



UNICAMP

Número: 11/2005
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA.

RODRIGO DUTRA GOMES

**ASPECTOS DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO LIVRE DO MUNICÍPIO DE
PEREIRA BARRETO/SP**

200511566

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola.
Co-Orientador(a): Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira.

Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Rodrigo Dutra Gomes e aprovada pela Comissão Julgadora em 28/02/2005


ORIENTADOR

CAMPINAS – SÃO PAULO
Fevereiro – 2005

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNI 6585a
V	EX
TOMBO BC/	64316
PROC.	16-200086-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	19/06/05
Nº CPD	

CAMP

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

bilg-id 353482

Gomes, Rodrigo Dutra
G585a Aspectos da contaminação do aquífero livre do Município de Pereira Barreto/SP / Carlos Queiroz Filho.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2005.

Orientador: Carlos Roberto Espindola, Sueli Yoshinaga Pereira.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Aquíferos – Pereira Barreto (SP). 2. Águas subterrâneas – contaminação. 3. Nitrato. I. Espindola, Carlos Roberto. II. Pereira, Sueli Yoshinaga. III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. IV. Título.

Título em inglês: Contamination aspects of the groundwater unconfined from Pereira Barreto City/SP

Keywords: - Groundwater – Pereira Barreto (SP);
- Vulnerability and Risk;
- Nitrate;
- Contamination;

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora: - Carlos Roberto Espindola
- Archimedes Perez Filho
- Seiju Hassuda

Data da defesa: 28/02/2005



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

AUTOR: RODRIGO DUTRA GOMES

**ASPECTOS DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO LIVRE DO MUNICÍPIO DE
PEREIRA BARRETO/SP**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola

Aprovada em: 28 / 02 / 2005

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola

Prof. Dr. Seiju Hassuda

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho



- Presidente




Campinas, 28 de fevereiro de 2005

*Com carinho à:
Madalena, Miguel e Rogério.*

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas e instituições influenciaram, de forma direta ou indireta, minha formação pessoal e acadêmica ao longo destes dois anos. Esta dissertação é uma das materializações dessa frutífera e benéfica influência. Sinto-me então, na obrigação de, primeiramente pedir minhas sinceras desculpas a quaisquer pessoas que por ventura eu não citar abaixo. Assim, expresso meus sinceros agradecimentos:

Ao prof. Dr. Carlos Roberto Espindola, pela orientação e confiança depositada durante toda a pesquisa, e a prof. Dra Sueli Yoshinaga Pereira pela co-orientação.

Ao Instituto de Geociências (IGE/UNICAMP) pelo suporte intelectual, técnico e financeiro oferecido. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro na concessão da Bolsa de Mestrado deste último ano.

Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil (LCEC) em Ilha Solteira, pelas pessoas do dir. eng. Wanderley Ognebene, eng. Aloísio Celeri e aos técnicos Franklei e Maurício, pela boa vontade oferecida na disponibilização de informações (relatórios, mapas) e materiais técnicos essenciais para a efetivação desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Denis Miguel Roston da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da UNICAMP e ao prof. Dr Tsunao Matsumoto do Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, pela disponibilização dos Laboratórios de Saneamento para a realização das análises químicas necessárias, agradecendo também, a técnica Angélica (Feagri) pela ajuda no manuseio dos aparelhos.

À Casa de Agricultura de Pereira Barreto, no eng. Agr. Wilson Garcia Junior e ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) pelo acesso de informações e materiais técnicos sobre as características pertinentes do município.

Ao prof. Dr. Archimedes Perez Filho pela discussões e sugestões. Ao prof. Marcos César Ferreira pela ajuda na elaboração do mapa de profundidade do nível d'água.

As minhas sinceras gratidões às secretárias Valdirene e Edinalva e ao auxiliar Leandro pela eficiência e carinho dado à todos, além, é claro, das “pequenas grandes ajudas” que viabilizam os “problemas” institucionais do cotidiano.

Ao amigo e geógrafo Fabrício, pela grande ajuda prestada em campo, e principalmente pela longa, sincera e prezada amizade. Estendo estes agradecimentos ao amigo Rangel e ao meu irmão Rogério pelas ajudas em campo.

A amiga Joseane pelas discussões e opiniões acerca tanto deste trabalho, quanto de minha vida pessoal e acadêmica. Agradeço também a Ana, Vera e Karina por me suportar em casa.

Aos amigos Diego, Aderildo e Wander por sempre me lembrar dos objetivos pessoais e acadêmicos a serem cumpridos.

Ao pessoal do LAPIG – Vagney, César, Clauzionor, Diego, Solange, Juliana, Gustavo, Zé Carlos, Ingrid – pelas essenciais ajudas no manuseio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e pelo prazeroso ambiente de trabalho proporcionado. Obrigado Sérgio Bosso pelas traduções e Jimena pela ajuda com os gráficos.

Aos amigos e companheiros de convívio e discussões Paulo, Paulo Sérgio, Eduardo, Camila e Alexandre. Agradeço também às freqüentes, proveitosas e ‘descontraídas’ conversas de começo de tarde, feitas em companhia dos prezados amigos Sérgio, Adalberto, Juliano, Willian e Jonas.

Muito obrigado a todos.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA.

RODRIGO DUTRA GOMES

**ASPECTOS DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO LIVRE DO MUNICÍPIO DE
PEREIRA BARRETO/SP**

RESUMO

Procurou-se detectar alguns aspectos ligados à possibilidade de contaminação do aquífero livre do município de Pereira Barreto. Com a implantação da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos, ocorreu uma elevação generalizada do aquífero livre, da região, susceptibilizando-o a receber influências negativas da superfície. Foram realizadas análises de nitrato ($N-NO_3$) em amostras colhidas nos poços de monitoramento distribuídos na área urbana deste município. Foram realizados Mapeamento da Vulnerabilidade e de Riscos no entorno da área urbana, aplicando a metodologia GOD e utilizados os preceitos teórico-metodológicos adotados em abordagem sistêmica, considerando homem-natureza de uma forma integrada.

Observou-se que as diferenciações nas concentrações de nitrato estão ligadas ao uso e ocupação superficial. Na maioria dos poços que apresentam concentrações acima dos padrões aceitáveis pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, estas estão vinculadas às cargas de nitrogênio impostas pelo cemitério municipal. No mapeamento da vulnerabilidade foram encontradas, em sua maioria, classes de moderada a alta vulnerabilidade, estas últimas localizadas ao redor dos cursos d'água, associadas às baixas profundidades do freático. A delimitação das áreas de maiores riscos à contaminação, indicadas no mapa, também aponta para uma associação com a forma de uso e ocupação superficial. Assim, as áreas detentoras de cultivo agrícola, em que se empregam consideráveis cargas de fertilizantes nitrogenados ou pesticidas, compostos por substâncias danosas persistentes e móveis, foram classificadas como de alto risco.

Dessa maneira, os problemas ambientais encontrados não representam mais do que uma forma sob a qual a problemática social se expressa. Empreendimentos como Usinas Hidroelétricas podem alterar a vulnerabilidade das águas subterrâneas, deixando-as mais susceptíveis a receberem contaminações da superfície. Além disso, observa-se que as mais significativas fontes de contaminação estão diretamente associadas tanto ao processo produtivo (cultivos), quanto aos problemas de infra-estrutura urbana (lixões, fossas sépticas etc).



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA.

RODRIGO DUTRA GOMES

**CONTAMINATION ASPECTS OF THE GROUNDWATER UNCONFINED FROM
PEREIRA BARRETO CITY/SP**

ABSTRACT

This work aims to detect some aspects related to the probable contamination of the unconfined groundwater located in Pereira Barreto city. The up rising of the unconfined groundwater, due to the construction of the Hidreletric dams of Três Irmãos in this area, which contributed to the of contamination susceptibility from surface. To detect possible contamination, N-NO₃ analysis in water, colected from monitoring wells located along urban areas, was carried out. Vulnerability and Risc maps were made using methods GOD. The theoretical-methodological rules used by systemic approaching were used, considering man and nature as integrated form.

As results, was observed that the differentiations in the nitrate concentrations is due to the surface use and occupation. Most of the weels that shown nitrate concentration up to the limit, proposed by Health Department (Decree 518), was due to the nitrogen charges from municipal cemetery. As vulnerability results, was observed medium and high levels, mainly near and around water flows, associated to unconfined groundwater low depth in this location. High vulnerability risc area delimitation (showed in risc maps) is also related to area use and occupation. Thus, areas with agriculture activities, that use considerable loads of nitrate fertilizers and pesticides with toxic and mobile compounds, was classified as high risc areas.

The environmental problems founded in the area, represents a minor part of the social problem expressed in the study location. Thus, construction and activities like hydroelectric power plants can modify the vulnerability of groundwaters, leaving them susceptible to receive contamination from surface. In second hand, was observed that the most significant contamination sources are from agricutural activities and urban infrastructure like landfills and domestic sewage.

SUMÁRIO

Agradecimentos.	vii
Resumo.	ix
Abstract.	xi
Índice de Figuras.	xvii
Índice de Fotos, Gráficos, Quadros e Tabelas.	xviii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.	01
1.1 – Justificativa da escolha do tema.. . . .	01
1.2 – Objetivos.	02
CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.	05
2.1 – Histórico da Área e Município.. . . .	05
2.2 – Características do Meio Físico.. . . .	09
2.2.1 – Sistema Hidrogeológico da Área.	11
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	21
3.1 – Abordagem Metodológica Utilizada	21
3.1.1 – Abordagem Sistêmica na aplicação da relação Homem/Meio.	22
3.1.1.1 – Planejamento Ambiental.	28
3.2 – Considerações sobre o Mapeamento de Vulnerabilidade e Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas.	31
3.3 – Considerações sobre a Influência de Compostos Nitrogenados nos Aquíferos.	34
3.3.1 – Ciclo Do Nitrogênio.	36
3.3.2 – Nitrificação.	37
3.3.3 – Fontes Antrópicas de Nitrogênio.. . . .	38
3.3.4 – Riscos à saúde humana causada pela ingestão de águas com altos índices de nitrato.	41
CAPÍTULO 4 - VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE NITRATO.. . . .	43
4.1 – Metodologia Utilizada.	43

4.1.1 – Fontes de Nitrogênio no Município.	44
4.1.2 – Metodologia de coleta, análise e interpretação das amostras.	45
4.1.3 – Locais de Amostragem.	49
4.2 – Resultado E Interpretação das Análises de Nitrato.	62
4.2.1 – Relação – Ocupação X Nitrato (NO ₃).	63
4.2.2 – Relação – Profundidade do Aquífero X Nitrato (NO ₃).	64

CAPÍTULO 5 – MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO LIVRE.

5.1 – Considerações sobre a Metodologia Utilizada..	69
5.2 – Aplicação da Metodologia.	75
5.2.1 – Groundwater occurrence – Tipo de Aquífero.	75
5.2.2 – Overall lithology of the unsaturated zone – Característica da zona vadosa.	78
5.2.3 – Depth to the water table – Profundidade do nível freático.	83
5.2.3.1 – Geração do Mapa de Profundidade do Nível d’água.	86
5.3 – Resultados e Discussões.	93
5.3.1 – Resultado dos Dados Obtidos em Campo..	93
5.3.2 – Classe da Vulnerabilidade do Aquífero Livre.	107
5.3.2.1 – Groundwater Occurrence.	108
5.3.2.2 – Overall lithology of Aquiperm or Aquitard.	108
5.3.2.3 – Depth to Groundwater table..	109
5.3.2.4 – Correlação dos Parâmetros.	110
5.3.3 – Mapa de Vulnerabilidade..	110

CAPÍTULO 6 – MAPEAMENTO DE RISCO À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO FREÁTICO.

6.1 – Metodologia para caracterizar as fontes potenciais.	115
6.1.1 – Confecção da Base Cartográfica..	115
6.1.2 – Caracterização das Fontes Potenciais de Poluição.	116
6.1.2.1 – Caracterização das Fontes Agrícolas Específicas.	121
6.1.2.2 – Disposição de Resíduos Sólidos.	124

6.1.2.3 – Lagoas de Efluentes.	125
6.2 – Resultados.	126
6.2.1 – Observações de Campo.	126
6.2.2 – Classificação da Periculosidade das Fontes Potenciais.	133
6.2.2.1 – Fontes Dispersas.	133
6.2.2.2 – Fontes Pontuais.	136
6.2.3 – Mapa do Risco de Contaminação.	137
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.	141
CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFIA.	145
ANEXO 1 – PERFIS DE INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.157	
ANEXO 2 – GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO: PROFUNDIDADE DO NÍVEL	
D'ÁGUA / NITRATO.	175

ÍNDICES DE FIGURA

FIGURA 2.1 – Localização da área de estudo.	05
FIGURA 2.2 – Evolução do nível potenciométrico do Aquífero Livre (Inferido).	15
FIGURA 2.3 – Mapa Geológico do município de Pereira Barreto.	17
FIGURA 2.4 – Mapa Piezométrico do Aquífero Livre do município de Pereira Barreto.	19
FIGURA 3.1 – Ciclo do Nitrogênio.	37
FIGURA 4.1 – Localização dos poços onde foram realizadas as coletas na área urbana do município de PB.	53
FIGURA 4.2 – Profundidade média do nível d'água nos poços de monitoramento.	55
FIGURA 5.1 – Representação Esquemática de um sistema.. . . .	71
FIGURA 5.2 – Sistema para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero.	71
FIGURA 5.3 – Mapa de solos do Município de Pereira Barreto.	81
FIGURA 5.4 – Digitalização feita no programa AutoCAD 2000.	87
FIGURA 5.5 – Imagens vetoriais das isolinhas de profundidade do aquífero e curvas de nível no software IDRISI 3.2.	87
FIGURA 5.6 – Processo de conversão das imagens vetorizadas.	89
FIGURA 5.7 – Processo de conversão para o formato raster.. . . .	89
FIGURA 5.8 – Operação matemática da Regressão das imagens no formato raster.. . . .	91
FIGURA 5.9 – Dados dos pontos (formato planilha) de vetorização das curvas de nível de toda a área.	91
FIGURA 5.10 – Resultado da extrapolação dos dados no programa SURF 8.. . . .	93
FIGURA 5.11 – Localização dos poços aferidos na área.	95
FIGURA 5.12 – Processo de reajustamento final do mapa de profundidade provisório.	99
FIGURA 5.13 – Mapa da Profundidade do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto.	103
FIGURA 5.14 – Mapa de Profundidade em formato Raster.. . . .	105
FIGURA 5.15 – Valores para Groundwater occurrence pelo método GOD.	108
FIGURA 5.16 – Valores para Overall Lithology of aquiperm pelo método GOD.	108
FIGURA 5.17 – Valores para Depht to groundwater table pelo método GOD.	109
FIGURA 5.18 – Mapa de Vulnerabilidade Natural do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto/SP.	113

FIGURA 6.1 – Imagem de Satélite da área urbana e entorno do município de Pereira Barreto / SP.	117
FIGURA 6.2 – Mapa de Uso Ocupação do solo do Município de Pereira Barreto/SP.	131
FIGURA 6.3 – Mapa de Risco à Contaminação do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto/SP.	139

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 4.1 – Departamento de Estradas de Rodagem (D. E. R) – Poço de monitoramento nº1 (N.A. 1).	51
FOTO 4.2 – Poço de monitoramento nº13 (N. A. 13) – Cemitério Municipal.	59
FOTO 6.1 – Plantação de Milho –Plantação de Laranja.. . . .	129
FOTO 6.2 – Vista Parcial do Lixão Municipal.	129

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 2.1 – Histórico pluviométrico da área de estudo. 01/01/2000 – 31/04/2004.	13
GRÁFICOS EM ANEXO.	143

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 3.1 – Principais Fatores de controle da Vulnerabilidade de Aquíferos.	33
QUADRO 5.1 – Esquema conceitual do estabelecimento do risco a contaminação.	73
QUADRO 6.1 – Principais características dos pesticidas utilizados em plantações.	120
QUADRO 6.2 – Principais características dos fertilizantes utilizados em plantações.	121
QUADRO 6.3 – Categoria de Perigo Potencial.	125
QUADRO 6.4 – Classificação dos riscos em potencial das lagoas.	126
QUADRO 6.5 – Área total cultivada e área observada.	126

ÍNDICE DE TABELA

TABELA 4.1 – Resultados das análises de nitrato do aquífero livre de Pereira Barreto.	62
TABELA 5.1 – Pontos de aferição da profundidade do Nível Potenciométrico.	95
TABELA 5.2 – Correlação dos Valores dos Parâmetros.	105

CAPÍTULO - 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa da escolha do Tema

Por mais que avance seus conhecimentos, por mais que desenvolva sua tecnologia e que controle a natureza, a humanidade não pode fugir ao fato de que, a ela pertencendo, constitui um elemento biológico fundamental (CARMO, 2002). Toda e qualquer forma de intervenção causada pelo homem no meio, provoca reações de retorno para si próprio, pela simples consideração de que o primeiro utiliza o segundo para satisfação de suas necessidades produtivas, afetando os recursos naturais, notadamente a partir do uso que faz da água.

Apesar de ser um elemento com relativa abundância na Terra, a quantidade de água potável em alguns países torna-se deficitária em relação à demanda exigida pela população, devido, principalmente, ao comprometimento de sua qualidade pela poluição hídrica. Sabe-se que a má qualidade da água consumida é responsável por grande parte das doenças ocorrentes nos países pobres, vinculada à poluição dos reservatórios superficiais e subterrâneos. Esse fato está intimamente ligado à forma como a sociedade humana tem gerido este recurso ao longo da história, em geral, de forma imediatista e excessiva, comandada por questões desenvolvimentistas inerente à sociedade, notadamente a de natureza essencialmente capitalista.

Dessa forma, os reservatórios subterrâneos vêm se constituindo fonte segura de abastecimento público, devido à quantidade disponível e à qualidade de suas águas. Assim, estima-se que 30 a 40% do abastecimento público do Brasil seja feita por poços de captação subterrânea. Esta cifra aumenta no Estado de São Paulo, com 74% dos núcleos urbanos fornecendo abastecimento total ou parcial de água potável (CETESB, 2001). No entanto, em congruência a esse crescimento de demanda, observa-se a existência, cada vez mais comum, de casos de contaminação hídrica subterrânea, devidos à utilização da superfície, sem considerar a interconexão hidráulica característica do ciclo hidrológico, podendo transportar, por percolação hídrica, produtos nocivos a saúde, da superfície para as águas subterrâneas.

Esse cenário enfatiza a necessidade de obter-se, o quanto antes, não só o conhecimento real das reservas hídricas subterrâneas utilizáveis, mas, também, dos aspectos de planejamento – gerenciamento, proteção, monitoramento e tratamento dos efeitos nocivos da poluição do solo e água (LIMA, 2003). Nesse sentido, um dos instrumentos necessários para uma estratégia de

proteção e conservação dos aquíferos, de acordo com David Tejada-de-Rivero,¹ é o mapeamento da vulnerabilidade natural e risco à contaminação de aquíferos, já que estes apresentam contingentes com menor capacidade natural de atenuar a ação de um contaminante imposto na superfície; além disso, esse mapeamento é capaz de demonstrar áreas com maior susceptibilidade à contaminação, levando em consideração o uso e a ocupação da superfície para o estabelecimento do risco.

Em novembro de 1993, entrou em operação a primeira unidade geradora de energia na Usina Hidroelétrica de Três Irmãos, que ocasionou ao município de Pereira Barreto a submersão de grande parte de seu território, incluindo parte da área urbana, ficando com suas porções L, O, S totalmente encobertas pela água da represa. Este empreendimento causou vários impactos no regime hídrico superficial e subsuperficial da área, causando também, a elevação generalizada da superfície potenciométrica do aquífero livre.

O aquífero mais próximo à superfície está sujeito a receber maiores influências negativas da ocupação superficial do terreno do que os aquíferos subjacentes. Os riscos de poluição dos lençóis subterrâneos podem ser causados pela utilização de produtos químicos agrícolas (insumos) – poluindo o solo e a água – ou por problemas de esgoto urbano, que podem inutilizar as águas subterrâneas, localmente; dependendo das condições do fluxo subterrâneo e da natureza do poluente, regiões inteiras podem ser afetadas. Ocorrem ainda, na periferia da cidade, fossas sépticas soterradas, com profundidades médias de 8 a 10 metros, além da presença do Lixão (ao norte da área urbana) e o Cemitério Municipal, que podem estar poluindo o lençol por infiltração, com fornecimento de detritos líquidos e substâncias químicas poluentes para o aquífero livre. É comum a perfuração de poços na área urbana do Município, em casas e instituições particulares e públicas. Todos esses aspectos constituem hipóteses que alicerçam o presente trabalho, as quais deverão ser confirmadas e verificadas suas magnitudes.

1.2 – OBJETIVOS:

O objetivo primordial é detectar aspectos ligados às possibilidades de contaminação do aquífero livre de Pereira Barreto (SP), que sofreu elevação após a instalação da hidroelétrica de

¹ Representante da Organização Pan-americana de Saúde no Brasil, In: FOSTER & HIRATA (1993).

Três Irmãos, como uma possível contribuição à implantação de políticas públicas regionais adequadas de controle ambiental.

Objetivos Específicos

- Realizar o mapeamento de vulnerabilidade e risco à contaminação do aquífero livre.
- Realizar análises de nitrato, para verificar a extensão de problema induzido pela ocupação humana.
- Verificar a influência da ocupação humana, a partir das análises efetuadas, com a espacialização das possíveis fontes poluidoras das águas subterrâneas.

CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 – Histórico da Área e do Município.

O Município de Pereira Barreto está localizada na região Noroeste do Estado de São Paulo, na Lat. 20°38'43" e Long. 51°06'35", a 650 Km da Capital, pertencendo à região administrativa do município de Andradina, com uma área de 982,7 Km² (dados IBGE) (FIGURA 2.1). A cidade foi constituída principalmente pela imigração nipônica, nos anos 20 do século XX, tendo se expandido com o advento da 2^a Guerra Mundial.

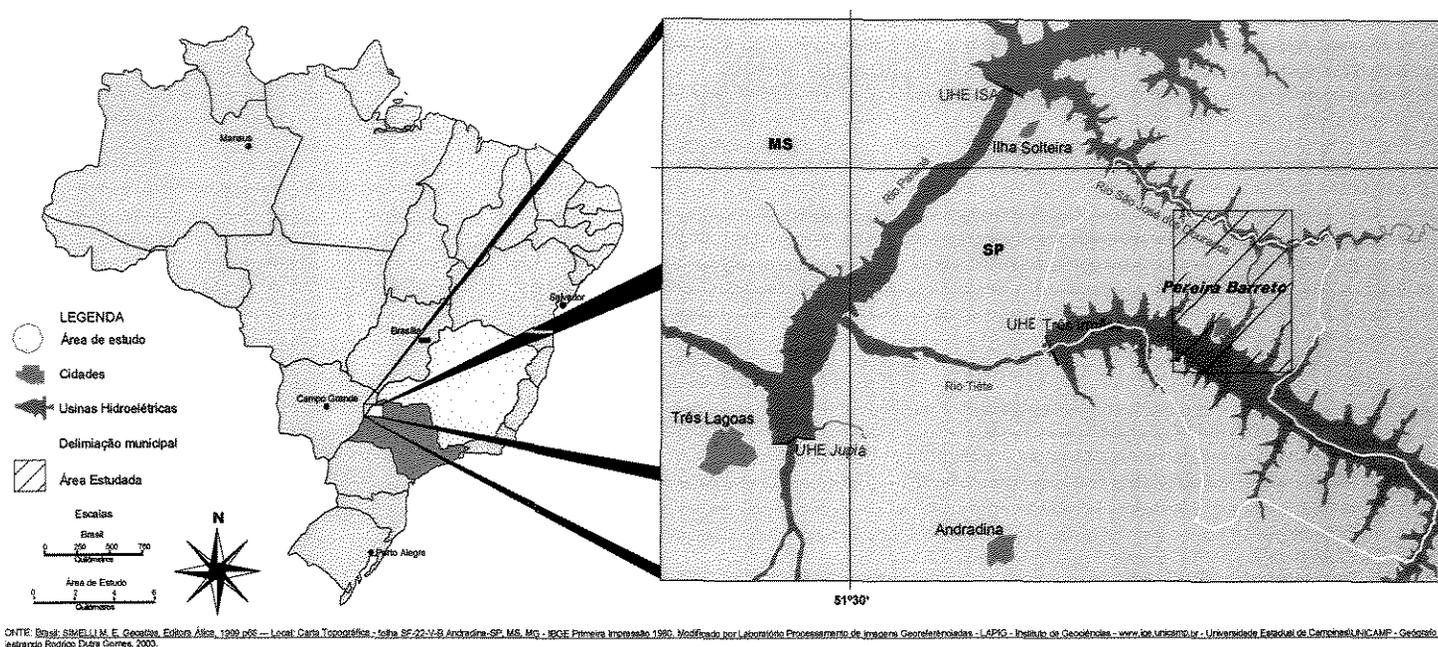


FIGURA 2.1 – Localização da área de estudo.

