 m, and chemical parameters as nitrate, nitrite, ammonium, chloride, pH, Eh, electrical conductivity and dissolved oxygen were measured biweekly *in situ* using portable equipment. Major ions and nitrogen compounds (organic-N, ammonia, ammonium, nitrite, nitrate) were analysed monthly in the laboratory.

This detailed monitoring program identified two different hydrochemical environments one characterized by calcium-sulfate chloride and the other by sodium-nitrate chloride. Due to the distribution of nitrogen species (organic-N, ammonium and nitrate) within the sodium - nitrate chloride water, it was possible to identify three distinct geochemical zones in the contamination plume: i) organic nitrogen + ammonium, ii) ammonium + nitrate, and iii) nitrate. Near the septic tanks, there is a predominance of reduced compounds predominate due to oxygen consumption by organic matter degradation and nitrification processes.

Concentrations of nitrogen compounds and other chemical parameters change during dry and humid seasons as a consequence of the recharge and changes in geometry of streamtubes. During the rainy season, streamtubes having greater concentration of contaminants are dislocated downward by the formation of a new set of streamtubes.

Simulations using a three-dimensional mathematical modelling (Visual Modflow) were created to illustrate the changes in streamtube distribution due to variations in recharge and hydraulic conductivity. The results indicate significant changes in flow lines, which penetrate more deep with greater recharge on suffer greater deflection with increasing heterogeneity of the porous medium.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativas e objetivos

O nitrato é o poluente de ocorrência mais freqüente nas águas subterrâneas. Em concentrações superiores a 10 mg/L NO_3^- -N (aproximadamente 44 mg/L NO_3^-) pode causar metahemoglobinemia e câncer (WHO, 1999; USEPA, 1995). No entanto, estas concentrações podem atingir valores de até 11,3 mg/L NO_3^- -N (equivalente a 50 mg/L NO_3^-) conforme proposto pela EC Directive (91/676/EEC). As práticas agrícolas, incluindo o uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, lavoura em áreas virgens e criação de animais são importantes fontes antrópicas deste contaminante. Outra origem está associada aos sistemas de saneamento *in situ*, quer por fossas sépticas quer por fossas rudimentares. Em áreas providas de esgotamento sanitário, a construção inadequada dos tanques sépticos, bem como a falta de manutenção destes sistemas, podem contribuir como focos de contaminação em aquíferos rasos sobretudo em áreas de grande densidade populacional. No Brasil, embora não existam estudos sistemáticos, alguns autores têm se reportado a casos de impacto em aquíferos por essa substância (DUARTE & KANEHISA, 1986; FERREIRA & HIRATA, 1993; CAMPOS *et al.*, 1994; HIRATA *et al.*, 1996; FERREIRA, 1999).

As fossas sépticas tradicionais, mesmo as bem desenhadas e construídas, geram em certo grau, contaminação por nitrato (DOMENICO & SCHWARTZ, 1990; JOWETT, 1994; WILHELM *et al.*, 1994). Vários pesquisadores têm demonstrado a forte necessidade de desenvolvimento de sistemas alternativos, que reduzam esses impactos (JOWETT, 1994; MOTE & RUIZ, 1994).

No Brasil, este problema é ainda maior, se for analisado o sistema de saneamento que serve à população. Segundo dados fornecidos pelo IBGE (1991), 42% da população (aproximadamente 61 milhões de pessoas) utiliza fossas rudimentares ou não possui qualquer sistema de saneamento. A situação é ainda mais grave se forem consideradas apenas as regiões norte e nordeste do País onde estes percentuais são superiores a 60%.

Esta situação de saneamento básico precário, na prática, se traduz na deposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Uma agravante a este problema são as favelas. Segundo FOSTER & HIRATA (1988), existe uma forte correlação entre a densidade de sistemas de saneamento e a contaminação por nitrato e microorganismos patogênicos. Nas favelas, a densidade populacional é enorme, com grande concentração de fossas negras muito próximas aos poços cacimbas. Somente no Estado de São Paulo, o censo do IBGE (1991) cadastrou mais de 1.327.000 pessoas vivendo nesta condição. No Brasil, o número é superior a 4.450.000 pessoas, espalhadas em 3.200 favelas.

O problema da inter-relação fossa-poço não se restringe apenas às áreas faveladas. Segundo o mesmo censo, 20% da população do País utiliza poços próprios para seu

abastecimento e somente 32% (cerca de 45 milhões de pessoas) está conectada devidamente à rede de esgoto. REBOUÇAS (1988) admite que 51% dos brasileiros podem estar utilizando o recurso hídrico subterrâneo para abastecimento, embora cifras ao redor de 35-40% sejam hoje em dia mais aceitas.

Segundo o Ministério da Saúde – Sistema de Informações sobre Mortalidade, 47.936 pessoas morreram no Brasil no ano de 1997 devido às doenças parasitárias e infecciosas, das quais 8.891 crianças menores que 5 anos, o que poderia ser evitado em grande número por um sistema adequado de saneamento e de educação ambiental.

Embora os estudos do comportamento e atenuação de nutrientes (nitrogênio e fósforo) já datem alguns anos (KEENEY, 1986; POSTMA *et al.*, 1992; ROBERTSON *et al.*, 1991; WILHELM *et al.*, 1994; HIRATA *et al.*, 1996), estudos específicos a respeito da contaminação de aquíferos por nitrogênio, com programa de monitoramento freqüente, são ainda bastante restritos no Brasil, sobretudo quando o tema é enfocado com o grau de detalhe aqui apresentado.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ocasionados pelo sistema de saneamento *in situ* em aquífero livre, definindo o comportamento geoquímico detalhado e evolução da série nitrogenada na pluma contaminante, através de 68 poços de monitoramento instalados numa área de 2500 m², situada no Parque Ecológico do Tietê-Engenheiro Goulart (PET-EG). Os resultados apresentados fazem parte de um projeto de auxílio à pesquisa já concluído, intitulado "Nitrogênio nas Águas Subterrâneas: Fontes Antrópicas, Comportamento Hidrogeoquímico e Manejo" que contou com o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

1.2. Localização e caracterização da área de estudo

A área selecionada para o desenvolvimento do trabalho localiza-se nas dependências do Parque Ecológico Tietê-Engenheiro Goulart (PET-EG), município de São Paulo, divisa com Guarulhos (Figura 1.1). O PET-EG dista 35 km do centro da capital e o principal acesso ao local é feito pela Rodovia Ayrton Senna (SP-70). O Parque Ecológico do Tietê foi criado em 1976, com a finalidade de preservar as várzeas do Rio Tietê e combater, juntamente com outras obras (barragens, retificação do rio, desassoreamento), as enchentes na Região Metropolitana de São Paulo.

Com uma área total de 12 milhões e meio de metros quadrados, o PET-EG é administrado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, desde a sua fundação em 1982. Anteriormente, esta área era um sítio com localidades para a deposição de resíduos sólidos e escombros de construção.

Um dos critérios adotados para a seleção da área de pesquisa junto ao Casarão (atual Museu do Tietê) foi a não existência de outras fontes de contaminação que pudessem interferir neste estudo. Vários funcionários do parque foram entrevistados, inclusive aqueles que

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

trabalharam nas obras de sua construção. Todos atestaram que na área do Casarão não foram depositados resíduos sólidos, comuns em outras regiões do parque. Estes resultados foram constatados posteriormente através de investigações geofísicas e perfurações a trado manual. Além disso, procurou-se também uma área que preservasse o solo natural, afastando-se de zonas aterradas.

O PET-EG está inserido em fundo de vale, totalmente preenchido por sedimentos depositados em um ambiente fluvial meândrico, excepcionalmente contínuo, caracterizando um relevo de agradação continental (IPT, 1981).

A área está situada na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT), local bastante poluído uma vez que, o Rio Tietê tem servido de principal coletor de despejos urbanos da região.

As características climáticas do PET-EG se assemelham ao da cidade de São Paulo, ou seja, um temperado do tipo "Cwb", com invernos secos e verões úmidos. Devido ao posicionamento topográfico, a área é sujeita a geadas. A temperatura média anual, segundo dados da Base Aérea de São Paulo (Cumbica) é de 18,4°C.

Dados de pluviosidade, fornecidos pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP) na Estação Meteorológica da Água Funda, indicam que o período de maior precipitação ocorre entre outubro-março com médias mensais entre 208,9 a 266,1 mm, sendo janeiro e fevereiro os meses mais úmidos da série (máxima 266,1 mm). Já na estiagem, entre os meses de abril a agosto, estes valores não ultrapassam 73,0 mm sendo agosto o mês mais seco da série (23,6 mm). A Figura 1.2 representa as médias de precipitação mensais, ilustrando a distribuição das chuvas no período de 1991 e 2000.

Figura 1.2 - Histograma das variações médias mensais de precipitação pluviométrica referentes à Estação Meteorológica da Água Funda (Fonte: IAG).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

2.1. Geologia Regional

Na área de estudo, afloram sedimentos pertencentes à Bacia Sedimentar de São Paulo, que juntamente com as bacias de Curitiba, Taubaté, Resende e Volta Redonda, compõe o chamado Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976). Este termo foi modificado por RICCOMINI (1989) para Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), cuja origem está ligada a eventos tectônicos de idade cenozóica.

O RCSB dispõe-se segundo uma faixa extensa de aproximadamente 900 km, orientada segundo a direção E-NE. Os sedimentos da bacia estão contidos num hemi-graben basculado para NNW, sobrepostos aos terrenos cristalinos de idade pré-cambriana, relacionados ao Complexo Embu e aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba (JULIANI, 1992).

O embasamento cristalino dessas bacias inclui-se no contexto geotectônico denominado Cinturão Ribeira (ALMEIDA *et al.*, 1973). A região foi também denominada de Região de Dobramentos Sudeste por HASUI *et al.* (1978) e SCHOBENHAUS *et al.* (1984) e de Província Mantiqueira por ALMEIDA & HASUI (1984). Esta unidade é composta por granitos sin e pós-tectônicos e rochas metamórficas (migmatitos, gnaisses, xistos e rochas metassedimentares).

A área do RCSB é intensamente recortada por um denso sistemas de falhamentos transcorrentes de caráter dextral e orientados segundo a direção ENE a EW, ativos até o final do Ciclo Brasileiro, no Cambro-Ordoviciano, originando espessas faixas de rochas cataclásticas (SADOWSKI, 1991). As reativações destes falhamentos durante o Terciário provocaram movimentos verticais que teriam originado a bacia sedimentar e condicionado a deposição e deformação dos sedimentos (RICCOMINI *et al.*, 1989; MANCINI & RICCOMINI, 1994).

2.1.1. Bacia de São Paulo

A Bacia de São Paulo está localizada no denominado Planalto Paulistano conforme a concepção de ALMEIDA (1958 *apud* RICCOMINI & COIMBRA, 1992). Este planalto compreende uma área de 5000 km² situada em sua maior parte entre 715 a 900 m de altitude. Apresenta relevo suavizado, de morros e espigões relativamente baixos e drenagem fluindo para o Rio Tietê e seus afluentes, à montante da soleira de Barueri, na Serra de Itaqui. O Planalto Paulistano é uma feição geomorfológica mais recente do que a Superfície do Japi, esta última de feição regional e idade paleogênica. Além do Tietê, a Bacia de São Paulo é drenada pelos rios Pinheiros, Tamanduateí e tributários.

A área da bacia compreende terrenos pré-cambrianos, sedimentos terciários além de coberturas colúvio-aluviais quaternárias. Estes sedimentos estão distribuídos numa área elíptica de aproximadamente 1000 km², limitada a norte pelo sistema de falhas Taxaquara-Jaguari e apresentando contatos irregulares a sul, com o embasamento.

Os sedimentos da bacia foram identificados e inicialmente estudados por MAWE (1812 *apud* RICCOMINI, 1989) na região central da cidade. PISSIS (1842 *apud* RICCOMINI, 1989) descreveu um perfil semelhante ao observado e descrito por MAWE, apresentando em seguida uma seção estratigráfica da bacia que, segundo RICCOMINI (1989), representa a primeira referência litoestratigráfica da Bacia de São Paulo.

Vários estudos se sucederam até que MORAES REGO (1933) introduziu a denominação de "camadas de São Paulo". Somente em 1962 surge a referência Formação São Paulo, proposta por MEZZALIRA (1962).

Os avanços mais significativos relacionados à bacia estão notificados nos trabalhos da década de 80, revelando uma maior complexidade geológica do que antes admitido. COIMBRA *et al.* (1983) definiu a Formação Itaquaquecetuba, de idade quaternária (Pleistoceno Superior) em substituição aos anteriormente denominados aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê propostos por SUGUIO & TAKAHASHI (1970). Por ocasião de sua definição, COIMBRA *et al.* (1983) consideraram a Formação Itaquaquecetuba como de idade quaternária devido às datações radiométricas efetuadas por BIGARELLA (1971) e SUGUIO (1971) em troncos fósseis. No entanto, esta idade é questionada pelos trabalhos de MELO *et al.* (1986) que sugeriram idades mais antigas através de análises palinológicas e determinações paleomagnéticas. O paleomagnetismo apontou idade superior a 730.000 anos e os palinomorfs indicaram idade eocênica superior.

RICCOMINI (1989) propôs uma revisão litoestratigráfica não só da Bacia de São Paulo como também de outras que estariam interligadas ao RCSB. Segundo RICCOMINI *et al.* (1992), a Bacia de São Paulo seria composta por sedimentos das formações Resende, Taubaté e São Paulo (Terciário, Paleógeno), superpostos pela Formação Itaquaquecetuba (Terciário, Neógeno) e depósitos neoceno-zóicos.

Trabalhos recentes mostram a adoção da caracterização do RCSB por diversos autores indicando uma boa aceitação do termo, bem como na maioria dos casos, da revisão estratigráfica e do modelo estrutural proposto pelo autor para as principais bacias do rift.

2.1.2. Coberturas quaternárias

As coberturas quaternárias são representadas por coluviões e aluviões em várzeas e terraços baixos, com espessura raramente ultrapassando os 10 m (Figura 2.1). Tais coberturas têm ocorrência significativa na Região Metropolitana de São Paulo onde se destacam os depósitos aluviais nas extensas planícies dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva, Cabuçu e seus principais tributários. No entanto, estes sedimentos apresentam-se na maioria da vezes cobertos por camadas de aterro (TAKIYA, 1997).

Segundo MELO *et al.* (1987), os depósitos pleistocênicos compreendem predominantemente colúvios argilo-arenosos, com lentes argilosas ou conglomeráticas, ocasionalmente apresentando madeira fóssil e aluviões subordinados, representados por conglomerados basais sobrepostos por areias grossas a conglomeráticas com estratificações cruzadas.

Os depósitos holocênicos são descontínuos, de pequena espessura e representados por coluviões e aluviões em várzeas. Ocorrem, também associados a estes, cascalheiras com seixos arredondados de quartzo e quartzito (*stone lines*) separando os depósitos coluviais de rochas do embasamento ou sedimentos terciários. Nas várzeas, estão sedimentados os depósitos aluviais, bem como os depósitos de baixos terraços na base dos quais se desenvolvem cascalheiras com seixos a blocos de quartzo e quartzito.

ALMEIDA *et al.* (1984 *apud* RICCOMINI & COIMBRA, 1992) descreveram depósitos nos portos de areia da margem direita do Rio Tietê em Itaquaquetuba capeando discordantemente a Formação Itaquaquetuba. Notaram a existência de cascalheira basal com blocos atingindo até 0,5 m de diâmetro sobrepostos por areias médias com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte em pacote de até 2 m de espessura. Perfis semelhantes também foram descritos por MELO *et al.* (1987) na várzea do Rio Tietê, pouco a sul de Jundiapéba e TAKIYA (1991), no Vale do Anhangabaú.

TURCQ & MELO (1989) apresentaram dados sobre datações de alguns corpos aluviais e coluviais na Região Metropolitana de São Paulo, porém pouco elucidaram sobre a cronologia dos eventos ocorridos no Quaternário. Chamaram a atenção, no entanto, que a maior parte desses sedimentos se depositaram já no final do Pleistoceno.

As datações radiométricas apontam para uma fase de clima mais seco do que o atual entre 52.000 e 18.000 anos, responsável pelo intenso coluvionamento, formação de linhas de seixos entre 20.000 e 5.000 anos atrás e períodos de seca há 6.000, 4.000 e 2.000 anos atrás. Entre 100 e 300 AP estariam relacionados os episódios de ajustamento das drenagens. Os resultados obtidos nas datações radiométricas e análises palinológicas por TAKIYA (1997), de 13.000 AP, apontam a existência de pelo menos duas fases principais de desenvolvimentos de

LEGENDA

Cobertura aluvial quaternária (areias, argilas e conglomerados).		Falha dextra.
Sistema fluvial meandrante. Predominância de camadas decimétricas de conconglomerado, areia e argila sendo esta última mais abundante. Formação São Paulo.		Falha reversa, com dentes no bloco cavalgante.
Sistemas de leques aluviais à planície fluvial entrelaçada. Predominância de lamitos arenosos a argilosos com seixos e fragmentos de quartzo, quartzito e rochas embasamento ocorrendo, subordinadamente, intercalações com até 1m de espessura de areia e cascalhos.		Falha observada.
Sistema de leques aluviais. Predominância de lamitos seixosos com lamitos arenosos subordinados, contendo ainda seixos e matacões.		Falha inferida.
Sistema lacustre. Sedimentos argilosos e siltosos. Formação Itaipembé.		Falha normal.
Embasamento Pré-Cambriano. Unidades magmáticas e metamórficas indiferenciadas.		Área de estudo.
Sistema fluvial entrelaçado. Conglomerados, areias e, secundariamente, argilas e lamitos encobertos por aluviões quaternários. Formação Itaquaquecetuba.		Centro de localidades principais.

Figura 2.1. Mapa geológico com a indicação da área de estudo (TAKIYA, 1997).

rios meandantes provavelmente perdurando até os dias atuais, com intervalos de climas mais secos há 8.000, 6.000, 4.000, 2.000, 1.000 e 300 AP (SERVANT *et al.*, 1989; RICCOMINI *et al.*, 1991; TAKIYA & YBERT, 1991).

Na área de estudo, sedimentos quaternários de origem aluvionar, associados ao Rio Tietê. Litologicamente estes são constituídos por lentes de argila, silte e areia de cor marrom clara a escura intercaladas, com riqueza de material orgânico no primeiro 0,5 m. Após 2 m, são observadas areias finas não consolidadas de cor parda e amarela, mais permeáveis. Três sondagens do tipo SPT executadas pela empresa Conteste Engenharia e Tecnologia Ltda, há aproximadamente 20 m do local, indicaram que tal intercalação se estende até 20 m de profundidade (Anexo 1). Esse material recobre os sedimentos terciários da Formação São Paulo, representado por depósito de camadas e lentes de areia e argila, em proporções variadas e raros leitos de cascalho. A espessura média dos sedimentos na área é maior que 100 m, como atesta um poço tubular perfurado junto ao Museu do Tietê (antigo Casarão). Todo este pacote, segundo o perfil de um outro poço de 260 m instalado pela empresa HIDROGESP a aproximadamente 2 km do local, recobre o embasamento cristalino representado por granitos de coloração cinza, milonitizados, compostos por quartzo, feldspato e biotita.

2.2. Hidrogeologia regional

A área de estudo está inserida no domínio da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT), circundada por setores montanhosos que formam os divisores naturais das águas superficiais e subterrâneas do sistema. A BAT, considerada a mais populosa unidade hidrológica do País, possui como curso principal o Rio Tietê cujo escoamento ocorre no sentido leste-oeste.

Esta unidade hidrológica engloba os domínios da Bacia Sedimentar de São Paulo representada pelos sedimentos terciários e depósitos neoceno-zóicos e as rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, estas últimas representadas pelo Complexo Embu, rochas granitóides e pelos grupos São Roque e Serra do Itaberaba. Este contexto geológico determina dois tipos de unidades aquíferas: uma associada aos depósitos sedimentares e outra às rochas pré-cambrianas. As unidades aquíferas constituintes da BAT foram estudadas por vários autores (DAEE, 1975; ROCHA *et al.*, 1989, SABESP/CEPAS, 1994; HIRATA & FERREIRA, *no prelo*). Os primeiros estudos sobre o contexto hidrogeológico da BAT foram efetuados pelo DAEE (1975) que propôs uma divisão da BAT em dois tipos de aquíferos: cristalino e o sedimentar. HIRATA & FERREIRA (*no prelo*) sugerem uma nova proposta de divisão das unidades hidro-estratigráficas em cartografia 1:100.000, representada por dois sistemas aquíferos: o Cristalino (SAC) e o Sedimentar (SAS), cada um das quais divididas em dois aquíferos. Será retratado neste estudo, apenas os aspectos pertinentes ao Sistema Aquífero Sedimentar.

2.2.1. Sistema Aquífero Sedimentar

O Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) é o mais explorado e recobre 25% da área total da BAT. O SAS compreende duas unidades aquíferas, os aquíferos São Paulo e Resende, associados às formações homônimas (HIRATA & FERREIRA, *no prelo*).

Conforme a litoestratigrafia proposta por RICCOMINI *et al.* (1992), os sedimentos terciários constituintes da unidade aquífera compreendem da base para o topo: Formação Resende e Formação São Paulo.

A Formação Resende possui distribuição generalizada e representa mais de 80% do preenchimento da bacia, constituindo o seu principal reservatório. SABESP/CEPAS (1994), em estudos hidrogeológicos envolvendo toda a Região Metropolitana de São Paulo, adotaram esta seqüência sedimentar pela primeira vez na cartografia do projeto, em escala 1:50.000. Naquele estudo avaliou-se a tendência das potencialidades hidrogeológicas com base nas características faciológicas dominantes.

Sotopostos a estas formações estão os depósitos aluvionares quaternários, constituintes das várzeas do Rio Tietê e tributários. Embora os sedimentos quaternários

apresentem extensão significativa na BAT, sua exploração é muito limitada em função do risco de poluição.

Estudos efetuados pelo DAEE (1975) indicam que os sedimentos quaternários estão incluídos dentro do mesmo sistema aquífero sedimentar devido à ligação hidráulica entre eles e pela dificuldade em diferenciar as litologias por meio da descrição dos perfis dos poços perfurados.

O SAS é heterogêneo e anisotrópico, porosidade primária apresentando ora sob condições livres, ora de semi-confinamento. Isto se deve à forma de ocorrência das lentes e/ou camadas constituintes das unidades faciológicas que se dispõe em freqüentes intercalações, predominando ora os sedimentos arenosos, ora argilosos.

A recarga ocorre por dois mecanismos distintos: a natural, proveniente das águas da precipitação que infiltra no solo atingindo o aquífero e a antrópica, por águas oriundas das fugas das redes de água e esgoto. A área de descarga compreende o Rio Tietê e seus tributários.

ROCHA *et al.* (1989) apontaram que há uma recarga proveniente dos domínios das rochas cristalinas alteradas, estimada em $0,36 \text{ Mm}^3/\text{km}^2/\text{ano}$. A recarga baseada nas fugas da água seriam da ordem de $473 \text{ Mm}^3/\text{s}$, totalizando $1.973 \text{ Mm}^3/\text{ano}$ para toda a BAT.

MENEGASSE-VELÁSQUEZ (1996) apresentou outro método de avaliação de recarga, baseado na flutuação dos níveis de água dos aquíferos sedimentares nos bairros do Sumaré e Pompéia. Os resultados obtidos incluem valores médios de $0,06 \text{ Mm}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ em áreas cujo índice de ocupação é de 73%.

As características hidráulicas das unidades constituintes do SAS são bastante variáveis. Os aquíferos São Paulo e Resende apresentam em geral, produtividade baixa ($0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) e média-baixa ($0,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), respectivamente. Segundo o DAEE (1975) os valores médios de transmissividade são de 15 a $70 \text{ m}^2/\text{dia}$ (média de $50 \text{ m}^2/\text{dia}$) e coeficientes de armazenamento de 0,02 a 10. A porosidade efetiva estimada com base no caráter faciológico oscila entre 2 a 10%. SABESP/CEPAS (1994) atribuem para o SAS, valor médio de porosidade eficaz (S_y) de 6%.

As demais formações reconhecidas por RICCOMINI (1992) são Tremembé Itaquaquetuba. Segundo HIRATA & FERREIRA (*no prelo*) estas duas formações não definem unidades aquíferas devido à sua pequena expressão em área.

Quanto ao uso do recurso hídrico subterrâneo, o número total de poços tubulares, cacimbas e mini poços perfurados e em operação na BAT é ainda desconhecido. Estudos desenvolvidos pelo DAEE (1975) permitiu, na época, estimar 4.000 poços tubulares e 40.000 poços cacimba para a Região Metropolitana de São Paulo. A partir das projeções feitas pelo DAEE, ROCHA *et al.* (1989) propuseram um número de 7.000 poços para a época.

Assim como ROCHA *et al.* (1989), SABESP/CEPAS (1994) estimaram a existência de mais de 7.000 poços e dezenas de milhares de poços cacimba a partir do cadastro desenvolvido por cinco empresas perfuradoras de São Paulo. Este cadastro apresentou para o período de 1986 a 1992 uma razão de 1.500 poços perfurados por ano.

Atualmente há mais de 37 empresas de perfuração atuando na BAT (HIRATA & FERREIRA, *no prelo*). Segundo estimativas dos autores é possível que existam mais de 13.000 poços perfurados sendo que destes 30% não se encontram mais em operação, restando aproximadamente 9.000 distribuídos predominantemente nos municípios de São Paulo, Guarulhos e região do ABCD. Em relação aos poços cacimba, acredita-se que o número esteja diminuindo devido a maior extensão da rede pública de água e à troca de poços cacimba por poços tubulares, mais confiáveis, de maior produção e mais protegidos de contaminantes.

As estimativas dos valores de vazões exploradas nos aquíferos, considerando que haja 9.000 poços na BAT, são de 404 Mm³/ano (12,8 m³/s), obtidos considerando vazão média dos poços de 123 m³/dia. Esta vazão contínua foi calculada a partir do estudo de PACHECO (1984 *apud* HIRATA & FERREIRA, *no prelo*) analisando 180 poços no município de São Paulo. No entanto se forem consideradas vazões de 4 m³/h, atualmente mais próximas à realidade, as vazões totalizadas atingiriam a 315 Mm³/ano (10,0 m³/s).

Considerando os 640 poços outorgados pelo DAEE na BAT, verifica-se que a vazão média por poço é de 224 m³/dia. Esta vazão representa o valor máximo permitido de exploração, embora não indica necessariamente que esta seja de operação. O volume total explorado na BAT pelos 9.000 poços seria de 736 Mm³/ano (23,3 m³/s), irreal para a bacia.

Embora a água subterrânea atue como uma fonte complementar para o abastecimento privado na BAT, ainda não se conhece o seu valor econômico ou a sua dimensão social. HIRATA & FERREIRA (*no prelo*) propõe estudos de maior detalhamento para o estabelecimento de um zoneamento mais detalhado, incluindo cadastro mais amplo dos poços explorados, sua distribuição na bacia, valores confiáveis de recarga do sistema, densidade de obras de captação, identificação do usuário e estabelecimento de zonas críticas de super-exploração do aquífero.

2.3. Hidrogeoquímica regional

Os primeiros estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas do aquífero sedimentar no município de São Paulo são do DAEE (1975). Neste estudo foram amostradas água de 100 poços espalhados na Região Metropolitana de São Paulo sendo que destes cerca da metade extraíam água do aquífero sedimentar e o restante do aquífero cristalino. Os parâmetros físico-químicos analisados incluíram íons maiores (cloreto, sulfato, alcalinidade, nitrato, cálcio,

magnésio, sódio, ferro), fluoreto, boro, manganês, cromo, chumbo, fosfato, cobre e detergentes. Foram também efetuadas análises bacteriológicas que incluíram a presença de coliformes fecais e totais

Os resultados obtidos indicaram que as águas apresentam baixo teor total de sais. 38% das águas apresentaram concentrações elevadas de ferro e/ou manganês excedendo às normas de potabilidade. Outros aspectos também foram avaliados como a turbidez e cor. Dois terços das amostras coletadas apresentaram turbidez e cores indesejáveis. Além disso, foram também constatadas concentrações de nitrato mais nitrito superiores a 10 mg/L em 9% das amostras.

Dados apresentados pela CETESB (1978 *apud* CAMPOS *et al.*, 1994) para as águas subterrâneas da Bacia de São Paulo indicaram valores de sólidos totais dissolvidos inferiores a 250 mg/L para 85% das amostras coletadas sendo os pontos de maior concentração alinhados ao longo dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, reflexo de possível influência antrópica. Concentrações de nitrato superiores a 10 mg/L-N encontraram-se também nas águas de poços próximos a estes rios.

Estudos efetuados por PARISOT (1983) na porção ocidental da Bacia de São Paulo, mostram que as águas do aquífero sedimentar apresentaram teores de sólidos totais dissolvidos muito baixos (3 a 45 mg/L) contrastando com as águas provenientes do aquífero cristalino, mais mineralizadas (80 a 500 mg/L). As águas do aquífero sedimentar foram classificadas predominantemente como bicarbonatadas sódicas e potássicas com razões iônicas $rNa = rCa = rK > rMg$; $rSO_4 > rHCO_3 > rNO_3$.

DAEE (1988), estudando a Bacia de São Paulo, verificou que as águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, com pH ácido a ligeiramente alcalino e resíduo seco inferior a 250 mg/L, com vários indícios de poluição ao longo dos rios Tietê e afluentes e concentrações que excediam ao limite de potabilidade para nitrato, amônia e ferro.

Estudos feitos por ROSS (1991), em quatro áreas ao longo dos rios Tietê e Pinheiros na Região Metropolitana de São Paulo, mostram que os aquíferos livres parecem não receber água contaminada proveniente destes dois rios por infiltração, pelo menos durante o período de estiagem. Durante o período de chuva quando os níveis dos rio são maiores, os gradientes hidráulicos tendem a reverter temporariamente o sentido e o aquífero livre recebe recarga do rio pelo menos por um pequeno período de tempo, mas insignificante para comprometer a qualidade das águas subterrâneas.

Este fenômeno pode ser verificado em duas localidades no Parque Ecológico do Tietê – Engenheiro Goulart, uma das áreas escolhidas pelo autor. O significado disso é que os aquíferos livres podem receber água contaminada na forma de recarga por um determinado período do ano. Durante o restante do ano, esta água poderia ser “lavada” para fora dos

depósitos. Isto sugeriria que para a maior parte do ano o rio receberia recarga da água subterrânea e que a água contaminada estaria hidráulicamente confinada no canal do rio, protegendo desta forma os aquíferos livres da contaminação.

Investigações de detalhe na áreas adjacentes à Universidade de São Paulo indicaram que uma infiltração significativa de água contaminada proveniente do rio poderia acontecer caso fossem construídos novos poços de bombeamento, próximos ao Rio Pinheiros. Simulações numéricas bi e tridimensionais efetuadas por ROSS (1991) nesta área, sob condições de bombeamento e não bombeamento corroboraram com esta afirmativa. Simulações de transporte de soluto não reativo mostraram uma pluma de água contaminada proveniente do rio sendo deslocada para baixo em direção aos poços de bombeamento. Além disso, foram também simulados cenários geológicos distintos: o primeiro assumindo um aquítarde contínuo e o segundo caracterizado pela existência de descontinuidades compostas por argila. Em ambos cenários os poços poderiam ser eventualmente contaminados pela água do Rio Pinheiros. Os níveis de contaminação atingidos foram de 5 a 12% do nível de contaminação original do rio e que se tornariam relativamente constantes para cada caso depois de aproximadamente 40.000 dias.

HIRATA & FERREIRA (*no prelo*) avaliaram o perigo de poluição do recurso hídrico subterrâneo confrontando as informações dos potenciais geradores de carga contaminante com o mapa de vulnerabilidade de aquíferos. Como resultado foram identificados diversos setores com maior probabilidade de geração de carga que incluem indústrias de processamento metal e mecânica, lixões, sistemas saneamento *in situ* e postos de gasolina.

3. AQÜÍFEROS LIVRES E RASOS

Os aquíferos livres e rasos ocorrem, com frequência, em planícies aluvionares e apresentam, em geral, zona não saturada de alguns metros e níveis estáticos próximos à superfície. Estes aquíferos apresentam grandes oscilações do nível d'água condicionadas aos fenômenos da recarga. A exploração destes aquíferos, principalmente nos grandes centros urbanos, é limitada em função da alta vulnerabilidade à poluição.

Outro fator também constatado em aquíferos livres e rasos está relacionado à influência das taxas de precipitação sobre o contorno das linhas de fluxo. APPELO & POSTMA (1993), ao estudarem um aquífero livre e homogêneo, determinaram que variações espaciais e temporais da recarga ocasionam aumento na profundidade percorrida pelas linhas de fluxo. A profundidade atingida pela água no aquífero, a partir de um ponto x_0 (Figura 3.1), pode ser expressa segundo a equação abaixo:

$$\frac{x}{x_0} = \frac{D}{D-d}$$

onde

D = espessura do aquífero

x_0 = ponto de água infiltrada

x = distância percorrida pela água

d = profundidade atingida pelas linhas de fluxo no aquífero

R = recarga

t_1, t_2, t_3 = tempo

Figura 3.1 – Profundidade atingida pelas linhas de fluxo no aquífero (APPELO & POSTMA, 1993)

Em situações onde a recarga não é homogênea, a profundidade atingida pelas linhas de fluxo podem ser corrigidas para cada variação segundo ilustrada na Figura 3.2. Considerando dois excedentes de recarga R_1 e R_2 , a diferença na profundidade de água infiltrada é obtida segundo a equação:

$$\Delta(d) = \frac{[(R_2 - R_1) \times A \times D]}{Q_{tot}}$$

onde

$\Delta(d)$ = diferença de profundidade

R_1, R_2 = excedentes de recarga

A = área

D = espessura do aquífero

Q_{tot} = vazão

d = profundidade atingida pelas linhas de fluxo no aquífero.

Figura 3.2 - Efeitos da precipitação no contorno das linhas de fluxo (APPELO & POSTMA, 1993).

No geral os aquíferos não são homogêneos em relação às suas características hidráulicas. Considerando um aquífero composto por duas camadas de porosidade efetiva ne_1 e ne_2 , espessuras d_1 e d_2 , condutividade hidráulica K_1 e K_2 , e gradiente hidráulico igual para ambas (Figura 3.3), a distribuição das linhas de fluxo seria, neste caso, calculada através da relação:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{K_1 d_1}{K_2 d_2}$$

As velocidades da água nesta camada serão:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{K_1 n e_2}{K_2 n e_1}$$

Figura 3.3 - Efeito da condutividade hidráulica nas mudanças de contorno das linhas de fluxo (APPELO & POSTMA, 1993).

4. OS SISTEMAS DE SANEAMENTO *IN SITU* E A CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1. Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é considerado o principal constituinte da atmosfera, com aproximadamente 78% em volume. Este elemento ocorre na natureza em muitos estados de oxidação, variando desde -3 (NH_3) na forma mais reduzida, até +5 (NO_3^-), mais oxidada (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação entre as espécies de nitrogênio e seus respectivos estados de oxidação (STUMM & MORGAN, 1996).

Espécie	Estado de oxidação	Fonte
NO_3^-	+5	Fertilizantes, efluentes domésticos e industriais
$\text{NO}_2(\text{g})$	+4	Combustíveis fósseis
NO_2^-	+3	Fase intermediária da nitrificação e denitrificação
$\text{NO}(\text{g})$	+2	Combustíveis fósseis
$\text{N}_2\text{O}(\text{g})$	+1	Combustíveis fósseis/fase intermediária da nitrificação
$\text{N}_2(\text{g})$	0	Fertilizantes, atividade biológica, atmosfera
NH_4^+ , $\text{NH}_3(\text{g})$	-3	Fertilizantes, excrementos de animais, efluentes domésticos e industriais

As transformações sofridas pelo nitrogênio na natureza estão ilustradas na Figura 4.1:

Figura 4.1 – Modelo esquemático da distribuição dos diversos compostos de nitrogênio na natureza (extraído de STUMM & MORGAN, 1996).