Inicialmente, os imigrantes eram absorvidos pelas plantações de café, muitos deles sofrendo pela falta de estrutura e baixos salários. Isso levou o governo japonês a criar, em conjunto com os imigrantes já residentes, a Sociedade Colonizadora do Brasil, empresa de capital japonês que enviava representantes ao Brasil para determinados tipos de ações. Numa dessas, adquiriu-se a fazenda Tiête (hoje município de Pereira Barreto), para ser dividida pelos imigrantes que já viriam do Japão, como proprietários, amenizando os problemas estruturais das famílias. As atividades administrativas da Sociedade Colonizadora do Brasil abarcavam o

processo de loteamento de terras (lotes de 10 alqueires), vendas, construções, produção, organização de cooperativas etc, administrando quatro fazendas, além da Tiête, até a sua dissolução, em 1959 (VELASCO, 1988).

O núcleo-sede desta fazenda foi chamada Novo Oriente, contendo cerca de 300 pessoas, com o advento de melhoramentos estruturais como escolas, farmácia, consultórios médicos, luz elétrica, escritórios, armazéns, tendo sido elevada a Distrito do município de Monte Aprazível. Em 1934, o Distrito foi elevado a categoria de Município, com o nome de Pereira Barreto, com população de 3955 habitantes rurais e 1899 urbanos.

Posteriormente, intensificou-se a ocupação do Município, cuja população passou de 5854 habitantes, em 1938, para 22231, em 1950, atraídos pela boa produtividade dos solos, com a produção de algodão, café, arroz, cana-de-açúcar, amendoim e bicho-da-seda, o que atraiu imigrantes de outras partes do País. A produção era voltada ao mercado externo, sofrendo oscilações causadas por crises financeiras ou guerras, tornando a economia local muito instável. Essas instabilidades, somadas a outros problemas, vieram a mudar o panorama da região, com muitas vendas de pequenas propriedades para o pagamento de dívidas, com dificuldades de financiamentos para a agricultura, na década de 60.

Essas transformações econômicas regionais vieram substituir a produção agrícola (baseada no café e algodão) pela pecuária, causando mudanças econômicas estruturais e levando o Município (após a década de 60) a uma perda da população rural e uma concentração populacional nas cidades polarizadas sub-regionais (VELASCO, 1988).

Com a criação, em 1951, da Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Paraguai, houve um grande incremento de idéias desenvolvimentistas, objetivando a expansão do aproveitamento hídrico-energético destas bacias. Assim, em 1954 esta Comissão iniciou os estudos do Conjunto Energético de Urubupungá (gerando o Complexo Hidrelétrico de Urubupungá), concluindo em fins de 1960 os projetos que culminariam com as Usinas Integradas de Jupia e de Ilha solteira. Iniciou-se, primeiramente, a construção da Usina Hidroelétrica de Jupia, em território de Mato Grosso do Sul, às margens da cidade de Três Lagoas, devido à maior facilidade de transporte, pela Estrada de Ferro Noroeste do Brasil.

As obras começaram em 1961 e, juntamente com as construções, houve uma total modificação regional na paisagem e na sua história. A implantação de um complexo energético de tal magnitude trouxe consigo fenômenos pouco comuns, tais como a mobilização rápida e de

caráter provisório de milhares de pessoas. Em geral, nessas situações ocorre a construção de um núcleo urbano que é demolido após o término das obras, ficando os operários residindo em cidades próximas. Foi o que ocorreu no município de Três Lagoas, com a demolição da “Vila dos Operários”, passando Andradina e Castilho a absorverem os operários de Jupia.

Em 1969 iniciou-se a construção da segunda etapa do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá, com a Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira, 4 vezes maior do que a de Jupia, causando problemas no acolhimento das 35000 pessoas previstas para a obra. Por não estar muito próxima das cidades vizinhas, a Centrais Elétricas de São Paulo (CESP) houve por bem construir um núcleo urbano mais estruturado e complexo, que acabou por ser de caráter definitivo (ao contrário do que ocorria na construção desse tipo de obra), com a cidade de Ilha Solteira.

Esta foi a maior obra e que, por isso, mais produziu impactos na região, seja durante a sua construção, que mobilizou um grande número de pessoas e um avivamento nos aspectos econômicos e estruturais na região, seja pelos impactos ambientais causados pelo seu funcionamento, atingindo cidades vizinhas, como Pereira Barreto (cujas terras abrigavam canteiros de obras e parte do núcleo residencial, além de ter parcela razoável do seu território inundado), Andradina (cidade polo sub-região), e, em menor escala, Castilho, Três Lagoas e Itapura (o turístico Salto de Itapura acabou por desaparecer com o represamento promovido).

Cumprindo com os planos almejados no projeto, em 1976 iniciou-se a construção da Hidrelétrica de Três Irmãos, em conjunto com o Canal Artificial, que liga as represas desta com a de Ilha Solteira. Este Canal permite o maior controle do nível do volume d’água das represas, como também facilita o fluxo da navegação entre os rios Tiête e Paraná. Essa obra aproveitou a infraestrutura já montada da Usina de Ilha Solteira, absorvendo boa parte dos seus trabalhadores e servindo como núcleo de apoio, adiando, de certa forma, a solução de problemas regionais advindos do término dessas obras, com desemprego e migração desse contingente populacional ligado às construções (VELASCO, 1988).

Apesar de a base estrutural estar localizada em Ilha Solteira, na cidade de Pereira Barreto houve um incremento populacional de trabalhadores, a causar problemas estruturais no Município, pois o aumento da população não foi acompanhado do desenvolvimento econômico-estrutural do Município. Com a emancipação de Ilha solteria, como sede de município, o grande contingente de arrecadação oriunda da energia, aí ficou retido, empobrecendo a arrecadação de Pereira Barreto. Além disso, a implantação da Represa de Três Irmãos, a 2 km no rio Tiête,

circundada pelas águas (porções Leste, Oeste e Sul), resultou parte do seu perímetro urbano inundado, tornando-se a cidade mais impactada pela construção do complexo Hidrelétrico de Urubupungá, tanto no âmbito econômico (ressaltando também a submersão de solos férteis e produtivos), quanto ambiental (alterando toda a dinâmica dos sistemas ambientais da região).

Além dos impactos normalmente conhecidos, devidos à implantação de obras dessa magnitude e natureza, houve também, neste caso, problemas relacionados à infra-estrutura das construções privadas localizadas nas proximidades da represa, afetando sua estrutura física. Algumas das medidas mitigatórias efetuadas pela CESP foram caracterizadas por reformas, ou mesmo construções de casas nas áreas afetadas, além da construção da lagoa de efluentes e a perfuração de um poço de abastecimento público municipal. Este último capta água do aquífero Guarani na profundidade de 1150 metros, não se tratando assim, do aquífero estudado neste trabalho.

Atualmente a região é caracterizada economicamente como agrocomercial, predominando a pecuária como forma de produção, apresentando ainda cana-de-açúcar, milho, soja, laranja, manga etc. Em matéria publicada no Jornal Diário de Fato (em 17/02/04), menciona-se a conclusão da aquisição de um terreno para a construção da Usina de Açúcar, Alcool e energia elétrica denominada Usina Santa Adélia. O início das construções está previsto para 2007, mobilizando cerca de 1500 trabalhadores, diretamente. A implantação desta Usina deverá causar uma intensificação na produção de cana-de-açúcar.

2.2 – Características do Meio Físico.

A geologia da área é representada por um pacote compreendido pelos sedimentos cretácicos do Grupo Bauru, representados principalmente pela formação Santo Anastácio, que encobre majoritariamente a área de estudo; localmente, associa-se às formações Caiuá e Adamantina (SUGUIO, 1984), sobrepostos aos basaltos juro-cretácicos da formação Serra Geral e sotopostos a depósitos terciário-quaternários compreendidos por colúvios, alúvios e cascalheiras, além dos elúvios associados às formações (IPT, 1989) (FIGURA 2.3).

A granulometria dos arenitos está classificada como areia fina (com areia média subordinada) silto argilosa, com seu regolito compreendendo areia fina argilosa siltica (com as frações areia média, grossa ou pedregulhos subordinados). Os depósitos coluvionares são

representados por areia fina argilosa siltica, localmente pedregulhosa (com as frações de areia média e grossa subordinada). Na área, os solos advindo destes materiais são predominantemente da classe Latossolo Vermelho Escuro, apresentando também Latossolo Vermelho Eutroférico ao longo das margens dos rios Tiête e São José dos Dourados, condizentes com as áreas de afloramento do basalto da formação Serra Geral e adjacentes aos Solos Hidromórficos dos brejos e várzeas².

A área compreendida pela bacia do Baixo Tiête está localizada na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, apresentando formas características de relevo que vão desde vales amplos sem grandes variações morfológicas, até colinas amplas, com cerca de 400 metros de altitude (CESP, 1990). MAURO & CHRISTOFOLLETI (1984), em estudos feitos na região, definiu conjuntos de relevo que receberam algumas denominações descritivas-geomorfológicas particulares. O relevo da área de estudo faz parte do conjunto dos Morros e Espigões, compreendido por colinas de média expressão, com topos arredondados a aplainados, restritos a extensos, com vertentes retilíneas, tendendo a convexas, e declividades baixas, com baixa densidade de drenagem (IPT, 1988). Os vales dos rios principais existentes nesse conjunto geomorfológico são de aprofundamentos que variam de 30 a 50m, desde os rios até os topos de espigões (CHRISTOFOLLETI, 1984).

O clima da área é tropical úmido (Aw), com verão chuvoso e inverno de relativa seca. A pluviometria média anual é de 1.321,3mm, com período chuvoso de outubro a março – sendo janeiro o mês mais chuvoso – (médias de 122,0 a 230,2mm) e o de estiagem entre abril e setembro – sendo julho o mês mais seco – (médias de 27,6 a 76,1mm). Embora para observar tendências climáticas deva se recorrer a intervalos maiores que 30 anos, para fins de demonstração gerou-se o gráfico 1.1, a partir dos índices pluviométricos do período de 01/04/2000 a 31/04/2004, que confirma as informações anteriores. A temperatura média anual é de 24,3°C, com média mensal máxima de 26,5°C, em fevereiro, e a mínima de 20,9°C, em junho. A umidade relativa do ar média mensal máxima é de 78%, em janeiro, e a mínima de 60%, em agosto (GARCIA JUNIOR, 2001).

A cobertura vegetal primitiva predominante é a Floresta Latifoliada Tropical Semidecídua, associada aos solos mais férteis, de estrutura média a argilosa; pode ocorrer, em

² As características litológicas e pedológicas da área serão mais detalhadamente descritas nos itens 4.1.1 e 4.1.2.

menor escala, o Cerradão, sobre solos arenosos, ácidos e de baixa fertilidade. Devido ao processo de expansão cafeeira e pecuarista, as florestas latifoliadas sofreram grandes baixas, restando apenas pequenas áreas testemunhas deste tipo de vegetação (CESP, 1990).

2.2.1 – Sistema Hidrogeológico da Área.

O enchimento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Irmãos acarretou uma série de impactos na bacia hidrográfica, modificando o funcionamento dos regimes superficiais e subterrâneos. Posteriormente, e ainda em fase de construção, foi implantado o canal de Pereira Barreto, provocando, em seu entorno, o rebaixamento da superfície potenciométrica do sistema de aquífero freático. Finalmente, com a implantação da represa ocorreu uma elevação induzida generalizada da superfície potenciométrica, sem, entretanto, atingir os patamares naturais na área de influência do canal de Pereira Barreto (IPT, 1989).

Neste tipo de intervenção, a dinâmica do sistema hidrogeológico costuma passar por adaptações do nível piezométrico, convertendo primeiramente o fluxo subterrâneo no sentido represa-aquífero, e após o tempo de readaptação retorna ao sentido inverso (aquífero-represa). Essa readaptação é denominada por CHRISTOFOLETTI (1979) *tempo de reação*, “correspondendo ao período de tempo que separa a mudança ocorrida no evento de entrada e o começo da alteração do sistema. (...) Os diversos estados transitórios seguidos pelo sistema na passagem entre os dois estados de equilíbrio constitui a trajetória de readaptação” (FIGURA 2.2).

O pacote subterrâneo é composto, do topo para a base, por aluviões, coluviões, solo de alteração de arenito, arenitos (sobretudo da Formação Santo Anastácio, localmente com as Formações Caiuá e Adamantina associadas) e solo de alteração de basalto, compreendendo o sistema de aquífero superficial da área. O topo rochoso da Formação Serra Geral constitui o substrato semipermeável a impermeável deste sistema de aquífero (IPT, 1989). A espessura do pacote que constitui o sistema de aquífero da área é regida pela morfologia da superfície do topo rochoso da formação Serra Geral, compreendendo espessuras máximas de 100-120m localizados nos divisores d'água dos córregos Ponte Pensa e Santista, decrescendo para o Sul, Norte e Oeste apresentando espessuras mínimas de 10-30m. A espessura saturada do sistema de aquífero apresenta crescimento de sul para norte e de oeste para leste, variando da ordem de 10m até 100m, regidas pela variação da morfologia do topo rochoso da Formação Serra Geral.

O sistema hidrogeológico adjacente à bacia de inundação do reservatório implantado e que desenvolve seu fluxo subterrâneo sofre, devido ao enchimento, reajustes transitórios em curto prazo e mudanças permanentes em longo prazo. Estas últimas são resultado dos reajustes transitórios, quando o sistema hidrológico subterrâneo é re-estabilizado, assumindo um novo patamar topográfico e modificando a intensidade de troca de energia na bacia, tanto superficial como subsuperficialmente (IPT, 1988).

O IPT apresentou, no relatório nº 29995, uma prospecção representativa da superfície piezométrica da área após o represamento do rio Tiête, onde foram representadas as linhas do fluxo e os divisores d'água subterrânea, demonstrando, neste caso, a influência do Canal Artificial na morfologia da superfície piezométrica (FIGURA 2.4).

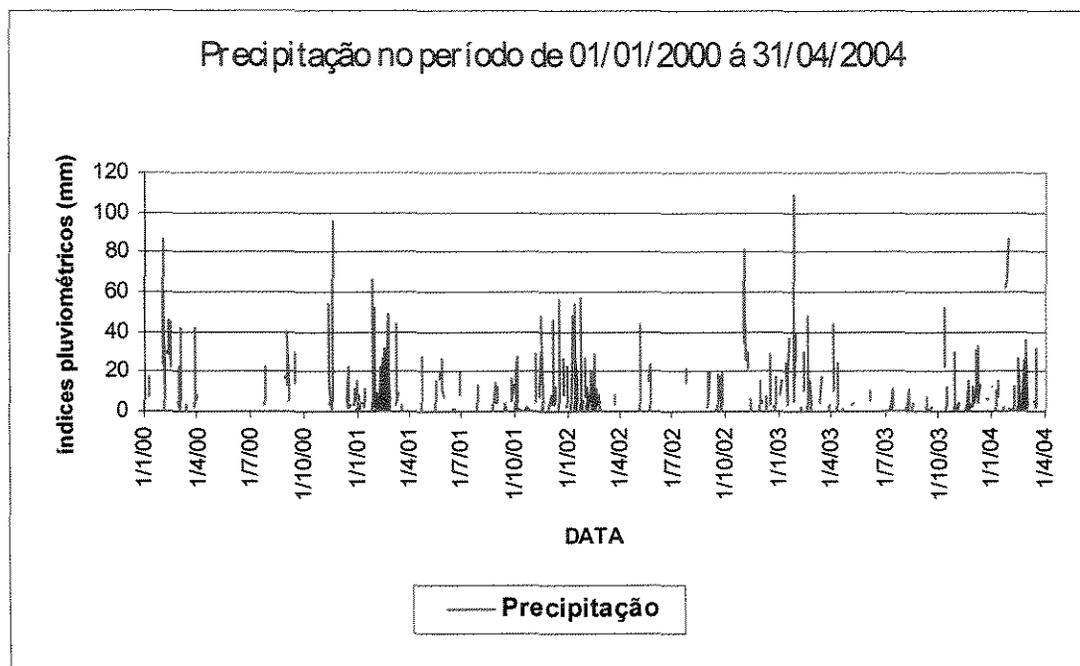


GRÁFICO 2.1 – Histórico pluviométrico da área de estudo. 01/01/2000 – 31/04/2004.

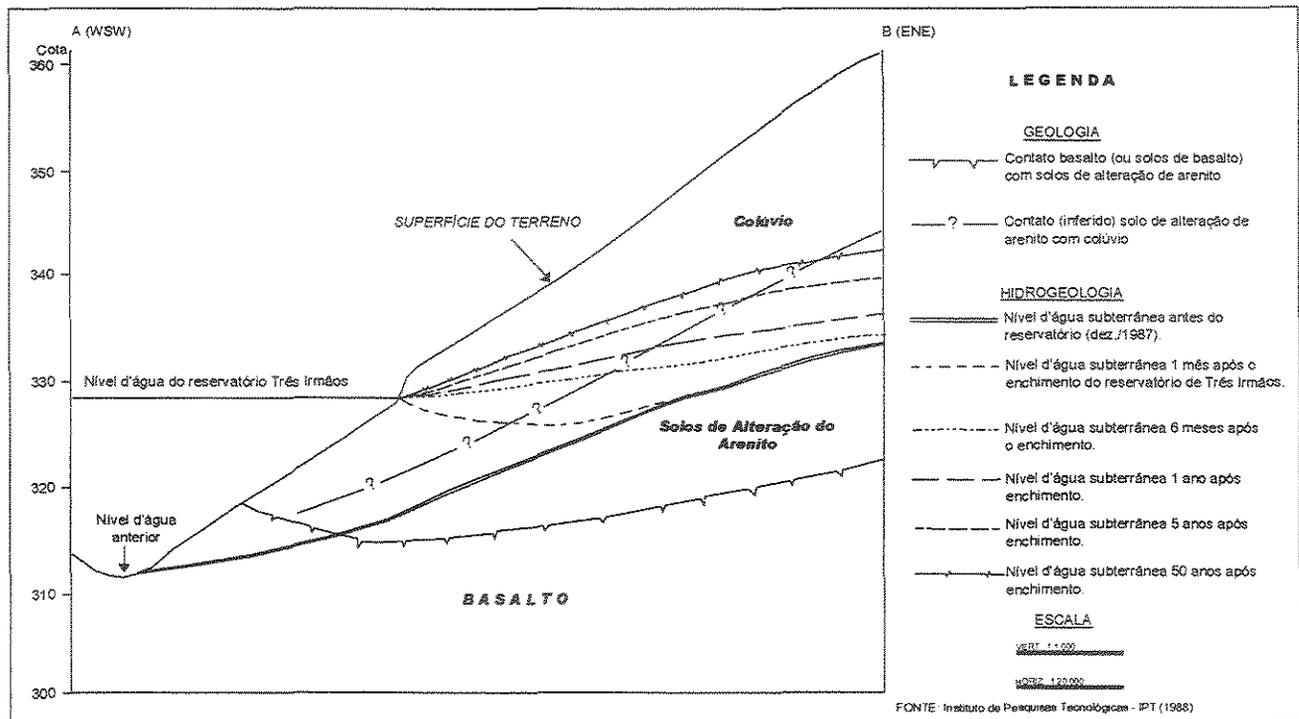


FIGURA 2.2 – Evolução do nível potenciométrico do Aqüífero Livre (Inferido). FONTE: IPT (1988).

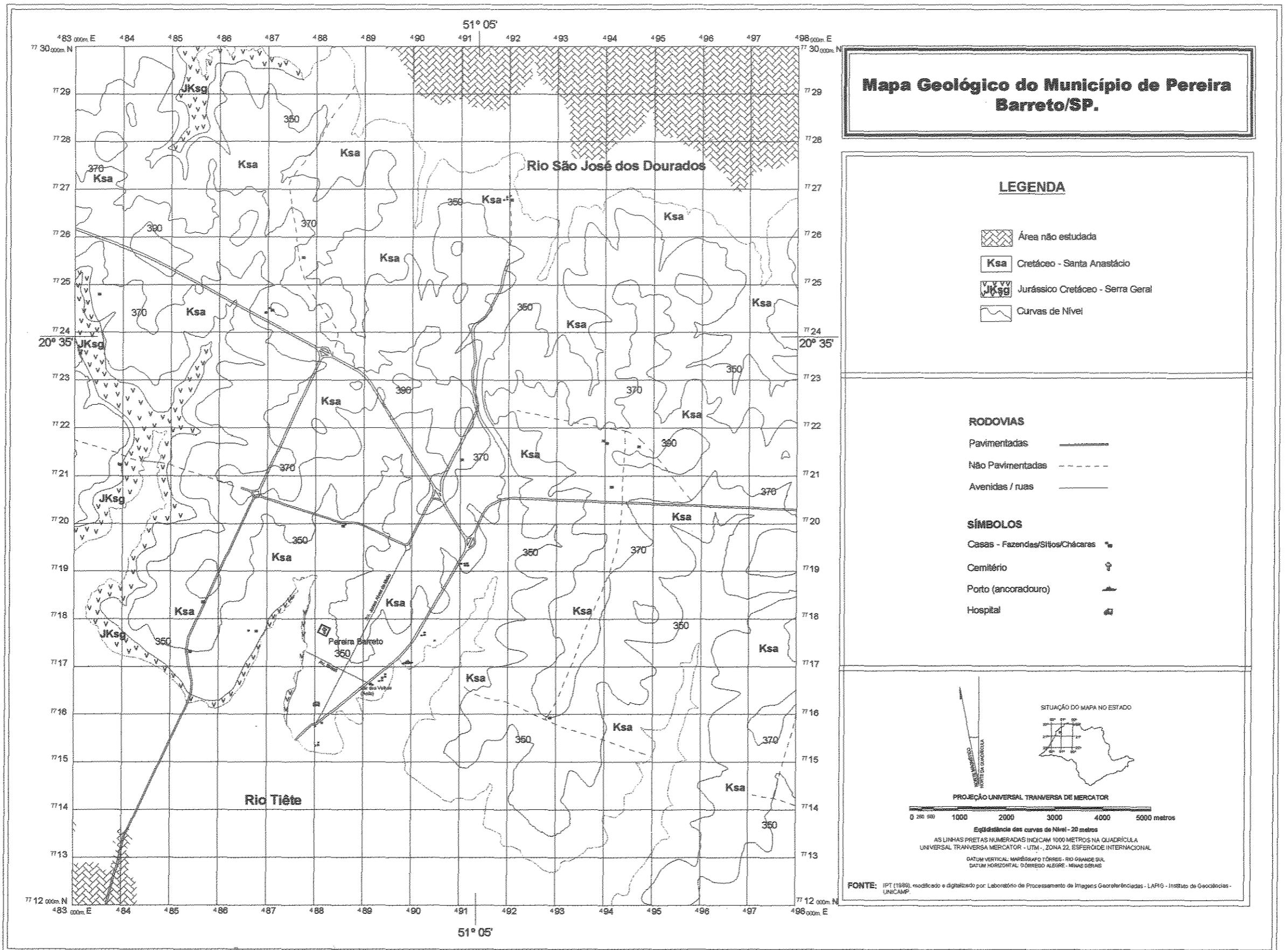


FIGURA 2.3 – Mapa Geológico do município de Pereira Barreto.