Os solos, oceanos, lagos, atmosfera e atividade biológica constituem as principais fontes naturais de nitrogênio no planeta. A transferência deste elemento para os diferentes ecossistemas é contínua. Os principais agentes de transporte do nitrogênio de um ecossistema a outro são o vento, a água e a atividade biológica, estando o elemento em contínuo estado de fluxo.

A Figura 4.2 representa o diagrama Eh-pH para o sistema nitrogenado a 25°C, $p_{N_2} = 0,77$ atm, construído a partir da energia livre de Gibbs de formação (ΔG°_f) das seguintes espécies: NO_3^- , NH_4^+ , NH_3 e N_2 . Os valores de ΔG°_f utilizados para a confecção do diagrama encontram-se na Tabela 2:

Tabela 2 – Dados termodinâmicos para o nitrogênio. (WAGMANN et al., 1969 apud BROOKINS, 1988)

Espécie (estado de oxidação)	ΔG°_f (kcal/gfw)
$N_2(g)$	0,00
$NO_3^-(aq)$	-26,64
$NH_4^+(aq)$	-18,99
$NH_3(aq)$	-6,38
H_2O	56,69

De acordo com o diagrama Eh-pH, o nitrogênio ocorre no meio natural sob a forma de NH_4^+ , N_2 , NO_3^- . Pode ocorrer fases intermediárias como NO_2^- , NO, N_2O , embora suas concentrações nas águas naturais sejam muito pequenas. Uma grande parte do diagrama é ocupada por $N_2(g)$ dissolvido, proveniente da interação entre as águas naturais, solo e atmosfera.

O nitrato, produto final da nitrificação, somente é estável próximo ao limite superior de estabilidade da água. O campo de estabilidade do amônio, por sua vez, ocorre próximo ao limite inferior de estabilidade desta.

As práticas agrícolas, incluindo o uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, criação de animais, resíduos sólidos (lixões e aterros em locais inadequados), e sistemas de saneamento *in situ* (fossas sépticas e negras) constituem também em fontes importantes de nitrogênio no solo, águas naturais e atmosfera. Associados a isto incluem-se também as condições físico-químicas do ambiente (temperatura, Eh, pH), conteúdo de matéria orgânica, variações climáticas e litologia.

A amônia ocorre somente em pH muito elevado (>9) culminado com o limite do campo de estabilidade para o íon NH_4^+ . Sua concentração pode também estar relacionada ao uso de fertilizantes agrícolas e emissão de efluentes domésticos e industriais.

Figura 4.2 - Diagrama de equilíbrio Eh-pH para o sistema nitrogenado a 25°C e $pN_2 = 0,77 \text{ atm}$.

4.2. 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.

Os tanques sépticos quando desenhados e construídos adequadamente, oferecem uma alternativa muito eficiente e econômica para as soluções referentes ao saneamento básico. Isto se deve ao custo mais baixo que o dos sistemas de rede de esgoto convencionais. Segundo a

Environmental Protection Agency (1986 *apud* ROBERTSON *et al.*, 1991) cerca de um terço da população norte-americana utiliza tanques sépticos.

Os sistemas sépticos (fossas sépticas e negras) recebem dejetos alimentícios (proteínas, carboidratos e gorduras) e dejetos humanos (com alta concentração de uréia). Segundo TCHOBANOGLOUS *et al.* (1991 *apud* WILHELM *et al.*, 1994), cerca de 97% dos 20-70 mg/L do nitrogênio presente no efluente doméstico encontra-se na forma de proteínas e uréia. A água do sistema e a presença de microorganismos anaeróbios desencadeiam uma série de reações como hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbia, redução de sulfatos e metanogênese que serão discutidos detalhadamente nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

Os tanques construídos inadequadamente e sem devida manutenção contribuem para a contaminação em áreas urbanas, principalmente em aquíferos rasos, sobretudo em áreas de grande densidade populacional (Figura 4.3).

Figura 4.3 - Seção esquemática de uma fossa séptica apresentando seu funcionamento (extraído de WILHELM *et al.*, 1994)

Segundo normas da ABNT (1993), a distância recomendada entre um poço e uma fossa séptica é de 15 m. 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 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). Plumas 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).

A carga contaminante recebida pelos tanques sépticos e que pode afetar o aquífero é composta por nutrientes, sais, microorganismos patogênicos, como bactérias e vírus, além do nitrato. 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.

4.2.1. Nitrificação

A nitrificação é um processo que ocorre em meio aeróbio onde o N_2 é convertido em NO_3^- . Este processo ocorre em lagos, mares, solos e águas subterrâneas. SCHIMIDT (1982) cita que os principais fatores controladores deste processo são o pH, temperatura, Eh, conteúdo de O_2 e CO_2 .

O nitrogênio presente no solo pode ocorrer nas formas orgânica e inorgânica. A fixação deste elemento no solo, proveniente das precipitações e uso de fertilizantes, é feita principalmente através da ação biológica. Algumas bactérias presentes nas raízes de leguminosas e algas azuis são capazes de fixar o nitrogênio e assimilá-lo como nitrogênio orgânico (APPELO & POSTMA, 1993; STUMM & MORGAN, 1996). Esta fixação ocorre mediante condições aeróbias, diminuindo com a profundidade.

O nitrogênio orgânico pode ser incorporado aos animais através de seus processos nutricionais. A morte seguida da decomposição de animais e vegetais levam à formação de nitrogênio amoniacal, na forma de amônio (reações 1 e 2), pela ação de bactérias denominadas nitrossomas:

O nitrogênio amoniacal (amônio e amônia) pode seguir destinos diferentes no solo como a geração de formas mais oxidadas, transferência para outros ecossistemas e até mesmo troca catiônica entre os argilominerais e matéria orgânica propiciando sua fixação no solo (NOMMIK & VAHTRAS, 1982).

Os argilominerais presentes no solo podem fixar o amônio através de processos de troca iônica, ilustrados segundo a reação 3:

O amônio que não é adsorvido é então convertido a nitrito (NO_2^-) por um grupo de bactérias nitrificadoras denominadas nitrossomas em condições de pH 7 e pE>6 :

O nitrito ocorre geralmente em pequenas quantidades, sendo muito baixa a sua concentração no solo. Este composto é posteriormente oxidado a nitrato (NO_3^-), por outro grupo de bactérias denominado nitrobacter, ilustrada pela reação abaixo:

Os mecanismo de nitrificação que ocorrem em sistemas sépticos foram minuciosamente descritos por WILHELM *et al.* (1994). Segundo os autores, os sistemas de saneamento *in situ* (tanques sépticos) reduzem consideravelmente os sólidos presentes nos efluentes domésticos, através da digestão microbiológica da matéria orgânica (reações químicas 6 a 10, Tabela 3). Esta digestão ocorre em ambiente anaeróbio. Dentro do tanque, normalmente construído em concreto ou plástico, ocorre também a retenção de sólidos e da espuma, que deverão ser removidos periodicamente (2 a 10 anos, dependendo das características climáticas do local). O excesso de líquidos, após um período de retenção, é infiltrado no solo através de drenos ou tanques.

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. A matéria orgânica e o amônio são oxidados para dióxido de carbono, água e nitrato (reações 12 a 15c, Tabela 3). A situação redutora na área de infiltração poderá ocorrer devido a baixa permeabilidade de solos muito argilosos ou em área de aquíferos cristalinos (NOVAKOWSKI, 1993).

A fixação do nitrogênio orgânico é feita por ação biológica num processo em que o nitrogênio é convertido em amônia. Os mecanismos de formação do amônio é o mesmo que ocorre em solos, a partir da decomposição microbiológica que converte o nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal. Segundo HEATHWAITE (1993), as altas temperaturas e valores de pH>8 desencadeiam a conversão de amônio em amônia. As altas concentrações de amônia estão associadas a lançamento de efluentes em águas superficiais, quando o tratamento biológico é mínimo.

Segundo FREEZE & CHERRY (1979), o nitrato é a forma do nitrogênio que prevalece em águas subterrâneas altamente oxidantes. Graças à sua estabilidade e alta mobilidade, este íon move-se segundo o fluxo advectivo, não sendo adsorvido pelas partículas do solo.

4.2.2. Denitrificação

O processo inverso, onde o nitrato é reduzido a nitrito e posteriormente a N_2O e N_2 , pode acontecer e denomina-se denitrificação. Assim como a nitrificação, ela ocorre em outros ecossistemas mediante condições anóxicas, como o fundo de lagos, rios, águas subterrâneas e em estações de tratamento (STUMM & MORGAN, 1996).

A redução do nitrato na pluma contaminante por processos denitrificantes envolve em geral, a participação de carbono, sendo necessária igual parte deste elemento para cada porção de nitrato a ser denitrificado (reação 16, Tabela 3). Normalmente, o grande limitante das reações de denitrificação nos aquíferos é a baixa concentração de carbono (KEENEY, 1986; STARR, 1988). Segundo WILHELM *et al.* (1994), para a degradação de todo o nitrato presente no efluente de fossas sépticas são necessários de 20 a 70 mg/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 (reações 11a e 11b, Tabela 3). 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. A denitrificação natural de plumas contaminantes advindas de atividades de saneamento tem sido descrita em poucos casos (STARR & GUILHAM, 1989; WILHELM *et al.*, 1994).

Esse processo reduz NO_3^- para N_2 e, uma pequena porcentagem, para N_2O (SEITZINGER, 1988). A maioria dos microorganismos do solo não pode aproveitar o gás nitrogênio (WILHELM *et al.*, 1994). As bactérias responsáveis pelas reações de redução do nitrato requerem condições anóxicas, tais como aquelas encontradas na zona saturada.

Tabela 3 - Reações químicas mais importantes associadas a sistemas de saneamento in situ (WILHELM et al., 1994)

ZONA ANAERÓBIA (tanque séptico e material biológico)**Hidrólise de Moléculas Orgânicas:**

Reação 6

Amônio:

Reação 7a

Reação 7b

Fermentação:

Reação 8

Oxidação Anaeróbia:

Reação 9

Redução de Sulfato:

Reação 10

Metanogênese:

Reação 11a

Reação 11b

ZONA AERÓBIA (ZONA NÃO-SATURADA E SATURADA)**Oxidação da Matéria Orgânica:**

Reação 12

Nitrificação:

Reação 13

Oxidação do Sulfato:

Reação 14

Tampão de Carbonato:

Reação 15a

Reação 15b

Reação 15c

SEGUNDA ZONA ANAERÓBIA (CONDIÇÃO SATURADA OU PRÓXIMA A SATURAÇÃO)**Denitrificação:**

Reação 16

(a) matéria orgânica é simplificada para CH_2O .

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

A denitrificação pode também ser processada mediante outros compostos que atuam como doadores de elétrons como ferro e enxofre (KOLLE *et al.*, 1985; PEDERSEN *et al.*, 1991). As reações 17 e 18 ilustram estas etapas:

Além do N_2 podem ser gerados, embora em pequena parcela, N_2O , NO e NO_2 , emitidos para a atmosfera através da decomposição do nitrito.

Outros reflexos da denitrificação podem ser constatados através da perda dos compostos nitrogenados por processos de volatilização da amônia, decomposição do nitrito ou até mesmo a lixiviação do nitrato nos horizontes do solo. A volatilização da amônia está intimamente relacionada ao pH, temperatura e concentração de íons NH_4^+ , sendo descrita segundo a reação 19 (REDDY & PATRIC, 1981):

A taxa de perda de amônia de uma solução é função da diferença de pressão parcial entre $\text{NH}_3(\text{aq})$ e NH_3 na atmosfera ($p\text{NH}_3$). Em equilíbrio, a concentração de $\text{NH}_3(\text{aq})$ está relacionada à $p\text{NH}_3$ na atmosfera de acordo com a constante de Henry (K_h):

O aumento da concentração de $\text{NH}_3(\text{aq})$, propiciado pela adição de NH_4^+ ou pelo aumento nos valores de pH, resultará na sua volatilização com indicado pela reação 21:

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 $\text{NH}_3(\text{aq})$. Segundo VLEK & STUMPE (1978 *apud* NELSON, 1982), a volatilização da amônia é mais eficiente com o aumento da temperatura. Os efeitos da temperatura segundo estes autores está relacionada em parte pelo aumento na constante de equilíbrio.

A decomposição do nitrito é uma outra fonte de perda de nitrogênio no solo. Segundo LAUDELOT (1977 *apud* NELSON, 1982), o nitrito é rapidamente decomposto e os produtos desta decomposição engloba a emissão para a atmosfera de N_2O , NO , NO_2 e N_2 .

4.3. Riscos à saúde relacionados à contaminação de água subterrânea por nitrato

A ingestão de água cujas concentrações excedam os valores de 10 mg/L $\text{NO}_3^- \text{N}$ (PORTARIA 36 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1990) podem ocasionar doenças como a metahemoglobinemia (*baby blue syndrome*) entre outras, como linfomas, câncer gástrico, problemas na tireóide, defeitos congênitos e abortos espontâneos.

Metahemoglobinemia

A água contaminada por nitrato ingerida faz com que o organismo converta este íon a nitrito, responsável pela oxidação da hemoglobina, proteína sangüínea responsável pelo transporte de oxigênio e formação da metahemoglobina.

A metahemoglobinemia é justamente o acúmulo de metahemoglobina no sangue, provocando quedas respiratórias, cianose (mucosas azuladas), dispnéia (alteração na frequência respiratória), falta de ar, desmaios, podendo levar a óbito em casos muito agudos.

Segundo FENÍCOLA (1989), os bebês com menos de seis meses são os mais susceptíveis à metahemoglobinemia. Isto se deve ao fato da ingestão de líquido por quilo corporal ser aproximadamente três vezes maior num bebê do que num adulto, mas cabe salientar que tal enfermidade pode advir de outras origens, como defeitos e anomalias genéticas, que alteram a proteína da hemoglobina e intoxicações de origem alimentar.

A Organização Mundial da Saúde reportou 2.000 casos de metahemoglobinemia no mundo inteiro entre 1945 e 1986 sendo que destes, 160 relacionavam-se à morte de crianças que consumiram águas cujas concentrações de excederam a 25 mg/L $\text{NO}_3^- \text{N}$. Segundo PRETTY & CONWAY (1988 *apud* HEATHWAITE *et al.*, 1993) As áreas de maior risco correspondiam às zonas rurais devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados.

O diagnóstico é realizado por laboratórios através de análises toxicológicas e o tratamento é relativamente simples, através de oxigenação e solução intravenosa de azul de metileno a 1%.

No Brasil não existem dados sobre a doença, não pela sua inexistência, mas por falta de diagnóstico e falhas na notificação aos órgãos públicos competentes.

Câncer

Outro efeito adverso relacionado à ingestão de águas com concentrações elevadas de nitrato inclui o risco do surgimento de câncer entre eles o gástrico e o linfoma de non-Hodgkin. O nitrito, tanto quanto o nitrato, pode reagir com aminas e amidos formando compostos cancerígenos como as nitrosaminas e nitrosamidas.

Vários estudos foram conduzidos para avaliar a relação entre nitrato e câncer embora não sejam considerados definitivos. Estudos efetuados por PREUSSMAN & STEWART (1984)

em animais indicaram que há uma forte evidência de que compostos como nitrosaminas e nitrosamidas são potencialmente carcinogênicos e capazes de afetar humanos.

ZALDIVAR (1977) mostrou uma associação entre variações geográficas de câncer gástrico e exposição da população aos fertilizantes nitrogenados no Chile. Pesquisas neste sentido foram também realizadas na Colômbia onde duas comunidades com grande incidência de câncer tinham relação com a água ingerida, proveniente do poço local (CUELLO *et al.*, 1976).

FRASER & CHILVERS (1981) compararam dados regionais de mortalidade por câncer gástrico e uso de fertilizantes nas áreas da Inglaterra e País de Gales e não encontraram associação. Eles também avaliaram mortes e concentrações de nitrato na água em pequenas áreas rurais nos períodos de 1969/1973 e 1974/1978. Os resultados obtidos não foram conclusivos.

SCHUBERT *et al.* (1999) avaliaram riscos à saúde humana e consumo de água com altas concentrações de nitrato no Estado de Wisconsin (EUA). Este estudo englobou várias famílias incluindo idosos, crianças e grávidas, que foram divididas conforme a concentração de nitrato ingerida. A primeira considerava concentrações de NO_3^- -N superiores a 12,9 mg/L e a segunda as concentrações variaram entre 0 a 2,0 mg/L. Segundo os autores estes estudos ainda não comprovam tal efeito em humanos sendo necessárias mais pesquisas sobre o tema.

Além do câncer gástrico outro tipo associado ao nitrato é o linfoma non-Hodgkin. Estudos realizados por WARD *et al.* (1996) mostraram que concentrações de nitrato maiores ou iguais a 4 mg/L na água de poços no Estado de Nebraska (EUA) estariam associadas ao aumento do risco de desenvolver este tipo de câncer.

Complicações reprodutivas

Várias pesquisas tentam comprovar que concentrações elevadas de metahemoglobina no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato, podem induzir a aborto espontâneo e má formação do feto, não sendo, entretanto, conclusivos (ASCHENGRAU *et al.*, 1989).

Concentrações entre 19-29 mg/L de nitrato em poços domésticos rurais em Indiana (EUA) poderiam ter causado 8 abortos espontâneos entre quatro mulheres durante o período de 1991 a 1994 (CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 1996).

DUSDIEKER *et al.* (1996) avaliaram a concentração de nitrato no leite materno de mães submetidas à ingestão de diferentes concentrações na água, de até 100 mg/L de NO_3^- por dia. Verificou-se que altas concentrações de nitrato na água ingerida não resultam em altas concentrações de nitrato no leite materno. O mesmo experimento foi realizado em vacas

produtoras de leite e, a despeito do volume de águas consumido e das altas concentrações (até 108 mg/L de NO_3^-), as concentrações no leite permaneceram as mesmas (KAMMERER *et al.*, 1992).

Os elevados teores de nitrato também podem afetar a produtividade e a sanidade animal. Animais jovens podem apresentar o mesmo quadro de metahemoglobinemia descrito anteriormente. No entanto, as intoxicações que provocam este quadro são raros. O mais comum é a intoxicação crônica, que produz um quadro subclínico, refletindo em baixa produtividade, redução no ganho de peso, queda na produção de ovos, queda da eficiência reprodutiva, deficiência de vitamina A e abortos.

Ainda não existem padrões oficiais nacionais ou internacionais que definam a qualidade da água animal, mas experimentos realizados apontam níveis para melhor produtividade.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Instalação de poços de monitoramento

Foram perfurados e instalados numa área de 2.500 m² (50 x 50 m), 68 poços de monitoramento, sendo 65 poços de 3 m e três poços de 5 m (Figura 5.1). A perfuração dos poços de 3 m foi executada através de trado manual de 100 mm de diâmetro, acoplado a um sistema de haste com até 5 m de comprimento. Nesses furos foram instalados piezômetros constituídos de tubos de PVC, onde o último 0,5 m é furado e encoberto com telas de bidim.

O espaço anular entre o tubo e o furo foi preenchido com cascalho (pré-filtros tipo pérola e jacaré) até cobrir a seção filtrante, servindo como pré-filtro. Acima deste, foi colocado um selo de bentonita, para garantir a estanqueidade, evitando deste modo, o trânsito vertical da água subterrânea no espaço anular. O restante do espaço foi preenchido com material da escavação.

A instalação dos três poços de 5 m de profundidade foi feita através do uso do equipamento Piönjar em função dos desmoronamentos causados nas paredes do furo quando o trado atravessava a camada arenosa. Este equipamento consiste de um marteleiro pneumático portátil movido à gasolina, adaptado para este fim (Foto 1). A instalação envolvendo este equipamento consistiu na cravação de tubos de aço galvanizado com ponteira de aço e seção final furada e envolvida com bidim no último 0,5 m (Fotos 2 e 3). Tais poços foram instalados próximos aos poços PET 37, PET 11 e PET 60 a uma distância de aproximadamente 1 m de cada um deles.

Em volta das bocas dos poços foi construída uma laje de proteção com tampa metálica fechada com cadeado, de modo a evitar possíveis depredações, bem como a infiltração indesejável de água da superfície. As características construtivas dos poços instalados na área encontram-se ilustradas no Anexo 2.

5.2. Piezometria

A determinação da cota relativa dos poços foi obtida através de nivelamento topográfico e medição do nível estático em relação a um datum (PET 8). O nivelamento foi efetuado, inicialmente, com o auxílio de uma mangueira de acrílico transparente a qual foi colocada uma solução colorida (Kisuco), permitindo determinar a diferença da coluna de água entre os diversos pontos da área. Este procedimento foi posteriormente substituído pelo levantamento topográfico na área utilizando um teodolito. O nível estático foi medido com o auxílio de medidor de nível elétrico convencional da marca JACIRI (MNJ – 100 m). Uma vez determinados estes parâmetros, estabeleceu-se o valor da cota relativa através da diferença entre a cota de referência e o nível estático.

A partir das cotas relativas dos poços e dos níveis de água foram confeccionados mapas potenciométricos mensais da área indicando desta forma, as possíveis direções do fluxo da água subterrânea e suas variações temporais.

Figura 5.1 - Localização dos poços de monitoramento.

Foto 01 – Martelete pneumático (Piönnar) utilizado para a instalação dos poços mais profundos.

Foto 02 – Porção superior do tubo do galvanizado e peça de acoplamento do Piönnar.

Foto 03 – Detalhe de instalação dos poços.

5.3. Coleta de amostras

Anterior a todas as amostragens, efetuou-se a limpeza dos poços de monitoramento com o seu esgotamento através de bombeamento intensivo. De acordo com as normas da USEPA (1985), deve ser bombeado o equivalente a três volumes de poço antes de proceder a amostragem de águas subterrâneas. Esta conduta é essencial para uma boa amostragem evitando sempre a coleta da água estagnada dentro do poço. A pouca circulação da água e o seu contato prolongado com as paredes do poço pode gerar um ambiente físico-químico não condizente com aquele apresentado pelo aquífero.

Dois sistemas de coletas foram utilizados para a amostragem de águas dos poços. O primeiro consistiu de uma bomba à vácuo com regulagem de vazão, acoplado a um Erlenmeyer e este, através de *holder* com um filtro de acetato celulose (0,45 μm) da marca Millipore. Posteriormente esta bomba foi substituída por um equipamento de bombeamento peristáltico da marca Geopump II. Adicionalmente um sistema de pré-filtro, especialmente desenvolvido para o projeto foi acoplado ao filtro de acetato celulose, devido ao alto conteúdo de material em suspensão que rapidamente saturava o filtro.

O sistema de pré-filtro consistiu de um tubo de acrílico fechado nas pontas com rolhas de borracha, perfurados, onde eram introduzidos tubos de metal. O material filtrante era composto por algodão hidrofílico. Tanto o filtro como o pré-filtro eram substituídos e os tubos e conexões eram limpos com água destilada após cada coleta, a fim de evitar interferências cruzadas induzidas de água de diferentes poços.

Com o intuito de aumentar a eficiência nas etapas de filtração das amostras, foi utilizada uma bomba a vácuo manual da marca Nalgene, sendo os resultados obtidos bastante satisfatórios.

5.4. Análises químicas

Após a filtração, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno, conservadas em geladeiras de plástico a 4°C e encaminhadas ao laboratório para análise química no mesmo dia.

Atualmente, o advento de equipamentos portáteis permitem avaliar, logo após a coleta da água, alguns parâmetros químicos, que anteriormente só eram possíveis em laboratório. A utilização de equipamentos, como o RQFlex-Plus e Microquant, ambos da MERCK, possibilitou a medição *in situ*, respectivamente, dos compostos nitrogenados (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ e Fe^{2+}) e do cloreto. Em etapas de campo posteriores a medição da concentração do íon cloreto, antes determinada pelo equipamento Microquant, passou a ser feita pelo RQFlex-Plus uma vez que,

os intervalos de medidas não eram condizentes com a precisão desejada. Os métodos utilizados por estes equipamentos e as faixas de leitura para cada composto são expressos na Tabela 4:

Tabela 4 - Métodos, equipamentos e faixa de leitura dos compostos medidos em campo.

Composto	Faixa de leitura (mg/L)	Método utilizado	Equipamento
Fe ²⁺	0,2-20,0	Reflectometria	RQFlex-Plus
NO ₃ ⁻	3-90	Reflectometria	RQFlex-Plus
NO ₂ ⁻	0,5-25,0	Reflectometria	RQFlex-Plus
NH ₄ ⁺	0,2-7,0	Reflectometria	RQFlex-Plus
Cl ⁻	3-300	Colorimetria	Microquant
	2-50	Reflectometria	RQFlex-Plus

Apesar de tais métodos não apresentarem a mesma precisão obtida em laboratório, a rapidez na obtenção dos resultados analíticos são muito importantes para o gerenciamento e redimensionamento da rede de monitoramento, notadamente quanto às decisões de instalação de novos poços de monitoramento, pois oferecem resultados em poucos minutos.

Outro parâmetro medido em campo foi a alcalinidade, expressa em mg/L de hidrogenocarbonato (HCO₃⁻). A técnica adotada foi a titulação, com a utilização de ácido sulfúrico 0,10N e indicador misto para detectar o ponto de viragem. Além dessas espécies, medidas com periodicidade mensal a quinzenal, foram também medidos periodicamente, o nível estático, além de parâmetros físico-químicos tais como o pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura da água e oxigênio dissolvido (Tabela 5):

Tabela 5 – Equipamentos utilizados para a determinação dos parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Equipamento
Eh/pH	WTW 330/SET1
Condutividade Elétrica	WTW LF330/SET
Oxigênio dissolvido	WTW 330/340 SET
Nível d'água	MNJ-100

Foram feitas também análises totais mensais em laboratório, para uma melhor caracterização da pluma contaminante no tempo e espaço. Dois grupos de parâmetros foram analisados segundo a conveniência e necessidade. O primeiro incluía os compostos nitrogenados (nitrogênio total, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato) e o segundo, além destes compostos, os íons maiores (cálcio, ferro, magnésio, potássio, sódio, sulfato e cloreto).

Estas análises foram feitas no laboratório CEIMIC em São Paulo. Os procedimentos de preservação da amostra e metodologias analíticas utilizados obedeceram os critérios adotados pela Standard Methods e USEPA conforme expressos na Tabela 6:

Tabela 6 – Métodos analíticos adotados para a determinação dos parâmetros em laboratório.

Parâmetro/Método	Técnica
Alcalinidade (SM 2320B/EPA 310.1)	Titulação
Alumínio (EPA 6010)	ICP
Amônia como nitrogênio (EPA 350.2)	Colorimetria
Cálcio (EPA 6010)	ICP
Cloreto (SM 4500 B)	Titulação
Ferro (II) (SM 3500)	Colorimetria
Ferro total (EPA 6010)	ICP
Fosfato como fósforo (EPA 365.2)	Colorimetria
Magnésio (EPA 6010)	ICP
Manganês (EPA 6010)	ICP
Nitrato como nitrogênio (EPA 353.3)	Colorimetria
Nitrito como nitrogênio (EPA 354.1)	Colorimetria
Nitrogênio orgânico (EPA 351.3)	Colorimetria
Nitrogênio total (EPA 351.3)	Colorimetria
Potássio (EPA 6010)	ICP
Sódio (EPA 6010)	ICP
Sulfato (EPA 375.4)	Turbidimetria
Sulfeto (SW 9030/EPA 376.2)	Colorimetria

5.5. Tratamento dos dados e confiabilidade dos resultados analíticos

Um fator muito importante a ser considerado em toda análise de dados em hidroquímica está relacionado à confiabilidade dos resultados obtidos. A acuracidade dos resultados analíticos depende de um série de fatores muito mais do que os próprios métodos utilizados estando relacionada também à habilidade do técnico, tipo de instrumentação e calibração, magnitude dos efeitos contaminantes ou até mesmo erros de amostragem. Todo o laboratório, no entanto, precisa controlar tanto a precisão como a exatidão dos seus resultados em grau de concordância entre os valores medidos e o valor real.

O cálculo do balanço iônico e envio de amostras duplicatas consistem em procedimentos mais comuns adotados para avaliar a qualidade dos resultados obtidos. O balanço iônico foi efetuado em todas as amostras coletadas entre o período de novembro de 1998 a julho de 2000, para assegurar se o erro estava dentro do limite permitido, geralmente entre $\pm 10\%$.

A porcentagem do erro do balanço iônico para todas as amostras totais foi calculada a partir dos valores em miliequivalentes dos ânions e cátions segundo a equação (CUSTODIO & LLAMAS, 1996):

$$\text{Erro} = \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \times 100$$

O balanço iônico foi feito em duas etapas: a primeira incluiu os resultados obtidos apenas em laboratório e a segunda os resultados obtidos em campo para alguns parâmetros como o nitrato, alcalinidade e ferro II. Tal procedimento foi feito com o intuito de avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos para tais parâmetros em campo e em laboratório.

Com o intuito de caracterizar quimicamente as águas subterrâneas e estabelecer uma evolução hidroquímica da área foi feito tratamento dos dados hidroquímicos através de gráficos e mapas de tendência. Os tipo de diagrama adotado foi o triangular de Piper utilizando-se do *software* Hydro Chem adquirido via internet no site da Rock Ware Earth Science Software . As concentrações dos íons maiores na água (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^-) foram convertidas em meq/L e dispostas no diagrama, calculando-se as porcentagens em relação à soma de cátions e ânions de cada amostra.

Foi também efetuada uma análise estatística multivariada dos resultados químicos e físico-químicos em todas as campanhas de amostragem através dos coeficientes de correlação de Pearson. Tal tratamento foi feito com o intuito de avaliar o comportamento relativo entre os diferentes compostos presentes na água e suas possíveis correlações. A fim de melhor visualizar estas relações, utilizou-se também de um teste de correlação linear onde foi adotado um nível de significância de 5% (DAVIS, 1986). Neste caso, aceita-se a hipótese da existência de correlação entre dois parâmetros, com 5% de significância, se o coeficiente de correlação (r) entre eles for tal que $T(r) > 1,96$ ou $T(r) \leq -1,96$, conforme ilustrado na equação:

$$T(r) = \frac{\sqrt{N-3}}{2} \ln \frac{(1+r)}{1-r}$$

onde

N = número de pares

r = coeficiente de correlação de Pearson

Foram considerados os pares cuja hipótese de existência de correlação apresentassem valores de $T(r)$ dentro deste intervalo, sendo desconsiderados aqueles pares cujos valores eram excedentes.

5.6. Levantamento geofísico

O levantamento de dados geofísicos na área foi realizado em duas etapas. A primeira, em setembro de 1998, envolveu a execução de seis perfis utilizando o GPR (*Ground Penetration Radar*). Na segunda etapa foi utilizado além do GPR, o método eletromagnético indutivo. A utilização destes métodos teve como objetivo detectar a contaminação, bem como, definir a geometria da pluma, além de verificar a presença de possíveis estruturas enterradas.

5.6.1. Radar de Penetração de Solo (GPR)

O método GPR opera pela introdução no subsolo de uma série de impulsos eletromagnéticos de alta frequência, por intermédio de uma antena colocada em contato com a superfície do terreno (DAVIS & ANNAN, 1989). O sinal, ao se propagar em subsuperfície, é refletido e difratado sendo também atenuado ou dissipado dentro do meio. O sinal refletido é detectado na superfície por uma antena receptora. Após o registro, move-se o aparelho até o ponto de amostragem repetindo-se sucessivamente a operação. O registro final é obtido expondo-se graficamente os dados gerados lado a lado obtendo-se uma seção do subsolo.

A profundidade de investigação pode ser controlada pela frequência aplicada: frequências mais baixas (25-100 MHz) resultam numa maior profundidade de alcance (até 30 m) porém com menor resolução; frequências altas (100-200 MHz) resultam em melhor resolução, mas com baixa penetração.

O equipamento utilizado na área de estudo foi o Geo-Radar Ramac/GPR, marca Malä Geoscience e uma antena centrada em 200 MHz de frequência. O espaçamento entre as antenas transmissora e receptora foi de 0,60 m, com leituras efetuadas a cada 0,10 m. A profundidade máxima de investigação atingida foi de 4 m. Foram feitos dois levantamentos, um durante o período de estiagem (setembro de 1998) e outro na época de chuva (março de 1999), com o intuito de investigar possíveis mudanças na geometria da pluma.

O tratamento e processamento dos dados foram feitos através do programa Radpro versão 2.25:

Primeiro Levantamento - Foram executados, no total, 175,00 m de caminhada distribuídos em seis perfis (Figura 5.2), sendo três longitudinais (GPR1, GPR2 e GPR4), com respectivamente 45,00 m, 49,00 m e 13,00 m de extensão; dois perpendiculares (GPR 3 e GPR5) com 28 e 8 m e um em diagonal (L6) com 20,00 m.

Segundo Levantamento - No total, foram executados 8 perfis (Figura 5.3) sendo quatro transversais (GPR1a, GPR2a, GPR4a, GPR7a) com 36,35 m, 45,50 m, 12,65 m e 32,00 m respectivamente, dois longitudinais (GPR3a e GPR5a) com 36,90 m e 28,00 m e dois diagonais (GPR6a e GPR8a) com extensão de 30,70 m e 19,95 m. Nesta etapa, manteve-se a localização de todos os caminhamentos anteriores ampliando suas extensões. Adicionalmente foram feitos mais dois perfis um em diagonal (GPR8a) e outro paralelo (GPR7a) ao perfil GPR2a com o intuito de constatar possível continuidade da contaminação.

Figura 5.2 - Mapa de localização dos perfis de caminhada (GPR - 1ª campanha).

Figura 5.3 - Mapa de localização dos perfis de caminhada (GPR - 2ª campanha).

5.6.2. Eletromagnético Indutivo

Os caminhamentos eletromagnéticos foram feitos empregando o equipamento EM-31 da marca Geonics. Este equipamento consta de um sistema eletromagnético indutivo com espaçamento fixo entre as bobinas transmissora e receptora, o que determina uma profundidade fixa de investigação.

O princípio deste método baseia-se na indução de correntes elétricas no solo a partir de um campo eletromagnético criado pelas bobinas transmissoras. A corrente induzida depende da condutividade do solo e tem o seu efeito medido em uma bobina receptora ligada à primeira por um cabo de referência. Através deste método geofísico, mede-se a condutividade elétrica, que expressa a facilidade com que os materiais deixam passar corrente elétrica.

A profundidade de investigação é função da posição e espaçamento entre as bobinas e pode ser alterada simplesmente mudando a posição dos seus eixos de vertical para horizontal (ELLERT & MENDES, 1994). Para as bobinas com seus eixos na posição vertical, a profundidade de investigação corresponde à $1,5d$, sendo d a distância entre as bobinas. Para as bobinas com eixo horizontal, a profundidade de investigação passa a ser $0,75d$.

O procedimento de medida mais utilizado é o Caminhamento Eletromagnético. Este corresponde a uma investigação lateral utilizada para a identificação de contatos entre meios de diferentes condutividades, dispostos verticalmente. Desta maneira, as anomalias condutoras podem estar associadas às variações laterais provocadas por contatos litológicos, variações faciológicas, plumas de poluição e outras heterogeneidades do subsolo.

Na área foram executados 156,70 m de caminhamento distribuídos ao longo de quatro perfis sendo dois longitudinais EM1 (36,00 m) e EM6 (32,00 m) e dois perpendiculares EM3 (36,90 m) e EM5 (51,80 m), ao longo dos mesmos perfis utilizados pelo GPR. Os pontos de medidas foram locados a cada 2,00 m com as bobinas dispostas nas posições vertical e horizontal. Desta forma, as profundidades de investigação obtidas foram respectivamente 3 m e 6 m (Figura 5.4).

Devido às interferências causadas pelo sistema de rede elétrica local, não foi possível efetuar dois perfis (EM2 e EM4), o que condicionou o levantamento aos locais distante das redes elétricas.

Figura 5.4 - Mapa de localização dos perfis de caminhada (EM31 - 2ª campanha).

5.7. Slug-tests

O *slug-test* consiste na introdução ou retirada de um corpo de volume conhecido (tarugo) no poço causando a elevação ou o rebaixamento instantâneo do nível d'água. A grande vantagem deste teste é que, além de rápido e barato, permite determinar os valores de condutividade hidráulica em poços de pequeno diâmetro.

Os *slug-tests* foram efetuados a partir do bombeamento de um volume de água do poço e com o medidor de nível graduado, mediu-se o nível d'água imediatamente após o bombeamento (h_o) bem como a sua variação (h) em intervalos de tempo até que o nível voltasse à sua posição original.

Foram realizados testes em quase todos os poços, exceto naqueles que se apresentavam secos ou com uma lâmina d'água muito pequena (<0,30 m).

O tratamento e processamento dos dados obtidos foram feitos através do *software* Aquifer Test versão 2.52, desenvolvido pela Waterloo Hydrogeologic Inc., que permite uma fácil entrada de dados e interpretação dos testes através de diferentes métodos incluindo o de Hvorslev, escolhido neste trabalho.

De acordo com este método, ajusta-se uma reta, num gráfico em escala logarítmica, onde são plotados os valores de tempo e h/h_o obtidos para cada teste. O valor de T_o , obtido a partir da reta ajustada, é ilustrado na Figura 5.5 abaixo:

Figura 5.5 – Gráfico h/h_o versus tempo utilizado pelo método de Hvorslev (FETTER, 1994).

Segundo HVORSLEV (1951 *apud* FETTER, 1994), a condutividade hidráulica (K) pode ser obtida segundo a equação abaixo:

$$K = \frac{r^2 \times \ln\left(\frac{L_e}{R}\right)}{2 L_e T_o}$$

onde

K = condutividade hidráulica (L/T; ft/d; m/d, cm/s)

r = raio do revestimento (L; ft; m, cm)

R = raio do furo (L; ft; m, cm)

L_e = comprimento da seção filtrante (L; ft; m; cm)

T_o = tempo em que o nível d'água leva para subir ou descer 37% do inicial (h/h_o).

5.8. Aplicação de modelação matemática tridimensional

O modelo matemático tenta representar o comportamento do sistema físico real da água subterrânea através da solução de equações matemáticas que regem os processos atuantes (ANDERSON & WOESSNER, 1992).

A avaliação dos efeitos da recarga e da condutividade hidráulica da área quanto ao comportamento das linhas de fluxo foi feita mediante a utilização do *software* MODFLOW (MCDONALD & HARBAUGH, 1988) e a simulação do caminhamento das partículas através do MODPATH (POLLOCK, 1989), ambos elaborados pelo U.S. Geological Survey.

O *software* MODFLOW foi desenvolvido para a modelação matemática tridimensional de fluxo da água subterrânea. Tal programa utiliza uma grade de diferenças finitas, onde o nó da célula está localizado no centro do bloco. Além disso, permite simulações no estado transiente ou estacionário (*steady state*), além de condições heterogêneas e anisotrópicas para múltiplas camadas. Quanto às condições de contorno, o programa contempla os três tipos: Dirichlet (tipo 1), Neuman (tipo 2) e Cauchy (tipo 3). Em termos práticos, isto representa fronteiras como não fluxo, carga constante, rios, drenos, lagos, recarga, evapotranspiração, variáveis ou não no tempo.

Com o intuito de facilitar a entrada de dados e a visualização das cargas hidráulicas, bem como a trajetória de partículas, calculados pelo MODFLOW e MODPATH, utilizou-se o *software* Visual MODFLOW (GUIGUER & FRANZ, 1996).

O Visual MODFLOW é um pré e pós-processador para o MODFLOW e MODPATH, permitindo a entrada dos dados e visualização dos resultados obtidos na forma gráfica, facilitando a construção e definição do modelo matemático. Este programa lê os dados de entrada colocados graficamente e o traduz para o formato ASCII exigido pelo MODFLOW e MODPATH. Quanto aos resultados, o Visual MODFLOW segue o caminho inverso, lendo os arquivos em ASCII gerados pelo MODFLOW e MODPATH, transformando-os para o formato de gráficos e mapas, facilitando desta forma a sua visualização.

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. O sistema de saneamento *in situ*

O Casarão era a antiga residência do proprietário do sítio que existia na área, antes da inauguração do PET-EG. Atualmente, esta edificação serve para a recepção de estudantes em programas de educação ambiental. Normalmente, o Casarão é freqüentado por 30-60 jovens diariamente, além dos instrutores e funcionários fixos, em número de quatro. O prédio de dois pavimentos possui quatro banheiros, dois masculinos e dois femininos.

Todo o esgoto proveniente dos banheiros e das torneiras externas são drenadas por tubulações enterradas e o destino final é o sistema de fossa séptica estudado.

Conectado a este sistema está também o refeitório/vestiário dos trabalhadores braçais do PET. Nesta edificação existem dois banheiros e uma pequena área para as refeições.

O sistema de fossa séptica encontra-se enterrado a 30 m a sul do Casarão. O terreno ao redor do prédio é plano, com ligeira pendente para o norte, em direção ao Rio Tietê.

O sistema consiste de dois tanques de concreto com dimensões de 1,5 m de diâmetro por 1 m de profundidade (Figura 6.1).

Figura 6.1 – Secção esquemática do funcionamento do sistema séptico no Parque Ecológico do Tietê

Vista em detalhe do tanque de infiltração.

Vista em detalhe do tanque de sólidos

Figura 6.2 - Localização do sistema séptico na área de estudo.

Acreditava-se originalmente na existência de apenas um único tanque servindo de fossa séptica. Após o desenterramento da fossa, pode-se verificar a presença de dois tanques onde o primeiro tanque sempre se mantém cheio de líquidos, embora não esteja completamente preenchido de material sólido e o segundo parcialmente preenchido pelo efluente.

O primeiro tanque recebe o efluente *in natura* e o transfere para o segundo, através de tubo na sua porção superior. O segundo tanque permite a infiltração do líquido, através de aberturas em sua parede lateral. Os fundos dos dois tanques são fechados (Figura 6.2).

A Tabela 7 apresenta os resultados da composição química do efluente das fossas séptica e de infiltração.

Tabela 7 – Resultados das análises totais das fossas.

Parâmetro (mg/L)	Fossa da direita (Tanque de sólidos)	Fossa da esquerda (Tanque de infiltração)
Alcalinidade	537	336
Alumínio	9,72	1,64
Amônia como nitrogênio	37,0	60,0
Cálcio	15,6	16,7
Cloreto	93,0	105
Ferro total	4,15	0,78
Fosfato como fósforo	0,85	0,68
Magnésio	3,30	3,15
Manganês	<0,10	<0,10
Nitrato como nitrogênio	0,50	1,20
Nitrito como nitrogênio	0,16	<0,06
Nitrogênio orgânico	32,0	7,30
Nitrogênio total	85,0	80,0
Potássio	27,3	44,7
Sódio	63,1	24,2
Sulfato	39,0	24,0
Sulfeto	<0,05	0,09

Como esperado, os valores de nitrogênio orgânico, total e amônia são bastante elevados, sendo baixas as concentrações de nitrato e nitrito, formas mais mineralizadas do composto. Considerando apenas a forma inorgânica do nitrogênio, observa-se que a forma predominante é o nitrogênio amoniacal (mais de 80% no tanque de infiltração e 50% no tanque de sólidos). As concentrações encontradas para este composto são compatíveis aos encontrados em literatura, onde os valores podem variar entre 30-111 mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (ANDREOLI *et al.*, 1979; ROBERTSON *et al.*, 1991; WILHELM *et al.*, 1996).

O sistema de tanque séptico nunca foi limpo, desde a criação do PET. Devido à manutenção precária e ao tipo de construção, a função de fossa séptica dos tanques não está ocorrendo. O primeiro tanque, apresentando vazamentos e fugas para o solo, faz perder efluente ainda pouco degradado ao aquífero, contaminando-o em espécies orgânicas. Do ponto de vista de engenharia sanitária, o sistema se assemelha mais a uma fossa negra, que séptica.

6.2. Investigação geofísica

Com o intuito de identificar possíveis construções enterradas, associadas ao sistema de fossa séptica, como tubos e outras áreas de infiltração de efluentes, e de definir a extensão e possível geometria da pluma contaminante, foram utilizados os métodos geofísicos Radar de Penetração de Solo (GPR) e Eletromagnético Indutivo.

Através da análise dos seis perfis geofísicos (Figura 6.3) referentes à primeira campanha e de quatro perfis da segunda campanha (Figura 6.4) utilizando o GPR, foi possível identificar algumas anomalias que foram inicialmente interpretadas como tubos ou construções enterradas. Nestas localidades foram verificadas, com o auxílio de um trado, as origens destas anomalias, entretanto nenhuma construção foi constatada. A conclusão desta campanha geofísica é de que os tanques, exceto pelos tubos de esgoto advindo do Casarão e do refeitório, são isolados e seus efluentes são infiltrados diretamente pelos tanques.

A partir de profundidades superiores a 3 m, a resposta à penetração das onda torna-se cada vez menos nítida, em função do alcance da técnica, ocasionada pela frequência utilizada.

Embora tenha sido útil na identificação de possíveis estruturas, os resultados obtidos pela prospecção efetuada com o GPR quanto à contaminação, não foram satisfatórios. Dada à limitação referente à profundidade de investigação, efetuou-se também na área, caminhamento eletromagnético (EM 31) com o intuito de investigar a existência de contaminação a profundidades superiores a 3 m. Este levantamento foi executado nos mesmos pontos que os do GPR. Os resultados da investigação a profundidade de até 3 m indicaram valores de condutividade elétrica elevados junto à fonte de contaminação (45 mS/m) caindo para valores inferiores a 5 mS/m nos pontos mais distantes. No entanto, a condutividade registrada a profundidade de investigação de até 6 m atingiu valores maiores, de até 60 mS/m (Figura 6.5).

No entanto, os resultados obtidos por este método foram enganosos, uma vez que, a direção do contorno da pluma contaminante não é condizente com o que se verifica através de observação direta. Por exemplo, uma comparação com os mapas de isocondutividade elétrica e isoconcentração de cloreto ambos do período de abril de 2000 mostrou um contorno de pluma diferente do obtido pelo EM 31 (Figura 6.6). Os mapas de isoconcentração de cloreto e de condutividade elétrica mostraram que a pluma apresenta direção para oeste da fossa e apresenta um maior espalhamento nesta direção quando comparado ao mapa obtido pela geofísica.

O resultado da prospecção geofísica acabou por induzir uma perfuração dos poços de monitoramento com maior densidade a SW das fossas, quando na verdade, mais poços deveriam ser perfurados a oeste, onde realmente a pluma caminha.

É interessante notar que, embora os resultados de direção e de geometria da pluma não sejam reais, os valores a 3 m mostram "pequenas ilhas" de valores maiores de condutividade elétrica enquanto a prospecção a 6 m indica um resultado mais homogêneo na área, ou seja, uma pluma irregular em superfície e mais homogênea em profundidade, que condiz com a realidade observada.

Figura 6.3 - Resultados obtidos através do levantamento geofísico (GPR - 1ª campanha).

LEGENDA

NA Nível d'água

○ Anomalia

Figura 6.4 - Resultados obtidos através do levantamento geofísico (GPR - 2ª campanha).

50 *Figura 6.5 - Resultados obtidos através do levantamento geofísico (EM 31 - 2ª campanha).*

Condutividade Elétrica

Cloreto

Figura 6.6 - Mapas de isocondutividade elétrica e isoconcentração (cloreto) referentes ao mês de abril de 2000.

6.3. Contexto hidrogeológico da área

6.3.1. Hidrogeologia da área

O aquífero que ocorre na área é do tipo livre, de porosidade primária, associado aos sedimentos quaternários aluvionares do Rio Tietê. Este aquífero apresenta uma espessura média de 20 m como atestam três sondagens do tipo SPT distantes cerca de 20 m da área. Sob este material encontram-se os sedimentos terciários conectados hidraulicamente e correlacionáveis à Bacia de São Paulo. A espessura média dos sedimentos na área, conforme descrito anteriormente, é maior que 100 m.

Os 68 poços de monitoramento com até 5 m de profundidade atravessam as coberturas aluviais quaternárias, representadas localmente por lentes de argila, silte e areia de cor marrom claro a escuro intercaladas, com riqueza de material orgânico no primeiro 0,5 m. Após 2 m, observam-se areias finas não consolidadas de cor parda e amarela, mais permeáveis. O material perfurado não mostrou camadas com características de confinamento.

A recarga deste aquífero ocorre em toda a sua zona aflorante e a descarga junto às drenagens superficiais e lagos. Esta recarga é mais pronunciada nos meses de chuva (dezembro a março). Através do levantamento topográfico de todos os poços e medições periódicas dos níveis estáticos, foram elaborados mapas potenciométricos mensais. Estes mapas, referentes ao período de janeiro de 1999 a setembro de 2000, ilustraram variações temporais e espaciais quanto ao comportamento das linhas equipotenciais (Figuras 6.7 e 6.8).

As direções de fluxo do aquífero são controladas pela topografia da área, lagos artificiais e pelas fossas sépticas. De acordo com os mapas potenciométricos, referentes ao período de janeiro de 1999 a julho de 2000, podem-se observar duas direções de fluxo principais na área: uma a norte, em direção ao Rio Tietê e outra a noroeste. O sistema séptico, considerado como ponto de maior carga hidráulica da área, propicia uma distribuição radial das equipotenciais a partir do centro deste.

A distribuição das equipotenciais apresenta uma complexidade com formação de ilhas tanto de maior valor de carga hidráulica como de menor valor que mudam com o tempo. Isso ocorre em vários poços, mas com predominância ao redor dos poços PET 3, PET 9, PET 18. Isto indica que além das direções gerais do fluxo da água subterrânea serem a NW e N da área, podem ser notadas pequenas mudanças nas direções fluxo localmente. Este efeito é atribuído às heterogeneidades na distribuição da condutividade hidráulica e na da recarga, ocasionadas pela topografia do terreno (pequenas elevações e depressões do local, de ordem centimétrica).

Figura 6.7 - Mapas potenciométricos referentes aos meses de março a agosto de 1999.

Figura 6.8 - Mapas potenciométricos referentes aos meses de setembro de 1999 a julho de 2000.

Os *slug-tests* efetuados em 47 poços de monitoramento indicaram valores de condutividade hidráulica horizontal no intervalo entre $1,51 \times 10^{-7}$ a $6,75 \times 10^{-5}$ m/s (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de condutividade hidráulica obtidos pelos *slug-tests*.

Poço	K (m/s)	Poço	K (m/s)
PET 1	$4,53 \times 10^{-7}$	PET 35	$5,31 \times 10^{-7}$
PET 2	---	PET 36	$9,16 \times 10^{-6}$
PET 3	$6,71 \times 10^{-6}$	PET 37	$6,75 \times 10^{-5}$
PET 4	$5,12 \times 10^{-7}$	PET 38	---
PET 5	$2,89 \times 10^{-6}$	PET 39	$9,57 \times 10^{-6}$
PET 6	$3,35 \times 10^{-6}$	PET 40	$9,68 \times 10^{-6}$
PET 7	$4,73 \times 10^{-7}$	PET 41	$1,85 \times 10^{-5}$
PET 8	$2,73 \times 10^{-6}$	PET 42	$1,81 \times 10^{-5}$
PET 9	$1,88 \times 10^{-6}$	PET 43	$1,49 \times 10^{-5}$
PET 10	$4,75 \times 10^{-6}$	PET 44	$2,79 \times 10^{-5}$
PET 11	$5,02 \times 10^{-5}$	PET 45	$2,47 \times 10^{-5}$
PET 12	$2,09 \times 10^{-6}$	PET 46	$1,76 \times 10^{-6}$
PET 13	$1,57 \times 10^{-7}$	PET 47	$1,98 \times 10^{-6}$
PET 14	$8,69 \times 10^{-6}$	PET 48	$9,82 \times 10^{-6}$
PET 15	$2,21 \times 10^{-6}$	PET 49	$1,56 \times 10^{-5}$
PET 16	---	PET 50	$1,46 \times 10^{-5}$
PET 17	$2,21 \times 10^{-7}$	PET 51	$1,37 \times 10^{-5}$
PET 18	$9,04 \times 10^{-6}$	PET 52	$1,74 \times 10^{-5}$
PET 19	$2,16 \times 10^{-6}$	PET 53	$1,07 \times 10^{-5}$
PET 20	$3,14 \times 10^{-6}$	PET 54	$3,07 \times 10^{-6}$
PET 21	$1,30 \times 10^{-6}$	PET 55	$2,54 \times 10^{-6}$
PET 22	$1,16 \times 10^{-6}$	PET 56	$1,48 \times 10^{-6}$
PET 23	$9,45 \times 10^{-6}$	PET 57	$2,72 \times 10^{-5}$
PET 24	$5,08 \times 10^{-6}$	PET 58	---
PET 25	$3,14 \times 10^{-6}$	PET 59	---
PET 26	$1,77 \times 10^{-6}$	PET 60	$1,51 \times 10^{-7}$
PET 27	$5,50 \times 10^{-6}$	PET 61	---
PET 28	$2,53 \times 10^{-6}$	PET 62	---
PET 29	$7,10 \times 10^{-6}$	PET 63	---
PET 30	$1,41 \times 10^{-6}$	PET 64	---
PET 31	$1,11 \times 10^{-5}$	PET 65	$4,34 \times 10^{-7}$
PET 32	$8,10 \times 10^{-7}$	PET 66	---
PET 33	$8,96 \times 10^{-6}$	PET 67	---
PET 34	$3,18 \times 10^{-5}$	PET 68	---

A partir destes valores observa-se que o aquífero em questão apresenta uma variação de duas ordens de magnitude na condutividade hidráulica, em uma distância de apenas 1,5 m entre os poços PET 35 e PET 37. Com o intuito de visualizar tal heterogeneidade, confeccionou-se um mapa de isocondutividade hidráulica (Figura 6.9). De acordo com o mapa, notam-se pelo menos dois domínios onde a água flui pelo meio com maior facilidade, provocando uma distorção dos vetores de velocidade da água subterrânea. Estes locais referem-se às áreas próximas aos pontos PET 37 e PET 11.

Figura 6.9 - Mapa de isocondutividade hidráulica horizontal (m/s) na área de estudo.

6.3.2. A influência dos parâmetros hidráulicos nas variações dos níveis potenciométricos

Normalmente em aquífero livre, como é o caso da área de estudo, a oscilação do nível d'água está condicionada à sazonalidade da recarga, função da pluviometria e evapotranspiração.

Os efeitos desta sazonalidade podem ser verificados através da Figura 6.10, que ilustra os valores de nível estático para os poços de monitoramento, além das taxas diárias de precipitação durante janeiro de 1999 a setembro de 2000. No período de estiagem (abril/setembro de 1999 e abril/setembro de 2000) observam-se os mais profundos valores de nível estático, com recuperação a partir dos meses mais chuvosos (janeiro/março de 1999 e dezembro de 1999/janeiro de 2000).

Com o intuito de avaliar a taxa de variação destes níveis nos períodos de chuva e estiagem, foi construído um gráfico com os valores médios das diferenças mensais destes níveis (ΔNA) para os poços de monitoramento na área (Figura 6.11). Desta forma, foram calculadas, para cada poço, as diferenças dos níveis estáticos entre dois meses consecutivos, calculando-se a média aritmética (ΔNA) a partir destes valores.

Estas diferenças, durante os períodos de chuva, são superiores às aquelas apresentadas durante a estiagem. Isto se deve ao fato de se tratar de um aquífero livre e raso que responde de forma rápida aos fenômenos da recarga. Além disso, essas diferenças não são homogêneas em toda a área, sendo possível observar valores de ΔNA muito altos nos poços PET 33, PET 29, PET 20 e PET 23, quando comparados aos demais poços. Calculando-se a proporção entre os valores de ΔNA durante os períodos de chuva (dezembro de 1999/janeiro de 2000) e estiagem (abril/setembro de 1999), nota-se que os maiores valores concentram-se nesses pontos. Tal fato pode ser explicado em função da condutividade hidráulica da área. Esses pontos caracterizam áreas com valores de condutividade hidráulica (K) maiores que o valor médio de K dos pontos circunvizinhos (K^*).

Inicialmente procurou-se avaliar a relação entre si da condutividade hidráulica, nível estático e cota topográfica para cada um dos poços de monitoramento. Os resultados obtidos, a partir desta primeira avaliação, permitiram concluir que não existiam relações significativas entre nível estático e condutividade hidráulica (Tabela 9). Por estes motivos adotou-se uma análise por circunvizinhança destes três parâmetros.

Tabela 9 - Resultados dos coeficientes de correlação entre nível estático e condutividade hidráulica. Todas as correlações encontradas têm significância de 5% (DAVIS, 1986).

	NA (abril/2000)	NA (julho/2000)	NA (setembro/2000)
K	-0,10	-0,18	-0,13

A relação entre condutividade hidráulica (K), nível estático (NA) e cota topográfica (C), em toda a área pode ser constatada comparando-se os valores de K , NA e C dos pontos e os valores médios K^* , NA^* e C^* dos pontos circunvizinhos. A avaliação da vizinhança foi feita através do estabelecimento de um raio de influência (r_i) a partir do ponto. Os valores de r_i adotados foram 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m e 5,0 m. O círculo de raio r_i em torno do ponto foi dividido

Figura 6.10 - Diagrama dos totais diários de precipitação e níveis estáticos nos poços de monitoramento.

Figura 6.11 - Variações dos valores mensais de nível estático durante os períodos de chuva e estiagem.

em três setores de igual área e, para efeito de cálculo, consideraram-se apenas os poços que possuíam pelo menos um vizinho em cada um dos setores.

Tal procedimento foi feito para os períodos de abril/2000, julho/2000 e setembro/2000. Os resultados obtidos foram mais significativos com valor de r_i igual a 3,5 m do que nos demais valores escolhidos. Raios de influência maiores que 3,5 m apresentaram problemas relacionados à ausência de auto-correlação de condutividade hidráulica, nível estático e cota topográfica. Por outro lado, raios de influência menores que 3,5 m indicavam um espaço amostral muito limitado dificultando este tipo de tratamento (Tabela 10).

Tabela 10 – Relação do número de vizinhos para cada raio de influência dos poços.

Ponto	número de poços vizinhos			Ponto	número de poços vizinhos		
	$r_i = 2,5$ m	$r_i = 3,0$ m	$r_i = 3,5$ m		$r_i = 2,5$ m	$r_i = 3,0$ m	$r_i = 3,5$ m
PET 1	---	---	1	PET 35	5	6	8
PET 2	---	4	7	PET 36	---	1	7
PET 3	8	8	13	PET 37	6	6	7
PET 4	---	---	---	PET 38	---	---	---
PET 5	---	---	---	PET 39	---	3	9
PET 6	---	---	---	PET 40	---	1	7
PET 7	---	2	7	PET 41	---	1	2
PET 8	---	---	2	PET 42	---	3	8
PET 9	---	4	9	PET 43	---	2	8
PET 10	---	5	7	PET 44	---	2	6
PET 11	---	2	5	PET 45	---	3	8
PET 12	---	---	---	PET 46	---	2	6
PET 13	---	---	---	PET 47	---	1	6
PET 14	---	---	---	PET 48	---	---	1
PET 15	---	---	---	PET 49	---	---	---
PET 16	---	---	---	PET 50	6	8	14
PET 17	---	2	4	PET 51	6	7	13
PET 18	---	3	6	PET 52	7	8	12
PET 19	---	---	---	PET 53	8	9	13
PET 20	---	---	5	PET 54	---	1	2
PET 21	---	4	9	PET 55	---	2	2
PET 22	4	5	13	PET 56	---	1	3
PET 23	6	9	15	PET 57	---	---	---
PET 24	3	4	14	PET 58	---	1	3
PET 25	---	---	2	PET 59	---	---	1
PET 26	7	9	12	PET 60	---	1	6
PET 27	4	7	15	PET 61	---	1	1
PET 28	---	7	12	PET 62	---	1	3
PET 29	---	2	3	PET 63	---	---	2
PET 30	---	3	12	PET 64	---	---	1
PET 31	3	8	13	PET 65	---	---	---
PET 32	---	5	7	PET 66	3	6	7
PET 33	---	5	8	PET 67	---	---	4
PET 34	---	3	8	PET 68	---	---	1

Através deste estudo foram observadas quatro situações distintas que se repetem para os três períodos, sendo duas esperadas e duas não esperadas. As situações esperadas são caracterizadas pelas associações $K > K^*/NA < NA^*$ e $K < K^*/NA > NA^*$ sendo as não esperadas representadas por $K > K^*/NA > NA^*$ e $K < K^*/NA < NA^*$ (Tabela 11).

Tabela 11 – Resultados obtidos através da análise por circunvizinhança considerando r_i igual a 3,5 m.

Situação	Poços
$K > K^*/NA < NA^*$	PET 31/PET 11/PET 18
$K < K^*/NA > NA^*$	PET 26/PET 21
$K > K^*/NA > NA^*$	PET 37/PET 22/PET 20/PET 33/PET 36/PET 42
$K < K^*/NA < NA^*$	PET 35/PET 46/PET 7

A ocorrência das duas últimas situações pode ser explicada através das médias amostrais de K e NA calculadas para os pontos. Apesar de considerar apenas os pontos com pelo menos um vizinho em cada setor, o número de vizinhos não foram os mesmos para os diversos poços, gerando desta forma resultados não condizentes com o esperado.

Foi também avaliada a relação entre a cota topográfica e carga hidráulica (h). Os resultados das correlações obtidos em três campanhas de amostragem (Tabela 12) mostram que nestes casos quanto maior a cota do poço maior será o valor de h.

Tabela 12 – Resultados dos coeficientes de correlação obtidos para as diferentes campanhas de amostragem. Todas as correlações encontradas têm significância de 5% (DAVIS, 1986).

	h (abril/2000)	h (julho/2000)	h (setembro/2000)
Cota	0,68	0,66	0,66

Independente das flutuações sazonais que fazem com que o nível médio do aquífero se eleve, existem variações rápidas, em intervalos menores que um mês, devido às chuvas diárias ou semanais. Tais variações dos níveis estáticos foram constatadas em etapas de campo consecutivas, para alguns poços. Por exemplo, durante o mês de março de 1999, foi constatado no poço PET 9 uma variação de 0,93 m no intervalo de uma semana. Este valor é muito interessante ao se considerar que o valor médio, durante a época de chuvas para esse poço, é de 0,56 m. A grande densidade de poços e os valores de medições de níveis d'água permitiram verificar que em áreas de aquíferos rasos com níveis d'água pouco profundos, a recarga não é homogênea. Pequenas variações na condutividade hidráulica do terreno acabam por induzir locais com maiores e menores concentrações dos contaminantes, que como verificado no item 6.4.3. mais adiante, será importante para a interpretação dos resultados da pluma contaminante.

6.3.3. Resultados da modelação matemática tridimensional

A área modelada foi dividida em 30 linhas e 25 colunas e quatro camadas verticais, resultando uma discretização espacial em 30x25 em 4 camadas (Figura 6.12). O número de camadas adotado não ilustra sistemas hidrogeológicos distintos. Esta divisão, onde os parâmetros hidráulicos foram mantidos para as quatro camadas, foi realizada com o intuito de melhorar a precisão obtida no modelo (Figura 6.13).

Figura 6.13 – Ilustração dos números de camadas adotado no modelo matemático.

Vale ressaltar que, o objetivo desta modelação foi o de criar cenários que permitissem avaliar as mudanças na geometria dos tubos de fluxo mediante variações na recarga e condutividade hidráulica e não de desenvolver um modelo com calibração da área de estudo.

Os parâmetros hidráulicos para as quatro camadas como coeficiente de armazenamento (S_s), vazão específica (S_y), porosidades total (n) e efetiva (n_e) foram definidos no modelo com base na característica litológica da formação (FREEZE & CHERRY, 1979) e nos dados de condutividade hidráulica (K) obtidos através dos *slug-tests*. De acordo com o mapa de isocondutividade hidráulica, a área foi dividida em quatro regiões com diferentes valores de K (K_1 , K_2 , K_3 , K_4) variando desde 1×10^{-4} a $6,75 \times 10^{-5}$ m/s (Figura 6.12a). Estes valores adotados foram iguais para as três direções ($K_x = K_y = K_z$) considerando desta forma, o meio isotrópico. Além disso adotou-se, para as quatro situações, mesmos valores de S_s , S_y , n_e e n que não variaram no interior da área modelada. Os valores dos parâmetros hidráulicos adotados no modelo estão descritos na Tabela 13 a seguir:

a. Distribuição das áreas com diferentes valores de condutividade hidráulica

b. Distribuição das áreas de recarga

X: 54.1
Y: -23.0
Z: 4.9
Row (I): 30
Column (J): 25
Layer (K): 1

c. Condição de contorno adotada no modelo

LEGENDA

Condutividade hidráulica

- $6,75 \times 10^{-5}$ m/s
- 1×10^{-4} m/s
- 5×10^{-6} m/s
- 1×10^{-5} m/s

Recarga

- R_1
- R_2
- R_3

- Condição de contorno do tipo carga conhecida
- Células inativas
- Poços de monitoramento

Figura 6.12 - Ilustração das condições de contorno, condutividades hidráulicas e recarga adotadas no modelo.

Tabela 13 – Valores dos parâmetros hidráulicos adotados no modelo matemático.

Situação	Condutividade Hidráulica (m/s)				Recarga (%)			S_s (m ⁻¹)	S_y	n_e	n
	K_1 (cáqui)	K_2 (verde)	K_3 (azul esverdeado)	K_4 (rosa)	R_1 (branco)	R_2 (cinza)	R_3 (azul)				
1	1×10^{-5}	5×10^{-6}	1×10^{-4}	$6,75 \times 10^{-5}$	0	0	0	4×10^{-4}	0,20	0,25	0,25
2	1×10^{-5}	5×10^{-6}	1×10^{-4}	$6,75 \times 10^{-5}$	0	50	20	4×10^{-4}	0,20	0,25	0,25
3	1×10^{-5}	5×10^{-6}	1×10^{-4}	$6,75 \times 10^{-5}$	0	90	0	4×10^{-4}	0,20	0,25	0,25
4	1×10^{-5}	5×10^{-6}	1×10^{-4}	$6,75 \times 10^{-5}$	90	0	0	4×10^{-4}	0,20	0,25	0,25

S_s = coeficiente de armazenamento

S_y = vazão específica

n_e = porosidade efetiva

n = porosidade total

O modelo foi executado no estado transiente, não somente em função do grande número de dados coletados que variaram ao longo do período de janeiro de 1999 a setembro de 2000 mas, principalmente para avaliar o comportamento dos tubos de fluxo em função do tempo.

Quanto às condições de contorno, adotou-se na área tipo carga conhecida, assumida para as quatro camadas (Figura 6.12b). Nas demais porções foram utilizadas células inativas, indicando uma condição de contorno de “não fluxo” (Tabela 14).

Tabela 14 – Valores de carga hidráulica utilizados na condição de contorno do tipo carga conhecida.

Período (dias)		Carga hidráulica (m)	
Início	Término	porção leste	porção oeste
0	30	6,0	5,4
30	60	5,5	5,0
60	180	5,0	4,8
180	210	4,8	4,2

No limite superior foi adotada uma condição de contorno do tipo 2, utilizando o módulo recarga do VISUAL MODFLOW, enquanto que no limite inferior foi assinalada uma condição de fluxo nulo (Figura 6.14).

Figura 6.14 – Ilustração das condições de contorno adotadas nas porções superior e inferior da área.

Foram definidas três zonas distintas de recarga, ilustradas pelas áreas em cinza, azul e branco de forma a se verificar possíveis variações no traçado bem como a profundidade das linhas de fluxo (Figura 6.12c). Vale ressaltar que variaram-se os valores de recarga considerando quatro situações distintas. Tais valores foram obtidos, em todas as situações, tomando como base as porcentagens dos dados pluviométricos mensais referentes ao período de janeiro a julho de 1999, fornecidos pelo Instituto Astronômico e Geofísico (IAG-USP). A Tabela 15 a seguir, ilustra os valores de recarga adotados e seus respectivos períodos de tempo:

Tabela 15 – Distribuição das taxas de recarga utilizadas no modelo matemático.

Situação	Período (dias)		Recarga(mm/ano)		
	Início	Término	R ₁ (branco)	R ₂ (cinza)	R ₃ (azul)
1	0	30	0	0	0
	30	60	0	0	0
	60	180	0	0	0
	180	210	0	0	0
2	0	30	0	1.380,0	480,0
	30	60	0	1.740,0	696,0
	60	180	0	984,0	408,0
	180	210	0	480,0	240,0
3	0	30	0	2.484,0	0
	30	60	0	3.156,0	0
	60	180	0	984,0	0
	180	210	0	456,0	0
4	0	30	2.484,0	0	0
	30	60	3.156,0	0	0
	60	180	984,0	0	0
	180	210	456,0	0	0

O entendimento do comportamento das linhas de fluxo e por conseguinte dos tubos de fluxo, foi feito através da visualização das trajetórias das partículas atribuídas ao modelo. Foram colocadas, no total, 10 partículas a oeste da área constituindo uma linha atravessando as quatro camadas.

A Figura 6.15 ilustra a distribuição das trajetórias das partículas correspondentes aos diferentes cenários simulados (Tabela 15). O tempo de trânsito indicado entre setas representa um período de 20 dias.

Observa-se que estas modificações são mais pronunciadas a medida em que a taxa de recarga aumenta. Isto pode ser verificado confrontando-se os traçados representados pelas cores verde e lilás. A linha verde representa a situação número 1 com ausência de recarga enquanto a linha lilás indica a situação número 4, com a recarga alcançando valores de até 90% da precipitação.

Nota-se que quanto maior a recarga aplicada ao modelo, maior a concavidade das linhas de fluxo e maior a profundidade atingida por estas. Durante os períodos de estiagem, as linhas de fluxo apresentam contornos mais suaves, reflexo da baixa taxa de precipitação e infiltração. Já na época de chuvas, os tubos de fluxo advindos da montante seriam empurrados para baixo

pelos novos tubos de fluxo que ali se formariam, pela recarga, atingindo aqueles maiores profundidades.

Figura 6.15 – Representação das trajetórias das partículas atribuídas nas quatro situações.

Outro fator a ser apontado refere-se à condutividade hidráulica do meio. Ao atravessar um meio com diferentes condutividades, os tubos de fluxo e por conseguinte a água subterrânea, sofrem uma ligeira deflexão como resultado desta variação.

Tal padrão de linhas de fluxo apresentado é muito semelhante àquele proposto por APPELO & POSTMA (1993), com a ressalva de que os autores propuseram essa situação para modelos em estado estacionário enquanto este trabalho assume um estado transiente, de maior aproximação da realidade.

6.4 Hidrogeoquímica

6.4.1. Acuracidade dos Resultados

As variações nos comportamentos de diversos parâmetros físico-químicos medidos foram observadas através de 25 etapas de campo no período de novembro de 1998 a abril de 2001, totalizando 121 análises químicas totais (Anexos 3 e 4).

Procurou-se tomar várias precauções de forma a evitar problemas analíticos. A primeira providência foi o de avaliar o laboratório selecionado, através dos métodos analíticos adotados, sua precisão e padrão de qualidade.