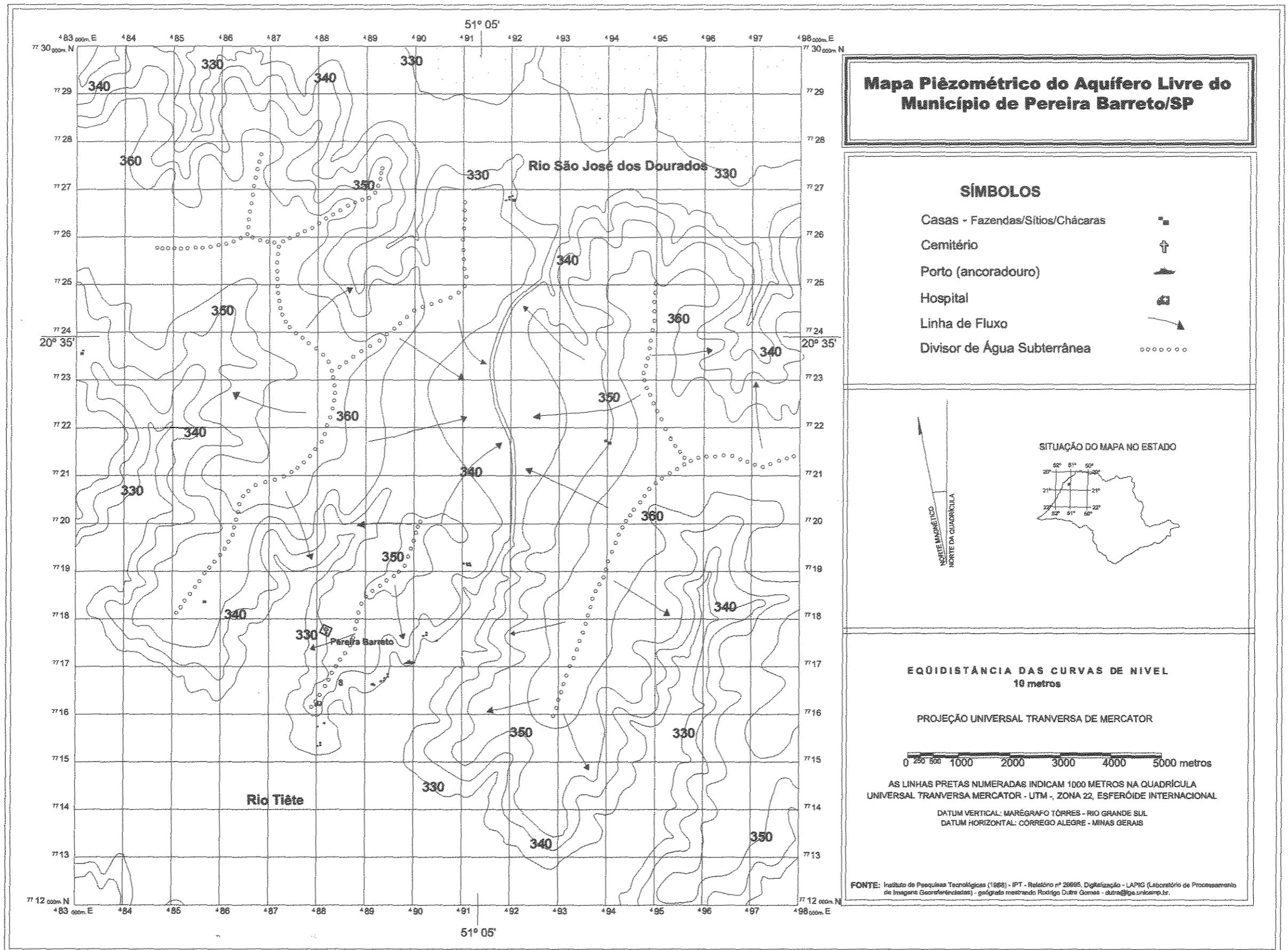


FIGURA 2.4 – Mapa Piezométrico do Aquífero Livre do município de Pereira Barreto

CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

3.1 – ABORDAGEM METODOLÓGICA UTILIZADA.

O ambiente é resultado de uma relação imbricada de diversos fatores, interferindo uns sobre os outros e variando no tempo e espaço (LIMA & QUEIROZ NETO, 1997), ou ainda, de acordo com Brailovsky (1978) *apud* PENTEADO ORELLANA (1985), um sistema de interação dos fatores físicos, químicos, biológicos e sociais susceptíveis a um efeito direto ou indireto, imediato ou a longo prazo, sobre os seres vivos e as atividades humanas. Com este último, incorpora-se a idéia de compatibilização entre desenvolvimento econômico humano e as restrições impostas pela natureza.

Esta consideração remete ao problema enfrentado pela Humanidade, ou ainda ao modelo de civilização adotado por esta, baseado, via de regra, num desenvolvimento tecnológico e econômico perdulário e inseqüente, mostrando-se incompatível com sua própria continuidade, caso não se encontrem formas de desenvolvimento que amenizem a atual relação sociedade/natureza, tomada essa última como recurso, no sentido de atribuir valor de uso para o homem. Para isso, uma das alternativas buscadas pelo homem tem sido foi a realização de planejamentos que visem a um plano de utilização (incluindo ocupação) do meio biofísico, de maneira racional, procurando maximizar a relação de produção, processamento e consumo, além de diminuir, concomitantemente, os desperdícios e sobras desta utilização (AUGUSTIN, 1985).

Por ser o meio ambiente um resultado da inter-relação dos elementos sociais e naturais em forma de sistemas, a realização de um planejamento que considera a integralidade dos elementos e processos que o compõem, a melhor forma de abordagem, de acordo com (PENTEADO ORELLANA, 1985), é a sistêmica, tendência essa discutida e utilizada por diversos autores, dentre os quais: CHRISTOFOLETTI (1979, 1999), CRUZ (1985), AUGUSTIN (1985), HUGETT (1980), MONTEIRO (2001) PENTEADO ORELLANA (1985), RODRIGUES (2001), utilizando-se dos procedimentos indicados por CHORLEY & KENNEDY (1974). Nessa perspectiva, a análise e a avaliação do complexo ambiental requerem um estudo interdisciplinar, que, conforme JAPIASSU (1976 pg. 26),

“impõe a cada especialidade transcender sua própria especialidade, tomando consciência de seus próprios limites para acolher contribuições das outras disciplinas”.

Dessa forma, apesar de tratar-se de um estudo geográfico, no presente trabalho utilizou-se uma metodologia elaborada por cientistas de áreas afins à Geografia (Geologia) para alcançar os objetivos propostos. Apesar de estar localizada num campo científico em que a aplicabilidade dos métodos é de caráter técnico, a influência da abordagem sistêmica procura estar presente de forma perceptível, por considerar a integralidade, o funcionamento e a dinâmica dos fatores que compõem os ambientes, na tentativa de atingir os objetivos propostos pela pesquisa, procurando oferecer um panorama das trocas de matérias e energia dentro de um sistema.

3.1.1 – A Abordagem Sistêmica na Aplicação da Relação Homem/Natureza

Quando surgiu o conceito de sistema, como toda nova idéia científica, embora não tivesse sido apropriadamente empregada, este já vinha sendo gradativamente sendo delineado em estudos em que a abordagem considerava os mesmos preceitos. Assim, para que se resgatar os primeiros indícios da teoria sistêmica, tem-se a “filosofia natural” de Leibniz, a medicina mística de Paracelso no século XVI e a visão da história de Vico e ibn-Kaldun, consideradas como uma série de entidades ou ‘sistemas’ culturais. No entanto, foi a obra de Lotka a que mais se aproximou primeiramente do conceito geral de sistemas (BERTALLANFY, 1973). A noção de um ‘todo complexo’ deflagra, até em Marx, a sua perspectiva sistêmica, resgatando a visão orgânica da relação Homem/Meio, estabelecendo que “O homem vive na natureza significa que a natureza é seu corpo, com o qual ele deve permanecer contínuo intercuro se não quiser morrer” (Capra, 1982 *apud* VICENTE & PEREZ FILHO, 2003).

Desse modo, o conceito sistêmico foi construído em diversas áreas científicas, sem, obrigatoriamente, ter sido desta forma caracterizado. Apareceram simultaneamente idéias semelhantes, porém de maneira independente umas das outras e em diferentes continentes, dando indícios de uma nova tendência, mas que necessitaria de mais tempo para chegar a ser aceita. Estas idéias atendiam aos anseios de várias disciplinas, como, por

exemplo, expresso na carta de K. Boulding, (economista), datada de 1953, destinada a Von Bertalanffy:

Parece que cheguei a uma conclusão muito semelhante à sua embora partindo da economia e das ciências sociais e não da biologia, a saber, que existe um corpo daquilo que chamei “teoria empírica geral”, ou “teoria geral dos sistemas”, em sua excelente terminologia, com larga aplicação em muitas disciplinas diferentes. Tenho certeza de haver muita gente em todo o mundo que chegou essencialmente à posição que temos, mas estão amplamente espalhadas e não se conhecem umas às outras, tão grande é a dificuldade de atravessar as fronteiras das disciplinas (BERTALLANFFY, 1973).

No entanto, foi a partir do biólogo Ludwig Von Bertalanffy, pela publicação da obra “Teoria Geral dos Sistemas” que foi equacionado o conceito de sistemas. “A proposta deste autor pressupunha uma episteme complexa e que, na essência, buscava uma linguagem científica única que englobasse todos os campos do conhecimento (...) através da definição e análise de componentes e estruturas funcionais inerentes a todos os campos da realidade, os quais colocam-se como suporte para a sua compreensão, os sistemas” (VICENTE & PEREZ FILHO, 2003).

Percebe-se que, desde o seu princípio, a teoria dos sistemas é de grande amplitude, quase universal, posto que qualquer realidade conhecida, (desde o átomo à galáxia, passando pela molécula, célula, organismo e sociedade) pode ser concebida como um sistema, ou seja, associação combinatória de elementos diferentes. A virtude sistêmica, segundo MORIN (1990), é ter colocado no centro desta teoria, não apenas a existência de uma unidade complexa, mais sim um ‘todo’ que não se reduz à ‘soma’ das suas partes constituintes, além de situar-se em um nível transdisciplinar que permite simultaneamente conceber a unicidade da ciência e a diferenciação das ciências, não apenas segundo a

natureza material do seu objeto, mas também, segundo os tipos e as complexidades dos fenômenos de associação/organização.

Essa transdisciplinaridade está presente, mas não explicitamente destacada em certas teorias, particularmente em Freud, onde o Eu é um sistema aberto simultaneamente sobre o isso e o superego, apenas podendo constituir-se a partir de um e de outro, mantendo relações ambíguas, mas fundamentais com um e com outro; a idéia de personalidade, na antropologia cultural, implica igualmente que esta seja um sistema aberto sobre a cultura (...) (MORIN, 1990).

Esse caráter não explícito da teoria sistêmica constitui uma constância nos diversos ramos da ciência, como, por exemplo, a demonstração conceitual do ciclo hidrológico, representando um modelo conceitual do complexo sistema global de armazenamento e circulação da água. Este é conduzido por diversos fatores influentes e componentes, destacando a incidência da energia solar, tornando um dos fatores controladores dos diversos estados físicos do trânsito da água pelo planeta, incluindo a interligação entre a atmosfera, litosfera e atmosfera. Apesar de constituir-se em um sistema fechado (no sentido que a água não é criada nem destruída), outras variáveis podem ser inseridas dentro deste sistema, podendo alterar sua forma de circulação e transformação, mormente as de caráter antrópico. Essas alterações podem ser provenientes, por exemplo, da construção de barragens, da regularização de rios ou da exploração da água subterrânea, podendo ser citados as implantações de compostos advindo de lixos, produtos químicos domésticos ou industriais etc (LIMA, 2003).

Das virtuais alterações que ocorrem pela intervenção antrópica, podem ser citadas as implantações de projetos hidroelétricos, a exemplo do “Complexo Hidroelétrico Urubupungá”, que utilizou o potencial hídrico do baixo curso do rio Paraná. Essas construções resolveram parte dos problemas energéticos encontrados naquela época, porém causaram significativas alterações no regime hidrológico local, pelo represamento dos rios e córregos pertencentes a este sistema.

Quando ocorre um evento que venha a influir na entrada (*input*), de forma a ultrapassar o limiar compatível com a organização de um sistema, ocorrem profundas alterações neste, tendendo a reajustar-se à nova situação imposta. Nesse reajustamento, o sistema pode voltar a um estado semelhante ao precedente, ou atingir um estado estacionário, em novo posicionamento, podendo contrair outra dinâmica. O tempo de readaptação varia conforme a existência de elementos de maior resistência à mudança no seu interior. CHRISTOFOLETTI (1979) ressalta que a habilidade em enfrentar as influências externas é maior e mais típica nas comunidades vegetais e animais e menos pronunciada nos componentes inorgânicos. Essa readaptação ocorre pela ação de relações retroalimentadoras inerente ao próprio sistema, resultando que este todo atinja o equilíbrio após passar por estados transitórios. Esses processos podem ser reversíveis ou irreversíveis. No primeiro caso, o equilíbrio restaurado será semelhante ao estado precedente; como exemplo, cita-se a morte de plantas artificialmente, sendo que, pela associação destas, pode ocorrer uma restauração que conduz a uma forma semelhante à original. No segundo caso, o novo equilíbrio atingido será diferente do precedente, como é o caso dos desequilíbrios ocorrentes em sistemas pedológicos por processos erosivos, que, ao cessarem as fases mais intensas do desajuste, a dinâmica precedente será totalmente destruída, surgindo outra em sua substituição.

Nessa perspectiva, a teoria sistêmica adquiriu um papel considerável nas formas de interpretação e abordagem dos temas ambientais, servindo como base para os denominados estudos integrados do meio ambiente, discutidos por PENTEADO ORELLANA (1985), CHRISTOFOLETTI (1979, 1999), GREGORY (1985), HUGETT (1980), LIMA & QUEIROZ NETO (1997). Assim, sendo a Geografia a ciência das relações espaciais, constituindo seu objeto o estudo do espaço sob a ótica antropocêntrica, englobando o Social e Natural, e que neste espaço inclui elementos naturais e culturais que se integram e interagem (PENTEADO ORELLANA, 1985), torna-se, então, significativa a presença da abordagem sistêmica dentro desta ciência, para compreender tais inter-relações elementares.

Historicamente, a utilização desta abordagem fixou-se neste ramo científico com a introdução do conceito geossistêmico, por SOTCHAVA (1978), inicialmente na União Soviética, definindo-se como uma classe de sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e

hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem. Ele constituiria uma formação natural que experimenta, sob certa forma, o impacto dos ambientes social, econômico e tecnogênico. Esta proposição analítica tem como suporte lógico a teoria geral dos sistemas formulada por BERTALLANFY (1973), que, conforme PENTEADO ORELLANA (1978), dentre outras características, considera que o sistema (eleito para estudo) constitui um subsistema dentro de outro maior, ou seja, há subsistemas antecedentes e conseqüentes.

Posteriormente, o conceito geossistêmico veio granjear grande sucesso, tanto na ex-URSS, onde surgiu, quanto em outros países. No mundo ocidental foi difundida pela escola francesa. No Brasil foi introduzido inicialmente no texto de BERTRAND (1972), seguindo-se depois a tradução de SOTCHAVA (1977, 1978), sendo adotada sucessivamente pela Biogeografia, Geografia dos solos, Climatologia e Geomorfologia, procedimento esse muito utilizado no período de 1935 a 1971, até a publicação do livro: *Physical Geography: A systems approach* de Chorley e Kennedy. De acordo com GREGORY (1985):

ao contrário dos trabalhos anteriores, este livro fez a tentativa incondicional de mostrar como os fenômenos da Geografia Física poderiam ser racionalizados e como se lhes poderiam dar, talvez, novo significado e nova coerência nos termos da teoria geral dos sistemas (...), dedicado à identificação e à análise de algumas das mais importantes relações sistemáticas que preocupam os geógrafos físicos modernos (p. 224).

Conforme RODRIGUES (2001), a primeira experiência de aplicação dessa teoria no Brasil foi conduzida pelo prof. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, em um trabalho realizado por uma equipe multidisciplinar sob seu comando, culminando com a publicação da “Qualidade Ambiental na Bahia – Recôncavo e Regiões Limítrofes”. Além deste, vários trabalhos e autores seguiram e discutiram nesta perspectiva de análise ambiental, como ROSS (1995) e MONTEIRO (2001), dentre outros.

Uma das características desse procedimento é o caráter de subjetividade no delineamento dos limites sistêmicos. Convém ressaltar que esta subjetividade não é de caráter peculiar à ciência geográfica, mas, pelo contrário, adquire caráter genérico para as demais ciências que utilizam esta perspectiva de abordagem. BERTALLANFY (1973) afirma que distinguir um sistema dentro do universo é um ato mental (abstração) em que se procura abstrair os elementos componentes e as suas interrelações, dependendo da capacidade intelectual e da percepção ambiental apresentada pelo pesquisador (...), não especificando o ramo científico, mas, sim, peculiarizando as características desta forma de análise.

CHRISTOFOLETTI (1979, 1999) e PENTEADO ORELLANA (1978) chamam atenção para o fato de que, após decidir qual sistema estudar, grande é a dificuldade em tratar, em sua totalidade, os elementos que o compõem, correndo o risco de se cair em generalizações e especificações desnecessárias, não se podendo, assim, medi-lo como um todo. Há, portanto, necessidade de solucionar duas questões, de acordo com CHRISTOFOLETTI (1979): quantas e quais variáveis escolher? Quais técnicas de mensuração a serem empregadas? A solução, de acordo com o autor, é encontrada a partir do objetivo da pesquisa que está sendo realizada, considerando certas indagações conceituais e teóricas: quais variáveis relevantes para testar a hipótese levantada como solução do problema aventado pela pesquisa? Quais as técnicas mais propícias para mensurar essas variáveis?

Neste mesmo sentido, MENDONÇA (2001, p.152) ressalta que a escolha de um método de medição e determinação das variáveis na abordagem da problemática ambiental:

para ser levada a cabo com profundidade e na dimensão da interação sociedade-natureza, rompe assim com um dos clássicos postulados da ciência moderna, qual seja, aquele que estabelece a escolha de apenas um método para a elaboração do conhecimento científico. Tal abordagem demanda tanto a aplicação de métodos já experimentados no campo de várias ciências particulares como formulação de novo.

Retomando a idéia de que não há apenas um método na ciência, principalmente no que se refere às questões ambientais (MORAES, 1994), diante destes fatores, nas metodologias integradas do ambiente repousam de uma maneira implícita os princípios sistêmicos de abordagem. Assim, apesar de serem fragmentadas em diversos campos, as ciências das questões ambientais encontram na abordagem sistêmica, ou ainda mais especificamente, nas metodologias que consideram a integralidade dos elementos que compõe o ambiente (pois nem sempre o conceito sistêmico é citado ou considerado, apesar de estar explícito os seus princípios) a unicidade que transdisciplina as metodologias de análise. Observam-se nas ciências mais próximas da geografia, tanto na área humana (sociologia, economia etc) quanto física (geologia, pedologia, geomorfologia etc) formas de abordagem que consideram as incessantes trocas de matéria e energia ocorrentes em níveis hierárquicos e escalas diferenciadas de forma integradas na natureza (desconsiderando qualquer dissociação entre Homem/Natureza).

Essa tendência é confirmada por RIBEIRO DE MELO (1997) e Berry et al., *apud* BERNARDES (1977). A primeira autora, no campo físico (natural), ao discutir e fazer críticas a respeito do conceito geossistêmico, encontra no russo Dockuchaev (1866-1903) os fundamentos para a análise integrada das paisagens naturais, pela caracterização da zonalidade dos solos considerando-os como um 'todo', resultado da interação dos seus fatores de formação – refletindo o complicado sistema de inter-relação do meio natural. Na perspectiva humana, por pertencer a uma corrente renovadora, Berry et. al. (1976) incorporaram às análises dos sistemas econômicos a interdependência de áreas, os mecanismos de interação dos lugares, seus aspectos locacionais e seus fundamentos econômicos, políticos, demográficos, ecológicos e, até mesmo, históricos.

3.1.1.1 – Planejamento ambiental.

Dentro da abordagem sistêmica, pode se dizer que na natureza encontram-se vários sistemas e subsistemas, tanto de caráter antrópico quanto ambiental – sistemas econômicos, políticos, pedológicos, hídricos, atmosféricos etc, e que estes se interagem numa constante troca de energia e matéria (*inputs* e *outputs*), temporalmente e

espacialmente. No entanto, essas trocas podem ser processadas de forma irregular e desequilibrada, causadas, muitas vezes, pela superposição de um sistema sobre o outro, e em decorrência, principalmente, da forma atual de organização social econômica da sociedade (mormente a capitalista).

Portanto, pode se dizer que se está diante de uma superposição de sistemas, em que o desenvolvimento econômico das sociedades (ricas ou pobres) não se dá considerando a integralidade do ambiente, inserindo ou desajustando os mecanismos de entrada de energia, seja pela inserção de elementos no ambiente, ou, ao contrário, pela retirada em excesso destes. Tome-se como exemplo a superexploração de poços que captam água de aquíferos, gerando desajustes nos subsistemas de maior ou menor escala, revelando uma total variação na dinâmica do ambiente. A superposição do sistema econômico em relação ao social, causa problemas de ordem sociais e econômicas para as sociedades que não acompanham a velocidade de desenvolvimento e os princípios dos sistemas econômicos dominantes. Dessa forma, podem se estabelecer incessantes analogias a respeito das conseqüências ocorridas nos sistemas que sofrem influências dos subsistemas de que é composto e que compõem o ambiente. No entanto, tem se dado maior significância aos problemas de desajustes dos sistemas ambientais, ou seja, mais estritamente ligados à relação sociedade/natureza, com maior ênfase às conseqüências nos recursos naturais.

Portanto, o sistema produtivo, para atender a uma demanda cada vez maior do sistema econômico, tem requerido a utilização cada vez mais intensa dos recursos nos sistemas naturais. Esse tipo de utilização muitas vezes altera o funcionamento do ambiente, necessitando um tempo de compensação (descanso) para o restabelecimento de sua dinâmica. No entanto, de acordo com os tipos e intensidades de intervenção, fica muito difícil o restabelecimento da dinâmica anterior, podendo ocorrer uma total desestruturação de um sistema, conforme descrito por CHRISTOFOLETTI (op. cit.).

Essas desestruturações podem posteriormente reverter-se em processos que geram dispendiosos custos financeiros e humanos para o proprietário, ou para a população de determinada localidade, podendo ter, dependendo do caso, conseqüências globais, tornando-se um problema não restrito às populações locais, mas também para órgãos de gerenciamento globais.

São inúmeros os efeitos da desestruturação de uma dinâmica natural, podendo se citar os processos erosivos, a poluição hídrica e atmosférica, a perda da biodiversidade e o aquecimento global. Dentre as possíveis causas, há que se referir aos desmatamentos, às ocupações não planejadas de vertentes, o aumento da carga de dióxido de carbono na atmosfera, a disposição inadequada de dejetos, dentre outros.

Mesmo levando em consideração todas questões do cotidiano, não se podem negligenciar os avanços na tomada de providências de natureza mundial, geridos, dentre outros aspectos, pelos alertas da comunidade científica internacional, que culminaram em eventos nacionais e internacionais, com vista à discussão dos problemas ambientais, buscando um consenso sobre a melhor forma de utilização dos recursos. Entretanto, não há como desconsiderar o fato de o sistema econômico ainda ser o principal gestor das decisões intervencionistas ao ambiente.

Em conseqüência, surgem estudos que integram o conhecimento adquirido na análise dos sistemas ambientais com os objetivos das políticas de planejamento ambientais de manejo de recursos, procurando coordenar a implantação de alternativas de melhor uso, a partir de uma avaliação antecipada, considerando sempre os impactos antropogênicos, sob a forma de Estudos de Impactos Ambientais (EIA). A estes, conjungam-se planos de atividades para dirigir e controlar a coleta, a transformação, a distribuição e a disposição dos recursos de uma maneira capaz de sustentar as atividades humanas com um mínimo de distúrbios nos meios físicos, ecológicos e sociais, que podem ser referidos por Planejamento Ambiental (CHRISTOFOLETTI, 1999), caracterizado por um conjunto de metodologias e procedimentos para avaliar as conseqüências ambientais de uma ação proposta e identificando alternativas de ação.

De acordo com ALMEIDA et. al. (2002), a realização do plano passa pelas seguintes etapas:

- Identificação e descrição do sistema: reconhecimento das variáveis relevantes para a compreensão de sua estrutura e funcionamento.
- Definição dos objetivos com base nos problemas atuais e futuros e suas interações.
- Geração de soluções que satisfaçam os objetivos sem violar as restrições do sistema.

- Escolha da solução que melhor satisfaça os objetivos, mediante um processo de avaliação, a partir de certas apreciações subjetivas e juízos de valor.
- Execução e controle.

“O planejamento ambiental constitui um plano de utilização do meio biofísico, de maneira racional, visando maximizar a relação de produção, processamento e consumo, e diminuir, concomitantemente, os desperdícios e sobras desta utilização (...) considerando dois grupos de fatores: os humanos e biofísicos” (AUGUSTIN, 1985 p.143). No entanto, estes grupos não necessariamente precisam ser desenvolvidos concomitantemente, podendo o planejamento ser construído por etapas, ou mesmo pela junção de trabalhos precedentes que dependendo de sua natureza, podem constituir seguras fontes bibliográficas, mesmo tendo passadas várias décadas.

O estudo fragmentado dos elementos do ambiente (solo, geologia, agricultura, economia, sociologia) serve como suporte teórico e prático aos elementos componentes do ambiente, podendo posteriormente, com auxílio de uma equipe interdisciplinar, ser integrados, para a realização do planejamento ambiental. Por ser formado por elementos distintos, cada um com suas características, a única maneira de se proceder ao estudo relevante do conjunto é a partir do conhecimento de suas partes, ressaltando que é “errôneo assumir individualmente, que cada componente possa definir condições de recurso de uma área. Assim, o importante é estabelecer as inter-relações dos componentes de maneira que todas as modificações possam ser avaliadas” (AUGUSTIN, 1985 p. 145).

3.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.

De acordo com HIRATA (1994), nas duas últimas décadas tem se acentuado a utilização das águas subterrâneas, estimando a existência de 200.000 poços tubulares (dados de 1994) no Brasil, além dos inúmeros poços clandestinos, destinados a diversos fins. A utilização dos recursos hídricos subterrâneos tende a aumentar, devido a vários fatores, tais como: aumento da concentração demográfica, diminuição dos recursos

superficiais devida à má qualidade das águas e às características de potabilidade das águas subterrâneas.

Todavia, a utilização vem ocorrendo de forma imediatista, sem muito controle legal (salvo alguns casos) sobre a sua exploração. Essa tendência acompanha um crescente risco de poluição das águas subterrâneas, pela utilização da superfície sem considerar os recursos subjacentes. Tal fato é agravado pela constatação de que um aquífero seriamente contaminado nunca poderá ter sua qualidade restabelecida (FOSTER & HIRATA, 1993).