Dentre os diversos procedimentos de controle de qualidade existentes para verificar a acuracidade dos padrões analíticos, o laboratório CEIMIC utiliza o denominado LCS ou “amostra de controle de laboratório”, cuja concentração é conhecida (*spike*). Tal procedimento consiste na preparação de uma solução padrão de concentrações conhecidas para os íons a serem analisados. Esta amostra é então analisada junto com as demais amostras enviadas em cada campanha, ou seja, utilizando-se a mesma preparação, reagentes e métodos analíticos empregados para as amostras convencionais. Os resultados deste procedimento de controle de qualidade são expressos em termos de porcentagem de recuperação para cada íon analisado, conforme expresso na equação abaixo:

$$\text{porcentagem de recuperação (\%)} = (C_1 \times 100)/C_2$$

onde

C_1 = concentração obtida analiticamente da amostra *spike*

C_2 = concentração conhecida do íon na amostra *spike*

Normalmente, nas análises químicas de compostos inorgânicos em amostras de água, esta porcentagem está inserida dentro do intervalo aceitável entre $70\% < x < 125\%$. Em todas as campanhas de amostragem, tais valores variaram entre 70 a 115%.

Considerando que alguns parâmetros foram analisados em campo e em laboratório procurou-se também determinar o balanço iônico nestas duas situações (Anexo 5). Os íons analisados em campo e laboratório, incluídos no balanço foram os seguintes: nitrato, amônio, alcalinidade e ferro II. As porcentagens dos erros obtidos através do balanço estão ilustrados na Tabela 16 a seguir:

Tabela 16 – Relação das porcentagens de erros obtidos para os resultados de campo e laboratório.

Situação	Número de amostras	Erro analítico	(%)
Campo	121	<10%	79,3
		>10%	20,7
Laboratório	121	<10%	71,9
		>10%	28,1

Comparando os resultados nas duas situações, observa-se que a diferença entre as porcentagens dos erros de campo e laboratório é de 7,4% mostrando que de uma forma geral, estas distribuições são similares. Os erros analíticos que excediam 10% atingem valores de até 35,3% para os dados de laboratório e 52,5% relacionados aos dados de campo.

Tal similaridade pode ser também constatada através do histograma ilustrado na Figura 6.16. Avaliaram-se o comportamento dos erros menores que 10% e os que excediam a este valor, através do cálculo das porcentagens dos erros para cada intervalo estipulado.

Figura 6.16 – Histograma ilustrando a distribuição dos erros superiores e inferiores a 10% (total de 121 amostras).

A partir destes cuidados, considerou-se para o tratamento e interpretação dos dados as análises de campo e as análises químicas totais cujos valores do erro são inferiores a 10%. As análises químicas cujos erros excediam esses valores foram avaliadas com ressalva, de forma a evitar que estas pudessem mascarar a interpretação dos resultados.

6.4.2. Composição e evolução química da água subterrânea

As 81 amostras de água coletadas, cujos erros analíticos eram inferiores a 10%, plotadas no diagrama de Piper (Anexo 6), permitiram distinguir dois tipos hidroquímicos predominantes: cloro-nitratadas sódicas (73%) e cloro-sulfatadas cálcicas (27%). As concentrações dos íons maiores, em meq/L, para cada tipo hidroquímico, estão ilustradas no Anexo 7. Além destes tipos dominantes de água, constatou-se a presença de duas amostras bicarbonatadas sódicas, indicativas da composição química dos tanques sépticos.

No domínio das águas cloro-nitratadas sódicas, composto por 63 amostras, os cátions predominantes na água subterrânea são o sódio e o cálcio, sendo o cloreto e o nitrato, os ânions. A ocorrência destes íons está ligada à contaminação por efluentes, provenientes dos tanques sépticos (Figura 6.17). Este tipo hidroquímico apresenta diferenças na composição química da água, nas áreas próximas à fossa séptica e em locais mais distantes

6.4.2.1. Evolução da série nitrogenada no aquífero

Os íons da série nitrogenada no aquífero apresentam uma evolução caracterizada pela predominância de compostos menos oxidados (nitrogênio orgânico e amônio) na área circunscrita à fossa além dos íons sódio e cloreto. Isso pode ser constatado através dos mapas de isoconcentração para o cloreto e o amônio (Figuras 6.18 a 6.22).

Na proximidade da fossa (PET 8, PET 37, PET 29, PET 10, PET 34), o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica proveniente dos tanques sépticos. A medida em que se afasta da fonte de contaminação, compostos mais oxidados como amônio e posteriormente o nitrato, aparecem devido o contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio. A oxidação da matéria orgânica e processos de nitrificação ocasionam a liberação de íons H^+ em solução, ocasionando a queda nos valores de pH, verificados através das reações 12 e 13 da Tabela 3 (pág. 25).

Tais constatações possibilitaram a definição de um zoneamento hidroquímico na pluma de contaminação, com a presença dos compostos mais reduzidos próximos à fonte de contaminação e os mais oxidados em pontos mais distantes (Figuras 6.23).

A Figura 6.23 ilustra as porcentagens de variação (C/C_0) para os diferentes compostos nitrogenados e íons maiores a partir de um perfil representado pelos poços PET 37, PET 10, PET 34 e PET 11 em diferentes campanhas de amostragens. Considerou-se como C_0 , as concentrações medidas no poço PET 37 por estar localizado mais próximo à fossa.

As demais porcentagens foram normalizadas a partir das concentrações do poço PET 37, para cada parâmetro. As concentrações de cloreto, conforme o esperado, foram maiores nos poços locados próximos à fossa, diminuindo com o distanciamento. Sendo o cloreto um íon

Figura 6.17 - Distribuição dos domínios hidroquímicos na área de estudo.

nitrito

cloreto

amônio

janeiro/1999

0 5m

- POÇO DE MONITORAMENTO
- TANQUES SUBTERRÂNEOS
- LINHAS DE ISOCONCENTRAÇÃO

Figura 6.18 - Isoconcentrações referentes ao mês de janeiro de 1999.

nitrito

cloreto

amônio

julho/1999

0 5m

● POÇO DE MONITORAMENTO

○ TANQUES SUBTERRÂNEOS

— LINHAS DE ISOCONCENTRAÇÃO

Figura 6.19 - Isoconcentrações referentes ao mês de julho de 1999.

nitrato

cloreto

amônio

agosto/1999

0 5m

- POÇO DE MONITORAMENTO
- TANQUES SUBTERRÂNEOS
- LINHAS DE ISOCONCENTRAÇÃO

Figura 6.20 - Isoconcentrações referentes ao mês de agosto de 1999.

nitrato

cloreto

amônio

setembro/1999

0 5m

● POÇO DE MONITORAMENTO

□ TANQUES SUBTERRÂNEOS

— LINHAS DE ISOCONCENTRAÇÃO

Figura 6.21 - Isoconcentrações referentes ao mês de setembro de 1999.

nitrato

cloreto

amônio

janeiro/2000

0 5m

- POÇO DE MONITORAMENTO
- TANQUES SUBTERRÂNEOS
- LINHAS DE ISOCONCENTRAÇÃO

Figura 6.22 - Isoconcentrações referentes ao mês de janeiro de 2000.

Figura 6.23 - Perfil esquemático ilustrando as zonas dos diferentes compostos nitrogenados e íons maiores na pluma e suas porcentagens de variação para as diferentes épocas do ano. Os valores em asterisco representam os dados observados na campanha de amostragem.

conservativo, este decréscimo é atribuído aos processos de dispersão hidráulica.

Da mesma forma que o cloreto, os demais parâmetros físico-químicos, representados na Figura 6.23, apresentaram um decréscimo em suas concentrações em função da distância. Comparando as taxas de diminuição do cloreto com os demais parâmetros físico-químicos nota-se que, além da dispersão hidráulica, outros fenômenos também devem ser considerados para explicar o comportamento destas espécies.

O nitrogênio orgânico, por exemplo, sofreu uma diminuição de até 98% na sua concentração e isto indica que além da dispersão hidráulica, esta espécie foi submetida a processos de nitrificação, dando origem a compostos mais oxidados como amônio e posteriormente ao nitrato.

A análise dos outros cátions e ânions é um pouco mais complexa, pois neles podem atuar, além da advecção e dispersão, os fenômenos de adsorção e degradação. O sódio apresenta uma diminuição de até 83% em sua concentração indicando comportamento muito semelhante ao que acontece com o cloreto, denotando a dispersão.

A condutividade elétrica apresentou uma boa relação com o cloreto. O aumento destes valores na água subterrânea reflete a transferência dos constituintes da fossa para o aquífero. Assim como os demais parâmetros, os valores de condutividade elétrica também variaram no tempo e no espaço.

Os fenômenos de nitrificação apontados podem ser também avaliados mediante as correlações (Anexo 8), por exemplo, entre $CE \times NO_3^-$, $CE \times Cl^-$, $Na^+ \times Cl^-$, $Cl^- \times NO_3^-$ e NH_4^+ e $Na^+ \times K^+$, $Ca^{2+} \times CE$ (Figura 6.24). Os gráficos de condutividade elétrica versus os íons analisados refletem que a salinidade das águas aumenta proporcionalmente com o aumento das concentração destas espécies.

As concentrações de alguns elementos e a coexistência com outros são também controlados pelo pH do meio, além do Eh. Isto pode ser verificado com o SO_4^{2-} , HCO_3^- e NH_4^+ através das correlações entre $SO_4^{2-} \times pH$, $HCO_3^- \times pH$, $NH_4^+ \times pH$ (Figura 6.24). Estas correlações podem ser explicadas em função das reações redox que ocorrem no sistema séptico alterando os valores de alcalinidade e pH. A acidez provocada pelos processos de nitrificação acabaram por induzindo um decréscimo nos valores de pH. Assim como o pH, as reações de nitrificação acabam causando um decréscimo nas concentrações de alcalinidade no efluente.

A existência destes íons e coexistência entre as formas oxidadas e reduzidas são reflexo do quanto o meio é mais oxidante ou redutor.

Figura 6.24 - Gráficos de correlação entre os parâmetros físico-químicos das amostras cloro-nitratadas sódicas. Símbolos: ○ novembro/1998; ○ janeiro/1999; □ julho/1999; △ agosto/1999; ▽ setembro/1999; + outubro/1999; ◇ janeiro/2000; × abril/2000.

6.4.3. Variações temporais e espaciais dos parâmetros físico-químicos dos poços de monitoramento

A série nitrogenada assim como o cloreto e demais parâmetros físico-químicos, sofreram mudanças em suas concentrações com o tempo (Figuras 6.25). É interessante apontar que as variações temporais para o mesmo ponto foram maiores que as variações espaciais para o mesmo período. O poço PET 3, por exemplo, apresentou uma variação na concentração de nitrato de 167,7 mg/L em setembro de 1999 a 1,46 mg/L em janeiro de 2000. Esta variação pode ser verificada no gráfico ilustrado na Figura 6.26 que representa os valores médios da diferença mensais de concentração de nitrato para os poços de monitoramento na área. De acordo com este gráfico, as diferenças são muito maiores para o período de estiagem do que aquelas apresentadas durante o período chuvoso.

Isto mostra que, deve existir uma correlação entre a fonte de origem dos contaminantes (fossa séptica) e concentração da pluma, outros fatores influenciam o comportamento da pluma contaminante. Uma possível explicação para o comportamento mencionado acima é que ele seria motivado pela recarga e conseqüente alteração nos traçados dos tubos de fluxo capturados pelos poços de monitoramento (Figura 6.27).

A Figura 6.27 mostra que durante um período de estiagem, os tubos de fluxo têm origem à montante da zona de poços e apresenta gradientes mais suaves. Já com as chuvas, os tubos de fluxo, que contém maiores concentrações de contaminantes (advindos da fossa séptica), seriam deslocados para baixo pelos novos tubos de fluxos, que se formariam pela recarga, com águas não contaminadas. Tal situação é condizente aos resultados obtidos pela modelação matemática tridimensional abordada no item 6.3.3.

A comparação nas concentrações dos contaminantes da série nitrogenada bem como cloreto e sódio, nos poços de 5 m de profundidade e dos poços de 3 m adjacentes, ajuda a comprovar esta hipótese. A Tabela 17 ilustra as concentrações para os íons nitrato e amônio nos meses de março e julho de 2000 e abril de 2001 e cloreto e sódio em abril de 2001 para os pares de poços PET 37/PET 66, PET 11/PET 67 e PET 61/PET 68. De acordo com os resultados observa-se que as concentrações de nitrato são maiores nos poços de 5 m que os seus vizinhos mais rasos para os três períodos de coleta. O amônio, cloreto e sódio também apresentam mesmo comportamento, exceto no ponto PET 37, considerado o mais próximo às fossas sépticas.

Figura 6.25 - Diagramas mostrando a variação de concentração ao longo do período amostrado. Símbolos: $\blacktriangle$ $CE(\mu S/cm)$; $\bullet$ Eh (mV); $\blacktriangle$ $NO_3^- - N$ (mg/L); $\blacksquare$ $NH_4^+ - N$ (mg/L); $\blacklozenge$ N_{org} (mg/L); $\bullet$ Cl (mg/L).

Figura 6.26 - Variações mensais nas concentrações de nitrato para os poços de monitoramento.

Período Seco

Período Úmido

Sem Escala

Figura 6.27 - Comportamento da pluma contaminante nos períodos de chuva e estiagem.

Tabela 17 – Relação das concentrações de nitrato e amônio entre poços de 3 e 5 m de profundidade durante os períodos de chuva e de estiagem.

Poço	Profundidade (m)	março/2000		julho/2000		abril/2001			
		NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
PET 37	3,0	<3	<0,2	<3	14,0	6,65	21,3	78	29,5
PET 66	5,0	20	3,9	3	3,4	12,0	2,6	49	12,0
PET 11	3,0	3	<0,2	<3	<0,2	4,43	0,4	14	6,40
PET 67	5,0	15	3,1	4	3,3	8,42	5,3	49	12,8
PET 61	3,0	3	0,9	*	*	12,0	2,5	18	4,5
PET 68	5,0	10	4,0	—	—	12,4	5,3	43	13,7

— Parâmetro não analisado

* Poço seco

Além das variações temporais vale ressaltar, a partir dos mapas de isoconcentração, a presença na área de “ilhas” de maior e menor concentrações para parâmetros como nitrato, cloreto e amônio para diversos pontos (PET 9, PET 17, PET 3, PET 32, PET 27, por exemplo) quando comparados aos poços da circunvizinhança. A ocorrência destas ilhas pode ser verificada relacionando-se os valores de concentração dos contaminantes, condutividade hidráulica e nível estático entre estes pontos e os circunvizinhos considerando um raio de influência de 3,5 m (Tabela 18).

Tabela 18 – Relação dos valores de condutividade hidráulica, nível estático e concentração de nitrato para um raio de influência de 3,5 m.

Período	Ponto	K (m/s)	K* (m/s)	NA (m)	NA* (m)	Cota (m)	Cota* (m)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
Julho 1999	9	1,88x10 ⁻⁶	8,32x10 ⁻⁶	1,95	1,97	1,14	1,19	54	23
	17	2,21x10 ⁻⁷	3,49x10 ⁻⁶	1,96	1,98	1,23	1,25	?	19
Agosto 1999	3	6,71x10 ⁻⁶	8,20x10 ⁻⁶	2,08	2,10	1,14	1,19	45	14
	7	4,73x10 ⁻⁷	4,70x10 ⁻⁶	2,19	2,20	1,28	1,22	34	21
	26	1,77x10 ⁻⁶	8,37x10 ⁻⁶	2,11	2,13	1,21	1,14	69	13
Setembro 1999	7	4,73x10 ⁻⁷	4,70x10 ⁻⁶	2,13	2,20	1,28	1,22	56	8
	27	5,50x10 ⁻⁶	1,14x10 ⁻⁶	2,26	2,18	1,19	1,12	78	15
	32	8,10x10 ⁻⁷	1,69x10 ⁻⁵	2,38	2,37	0,98	0,89	104	56

Outra forma de avaliar estes efeitos pode também ser constatada através da Tabela 19 onde são apresentadas as relações entre K, K* e as concentrações de nitrato para o ponto, bem como as concentração média obtida através dos pontos vizinhos considerando r_i igual a 3,5 m para diferentes períodos de amostragem:

Tabela 19 – Relação entre condutividade hidráulica e concentração em diferentes épocas do ano (r_i = 3,5 m).

Ponto	K (m/s)	K* (m/s)	NO ₃ ⁻ ago/99	NO ₃ ⁻ ago/99	NO ₃ ⁻ set/99	NO ₃ ⁻ set/99	NO ₃ ⁻ jul/00	NO ₃ ⁻ jul/00
7	4,73x10 ⁻⁷	4,70x10 ⁻⁶	34	21	40	40	116	53
9	1,88x10 ⁻⁶	8,32x10 ⁻⁶	9	31	57	55	92	56
32	8,10x10 ⁻⁷	1,69x10 ⁻⁵	10	20	104	103	135	15

De acordo com esta tabela são observadas três situações distintas para os poços PET 9 e PET 32. Na primeira situação, representada no mês de agosto de 1999, as concentrações de nitrato para os poços são menores que a concentração média referente aos poços vizinhos.

Estas concentrações, no entanto, tornam-se muito próximas ou até mesmo iguais em setembro de 1999 até tornarem-se superiores numa terceira situação (julho de 2000).

Estes pontos são caracterizados por apresentar valores de condutividade hidráulica (K) menores que o valor médio de seus vizinhos (K^*). Devido ao menor valor de K , estes pontos seriam mais dificilmente “lavados” pelo fluxo de água com diferentes concentrações. Assim como K , estes pontos apresentam em geral níveis estáticos mais profundos que a média dos níveis estáticos dos vizinhos (NA^*).

7. CONCLUSÕES

A concentração de nitrato nas águas subterrâneas observadas nas proximidades do Casarão, no Parque Ecológico do Tietê Engenheiro Goulart (PET-EG), encontra-se acima dos padrões estabelecido por lei, de 45 mg/L NO_3^- .

O aquífero estudado é do tipo livre, de porosidade primária, com níveis estáticos rasos, menores que 3 m, e associados aos sedimentos quaternários do Rio Tietê. Ele é heterogêneo, com condutividades hidráulicas variando de $6,75 \times 10^{-5}$ a $1,51 \times 10^{-7}$ m/s. Há variações no traçado das linhas equipotenciais ao longo do ano e forte condicionamento pela pequena heterogeneidade da distribuição das condutividades hidráulicas no aquífero.

As análises químicas das amostras permitiram definir dois ambientes hidroquímicos distintos: cloro-sulfatadas cálcicas e cloro-nitratadas sódicas, estas últimas provenientes da contaminação dos tanques sépticos. No domínio das cloro-nitratadas sódicas foi possível definir um zoneamento da série nitrogenada na pluma de contaminação: i) predominância das formas reduzidas (nitrogênio orgânico + amônio); ii) amônio + nitrato e iii) nitrato, das áreas mais próximas ao sistema séptico para as áreas mais distantes.

Uma grande variação das concentrações da série nitrogenada e demais parâmetros físico-químicos com o tempo e para o mesmo ponto foi observada, sobretudo nos períodos de estiagem. Essa variação seria motivada pela recarga e alteração nos traçados dos tubos de fluxos capturados pelos poços de monitoramento. Durante a estiagem os tubos de fluxo são geralmente horizontais. Durante o verão, novos tubos de fluxo advindos da recarga, com águas limpas, acabam por “deslocar” para baixo os tubos de fluxo que transportam contaminantes. Os poços de pouca profundidade, que anteriormente capturavam somente águas contaminadas da pluma, passam a extrair uma mistura de águas, reduzindo a concentração da amostra.

O comportamento do fluxo da água subterrânea e, por extensão, da própria pluma contaminante, é altamente dependente das características do aquífero, principalmente de sua recarga e de pequenas variações espaciais da condutividade hidráulica na área.

A recarga é bastante dinâmica, resultado das condições de alta umidade do solo e níveis estáticos rasos. Foi verificado, através de análise por circunvizinhança, que em poços com valores de condutividade hidráulica maiores que o valor médio de K dos pontos vizinhos ocorre as maiores oscilações dos níveis estáticos, sendo estes mais profundos durante o período de estiagem, com recuperação a partir dos meses mais chuvosos.

Nesses pontos onde tal fenômeno foi observado, houve também um comportamento mais errático das concentrações de contaminantes, incluindo nitrato, cloreto, amônio e condutividade elétrica, que em outros poços nas circunvizinhanças.

A simulação de cenários através da modelação matemática tridimensional, em estado transiente incluindo dados observados em campo, constituiu numa importante ferramenta para a avaliação da influência da recarga e condutividade hidráulica na geometria dos tubos de fluxo. Variações na recarga e condutividade hidráulica acabaram por induzir no deslocamento dos tubos de fluxo, conforme mostram os dados de campo.

Em outros pontos, a menor condutividade hidráulica (duas ordens de magnitude menor) acabou por induzir áreas de maior concentração de contaminantes, comparativamente às outras em áreas próximas. Devido à menor condutividade hidráulica, essas zonas provocaram uma redução na advecção da pluma contaminante, retardando a lixiviação destas porções do aquífero.

É importante assinalar que só foi possível determinar tais fenômenos devido ao programa de monitoramento adotado, com amostragens freqüentes e medições quinzenais de alguns parâmetros *in situ* que permitiram identificar rápidas variações das concentrações químicas de poluentes em um mesmo poço. As práticas de monitoramento corriqueiras em aquíferos livres rasos não seriam capazes de tal detecção, podendo ocasionar erros na interpretação. A partir disso conclui-se que um programa de monitoramento em aquíferos rasos e com rápida recarga deva ser conduzido com amostragens freqüentes (semanais), sob pena de não se detectar as reais concentrações da pluma contaminante.

8. RECOMENDAÇÕES

Devido à grande complexidade hidrogeológica da área, sugere-se que sejam efetuadas as seguintes atividades:

- continuação às medições semanais de nível estático para melhor entendimento da dinâmica do fluxo e efeitos da rápida recarga sobretudo em aquíferos rasos;
- implantação de poços de monitoramento de diferentes profundidades para a avaliação das propriedades hidráulicas das camadas mais profundas;
- calibração de modelo matemático de fluxo e transporte em três dimensões a partir dos dados integrados da hidráulica do aquífero e sua distribuição espacial e temporal dos parâmetros hidráulicos;
- análises químicas de amostras de água em profundidade em diversos pontos da área para melhor avaliação quanto ao comportamento do contaminante em profundidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. (1973) The precambrian evolution of the South American cratonic margin South Amazon River. In: NAIM STEHLI – *The ocean basin and margins*. New York, v. 1, p. 411-446.
- ALMEIDA, F.F.M. (1976) The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, v. 48, p.15-26.
- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (1984) *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 378p.
- ANDERSON, M.P. & WOESSNER, W.W. (1992) *Applied groundwater modeling. Simulation of flow and advective transport*. San Diego, Academic Press. 381p.
- ANDREOLI, A.N.; BARTILUCCI, N.; FORGIONE, R.; REYNOLDS, R. (1979) Nitrogen removal in a subsurface disposal system. *Journal Water Pollution Control Fed.* v. 51, p. 841-854.
- APPELO, C.A.J. & POSTMA, D. (1993) *Geochemistry, groundwater and pollution*. Rotterdam, A.A. Balkema. 536p.
- 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.
- ASCHENGRAU, A.; ZIERLER, S.; COHEN, A. (1989) Quality of community drinking water and the occurrence of spontaneous abortion. *Archives of Environmental Health*, v. 44, n. 5, p. 283-290.
- BIGARELLA, J.J. (1971) Variações climáticas no Quaternário Superior e sua datação radiométrica pelo método do carbono 14. *Paleoclimas*, v. 1: 22p.
- BROOKINS, D. G. (1988) *Eh – pH diagrams for geochemistry*. Berlin, Springer. 176p.
- CAMPOS, H.; HIRATA, R.; ROCHA, G.; MISTRETA, G. (1994) Origem e ocorrência de nitrato nos aquíferos do Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROGEOLOGIA SUBTERRÂNEA, 2., Santiago, 1994. *Anais*. Santiago, Chile, ALHSUD, v. 1, p. 111-126.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (1996) Spontaneous abortions possibly related to ingestion of nitrate-contaminated well water – LaGrange County, Indiana, 1991-1994. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, v. 45, p. 569-572.

- COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; MELO, M.S. (1983) A Formação Itaquaquecetuba: evidências de tectonismo no quaternário paulista. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., São Paulo, 1983. *Atas*. São Paulo, SBG/NSP, p. 253-266.
- CUELLO, C.; CORREA, P.; HAENSZEL, W.; GORDILLO, G.; BROWN, C.; ARCHER, M.; TANNENBAUM, S. (1976) Gastric cancer in Colombia. 1. Cancer risk and suspect environmental agents. *Journal of the National Cancer Institute*, v. 57, p. 1015-1020.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.S. (1996) *Hidrologia subterránea*. 2ª ed. Barcelona, Omega, v. 1. 1157p.
- DAVIS, J. C. (1986) *Statistics and data analysis in geology*. New York, Wiley. 646p.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. (1989) Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospection*, v. 37, p. 531-551.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1975) *Estudo de águas subterrâneas, região administrativa I – Grande São Paulo*. São Paulo, SOMA, v. 1. 220p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1988) Água subterrânea: reserva estratégica. *Revista Águas e Energia Elétrica*, n. 13, p.14-24.
- DOMENICO, P. & SCHWARTZ, F. (1990) *Physical and chemical hydrogeology*. Nova York, John Wiley & Sons. 824p.
- DUARTE, U. & KANEHISA, M. (1986) Captação rasa em zonas urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDROGEOLOGIA, 4., Brasília, 1986. *Anais*. Brasília, ABAS, p. 237-270.
- DUSDIEKER, L.B.M.; STUMBO, P.J.; KROSS, B.C.; DUNGY, C.I. (1996) Does increased nitrate ingestion elevate nitrate levels in human milk? *Archives of Pediat. Adolesc. Medicine*, v. 150, n. 3.
- EC DIRECTIVE (1991) Directiva 91/676/CEE. URL http://www.europa.eu.int/eur-lex/ptlif/dat/1991/pt_391L0676.html
- ELLERT, N. & MENDES, J.M. (1994) Métodos elétricos e eletromagnéticos aplicados em zonas costeiras – prospecção de águas subterrâneas. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2., Santiago, 1994. *Anais*. Santiago, Chile, ALHSUD, v. 2, p. 707-720.
- FENÍCOLA, N.A.G.G. (1989) Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos. *Boletim Oficial Sanit. Panamericana*, v. 106, n. 1.
- FERREIRA, L. & 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.
- 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.
- FETTER, C.W. (1994) *Applied hydrogeology*. 3ª ed. New Jersey, Merrill Publishing Company. 691p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. (1988) *Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data*. Lima, CEPIS-PAHO/WHO. 89p.
- FRASER, P. & CHILVERS, C. (1981) Health aspects of nitrate in drinking water. *The Science of the Total Environment*, v. 18, p. 103-116.
- FREEZY, R. & CHERRY, J. (1979) *Groundwater*. New Jersey, Prentice-Hall. 604p.
- GUIGUER, N. & FRANZ, T. (1996) *Visual MODFLOW. User's manual*. Waterloo, WHI. 231p.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B.B. (1978) As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, SBG, v. 6, p. 2594-2608.
- HEATHWAITE, A.L. (1993) Nitrogen cycling in surface waters and lakes. In: BURT, T.P.; HEATHWAITE, A.L.; TRUDGILL, S.T. - *Nitrate: processes, patterns and managements*. England, Wiley & Sons, p. 99-140.
- HEATHWAITE, A.L.; BURT, T.P.; TRUDGILL, S.T. (1993) Overview – the nitrate issue. In: BURT, T.P.; HEATHWAITE, A.L.; TRUDGILL, S.T. - *Nitrate: processes, patterns and managements*. England, Wiley & Sons, p. 3-21.
- HIRATA, R.; BASTOS, C.; ROCHA, G. (1996) *Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. 95p.
- HIRATA, R. & FERREIRA, L.M.R. (no prelo) Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (1991) *Censo demográfico do Brasil*. URL <http://www.ibge.gov>.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A (1981) *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, v. 1. 94p.
- JOWETT, E. (1994) Introduction to wastewater nutrient removal technologies and onsite management districts. In: WASTEWATER NUTRIENT REMOVAL TECHNOLOGIES AND ON

- SITE MANAGEMENT DISTRICTS, 1994. *Conference Proceedings*. Waterloo, Waterloo Centre for Groundwater Research, p. 1-10.
- JULIANI, C. (1992) O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: SEMINÁRIO: PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO - RMSP. São Paulo, 1992. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 3-20.
- KAMMERER, M.; PINAULT, L.; POULIQUEN, H. (1992) Teneur en nitrate du lait. Relation avec sa concentration dans l'eau d'abreuvement. *Ann. Rech. Vet.*, v. 23.
- KEENEY, D. (1986) Sources of nitrate to groundwater. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, v. 16, p. 257-304.
- KOLLE, W.; STREBEL, O.; BOETTCHER, J. (1985) Formation of sulfate by microbial denitrification in a reducing aquifer. *Water Supply*, v. 3, p. 35-40.
- MANCINI, F. & RICCOMINI, C. (1994) Estilos estruturais da Formação Pindamonhagaba, Bacia de Taubaté, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. *Resumos Expandidos*. Camboriú, SBG, v. 1, p. 564-565.
- MCDONALD, M.G. & HARBAUGAH, A.W. (1988) A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model. Techniques of water-resources Investigations of U.S. Geological Survey, 06-A1. USGS, Washington. 576p.
- MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. (1986) Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. *Atas*. Goiânia, SBG, v. 1, p. 321-336.
- MELO, M.S.; PONÇANO, W.L.; MOOK, W.G.; AZEVEDO, A.E.G. (1987) Datações ^{14}C em sedimentos da Grande São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1., Porto Alegre, 1987. *Atas*. Porto Alegre, ABEQUA, v., p. 427-436.
- MENEGASSE-VELÁSQUEZ, L.N. (1996) *Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e o escoamento superficial*. São Paulo, 124p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MEZZALIRA, S. (1962) Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. *O Instituto Geográfico e Geológico*, v. 15, p. 73-94.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (1990) Normas e padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano. Portaria 36 de 19/01/90.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE (1997) Sistema de informações sobre mortalidade. URL <http://www.datasus.gov.br>
- MORAES REGO, L.F. (1933) As formações cenozóicas de São Paulo. *Anuário da Escola Polytechnica*, v. 2, p. 231-267.
- MOTE, C. & RUIZ, E. (1994) Design and opening criteria for nitrogen removal in a circulation sand filter. In: ON-SITE WATER TREATMENT. ASAE CONFERENCE PROCEEDINGS, Atlanta, 1994. Atlanta, v. 7, 256p.
- NELSON, D.W. (1982) Gaseous of nitrogen other than through denitrification. In: STEVENSON, F.J.; BREMMER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. - *Nitrogen in agricultural soils*. Wisconsin, American Society of Agronomy Inc. p. 327-358.
- NOVAKOWSKI, K. (1993) Groundwater flow and septic effluent in problem areas. In: PROBLEM ENVIRONMENTS FOR SEPTIC SYSTEMS AND COMMUNAL TREATMENT OPTIONS, Waterloo, 1993. *Conference Proceedings*. Waterloo, Waterloo Centre for Groundwater Research, p.18-33.
- NOMMIK, H. & VAHTRAS, K. (1982) Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In: STEVENSON, F.J.; BREMMER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. - *Nitrogen in agricultural soils*. Wisconsin, American Society of Agronomy Inc. p. 123-166.
- PARISOT, E.H. (1983) *As águas subterrâneas no centro-oeste do município de São Paulo – características hidrogeológicas e químicas*. São Paulo, 93p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PEDERSEN, J.; BJERG, P.; CHRISTENSEN, T. (1991) Correlation of nitrate profiles with groundwater and sediment characteristics in a shallow sandy aquifer. *Journal of Hydrology*, n. 124, p. 263-277.
- POLLOCK, W.D. (1989) Documentation of computer programs to complete and display pathlines using results from U.S. Geological Survey modular three dimensional finite-difference ground-water model. USGS, Open File Report 89-381. 81p.
- POSTMA, F.B.A.; GOLD, A.J.; LOOMIS, G.W. (1992) Nutrient and microbial movement from seasonally used septic systems. *Journal Environmental Health*, v. 55, p. 5-10.
- PREUSSMAN, R. & STEWART, B.W. (1984) N-nitroso carcinogens. In: SEARLE, C.E. (ed) – *Chemical carcinogens A.C.S. monographs 182*. American Chemical Society, Washington DC, p. 643-828.
- REBOUÇAS, A. (1988) Groundwater in Brasil. *Episodes*, v. 11, n. 3, p. 209-214.

- 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.
- RICCOMINI, C. (1989) *O rift continental do sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.; MARTIN, L. (1989) The Colônia Astrobleme. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY, São Paulo, 1989. *Excursion field guide*. São Paulo, INQUA. 14p.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.; SUGUIO, K. (1991) The record of continental sedimentation in southeastern Brazil during the last millenium: paleoseismicity, the Little Ice Age and man. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 63:90.
- RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. (1992) Geologia da Bacia Sedimentar. In: NEGRO JR., A.; FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R.; LUZ, P.A.C. eds. *Solos da Cidade de São Paulo*. São Paulo, ABMS/ABEF. p. 37-94.
- RICCOMINI, C., COIMBRA, A. M., TAKIYA, H. (1992). Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. In: SEMINÁRIO DE PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. *Atas*, São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 21-45.
- 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.
- ROCHA, G.A.; GONÇALVES, V.G.; REBOUÇAS, A.; BARRETO, L.M.B. (1989) Hidrogeologia da Bacia de São Paulo. In: WORKSHOP GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO. *Atas*. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 44-49.
- ROSS, S.D. (1991) *Hydrogeological study of river connected aquifers in Greater São Paulo, Brazil*. Waterloo, 187p. Dissertação (Mestrado) – University of Waterloo.
- SADOWSKI, G.R. (1991) A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 108p.
- SABESP/CEPAS (1994) Diagnóstico hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo. Relatório final. Convênio SABESP/CEPAS-IG/USP. São Paulo. 75p.
- SCHMIDT, E.L. (1982) Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J.; BREMMER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. - *Nitrogen in agricultural soils*. Wisconsin, American Society of Agronomy Inc. p. 253-283.

- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.E.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (1984) *Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo os depósitos minerais*. Brasília, DNPM. 501p. (Escala 1: 2.500.000).
- SCHUBERT, C.; KNOBELOCH, L.; KANAREK, M.S.; ANDERSON, H.A. (1999) Public response to elevated nitrate on drinking water wells in Wisconsin. *Archives of Environmental Health*, v. 54, n. 4.
- SEITZINGER, S. (1988) Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance. *Limnol. Ocean.*, n. 33, p. 702-724.
- SERVANT, M.; FOURNIER, M.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K. TURCQ, B. (1989) Sécheresse holocene au Brésil. (18-20 latitude Sud.). Implications paléométéorologiques. *Compte Rendus de la Académie des Sciences*, v. 20, n. 2. p. 153-156.
- STARR, R & GUILHAM, R. (1989) Controls on denitrification in shallow unconfined aquifers. In: CONTAMINANT TRANSPORT IN GROUNDWATER. PROCEEDING OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONTAMINANT TRANSPORT IN GROUNDWATER, Stuttgart, 1989. Rotterdam, Balkema, p. 51-56.
- STARR, R. (1988) *An investigation into the role of organic carbon in denitrification in shallow sandy aquifers*. Waterloo, Tese (Doutorado) - University of Waterloo.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1996) *Aquatic chemistry*. 3ª ed. New York, Wiley Interscience Publication. 1022p.
- SUGUIO, K. & TAKAHASHI, L.I. (1970) Estudos dos aluviões antigos dos rios Pinheiros e Tietê, São Paulo, SP. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (série científica)*. São Paulo, v. 9, p. 25-45.
- SUGUIO, K. (1971) Estudos dos troncos de árvores linhitificados dos aluviões antigos do Rio Pinheiros (São Paulo), significado geocronológico e possivelmente paleoclimático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. *Anais*. São Paulo, SBG, v. 1, p. 63-65.
- TAKIYA, H. (1991) Aplicação de métodos quantitativos espaciais e dados geológicos da Bacia de São Paulo. São Paulo, 109p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TAKIYA, H. & YBERT, J.P. (1991) Evidência palinológica de uma fase climática seca durante o holoceno na Bacia de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2. *Resumos*. São Paulo, SBG/NSP/RJ, p. 29-30.

- TAKIYA, H. (1997) *Estudo da sedimentação neogênico-quaternária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana*. São Paulo, 152p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TURCQ, B. & MELO, M.S. (1989) O quaternário na área da Grande São Paulo. In: WORKSHOP GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO. *Coletâneas*. São Paulo, ABAS/ABGE/SBG, p. 64-70.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1985). Practical guide for groundwater sampling. [Postscript file]. URL <http://www.epa.gov/swerust1/cat/pracgw.pdf>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1995). Drinking water regulations and health advisores. URL <http://www.epa.gov>.
- WALKER, W.G.; BOUMA, J.; KEENEY, D.R.; MGDORFF, F.R. (1973) Nitrogen transformations during subsurface disposal of septic tank effluent in sands. I. Soil transformations. *Journal Environmental Quality*, v. 2, p. 475-480.
- WARD, M.H.; MARK, S.D.; CANTOR, D.D.; WEISENBURGER, A. CORREA-VILLASEÑOR; ZAHM, S.H. (1996) Drinking water nitrate and the risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Epidemiology*, v. 7, p. 465-471.
- WILHELM, S.; SCHIFF, S.; CHERRY, J. (1994) Biogeochemical evolution of domestic waste in septic systems: Conceptual Model. *Groundwater*, v. 32, n. 6, p. 905-916.
- 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.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (1999) – Environmental health information [WWW document] URL <http://www.who.int>.
- ZALDIVAR, R. (1977). Nitrate fertilizers as environmental pollutants. *Experimentia*, v. 33, p. 264-265.

Anexo 1 – Perfis geológicos dos furos de sondagem

N.A	PROF (M)	PERFIL	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
	0,00		ARGILO ARENOSO (AREIA FINA), POUCO SILTOSO COM RAÍZES E GRÂNULOS, CINZA CLARO A AMARELADO
	2,00		ARGILOSO POUCO SILTOSO, CINZA ESCURO, MUITO MOLE
	3,80		ARENOSO (AREIA FINA) CINZA CLARO, POUCO COMPACTA
	4,80		ARENOSO (AREIA MÉDIA A GROSSA), COM PEDREGULHOS CINZA ESCURO, MEDIANAMENTE COMPACTA
	5,80		ARENOSO (AREIA FINA), POUCO ARGILOSO, CINZA ESVERDEADO POUCO COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA
	9,80		ARGILOSO SILTOSO, CINZA CLARO, RIJA
	13,90		ARENOSO (AREIA FINA) POUCO ARGILOSO, AMARELO CLARO, MEDIANAMENTE COMPACTA A COMPACTA
	20,45		

N.A	PROF (M)	PERFIL	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
	0,50		ARGILO ARENOSO (AREIA FINA), POUCO SILTOSO, VERMELHO CLARO
	2,55		ARGILOSO POUCO SILTOSO, CINZA ESCURO, MOLE A MUITO MOLE
	3,80		ARENOSO (AREIA FINA) POUCO ARGILOSO, COM PEDREGULHOS, CINZA ESCURO, POUCO COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA
	5,80		ARGILOSO SILTOSO, CINZA ESVERDEADO, MÉDIA A RIJA
	7,70		ARENOSO (AREIA FINA), POUCO ARGILOSO, CINZA ESVERDEADO POUCO COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA
	10,50		ARGILOSO SILTOSO, CINZA CLARO, RIJA
	15,30		ARGILOSO SILTOSO, CINZA AMARELADO, RIJA
	15,80		ARGILOSO ARENOSO (AREIA FINA) CINZA AMARELADO, DURA
	18,10		ARENOSO (AREIA FINA) POUCO ARGILOSO, AMARELO CLARO, COMPACTA
	20,45		ARENOSO (AREIA MÉDIA A GROSSA) POUCO ARGILOSO, COM PEDREGULHOS, CINZA ESVERDEADO, COMPACTA

N.A	PROF (M)	PERFIL	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
	0,60		ARGILO ARENOSO (AREIA FINA), POUCO SILTOSO, VERMELHO CLARO
	2,55		ARGILOSO POUCO SILTOSO, CINZA ESCURO, MOLE A MUITO MOLE
	4,00		ARENOSO (AREIA FINA) POUCO ARGILOSO, COM PEDREGULHOS, CINZA ESCURO, POUCO COMPACTA A MEDIANAMENTE COMPACTA
	4,80		ARENOSO (AREIA MÉDIA A GROSSA), POUCO ARGILOSO, COM PEDREGULHOS, CINZA ESCURO MEDIANAMENTE COMPACTA
	5,80		ARGILOSO SILTOSO, CINZA ESVERDEADO
	6,15		ARENOSO (AREIA FINA A MÉDIA), POUCO ARGILOSO, CINZA CLARO, MEDIANAMENTE COMPACTA
	9,80		ARGILOSO SILTOSO, CINZA CLARO, MÉDIA
	10,80		ARGILOSO ARENOSO (AREIA FINA), CINZA ESVERDEADO, MÉDIA
	11,80		ARGILO SILTOSO, CINZA CLARO, RIJA
	13,90		ARENOSO (AREIA FINA) POUCO ARGILOSO, AMARELO CLARO, MEDIANAMENTE COMPACTA A COMPACTA
	18,10		
	20,45		

Fonte: CONTESTE ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA.

Anexo 2 – Características construtivas dos poços de monitoramento

Características construtivas dos poços de monitoramento instalados no Parque Ecológico do Tietê (PET-EG).

POÇO	PET 1	PET 2	PET 3	PET 4	PET 5	PET 6	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual
Profundidade do poço	2,20	2,09	2,87	3,88	3,45	3,38	3,00	3,00	3,00	2,58	3,00
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Intervalo de pré-filtro	1,70-2,20	1,59-2,09	1,87-2,87	2,47-3,88	1,45-3,45	2,32-3,38	2,00-3,00	2,37-3,00	2,00-3,00	0,88-2,58	1,75-3,00
Material do filtro	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon
Tipo de pré-filtro	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola

POÇO	PET 12	PET 13	PET 14	PET 15	PET 16	PET 17	PET 18	PET 19	PET 20	PET 21	PET 22
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual
Profundidade do poço	2,50	2,20	2,20	2,30	2,20	2,30	2,30	3,00	2,74	2,84	3,00
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Intervalo de pré-filtro	1,50-2,50	1,30-2,20	1,70-2,20	1,37-2,30	1,70-2,20	1,10-2,30	1,50-2,30	1,80-3,00	1,74-2,74	1,84-2,84	1,90-3,00
Material do filtro	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon
Tipo de pré-filtro	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola

POÇO	PET 23	PET 24	PET 25	PET 26	PET 27	PET 28	PET 29	PET 30	PET 31	PET 32	PET 33
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual
Profundidade do poço	3,27	3,06	2,93	3,08	3,16	2,93	3,25	3,07	2,91	3,12	3,31
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Intervalo de pré-filtro	1,77-3,27	2,06-3,06	1,93-2,93	1,58-3,08	2,22-3,16	1,93-2,93	1,97-3,12	2,07-3,07	1,91-2,91	2,12-3,12	2,21-3,31
Material do filtro	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon
Tipo de pré-filtro	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola

Características construtivas dos novos poços de monitoramento instalados no Parque Ecológico do Tietê (PET-EG) - continuação.

POÇO	PET 34	PET 35	PET 36	PET 37	PET 38	PET 39	PET 40	PET 41	PET 42	PET 43	PET 44	PET 45
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual
Profundidade do poço	3,24	3,18	3,18	3,40	3,20	2,90	2,90	2,90	2,88	2,85	2,80	2,81
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Intervalo de pré-filtro	2,00-3,24	1,96-3,18	2,18-3,18	2,40-3,40	2,00-3,20	1,65-2,90	1,46-2,90	1,43-2,90	1,42-2,88	1,10-2,85	1,35-2,80	1,30-2,81
Material do filtro	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e tela de nylon	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim
Tipo de pré-filtro	pérola	pérola	pérola	pérola	pérola	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí

POÇO	PET 46	PET 47	PET 48	PET 49	PET 50	PET 51	PET 52	PET 53	PET 54	PET 55	PET 56	PET 57
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual
Profundidade do poço	2,75	2,97	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Intervalo de pré-filtro	1,48-2,75	1,53-2,97	1,80-3,00	1,55-3,00	1,50-3,00	1,70-3,00	1,50-3,00	1,60-3,00	1,80-3,00	1,85-3,00	1,85-3,00	1,50-3,00
Material do filtro	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim
Tipo de pré-filtro	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí

POÇO	PET 58	PET 59	PET 60	PET 61	PET 62	PET 63	PET 64	PET 65	PET 66	PET 67	PET 68	
Método de perfuração	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	trado manual	cravação	cravação	cravação
Profundidade do poço	3,00	2,55	3,40	3,15	2,90	2,90	2,40	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Diâmetro do furo	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Diâmetro de revestimento	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Tipo de revestimento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	aço galvanizado	aço galvanizado	aço galvanizado	aço galvanizado
Intervalo de pré-filtro	1,50-3,00	0,95-2,55	2,40-3,40	1,66-3,15	1,38-2,90	1,41-2,90	1,45-2,40	2,00-3,20	2,00-3,20	2,00-3,20	2,00-3,20	2,00-3,20
Material do filtro	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	PVC com furos e bidim	----	----	----	----
Tipo de pré-filtro	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí	jacareí

Anexo 3 – Resultados dos parâmetros físico-químicos medidos em campo

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 28/08/1998

Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (μ S/cm)	pH	EH (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	2,30	236	6,36	NA	20,7	NA	9	<0,5	NA	NA
PET 2	2,19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100	3,0
PET 3	2,15	595	6,67	NA	20,4	NA	25	<0,5	NA	NA
PET 4	2,77	292	5,46	NA	20,3	NA	39	<0,5	30	0,5
PET 5	2,73	195	6,22	NA	18,6	NA	4	<0,5	NA	NA
PET 6	NA	276	6,04	NA	20,4	NA	2	<0,5	18	0,4

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 29/10/1998

Precipitação diária (mm): 0,1

Ponto	NA (m)	CE (μ S/cm)	pH	EH (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	2,78	305	6,24	NA	23,1	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 4	2,43	260	5,19	NA	23,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 5	2,62	205	5,77	NA	22,3	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 10	2,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 03/11/1998

Precipitação diária (mm): 5,3

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	EH (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	2,01	138	4,46	NA	19,7	18,3	69	<0,5	100	3,0
PET 3	2,06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 4	2,45	224	5,15	NA	19,2	177	45	<0,5	30	0,5
PET 5	2,74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	2,81	149	5,70	NA	18,9	NA	<3	<0,5	18	0,4
PET 7	2,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 8	2,18	345	5,91	NA	18,0	3,05	<3	<0,5	60	3,9
PET 9	2,08	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 10	2,28	166	5,19	NA	19,4	12,2	6	<0,5	100	0,2

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 17/11/1998

Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (μ S/cm)	pH	EH (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	2,04	429	5,63	451	19,8	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	1,83	472	6,19	352	18,8	NA	NA	NA	NA	NA
PET 4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 8	2,24	325	5,40	434	19,7	NA	NA	NA	NA	NA
PET 9	2,48	205	5,57	470	18,5	NA	NA	NA	NA	NA
PET 10	2,02	340	5,55	414	19,6	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP
Data: 11/01/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 3,3

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,60	132	5,23	458	23,2	6,10	19	<0,5	10	0,3
PET 3	1,43	OLF	6,20	458	22,5	107	9	<0,5	60	2,4
PET 4	2,02	OLF	4,79	479	21,6	0,00	30	<0,5	30	0,7
PET 5	1,62	OLF	5,74	522	26,5	3,05	13	<0,5	30	<0,2
PET 6	2,68	OLF	6,19	448	26,5	3,05	10	<0,5	18	1,2
PET 7	1,58	OLF	4,90	504	22,5	0,00	32	<0,5	30	0,4
PET 8	1,81	OLF	5,75	516	26,3	15,3	<3	<0,5	100	5,1
PET 9	1,47	OLF	4,70	456	22,4	0,00	31	<0,5	30	1,4
PET 10	1,69	OLF	5,44	459	23,4	6,10	34	<0,5	18	2,3
PET 11	1,46	145	5,52	366	22,8	3,05	20	<0,5	30	0,2

CE - Condutividade elétrica NA - Não analisado OLF - Abaixo do limite de detecção

Projeto: Nitrato-USP
Data: 15/01/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 5,3

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,60	138	5,00	NA	23,1	NA	20	<0,5	NA	NA
PET 3	1,43	OLF	6,10	NA	23,2	NA	5	<0,5	NA	NA
PET 4	2,02	OLF	4,60	NA	23,4	NA	34	<0,5	NA	NA
PET 5	1,62	OLF	5,15	NA	22,4	NA	24	<0,5	NA	NA
PET 6	2,68	157	5,21	NA	23,0	NA	6	<0,5	NA	NA
PET 7	1,58	OLF	4,85	NA	22,3	NA	33	<0,5	NA	NA
PET 8	1,81	OLF	5,31	NA	22,5	NA	24	<0,5	NA	NA
PET 9	1,47	185	4,68	NA	22,1	NA	23	<0,5	NA	NA
PET 10	1,69	196	5,23	NA	22,3	NA	16	<0,5	NA	NA
PET 11	1,46	141	5,12	NA	22,2	NA	30	<0,5	NA	NA

CE - Condutividade elétrica NA - Não analisado OLF - Abaixo do limite de detecção

Projeto: Nitrato-USP
Data: 22/01/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 0,5

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,67	153	4,70	553	24,0	NA	<3	<0,5	18	0,2
PET 3	1,47	552	6,37	358	24,3	NA	11	<0,5	60	<0,2
PET 4	2,06	245	4,63	567	25,5	NA	17	<0,5	30	0,5
PET 5	1,66	316	4,34	568	23,9	NA	3	<0,5	60	<0,2
PET 6	2,02	170	4,68	566	25,4	NA	5	<0,5	30	0,5
PET 7	1,55	278	4,60	540	23,9	NA	21	<0,5	60	1,0
PET 8	1,87	445	5,15	562	24,4	NA	62	<0,5	100	0,5
PET 9	1,46	251	4,78	558	23,2	NA	12	<0,5	60	0,6
PET 10	1,64	307	5,07	557	23,8	NA	9	<0,5	30	3,0
PET 11	1,11	133	4,48	562	23,7	NA	16	<0,5	10	0,5

CE - Condutividade elétrica NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP
Data: 29/01/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,80	186	4,49	555	23,6	NA	3	<0,5	30	NA
PET 3	1,59	535	6,50	363	22,6	NA	9	<0,5	60	NA
PET 4	2,19	245	4,66	547	23,9	NA	16	<0,5	30	NA
PET 5	1,81	342	4,29	591	24,2	NA	<3	<0,5	60	NA
PET 6	2,10	160	4,67	553	23,7	NA	<3	<0,5	18	NA
PET 7	1,70	326	4,49	544	22,3	NA	29	<0,5	60	NA
PET 8	1,99	401	5,06	533	24,2	NA	48	<0,5	60	NA
PET 9	1,60	276	4,62	551	22,7	NA	8	<0,5	60	NA
PET 10	1,75	238	5,02	549	23,8	NA	<3	<0,5	30	NA
PET 11	1,86	139	4,36	575	23,1	NA	4	<0,5	60	NA

CE - Condutividade elétrica NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP
Data: 26/02/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 79,4

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,34	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	1,22	318	6,08	440	23,1	NA	29	<0,5	18	1,0
PET 4	1,75	211	4,82	592	23,0	NA	37	<0,5	30	0,5
PET 5	1,36	196	4,31	572	23,3	NA	19	<0,5	18	<0,2
PET 6	1,80	196	4,95	550	23,9	NA	5	<0,5	18	<0,2
PET 7	1,24	235	4,52	535	23,0	NA	37	<0,5	30	0,5
PET 8	1,62	349	5,09	534	22,9	NA	45	<0,5	30	2,7
PET 9	1,14	213	4,42	555	22,6	NA	32	<0,5	30	0,3
PET 10	1,42	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 11	0,88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 12	2,15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	2,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,81	102	4,46	542	23,3	NA	4	<0,5	10	<0,2
PET 15	1,78	110	5,00	513	23,6	NA	<3	<0,5	10	<0,2
PET 16	1,95	204	5,56	547	26,0	NA	9	<0,5	30	0,4

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP
Data: 18/03/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	1,90	155	4,44	488	22,4	NA	10	<0,5	18	<0,2
PET 2	1,81	160	4,39	474	22,7	NA	6	<0,5	18	<0,2
PET 3	1,79	482	6,15	553	22,4	NA	22	<0,5	18	0,6
PET 4	2,39	187	4,42	500	23,9	NA	11	<0,5	18	0,2
PET 5	2,07	194	4,42	297	23,9	NA	3	<0,5	18	<0,2
PET 6	2,32	177	4,43	547	23,9	NA	3	<0,5	10	<0,2
PET 7	1,93	229	4,27	541	23,6	NA	15	<0,5	18	0,6
PET 8	2,20	295	5,04	488	22,6	NA	36	<0,5	60	1,6
PET 9	2,51	206	4,33	553	22,5	NA	10	<0,5	18	0,3
PET 10	1,96	187	4,92	472	22,5	NA	7	<0,5	18	1,5
PET 11	0,98	160	4,22	486	22,7	NA	10	<0,5	18	<0,2
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 14	0,96	107	4,19	549	23,5	NA	<3	<0,5	18	0,2
PET 15	1,10	139	4,13	539	23,7	NA	<3	<0,5	18	<0,2
PET 16	1,06	181	5,13	530	23,9	NA	<3	<0,5	30	0,2
PET 17	1,14	179	4,53	530	23,5	NA	5	<0,5	18	0,3

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP
Data: 26/03/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Eh (mV)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
PET 1	2,04	171	4,55	494	23,5	NA	<3	<0,5	18	0,2
PET 2	1,80	183	4,88	469	24,6	NA	<3	<0,5	18	0,4
PET 3	1,63	509	6,13	433	23,8	NA	12	<0,5	30	1,3
PET 4	2,27	191	4,30	535	24,0	NA	<3	<0,5	18	0,2
PET 5	1,80	203	4,28	463	24,0	NA	<3	<0,5	18	0,2
PET 6	2,72	219	4,42	524	23,4	NA	<3	<0,5	18	0,4
PET 7	1,69	236	4,29	531	23,9	NA	11	<0,5	30	0,6
PET 8	2,03	297	4,99	503	24,5	NA	15	<0,5	30	2,4
PET 9	1,58	216	4,30	508	23,1	NA	5	<0,5	18	0,9
PET 10	1,81	205	4,60	508	23,7	NA	<3	<0,5	18	1,7
PET 11	1,86	158	4,20	521	24,0	NA	3	<0,5	18	0,3
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 14	1,72	96	4,34	512	24,2	NA	<3	<0,5	10	0,4
PET 15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	1,67	170	5,36	408	26,4	NA	<3	<0,5	30	0,6
PET 17	1,58	285	5,25	369	25,4	NA	3	<0,5	30	0,7
PET 18	1,51	218	4,53	468	24,6	NA	24	<0,5	30	0,6

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

Projeto: Nitrato-USP
Data: 08/04/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 1,4

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	1,78	186	6,08	405	4,95	23,0	NA	6	<0,5	18	NA
PET 2	1,86	205	4,74	475	2,31	22,1	NA	12	<0,5	30	NA
PET 3	1,79	807	6,21	435	1,13	23,0	NA	3	<0,5	60	NA
PET 4	2,39	213	4,98	469	4,05	24,0	NA	4	<0,5	30	NA
PET 5	2,07	192	6,25	460	2,11	24,0	NA	3	<0,5	30	NA
PET 6	2,32	173	4,52	500	2,73	24,2	NA	3	<0,5	18	NA
PET 7	1,93	221	4,70	495	4,05	23,6	NA	4	<0,5	30	NA
PET 8	2,20	273	5,13	455	3,04	22,9	NA	11	<0,5	60	NA
PET 9	2,51	214	4,38	486	0,59	22,6	NA	<3	<0,5	30	NA
PET 10	1,96	214	4,95	478	3,73	22,2	NA	<3	<0,5	31	NA
PET 11	2,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 12	2,21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	2,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,77	204	6,58	303	4,19	24,8	NA	<3	<0,5	100	NA
PET 15	2,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	1,92	185	6,59	344	4,35	24,6	NA	4	<0,5	30	NA
PET 17	1,85	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 18	1,80	200	6,19	395	4,11	24,8	NA	10	<0,5	30	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

Projeto: Nitrato-USP
Data: 22/04/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart
Precipitação diária (mm): 0,4

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)
PET 1	2,05	223	6,92	417	6,92	24,9	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 2	2,10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	2,90	450	5,72	425	5,72	20,9	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 4	2,51	205	5,52	489	5,52	23,1	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 5	2,16	194	5,69	480	5,69	22,3	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 6	2,39	174	5,39	491	5,39	22,6	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 7	2,00	284	5,70	481	5,70	21,1	NA	19	<0,5	NA	NA
PET 8	2,28	384	5,38	303	5,38	22,3	NA	59	<0,5	NA	NA
PET 9	1,94	220	5,22	528	5,22	20,7	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 10	2,04	229	4,80	307	4,80	22,2	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 11	1,56	149	5,21	523	5,21	22,6	NA	5	<0,5	NA	NA
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 14	1,96	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	2,18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	2,04	174	6,71	305	6,71	20,0	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 17	2,12	194	6,67	312	6,67	19,9	NA	<3	<0,5	NA	NA
PET 18	1,91	242	6,49	377	6,49	19,9	NA	18	<0,5	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Data: 26/07/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
PET 1	2,07	167	6,15	319	NA	23,6	NA	3	<0,5	NA	1,2
PET 2	2,05	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 3	1,89	538	6,41	491	NA	21,2	134	39	<0,5	NA	<0,5
PET 4	2,53	209	5,52	452	NA	23,2	6,10	3	<0,5	NA	<0,5
PET 5	2,16	194	5,25	408	NA	22,5	3,05	<3	<0,5	NA	<0,5
PET 6	2,42	114	5,00	416	NA	23,0	0,00	<3	<0,5	NA	3,4
PET 7	1,95	380	5,73	341	NA	21,9	27,5	28	<0,5	NA	<0,5
PET 8	2,26	297	5,66	341	NA	21,3	12,2	<3	<0,5	NA	18,0
PET 9	1,95	307	5,36	519	NA	21,2	3,05	54	<0,5	NA	<0,5
PET 10	2,07	313	4,05	510	NA	20,5	0,00	40	<0,5	NA	<0,5
PET 11	1,67	285	4,16	535	NA	21,1	0,00	48	<0,5	NA	<0,5
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	1,81	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,94	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	2,15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	2,04	138	6,15	342	NA	17,3	NA	<3	<0,5	NA	9,8
PET 17	1,96	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 18	1,81	307	6,60	396	NA	22,3	NA	37	<0,5	NA	<0,5
PET 19	2,05	371	5,53	412	NA	21,1	12,2	42	<0,5	NA	<0,5
PET 20	2,11	194	5,09	406	NA	19,5	6,10	9	<0,5	NA	5,6
PET 21	2,07	257	5,82	261	NA	20,4	33,6	<3	<0,5	NA	9,4
PET 22	2,08	239	5,88	256	NA	18,0	33,6	<3	<0,5	NA	20,0

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Data: 18/08/1999

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
PET 1	2,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	2,20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	2,08	533	6,48	430	NA	18,3	128	45	<0,5	1,0	<0,5
PET 4	2,69	201	4,90	389	NA	21,6	3,05	<3	<0,5	0,3	<0,5
PET 5	2,10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	2,59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	2,19	389	6,21	422	NA	19,1	12,2	34	<0,5	>7,0	<0,5
PET 8	2,46	386	5,46	475	NA	19,5	3,05	49	<0,5	3,2	<0,5
PET 9	2,15	233	4,97	530	NA	20,5	3,05	9	<0,5	<0,2	<0,5
PET 10	2,30	281	5,47	428	NA	21,0	3,05	10	<0,5	1,7	<0,5
PET 11	1,82	234	4,38	507	NA	21,1	0,00	27	<0,5	0,2	<0,5
PET 12	2,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	2,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	2,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	2,10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	2,16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 17	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 18	2,18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 19	2,13	276	6,26	436	NA	20,8	15,3	24	<0,5	2,7	<0,5
PET 20	2,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 21	2,23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 22	2,25	216	5,77	322	NA	18,2	27,5	<3	<0,5	0,2	22,0
PET 23	2,13	123	5,63	390	NA	19,0	12,2	<3	<0,5	1	20,0
PET 24	2,08	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 25	2,09	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 26	2,11	164	5,84	433	NA	17,6	6,10	69	<0,5	>7,0	1,6
PET 27	2,15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 28	1,96	178	5,17	387	NA	19,2	6,10	<3	<0,5	0,8	1,6
PET 29	2,31	164	6,42	297	NA	17,1	12,2	<3	<0,5	0,8	20,0
PET 30	2,05	192	5,10	440	NA	20,2	NA	<3	<0,5	0,5	18,0
PET 31	2,03	190	5,45	422	NA	20,0	NA	8	<0,5	1,9	<0,5
PET 32	2,29	392	6,58	151	NA	21,1	12,2	10	<0,5	>7,0	<0,5
PET 33	2,15	125	5,54	426	NA	19,8	9,15	17	<0,5	4,6	3,9
PET 34	NA	453	4,09	400	NA	19,5	6,10	<3	<0,5	1,40	14,0
PET 35	2,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	2,06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 37	2,30	383	6,26	295	NA	20,4	18,3	<3	<0,5	>7,0	14,8
PET 38	1,88	115	4,39	219	NA	18,4	0,00	<3	<0,5	<0,2	5,0

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 21/09/1999

Precipitação diária (mm): 0,0

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	El (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
PET 1	2,26	176	6,10	NA	NA	24,0	NA	<3	<0,5	<0,2	<0,5
PET 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 3	2,15	709	5,88	550	NA	22,1	47,4	145	<0,5	0,5	<0,5
PET 4	2,71	197	5,07	576	NA	23,1	0,00	<3	<0,5	0,4	<0,5
PET 5	2,27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	2,40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	2,13	501	5,78	584	NA	21,7	29,3	40	<0,5	>7,0	<0,5
PET 8	2,40	388	5,60	603	NA	20,7	4,80	49	<0,5	2,8	<0,5
PET 9	2,11	331	4,47	401	NA	20,5	2,40	57	<0,5	0,4	2,1
PET 10	2,28	588	5,37	595	NA	19,7	1,20	135	<0,5	4,9	<0,5
PET 11	2,00	294	5,50	405	NA	19,4	2,40	28	<0,5	0,3	<0,5
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 14	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 16	2,27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 17	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 19	2,02	601	6,09	583	NA	20,3	6,10	104	<0,5	3,0	<0,5
PET 20	2,23	166	5,80	484	NA	18,8	NA	<3	<0,5	0,6	14,2
PET 21	2,29	155	6,28	326	NA	18,6	NA	5	<0,5	0,3	>20,0
PET 22	2,27	259	5,73	434	NA	22,3	18,6	<3	<0,5	1,2	16,4
PET 23	2,28	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 24	2,18	375	5,60	315	NA	18,2	NA	57	<0,5	1,7	<0,5
PET 25	2,16	212	6,10	377	NA	17,4	NA	11	<0,5	0,3	1,8
PET 26	2,11	609	5,90	571	NA	22,6	24,0	102	<0,5	>7,0	1
PET 27	2,26	309	5,80	575	NA	19,5	3,60	10	<0,5	0,8	<0,5
PET 28	2,11	445	5,60	583	NA	17,9	1,80	30	<0,5	3,9	<0,5
PET 29	2,22	316	6,21	386	NA	20,4	17,4	32	<0,5	2,6	18,6
PET 30	2,13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 31	2,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 32	2,38	758	5,60	571	NA	19,4	NA	104	<0,5	4,8	<0,5
PET 33	2,33	586	4,96	615	NA	19,7	0,00	124	<0,5	3,9	<0,5
PET 34	2,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 35	2,32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	2,25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 37	2,49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 27/10/1999

Precipitação diária (mm): 8,4

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Eh (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
PET 1	2,48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<3	<0,5	3,1	6,1
PET 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 3	2,23	323	4,60	513	NA	20,0	45,6	48	<0,5	0,6	<0,5
PET 4	2,92	226	5,40	580	NA	24,3	NA	20	<0,5	2,7	<0,5
PET 5	2,56	214	4,84	580	NA	22,9	NA	25	<0,5	<0,2	<0,5
PET 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	2,41	234	6,00	534	NA	23,0	NA	56	<0,5	2,2	<0,5
PET 8	2,45	343	4,50	589	NA	20,0	2,40	52	<0,5	2,7	<0,5
PET 9	2,15	186	4,50	585	NA	20,1	0,00	26	<0,5	1,8	<0,5
PET 10	2,30	186	5,70	538	NA	22,0	3,00	56	<0,5	5,2	<0,5
PET 11	2,02	246	4,44	634	NA	21,6	0,00	53	<0,5	0,2	<0,5
PET 12	2,17	102,5	5,46	502	NA	21,1	NA	<3	<0,5	1,4	10,2
PET 13	2,29	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<3	<0,5	0,5	<0,5
PET 14	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 16	2,38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	<3		3,3	5,7
PET 17	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 19	2,27	416	5,85	543	NA	21,1	NA	90	<0,5	2,2	<0,5
PET 20	2,33	168	5,62	493	NA	21,5	NA	<3	<0,5	0,7	3,1
PET 21	2,34	205	6,33	276	NA	21,5	NA	<3	<0,5	0,6	22,4
PET 22	2,29	247	5,88	442	NA	22,0	22,0	<3	<0,5	2,2	11,6
PET 23	2,43	192	5,22	498	NA	22,3	0,60	17	<0,5	1,6	<0,5
PET 24	2,28	125	5,52	478	NA	21,5	NA	<3	<0,5	1,4	<0,5
PET 25	2,27	178	6,33	336	NA	23,4	NA	<3	<0,5	1,4	3,9
PET 26	2,34	176	5,73	488	NA	23,3	NA	4	<0,5	1,4	<0,5
PET 27	2,37	335	5,74	492	NA	22,6	NA	78	<0,5	0,5	<0,5
PET 28	2,27	285	5,24	536	NA	21,1	0,00	58	<0,5	3,4	<0,5
PET 29	2,44	284	6,22	475	NA	20,9	37,2	<3	<0,5	2,2	17,3
PET 30	2,22	140	5,84	435	NA	22,7	NA	<3	<0,5	0,8	15,0
PET 31	2,25	155	6,29	430	NA	22,4	NA	<3	<0,5	0,4	15,8
PET 32	2,62	368	6,60	525	NA	23,2	NA	134	<0,5	1,7	<0,5
PET 33	2,55	237	5,16	592	NA	22,3	0,00	55	<0,5	2,5	<0,5
PET 34	2,34	222	4,60	609	NA	21,6	NA	35	<0,5	2,7	<0,5
PET 35	2,48	186	5,84	524	NA	21,8	NA	112	<0,5	3,0	<0,5
PET 36	2,44	257	5,40	589	NA	22,7	1,20	44	<0,5	4,0	<0,5
PET 37	2,67	291	5,66	453	NA	21,2	NA	<3	<0,5	7,0	<0,5
PET 38	1,70	138	4,71	519	NA	19,3	NA	<3	<0,5	<0,2	<0,5

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 05/01/2000

Precipitação diária (mm): 8,0

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	En (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
PET 1	1,89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	1,70	206	5,64	505	NA	22,5	26,4	42	<0,5	0,3	2,9
PET 4	2,30	339	5,39	532	NA	25,8	16,2	50	<0,5	<0,2	<0,5
PET 5	1,98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	2,20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	1,78	354	4,35	607	NA	21,4	0,00	112	<0,5	2,6	<0,5
PET 8	1,95	438	5,15	545	NA	25,2	4,20	94	<0,5	1,2	<0,5
PET 9	1,70	255	4,52	596	NA	21,7	0,00	49	<0,5	<0,2	<0,5
PET 10	1,88	278	4,83	570	NA	23,4	0,00	38	<0,5	3,1	<0,5
PET 11	1,60	158,6	4,14	574	NA	24,2	0,00	25	<0,5	<0,2	<0,5
PET 12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 13	1,64	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,67	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 16	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 17	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 18	1,70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 19	1,68	276	6,26	686	NA	20,8	NA	24	<0,5	2,7	<0,5
PET 20	1,76	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 21	1,80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 22	1,79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 23	1,69	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 24	1,70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 25	1,66	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 27	1,79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 28	1,62	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 29	1,54	437	5,22	511	NA	21,3	9,60	128	<0,5	0,7	<0,5
PET 30	1,64	100,1	5,44	259	NA	23,5	9,60	<3	<0,5	1,5	18,2
PET 31	1,63	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 32	1,85	232	5,08	569	NA	23,4	2,40	26	<0,5	<0,2	<0,5
PET 33	1,47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 34	1,74	154,9	4,67	546	NA	22,2	0,00	6	<0,5	20,7	14,0
PET 35	1,85	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	1,83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 37	2,03	353	5,53	541	NA	22,4	25,2	<3	<0,5	0,5	<0,5
PET 38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Data: 25/04/2000

Precipitação diária (mm): 0,2

Ponto	NA (m)	CE (mS/cm)	pH	Fl (mV)	OD (mg/L)	TFC	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)
PET 1	2,12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 3	2,02	318	5,25	374	NA	20,8	18,3	NA	<0,5	NA	NA
PET 4	2,63	287	5,78	413	NA	23,4	24,4	NA	<0,5	NA	NA
PET 5	2,26	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	2,04	321	5,37	491	NA	20,1	30,5	NA	<0,5	NA	NA
PET 8	2,36	292	5,58	383	NA	21,5	12,2	NA	<0,5	NA	NA
PET 9	1,96	321	4,88	375	NA	20,8	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 10	2,20	260	4,94	591	NA	21,4	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 11	1,71	193	4,11	623	NA	21,0	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 12	1,92	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	1,94	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	2,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	2,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	2,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 17	1,99	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 18	1,96	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 19	NA	276	6,26	686	NA	20,8	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 20	NA	230	4,43	550	NA	21,7	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 21	2,10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 22	2,21	204	5,13	281	NA	21,3	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 23	2,05	269	4,41	502	NA	21,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 24	2,03	283	4,33	469	NA	21,7	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 25	2,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 26	2,10	381	5,2	327	NA	21,2	12,2	NA	<0,5	NA	NA
PET 27	2,14	204	5,35	456	NA	21,3	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 28	1,98	247	4,35	295	NA	21,2	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 29	2,21	344	4,95	440	NA	20,8	6,10	NA	<0,5	NA	NA
PET 30	1,98	185	5,56	498	NA	21,4	24,4	NA	<0,5	NA	NA
PET 31	1,97	275	4,08	580	NA	21,2	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 32	2,16	179	5,07	514	NA	22,5	6,10	NA	<0,5	NA	NA
PET 33	2,27	227	4,67	512	NA	20,8	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 34	2,04	153	4,51	435	NA	22,4	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 35	2,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	2,04	144	4,32	654	NA	20,9	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 37	2,36	167	5,01	548	NA	21,3	12,2	NA	<0,5	NA	NA
PET 38	NA	156	4,90	462	NA	22,0	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 39	1,95	182	4,36	602	NA	19,2	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 40	1,74	105	4,48	515	NA	19,7	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 41	1,72	105	4,79	425	NA	20,3	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 42	1,93	120	4,55	559	NA	21,3	0,00	NA	<0,5	NA	NA
PET 43	1,75	91	4,63	454	NA	21,0	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 44	NA	127	5,28	268	NA	21,0	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 45	1,99	112	4,34	452	NA	21,1	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 46	1,75	100	5,13	260	NA	20,9	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 47	1,74	108	4,97	404	NA	21,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 48	1,82	147	5,28	215	NA	21,3	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 49	1,86	105	5,11	260	NA	21,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 50	1,63	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 51	1,66	166	5,44	245	NA	20,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 52	1,47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 53	1,74	155	4,67	546	NA	22,2	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 54	1,85	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 55	1,66	144	5,34	198	NA	20,5	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 56	1,75	140	5,23	294	NA	20,4	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 57	1,76	154	5,09	259	NA	20,5	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 58	1,67	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 60	1,63	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 61	1,93	218	4,73	506	NA	23,1	NA	NA	<0,5	NA	NA
PET 62	1,86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 63	1,91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 64	2,23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 65	2,13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 66	2,12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 67	2,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 68	1,76	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Data: 04/07/2000