Portanto, torna-se necessária a utilização de estudos voltados ao planejamento com vista à proteção deste tipo de recurso. Dentre os vários tipos de procedimentos necessários ao estabelecimento de um planejamento ambiental adequado, que considere as análises laboratoriais, humanas e jurídicas integradamente, destaca-se o mapeamento de vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas.

Para HIRATA (1994), o conceito de vulnerabilidade aplicado à contaminação antrópica é umas das formas mais adequadas de se encarar a preservação dos mananciais subterrâneos, representando as características intrínsecas de determinado aquífero com vista ao estabelecimento do grau de susceptibilidade que este pode apresentar em relação a uma carga contaminante imposta na superfície/subsuperfície. Dessa forma, é importante o reconhecimento do tipo e característica da carga contaminante, pela consideração de que uma “vulnerabilidade geral a um contaminante universal em um cenário típico de contaminação” tem pouca validade científica (Anderson, 1987 *apud* FOSTER & HIRATA, 1993). A vulnerabilidade está ligada ao comportamento da carga contaminante em superfície; assim, o sistema de aquífero que não oferecer um grau de atenuação e absorção de uma determinada substância é considerado como de alta vulnerabilidade.

Constitui premissa básica para a realização deste tipo de estudo o estabelecimento de fatores que, interagindo em conjunto, torne possível o estabelecimento do grau de vulnerabilidade e risco de um determinado sistema de aquífero à poluição. No Quadro 3.1 estão representados os principais fatores que controlam a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação antrópica:

QUADRO 3.1 - Principais Fatores de controle da Vulnerabilidade de Aquíferos.

Componentes da vulnerabilidade do aquífero à contaminação	Dados Hidrogeológicos	
	Idealmente requeridos	Normalmente disponíveis
Inacessibilidade hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - grau de confinamento do aquífero - profundidade do nível freático ou do aquífero - conteúdo de unidade da zona não-saturada - condutividade hidráulica vertical do aquífero* ou aquítarde 	<ul style="list-style-type: none"> - tipo de contaminante - profundidade da água subterrânea
Capacidade de atenuação	<ul style="list-style-type: none"> - distribuição dos tamanhos dos grãos e fissuras do aquífero* ou aquítarde - mineralogia do aquífero ou matriz do aquítarde 	<ul style="list-style-type: none"> - grau de consolidação do aquífero ou aquítarde - característica litológica do aquífero ou aquítarde

* o termo aquífero é usado aqui para definir estratos não-saturados sobre o nível freático, que permite um livre movimento vertical de infiltração.

FONTE: retirado de FOSTER & HIRATA (1993), Quadro 17, pg 71.

No entanto, um dos grandes problemas em estudos desta natureza diz respeito à não disponibilidade dos fatores idealmente requeridos, além da dificuldade de sua estimação. Há que se recorrer, assim, a certas simplificações e generalizações dos dados disponíveis, para sua aplicação prática.

A quantificação e a qualificação destas variáveis é que vão diferenciar as metodologias, podendo todas ser consideradas válidas e utilizáveis; dentre outros fatores, elas variam devido à quantidade de dados disponíveis numa área, à escala de trabalho utilizada e aos objetivos propostos. Tanto CHRISTOFOLETTI (1979) como PENTEADO ORELLANA (1978) discutiram sobre as variáveis relevantes para se testar a hipótese de trabalho numa análise sistêmica; há que se considerar que elas variam de acordo com a metodologia e com os dados disponíveis na área de estudo, sem, no entanto desconsiderarem a dinâmica do sistema e fugir dos objetivos (FIGURA 3.1).

Os trabalhos mais antigos que utilizam o conceito de vulnerabilidade às águas subterrâneas são europeus, com grande contribuição da França. Nos EUA, nas décadas de 70 e 80, este tipo de método foi bastante difundido, distinguindo-se 9 técnicas de cartografia de vulnerabilidade que se consagraram ao longo das décadas de 60 e 80. A

maioria destes métodos propostos visavam à integração de análises, tentando considerar a vulnerabilidade natural com as cargas contaminantes específicas, sendo que apenas o método desenvolvido por ALLER et. al. (1993) – DRASTIC – definia uma cartografia geral de vulnerabilidade para qualquer tipo de atividades contaminante (HIRATA, 1994). No entanto, vários são os pontos desfavoráveis quanto à utilização deste tipo de método, principalmente em países em desenvolvimento, devido à dificuldade de obter os parâmetros considerados por este método³.

São inúmeros os trabalhos de vulnerabilidade utilizando outras metodologias, muitas vezes considerando atividades contaminantes específicas, tais como: AL-SENAFY & ABRAHAN (2003), KERLE et. al. (1998), COLLIN & MELLOUL (2000), PARALTA et. al. (2001), LAKE et. al. (2003), STIGER et. al. (2002), AL-ADAMAT et.al. (2003).

No Brasil, Taltasse (1972) *apud* HIRATA (1994) foi um dos pioneiros na utilização da cartografia de vulnerabilidade, num estudo da cidade de Campinas. Seu mapa de vulnerabilidade não deixava de ser uma releitura do mapa geológico da área. Acoplando as formações geológicas a dados de condutividade e característica de sorção dos materiais, ele caracterizou a susceptibilidade das unidades litoestratigráficas a um evento de contaminação. Vários estudos seguiram-se e foram desenvolvidos pelo Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE)/CETESB e Instituto Geológico, aprimorando as técnicas, os métodos de análise e o tipo de abordagem.

3.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DE COMPOSTOS NITROGENADOS NOS AQUÍFEROS.

Muitas das atividades humanas desenvolvidas provocam adições de substâncias estranhas ao ambiente, ou que anteriormente ocorriam em menores quantidades, o que pode causar um certo desequilíbrio nesse tipo de sistema, que, em muitos casos, pode ser denominado poluição. Em relação aos recursos hídricos, a inserção de substâncias ocorre principalmente em âmbitos superficiais, deflagrados em inúmeros cursos d'água (rios, córregos etc), que se tornam poluídos devido à sua utilização como área de descargas de

³ DRASTIC – *D* – Profundidade do nível d'água; *R* – Recarga do aquífero; *A* – Litologia do Aquífero; *S* – Tipo de solo; *T* – Topografia do local; *I* – Textura da zona vadosa; *C* – Condutividade Hidráulica do aquífero.

compostos urbanos (rede de esgoto, indústrias etc) e agrícolas (fertilizantes, pesticidas etc). Esse desequilíbrio pode causar a inutilização dessas águas para consumo humano, podendo gerar problemas de saúde, devido à ingestão de compostos nocivos aí presentes.

Da mesma forma, as águas subterrâneas também têm se tornado um problema, pela constatação, cada vez mais comum, da influência da ocupação superficial (uso do solo). Dentre os inúmeros estudos de poluição de aquíferos, PACHECO et al. (1996) mencionam trabalhos relacionados à influência de sistemas de disposição *in situ* nas águas subterrâneas do Estado de São Paulo. KOIDE et al. (1996) monitoraram a contaminação do aquífero freático por aterros de lixo no Distrito Federal. BORGES et al. (2001) verificaram a influência da pecuária na qualidade de águas subterrâneas. Diversos estudos mais antigos do DAEE (1985), em Campinas, e da CETESB (1977) no Estado de São Paulo, são ainda referidos por PACHECO et al. (op. cit.).

Dentro da área considerada no presente estudo, MEZALLIRA (1979) já tinha observado altas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas na bacia do rio São José dos Dourados, ao norte da mesma. Naquela ocasião, objetivava-se a potencialização do uso desta fonte de abastecimento na agricultura e no uso doméstico desta bacia. Para isso, foram feitos estudos que verificassem a capacidade de recarga, armazenamento, vazão esperada, assim como suas características geoquímicas, tendo encontrado concentrações elevadas de nitrato em poços rasos e profundos. Os autores relacionam as altas concentrações à presença de fossas nas casas rurais (onde foram feitas as coletas nos poços), ao uso de fertilizantes e excrementos dos animais na atividade pecuária.

Para a determinação das características hidrodinâmicas do aquífero de Pereira Barreto, foram estabelecidos vários procedimentos pelo IPT. Além do levantamento de dados cartográficos básicos (geologia, solos etc), cadastramento de poços rasos e cacimbas existentes, foi feita ainda a perfuração e instalação de uma rede de observação piezométrica na área urbana e no entorno do Município, com coleta de materiais encontrados para realizar a caracterização litológica local. A seleção dos pontos de perfuração considerou as lacunas existentes na localização dos poços já existentes em propriedades rurais (poços rasos, cacimbas etc), objetivando uma rede de observação homogênea. Estes trabalhos foram realizados no período de 10/11/87 e 28/03/89, em conjunto com o Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP.

3.3.1 – Ciclo Do Nitrogênio.

O nitrogênio é o principal elemento encontrado na atmosfera, responsável por 78% de sua constituição, apresentando-se, na natureza, sob várias formas, dependendo do seu estado de oxidação. As formas mais comuns incluem o nitrato (NO_3), o nitrito (NO_2), gás (N_2) e amônia (NH_4), sendo as fontes naturais: solos, atmosfera, atividades biológicas, oceanos e lagos.

As plantas obtêm a maioria dos elementos de que necessita no solo que lhes serve de substrato. No entanto, o nitrogênio é absorvido diretamente da atmosfera. Quando o N penetra no solo pelas águas de percolação, uma parte se perde em profundidade, até os lençóis subterrâneos, e outra pode ser absorvida pelas plantas. Um dos principais fatores limitantes para o crescimento dos vegetais é o déficit deste elemento no solo. Todo este processo de transporte, transformação e circulação deste na natureza ocorre de forma contínua, sendo denominado ciclo do nitrogênio.

A maioria do nitrogênio existente no solo advém da decomposição de materiais orgânicos mortos, mas a sua utilização agrícola costuma requerer sua inserção na forma de fertilizantes, usualmente presente nas formulações NPK. Neste caso, o nitrogênio pode-se apresentar de várias formas (amônia, nitratos uréia etc). A uréia (que pode também advir da urina dos animais) é convertida, pelas bactérias presentes no solo, para amônia. Nitrificação é o processo em que amônia é oxidada, transformando-se em nitritos (NO_2) e nitratos (NO_3). Parte destes elementos são absorvidos pelas plantas e o restante fica acumulado no solo, sendo passível de ser lixiviado, devido às suas características de alta mobilidade e persistência (vida), podendo ser facilmente transportado pela água. O nitrogênio que é absorvido pelas plantas posteriormente retorna ao solo pela morte das plantas ou dos animais que a consomem, ou ainda, em condições redutoras, o nitrato é convertido primariamente para nitrogênio-gás, num processo chamado desnitrificação, podendo retornar à atmosfera, fechando o ciclo (FIGURA 3.1).

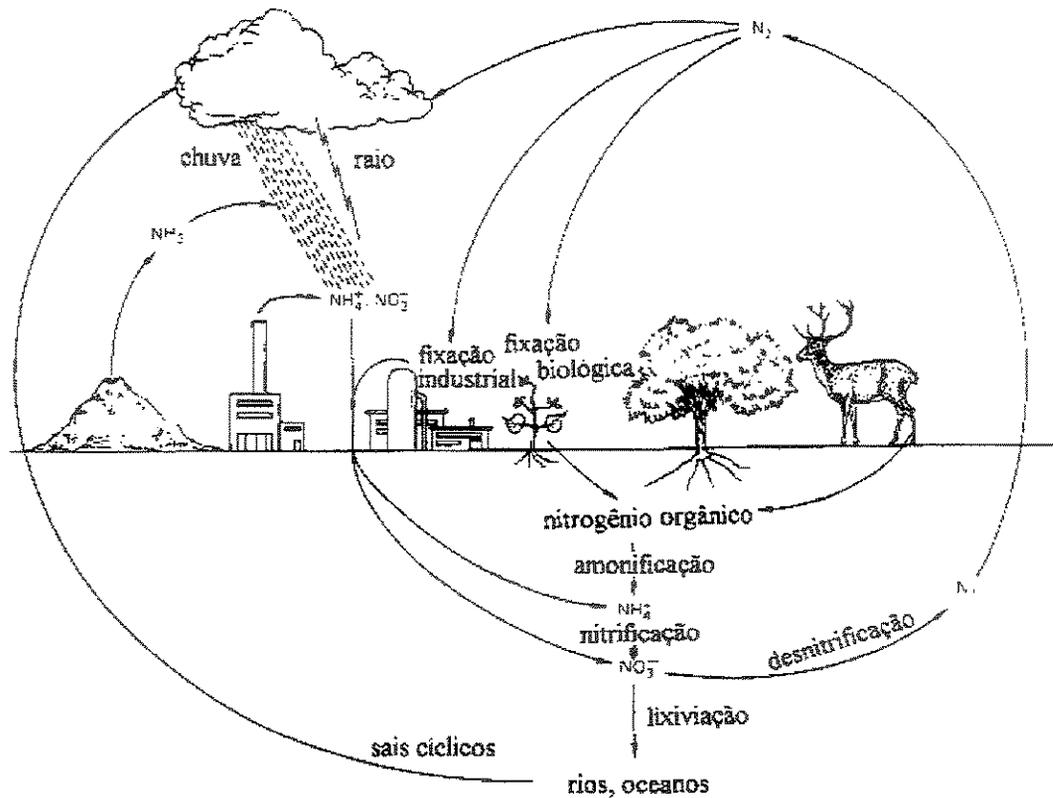
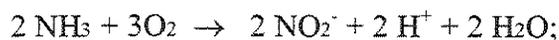


FIGURA 3.1 – Ciclo do nitrogênio (adaptado de Salisbury & ROSS, 1992)

3.3.2 – Nitrificação

A nitrificação ocorre devido à presença de bactérias no solo, que oxidam a amônia a dióxido de carbono, para assim, consumi-lo. Tais organismos são denominados como *autotróficos quimiossintéticos*, e as bactérias que oxidam o NH_4 para nitrito (NO_2) são as dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus* (GALLO, 2004), que produzem a reação:



As bactérias do gênero *Nitrobacter* oxidam o nitrito, gerando o nitrato (NO_3), conforme a reação:



O nitrato é a fonte de nitrogênio mais utilizada pelas plantas, que o absorvem a partir das raízes. O nitrogênio contido no solo ocorre na forma orgânica e inorgânica, provindo de precipitações pluviométrica, decomposição de matéria orgânica e pelo uso de fertilizantes. A fixação é feita pela ação biológica, em condições aeróbicas, diminuindo com a profundidade. A matéria orgânica como fonte de nitrogênio advém dos processos nutricionais dos animais que o ingerem e o acumulam; com sua morte e decomposição, esse nitrogênio vai passar à forma amoniacal, que as *Nitrosomonas* convertem em nitrito, e as *Nitrobacters* em nitrato. Esta última forma é de alta mobilidade e estabilidade, movendo-se em fluxo advectivo, não sendo absorvido pelas partículas do solo (VARNIER, 2001).

O processo oposto à nitrificação denomina-se desnitrificação, com converção do nitrato em nitrito. Ao contrário da nitrificação, este ocorre em ambientes com características anaeróbicas. A ingestão de nitrato oferece riscos ao organismo humano (metahemoglobinemia é o nome da doença causada pela presença de nitrito no organismo humano), podendo estar contido nas águas em teores mais elevados do que o permitido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (25 de Março de 2004); dentro do estômago humano (ambiente anaeróbico) pode ocorrer o processo de desnitrificação.

3.3.3 – Fontes Antrópicas de Nitrogênio.

Pela descrição do ciclo do nitrogênio, pode se perceber que todos os animais detêm e são potencialmente fontes potenciais, a partir do momento que ao morrerem ou excretarem, liberam esta carga para o ambiente. Assim, podem ser diversas as fontes de nitrogênio de origem antrópica, estando relacionadas principalmente à disposição da matéria orgânica utilizada pelo homem na agricultura, e ainda por fontes industriais. Esta última apenas tem importância em zonas que apresentam esse fornecimento de modo apreciável, o que não é o caso do presente estudo.

HASSUDA (1989) observou aspectos de poluição em águas subterrâneas do município de Novo Horizonte/SP, com características físico-hidrogeológicas semelhantes às do presente estudo, relacionados à aplicação da vinhaça nas plantações de cana-de-açúcar; dominam aí sedimentos do Grupo Bauru (Formação Adamantina) sobrepostos ao basalto da Serra Geral. A aplicação da vinhaça em solos de Novo Horizonte solubilizou o

ferro, o alumínio e o manganês da zona não saturada, devido à acidez do efluente, com modificações nas condições de pH do meio. O amônio da aplicação de vinhaça pareceu ser o poluente de maior preocupação (CETESB, 1997).

A produção pecuária também oferece risco em potencial às águas subterrâneas, devido aos excrementos dos animais em pastoreio (ricos em nitrogênio), que, em grande quantidade, constituem uma fonte geradora de nitrato. A CETESB (1977) estimou a quantidade total de N contida no excremento em 60g/cabeça/dia para gado e 30g/cabeça/dia para ovelha.

Os sistemas de saneamento *in situ* constituem uma das principais fontes geradoras de nitrogênio no ambiente, tornando-se motivo de preocupações. Quando este tipo de sistema é construído dentro das normas estabelecidas pela ABNT, torna-se uma rentável solução para instalar sistemas de esgoto, pois são de muito menor custo do que os sistemas convencionais. Nele, são depositados dejetos alimentícios (proteínas carboidratos e gorduras) e dejetos humanos (com alta concentração de uréia), ou seja, fontes eminentes de compostos nitrogenados (VARNIER, 2001). Assim, os tanques construídos fora das especificações necessárias tornam-se uma fonte considerável de nitrogênio, podendo poluir aquíferos que estão menos profundos, tendo sido encontrados vários casos de contaminação no Estado de São Paulo (PACHECO et. al. 1996) e em outros Estados (MELO et. al, 2003).

Ainda em relação aos sistemas de esgoto, pode-se considerar as Lagoas de Efluentes como uma outra fonte significativa de compostos nocivos ao aquífero. Estas são áreas onde os líquidos dos sistemas de esgoto são armazenados, submetidos a procedimentos de sedimentação, oxidação e evaporação. Em sua maioria, a sua base é constituída por materiais naturais, impermeabilizados a um certo grau, por compactação e sedimentação. Mesmo assim, sempre ocorre uma infiltração por volta de 10 a 20mm/d, que, dependendo de sua localização, pode causar a contaminação dos aquíferos (Miller & Scalf, (1974) *apud* FOSTER & HIRATA, 1993).

A periculosidade advinda destas lagoas está também relacionada com as características das cargas líquidas nela depositadas, que são uma função de suas origens, em geral residencial, industrial e mineração. Estes dois últimos são os depositários das substâncias qualitativamente mais danosas, estando ligadas a contaminantes que geralmente estão associados aos processos de produção. Nem sempre o material de impermeabilização

da base permanece por grandes períodos em boas condições, principalmente em lagoas que recebem efluentes com elementos químicos corrosivos.

Outras fontes de origem antrópicas podem ser citadas, podendo resultar do manejo e disposição dos compostos que contêm cargas de nitrogênio em sua formação, incluindo alimentos (matéria orgânica), de uma forma geral. Portanto, as formas de manejo e disposição final destes resíduos tornam-se significativos na presença ou ausência de nitrogênio no ambiente. Este risco está mais presente na disposição em aterros e em céu aberto; quando em aterros, há que se observar critérios de construção apropriados, para evitar poluições (KOIDE et al., 2003); já na deposição em céu aberto, a periculosidade consiste principalmente quando esta ocorre de forma direta no solo, como nos lixões.. Outro fator a se considerar no caso dos lixões é a produção do “chorume” – líquido escuro gerado pela acumulação de resíduos, formado pelo desprendimento da umidade dos compostos orgânicos e pela ação bacteriana, que, devido às reações químicas durante a decomposição dos resíduos, o gera. Este composto, dependendo da sua fonte, pode ocasionar efeitos danosos ao ambiente; por ser de origem orgânica, detém cargas nitrogenadas em sua composição.

Nessa perspectiva, os cemitérios também se tornam fontes potenciais de nitrogênio, devido à liberação de um líquido denominado “necrochorume”, rico em matéria orgânica e, conseqüentemente, com nitrogênio em sua composição. De acordo com SILVA (2004)⁴, em um cadáver adulto decorre, em média, a produção de 30 litros de necrochorume, composto por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, dentre as quais algumas bastante tóxicas, como a putrefina e a cadaverina.

Vários são os estudos demonstrando a influência dos cemitérios na qualidade das águas subterrâneas, dentre os quais o de MATOS (2001), que avaliou a ocorrência e o transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, no município de São Paulo, flagrando a presença de organismos e compostos prejudiciais à saúde humana nas águas subterrâneas localizadas abaixo.

⁴ In: <http://www.geofiscal.eng.br/ceimiterios.htm>

3.3.4 – Riscos à saúde humana causada pela ingestão de águas com altos índices de nitrato.

A ingestão de águas com concentrações de nitrato acima da permissível pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (25 de Março de 2004) pode causar a doença denominada metahemoglobinemia, conhecida popularmente como *baby blue syndrome*, pois causa aparência azulada em crianças doentes.

Em ambientes anaeróbicos, como é o caso do estômago humano, a ocorrência de altas concentrações de nitrato aliada à presença de bactérias provoca a conversão deste para o nitrito. Este, por sua vez, oxida o ferro das hemoglobinas ($\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$), responsável pelo transporte do oxigênio pela corrente sanguínea, causando a metahemoglobina, incapacitando o transporte de O_2 para os tecidos do corpo, provocando a doença.

A metahemoglobinemia é justamente o acúmulo de metahemoglobina no sangue, provocando quedas respiratórias, cianose (mucosas azuladas), diapnéia (alteração na frequência respiratória), falta de ar, desmaios, podendo levar a óbito em casos muito agudos. O tratamento é relativamente simples, mediante oxigenação e solução intravenosa de azul de metileno a 1%. Casos de abortos espontâneos e má formação do feto também podem estar relacionados ao consumo de água com altas concentrações de nitrato (VARNIER, 2001).

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 consumiam águas cujas concentrações excederam a 25 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$. No Brasil não existem dados efetivos sobre estes tipos de doenças, mas acredita-se que isso se deva à falta de diagnóstico e a falhas de notificação de órgãos públicos competentes, e não, simplesmente, pela inexistência destas, pelo fato de comprovações empíricas do consumo de águas com altos índices de nitrato em várias localidades (VARNIER, 2001).

Problemas relacionados à sanidade e produtividade de animais são outros potenciais efeitos da *metahemoglobinemia*; no entanto, são raros os quadros de intoxicação deste tipo, sendo mais comum 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 (VARNIER, 2001).

CAPÍTULO 4 - VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE NITRATO.

4.1 – METODOLOGIA UTILIZADA.

Tendo em conta que aquíferos muito contaminados não podem ser recuperados, ressalta-se a necessidade da verificação da influência dos tipos de ocupação sobre o aquífero, pela realização de análises que façam transparecer a presença de compostos nas águas subterrâneas acima dos padrões aceitáveis pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (25 de Março de 2004). Há que se obter informações sobre os tipos de fontes que geram riscos, mediante estudos de planejamento que possam monitorar as formas de ocupação, com vistas à não proliferação das contaminações e de suas conseqüências para a saúde da população.

Nessa perspectiva, foram realizadas coletas e análises de nitrato no aquífero livre da área urbana do município de Pereira Barreto. A escolha pelo nitrato levou em conta a relativa facilidade do método, o baixo custo financeiro para a realização dessas análises e, principalmente, pela habilidade de este constituinte poder demonstrar as nefastas influências da ocupação no aquífero.

Dos antigos poços instalados pela CESP e pelo IPT, para estudos de litologia e de ensaios hidrodinâmicos e modelagem de fluxo subterrâneo, foram selecionados 22 perfurações para estudos adicionais de monitoramento do nível freático dentro da área urbana até o ano de 2005, para observar possíveis variações da dinâmica de estabilização do aquífero freático. Alguns desses poços foram danificados, restando 15 dentro da área urbana. Este monitoramento, assim como a manutenção dos poços, ficou ao encargo do Laboratório de Engenharia da CESP de Ilha Solteira, com frequência mensal. Esse Laboratório autorizou o uso destes instrumentos para coleta de amostras das águas subterrâneas, para as de análises de nitrato, a partir do deferimento do seu Diretor - o Eng^o Wanderley Ognebene.

O aproveitamento desses poços de monitoramento foi um dos fatores a delimitar as possibilidades de análises da área urbana. Foram também feitas análises em poços mais profundos nos quais o consumo comunitário é mais intenso. A dificuldade de dispêndio de recursos financeiros para a realização das perfurações e instalação dos poços, ou para a compra dos materiais para a realização das análises (reagentes, frascos etc), foi o outro fator considerado para manter as análises dentro da área urbana.