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Precipitação diária (mm): 0,1

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Er (mV)	OD (mg/L)	T(°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)
PET 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET 3	1,98	358	6,18	584	5,7	19,2	53,8	41	<0,5	32	0,4	<0,5
PET 4	2,50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 5	1,90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	2,40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	1,92	557	5,39	486	6,6	17,1	4,00	116	<0,5	90	13,4	<0,5
PET 8	2,18	502	5,26	490	6,3	19,3	2,24	51	<0,5	90	2,4	<0,5
PET 9	1,85	661	5,92	483	6,1	18,9	79,5	92	<0,5	86	16,0	<0,5
PET 10	1,97	262	5,11	467	6,3	18,5	2,00	<3	<0,5	59	2,1	0,6
PET 11	1,50	143	4,50	519	6,2	17,7	0,00	<3	<0,5	18	<0,2	<0,5
PET 12	*	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	1,75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	2,09	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	1,98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 17	1,94	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 18	1,77	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 19	2,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 20	2,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 21	1,98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 22	2,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 23	1,99	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 24	2,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 25	2,08	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 26	2,07	587	5,04	516	5,8	19,1	2,00	58	<0,5	88	15,2	<0,5
PET 27	2,12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 28	1,91	234	4,58	532	5,8	19,8	0,00	29	<0,5	29	0,7	<0,5
PET 29	2,17	262	5,7	544	6,7	18,7	7,84	8	<0,5	47	0,3	<0,5
PET 30	1,94	156	5,45	227	2,0	19,1	25,8	<3	<0,5	17	0,6	27,2
PET 31	1,93	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 32	2,11	438	5,85	541	6,4	18,5	2,24	136	<0,5	66	1,4	<0,5
PET 33	2,23	193	4,89	521	1,2	18,5	0,00	<3	<0,5	33	1,2	<0,5
PET 34	1,97	168	4,50	511	2,5	18,8	0,00	11	<0,5	39	2,1	2,1
PET 35	2,01	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	2,01	161	4,53	549	4,7	18,5	0,00	7	<0,5	24	0,3	<0,5
PET 37	2,30	440	5,65	377	2,7	19,2	85,1	<3	<0,5	54	14,0	1,6
PET 38	NA	147	4,94	430	2,1	20,2	11,2	<3	<0,5	16	0,5	3,4
PET 39	1,89	146	4,7	524	3,3	19,8	NA	3	<0,5	41	0,3	1,1
PET 40	1,71	95	4,73	491	4,7	20,2	NA	3	<0,5	11	2,4	4,6
PET 41	1,65	114	5,00	382	2,7	19,7	NA	<3	<0,5	12	0,5	2,0
PET 42	1,86	110	4,35	516	3,1	19,5	0,00	<3	<0,5	14	0,3	<0,5
PET 43	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 44	1,70	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 45	1,88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 46	1,69	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 47	1,68	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 48	1,79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 49	1,80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 50	1,60	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 51	1,64	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 52	1,44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 53	1,69	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 54	1,81	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 55	1,62	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 56	1,71	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 57	1,74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 58	1,64	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 60	1,63	114	6,04	324	7,0	20,1	NA	7	<0,5	41	1,2	2,0
PET 61	1,91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 62	1,86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 63	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 64	2,18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 65	2,13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 66	2,08	291	5,39	334	1,8	20,9	NA	3	<0,5	48	3,4	NA
PET 67	2,12	242	5,38	278	2,5	20,7	NA	4	<0,5	12	3,3	NA
PET 68	1,72	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Poço seco

Projeto: Nitrato-USP

Data: 26/04/2001

Local: Parque Ecológico do Tietê - Engenheiro Goulart

Precipitação diária (mm): 0,1

Ponto	NA (m)	CE (µS/cm)	pH	Ep (mV)	OD (mg/L)	T (°C)	HCO ₃ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe ⁺⁺ (mg/L)
PET 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 2	2,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 5	2,13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 7	1,97	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 8	2,17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 9	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 10	2,02	231	4,91	405	4,8	21,6	NA	<3	<0,5	44	2,4	<0,5
PET 11	1,57	119	4,47	454	4,6	21,7	NA	<3	<0,5	14	0,4	<0,5
PET 12	1,74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 13	1,75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 14	1,82	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 16	1,94	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 17	1,92	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 18	1,90	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 19	1,80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 21	1,88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 22	1,97	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 23	1,83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 24	1,83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 25	1,82	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 26	1,91	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 27	1,93	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 28	1,81	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 29	2,03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 30	1,80	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 31	1,78	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 32	2,14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 33	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 34	1,86	132	4,80	401	3,4	21,2	NA	<3	<0,5	18	0,6	2,2
PET 35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 36	2,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 37	2,41	404	5,85	292	4,3	21,3	NA	<3	<0,5	78	21,3	2,7
PET 38	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 39	1,74	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 40	2,35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 41	2,41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 42	1,72	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 43	1,52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 44	2,39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 45	1,71	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 46	1,73	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 47	1,57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 50	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 51	1,88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 52	1,89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 53	1,88	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 54	1,48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 55	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 56	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 58	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 59	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 60	1,46	178	5,85	205	9,5	24,7	NA	3	<0,5	18	2,5	20,0
PET 61	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 62	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 63	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 64	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 65	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PET 66	1,80	310	5,41	249	3,2	21,6	NA	<3	<0,5	49	2,6	NA
PET 67	1,80	370	6,38	229	5,1	23,3	NA	<3	<0,5	49	5,3	<0,5
PET 68	1,44	279	5,70	244	6,4	23,2	NA	<3	<0,5	43	5,3	NA

CE - Condutividade elétrica

NA - Não analisado

OD - Oxigênio dissolvido

* - Pogo seco

Anexo 4 – Resultados das análises químicas totais dos poços de monitoramento

Resultados das análises da série nitrogenada dos poços - Maio/1998 a Julho/1998.

Parâmetro (mg/L)	PET 1 21/05/98	PET 2 21/05/98	PET 3 01/07/98	PET 4 01/07/98	PET 5 13/07/98	PET 6 01/07/98
Amônio (como N)	<0,40	<0,40	3,00	1,80	0,77	2,00
Nitrogênio total	0,89	0,74	3,00	2,62	1,83	2,04
Nitrogênio orgânico	0,77	0,44	---	---	---	---
Nitrato (como N)	2,56	3,78	<0,30	2,48	<0,30	<0,30
Nitrito (como N)	<0,06	<0,06	---	---	---	---

--- parâmetro não analisado

Resultados das análises totais dos poços - Novembro/1998.

Parâmetro (mg/L)	PET 2	PET 3	PET 4	PET 5	PET 10
Alcalinidade	28,6	177	35,4	10,9	30,2
Amônio (como N)	2,00	2,22	4,58	1,17	6,30
Cálcio	42,5	109	9,21	14,8	9,12
Cloreto	55,6	45,1	79,9	39,0	65,6
Ferro total	4,45	1,10	1,48	0,37	3,04
Ferro II	0,86	1,08	1,60	0,37	1,25
Magnésio	5,05	6,96	2,36	2,34	3,35
Nitrato (como N)	19,3	1,14	<0,30	1,33	1,45
Nitrito (como N)	0,12	<0,06	<0,06	<0,06	0,08
Nitrogênio orgânico	<0,40	<0,40	0,52	<0,40	<0,40
Nitrogênio total	2,33	2,54	5,10	1,18	6,60
Potássio	9,19	6,54	7,68	6,02	7,98
Sódio	18,0	28,8	17,9	22,6	24,5
Sulfato	19,7	28,3	13,2	24,0	26,1

Resultados das análises totais dos poços - Janeiro/1999.

Parâmetro (mg/L)	PET 2	PET 3	PET 4	PET 5	PET 6	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11
Alcalinidade	13,8	13,3	<2,00	<2,00	2,33	<2,00	16,4	<2,00	9,01	<2,00
Amônio (como N)	0,43	0,60	0,53	0,41	0,37	1,23	3,55	0,65	1,83	0,39
Cálcio	12,7	46,5	13,7	10,7	10,2	10,3	14,9	9,02	14,2	7,65
Cloreto	10,2	49	31,1	33,3	14,6	22,1	89,6	21,6	25,7	5,59
Ferro	<0,30	2,23	<0,30	<0,30	<0,30	0,19	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Ferro II	<0,10	2,26	<0,10	<0,10	<0,10	0,18	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Magnésio	2,15	3,09	3,82	3,84	3,11	2,65	3,22	2,45	2,77	2,57
Nitrato (como N)	3,71	1,46	7,34	5,29	1,90	7,54	7,58	4,73	4,07	6,53
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,07	<0,02
Nitrogênio orgânico	0,77	2,40	<0,40	<0,40	<0,40	<0,40	4,50	<0,40	<0,40	<0,40
Nitrogênio total	1,20	3,00	0,58	0,60	<0,40	1,34	8,05	0,80	1,88	0,66
Potássio	<2,00	2,08	1,32	<2,00	2,80	<2,00	5,97	<2,00	3,61	<2,00
Sódio	4,55	26,1	20,6	12,7	6,25	13,3	46,0	13,8	15,2	2,74
Sulfato	18,6	23,2	29,6	27,6	27,6	23,5	14,9	24,0	22,9	17,3

Resultados das análises totais dos poços - Julho/1999.

Parâmetro (mg/L)	PE13	PE14	PE15	PE16	PE17	PE18	PE19	PE20	PE21	PE22	PE23	PE24	PE25
Alcalinidade	134	7,00	<2,00	18,0	34,0	18,0	4,00	3,50	<2,00	14,0	17,5	41,0	38,0
Alumínio	<0,10	<0,10	0,76	<0,10	<0,10	<0,10	1,39	0,77	3,87	0,73	1,70	5,62	1,10
Amônio (como N)	1,84	<0,20	<0,20	0,34	6,46	2,79	0,49	1,58	<0,20	1,03	<0,20	0,20	0,40
Cálcio	62,2	7,07	9,48	4,03	10,0	9,74	16,5	16,2	12,7	19,0	8,18	3,67	3,34
Cloreto	48,6	33,5	30,6	15,5	58,8	68,5	40,3	58,3	44,2	63,1	32,5	33,5	30,6
Ferro III	<0,30	0,31	0,51	3,20	<0,30	0,45	<0,30	<0,30	<0,30	0,36	0,62	7,10	3,60
Ferro total	<0,30	0,31	0,51	3,20	<0,30	1,84	<0,30	<0,30	<0,30	1,47	6,28	31,5	28,6
Ferrol	<0,10	<0,10	<0,10	3,20	<0,10	1,39	<0,10	<0,10	<0,10	1,47	5,66	24,4	25,0
Magnésio	3,83	2,58	3,74	2,11	2,45	2,85	4,34	3,35	3,74	5,67	3,46	2,77	1,83
Nitrato (como N)	4,83	<0,30	0,60	<0,30	4,87	<0,30	7,43	7,76	7,90	6,44	1,04	<0,30	<0,30
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio orgânico	1,42	8,00	0,93	7,77	15,7	2,59	8,15	11,5	1,20	9,87	2,99	10,3	3,46
Nitrogênio total	3,26	8,00	0,93	8,11	22,2	5,38	8,64	13,1	1,20	10,9	2,99	10,5	3,86
Potássio	7,49	4,50	4,67	4,36	9,81	8,59	6,71	8,22	5,70	7,53	4,23	4,02	3,31
Sódio	30,9	21,5	13,8	17,5	38,0	28,8	22,4	26,2	17,3	31,5	11,5	28,6	17,4
Sulfato	27,5	39,6	38,5	44,5	29,8	18,8	27,0	22,1	19,3	18,9	24,8	22,4	21,2
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Resultados das análises dos poços - Agosto/1999.

Parâmetro (mg/L)	PE13	PE14	PE17	PE18	PE19	PE20	PE21	PE22	PE23	PE24	PE25	PE26	PE27	PE28	PE29	PE30	PE31	PE32
Alcalinidade	109	4,00	25,7	5,94	<2,00	7,92	<2,00	15,8	29,7	16,8	9,90	7,92	10,9	15,8	18,8	7,92	91,1	8,91
Alumínio	<0,10	0,53	<0,10	0,25	0,91	0,32	2,46	0,41	0,34	0,48	12,8	0,51	<0,10	0,33	0,66	0,92	0,19	0,71
Amônio (como N)	<0,24*	<0,20	<0,25*	<0,20	<0,20	<0,24*	<0,29*	<0,27*	<0,25*	<0,20	<0,20	<0,20	<0,23*	<0,23*	<0,28*	<0,34*	<0,24*	<0,34*
Cálcio	73,1	6,96	10,7	16,6	11,4	12,5	10,4	14,7	1,96	3,43	19,2	6,77	8,77	34,8	9,68	3,89	3,28	6,04
Cloreto	54,4	30,1	56,3	56,3	37,9	57,3	38,9	62,2	27,3	26,0	60,6	34,0	44,7	67,0	42,7	31,1	59,1	18,2
Ferro II	<0,10	0,34	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	26,6	15,0	1,43	3,75	29,0	<0,10	5,50	14,0	15,0	5,00
Ferro III	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	1,60	<0,30	2,36	1,17	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Ferro total	<0,30	0,36	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	28,2	15,0	3,79	4,92	29,0	<0,30	5,50	14,0	15,0	5,00
Magnésio	4,41	2,79	2,32	4,19	3,23	2,79	3,18	4,29	1,51	2,71	4,15	1,79	2,51	5,19	2,63	1,23	1,93	1,98
Nitrato (como N)	9,95	<0,30	7,58	9,65	4,90	2,58	5,20	5,44	<0,30	<0,30	15,8	<0,30	4,75	25,8	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,11	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio orgânico	6,45	0,90	13,6	3,24	4,22	6,95	1,03	1,58	0,86	2,40	12,5	3,44	4,04	8,60	4,24	9,86	30,5	1,60
Nitrogênio total	6,45	0,90	13,6	3,24	4,22	6,95	1,03	1,58	0,86	2,40	12,5	3,44	4,04	8,60	4,24	9,86	30,5	1,60
Potássio	8,14	3,74	7,01	7,68	4,39	5,78	3,35	5,03	3,68	3,55	14,5	3,94	3,87	18,6	4,03	2,93	7,67	2,16
Sódio	35,5	18,5	26,2	27,3	15,6	21,7	14,5	29,3	14,8	9,63	38,4	16,6	13,5	38,7	23,7	10,0	22,3	6,57
Sulfato	22,0	37,3	21,7	12,5	29,0	27,1	18,8	11,6	23,4	24,9	15,8	15,1	20,6	14,6	34,5	18,9	25,1	26,3
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises totais dos poços - Setembro/1999.

Parâmetro (mg/L)	PET 3	PET 4	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11	PET 19	PET 22	PET 26	PET 27	PET 28	PET 29	PET 30
Alcalinidade	54	4,00	36,0	8,00	<2,00	10,0	<2,00	9,00	22,0	28,0	8,00	15,0	22,0	6,00
Amônio (como N)	3,36	<0,20	12,7	2,66	<0,20	6,74	<0,20	2,50	0,51	<0,20	0,98	4,55	1,45	<0,20
Cloreto	59,3	24,3	61,2	66,1	37,9	67,0	35,0	68,0	32,1	61,2	53,4	59,3	36,9	70,9
Nitrogênio orgânico	0,61	0,96	9,12	1,08	<0,40	1,86	1,12	0,94	0,68	12,6	0,96	2,55	0,59	7,60
Nitrogênio total	3,97	0,96	21,8	3,74	<0,40	8,60	1,12	3,44	1,19	12,6	1,94	7,10	2,04	7,60
Nitrato (como N)	37,7	<0,30	9,00	9,42	9,85	30,5	9,14	29,2	<0,30	24,2	2,27	6,22	<0,30	29,9
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	0,03	<0,02	<0,02
Sulfato	17,4	42,1	21,1	14,6	20,8	15,7	19,5	16,8	24,5	32,2	23,1	18,7	27,0	13,5
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	55,5	6,12	12,2	11,0	15,3	24,3	11,0	20,7	2,24	26,0	7,82	15,4	10,3	25,0
Ferro total	<0,30	1,86	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	14,0	<0,30	2,90	0,83	23,0	<0,30
Ferro II	<0,10	1,04	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	14,0	<0,10	0,55	0,24	23,0	<0,10
Magnésio	6,18	2,38	2,53	3,11	4,01	4,61	3,14	4,71	1,92	4,55	2,77	3,10	1,83	4,96
Potássio	16,2	5,38	11,7	7,61	9,02	14,0	6,16	7,98	<2,00	16,0	<2,00	6,57	3,28	13,0
Sódio	41,5	16,4	30,6	25,8	18,4	32,5	15,4	33,1	20,7	34,7	18,6	22,3	11,5	36,4

Resultado das análises totais dos poços - Outubro/1999.

Parâmetro (mg/L)	PET 3	PET 4	PET 9	PET 10	PET 11	PET 22	PET 23	PET 24	PET 29	PET 30	PET 31
Alcalinidade	44,0	<2,00	<4,00*	<2,00	<2,00	24,0	6,47	<4,00*	28,0	<2,00	<2,00
Amônio (como N)	0,36	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Cloreto	32,1	52,5	23,3	28,7	25,3	44,2	23,3	32,1	46,1	22,3	24,3
Nitrogênio orgânico	1,64	2,98	1,84	4,54	0,88	1,36	1,90	3,80	5,14	3,05	9,64
Nitrogênio total	2,00	2,98	1,84	4,54	0,88	1,36	1,90	3,80	5,14	3,05	9,64
Nitrato (como N)	7,30	7,07	4,02	7,32	6,68	<0,30	4,26	11,8	<0,30	10,7	9,83
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Sulfato	14,3	9,41	16,6	14,1	16,8	25,0	13,2	7,89	18,7	15,5	18,8
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	23,2	12,4	7,45	10,1	9,25	3,07	7,91	14,4	12,3	10,4	11,0
Ferro total	<0,30	<0,30	<0,30	0,89	<0,30	12,0	<0,30	0,33	18,8	<0,30	<0,30
Ferro II	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	12,0	0,12	<0,10	12,8	<0,10	<0,10
Magnésio	2,74	3,16	1,28	1,68	2,58	2,85	2,29	2,93	2,32	2,01	1,93
Potássio	6,13	9,06	5,34	9,63	3,76	<2,00	4,22	7,01	2,96	7,48	7,86
Sódio	19,8	25,5	15,3	18,7	19,5	24,6	12,5	13,3	19,2	18,5	16,3

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises totais dos poços - Janeiro/2000.

Parâmetro (mg/L)	PET 3	PET 4	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11	PET 20	PET 31	PET 32	PET 33	PET 37
Alcalinidade	26,4	16,6	<2,00	6,20	<2,00	<2,00	<2,00	10,4	10,4	5,18	<2,00	42,6
Amônio (como N)	<0,20	0,48	0,70	<0,20	<0,20	<0,20	0,32	0,24	0,72	0,44	0,40	0,58
Cloreto	17,4	39,1	33,3	58,9	21,3	43,2	11,8	44,6	18,0	28,9	15,4	62,0
Nitrogênio orgânico	<0,40	0,36	1,03	0,70	1,60	10,4	0,64	3,34	<0,40	1,21	0,52	23,5
Nitrogênio total	<0,40	0,84	1,73	0,70	1,60	10,4	0,96	3,58	1,10	1,65	0,92	24,1
Nitrato (como N)	7,36	10,1	15,7	16,2	9,10	8,95	5,78	15,7	<0,30	7,53	1,33	<0,30
Nitrito (como N)	0,03	0,06	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,06	<0,02	<0,02
Sulfato	17,7	27,9	14,7	23,1	18,1	18,3	18,5	16,8	14,9	17,9	16,6	23,4
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	21,8	7,73	17,9	23,0	13,0	17,0	6,90	31,5	3,62	13,9	8,54	1,83
Ferro total	<0,30	1,58	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,10	<0,30	19,0	<0,30	<0,30	<0,30
Ferro II	<0,10	0,18	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,43	0,11	2,90	<0,10	<0,10	<0,10
Magnésio	2,83	3,40	4,08	5,88	2,97	3,21	2,65	4,86	2,00	3,37	2,02	0,91
Potássio	6,54	3,80	7,09	9,85	5,05	7,64	3,26	7,18	<2,00	6,40	3,77	7,32
Sódio	14,4	48,8	29,5	44,9	18,6	21,1	5,12	32,5	3,68	19,6	21,6	29,5

Resultado das análises da série nitrogenada dos poços - Março/2000.

Parâmetro (mg/L)	PET 3	PET 4	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11	PET 20	PET 28	PET 29	PET 31	PET 33	PET 34	PET 36
Amônio (como N)	0,20	<0,20	<0,20	0,25	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Nitrogênio orgânico	0,22	0,82	0,56	<0,40	1,58	1,72	<0,40	<0,40	0,56	0,49	2,28	<0,40	0,84	<0,40
Nitrogênio total	0,42	0,82	0,56	<0,40	1,58	1,72	<0,40	<0,40	0,56	0,49	2,28	<0,40	0,84	<0,40
Nitrato (como N)	1,62	<0,30	1,30	2,53	1,50	<0,30	0,79	<0,30	<0,30	1,82	<0,30	1,36	<0,30	<0,30
Nitrito (como N)	0,04	<0,02	<0,02	0,03	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises da série nitrogenada dos poços - Março/2000 (cont.).

Parâmetro (mg/L)	PET 37	PET 39	PET 40	PET 42	PET 61
Amônio (como N)	2,78	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Nitrogênio orgânico	<0,40	0,70	<0,40	<0,56*	3,91
Nitrogênio total	3,06	0,70	<0,40	0,56	3,91
Nitrato (como N)	<0,30	2,31	<0,30	3,04	<0,30
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises totais dos poços - Abril/2000.

Parâmetro (mg/L)	PET 3	PET 4	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11	PET 26	PET 28	PET 29
Alcalinidade	21,0	25,0	29,0	16,0	12,0	3,10	<2,00	8,30	<2,00	9,00
Amônio (como N)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Cloreto	36,0	38,4	41,6	61,6	37,3	30,1	21,4	49,0	30,6	52,1
Nitrato (como N)	14,2	2,55	7,56	<0,30	12,8	9,76	5,78	18,3	9,02	11,5
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Nitrogênio orgânico	3,71	0,74	10,3	0,52	16,3	9,72	12,0	13,2	1,73	2,20
Nitrogênio total	3,71	0,74	10,3	0,52	16,3	9,72	12,0	13,2	1,73	2,20
Sulfato	18,5	45,2	24,0	21,3	19,6	20,5	20,3	22,2	18,1	26,1
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	20,8	6,64	7,01	9,17	6,25	10,8	7,60	14,0	11,4	22,6
Ferro total	<0,30	1,73	<0,30	0,38	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Ferro II	<0,10	0,80	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Ferro III	<0,30	0,83	<0,30	0,38	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Magnésio	3,02	3,23	1,52	2,52	1,40	2,36	2,52	3,71	3,40	4,97
Potássio	5,47	2,82	7,53	6,07	9,94	8,91	3,51	10,7	4,10	4,54
Sódio	25,3	44,1	24,4	40,4	24,2	23,5	12,5	35,3	15,9	32,0

Resultado das análises totais dos poços - Abril/2000 (cont.).

Parâmetro (mg/L)	PET 10	PET 31	PET 32	PET 33	PET 34	PET 35	PET 37	PET 38	PET 39	PET 42
Alcalinidade	19,0	<2,00	6,20	5,20	2,10	<2,00	12,0	9,30	<2,00	4,00
Amônio (como N)	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Cloreto	22,2	31,5	28,1	28,6	21,2	14,3	34,0	14,8	31,0	13,3
Nitrato (como N)	<0,30	12,1	2,95	6,87	3,79	4,40	5,90	0,75	3,85	1,17
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio orgânico	3,32	2,78	6,55	4,92	3,51	12,3	5,22	4,65	4,65	0,48
Nitrogênio total	3,32	2,78	6,55	4,92	3,51	12,3	5,22	4,65	4,65	0,48
Sulfato	17,2	17,0	14,9	12,5	19,2	16,7	27,9	35,6	17,1	16,2
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	4,77	10,0	8,28	12,4	8,04	7,75	6,12	12,6	9,05	5,80
Ferro total	24,7	0,57	0,50	<0,30	1,32	<0,30	<0,30	2,48	0,39	<0,30
Ferro II	17,6	0,13	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,96	<0,10	<0,10
Ferro III	7,10	0,44	0,50	<0,30	1,32	<0,30	<0,30	1,52	0,39	<0,30
Magnésio	2,27	3,19	1,47	2,97	2,12	1,67	1,56	2,91	2,40	1,56
Potássio	<2,00	5,14	8,05	6,11	4,68	5,30	4,15	2,32	3,69	<2,00
Sódio	7,00	21,2	16,3	19,1	15,2	12,0	29,0	10,5	16,5	7,77

Resultado das análises totais dos poços - Julho/2000.

Parâmetro (mg/L)	PET 1	PET 7	PET 8	PET 9	PET 10	PET 11	PET 26	PET 28	PET 29
Alcalinidade	53,8	<4,00*	2,24	79,5	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	7,84
Amônio (como N)	<0,20	<0,50*	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,50*
Cloreto	45,2	98,6	79,9	93,3	59,6	23,3	88,3	35,2	46,2
Nitrato (como N)	7,65	29,8	26,6	16,8	<0,30	<0,30	31,3	4,93	2,61
Nitrito (como N)	0,09	0,12	0,10	0,56	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio orgânico	0,63	14,8	2,3	36,8	2,43	0,93	11,4	0,61	2,02
Nitrogênio total	0,63	14,8	2,32	36,8	2,43	0,93	11,4	0,61	2,02
Sulfato	20,7	17,6	13,5	10,3	32,3	26,4	14,1	22,6	23,7
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	26,0	17,8	20,7	7,29	9,65	4,83	20,3	8,48	12,1
Ferro total	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	0,50	0,30	<0,30	<0,30
Ferro II	<0,10	0,15	<0,10	<0,10	0,19	0,50	0,30	<0,10	<0,10
Ferro III	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Magnésio	3,15	3,50	6,18	1,52	2,14	1,61	4,18	2,29	2,85
Potássio	7,61	16,2	13,0	17,9	7,88	3,06	16,3	5,26	6,11
Sódio	23,2	39,1	43,2	36,6	25,0	8,17	37,1	15,1	20,7

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises totais dos poços - Julho/2000 (cont.).

Parâmetro (mg/L)	PET 30	PET 31	PET 32	PET 33	PET 34	PET 36	PET 37	PET 38	PET 42
Alcalinidade	25,8	<2,00	2,24	4,48	<2,00	<2,00	85,1	11,2	<2,00
Amônio (como N)	<0,25*	<0,20	<0,25	<0,20	<0,20	<0,25*	<0,20	<0,20	0,26
Cloreto	17,4	34,0	66,3	37,7	34,7	24,8	69,5	17,9	15,9
Nitrato (como N)	<0,30	<0,30	25,2	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Nitrito (como N)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrogênio orgânico	0,75	0,95	1,51	1,36	0,91	0,48	23,0	0,74	<0,40
Nitrogênio total	0,75	0,95	1,51	1,36	0,91	0,48	23,0	0,74	0,58
Sulfato	9,64	11,6	8,58	12,4	17,7	11,8	20,9	15,7	11,1
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cálcio	3,16	4,84	28,0	7,43	4,15	6,67	4,98	9,03	4,16
Ferro total	24,0	3,40	<0,30	<0,30	3,35	<0,30	1,50	3,80	0,70
Ferro II	24,0	3,40	<0,10	0,16	3,35	<0,10	1,45	3,80	0,68
Ferro III	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Magnésio	1,75	1,38	4,85	1,59	1,19	1,65	2,30	1,84	1,19
Potássio	3,33	5,19	14,2	5,96	2,44	4,67	8,48	2,16	<2,00
Sódio	4,44	10,0	27,7	14,6	9,05	11,5	25,8	7,17	5,53

* Valor do limite de detecção elevado em função do volume insuficiente de amostra.

Resultado das análises totais dos poços - Abril/2001.

Parâmetro (mg/L)	PET 0	PET 1	PET 34	PET 37	PET 61	PET 66	PET 67	PET 68
Amônio (como N)	1,01	1,00	0,28	13,9	0,88	3,51	1,92	3,39
Cloreto	40,2	13,4	14,4	51,6	NA*	39,7	25,3	56,6
Nitrogênio orgânico	<0,40	1,12	1,65	2,20	2,90	1,42	4,10	2,31
Nitrogênio total	1,29	2,12	1,65	16,10	3,78	4,93	6,02	5,70
Nitrato (como N)	<0,30	0,32	<0,30	<0,30	NA*	<0,30	<0,30	<0,30
Sódio	19,5	6,40	7,80	29,5	4,52	12,0	12,8	13,7

NA* - Parâmetro não analisado

Anexo 5 – Confiabilidade dos resultados analíticos

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Novembro/1998.

LABORATÓRIO

	PET 2		PET 3		PET 8		PET 9		PET 10	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Anions										
Alcalinidade	28,6	0,47	177	2,90	35,4	0,58	10,9	0,18	30,2	0,50
Cloreto	55,6	1,57	45,1	1,27	79,9	2,25	39,0	1,10	65,6	1,85
Nitrato	85,5	1,38	5,05	0,08	<1,33	<0,02	5,89	0,10	6,42	0,10
Sulfato	19,7	0,41	28,3	0,59	13,2	0,28	24,0	0,50	26,1	0,54
SOMA		3,82		4,84		3,11		1,87		2,99
Cátions										
Cálcio	42,5	2,13	109	5,45	9,21	0,46	14,8	0,74	9,12	0,46
Ferroll	0,86	0,03	1,08	0,04	1,60	0,06	0,37	0,01	1,25	0,04
Magnésio	5,05	0,42	6,96	0,58	2,36	0,20	2,34	0,20	3,35	0,28
Potássio	9,12	0,23	6,54	0,17	7,68	0,20	6,02	0,15	7,98	0,20
Sódio	18,0	0,78	28,8	1,25	17,9	0,78	22,6	0,98	24,5	1,07
Amônio	2,56	0,14	2,85	0,16	5,86	0,33	1,49	0,08	8,06	0,45
SOMA		3,74		7,65		2,02		2,17		2,50
Erro (%)		-1,18		22,45		-21,30		7,32		-8,98

CAMPO

	PET 2		PET 3		PET 8		PET 9		PET 10	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Anions										
Alcalinidade	18,3	0,30	177	2,91	3,05	0,05	0,00	0,00	12,2	0,20
Cloreto	55,6	1,57	45,1	1,27	79,9	2,25	39,0	1,10	65,6	1,85
Nitrato	69	1,11	45	0,73	<3	<0,05	10	0,16	6	0,10
Sulfato	19,7	0,41	28,3	0,59	13,2	0,28	24,0	0,50	26,1	0,54
SOMA		3,39		5,50		2,58		1,26		2,69
Cátions										
Cálcio	42,5	2,13	109	5,45	9,21	0,46	14,8	0,74	9,12	0,46
Ferroll	0,86	0,03	1,08	0,04	1,60	0,06	0,37	0,01	1,25	0,04
Magnésio	5,05	0,42	6,96	0,58	2,36	0,20	2,34	0,20	3,35	0,28
Potássio	9,12	0,23	6,54	0,17	7,68	0,20	6,02	0,15	7,98	0,20
Sódio	18,0	0,78	28,8	1,25	17,9	0,78	22,6	0,98	24,5	1,07
Amônio	2,56	0,14	2,85	0,16	5,86	0,33	1,49	0,08	8,06	0,45
SOMA		3,74		7,65		2,02		2,17		2,50
Erro (%)		4,85		16,37		-12,21		26,49		-3,68

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Janeiro/1999.

LABORATÓRIO																				
	PET 2		PET 3		PET 4		PET 5		PET 6		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	13,8	0,23	133	2,18	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	2,33	0,04	<2,00	<0,03	16,4	0,27	<2,00	<0,03	9,01	0,15	<2,00	<0,03
Cloreto	10,2	0,29	49,0	1,38	49,0	1,38	33,3	0,94	14,6	0,41	22,1	0,62	89,6	2,52	21,6	0,61	25,7	0,72	5,59	0,16
Nitrato	16,4	0,27	6,47	0,10	32,5	0,52	23,4	0,38	8,42	0,14	33,4	0,54	33,6	0,54	21,0	0,34	18,0	0,29	28,9	0,47
Sulfato	18,6	0,39	23,2	0,48	29,6	0,62	27,6	0,58	27,6	0,58	23,5	0,49	14,9	0,31	24,0	0,50	22,9	0,48	17,3	0,36
SOMA		1,17		4,15		2,52		1,89		1,16		1,65		3,64		1,45		1,64		0,98
Cátions																				
Cálcio	12,7	0,64	46,5	2,33	13,7	0,69	10,7	0,54	10,2	0,51	10,3	0,52	14,9	0,75	9,02	0,45	14,2	0,71	7,65	0,38
Ferroll	<0,10	<0,004	2,26	0,087	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	0,18	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	3,83	0,32	3,09	0,26	3,09	0,26	3,84	0,32	3,11	0,26	2,65	0,22	3,22	0,27	2,45	0,20	2,77	0,23	2,57	0,21
Potássio	<2,00	<0,05	2,08	0,05	1,32	0,03	<2,00	<0,05	2,80	0,07	<2,00	<0,05	5,97	0,15	<2,00	<0,05	3,61	0,09	<2,00	<0,05
Sódio	4,55	0,20	26,1	1,13	20,6	0,90	12,7	0,55	6,25	0,27	13,3	0,58	46,0	2,00	13,8	0,60	15,2	0,66	2,74	0,12
Amônio	0,55	0,03	0,77	0,04	0,68	0,04	0,52	0,03	0,47	0,03	1,57	0,09	4,54	0,25	0,83	0,05	2,34	0,13	0,49	0,03
SOMA		1,18		3,90		1,91		1,44		1,14		1,41		3,42		1,30		1,82		0,74
Erro (%)		0,70		-3,08		-13,80		-13,67		-0,93		-7,93		-3,20		-5,28		5,33		-13,98

CAMPO																				
	PET 2		PET 3		PET 4		PET 5		PET 6		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	6,10	0,10	107	1,75	0,00	0,00	3,05	0,05	3,05	0,05	0,00	0,00	15,3	0,25	0,00	0,00	6,10	0,10	3,05	0,05
Cloreto	10,2	0,29	49,0	1,38	49,0	1,38	33,3	0,94	14,6	0,41	22,1	0,62	89,6	2,52	21,6	0,61	25,7	0,72	5,59	0,16
Nitrato	19	0,54	9,00	0,15	30	0,48	13	0,21	10	0,16	32	0,52	3	0,05	31	0,50	34	0,55	20	0,32
Sulfato	18,6	0,39	23,2	0,48	29,6	0,62	27,6	0,58	27,6	0,58	23,5	0,49	14,9	0,31	24,0	0,50	22,9	0,48	17,3	0,36
SOMA		1,31		3,76		2,48		1,77		1,20		1,63		3,13		1,61		1,85		0,89
Cátions																				
Cálcio	12,7	0,64	46,5	2,33	13,7	0,69	10,7	0,54	10,2	0,51	10,3	0,52	14,9	0,75	9,02	0,45	14,2	0,71	7,65	0,38
Ferroll	<0,10	<0,004	2,26	0,087	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	0,18	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	3,83	0,32	3,09	0,26	3,09	0,26	3,84	0,32	3,11	0,26	2,65	0,22	3,22	0,27	2,45	0,20	2,77	0,23	2,57	0,21
Potássio	<2,00	<0,05	2,08	0,05	1,32	0,03	<2,00	<0,05	2,80	0,07	<2,00	<0,05	5,97	0,15	<2,00	<0,05	3,61	0,09	<2,00	<0,05
Sódio	4,55	0,20	26,1	1,13	20,6	0,90	12,7	0,55	6,25	0,27	13,3	0,58	46,0	2,00	13,8	0,60	15,2	0,66	2,74	0,12
Amônio	0,55	0,03	0,77	0,04	0,68	0,04	0,52	0,03	0,47	0,03	1,57	0,09	4,54	0,25	0,83	0,05	2,34	0,13	0,49	0,03
SOMA		1,18		3,90		1,91		1,44		1,14		1,41		3,42		1,30		1,82		0,74
Erro (%)		-5,11		1,84		-13,01		-10,49		-2,51		-7,25		4,36		-10,56		-0,68		-9,03

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Julho/1999.

LABORATÓRIO

Parâmetros	PET 3		PET 4		PET 5		PET 6		PET 7		PET 8	
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions												
Alcalinidade	134	2,20	7,00	0,11	<2,00	<0,03	18,0	0,30	34,0	0,56	18,0	0,30
Cloreto	48,6	1,37	33,5	0,94	30,6	0,86	15,5	0,44	58,8	1,66	68,5	1,93
Nitrato	21,4	0,35	<1,33	<0,02	2,66	0,04	<1,33	<0,02	21,6	0,35	<1,33	<0,02
Sulfato	27,5	0,57	39,6	0,83	38,5	0,80	44,5	0,93	29,8	0,62	18,8	0,39
SOMA		4,48		1,88		1,71		1,66		3,18		2,62
Cátions												
Cálcio	62,2	3,11	7,07	0,35	9,48	0,47	4,03	0,20	10,0	0,50	9,74	0,49
Ferroll	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	3,20	0,11	<0,10	<0,004	1,39	0,05
Magnésio	3,83	0,32	2,58	0,22	3,74	0,31	2,11	0,18	2,45	0,20	2,85	0,24
Potássio	7,49	0,19	4,50	0,12	4,67	0,12	4,36	0,11	9,81	0,25	8,59	0,22
Sódio	30,9	1,34	21,5	0,93	13,8	0,60	17,5	0,76	38,0	1,65	28,8	1,25
Amônio	2,35	0,13	<0,20	<0,01	<0,20	<0,01	0,43	0,02	8,26	0,46	3,57	0,20
SOMA		5,10		1,62		1,51		1,39		3,07		2,44
Erro (%)		6,38		-7,56		-6,27		-8,88		-1,85		-3,39

CAMPO

Parâmetros	PET 3		PET 4		PET 5		PET 6		PET 7		PET 8	
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions												
Alcalinidade	134	2,20	6,10	0,10	3,05	0,05	0,00	0,00	27,5	0,45	12,2	0,20
Cloreto	48,6	1,37	33,5	0,94	30,6	0,86	15,5	0,44	58,8	1,66	68,5	1,93
Nitrato	39	0,63	3	0,05	<3	<0,05	<3	<0,05	28	0,45	<3	<0,05
Sulfato	27,5	0,57	39,6	0,83	38,5	0,80	44,5	0,93	29,8	0,62	18,8	0,39
SOMA		4,77		1,92		1,71		1,36		3,18		2,52
Cátions												
Cálcio	62,2	3,11	7,07	0,35	9,48	0,47	4,03	0,20	10,0	0,50	9,74	0,49
Ferroll	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	3,40	0,12	<0,50	<0,02	18,0	0,64
Magnésio	3,83	0,32	2,58	0,22	3,74	0,31	2,11	0,18	2,45	0,20	2,85	0,24
Potássio	7,49	0,19	4,50	0,12	4,67	0,12	4,36	0,11	9,81	0,25	8,59	0,22
Sódio	30,9	1,34	21,5	0,93	13,8	0,60	17,5	0,76	38,0	1,65	28,8	1,25
Amônio	2,35	0,13	0,25	0,01	0,25	0,01	0,43	0,02	8,26	0,46	3,57	0,20
SOMA		5,10		1,63		1,52		1,40		3,07		3,04
Erro (%)		3,32		-8,01		-6,02		1,15		-1,79		9,30

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços -Julho/1999 (cont.).

	LABORATÓRIO													
	PET 9		PET 10		PET 11		PET 19		PET 20		PET 21		PET 22	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	4,00	0,07	3,50	0,06	<2,00	<0,03	14,0	0,23	17,5	0,29	41,0	0,67	38,0	0,62
Cloreto	40,3	1,14	58,3	1,64	44,2	1,25	63,1	1,78	32,5	0,92	33,5	0,94	30,6	0,86
Nitrato	32,9	0,53	34,4	0,55	35,0	0,56	28,5	0,46	4,61	0,07	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02
Sulfato	27,0	0,56	22,1	0,46	19,3	0,40	18,9	0,39	24,8	0,52	22,4	0,47	21,2	0,44
SOMA		2,29		2,71		2,21		2,86		1,79		2,08		1,93
Cátions														
Cálcio	16,5	0,83	16,2	0,81	12,7	0,64	19,0	0,95	3,39	0,17	3,67	0,18	8,18	0,41
Ferroll	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	1,47	0,05	5,66	0,20	24,4	0,87	25,0	0,89
Magnésio	4,34	0,36	3,35	0,28	3,74	0,31	5,67	0,47	1,71	0,14	2,77	0,23	3,46	0,29
Potássio	6,71	0,17	8,22	0,21	5,70	0,15	7,53	0,19	3,58	0,09	4,02	0,10	4,23	0,11
Sódio	22,4	0,97	26,2	1,14	17,3	0,75	31,5	1,37	18,5	0,80	28,6	1,24	11,5	0,50
Amônio	0,62	0,03	2,02	0,11	<0,20	<0,01	1,31	0,07	<0,20	<0,01	0,20	0,01	0,51	0,03
		2,37		2,55		1,84		3,11		1,41		2,64		2,23
Erro (%)		1,57		-3,10		-9,04		4,18		-11,96		11,87		7,23

	CAMPO													
	PET 9		PET 10		PET 11		PET 19		PET 20		PET 21		PET 22	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	3,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	12,2	0,20	6,10	0,10	33,6	0,55	33,6	0,55
Cloreto	40,3	1,14	58,3	1,64	44,2	1,25	63,1	1,78	32,5	0,92	33,5	0,94	30,6	0,86
Nitrato	54	0,87	40	0,65	48	0,77	42	0,68	9	0,15	<3	<0,05	<3	<0,05
Sulfato	27,0	0,56	22,1	0,46	19,3	0,40	18,9	0,39	24,8	0,52	22,40	0,47	21,2	0,44
SOMA		2,62		2,75		2,42		3,05		1,68		1,96		1,85
Cátions														
Cálcio	16,5	0,83	16,2	0,81	12,7	0,64	19,0	0,95	3,39	0,17	3,67	0,18	8,18	0,41
Ferroll	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	5,60	0,20	19,4	0,69	20,0	0,71
Magnésio	4,34	0,36	3,35	0,28	3,74	0,31	5,67	0,47	1,71	0,14	2,77	0,23	3,46	0,29
Potássio	6,71	0,17	8,22	0,21	5,70	0,15	7,53	0,19	3,58	0,09	4,02	0,10	4,23	0,11
Sódio	22,4	0,97	26,2	1,14	17,3	0,75	31,5	1,37	18,5	0,80	28,6	1,24	11,5	0,50
Amônio	0,62	0,03	2,02	0,11	0,25	0,01	1,31	0,07	0,25	0,01	0,25	0,01	0,51	0,03
SOMA		2,37		2,55		1,86		3,06		1,42		2,47		2,05
Erro (%)		-5,05		-3,71		-13,14		0,15		-8,24		11,46		4,99

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Agosto/1999.

LABORATÓRIO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 19		PET 22	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	109	1,79	4,00	0,07	25,7	0,42	5,94	0,10	<2,00	<0,03	7,92	0,13	<2,00	<0,03	15,8	0,26	29,7	0,49
Cloreto	54,4	1,53	30,1	0,85	56,3	1,59	56,3	1,59	37,9	1,07	57,3	1,61	38,9	1,10	62,2	1,75	27,3	0,77
Nitrato	44,1	0,71	<1,33	<0,02	33,6	0,54	42,8	0,69	21,7	0,35	11,4	0,18	23,0	0,37	24,1	0,39	<1,33	<0,02
Sulfato	22,0	0,46	37,3	0,78	21,7	0,45	12,5	0,26	29,0	0,60	27,1	0,56	18,8	0,39	11,6	0,24	23,4	0,49
SOMA		4,49		1,69		3,00		2,63		2,02		2,49		1,86		2,64		1,74
Cátions																		
Cálcio	73,1	3,66	6,96	0,35	10,7	0,54	16,6	0,83	11,4	0,57	12,5	0,63	10,4	0,52	14,7	0,74	1,96	0,10
Ferroll	<0,10	<0,004	0,34	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	26,6	0,95
Magnésio	4,41	0,37	2,79	0,23	2,32	0,19	4,19	0,35	3,23	0,27	2,79	0,23	3,18	0,27	4,29	0,36	1,51	0,13
Potássio	8,14	0,21	3,74	0,10	7,01	0,18	7,68	0,20	4,39	0,11	5,78	0,15	3,35	0,09	5,03	0,13	3,68	0,09
Sódio	35,5	1,54	18,5	0,80	26,2	1,14	27,3	1,19	15,6	0,68	21,7	0,94	14,5	0,63	29,3	1,27	14,8	0,64
Amônio	<0,30	<0,02	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,30	<0,02	<0,25	<0,01	<0,30	<0,02	<0,37	<0,02	<0,34	<0,02	<0,32	<0,02
SOMA		5,77		1,49		2,05		2,56		1,63		1,95		1,50		2,50		1,91
Erro (%)		12,53		-6,21		-18,89		-1,35		-10,73		-12,24		-10,65		-2,84		4,60

CAMPO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 19		PET 22	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	128	2,10	3,05	0,05	12,2	0,20	3,05	0,05	3,05	0,05	3,05	0,05	0,00	0,00	15,3	0,25	27,5	0,45
Cloreto	54,4	1,53	30,1	0,85	56,3	1,59	56,3	1,59	37,9	1,07	57,3	1,61	38,9	1,10	62,2	1,75	27,3	0,77
Nitrato	45	0,73	<3	<0,05	34	0,55	49	0,79	9	0,15	10	0,16	27	0,44	24	0,39	<3	<0,05
Sulfato	22,0	0,46	37,3	0,78	21,7	0,45	12,5	0,26	29,0	0,60	27,1	0,56	18,8	0,39	11,6	0,24	23,4	0,49
SOMA		4,82		1,67		2,79		2,69		1,87		2,39		1,92		2,63		1,71
Cátions																		
Cálcio	73,1	3,66	6,96	0,35	10,7	0,54	16,6	0,83	11,4	0,57	12,5	0,63	10,4	0,52	14,7	0,74	1,96	0,10
Ferroll	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	0,50	0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	22,0	0,79
Magnésio	4,41	0,37	2,79	0,23	2,32	0,19	4,19	0,35	3,23	0,27	2,79	0,23	3,18	0,27	4,29	0,36	1,51	0,13
Potássio	8,14	0,21	3,74	0,10	7,01	0,18	7,68	0,20	4,39	0,11	5,78	0,15	3,35	0,09	5,03	0,13	3,68	0,09
Sódio	35,5	1,54	18,5	0,80	26,2	1,14	27,3	1,19	15,6	0,68	21,7	0,94	14,5	0,63	29,3	1,27	14,8	0,64
Amônio	1,00	0,06	0,25	0,01	7,00	0,39	3,20	0,18	<0,20	<0,01	1,70	0,09	0,20	0,01	2,70	0,15	0,20	0,01
SOMA		5,83		1,49		2,44		2,74		1,63		2,06		1,51		2,65		1,76
Erro (%)		9,52		-5,69		-6,71		1,00		-6,78		-7,38		-11,95		0,28		1,48

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Agosto/1999 (cont.).

LABORATÓRIO

	PET 23		PET 26		PET 28		PET 29		PET 32		PET 33		PET 34		PET 37		PET 38	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	16,8	0,28	9,90	0,16	7,92	0,13	10,9	0,18	15,8	0,26	18,8	0,31	7,92	0,13	91,1	1,49	8,91	0,15
Cloreto	26,0	0,73	60,6	1,71	34,0	0,96	44,7	1,26	67,0	1,89	42,7	1,20	31,1	0,88	59,1	1,66	18,2	0,51
Nitrato	<1,33	<0,02	70,0	1,13	<1,33	<0,02	21,0	0,34	114,3	1,84	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02
Sulfato	24,9	0,52	15,8	0,33	15,1	0,31	20,6	0,43	14,6	0,30	34,5	0,72	18,9	0,39	25,1	0,52	26,3	0,55
SOMA		1,53		3,33		1,40		2,21		4,29		2,23		1,40		3,68		1,21
Cátions																		
Cálcio	3,43	0,17	19,2	0,96	6,77	0,34	8,77	0,44	34,8	1,74	9,68	0,48	3,89	0,19	3,28	0,16	6,04	0,30
Ferroll	15,0	0,54	1,43	0,05	3,75	0,13	29,0	1,04	<0,10	<0,004	5,50	0,20	14,0	0,50	15,0	0,54	5,00	0,18
Magnésio	2,71	0,23	4,15	0,35	1,79	0,15	2,51	0,21	5,19	0,43	2,63	0,22	1,23	0,10	1,93	0,16	1,98	0,17
Potássio	3,55	0,09	14,5	0,37	3,94	0,10	3,87	0,10	18,6	0,48	4,03	0,10	2,93	0,08	7,67	0,20	2,16	0,06
Sódio	9,63	0,42	38,4	1,67	16,6	0,72	13,5	0,59	38,7	1,68	23,7	1,03	10,0	0,43	22,3	0,97	6,57	0,29
Amônio	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,29	<0,02	<0,29	<0,02	<0,25	<0,01	<0,43	<0,02	<0,30	<0,02	<0,43	<0,02
SOMA		1,44		3,40		1,44		2,37		4,33		2,03		1,31		2,03		0,99
Erro (%)		-2,82		1,05		1,48		3,57		0,44		-4,61		-3,43		-28,98		-10,03

CAMPO

	PET 23		PET 26		PET 28		PET 29		PET 32		PET 33		PET 34		PET 37		PET 38	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	12,2	0,20	6,10	0,10	6,10	0,10	12,2	0,20	12,2	0,20	9,15	0,15	6,10	0,10	18,3	0,30	0,00	0,00
Cloreto	26,0	0,73	60,6	1,71	34,0	0,96	44,7	1,26	67,0	1,89	42,7	1,20	31,1	0,88	59,1	1,66	18,2	0,51
Nitrato	<3	<0,05	69	1,11	<3	<0,05	<3	<0,05	115	1,85	17,0	0,27	<3	<0,05	<3	<0,05	<3	<0,05
Sulfato	24,9	0,52	15,8	0,33	15,1	0,31	20,6	0,43	14,6	0,30	34,5	0,72	18,9	0,39	25,10	0,52	26,3	0,55
SOMA		1,45		3,25		1,37		1,89		4,25		2,35		1,37		2,49		1,06
Cátions																		
Cálcio	3,43	0,17	19,2	0,96	6,77	0,34	8,77	0,44	34,8	1,74	9,68	0,48	3,89	0,19	3,28	0,16	6,04	0,30
Ferroll	20,0	0,71	1,60	0,06	1,60	0,06	20,0	0,71	<0,50	<0,02	3,90	0,14	14,0	0,50	14,8	0,53	5,00	0,18
Magnésio	2,71	0,23	4,15	0,35	1,79	0,15	2,51	0,21	5,19	0,43	2,63	0,22	1,23	0,10	1,93	0,16	1,98	0,17
Potássio	3,55	0,09	14,5	0,37	3,94	0,10	3,87	0,10	18,6	0,48	4,03	0,10	2,93	0,08	7,67	0,20	2,16	0,06
Sódio	9,63	0,42	38,4	1,67	16,6	0,72	13,5	0,59	38,7	1,68	23,7	1,03	10,0	0,43	22,3	0,97	6,57	0,29
Amônio	0,8	0,04	7,0	0,39	0,8	0,04	0,8	0,04	7,0	0,39	4,6	0,26	1,4	0,08	7,0	0,39	<0,2	<0,01
SOMA		1,67		3,79		1,41		2,09		4,35		2,23		1,38		2,41		0,99
Erro (%)		6,89		7,73		1,43		5,13		1,18		-2,49		0,54		-1,62		-3,61

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Setembro/1999.

LABORATÓRIO

Parâmetros	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11	
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	54,0	0,89	4,00	0,07	36,0	0,59	8,00	0,13	<2,00	<0,03	10,0	0,16	<2,00	<0,03
Cloreto	59,3	1,67	24,3	0,68	61,2	1,72	66,1	1,86	37,9	1,07	67,0	1,89	35,0	0,99
Nitrato	167	2,69	<1,33	<0,02	39,9	0,64	41,7	0,67	43,6	0,70	135	2,18	40,5	0,65
Sulfato	17,4	0,36	42,1	0,88	21,1	0,44	14,6	0,30	20,8	0,43	15,7	0,33	19,5	0,41
SOMA		5,61		1,63		3,40		2,97		2,20		4,56		2,05
Cátions														
Cálcio	55,5	2,78	6,12	0,31	12,2	0,61	11,0	0,55	15,3	0,77	24,3	1,22	11,0	0,55
Ferroll	<0,10	<0,004	1,04	0,04	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	6,18	0,52	2,38	0,20	2,53	0,21	3,11	0,26	4,01	0,33	4,61	0,38	3,14	0,26
Potássio	16,2	0,42	5,38	0,14	11,7	0,30	7,61	0,20	9,02	0,23	14,0	0,36	6,16	0,16
Sódio	41,5	1,80	16,4	0,71	30,6	1,33	25,8	1,12	18,4	0,80	32,5	1,41	15,4	0,67
Amônio	4,30	0,24	<0,25	<0,01	16,2	0,90	3,40	0,19	<0,25	<0,01	8,62	0,48	<0,25	<0,01
SOMA		5,75		1,39		3,35		2,31		2,13		3,85		1,64
Erro (%)		1,20		-7,77		-0,67		-12,40		-1,71		-8,42		-11,02

CAMPO

Parâmetros	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11	
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	47,4	0,78	0,00	0,00	29,3	0,48	4,80	0,08	2,40	0,04	1,20	0,02	2,40	0,04
Cloreto	59,3	1,67	24,3	0,68	61,2	1,72	66,1	1,86	37,9	1,07	67,0	1,89	35,0	0,99
Nitrato	145	2,34	<3	<0,03	40	0,65	49	0,79	57	0,92	135	2,18	28	0,45
Sulfato	17,4	0,36	42,1	0,88	21,1	0,44	14,6	0,30	20,8	0,43	15,7	0,33	19,5	0,41
SOMA		5,15		1,56		3,29		3,04		2,46		4,41		1,88
Cátions														
Cálcio	55,5	2,78	6,12	0,31	12,2	0,61	11,0	0,55	15,3	0,77	24,3	1,22	11,0	0,55
Ferroll	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	2,1	0,08	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02
Magnésio	6,18	0,52	2,38	0,20	2,53	0,21	3,11	0,26	4,01	0,33	4,61	0,38	3,14	0,26
Potássio	16,2	0,42	5,38	0,14	11,7	0,30	7,61	0,20	9,02	0,23	14,0	0,36	6,16	0,16
Sódio	41,5	1,80	16,4	0,71	30,6	1,33	25,8	1,12	18,4	0,80	32,5	1,41	15,4	0,67
Amônio	0,5	0,03	0,4	0,02	7,0	0,39	2,8	0,16	0,4	0,02	4,9	0,27	0,3	0,02
SOMA		5,54		1,38		2,84		2,28		2,23		3,64		1,66
Erro (%)		3,63		-6,26		-7,32		-14,17		-4,95		-9,54		-6,42

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Setembro/1999 (cont.).

LABORATÓRIO

	PET 19		PET 22		PET 26		PET 27		PET 28		PET 29		PET 33	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	9,00	0,15	22,0	0,36	28,0	0,46	8,00	0,13	15,0	0,25	22,0	0,36	6,00	0,10
Cloreto	68,0	1,92	32,1	0,90	61,2	1,72	53,4	1,50	59,3	1,67	36,9	1,04	70,9	2,00
Nitrato	129	2,09	<1,33	<0,02	55,8	0,90	10,1	0,16	31,5	0,51	<1,33	<0,02	33,7	0,54
Sulfato	16,8	0,35	24,5	0,51	32,2	0,67	23,1	0,48	18,7	0,39	27,0	0,56	13,5	0,28
SOMA		4,50		1,78		3,75		2,28		2,81		1,96		2,92
Cátions														
Cálcio	20,7	1,04	2,24	0,11	26,0	1,30	7,82	0,39	15,4	0,77	10,3	0,52	25,0	1,25
Ferroll	<0,10	<0,004	14,0	0,50	<0,10	<0,004	0,55	0,02	0,24	0,01	23,0	0,82	<0,10	<0,004
Magnésio	4,71	0,39	1,92	0,16	4,55	0,38	2,77	0,23	3,10	0,26	1,83	0,15	4,96	0,41
Potássio	7,98	0,20	<2,00	<0,05	16,0	0,41	<2,00	<0,05	6,57	0,17	3,28	0,08	13,0	0,33
Sódio	33,1	1,44	20,7	0,90	34,7	1,51	18,6	0,81	22,3	0,97	11,5	0,50	36,4	1,58
Amônio	3,20	0,18	0,65	0,04	<0,25	<0,01	1,25	0,07	5,82	0,32	1,86	0,10	<0,25	<0,01
SOMA		3,25		1,71		3,60		1,52		2,50		2,18		3,58
Erro (%)		-16,14		-1,93		-2,12		-19,99		-5,93		5,16		10,15

CAMPO

	PET 19		PET 22		PET 26		PET 27		PET 28		PET 29		PET 33	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions														
Alcalinidade	6,10	0,10	18,6	0,31	24,0	0,39	3,60	0,06	1,80	0,03	17,4	0,29	0,00	0,00
Cloreto	68,0	1,92	32,1	0,90	61,2	1,72	53,4	1,50	59,3	1,67	36,9	1,04	70,9	2,00
Nitrato	104	1,68	<3	<0,05	102	1,65	10	0,16	30	0,48	32	0,52	124	2,00
Sulfato	16,8	0,35	24,5	0,51	32,2	0,67	23,1	0,48	18,7	0,39	27,0	0,56	13,5	0,28
SOMA		4,04		1,72		4,43		2,21		2,57		2,40		4,28
Cátions														
Cálcio	20,7	1,04	2,24	0,11	26,0	1,30	7,82	0,39	15,4	0,77	10,3	0,52	25,0	1,25
Ferroll	<0,5	<0,02	16,4	0,59	1,0	0,04	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	18,6	0,66	<0,5	<0,02
Magnésio	4,71	0,39	1,92	0,16	4,55	0,38	2,77	0,23	3,10	0,26	1,83	0,15	4,96	0,41
Potássio	7,98	0,20	<2,00	<0,05	16,0	0,41	<2,00	<0,05	6,57	0,17	3,28	0,08	13,0	0,33
Sódio	33,1	1,44	20,7	0,90	34,7	1,51	18,6	0,81	22,3	0,97	11,5	0,50	36,4	1,58
Amônio	3,0	0,17	1,2	0,07	7,0	0,39	0,8	0,04	3,9	0,22	2,6	0,14	3,9	0,22
SOMA		3,24		1,82		4,02		1,47		2,38		2,06		3,80
Erro (%)		-11,06		2,95		-4,86		-19,85		-3,84		-7,69		-5,98

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Outubro/1999.

LABORATÓRIO

	PET 3		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 22		PET 23		PET 28		PET 29		PET 33		PET 36	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Aniões																						
Alcalinidade	44,0	0,72	<2,00	<0,03	<4,00	<0,07	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	24,0	0,39	6,47	0,11	<4,00	<0,07	28,0	0,46	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03
Cloreto	32,1	0,90	52,5	1,48	23,3	0,66	28,7	0,81	25,3	0,71	44,2	1,25	23,3	0,66	32,1	0,90	46,1	1,30	22,3	0,63	24,3	0,68
Nitrato	32,3	0,52	31,3	0,51	17,8	0,29	32,4	0,52	29,6	0,48	<1,33	<0,02	18,9	0,30	52,3	0,84	<1,33	<0,02	47,4	0,76	42,7	0,69
Sulfato	14,3	0,30	9,41	0,20	16,6	0,35	14,1	0,29	16,8	0,35	25,0	0,52	13,2	0,28	7,9	0,16	18,7	0,39	15,5	0,32	18,8	0,39
SOMA		2,45		2,18		1,29		1,63		1,54		2,16		1,34		1,91		2,15		1,72		1,76
Cátions																						
Cálcio	23,2	1,16	12,4	0,62	7,45	0,37	10,1	0,51	9,25	0,46	3,07	0,15	7,91	0,40	14,4	0,72	12,3	0,62	10,4	0,52	11,0	0,55
Ferroll	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	12,0	0,43	0,12	0,004	<0,10	<0,004	12,8	0,46	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	2,74	0,23	3,16	0,26	1,28	0,11	1,68	0,14	2,58	0,22	2,85	0,24	2,29	0,19	2,93	0,24	2,32	0,19	2,01	0,17	1,93	0,16
Potássio	6,13	0,16	9,06	0,23	5,34	0,14	9,63	0,25	3,76	0,10	<2,00	<0,05	4,22	0,11	7,01	0,18	2,96	0,08	7,48	0,19	7,86	0,20
Sódio	19,8	0,86	25,5	1,11	15,3	0,67	18,7	0,81	19,5	0,85	24,6	1,07	12,5	0,54	13,3	0,58	19,2	0,83	18,5	0,80	16,3	0,71
Amônio	0,46	0,03	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		2,43		2,22		1,28		1,70		1,62		1,89		1,24		1,72		2,18		1,68		1,62
Erro (%)		-0,27		1,00		-0,32		2,39		2,59		-6,67		-3,85		-5,21		0,67		-0,94		-4,25

CAMPO

	PET 3		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 22		PET 23		PET 28		PET 29		PET 33		PET 36	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Aniões																						
Alcalinidade	45,6	0,75	2,40	0,04	0,00	0,00	3,00	0,05	0,00	0,00	22,0	0,36	0,60	0,01	0,00	0,00	37,2	0,61	0,00	0,00	1,20	0,02
Cloreto	32,1	0,90	52,5	1,48	23,3	0,66	28,7	0,81	25,3	0,71	44,2	1,25	23,3	0,66	32,1	0,90	46,1	1,30	22,3	0,63	24,3	0,68
Nitrato	48	0,77	52	0,84	26	0,42	42	0,68	52	0,84	<3	<0,05	17	0,27	58	0,94	<3	<0,05	55	0,89	44	0,71
Sulfato	14,3	0,30	9,41	0,20	16,6	0,35	14,1	0,29	16,8	0,35	25,0	0,52	13,2	0,28	7,89	0,16	18,7	0,39	15,5	0,32	18,8	0,39
SOMA		2,72		2,55		1,42		1,83		1,90		2,13		1,22		2,00		2,30		1,84		1,81
Cátions																						
Cálcio	23,2	1,16	12	0,62	7,45	0,37	10,1	0,51	9,25	0,46	3,07	0,15	7,91	0,40	14,4	0,72	12,3	0,62	10,4	0,52	11,0	0,55
Ferroll	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	11,6	0,41	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	17,3	0,62	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02
Magnésio	2,74	0,23	3,16	0,26	1,28	0,11	1,68	0,14	2,58	0,22	2,85	0,24	2,29	0,19	2,93	0,24	2,32	0,19	2,01	0,17	1,93	0,16
Potássio	6,13	0,16	9,06	0,23	5,34	0,14	9,63	0,25	3,76	0,10	<2,00	<0,05	4,22	0,11	7,01	0,18	2,96	0,08	7,48	0,19	7,86	0,20
Sódio	19,8	0,86	25,5	1,11	15,3	0,67	18,7	0,81	19,5	0,85	24,6	1,07	12,5	0,54	13,3	0,58	19,2	0,83	18,5	0,80	16,3	0,71
Amônio	0,6	0,03	2,7	0,15	1,8	0,10	5,2	0,29	0,2	0,01	2,2	0,12	1,6	0,09	3,4	0,19	2,2	0,12	2,5	0,14	4,0	0,22
SOMA		2,44		2,37		1,38		1,99		1,63		2,00		1,33		1,91		2,46		1,82		1,84
Erro (%)		-5,52		-3,63		-1,43		4,32		-7,60		-3,14		4,39		-2,38		3,38		-0,43		1,04

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Janeiro/2000.

LABORATÓRIO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Anions												
Alcalinidade	26,4	0,43	16,6	0,27	<2,00	<0,03	6,20	0,10	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03
Cloreto	17,4	0,49	39,1	1,10	33,3	0,94	58,9	1,66	21,3	0,60	43,2	1,22
Nitrato	32,6	0,53	44,7	0,72	69,6	1,12	71,8	1,16	40,3	0,65	39,7	0,64
Sulfato	17,7	0,37	27,9	0,58	14,7	0,31	23,1	0,48	18,1	0,38	18,3	0,38
SOMA		1,82		2,68		2,37		3,40		1,63		2,24
Cations												
Cálcio	21,8	1,09	7,73	0,39	17,9	0,90	23,0	1,15	13,0	0,65	17,0	0,85
Ferroll	<0,10	<0,004	0,18	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	2,83	0,24	3,40	0,28	4,08	0,34	5,88	0,49	2,97	0,25	3,21	0,27
Potássio	6,54	0,17	3,80	0,10	7,09	0,18	9,85	0,25	5,05	0,13	7,64	0,20
Sódio	14,4	0,63	48,8	2,12	29,5	1,28	44,9	1,95	18,6	0,81	21,1	0,92
Amônio	<0,25	<0,01	0,61	0,03	0,89	0,05	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		2,12		2,93		2,75		3,84		1,84		2,23
Erro (%)		7,67		4,51		7,48		6,14		6,02		-0,15

CAMPO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Anions												
Alcalinidade	26,4	0,43	16,2	0,27	0,00	0,00	4,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloreto	17,4	0,49	39,1	1,10	33,3	0,94	58,9	1,66	21,3	0,60	43,2	1,22
Nitrato	42	0,68	50	0,81	112	1,81	94	1,52	49	0,79	38	0,61
Sulfato	17,7	0,37	27,9	0,58	14,7	0,31	23,1	0,48	18,1	0,38	18,3	0,38
SOMA		1,97		2,75		3,05		3,73		1,77		2,21
Cations												
Cálcio	21,8	1,09	7,73	0,39	17,9	0,90	23,0	1,15	13,0	0,65	17,0	0,85
Ferroll	2,9	0,10	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	<0,50	<0,02	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02
Magnésio	2,83	0,24	3,40	0,28	4,08	0,34	5,88	0,49	2,97	0,25	3,21	0,27
Potássio	6,54	0,17	3,80	0,10	7,09	0,18	9,85	0,25	5,05	0,13	7,64	0,20
Sódio	14,4	0,63	48,8	2,12	29,5	1,28	44,9	1,95	18,6	0,81	21,1	0,92
Amônio	0,3	0,02	<0,2	<0,01	2,6	0,14	1,2	0,07	<0,2	<0,01	3,1	0,17
SOMA		2,24		2,89		2,84		3,91		1,84		2,40
Erro (%)		6,43		2,38		-3,51		2,44		1,89		4,16

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Janeiro/2000 (cont.).

LABORATÓRIO

	PET 11		PET 29		PET 30		PET 32		PET 34		PET 37	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions												
Alcalinidade	<2,00	<0,03	10,4	0,17	10,4	0,17	5,18	0,08	<2,00	<0,03	42,6	0,70
Cloreto	11,8	0,33	44,6	1,26	18,0	0,51	28,9	0,81	15,4	0,43	62,0	1,75
Nitrato	25,6	0,41	69,6	1,12	<1,33	<0,02	33,4	0,54	5,89	0,10	<1,33	<0,02
Sulfato	18,5	0,39	16,8	0,35	14,9	0,31	17,9	0,37	16,6	0,35	23,4	0,49
SOMA		1,13		2,90		0,99		1,81		0,87		2,93
Cátions												
Cálcio	6,90	0,35	31,5	1,58	3,62	0,18	13,9	0,70	8,54	0,43	1,83	0,09
Ferroll	0,43	0,02	0,11	0,00	2,90	0,10	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	2,65	0,22	4,86	0,41	2,00	0,17	3,37	0,28	2,02	0,17	0,91	0,08
Potássio	3,26	0,08	7,18	0,18	<2,00	<0,05	6,40	0,16	3,77	0,10	7,32	0,19
Sódio	5,12	0,22	32,5	1,41	3,68	0,16	19,6	0,85	21,6	0,94	29,5	1,28
Amônio	0,40	0,02	0,30	0,02	0,92	0,05	0,56	0,03	0,51	0,03	0,74	0,04
SOMA		0,91		3,60		0,66		2,02		1,63		1,68
Erro (%)		-10,84		10,76		-19,73		5,56		30,19		-27,19

CAMPO

	PET 11		PET 29		PET 30		PET 32		PET 34		PET 37	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions												
Alcalinidade	0,00	0,00	9,60	0,16	9,60	0,16	2,40	0,04	0,00	0,00	25,2	0,41
Cloreto	11,8	0,33	44,6	1,26	18,0	0,51	28,9	0,81	15,4	0,43	62,0	1,75
Nitrato	25	0,40	128	2,06	<3	<0,05	26	0,42	15	0,24	<3	<0,05
Sulfato	18,5	0,39	16,8	0,35	14,9	0,31	17,9	0,37	16,6	0,35	23,4	0,49
SOMA		1,12		3,83		0,97		1,65		1,02		2,65
Cátions												
Cálcio	6,90	0,35	31,5	1,58	3,62	0,18	13,9	0,70	8,54	0,43	1,83	0,09
Ferroll	<0,5	<0,02	<0,5	<0,02	18,2	0,65	<0,5	<0,02	14,0	0,50	<0,5	<0,02
Magnésio	2,65	0,22	4,86	0,41	2,00	0,17	3,37	0,28	2,02	0,17	0,91	0,08
Potássio	3,26	0,08	7,18	0,18	<2,00	<0,05	6,40	0,16	3,77	0,10	7,32	0,19
Sódio	5,12	0,22	32,5	1,41	3,68	0,16	19,6	0,85	21,6	0,94	29,5	1,28
Amônio	<0,2	<0,01	0,7	0,04	1,5	0,08	<0,2	<0,01	20,7	1,15	0,5	0,03
SOMA		0,87		3,62		1,24		1,83		3,28		1,67
Erro (%)		-12,49		-2,85		12,01		5,25		52,51		-22,77

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Abril/2000.