Os poços de monitoramento têm uma profundidade média de 20 metros, dispostos em câmaras simples, compreendidos por tubos de PVC com ¾” de diâmetro e 1 m da porção inferior ranhurada. O espaço anular entre o PVC e as paredes dos furos foi preenchido por cascalho, e na sua porção superior (0 a 0,5m de profundidade) foi efetuada cimentação (IPT, 1989). As representações esquemáticas dos poços estão dispostas no ANEXO 1.

Os períodos para a realização das coletas foram determinados considerando o histórico pluviométrico da área (GARCIA JUNIOR, 2003). Sendo assim, foram estabelecidos 4 períodos distribuídos sazonalmente: Janeiro (mais chuvoso) seguido por Abril, depois Julho (mês mais seco) e finalmente e Outubro, tendo em conta que a pluviometria constitui uma diferenciação na quantidade da recarga no sistema hidrogeológico; assim, os quatro períodos permite demonstrar as diferentes quantidades de água no aquífero.

4.1.1 – Fontes de Nitrogênio no Município.

Apesar de serem diversas as potenciais fontes de nitrogênio geradas pelo homem, decidiu-se localizar as mais comuns na área urbana do Município, procurando relacionar o tipo da fonte e sua localização, com os resultados das análises de nitrato efetuadas nas águas do aquífero livre.

Pelo fato de Pereira Barreto ser uma cidade de pequeno porte, sem a presença de indústrias ou de uma agricultura intensiva (preponderando a pecuária), não apresenta grandes fontes fornecedoras de compostos nitrogenados dentro da área urbana. Destacam-se as presenças de um cemitério, de fossas sépticas e de pequenas hortas adubadas com esterco animal ou com fertilizantes químicos (NPK), como possíveis fontes. No entanto, estas hortas são, na maioria, de utilização doméstica e comunitária (escolas, creches, APAE etc), de difícil registro e previsão quantitativa.

O cemitério localiza-se na porção oeste da área urbana, podendo estar fornecendo vários tipos de compostos, de acordo com MATOS (2001); dentre estes, cargas de nitrogênio, podem atingir o aquífero livre. Convém ressaltar que o cemitério municipal localiza-se nas proximidades da represa do lago da UHE Três Irmãos, e que aí o IPT realizou estudos para avaliação dos efeitos que a represa iria aí causar, tendo previsto possíveis afogamentos de covas (IPT, 1992), que, entretanto, não ocorreram. Todavia, sua localização e proximidade do lençol freático

próximo à superfície (cerca de 8 á 15) metros, possivelmente possa estar fornecendo cargas de nitrogênio/nitrato ao aquífero.

O Município, de acordo com informações colhidas junto ao Sistema de Saneamento de Água e Esgoto (SAAE) municipal, detém grande parte da área urbana abastecida pelo sistema de água e esgoto, restando apenas as propriedades localizadas no entorno da área urbana (chácaras etc) e no parque industrial no extremo norte. Nestes termos, a área urbana estaria, em sua quase totalidade, isenta de problemas relacionados aos saneamentos *in situ*, mas há de considerar que, nas áreas periféricas os atuais sistemas de esgoto são de caráter relativamente recente; apesar de não serem mais utilizadas, as antigas fossas podem ainda estar fornecendo cargas de nitrogênio ao subsolo, causando uma acumulação de nitrato passível de ser lixiviado.

Pequenas atividades agrícolas (hortas, plantações etc) são encontradas em algumas escolas, na APAE e em outros terrenos, mas, por serem de caráter isolado e de baixas proporções de área, dificilmente estariam oferecendo riscos consideráveis. Ainda assim, devem ser feitas ressalvas para áreas nos quais o aquífero seja aflorante ou esteja a baixas profundidades, passíveis de receber influências da superfície.

4.1.2 – Metodologia de coleta, análise e interpretação das amostras.

Para as coletas são recomendadas normas estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), que requerem o esgotamento e retirada de água correspondente a 3 volumes do poço, partindo do princípio de que a água estagnada dentro do poço possa conter influência do encanamento de PVC, de insetos etc, modificando as reais características qualitativas das águas do aquífero. Entretanto, foram encontrados diversos problemas para o desenvolvimento desta metodologia.

Para isso, necessita-se uma bomba com grande capacidade de sucção, de elevado custo e de dificuldade de manuseio. Além disso, as características dos poços de monitoramento – diâmetro ¾” – não tornam possível a utilização deste tipo de bomba. Acresça-se a isso o problema da energia elétrica, nem sempre disponível nos locais de coleta.

Diante disso, pensou-se no uso de bombas externas para a realização da sucção, ou ainda de compressores para a retirada da água estagnada. Entretanto, esses tipos de bombas funcionam, em sua maioria, sob pressão atmosférica (sucção de 7m de altura). Porém os poços

têm profundidades médias de 20 metros, e estes tipos de bomba não serviriam, pois, para esgotá-los. Poderiam ainda ser encontradas bombas externas maiores, capazes de cumprir tal objetivo, mas estas apresentariam inconveniências de serem de difícil manuseio e transporte (tamanho/peso), requerendo também recursos financeiros não disponíveis para a sua obtenção.

Preferiu-se, então, realizar a coletas das amostras sem a realização do esgotamento do poço, estabelecendo-se, de antemão, ressalvas com relação aos resultados, pelo não cumprimento integral das normas da USEPA. Entretanto, eles possibilitaram, ao menos, detectar a influência da superfície sobre o aquífero, revelando, um caráter relativo, mas sem o risco de mascarar possíveis áreas contaminadas, ou, contrariamente, de revelarem altas concentrações em locais não contaminados, sem fugir aos objetivos do trabalho.

As coletas foram realizadas utilizando como material uma mangueira de borracha convencional de 30 metros de comprimento, com uma rolha amarrada em um cordão e garrafas plásticas para o armazenamento das amostras. Assim, um pedaço da mangueira com cerca de 30 centímetros foi cortado e vedado numa das extremidades, para ser utilizado como um 'bailer'⁵ (equipamento de forma cilíndrica e oca utilizado em coletas de águas subterrâneas), que foi amarrado ao restante da mangueira com espaçamento de 25 centímetros. A rolha foi moldada de forma a vedar totalmente a outra extremidade do *bailer*, a qual foi amarrada a um cordão com o comprimento total da mangueira.

Apesar da incapacidade de se realizar o esgotamento dos poços, foram tentados procedimentos que coletassem as águas menos estagnadas dentro do poço. Para tanto, seria necessário coletar as águas encontradas no fundo, onde se encontram as ranhuras, locais onde, supostamente, a movimentação e o fluxo são mais atuantes. Vedou-se, então, o *bailer* com a rolha amarrada ao cordão, inserindo-se-o no poço empurrado pela mangueira até atingir o fundo; puxando-se em seguida a corda onde estava amarrada a rolha, deixando entrar a água contida na zona ranhurada do poço.

Este procedimento foi testado em um tanque de água, para a verificação de possíveis entradas de águas mais superficiais dentro do *bailer*, durante sua inserção no poço. A rolha e o *bailer* foram devidamente lavados com água destilada, após a coleta de cada poço, para se evitar

⁵ O pedaço de mangueira cortado e vedado será chamado de *bailer* para facilitar o desenvolvimento da argumentação e compreensão.

uma possível contaminação das amostras pelas águas dos diferentes locais, ou por outros possíveis elementos.

Por problemas técnicos, aparecerá lacuna nos resultados análises de alguns poços, demonstrando a não realização da análise, devido a eventualidades ocorrentes durante o processo de coleta e transporte das amostras, ocorrendo perdas, ou, em alguns casos, devido à inacessibilidade dos poços localizados em locais privados, podendo estes estarem fechados durante as etapas de coleta.

O material coletado foi passado em filtro simples, para a retirada do excesso de sedimentos contidos nas amostras. De acordo com os padrões estabelecidos pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater*, as análises devem ser realizadas com intervalo máximo de 48 horas depois da coleta; por isso, estas foram feitas após 1 dia, com exceção do mês de Outubro/03, que, devido a problemas na realização das análises, demorou cerca de 50 horas, o que pode ter influenciado os resultados das análises.

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP e no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira/SP, seguindo os critérios adotados pela Standard Methods, a partir do método de espectrofotometria de UV visível, pelo aparelho Espectrofotômetro DR/2010 na faixa leitura de 400 nanômetros. O reagente utilizado foi 'Nitriver 5 Nitrate Reagent' para amostras de 25 ml.

Dependendo da quantidade de nitrato contido na amostra, o aparelho não permitiu uma aferição; estando acima (alta concentração de NO_3) da faixa de leitura, aquela varia de acordo com o tipo e modelo do aparelho. Nestes casos, recomenda-se a diluição destas amostras em água destilada. Assim, prevendo possíveis altas concentrações, diluíram-se as amostras em 5 vezes (5 ml de amostras diluído em 20 ml de água destilada); em determinados casos foi necessária a diluição em 25 vezes.

Em seguida, adicionou-se o reagente nas amostras, agitando-se por 1 minuto e descansando 5 minutos; com esse procedimento, as amostras adquirem coloração amarelada, variando de intensidade em congruência às concentrações de nitrato. O registro dessa diferenciação colorimétrica foi feita pelo aparelho, demonstrando os índices numéricos em mg/L de nitrato na amostra.

Há que ressaltar que os poços utilizados para coleta já estavam instalados em pontos objetivados para o monitoramento do nível freático, não tendo sido possível localizá-los em pontos estratégicos que possibilitariam uma melhor relação uso e ocupação/índice de nitrato. No entanto, na tentativa de entender as variações dos resultados durante o decorrer dos períodos de coleta e análise, estes foram correlacionados com a profundidade do nível freático⁶ e com o tipo de ocupação superficial. A primeira correlação considera que, pela diferença da profundidade no aquífero, transparecerá o volume de água dentro do sistema (variando de acordo com a recarga – chuva), podendo estar influenciando nas concentrações dos índices de nitrato, pela sua diluição ou concentração na quantidade de água nos diferentes períodos. Estas correlações estão dispostas em gráficos apresentados no ANEXO 2.

A forma de ocupação é fator preponderante para a verificação da influência da superfície na qualidade das águas do aquífero livre, pois, dependendo de ela estar presente ou ser pretérita, cargas de nitrogênio podem estar sendo armazenadas ou inseridas no subsolo, sendo passível de serem transportadas pela água e de atingirem o aquífero. Descreveram-se as áreas onde estão localizados os poços de coleta, ressaltando a presença de fontes nitrogenadas, deflagrando uma possível influência da relação superfície/aquífero nos resultados das análises de nitrato.

Pelos motivos expostos, as interpretações efetuadas apresentam um caráter relativo, uma vez que inúmeros fatores são responsáveis pelas diferenciações de concentrações, sendo muitos destes de difícil mensuração (ex. processos de lixiviação). No entanto, na tentativa de entender as variações apresentadas, preferiu-se adotar essas duas relações como possibilidade de representação e entendimento dos resultados. Ressalta-se ainda que, apesar de se ter levado em consideração a variação pluviométrica local nos períodos e, conseqüentemente, a entrada de água dentro do sistema (recarga), não foi possível traçar tendências da evolução das concentrações do nitrato; para tanto, seria necessária a realização de mais análises, com períodos de coletas mais freqüentes.

⁶ Esses dados foram obtidos no Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP. Estes dados são referentes ao ano de realização das coletas.

4.1.3 – Locais de Amostragem (FIGURA 4.1)

N.A. 1 – ponto UTM 0489730,00E, 7717317,00N.

Este poço está localizado dentro do Departamento de Estradas de Rodagem do município (D. E. R), não contando superficialmente com nenhuma fonte de compostos nitrogenados; nas proximidades ocorrem áreas de manutenção de máquinas pesadas, cujo tipo de uso pode ser classificado como potencialmente poluidor, em função do despejo de combustíveis e óleos, embora sem nitrogênio em sua composição.

Observa-se pela, foto 4.1 (canto esquerdo) a presença de uma caixa de esgoto, que por vazamento, pode estar fornecendo cargas orgânicas ao subsolo, que podem conter compostos de nitrogênio e que podem adicionar certas quantias de nitrato no aquífero subjacente.

N. A. 2 – ponto UTM 0487995.00E, 7716472.00N.

Esta área era ocupada pela construção da Cerâmica J.C de Oliveira, que foi posteriormente destruída, estando atualmente ocupada com gramíneas, com eventual pastoreio de animais. Por encontrar-se na periferia, pode deter acúmulo de nitrogênio no solo, pois, o sistema de esgoto foi implantado há pouco tempo, podendo o subsolo deter cargas que possam, pela infiltração, atingir o aquífero. No entanto, a profundidade do nível d'água pode influir nos resultados, podendo apresentar baixas concentrações.

N. A. 3 – ponto UTM 0488017.00E, 7717144.00N.

Localizado nas proximidades da Cooperativa Agrícola, na borda oeste do Município, onde funcionava o posto de combustível Tiête (atualmente desativado). Como no caso do N. A.1, a presença deste não influi na quantidade de nitrogênio no subsolo. No entanto, por estar localizado próximo à represa, aliado à conseqüente baixa profundidade do nível freático, neste local o aquífero é mais susceptível de receber influência da superfície ou sub-superfície (ex: perdas da rede de esgoto).

N. A. 5 – ponto UTM 488163.00E, 7717152.00N.

Instalado ao lado do Posto de Combustível Pinheiros, este poço está localizado em um terreno ocupado com plantio de milho. Para este tipo de cultura, usualmente se necessita uma adição de nutrientes no solo, normalmente com emprego de fórmulas NPK⁷. A aplicação de nitrogênio no solo, aliada aos altos índices pluviométricos da região (processos lixiviatórios atuantes), potencializa este local a sofrer influência deste tipo de ocupação.

N. A. 7 – ponto UTM 488726.00E, 7716967.00N.

Encontra-se nas dependências do antigo Laticínio Nestlé (atualmente desativado), que é um dos pontos que detêm mais baixos potenciais de contaminação por nitrato, pela inexistência de fontes nitrogenadas (cultivo agrícola, fossas sépticas e negras atuais ou pretéritas), e pela sua localização topográfica, em cotas elevadas, com maiores profundidades do nível freático, ou seja, como menores possibilidades de receber influência de perdas na rede de esgoto.



Foto 4.1 – Departamento de Estradas de Rodagem (D. E. R) – Poço de monitoramento nº1 (N.A. 1)

⁷ As conseqüências da fórmula NPK nas águas subterrâneas serão mais bem descritas no Capítulo 6.

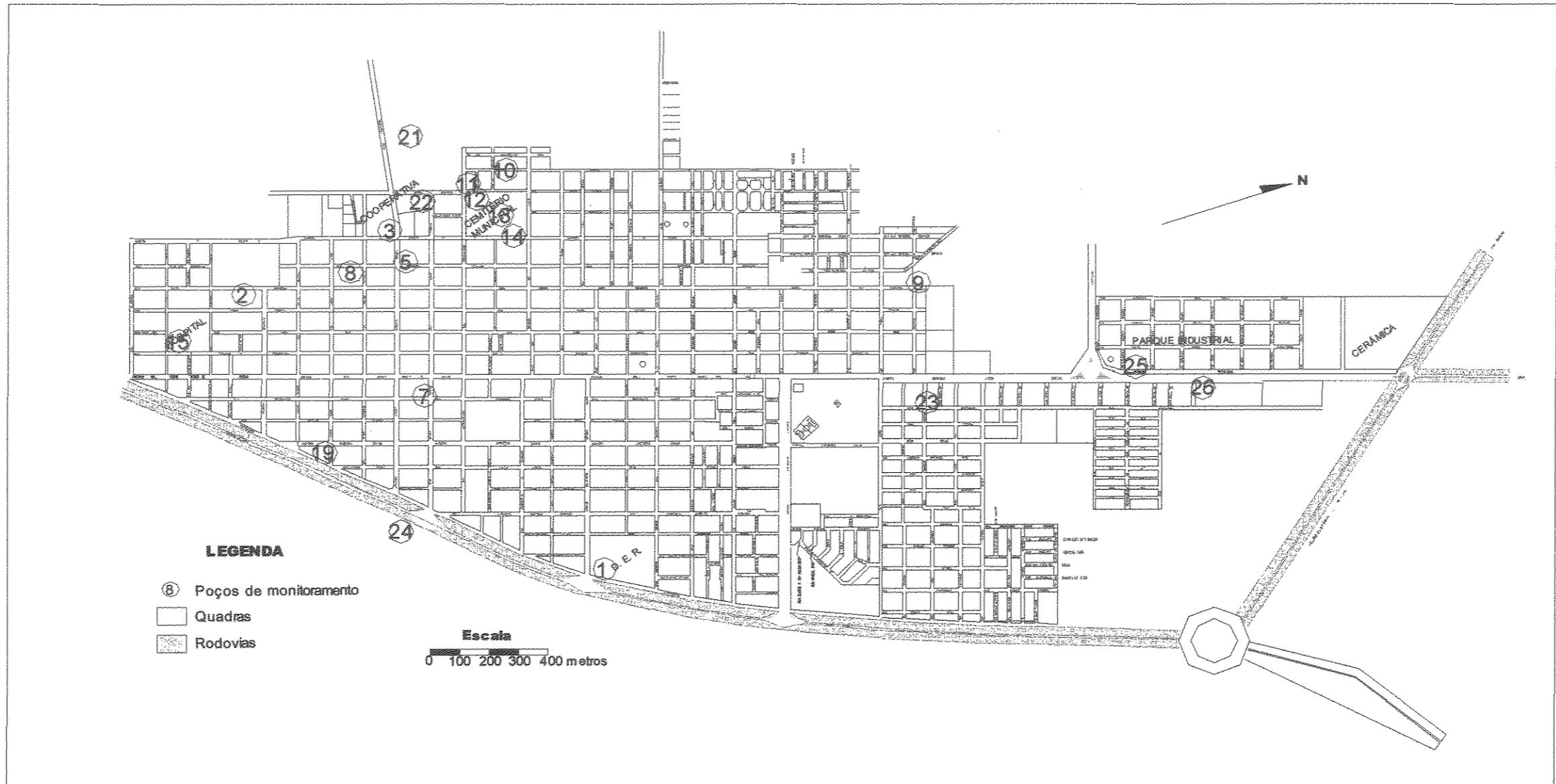
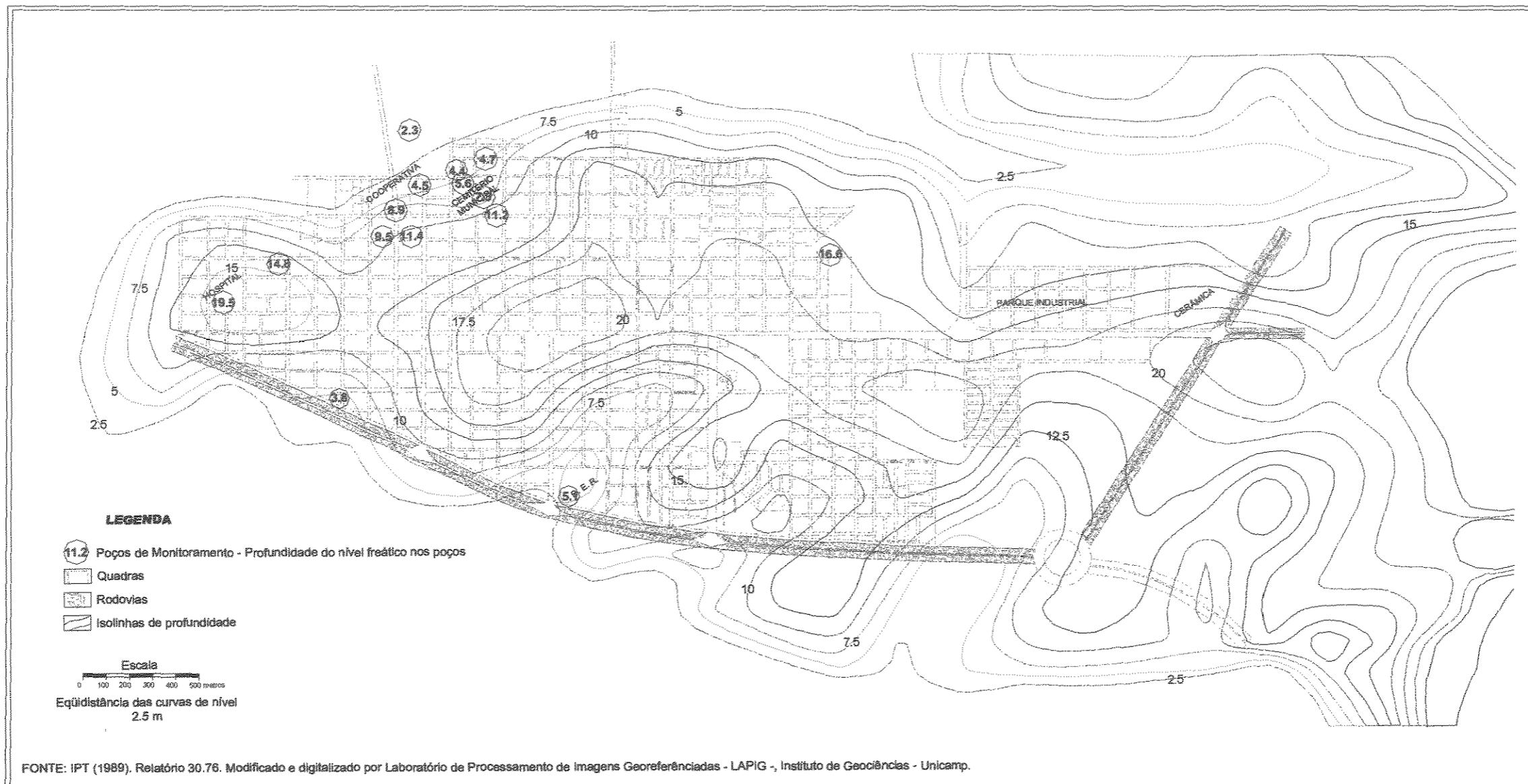


FIGURA 4.1 – Localização dos poços onde foram realizadas as coletas na área urbana do município de PB.



FONTE: IPT (1989). Relatório 30.76. Modificado e digitalizado por Laboratório de Processamento de Imagens Georeferenciadas - LAPIG -, Instituto de Geociências - Unicamp.

Figura 4.2 – Profundidade média do nível d’água nos poços de monitoramento.

N. A. 8 – ponto UTM 488090.00E, 7716930.00N.

Localizado dentro da Associação Cultural e Esportiva Pereirabarretense (ACEP) – administrado pela colônia japonesa do Município, com baixo potencial de contaminação por nitrato, pela ausência das mesmas fontes descritas no poço N. A.7.

N. A. 9 – ponto UTM 489173.00E, 7719044.00N.

Este poço está localizado dentro dos limites da Escola Estadual Maria Elza. Apesar de estar em uma área ausente de fontes potenciais de nitrogênio, e as fossas soterradas não oferecerem muito perigo, devido a maior profundidade do nível freático, os índices de nitrato podem ser elevadas, pelo fato de as amostras conterem uma grande carga de sedimentos, escurecendo-as. Apesar de se ter filtrado as amostras, estas não perderam muito a cor. Como a leitura do aparelho é feita por diferenciação na intensidade das cores da amostra, possivelmente os índices estão alterados, mostrando maiores valores do que os reais.

N. A. 10 – ponto UTM 487982.00E, 7717685.00N.

Este é um dos poços que possivelmente revelará altas concentrações de nitrato, pelo fato de estar na área de influência do cemitério, além da baixa profundidade do aquífero, devido à proximidade da represa e por estar em áreas que possivelmente detenham cargas nitrogenadas no subsolo (fossas soterradas).

N. A. 11 – ponto UTM 487971.00E, 7717522.00N.

Apresentando as mesmas características do poço anterior, este possivelmente apresentará concentrações elevadas de nitrato, com o agravante da criação de aves no local onde está instalado o instrumento, adicionando cargas nitrogenadas ao solo, pelos excrementos animais.

N. A. 12 – ponto UTM 488032.00E, 7717524.00N.

Este poço está localizado no cemitério, possivelmente com altas concentrações de nitrato, devidas à intensa carga nitrogenada adicionada ao subsolo na decomposição dos cadáveres (foto 4.2).

N. A. 19 – ponto UTM 488766.00E, 7716486.00N.

Este poço está localizado no corredor externo de uma residência domiciliar, no extremo leste da área urbana. Apesar da ausência de fontes contaminantes visíveis, esta área possivelmente detém cargas nitrogenadas no subsolo (fossas soterradas); devido à baixa profundidade do nível freático, pode ser que contenha altos índices de nitrato.

N. A. 21 – ponto UTM 487742.00E, 7717306.00N.

Localizado a 20 metros da represa, onde se encontrava anteriormente a Creche Municipal ‘Menino Jesus’, este poço provavelmente deve conter altos índices, pois, devido à baixa profundidade, qualquer tipo de carga nitrogenada exposta em superfície poderá facilmente atingir o aquífero, principalmente porque a utilização atual do solo (gramínea) possibilita o pastoreio.

N. A. 22 – ponto UTM 487947.00E, 7717331.00N.

Está localizado dentro da Associação dos Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE), nas proximidades de horta. Seguindo o exemplo do ocorrente no poço 15 a, inserção de adubos orgânicos possivelmente influencia a qualidade das águas subsuperficiais, com o agravante da baixa profundidade do nível freático.

POÇOS Nº 23, 24, 25 e 26 – Estes são os poços de abastecimento comunitário, apresentando similaridades nas características. Todos estão localizados em áreas ainda não servidas com o sistema de esgoto, sendo a forma de saneamento *in situ* a predominante. No entanto, a captação é feita em maiores profundidades, o que leva a esperar concentrações aceitáveis de nitrato.

4.2 - RESULTADO E INTERPRETAÇÃO DAS ANÁLISES DE NITRATO.

A tendência exposta anteriormente, pressupondo altas concentrações de nitrato nos poços, foi confirmada pelos resultados das análises, apresentando majoritariamente valores mais elevados do que os determinados pela Portaria 518 (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Resultados das análises de nitrato do aquífero livre de Pereira Barreto.

Pontos	N-NO ₃ (mg/l)			
	Julho	Outubro	Janeiro	Abril
1 – D.E.R.	3	0,5	3,7	2,9
2 – Cerâmica J.C. Da Silva.	4	0,0	4,2	5,9
3 – Cooperativa Agrícola	8	3	2,3	1
5 – Posto Pinheiro	15	10	17,8	22,2
7 – Pátio Da Nestlé	1	1	2	-
8 – Acep	2,5	1	1	0,9
9 – E.E.P.G. Maria Elza	16	12,5	-	21,9
10 – Av. Brasília 1724	13	12	16	22,6
11 – R. Santa Catarina 1657.	17,5	17,5	18,4	20,2
12 – Cemitério	13	13,5	18,3	21
13 – Cemitério	21,5	25,5	17,5	32
14 – Cemitério	11	16,5	15,4	22,4
15 – Hospital	13	5	9,5	-
19 – Rua Bahia 1712	3,5	1,5	0,7	1,5
21 – Creche	3,5	6	7,11	9,9
22 – Apae	37,5	13	35	57,7
23 – Poço Carlão	2	3	2,8	3,6
24 – Poço Mazinho	3,5	0,5	-	-
25 – Asilo (Lar Dos Velhos).	1	2	0,5	1,8
26 – Concessionária Gatti	2	1,5	-	-
27 – Clube Atlético Veteranos	2,5	1	-	-

Pelos resultados apresentados na Tabela 4.1, observa-se que as concentrações encontradas acima dos padrões aceitos pela Portaria 518, estão diretamente ligadas com as formas de ocupação superficial, e que, apesar da existência destes pontos, a maioria dos poços analisados estão condizentes com os padrões de potabilidade adotado. No entanto, pela falta de análises distribuídas homogêneas, não se poderá generalizar esta relação (ocupação / nitrato) para a toda área urbana do Município.

4.2.1 – Relação – Ocupação X Nitrato (NO₃).

Da mesma forma que observado por MELO et al.(2003), altas concentrações de nitrato possivelmente estão relacionadas à densidade da ocupação urbana, como demonstram os resultados apresentados na Tabela 4.1. Além disso, não apenas a densidade, mas, também, o tipo de ocupação potencializa uma área como sendo de maior ou menor susceptibilidade. Assim, os valores encontrados condizem com o tipo de ocupação, ressaltando os poços 10, 11, 12, 13 e 14, confirmando a iminente influência do cemitério na qualidade das águas subterrâneas, demonstrando a relação tipo de ocupação superficial/concentrações de nitrato. Assim, apesar de os poços 10 e 11 não estarem nos limites físicos do cemitério, observa-se que a carga de nitrogênio subsuperficial liberada ao ambiente pela decomposição dos corpos, pode atingir, dependendo das características físicas do ambiente e do contaminante, áreas vizinhas à sua fonte. Migliorini (1994) e Pequeno Marinho (1998) *apud* MATOS (2001), também encontraram concentrações elevadas de nitrato nas águas subterrâneas dos cemitérios de Vila Formosa em São Paulo e de São João Batista em Fortaleza.

MATOS (2001) realizou coletas e análises de nitrato em alguns poços no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, no município de São Paulo, e os resultados por ele observados revelam similaridades (em 2 poços) com os encontradas no presente trabalho nos poços 12 e 13, em relação às profundidades de coleta e concentrações de nitrato. Os quatro poços em questão estão localizados nas proximidades das sepulturas e, tanto no primeiro, como no segundo caso, as profundidades de coleta estão abaixo dos 8 metros de profundidade, apresentando concentrações variando de 11,56 a 21,62 nos poços do cemitério Vila Cachoeirinha e de 11 a 25,5 em Pereira Barreto. MATOS (2001) esperava concentrações mais elevadas de nitrogênio, atribuindo os “baixos” valores à ausência de análises de compostos nitrogenados menos oxidados como nitrogênio orgânico, amônia (NH₃) e amônio (NH₄⁺). Também foi encontrada, em análises bacteriológicas, a presença de microorganismos nocivos (bactérias) nas águas subjacentes a esse cemitério, que também podem estar presentes nas águas subterrâneas do cemitério de Pereira Barreto, visto às similaridades encontradas entre os trabalhos. Entretanto, essas generalizações necessitam de verificações e análises específicas.

Da mesma forma, conforme previsto, os poços 7 e 8 (situados no Laticínio Nestlé e ACEP) são os que apresentaram menores índices (considerando os 4 períodos), possivelmente pela ausência de cargas nitrogenadas na superfície e subsuperfície, ressaltando que a influência do uso superficial está também ligado ao tipo de uso e ocupação, e não, necessariamente, apenas à densidade populacional (MELO et al.,2003).

Alguns poços apresentaram valores maiores do que o esperado, como é o caso do poço de monitoramento 22; contrariamente, o poço 19 apresentou concentrações mais baixas do que o esperado. No primeiro caso, principalmente no mês de abril, provavelmente, os altos valores foram ocasionados pela proximidade entre a produção agrícola (horta) e o poço, aliando-se à baixa profundidade local do nível freático, ou seja, pela freqüente inserção de compostos de nitrogênio, uma vez que esta horta abastece interinamente a APAE, causando a adição em superfície e armazenamento de nitrogênio em subsuperfície. No segundo caso, apesar de estar localizado na periferia, a carga de nitrogênio na superfície e em subsuperfície provavelmente seja baixa, não proporcionando quantidades suficientes para elevar as concentrações a patamares impróprios.

Em relação aos poços de abastecimento comunitário, observa-se que todos apresentaram valores condizentes ao consumo humano.

4.2.2 – Relação – Profundidade do Nível d'água X Nitrato (NO₃). (ANEXO 2)

Observa-se que os poços que detém altas concentrações de nitrato são os que apresentam profundidades menores que 12 metros, pela maior susceptibilidade de o aquífero receber, nestas profundidades, influência superficial ou subsuperficial da ocupação. Essa tendência, no entanto, não se verifica nos poços 09 e 15. No primeiro caso, por apresentar grandes cargas de sedimentos (amostra escura), os resultado das concentrações podem estar alteradas. No segundo, a presença de hortaliças nas proximidades do poço de coleta pode ter influído nestes resultados, pela inserção de cargas nitrogenadas em superfície (fertilizantes ou adubos orgânicos), em períodos não condizentes com as variações do nível d'água, podendo ter elevado as concentrações destes no aquífero.

A partir da relação proposta, a hipótese estabelecida (variações nas concentrações de nitrato relacionadas com a diluição deste, pela maior ou menor quantidade de água dentro do sistema de aquífero), não foi confirmada para todos os poços.

Certas facetas desta hipótese foram observadas em alguns poços, porém, não de forma plena, pois apresentam valores disparem em determinados meses, que a contrariam. Assim, os poços 13, 14 e 21 apresentam concentrações condizentes com a quantidade de água, exceto no primeiro e segundo caso, pelo mês de janeiro, que tenderiam a estar com valores maiores que outubro, pelo aumento da profundidade do nível d'água, e, no terceiro caso, devido ao mês de abril, que deveria estar com concentrações menores do que em janeiro. Esses resultados esporádicos podem estar relacionados ao tipo de ocupação superficial, já que no poço 14 a presença do cemitério em superfície pode, dependendo da recarga, lixiviar as cargas nitrogenadas presentes no subsolo, aumentando as concentrações de nitrato; já o poço 21, por estar muito próximo da superfície, torna-se mais susceptível de receber influências superficiais. VARNIER (2001) encontrou variações parecidas, relacionadas, no entanto, com os períodos de seca e chuva, apresentando concentrações majoritariamente mais elevadas nos períodos de seca. Da mesma forma que no presente trabalho, a autora encontrou grandes variações nas concentrações de nitrato (de 167,7 a 1,46 mg/L), atribuindo estes às fontes de origem (fossas sépticas), localizadas nas proximidades dos poços de coleta, e às diferenças na recarga durante o ano.

Entretanto, foram observados nos poços 3, 10, 11, 12 e 19 resultados contrários à hipótese aventada, apresentando concentrações de nitrato em congruência contrária, ou seja, as concentrações aumentando com a diminuição da profundidade do nível d'água (maior quantidade de água dentro do sistema). Mas, da mesma forma que os poços anteriores, ocorrem nestes concentrações disparem em relação aos resultados dos outros meses. Em relação a estes, foram encontrados resultados similares em ESPINDOLA (2001), no município de Itaquaquecetuba/SP. Os períodos de coletas e análises de nitrato feitas por este autor, assemelham-se com as do presente trabalho, porém com coletas em apenas 3 períodos: nos meses de março, junho e setembro, ou seja, um mês antes das coletas realizadas no presente trabalho, com ausência do período referente ao mês de janeiro. Foram também encontradas, em alguns poços, concentrações acima dos padrões aceitáveis pela Portaria 518. As maiores similaridades estão relacionadas aos valores encontrados nos diferentes períodos de coleta e análise. Assim, da mesma forma que os resultados apresentados neste trabalho, as maiores concentrações, foram, em sua maioria,

observados no mês de março (mês chuvoso), onde, possivelmente, o nível estático estaria em patamares mais elevados (devido a recarga mais pronunciada nestes períodos), e os menores valores, em maioria, no mês de junho (mês seco). As variações, de acordo com o autor, deveriam-se ao tipo de ocupação superficial e pela diminuição do oxigênio dissolvido na água, tornando o nitrato instável neste tipo de ambientes.

Outra peculiaridade é observada no poço 19, que, apesar da pouca variação piezométrica, mostrou diferenciações consideráveis nas concentrações de nitrato, que pode ser atribuído à pequena profundidade do nível d'água neste poço (os menores medidos). Por estar em situação de sub afloramento, é susceptível de receber influências variadas da superfície, podendo ocorrer por fontes múltiplas e localizadas de nitrogênio, ou seja, esta variação pode estar relacionada a qualquer fato ou evento que tenha inserido esse tipo de carga na superfície.

O poço 5 apresenta resultados alheios aos restantes, observando significativas variações nos dois primeiros períodos em relação aos dois últimos. Assim, primeiramente as concentrações diminuem em conformidade com a diminuição da profundidade do nível d'água (julho-abril). No entanto, observa-se tendência contrária nos dois últimos meses, aumentando as concentrações conforme diminui a profundidade. Esses resultados podem estar, possivelmente, relacionados à ocupação superficial com a cultura de milho. A adição de fertilizantes no solo pode estar influenciando preponderantemente nas concentrações, com a adição de cargas nitrogenadas no solo e, pela atuação dos processos de lixiviação, esta pode estar atingindo o aquífero, elevando as concentrações.

A interpretação dos gráficos dos poços 1, 2, 3 e 8 não possibilitou estabelecer as causas das variações no nitrato, pela não congruência entre estas e o volume d'água no aquífero. No primeiro caso, a concentração diminui quando a profundidade do nível d'água está em patamares mais baixos (outubro), aumentando consideravelmente no mês de janeiro; posteriormente, quando se aumenta o volume d'água no aquífero, as concentrações diminuem. No poço 2 a queda brusca nas concentrações de outubro pode estar relacionada a problemas durante os procedimentos de coleta e análise da amostra; entretanto, nos meses posteriores os volumes de água diminuem, aumentando os índices. A não coerência relaciona-se ao fato de que, nesses dois casos, não foram observadas cargas nitrogenadas aplicadas constantemente em superfície, sendo que eles poderiam advir, possivelmente, de fontes subterrâneas, principalmente no primeiro caso, no qual a presença do sistema de esgoto é notada (Foto 6.1). No terceiro caso, apesar da variação

do nível d'água, os índices apresentaram quedas progressivas, variando de 36 a 4,5mg/L. Finalmente, no poço 8, apesar da variação potenciométrica, ocorre uma pequena variação nas concentrações de nitrato, principalmente nos três últimos meses. As baixas variações nas concentrações deste poço (três últimos meses) devem estar relacionadas à baixa adição de nitrogênio em sub/superfície.

No gráfico do poço 22, a relação não mostra coerência, já que, apesar da pouca variação potenciométrica nos poços, ocorre significativa variação dos índices encontrados. Da mesma forma que o poço 5, a ocupação agrícola superficial pode estar influenciando nas concentrações, mas, mesmo considerando esta interferência, no mês de outubro os valores deste poço não convergem com os resultados dos outros meses, apresentando uma queda significativa nos índices de nitrato.

Apesar dos problemas relacionados às irregularidades de dados, foi observada no gráfico do poço 7 pequena variação na profundidade do nível d'água. Em julho, outubro e novembro não foram feitas as leituras da profundidade, pois nesses meses o local onde está instalado o poço encontrava-se fechado, da mesma forma que no mês de abril não foi realizada a análise laboratorial, ocorrendo a perda desta amostra durante o seu transporte do campo ao laboratório. No entanto, observa-se pouca variação nas concentrações ocorrentes neste poço, não apresentando valores prejudiciais à saúde humana.

Observa-se então que, de uma forma geral a correlação profundidade/nitrato, não apresentou a coerência esperada, já que, em nenhum poço esta relação ocorreu de forma plena. Não se pode assim, desconsiderar os problemas encontrados no processo de coleta, como possíveis influenciador nos resultados, tornando-os, de caráter relativo. Mas ainda acredita-se que, mesmo não encontrando as correlações esperadas, dificilmente esses resultados tenham mascarados de forma significante os valores das concentrações. Entretanto, as adaptações do método de coleta podem ter influenciado os resultados de forma a não possibilitar um entendimento da dinâmica de variação das concentrações, aliado ainda, ao fato de não se ter considerado outros fatores constituintes do meio.

CAPÍTULO 5 – MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE NATURAL DO AQÜÍFERO FREÁTICO.

5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA UTILIZADA.

Em limiares da década de 80, foi desenvolvida para a OPAS (Organização Pan-Americana de Saúde) a metodologia GOD, por FOSTER & HIRATA (1993), que foi utilizada para o mapeamento de vulnerabilidade e risco da poluição das águas subterrâneas do Estado de São Paulo, num trabalho realizado em conjunto pelo IG, CETESB, DAEE e adaptada para condições litológicas cristalinas no mapeamento realizado pelo IG (2002), no município de Campinas/SP. Posteriormente, foram realizados estudos utilizando este método em escalas maiores (1: 50.000), com o objetivo de subsidiar o planejamento de uso e ocupação em escala local: MEAULO (2004), OLIVERIA et. al (2004), MARTINEZ & SILVA (2004), MONTEIRO et. al (2004).

O estabelecimento dos fatores utilizados neste método baseia-se na premissa de acreditar-se que, mesmo com a redução dos dados considerados, este ainda representa, de forma sintética, as principais características idealmente requeridas para o estabelecimento de sua vulnerabilidade natural. Portanto, a vantagem deste método em relação aos outros está na relativa facilidade de obtenção de seus parâmetros. Para estes autores, as variáveis necessárias para o estudo em conjunto, considerando suas interações e o grau de atenuação de um determinado ambiente subterrâneo à contaminação (FIGURA 2), são o Tipo de Aquífero (**G**), Características da zona vadosa (**O**) e camada confinante e a profundidade do aquífero (**D**).

De modo mais detalhado, cada um desses elementos é assim caracterizado:

Groundwater occurrence – Tipo de Aquífero. A determinação do tipo de aquífero vai estabelecer se o aquífero possui (ou não) sobre si uma camada impermeável pela qual dificultará (ou impedirá) que o contaminante o atinja, diminuindo sua vulnerabilidade. No entanto, cabe citar as advertências feitas por FOSTER & HIRATA (1993):

- Uma vulnerabilidade geral para um contaminante universal em um cenário típico de contaminação é um conceito cientificamente inválido.
- Ao final, todos os aquíferos são vulneráveis a contaminantes móveis e persistentes.
- Os aquíferos menos vulneráveis não são facilmente contaminados, mas, uma vez contaminados, são mais difíceis de ser restaurados.

Overall lithology of the unsaturated zone – Características da zona vadosa e camada confinante. A zona não saturada (ou zona vadosa) merece especial atenção, uma vez que representa a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação das águas subterrâneas. Isso se deve tanto por estar entre a fonte contaminante e o aquífero, quanto pelas suas características químicas, físicas e biológicas, que aumentam a capacidade de atenuação e eliminação dos contaminantes. Por isso, é importante o conhecimento sobre o grau de facilidade que a zona não saturada permite à percolação da água de superfície em direção ao aquífero.

Depth to the water table – Profundidade do aquífero. A profundidade está relacionada à inacessibilidade hidráulica de um aquífero, estabelecendo uma relação direta, ou seja, considerando as características da zona vadosa como iguais; quanto mais profundo o aquífero, mais inacessível à contaminação este se apresenta.

A aplicabilidade do método é descrita por HIRATA (1994):

O método empírico engloba sucessivamente três fatores. A primeira fase consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 – 1,0. A segunda fase trata da especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, com a discriminação do grau de consolidação (presença e ausência de permeabilidades secundárias) e das características da granulometria e litologia. Este fator é representado numa escala de 0,3 – 1,0, além de sufixos para os casos de tipos litológicos que apresentam fissuras ou baixa capacidade de atenuação de

contaminantes. A terceira fase é a estimativa da profundidade do nível da água (ou teto do aquífero confinado) numa escala de 0,4 – 1,0. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, expresso em classes numa escala de 0 – 1, em termos relativos. HIRATA (1994). (FIGURA 3.2)

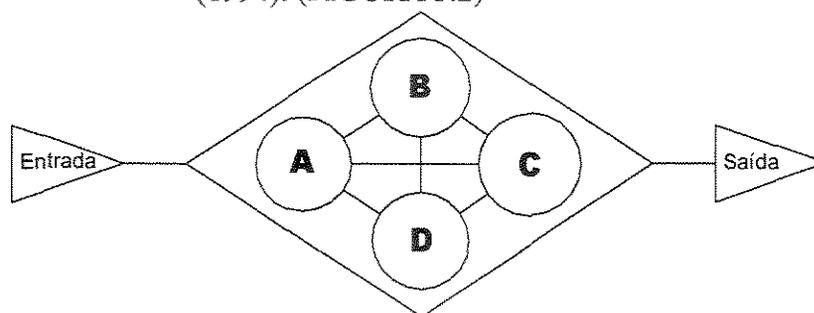


FIGURA 5.1 - Representação Esquemática de um sistema, adaptado de CHRISTOFOLETTI (1979), para o método de FOSTER & HIRATA (1993), sendo A o tipo de aquífero, B – característica da zona vadosa, C – Profundidade do aquífero, D – Característica do poluente; a ENTRADA refere-se à recarga do aquífero e a SAÍDA a descarga.

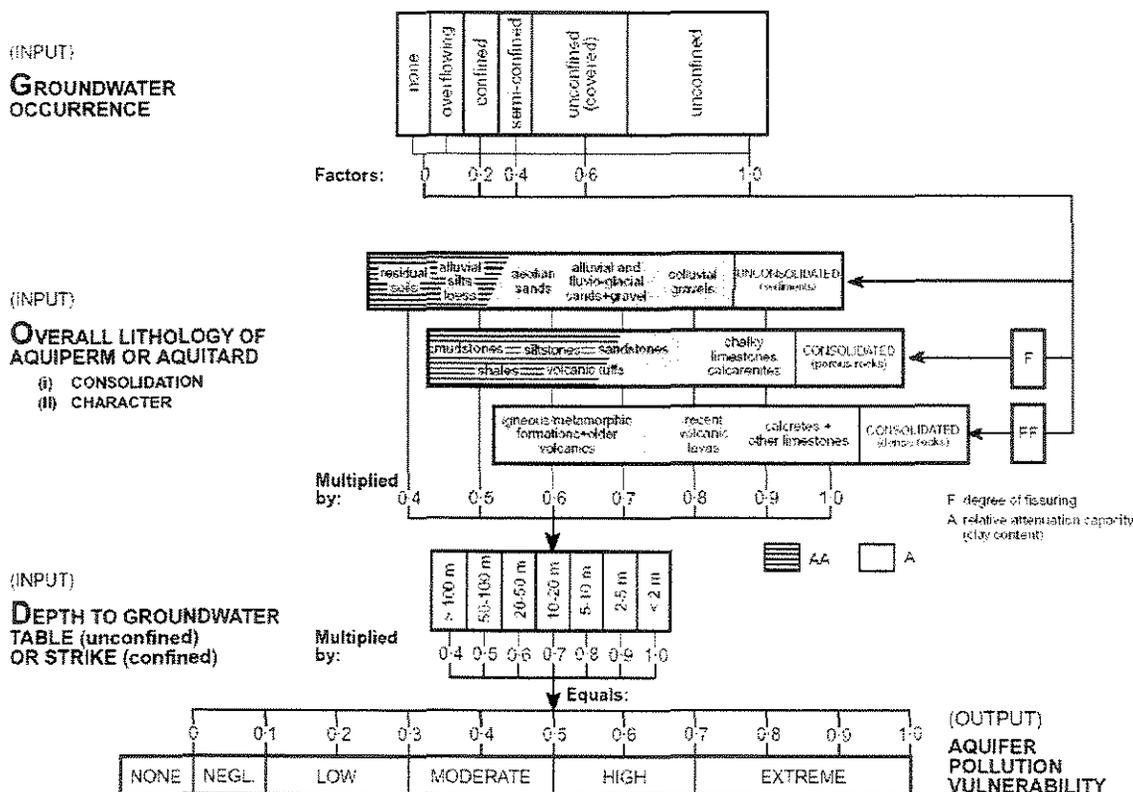


FIGURA 5.2 – Sistema para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero (FOSTER & HIRATA, 1993).

Normalmente, as águas subterrâneas disponíveis são originadas do excesso das chuvas que se infiltram pela superfície, cujo trânsito, até atingir as reservas subterrâneas, pode variar de dias, anos e milênios, dependendo das características da zona vadosa que atenuam a velocidade de infiltração no subsolo. Este grau de habilidade que um determinado solo revela em permitir um fluido (água) percolar está ligado à sua condutividade hidráulica. Em solos de textura mais grosseiras (arenosos) a condutividade hidráulica tende a ser maior, visto que o trânsito tende a ser menos obstruído por camadas impermeabilizadas, que dificultam a percolação da água; estas podem ocorrer, entretanto, também em solos arenosos com camadas menos permeáveis compactadas (com menor condutividade hidráulica). A característica da zona vadosa também pode influir na qualidade das águas que infiltram, pois estão em contato direto com o solo, podendo assumir qualidades químicas e físicas em função das características do meio. Qualquer substância química ou orgânica que esteja contida na superfície ou subsuperfície do solo pode alterar as características e influir na potabilidade das águas da recarga.

Nesta perspectiva, a presença humana na superfície pode modificar os mecanismos de recarga, introduzindo novas variáveis, mudando a razão, a frequência e a qualidade da água. A ocupação urbana em superfície pode diminuir a capacidade de recarga, em virtude da impermeabilização do solo pelos asfaltos e construções, ou com perdas da rede de esgoto pela má conservação das redes subterrâneas. Estabelece-se, então, a idéia de risco de influência negativa por uma possível alteração qualitativa das águas durante o processo de recarga. Diversos autores desenvolveram trabalhos de verificação do risco e monitoramento da poluição por fontes superficiais de contaminação, tais como: SZUBERT (1998), FILIZOLA (2002), MELO et. al. (2003), KOIDE et. al. (2003), BORGES et. al. (2001), THAPINTA & HUDAK (2003), LIMA FILHO & MELO (2004) dentre outros.

Para o estabelecimento do grau de risco de um determinado sistema de aquífero, a metodologia de vulnerabilidade GOD pode ser empregada, acoplando-se-a a um sistema de análise que considere as cargas contaminantes impostas em superfície/subsuperfície. Para tanto, o conceito de risco de contaminação voltado às águas subterrâneas foi discutido e definido por FOSTER & HIRATA (1993) como sendo a probabilidade de que as águas

subterrâneas possam vir a ser contaminadas por um inaceitável nível de atividades prejudiciais na superfície/subsuperfície. Este risco representa o resultado da interação da carga potencialmente poluidora aplicada com a vulnerabilidade do aquífero (QUADRO 3.2), sendo necessário o conhecimento das fontes que possam influenciar negativamente os aquíferos.