LABORATÓRIO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 26		PET 28		PET 29	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	21,0	0,34	25,0	0,41	29,0	0,48	16,0	0,26	12,0	0,20	3,10	0,05	<2,00	<0,03	8,30	0,14	<2,00	<0,03	9,00	0,15
Cloreto	36,0	1,01	38,4	1,08	41,6	1,17	61,6	1,74	37,3	1,05	30,1	0,85	21,4	0,60	49,0	1,38	30,6	0,86	52,1	1,47
Nitrato	62,9	1,01	11,3	0,18	33,5	0,54	<1,33	<0,02	56,7	0,91	43,2	0,70	25,6	0,41	81,1	1,31	40,0	0,64	50,9	0,82
Sulfato	18,5	0,39	45,2	0,94	24,0	0,50	21,3	0,44	19,6	0,41	20,5	0,43	20,3	0,42	22,2	0,46	18,1	0,38	26,1	0,54
SOMA		2,76		2,62		2,69		2,44		2,57		2,02		1,44		3,29		1,88		2,98
Cátions																				
Cálcio	20,8	1,04	6,64	0,33	7,01	0,35	9,17	0,46	6,25	0,31	10,8	0,54	7,60	0,38	14,0	0,70	11,4	0,57	22,6	1,13
Ferroll	<0,10	<0,004	0,80	0,03	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	3,02	0,25	3,23	0,27	1,52	0,13	2,52	0,21	1,40	0,12	2,36	0,20	2,52	0,21	3,71	0,31	3,40	0,28	4,97	0,41
Potássio	5,47	0,14	2,82	0,07	7,53	0,19	6,07	0,16	9,94	0,25	8,91	0,23	3,51	0,09	10,7	0,27	4,10	0,11	4,54	0,12
Sódio	25,3	1,10	44,1	1,92	24,4	1,06	40,4	1,76	24,2	1,05	23,5	1,02	12,5	0,54	35,3	1,53	15,9	0,69	32,0	1,39
Amônio	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		2,53		2,62		1,73		2,58		1,74		1,99		1,22		2,82		1,65		3,05
Erro (%)		-4,28		0,08		-21,64		2,78		-19,37		-0,90		-8,08		-7,67		-6,62		1,18

CAMPO

	PET 3		PET 4		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 26		PET 28		PET 29	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	18,3	0,30	24,4	0,40	30,5	0,50	12,2	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,2	0,20	0,00	0,00	6,10	0,10
Cloreto	36,0	1,01	38,4	1,08	41,6	1,17	61,6	1,74	37,3	1,05	30,1	0,85	21,4	0,60	49,0	1,38	30,6	0,86	52,1	1,47
Nitrato	62,9	1,01	11,3	0,18	33,5	0,54	<1,33	<0,02	56,7	0,91	43,2	0,70	25,6	0,41	81,1	1,31	40,0	0,64	50,9	0,82
Sulfato	18,5	0,39	45,2	0,94	24,0	0,50	21,3	0,44	19,6	0,41	20,5	0,43	20,3	0,42	22,2	0,46	18,1	0,38	26,1	0,54
SOMA		2,71		2,61		2,71		2,38		2,37		1,97		1,44		3,35		1,88		2,93
Cátions																				
Cálcio	20,8	1,04	6,64	0,33	7,01	0,35	9,17	0,46	6,25	0,31	10,8	0,54	7,60	0,38	14,0	0,70	11,4	0,57	22,6	1,13
Ferroll	<0,10	<0,004	0,80	0,03	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	3,02	0,25	3,23	0,27	1,52	0,13	2,52	0,21	1,40	0,12	2,36	0,20	2,52	0,21	3,71	0,31	3,40	0,28	4,97	0,41
Potássio	5,47	0,14	2,82	0,07	7,53	0,19	6,07	0,16	9,94	0,25	8,91	0,23	3,51	0,09	10,7	0,27	4,10	0,11	4,54	0,12
Sódio	25,3	1,10	44,1	1,92	24,4	1,06	40,4	1,76	24,2	1,05	23,5	1,02	12,5	0,54	35,3	1,53	15,9	0,69	32,0	1,39
Amônio	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		2,53		2,62		1,73		2,58		1,74		1,99		1,22		2,82		1,65		3,05
Erro (%)		-3,48		0,26		-22,08		4,07		-15,51		0,37		-8,08		-8,63		-6,62		1,99

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Abril/2000 (cont.).

LABORATÓRIO

	PET 30		PET 31		PET 32		PET 33		PET 34		PET 36		PET 37		PET 38		PET 39		PET42	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	19,0	0,31	<2,00	<0,03	6,20	0,10	5,20	0,09	2,10	0,03	<2,00	<0,03	12,0	0,20	9,30	0,15	<2,00	<0,03	4,00	0,07
Cloreto	22,2	0,63	31,5	0,89	28,1	0,79	28,6	0,81	21,2	0,60	14,3	0,40	34,0	0,96	14,8	0,42	31,0	0,87	13,3	0,37
Nitrato	<1,33	<0,02	53,6	0,86	13,1	0,21	30,4	0,49	16,8	0,27	19,5	0,31	26,1	0,42	3,32	0,05	17,1	0,28	5,18	0,08
Sulfato	17,2	0,36	17,0	0,35	14,9	0,31	12,5	0,26	3,51	0,07	16,7	0,35	27,9	0,58	35,6	0,74	17,1	0,36	16,2	0,34
SOMA		1,30		2,11		1,41		1,64		0,98		1,07		2,16		1,36		1,50		0,86
Cátions																				
Cálcio	4,77	0,24	10,0	0,50	8,28	0,41	12,4	0,62	8,04	0,40	7,75	0,39	6,12	0,31	12,6	0,63	9,05	0,45	5,80	0,29
Ferroll	17,6	0,63	0,13	0,00	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	0,96	0,03	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	2,27	0,19	3,19	0,27	1,47	0,12	2,97	0,25	2,12	0,18	1,67	0,14	1,56	0,13	2,91	0,24	2,40	0,20	1,56	0,13
Potássio	<2,00	<0,05	5,14	0,13	8,05	0,21	6,11	0,16	4,68	0,12	5,30	0,14	4,15	0,11	2,32	0,06	3,69	0,09	<2,00	<0,05
Sódio	7,00	0,30	21,2	0,92	16,3	0,71	19,1	0,83	15,2	0,66	12,0	0,52	29,0	1,26	10,5	0,46	16,5	0,72	7,77	0,34
Amônio	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		1,36		1,82		1,45		1,85		1,36		1,18		1,80		1,42		1,46		0,76
Erro (%)		2,46		-7,18		1,30		6,08		16,44		5,30		-8,94		2,09		-1,35		-6,39

CAMPO

	PET 30		PET 31		PET 32		PET 33		PET 34		PET 36		PET 37		PET 38		PET 39		PET42	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																				
Alcalinidade	24,4	0,40	0,00	0,00	6,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloreto	22,2	0,63	31,5	0,89	28,1	0,79	28,6	0,81	21,2	0,60	14,3	0,40	34,0	0,96	14,8	0,42	31,0	0,87	13,3	0,37
Nitrato	<1,33	<0,02	53,6	0,86	13,1	0,21	30,4	0,49	16,8	0,27	19,5	0,31	26,1	0,42	3,32	0,05	17,1	0,28	5,18	0,08
Sulfato	17,2	0,36	17,0	0,35	14,9	0,31	12,5	0,26	3,51	0,07	16,7	0,35	27,9	0,58	35,6	0,74	17,1	0,36	16,2	0,34
SOMA		1,38		2,11		1,41		1,56		0,94		1,07		2,16		1,21		1,50		0,80
Cátions																				
Cálcio	4,77	0,24	10,0	0,50	8,28	0,41	12,4	0,62	8,04	0,40	7,75	0,39	6,12	0,31	12,6	0,63	9,05	0,45	5,80	0,29
Ferroll	17,6	0,63	0,13	0,00	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	0,96	0,03	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	2,27	0,19	3,19	0,27	1,47	0,12	2,97	0,25	2,12	0,18	1,67	0,14	1,56	0,13	2,91	0,24	2,40	0,20	1,56	0,13
Potássio	<2,00	<0,05	5,14	0,13	8,05	0,21	6,11	0,16	4,68	0,12	5,30	0,14	4,15	0,11	2,32	0,06	3,69	0,09	<2,00	<0,05
Sódio	7,00	0,30	21,2	0,92	16,3	0,71	19,1	0,83	15,2	0,66	12,0	0,52	29,0	1,26	10,5	0,46	16,5	0,72	7,77	0,34
Amônio	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,01	<0,25
SOMA		1,36		1,82		1,45		1,85		1,36		1,18		1,80		1,39		1,46		0,76
Erro (%)		-0,84		-7,18		1,36		8,73		18,19		5,30		-9,01		6,84		-1,35		-2,44

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Julho/2000.

LABORATÓRIO

	PET 3		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 26		PET 28		PET 29	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	53,8	0,88	<4,00	<0,07	2,24	0,04	79,5	1,30	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	7,84	0,13
Cloreto	45,2	1,27	98,6	2,78	79,9	2,25	93,3	2,63	59,6	1,68	23,3	0,66	88,3	2,49	35,2	0,99	46,2	1,30
Nitrato	33,9	0,55	132	2,13	118	1,90	74,4	1,20	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	139	2,24	21,8	0,35	11,6	0,19
Sulfato	20,7	0,43	17,6	0,37	13,50	0,28	10,3	0,21	32,3	0,67	26,4	0,55	14,1	0,29	22,6	0,47	23,7	0,49
SOMA		3,13		5,27		4,47		5,35		2,35		1,21		5,02		1,81		2,11
Cátions																		
Cálcio	26,0	1,30	17,8	0,89	20,7	1,04	7,29	0,36	9,65	0,48	4,83	0,24	20	1,02	8,48	0,42	12,1	0,61
Ferroll	<0,10	<0,004	0,15	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004	0,19	0,01	0,50	0,02	0,30	0,01	<0,10	<0,004	<0,10	<0,004
Magnésio	3,15	0,26	3,50	0,29	6,18	0,52	1,52	0,13	2,14	0,18	1,61	0,13	4,18	0,35	2,29	0,19	2,85	0,24
Potássio	7,61	0,20	16,2	0,42	13,0	0,33	17,9	0,46	7,88	0,20	3,06	0,08	16,3	0,42	5,26	0,13	6,11	0,16
Sódio	23,2	1,01	39,1	1,70	43,2	1,88	36,6	1,59	25,0	1,09	8,17	0,36	37,1	1,61	15,1	0,66	20,7	0,90
Amônio	<0,25	<0,01	<0,64	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	0,25	0,01	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01
SOMA		2,77		3,30		3,76		2,54		1,96		0,83		3,41		1,41		1,90
Erro (%)		-6,21		-22,98		-8,60		-35,56		-9,17		-18,64		-19,14		-12,68		-5,26

CAMPO

	PET 3		PET 7		PET 8		PET 9		PET 10		PET 11		PET 26		PET 28		PET 29	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	53,8	0,88	4,00	0,07	2,24	0,04	79,5	1,30	2,00	0,03	0,00	0,00	2,00	0,03	0,00	0,00	7,84	0,13
Cloreto	32	0,90	90	2,54	90	2,54	86	2,42	59,6	1,68	18	0,51	88,0	2,48	29	0,82	47	1,32
Nitrato	41	0,66	116	1,87	51	0,82	92	1,48	1	0,02	<3	<0,05	58	0,94	29	0,47	8	0,13
Sulfato	20,7	0,43	17,6	0,37	13,5	0,28	10,3	0,21	32,3	0,67	26,4	0,55	14,1	0,29	22,6	0,47	23,7	0,49
SOMA		2,88		4,84		3,68		5,42		2,40		1,06		3,74		1,76		2,08
Cátions																		
Cálcio	26,0	1,30	17,8	0,89	20,7	1,04	7,29	0,36	9,65	0,48	4,83	0,24	20,3	1,02	8,48	0,42	12,1	0,61
Ferroll	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	0,60	0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02
Magnésio	3,15	0,26	3,50	0,29	6,18	0,52	1,52	0,13	2,14	0,18	1,61	0,13	4,18	0,35	2,29	0,19	2,85	0,24
Potássio	7,61	0,20	16,2	0,42	13,0	0,33	17,9	0,46	7,88	0,20	3,06	0,08	16,3	0,42	5,26	0,13	6,11	0,16
Sódio	23,2	1,01	39,1	1,70	43,2	1,88	36,6	1,59	25,0	1,09	8,17	0,36	37,1	1,61	15,1	0,66	20,7	0,90
Amônio	0,4	0,01	13,4	0,74	2,4	0,13	16,0	0,89	2,1	0,12	<0,2	<0,01	15,2	0,84	0,7	0,04	0,3	0,02
SOMA		2,77		4,04		3,89		3,43		2,09		0,81		4,24		1,45		1,92
Erro (%)		-1,79		-8,97		-2,89		-22,52		-6,97		-13,27		6,24		-9,70		-3,99

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços - Julho/2000 (cont.).

LABORATÓRIO

	PET 30		PET 31		PET 32		PET 33		PET 34		PET 36		PET 37		PET 38		PET42	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	25,8	0,42	<2,00	<0,03	2,24	0,04	4,48	0,07	<2,00	<0,03	<2,00	<0,03	85,1	1,40	11,2	0,18	<2,00	<0,03
Cloreto	17,4	0,49	34,0	0,96	66,3	1,87	37,7	1,06	34,7	0,98	24,8	0,70	69,5	1,96	17,9	0,50	15,90	0,45
Nitrato	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	112	1,80	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02	<1,33	<0,02
Sulfato	9,64	0,20	11,6	0,24	8,58	0,18	12,4	0,26	17,7	0,37	11,8	0,25	20,9	0,44	15,7	0,33	11,10	0,23
SOMA		1,11		1,20		3,88		1,39		1,35		0,94		3,79		1,01		0,68
Cátions																		
Cálcio	3,16	0,16	4,84	0,24	28,0	1,40	7,43	0,37	4,15	0,21	6,67	0,33	4,98	0,25	9,03	0,45	4,16	0,21
Ferroll	24,0	0,86	3,40	0,12	<0,10	<0,004	0,16	0,01	3,35	0,12	<0,10	<0,004	1,45	0,05	3,80	0,14	0,68	0,02
Magnésio	1,75	0,15	1,38	0,12	4,85	0,40	1,59	0,13	1,19	0,10	1,65	0,14	2,30	0,19	1,84	0,15	1,19	0,10
Potássio	3,33	0,09	5,19	0,13	14,2	0,36	5,96	0,15	2,44	0,06	4,67	0,12	8,48	0,22	2,16	0,06	<2,00	<0,05
Sódio	4,44	0,19	10,0	0,43	27,7	1,20	14,6	0,63	9,05	0,39	11,5	0,50	25,8	1,12	7,17	0,31	5,53	0,24
Amônio	<0,32	<0,02	<0,25	<0,01	<0,64	<0,04	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	<0,64	<0,04	<0,25	<0,01	<0,25	<0,01	0,33	0,02
SOMA		1,35		1,05		3,37		1,30		0,88		1,09		1,83		1,11		0,59
Erro (%)		9,73		-6,82		-7,04		-3,58		-20,81		7,19		-34,82		4,37		-7,00

CAMPO

	PET 30		PET 31		PET 32		PET 33		PET 34		PET 36		PET 37		PET 38		PET42	
Parâmetros	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Ânions																		
Alcalinidade	25,8	0,42	0,00	0,00	2,24	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,1	1,40	11,2	0,18	0,00	0,00
Cloreto	17	0,48	32	0,90	66	1,87	33	0,93	39,0	1,10	24,0	0,68	54,0	1,52	16,0	0,45	14,0	0,39
Nitrato	<3	<0,05	<3	<0,05	136	2,19	<3	<0,05	11,0	0,18	7,00	0,11	<3	<0,05	<3	<0,05	<3	<0,05
Sulfato	9,64	0,20	11,6	0,24	8,58	0,18	12,4	0,26	17,7	0,37	11,8	0,25	20,9	0,44	15,7	0,33	11,1	0,23
SOMA		1,10		1,14		4,28		1,19		1,64		1,03		3,35		0,96		0,63
Cátions																		
Cálcio	3,16	0,16	4,84	0,24	28,0	1,40	7,43	0,37	4,15	0,21	6,67	0,33	4,98	0,25	9,03	0,45	4,16	0,21
Ferroll	27,2	0,97	3,40	0,12	<0,50	<0,02	<0,50	<0,02	2,10	0,08	<0,50	<0,02	1,60	0,06	3,40	0,12	<0,50	<0,02
Magnésio	1,75	0,15	1,38	0,12	4,85	0,40	1,59	0,13	1,19	0,10	1,65	0,14	2,30	0,19	1,84	0,15	1,19	0,10
Potássio	3,33	0,09	5,19	0,13	14,2	0,36	5,96	0,15	2,44	0,06	4,67	0,12	8,48	0,22	2,16	0,06	2,00	0,05
Sódio	4,44	0,19	10,0	0,43	27,7	1,20	14,6	0,63	9,05	0,39	11,5	0,50	25,8	1,12	7,17	0,31	5,53	0,24
Amônio	0,6	0,03	0,3	0,01	1,4	0,08	1,2	0,07	2,1	0,12	0,3	0,02	14,0	0,78	0,5	0,03	0,3	0,02
SOMA		1,50		1,06		3,45		1,36		0,95		1,11		2,61		1,12		0,62
Erro (%)		15,32		-3,76		-10,69		6,69		-26,56		3,39		-12,35		7,67		-0,81

1,1 - Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%).

Anexo 6 – Diagramas de Piper

Classificação da água subterrânea segundo o diagrama Piper para as diferentes campanhas de amostragens. Concentrações expressas em porcentagem de meq/L.

Classificação da água subterrânea segundo o diagrama Piper para as diferentes campanhas de amostragens. Concentrações expressas em porcentagem de meq/L.

Anexo 7 – Composição química das águas subterrâneas

Composição química das águas cloro-nitratadas sódicas (total de 63 amostras).

Composição química das águas cloro-sulfatadas cálcicas (total de 18 amostras).

Anexo 8 – Tratamento estatístico dos dados referentes às águas cloro-nitradas sódicas

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 4	6,10	33,5	39,6	8,00	3	<0,24	0,31	7,07	2,58	4,5	21,5	5,52	209	452
PET 6	0	15,5	44,5	8,11	<3	0,41	3,20	4,03	2,11	4,36	17,5	5,00	114	416
PET 7	27,5	58,8	29,8	22,2	28	7,82	<0,30	10	2,45	9,81	38	5,75	380	441
PET 8	12,2	68,5	18,8	5,38	<3	3,38	1,84	9,74	2,85	8,59	28,8	5,66	297	341
PET 9	3,05	40,3	27	8,64	54	0,59	<0,30	16,5	4,34	6,71	22,4	5,36	307	519
PET 10	0	58,3	22,1	13,1	40	1,91	<0,30	16,2	3,35	8,22	26,2	4,05	313	510
PET 19	12,2	63,1	18,9	10,9	42	1,25	0,36	19	5,67	7,53	31,5	5,53	371	412
PET 20	6,10	32,5	24,8	2,99	9	<0,24	6,28	3,39	1,71	3,58	18,5	5,09	194	406
Alcalinidade	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,54	-0,23	0,64	-0,09	0,90	-0,41	0,05	0,00	0,62	0,85	0,68	0,62	-0,33
Cloreto		1,00	-0,82	0,38	0,57	0,48	-0,44	0,64	0,48	0,87	0,83	0,16	0,88	-0,16
Sulfato			1,00	0,02	-0,62	-0,12	0,00	-0,60	-0,50	-0,55	-0,48	0,03	-0,70	0,14
Nitrogênio total				1,00	0,29	0,78	-0,80	0,35	0,14	0,70	0,77	0,07	0,62	0,34
Nitrato					1,00	-0,89	-0,36	0,90	0,75	0,62	0,33	-0,18	0,72	0,57
Amônio (NH ₃ -N)						1,00	-0,25	-0,20	-0,40	0,80	0,84	0,42	0,52	-0,20
Ferro tot.							1,00	-0,68	-0,66	-0,56	-0,63	-0,75	-0,52	-0,16
Cálcio								1,00	0,91	0,61	0,49	-0,11	0,78	0,45
Magnésio									1,00	0,38	0,35	0,09	0,63	0,25
Potássio										1,00	0,90	0,14	0,87	0,04
Sódio											1,00	0,38	0,88	-0,10
pH												1,00	0,23	-0,49
CE													1,00	0,17
Eh														1,00

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Julho/1999)

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 4	3,05	30,1	37,3	0,90	<3	0,36	6,96	2,79	3,74	18,5	4,90	201	443
PET 7	12,2	56,3	21,7	13,6	34	<0,30	10,7	2,32	7,01	26,2	6,21	389	422
PET 8	3,05	56,3	12,5	3,24	49	<0,30	16,6	4,19	7,68	27,3	5,46	386	475
PET 10	3,05	57,3	27,1	6,95	10	<0,30	12,5	2,79	5,78	21,7	5,47	281	426
PET 19	15,3	62,2	11,6	1,58	24	<0,30	14,7	4,29	5,03	29,3	6,26	276	436
PET 22	27,5	27,3	23,4	0,86	<3	28,2	1,96	1,51	3,68	14,8	5,77	216	322
PET 23	12,2	26,0	24,9	2,40	<3	15,0	3,43	2,71	3,55	9,6	5,63	123	390
PET 26	6,10	60,6	15,8	12,5	69	3,79	19,2	4,15	14,50	38,4	5,84	164	433
PET 28	6,10	34,0	15,1	3,44	<3	4,92	6,77	1,79	3,94	16,6	5,17	178	387
PET 29	12,2	44,7	20,6	4,04	<3	29,0	8,77	2,51	3,87	13,5	6,42	164	297
PET 32	12,2	67,0	14,6	8,60	<3	<0,30	34,8	5,19	18,60	38,7	6,58	392	401
PET 33	9,15	42,7	34,5	4,24	17	5,50	9,68	2,63	4,03	23,7	5,54	125	426
PET 34	6,10	31,1	18,9	9,86	<3	14,0	3,89	1,23	2,93	10,0	4,09	453	400
PET 37	18,3	59,1	25,1	30,5	<3	15,0	3,28	1,93	7,67	22,3	6,26	383	295

	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	-0,08	-0,06	0,16	-0,21	0,76	-0,23	-0,23	-0,05	-0,11	0,50	-0,02	-0,68
Cloreto		1,00	-0,44	0,45	0,39	-0,14	0,73	0,69	0,71	0,85	0,62	0,42	0,21
Sulfato			1,00	-0,01	-0,60	-0,26	-0,45	-0,41	-0,41	-0,37	-0,25	-0,36	-0,08
Nitrog. total				1,00	0,43	-0,03	-0,02	-0,14	0,34	0,23	0,25	0,48	-0,37
Nitrato					1,00	-1,00	0,81	0,57	0,90	0,88	0,10	0,01	0,39
Ferro tot.						1,00	-0,45	-0,43	-0,30	-0,49	0,44	0,13	-0,84
Cálcio							1,00	0,89	0,87	0,85	0,44	0,25	0,41
Magnésio								1,00	0,73	0,81	0,48	0,06	0,51
Potássio									1,00	0,86	0,49	0,29	0,17
Sódio										1,00	0,51	0,21	0,42
pH											1,00	-0,05	-0,33
CE												1,00	0,09
Eh													1,00

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Agosto/1999)

	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 4	0,00	24,3	42,1	0,96	<3	0,40	1,86	6,12	2,38	5,38	16,4	5,07	197	576
PET 7	29,3	61,2	21,1	9,12	40	>7,0	<0,30	12,2	2,53	11,7	30,6	5,78	501	584
PET 8	4,80	66,1	14,6	1,08	49	2,80	<0,30	11,0	3,11	7,61	25,8	5,6	388	603
PET 9	2,40	37,9	20,8	<0,40	57	0,40	<0,30	15,3	4,01	9,02	18,4	4,47	331	401
PET 10	1,20	67,0	15,7	8,60	135	4,90	<0,30	24,3	4,61	14,0	32,5	5,37	588	595
PET 22	18,6	32,1	24,5	1,19	<3	1,20	14,0	2,24	1,92	<2,00	20,7	5,73	259	434
PET 27	3,60	53,4	23,1	1,94	10	>7,0	2,90	7,82	2,77	<2,00	18,6	5,8	309	575
PET 26	24,0	61,2	32,2	12,60	102	0,80	<0,30	26,0	4,55	16,0	34,7	5,9	609	571
PET 28	1,80	59,3	18,7	7,10	30	3,90	0,83	15,4	3,10	6,57	22,3	5,6	445	583
PET 33	0,00	70,9	13,5	7,60	124	3,90	<0,10	25,0	4,96	13,0	36,4	4,96	586	615
	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,05	0,19	0,41	-0,09	-0,44	0,99	-0,06	-0,25	0,49	0,32	0,60	0,22	-0,12
Cloreto		1,00	-0,70	0,60	0,49	0,77	-0,42	0,70	0,60	0,59	0,80	0,29	0,86	0,66
Sulfato			1,00	-0,15	-0,16	-0,74	-0,14	-0,33	-0,37	-0,21	-0,40	0,06	-0,46	-0,13
Nitrog. total				1,00	0,56	0,30	-0,47	0,84	0,68	0,84	0,81	0,16	0,90	0,35
Nitrato					1,00	0,31	-1,00	0,93	0,92	0,79	0,80	-0,28	0,82	0,20
Ferro tot.							1,00	-0,75	-0,84	-1,00	0,23	0,39	-0,34	-1,00
Cálcio								1,00	0,95	0,87	0,81	-0,15	0,91	0,37
Magnésio									1,00	0,74	0,69	-0,36	0,78	0,23
Potássio										1,00	0,88	0,28	0,88	0,16
Sódio											1,00	0,20	0,94	0,51
pH												1,00	0,17	0,37
CE													1,00	0,49
Eh														1,00

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Setembro/1999)

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 8	2,40	52,5	9,41	2,98	35	2,70	<0,30	12,4	3,16	9,06	25,5	4,5	343	589
PET 9	0,00	23,3	16,6	1,84	26	1,80	<0,30	7,45	1,28	5,34	15,3	4,5	186,1	585
PET 10	3,00	28,7	41,1	4,54	42	5,20	0,89	10,1	1,68	9,63	18,7	5,7	186,3	538
PET 11	0,00	25,3	18,8	0,88	32	0,20	<0,30	9,25	2,58	13,8	19,5	4,44	246	634
PET 22	22,0	44,2	25,0	1,36	<3	2,20	12,0	3,07	2,85	<2,00	24,6	5,88	247	442
PET 23	0,60	23,3	13,2	1,90	17	1,60	<0,30	7,91	2,29	4,22	12,5	5,22	192	498
PET 29	37,2	46,1	18,7	5,14	<3	2,20	18,8	12,3	2,32	2,96	19,2	8,22	284	475
PET 33	0,00	22,3	15,5	3,05	55	2,50	<0,30	10,4	2,01	7,48	18,5	5,16	237	592
PET 36	1,20	24,3	18,8	9,64	44	4,00	<0,30	11,0	1,93	7,86	16,3	5,4	257	589

	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,64	0,13	0,08	0,16	-0,05	1,00	-0,05	0,28	-0,53	0,33	0,75	0,32	-0,74
Cloreto		1,00	-0,09	-0,05	-0,01	0,04	0,96	0,12	0,71	-0,13	0,80	0,27	0,77	-0,43
Sulfato			1,00	0,17	0,28	0,65	-0,99	-0,20	-0,36	0,19	0,04	0,52	-0,47	-0,29
Nitrog.total				1,00	0,48	0,67	0,01	0,52	-0,27	-0,17	-0,18	0,39	0,18	0,07
Nitrato					1,00	0,50	*	0,63	-0,09	0,31	0,39	0,37	0,26	0,40
Ferro tot.							1,00	0,09	0,66	-1,00	0,21	0,95	1,00	-0,74
Cálcio								1,00	-0,02	0,03	-0,04	-0,09	0,47	0,45
Magnésio									1,00	0,28	0,72	-0,02	0,75	-0,20
Potássio										1,00	0,44	-0,51	0,12	0,78
Sódio											1,00	0,04	0,71	-0,11
pH												1,00	-0,05	-0,80
CE													1,00	0,09
Eh														1,00

* não há pares suficientes para correlacionar

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Outubro/1999)

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 4	16,2	39,1	27,9	0,84	50	<0,2	1,58	7,73	3,40	3,80	48,8	5,39	339	532
PET 7	0,00	33,3	14,7	1,73	112	2,6	<0,30	17,9	4,08	7,09	29,5	4,35	354	607
PET 8	4,20	58,9	23,1	0,70	94	1,2	<0,30	23,0	5,88	9,85	44,9	5,15	438	545
PET 9	0,00	21,3	18,1	1,60	49	<0,2	<0,30	13,0	2,97	5,05	18,6	4,52	255	596
PET 30	9,60	18,0	14,9	<0,40	<3	1,5	19,0	3,62	2,00	<2,00	3,68	5,44	100,1	259
PET 32	2,40	28,9	17,9	1,21	26	<0,2	<0,30	13,9	3,37	6,40	19,6	5,08	232	569
	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,10	0,64	-0,68	-0,25	-0,70	-1,00	-0,62	-0,24	-0,46	0,31	0,81	-0,11	-0,49
Cloreto		1,00	0,62	-0,78	0,50	-0,34	-1,00	0,71	0,94	0,68	0,85	0,14	0,88	0,37
Sulfato			1,00	-0,85	-0,23	-0,68	-1,00	0,06	0,38	-0,23	0,83	0,47	0,55	0,24
Nitrog. total				1,00	0,14	1,00	*	-0,06	-0,52	-0,23	-0,76	-0,93	-0,50	0,97
Nitrato					1,00	1,00	*	0,68	0,66	0,59	0,35	-0,43	0,78	0,27
Ferro tot.							1,00	-1,00	-1,00	*	-1,00	1,00	-1,00	-1,00
Cálcio								1,00	0,91	0,98	0,48	-0,50	0,80	0,69
Magnésio									1,00	0,90	0,73	-0,16	0,91	0,54
Potássio										1,00	0,13	-0,07	0,62	0,01
Sódio											1,00	0,07	0,90	0,54
pH												1,00	-0,27	-0,66
CE													1,00	0,71
Eh														1,00

* não há pares suficientes para correlacionar

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Janeiro/2000)

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 4	24,4	38,4	45,2	0,74	11,3	<0,25	1,73	6,64	3,23	2,82	44,1	5,78	287	413
PET 8	12,2	61,6	21,3	0,52	<1,33	<0,25	0,36	9,17	2,52	6,07	40,4	5,58	292	383
PET 10	0,00	30,1	20,5	9,72	43,2	<0,25	<0,30	10,8	2,36	8,91	23,5	4,94	260	591
PET 26	12,2	49,0	22,2	13,20	81,1	<0,25	<0,30	14,0	3,71	10,7	35,3	5,20	381	327
PET 31	0,00	31,5	17,0	2,78	12,31	<0,25	0,57	10,0	3,19	5,14	21,2	4,08	275	580
PET 32	6,10	28,1	14,9	6,55	29,0	<0,25	0,50	8,28	1,47	8,05	16,3	5,07	179	514
PET 33	0,00	28,6	12,5	4,92	21,8	<0,25	<0,30	12,4	2,97	6,11	19,1	4,67	227	512
PET 36	0,00	14,3	16,7	12,30	54,5	<0,25	<0,30	7,75	1,67	5,30	12,0	4,32	144	654
PET 37	12,2	34,0	27,9	5,22	23,1	<0,25	<0,30	6,12	1,56	4,15	29,0	5,01	167	548
PET 42	0,00	13,3	16,2	0,48	2,12	<0,25	<0,30	5,80	1,56	<2,00	7,77	4,55	120	559
	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,61	0,88	-0,25	0,01	*	0,81	-0,20	0,32	-0,32	0,86	0,86	0,44	-0,72
Cloreto		1,00	0,34	-0,13	0,39	*	-0,18	0,39	0,55	0,18	0,87	0,69	0,79	-0,82
Sulfato			1,00	-0,27	-0,14	*	0,96	-0,35	0,29	-0,50	0,75	0,68	0,32	-0,41
Nitrog. total				1,00	0,96	*	-0,40	0,51	0,04	0,66	-0,18	-0,21	0,15	0,13
Nitrato					1,00	*	-0,59	0,62	0,25	0,75	0,19	0,11	0,47	-0,30
Amônio						*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ferro tot.							1,00	-0,84	0,53	-0,83	0,57	0,47	0,32	-0,32
Cálcio								1,00	0,69	0,76	0,16	-0,05	0,70	-0,37
Magnésio									1,00	0,16	0,59	0,22	0,90	-0,61
Potássio										1,00	-0,16	-0,02	0,41	-0,25
Sódio											1,00	0,82	0,75	-0,78
pH												1,00	0,45	-0,77
CE													1,00	-0,75
Eh														1,00

* não há pares suficientes para correlacionar

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Abril/2000)

Poço	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
PET 7	4,00	90	17,6	14,8	116	13,4	<0,30	17,8	3,50	16,2	39,1	5,39	557	486
PET 8	2,24	90	13,5	2,32	51	2,4	<0,30	20,7	6,18	13,0	43,2	5,26	502	490
PET 10	0,00	59	32,3	2,43	<3	2,1	<0,30	9,65	2,14	7,88	25,0	5,11	262	467
PET 26	0,00	88	14,1	11,4	58	15,2	<0,30	20,3	4,18	16,3	37,1	5,04	587	516
PET 28	0,00	29	22,6	0,61	29	0,7	<0,30	8,48	2,29	5,26	15,1	4,58	234	532
PET 29	7,84	47	23,7	2,02	8	0,3	<0,30	12,1	2,85	6,11	20,7	5,7	262	544
PET 33	4,48	33	12,4	1,36	<3	1,2	<0,30	7,43	1,59	5,96	14,6	4,89	193	521
PET 36	0,00	24	11,8	0,48	7	0,3	<0,30	6,67	1,65	4,67	11,5	4,53	161	549

	Alcalinidade	Cloreto	Sulfato	Nitrogênio total	Nitrato	Amônio	Ferro total	Cálcio	Magnésio	Potássio	Sódio	pH	CE	Eh
Alcalinidade	1,00	0,02	-0,01	0,04	0,02	-0,13	*	0,05	0,02	-0,06	0,01	0,74	-0,04	0,19
Cloreto		1,00	-0,07	0,75	0,78	0,75	*	0,95	0,83	0,95	0,99	0,58	0,96	-0,66
Sulfato			1,00	-0,15	-0,15	-0,22	*	-0,23	-0,25	-0,23	-0,11	0,27	-0,22	-0,38
Nitrogênio total				1,00	0,88	0,97	*	0,68	0,36	0,88	0,68	0,37	0,83	-0,38
Nitrato					1,00	0,80	*	0,67	0,42	0,65	0,76	0,30	0,82	-0,88
Amônio						1,00	*	0,71	0,39	0,90	0,68	0,24	0,86	-0,34
Ferro tot.							*	*	*	*	*	*	*	*
Cálcio								1,00	0,92	0,92	0,96	0,54	0,97	-0,43
Magnésio									1,00	0,73	0,89	0,45	0,80	-0,38
Potássio										1,00	0,93	0,42	0,99	-0,54
Sódio											1,00	0,55	0,95	-0,65
pH												1,00	0,45	-0,31
CE													1,00	-0,48
Eh														1,00

* não há pares suficientes para correlacionar

Índices de correlação obtidos a partir das análises químicas totais das amostras cloro-nitratadas sódicas (Julho/2000)