QUADRO 5.1 – Esquema conceitual do estabelecimento do risco a contaminação

		VULNERABILIDADE NATURAL		
		Baixa	Média	Alta
Carga Potencial Poluidora	Reduzida	Baixo	Baixo	Moderado
		III	III	II
	Moderada	Baixo	Moderado	Alto
		III	III	I
	Elevada	Alto	Alto	Alto
		I	I	I

Várias são as fontes antrópicas que podem influenciar os recursos subterrâneos, de acordo com FOSTER & HIRATA (1993):

- Fontes Dispersas:
 - Áreas residenciais: presença de esgotos que podem estar gerando perdas de cargas químicas e orgânicas no subsolo; falta de saneamento em residências, com a presença de fossas simples, com disposição direta no solo; postos de serviços onde se armazenam produtos químicos em tanques no subsolo podendo gerar, por vazamento, cargas contaminantes; presença de cemitérios, com cadáveres, produzindo cargas orgânicas diretamente no solo.
 - Uso agrícola do solo: o cultivo agrícola pode influenciar tanto a qualidade química do aquífero quanto a taxa de recarga; utilização de compostos nitrogenados para fertilização do solo, em determinadas culturas, gera altas taxas de nitratos, que, devido às suas características

físico-químicas, podem contaminar os aquíferos; utilização de pesticidas compostos com substâncias móveis e persistentes; a reutilização de águas residuárias para a irrigação de culturas também deve ser aqui considerada, ou ainda, a utilização de certos efluentes em plantações, como a vinhaça.

- Fontes Pontuais

- Atividade Industrial: devido aos diferentes tipos de substâncias geradas e descartadas, esta atividade gera grande preocupação ambiental. A disposição de resíduos e efluentes em containeres no subsolo, que possam ocasionar vazamentos (Postos de Combustíveis), constitui outra possibilidade de contaminação de aquíferos.
- Lagoas de Efluentes: lagoas onde se armazenam os efluentes do sistema de esgoto e sistema industrial para manejo, evaporação, sedimentação e tratamento. Em sua maioria, têm base constituída de materiais impermeabilizados e compactados, podendo gerar, entretanto, uma carga mínima, que, ao longo dos anos e da não manutenção, poderá oferecer risco à contaminação das águas subterrâneas.
- Disposição de Resíduos Sólidos: esses resíduos são constituídos por produtos indesejáveis que não têm consistência suficiente para fluírem por si mesmas; sua disposição pode constituir uma importante fonte contaminante, principalmente pela formação do chorume. Um exemplo é o aterro de lixo no Distrito Federal (KOIDE et. al., 2003), onde resíduos tóxicos são adicionados indiscriminadamente, não se levando em consideração sua natureza ou característica físico-química.

Em estudos de casos, em escala local ou regional, FOSTER & HIRATA (1993) recomendam que se faça a espacialização das formas de ocupação e utilização antrópica da superfície e subsuperfície. Para tanto, torna-se necessária a classificação das atividades contaminantes juntamente com o cadastramento das fontes e o estabelecimento do grau de influência destas, com base em sua natureza e características, dividindo-se-a em fontes pontuais e difusas e gerando (de uma forma cartográfica) a espacialização da ocupação, ressaltando as potenciais fontes poluidoras. Para isso, torna-se necessária a elaboração de uma carta de uso e ocupação da área estudada.

5.2 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A utilização da metodologia GOD é justificada pelos mesmos preceitos ao qual esse foi elaborado, ou seja, com base em informações existentes e disponíveis. Por isso, a delimitação da área mapeada considerou a existência destes dados, principalmente pelos fornecidos nos trabalhos realizados pelo IPT (1988, 1989) e SUGUIO et al. (1984). Assim, apesar de a maioria destes estarem na escala de 1:50.000, foram utilizados materiais elaborados em escalas maiores, citando os dados obtidos e utilizados no conhecimento da hidrodinâmica do aquífero local (IPT, 1988), que, posteriormente, foram utilizados na obtenção da profundidade do nível freático.

Convém ressaltar que ainda não foram realizados na área, estudos da mesma natureza que a proposta neste trabalho; portanto, apesar da utilização de dados já existentes, estes advêm de poucas fontes (que foram utilizadas para outros objetivos), tornando o resultado final de caráter relativo. As deduções e conclusões obtidas no estabelecimento dos parâmetros considerados no método foram obtidas com base em poucos estudos locais, da mesma forma que várias considerações foram feitas com base em estudos similares realizados em outros locais.

5.2.1 - Groundwater occurrence – Tipo de Aquífero.

Para o estabelecimento e comprovação do tipo de aquífero da área, recorreu-se aos estudos já realizados no local e, a partir dos resultados, procurou se deduzir, direta ou indiretamente, a forma como este sistema se apresenta.

Em estudos geológicos realizados por SUGUIO et al. (1984), às margens do Canal Artificial de Pereira Barreto, análises sedimentológicas mostraram diferenciações (granulométrica e textural) nas características do perfil litológico, compreendendo uma área de transição entre os arenitos Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, não tendo sido possível a delimitação dos contatos entre tais unidades, devido ao caráter não abrupto de variação em suas características. No perfil apresentado por SUGUIO et al. (op. cit), constatou-se a presença de materiais finos (areia fina em sua maior parte – 0,250-0,125mm), médios e grossos, pouco argilosos a argilosos, coloração predominante marrom avermelhado (por vezes marrom claro), mas também arroxeadado, amarelado ou esbranquiçado, ou mosqueado, com manchas esbranquiçadas e acinzentadas.

Em inúmeras perfurações já realizadas (IPT, 1988, GEOSONDA, 1982 e CESP, 1981, 1982, 1984, 1988 *apud* IPT 1989), para a avaliação das conseqüências da elevação induzida do lençol freático pela represa Três Irmãos, foram instaladas redes de observação piezométricas. Durante a perfuração (atravessando 21,00m), foram feitas coletas de materiais para análises granulométricas, observando também a configuração dos perfis dos solos, nos quais foram encontradas características bastante regulares nos materiais referidos como coluvionares; nos solos ditos residuais, constatou-se significativa constância composicional, tanto espacial quanto vertical, em toda a área, assemelhando-se aos materiais encontrados por SUGUIO et. al. (1984) nas margens do Canal Artificial, não tendo sido encontrada nenhuma diferenciação abrupta nas camadas horizontais que compõem os perfis lito-pedológicos.

Nestes termos, pode se considerar, em termos relativos, o aquífero como sendo livre, devido ao tipo e características do material encontrado entre a superfície e o nível freático (zona vadosa), revelando grande homogeneidade espacial e vertical, sem apresentar alguma camada com características confinantes. Entretanto, poder-se-ia ainda presenciar a ocorrência de aquíferos suspensos, formados sob uma camada impermeabilizante (ex: materiais argilosos ou camadas compactadas formadas por alguma reação química ou física), apresentando-se normalmente de uma forma descontínua e isolada no ambiente.

Foram feitos, então, contatos com geólogos atuantes em empresas perfuradoras de poços da região, para obtenção de informações referentes às características da zona vadosa e sobre a presença de alguma camada impermeabilizante em baixa profundidade, na qual se

constataria uma possível existência de aquíferos suspensos, semiconfinados ou mesmo confinados. Obteve-se resposta negativa sobre a presença destas camadas, de forma generalizada e contínua na área, mas não se pode excluir totalmente a possibilidade de existência das mesmas, posto que elas podem ocorrer de forma isolada e com pouca extensão espacial, dando possibilidade à ocorrência de aquíferos suspensos.

A presença destes foi confirmada pelo IPT (1989), durante a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema de aquífero, observando diferenciações na compacidade do material que compõe o aquífero, com camadas subjacentes mostrando variações nas frações finas (silte e argila), pois, apesar de a composição granulométrica média ser bastante semelhante, em alguns locais (na área urbana e em áreas isoladas no entorno) foram encontrados resultados altos destas frações e com maior nível de compactação, portanto com menor capacidade de infiltração. Convém ressaltar que estas áreas são de difícil localização e delimitação, pelo caráter isolado e de pouca extensão espacial. No entanto, estes lençóis suspensos causados por intercalações de camadas mais ou menos permeáveis não estão isolados hidraulicamente das unidades sotopostas, levando o IPT a definir o sistema de aquífero da área como livre.

Frente a essa situação, é oportuno apreciar a sugestão de FOSTER & HIRATA (1993), afirmando que uma das dificuldades mais freqüentes que se apresentam na avaliação da vulnerabilidade do aquífero e na aplicação prática do método proposto é a presença de camadas estratificadas com propriedades hidráulicas muito diferentes. Esta situação geológica é bastante comum e ocorre em diversas unidades, tanto sedimentares como vulcânicas. Esta geometria causa problemas quando camadas menos permeáveis encontram-se cobrindo aquíferos livres, dando origem a aquíferos suspensos ou aquíferos cobertos não-confinados. Nestes casos é recomendado que a litologia predominante dos estratos acima da zona saturada seja utilizada e que, caso existam dúvidas sobre a continuidade e propriedades das camadas confinantes, as condições das águas subterrâneas deverão ser consideradas como não confinadas. Além disso, que o aquífero menos profundo seja utilizado para a avaliação do risco de contaminação, exceto no caso da existência de pequenos aquíferos.

5.2.2 - Overall lithology of the unsaturated zone – Característica da zona vadosa.

Segundo FOSTER & HIRATA (1993), a caracterização dos estratos acima da zona saturada do aquífero pode ser feita em termos do: a) grau de consolidação e, por conseguinte, da presença ou ausência de permeabilidade por fissuração e b) caráter litológico e, indiretamente, a porosidade relativa, permeabilidade e conteúdo de umidade ou retenção específica (capacidade de campo) da zona não-saturada.

A determinação das características da zona vadosa foi feita com base nas descrições e análises realizadas nos materiais encontrados pelo IPT (1988, 1989), nas inúmeras perfurações realizadas em toda a área, revelando a presença de materiais advindos dos arenitos das formações Santo Anastácio e em afloramentos do basalto Serra Geral.

Os materiais da formação Santo Anastácio aparecem de uma forma generalizada na área, cobertos pelo seu manto de intemperismo (solo residual), que, por sua vez, apresenta-se coberto por colúvios. A formação Serra Geral ocorre localmente de maneira geral sub-superficialmente, constituindo a base do sistema de aquífero estudado, aflorando de forma relativamente restrita em alguns pontos da área, coberta por seu manto de intemperismo (solos residual). Os materiais de origem areníticos apresentam-se com sedimentos em sua maioria finos, pouco argilosos a argilosos, com coloração predominantemente marrom avermelhado, mas também arroxeados, amarelo ou esbranquiçado, ou mosqueado com manchas esbranquiçadas ou acizentadas.

Os depósitos coluvionares ocorrem extensivamente na área estudada, compreendendo, a sua quase totalidade, cobrindo os arenitos da formação Santo Anastácio e os basaltos da formação Serra Geral, apresentando espessura bastante irregular (de centimétricas á métricas – 17m) e características homogêneas em toda a área. Pelas perfurações e análises realizadas (GEOSONDA, 1982, CESP, 1981, 1982, 1984, 1988 *apud* IPT, 1992), descrevem-se os colúvios como sendo de areia fina, localmente fina a média, pouco argilosa, ocasionalmente argilosa, coloração marrom avermelhada, apresentando-se desde solta a compactada, podendo ocorrer a presença de concreções (IPT, 1989). Abaixo estão transcritos os resultados médios das análises granulométricas realizadas pelo IPT (1989) para os materiais coluvionares e os solos residuais:

- Na área urbana de Pereira Barreto: Areia Fina – 70,3 a 75,5%; Areia média – 1,0 a 3,2%; Areia Grossa – 1,0 a 2,5% (em pontos isolados atinge 4%); Pedregulho – 1,0 a 8,0% (isoladamente atinge 14%); Silte – 3,8 a 6,3% e Argila – 16,8 a 21,9%.
- Na área do Canal de Pereira Barreto: Areia Fina – 69,1 a 72,9%; Areia média – 1,0 a 1,1%; Silte – 4,9 a 6,3% e Argila 19,8 a 25,3%.
- A Norte da Rodovia SP-310 (a oeste e leste do canal de Pereira Barreto): Areia Fina – 66,9 a 75,8%; Areia Média – 1,0 a 2,0%; Areia Grossa – até 3%; Pedregulho – até 14%; Silte – 4,5 a 7,3% e Argila – 18,0 a 25,4%.

Os resultados granulométricos dos colúvios e dos solos que estes dão origem mostram regularidades e semelhanças nos diferentes locais, transparecendo a homogeneidade composicional destes aspectos. A carta pedológica da área confirma esta perspectiva, apresentando grande predominância do Latossolo Vermelho Escuro. As descrições morfológicas condizem com as características dos solos que estas litologias dão origem (FIGURA 5.1): Latossolo Vermelho Escuro, Argissolos, Latossolo Vermelho Eutroférico e solos Hidromórficos. A seguir constam algumas características mormente encontradas nestes tipos de solo, retirado de OLIVEIRA, (1999):

- *Latossolo Vermelho Escuro* – Solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico . Solos profundos formados a partir de material de origem muito diversa, textura varia desde média a muito argilosa, consistência quando molhada podendo variar de não-plástica e não-pegajosa (menos argila) a muito plástica e muito pegajosa (argiloso). Estrutura muito pequena granular, sendo comum estruturas em blocos sub-angulares fracas ou moderadas. Esta unidade de solos predomina em quase toda área.

- *Argissolos* – solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural. Seqüência de horizonte normalmente apresentando A-Bt-C. Horizonte A areno-argiloso, horizonte B apresentando textura e estrutura variada (em sua maioria argilo-arenoso), apresentando o desenvolvimento de cerosidade. Encontra-se nas porções norte e nordeste da área de estudo, e era referido anteriormente por Podzólico Vermelho-Amarelo.
- *Latossolo Vermelho Eutroférico* – solos minerais não hidromórficos, vermelhos escuros de tonalidades arroxeadas. Apresentando horizonte diagnóstico B latossólico. Textura argilosa na maioria dos casos e estrutura fraca em blocos sub-angulares. Na área de estudo este tipo de solo está em sua maioria submersa pelas águas da represa (na classificação anteriormente utilizada, este solo era referido por Latossolo Roxo).
- *Solos Hidromórficos* – solos minerais com restrição importante à percolação de água, revelando horizonte B gleizado. Apresentam-se em áreas com drenagem deficiente (próximo a beira de rio ou brejos), com textura argilosa, formados em áreas com topografia plana.

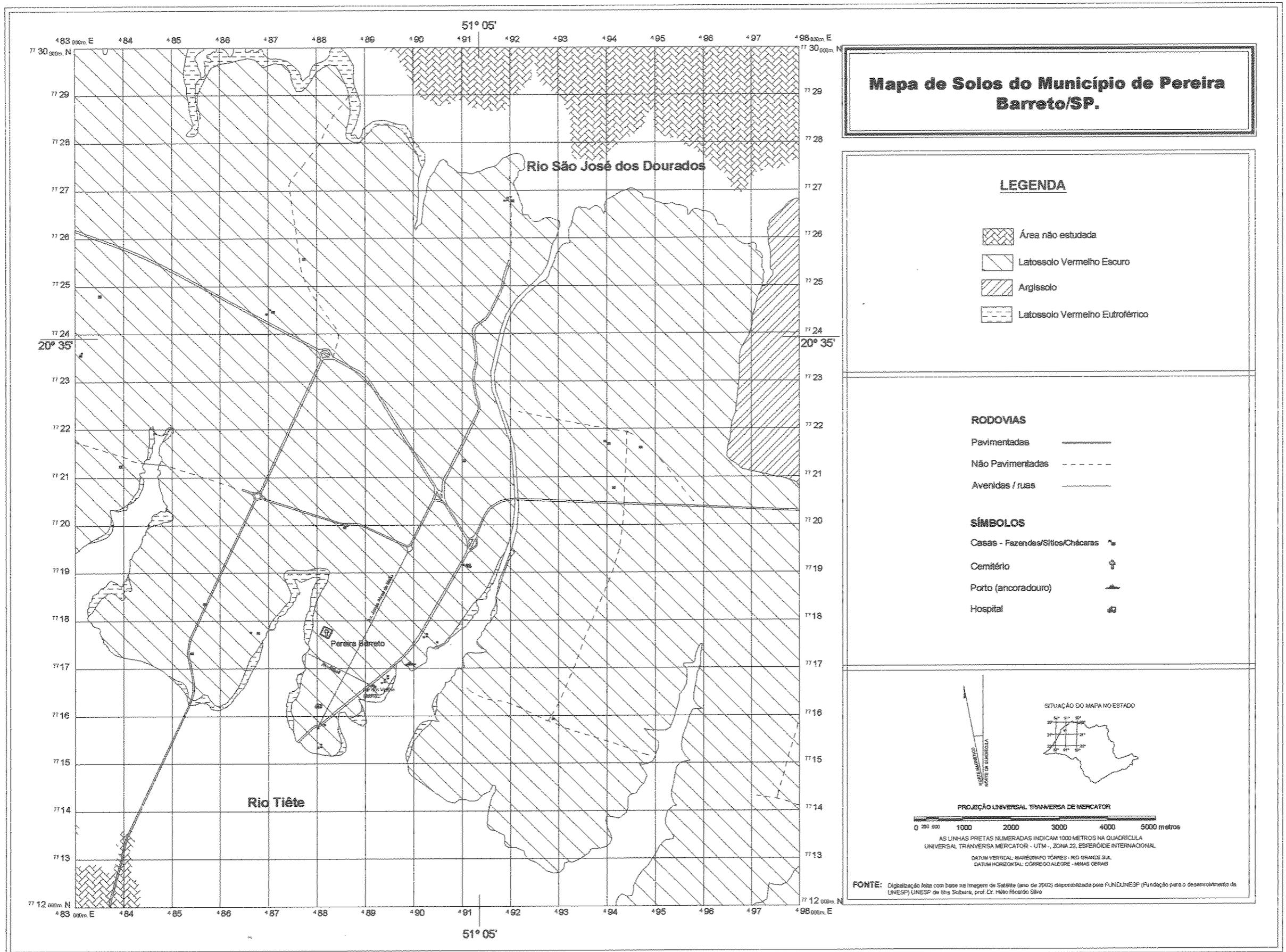


FIGURA 5.3 – Mapa de solos do Município de Pereira Barreto.

5.2.3 - Depth to the water table – Profundidade do nível freático.

Para se ter conhecimento da profundidade do aquífero, vários problemas foram encontrados, a não existência de um mapa de profundidade é uma constante em estudos desta natureza, obrigando o pesquisador a generalizar os dados existentes. No caso da área, diversos estudos objetivando o conhecimento da dinâmica hidrogeológica resultaram na instalação de vários poços de monitoramento do aquífero livre. No entanto, estes estão distribuídos desigualmente, concentrando-se no entorno do Canal Artificial. Outro aspecto negativo a se considerar consiste na desatualização dos dados apresentados na maioria dos relatórios (em sua maioria colhida antes do enchimento da represa da UHE).

Os únicos dados que poderiam fornecer mais segurança sobre a profundidade do nível freático estão presentes no relatório 30.761 do IPT (1989). Durante a realização do monitoramento hidrogeológico da área urbana de Pereira Barreto, necessitou-se a confecção de um mapa de profundidade, que foi feito por correlação entre valores simulados em modelos hidráulicos tridimensionais e a profundidade medida do aquífero nos poços de monitoramento distribuídos na área urbana (depois do enchimento do reservatório). Gerou-se um mapa em escala local (1:20.000) com profundidades dispostas em forma de isolinhas. A configuração das isolinhas de profundidade do aquífero converge com as isolinhas da superfície do terreno.

No entanto, o mapa gerado está disposto numa escala maior do que a utilizada neste trabalho (1:20.000), cobrindo apenas uma parcela da área (área urbana). Portanto, para que a profundidade de toda a área fosse conhecida, seria necessária a aplicação de procedimentos que pudessem gerar um mapa temático, utilizando como base os dados disponíveis e que o resultado final fosse relativamente confiável.

Nesta perspectiva, convém ressaltar que a área não detém uma rede de observação com densidade suficiente para que haja um conhecimento seguro sobre a profundidade do nível freático; além disso, não seria possível a realização de sondagens para verificação da profundidade, devido a necessidade de um maior (e não disponível) período de tempo para sua realização, bem como de uma maior disponibilidade de recursos financeiros para o financiamento das saídas de campo. Ressalta-se que a área apresenta grande

homogeneidade em relação a aspectos físicos relevantes (configuração do relevo, solos e geologia).

Levando em consideração as informações acima, decidiu-se pela realização de uma extrapolação de dados, ou seja, procedimentos que gerassem um mapa de profundidade com base em uma generalização dos dados existentes, a partir de uma determinada porção da área para o restante. Para isso, optou-se pelo auxílio dos SIGs (Sistemas de Informação Geográficas), já que estes oferecem um arcabouço técnico que possibilita a realização desta operação.

Para a realização desta extrapolação de dados, necessita se estabelecer um grau de correlação entre dois fatores do meio físico que estejam diretamente ligados entre si. Optou-se pela correlação entre configuração do relevo com a profundidade do aquífero, ambos da área urbana. Estes fatores foram escolhidos pela grande relação que há entres as duas superfícies, levando-se em consideração que, em geral, a superfície do *water table* varia em congruência com a configuração do relevo da superfície (FETTER, 2001, IPT, 1989). Sendo assim, utilizou-se como forma de análise dos fatores a regressão simples.

Sobre esta forma de análise, CHORLEY & KENNEDY (1971) explicam que:

*The raw data for these analyses consist of paired observation of two variables within the systems. One is designated the dependent variable (Y), and this is thought to be causally related to independent variable (X). This relationship can be most easily visualized in terms of a scatter plot of the paired values, X_i, Y_i . By designating Y, the dependent, and X, the independent, variable, we imply that a change in X always produces a change in Y (but not necessarily *vice versa*) and, further, that values of Y can be predictes from values of X (...)* CHORLEY & KENNEDY (1971) pp.24.

Dentro da perspectiva explicitada por estes autores, pode se dizer que a profundidade do lençol da área urbana corresponde à variável Y e, conseqüentemente, a

configuração do relevo da área representa a variável X , ou seja, a regressão estabelece uma lógica de relação entre as variáveis que, pela configuração e altitude do relevo, permite prever a sua profundidade. Para tanto, é necessária a delimitação de uma parcela da área com dimensões semelhantes e com a mesma localização, nas quais estas duas informações estejam disponíveis.

Com as bases cartográficas pré-georeferenciadas, elas foram exportadas para o programa AutoCAD 2000, no qual se fez a vetorização das isolinhas de profundidade e curvas de nível do terreno. Esta vetorização é feita pela localização de pontos com informações referentes aos eixos X, Y e Z , (latitude, longitude e altura); estes pontos são ligados por linhas que fornecem as isolinhas de profundidade do nível freático e altitude das curvas de nível (FIGURA 5.2). Após a vetorização e o estabelecimento dos valores de X, Y e Z , salvam-se estas informações no modo DXF, onde elas são mantidas. No programa IDRISI 3.2 importam-se estes dados (DXF) em formato vetorial; dentro deste software, estas imagens são convertidas para o formato raster e feita a operação de regressão. O resultado é apresentado em forma de equação matemática, estabelecendo uma linguagem numérica para o grau de correlação da variável dependente (Y) em relação a variável independente (X), dentro da lógica descrita por CHORLEY & KENNEDY (ob. cit.).

Posteriormente, no programa SURF 8, são inseridos e abertos os dados em formato DXF das isolinhas da curva de nível de toda a área, cujas informações apresentam-se em formato de planilha com colunas contendo informações sobre latitude, longitude e altitude dos pontos. Dentro desta planilha é feita a operação de extrapolação, pela aplicação da equação gerada na operação de regressão, onde se inserem os valores das cotas altimétricas do relevo, obtendo como resultado as cotas de profundidade. Segue-se, então, a plotagem destes pontos neste mesmo programa, obtendo-se o resultado no SURF 8, que é exportado em formato DXF, para novamente ser importado no AutoCAD 2000 para os reajustes finais.

Para que este processo tenha como resultado um produto que detenha uma veracidade relativamente confiável, convencionou-se pesquisar (em estudos já realizados na área), determinadas características do ambiente (morfologia do relevo e do nível freático, áreas de afloramento etc) que viessem auxiliar a confecção e reajustes do mapa, e ainda a verificação/comparação deste com dados de profundidade colhidos em alguns poços rasos

em propriedades rurais. Para isso, foram estabelecidas saídas de campo para a obtenção da profundidade do nível d'água no período de 26 a 31 de dezembro de 2003; essas medições são fundamentais para a confirmação ou correção dos valores obtidos durante o processo de confecção (NISHIYAMA & ZUQUETTE, 1997). Para a aferição dos poços, utilizou-se um medidor de nível d'água subterrânea, tendo se utilizado um GPS (Global Position Systems) para locação em Latitude e Longitude dos poços.

Reajustes finais foram realizados no AutoCAD 2000, procurando reajustar as isolinhas em função de uma possível variação dos resultados simulados e os verificados no campo. Os procedimentos descritos acima estão ilustrados das Figuras 5.2 a 5.10.

As variações entre estes resultados foram verificados pela conversão do mapa gerado (em formato DXF) para o formato raster no programa ArcGIS 8.3, utilizando o método IQD⁸ (inverso do quadrado da distância). Para esta conversão foi necessária a diminuição espacial da área considerada; isto se deve à baixa informação de dados nas extremidades nordeste e sudoeste (área não estudada), de forma que a consideração destas poderiam influir negativamente na precisão do mapa (formato raster) gerado. As diferenças entre os dados amostrados e os gerados, assim como o erro entre estes, estão dispostos em uma tabela.

5.2.3.1 - Geração do Mapa de Profundidade do Nível d'água.

Os levantamentos de informações a respeito da configuração do aquífero foram retirados de bases gerais e específicas da área. Sabe-se, pela literatura, que a morfologia do nível freático varia em congruência à morfologia da superfície do terreno. No entanto, em estudos para estabelecer a dinâmica do fluxo subterrâneo (IPT, 1988), observou-se um comportamento diferenciado em algumas porções da área, em relação a essa tendência. Um dos fatores que influenciaram nesta diferenciação foi a implantação do Canal Artificial, que se transformou em área de descarga, influenciando o fluxo subterrâneo (principalmente nas proximidades de suas margens). Outros fatores a influírem no fluxo subterrâneo e na morfologia do nível freático são os cursos d'água contribuintes, por se caracterizarem como

⁸ Inverso do Quadrado da Distância – Este método de interpolação calcula estimativas de valores de células desconhecidas dependendo dos valores das células vizinhas.

efluentes, ou seja, são abastecidos pelo aquífero livre. Assim, os córregos Ponte Pensa, Laranja Azeda e os cursos de menor significância tornam-se áreas de descarga subterrânea (IPT, 1989).

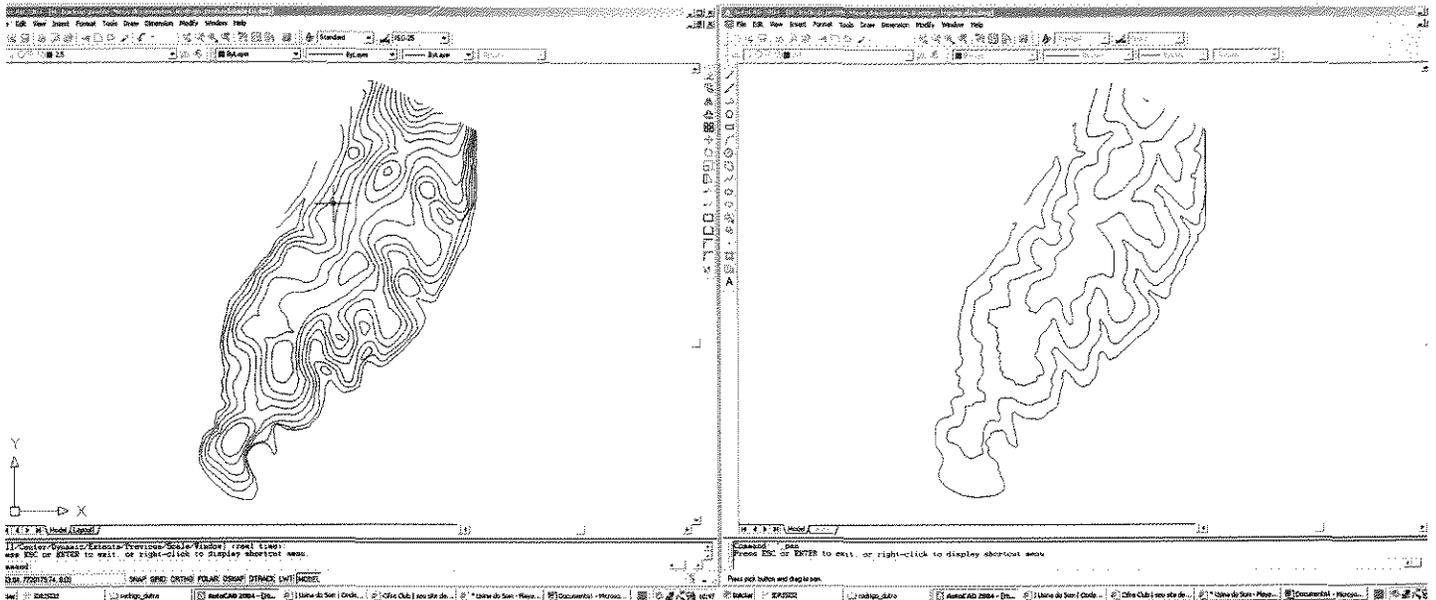


FIGURA 5.4 – Digitalização feita no programa AutoCAD 2000, estabelecendo os valores dos eixos X, Y e Z nas isolinhas de profundidade do aquífero (esquerda) e curvas de nível do relevo (direita) da área urbana.

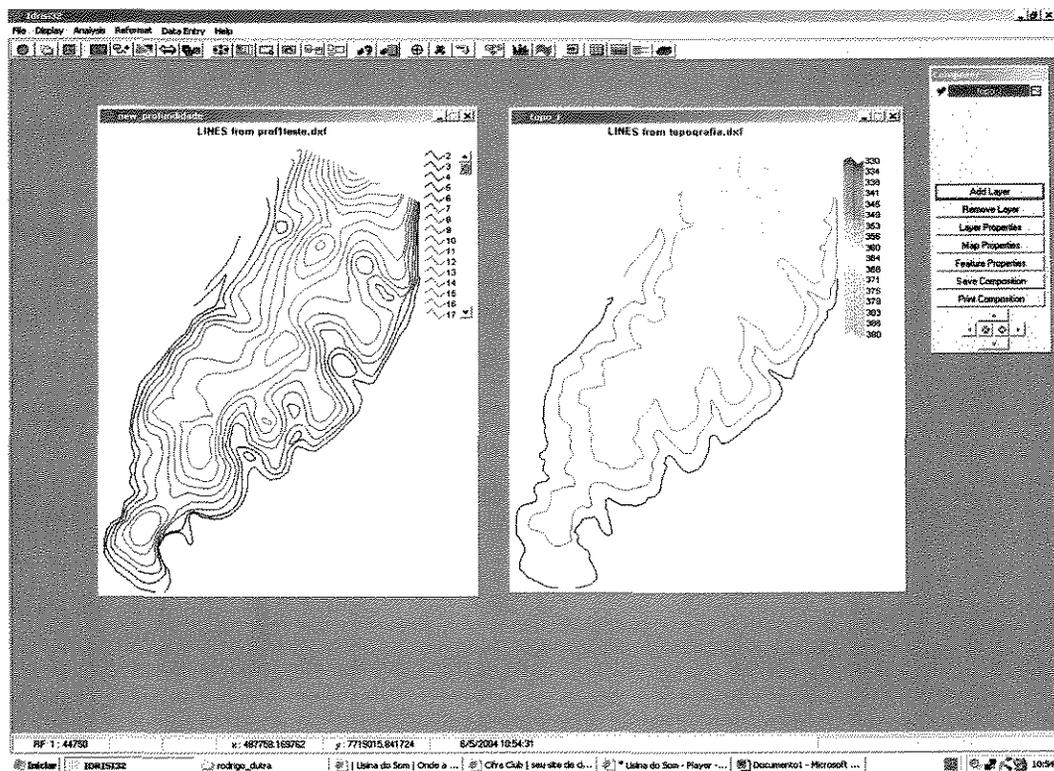
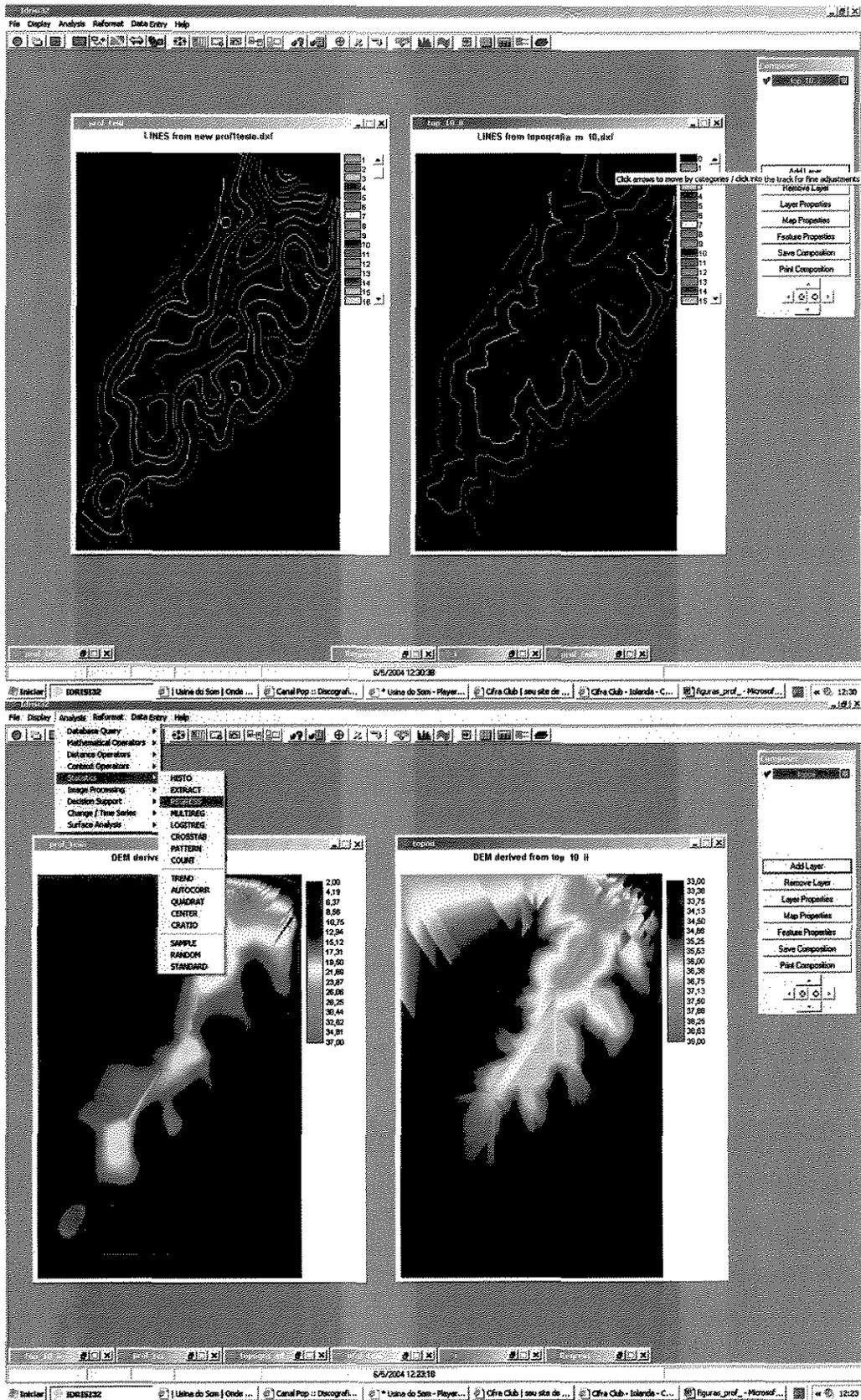


FIGURA 5.5 – Imagens vetoriais das isolinhas de profundidade do aquífero (esquerda) e curvas de nível (direita) no software IDRISI 3.2, importada em DXF do AutoCAD.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE



FIGURAS 5.6 (acima) 5.7 (abaixo) – Processo de conversão das imagens vetorizadas (fig.acima) para o formato raster (abaixo)

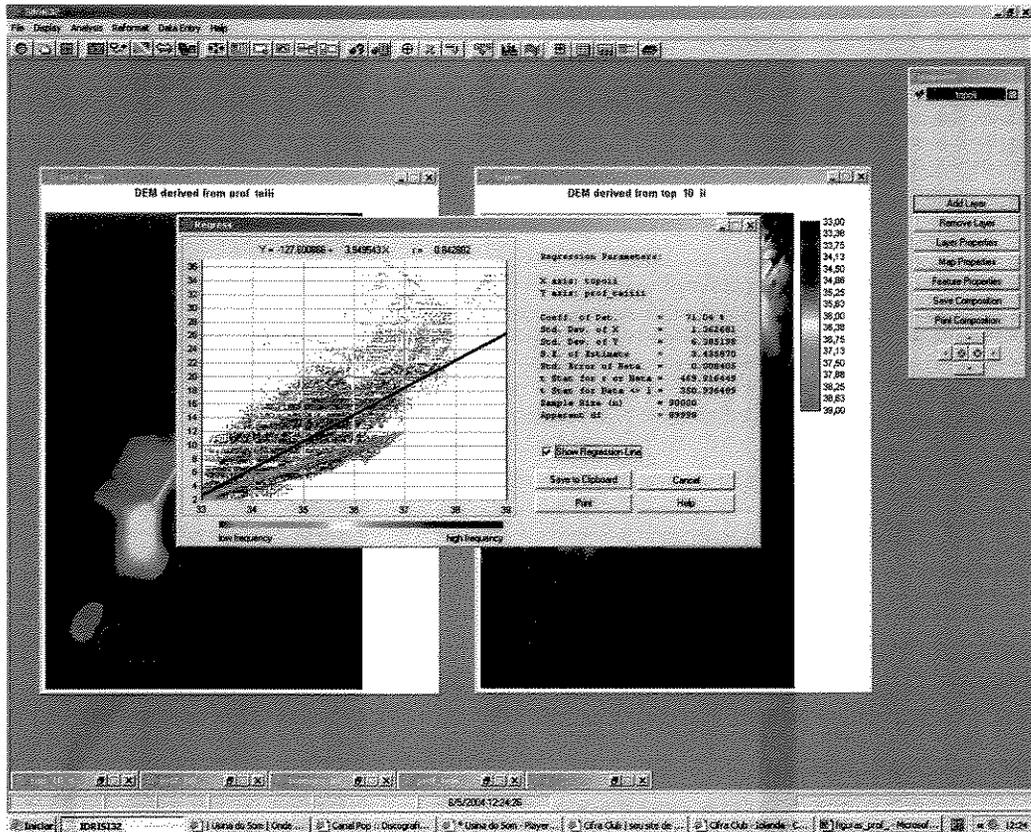
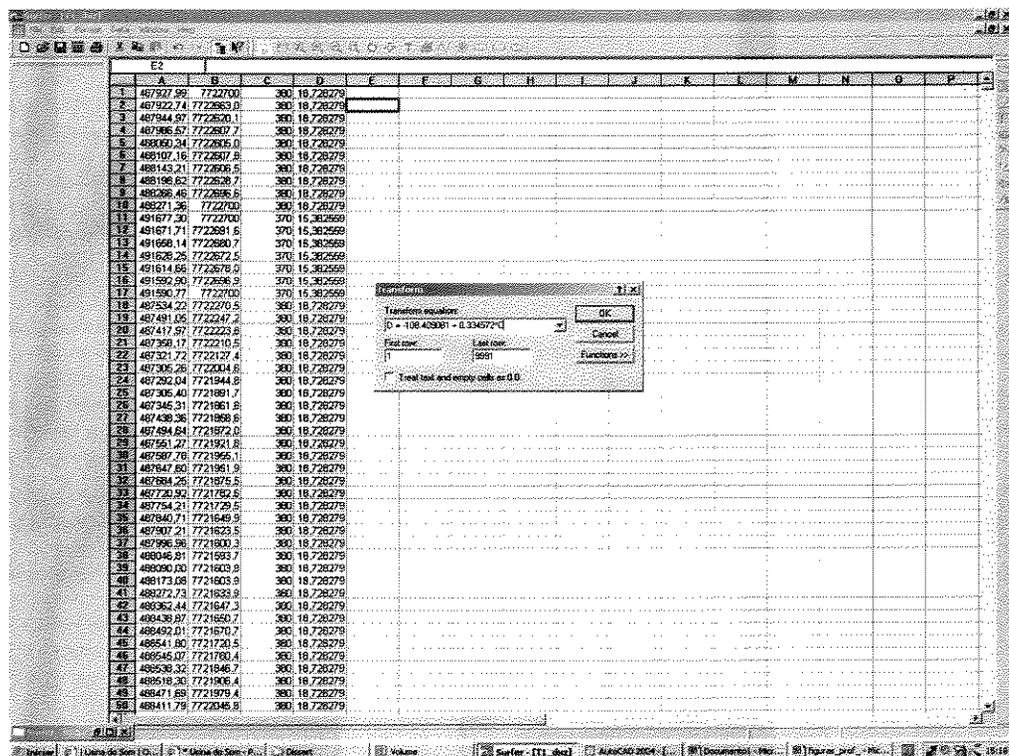


FIGURA 5.8 – Operação matemática da Regressão das imagens no formato raster. Os coeficiente de correlação foi de 99.62% entre as duas imagens. A equação resultante desta correlação de dados é a $Y = -108.409081 + 0.334572X$.

Conforme o explicitado no item anterior a equação gerada foi aplicada no software SURF 8, nos dados dos pontos (formato planilha) de vetorização das curvas de nível de toda a área. FIGURA 5.9 (Abaixo)



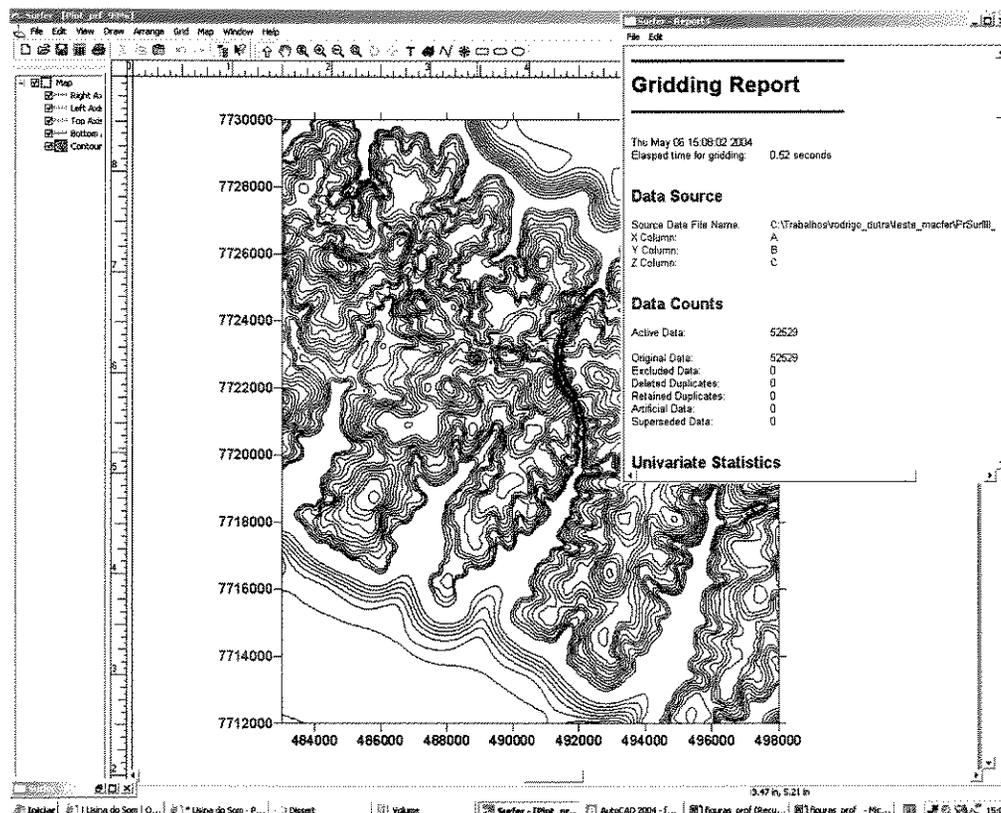


FIGURA 5.10 – Resultado da extrapolação dos dados no programa SURF 8, Extrapolação feita pelo método da curvatura mínima.

É oportuno ressaltar que as quantidades de pontos (poços) são restritas, devido à baixa densidade de ocupação na área, às sedes de sítio e fazendas. Além disso, certos poços estavam sendo bombeados no momento da aferição. Em se tratando de um sistema aberto, os resultados obtidos podem variar ao longo do tempo, devido às variações sazonais dos índices de pluviosidade e, conseqüentemente, de recarga.

5.3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 – Resultado dos dados obtidos em campo

As 9 medições de nível d'água nos poços, com as devidas localizações (UTM) e a profundidade medida são apresentadas na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – Pontos de aferição da profundidade do Nível Potenciométrico.

LOCALIZAÇÃO (UTM)	PROFUNDIDADE
POÇO 1 - 487674.33/E, 7725445.72/S	16 m (bombeando)
POÇO 2 - 485408.26/E, 7717316.47/S.	19 m
POÇO 3 - 483939.80/E, 7721236.49/S.	12 m
POÇO 4 - 483512.45/E, 7724797.23/S.	12.30m
POÇO 5 - 487092.46/E, 7724458.70/S.	19 m (bombeando)
POÇO 6 - 491046.62/E, 7721357.00/S.	22.10 m
POÇO 7 - 494138.42/E, 7720765.71/S.	15 m
POÇO 8 - 494695.02/E, 7721612.40/S.	18 m
POÇO 9 - 488573.99/E, 7719945.34/S.	9.50 m (bombeando)

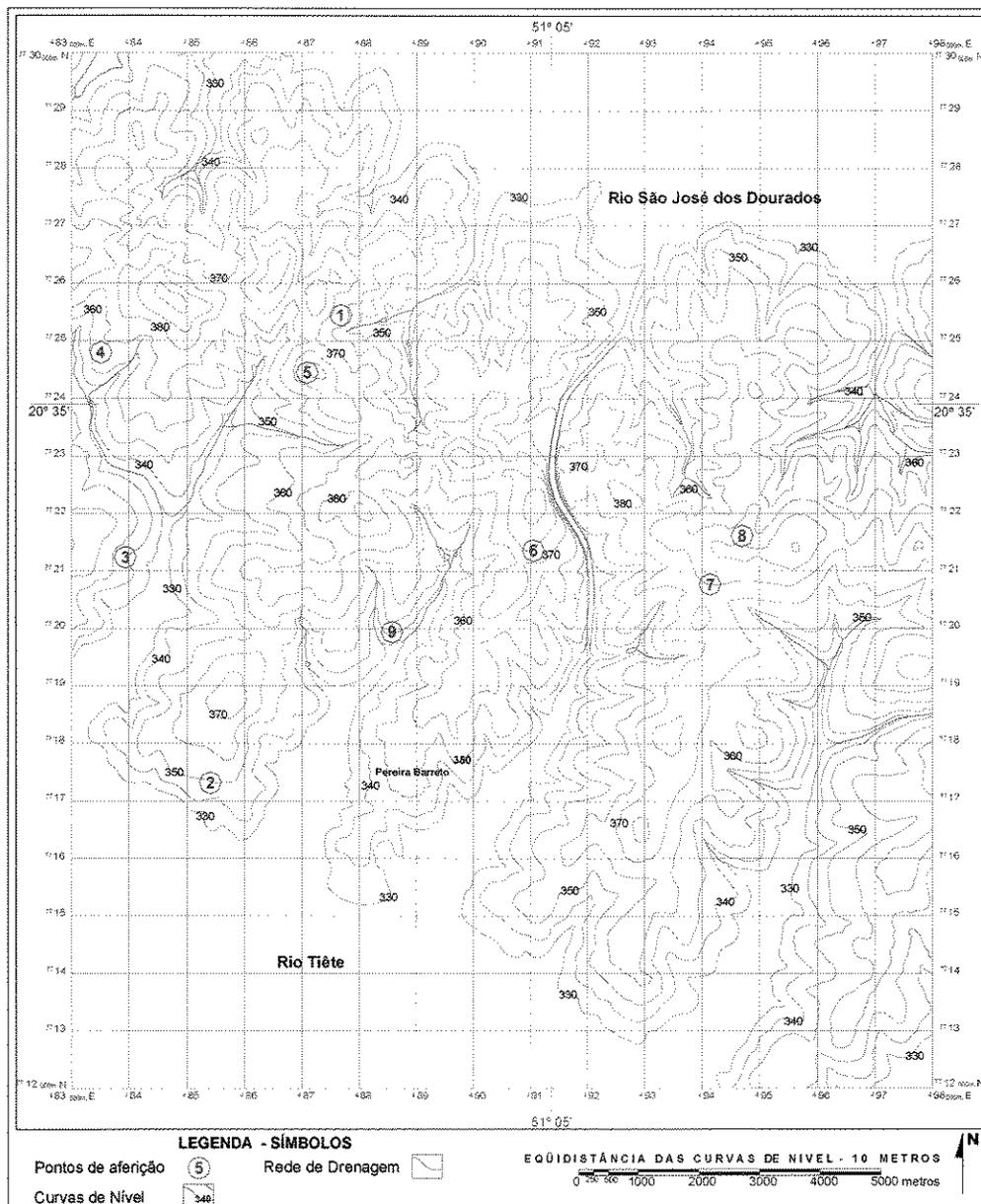


Figura 5.11 – Localização dos poços aferidos na área.

Os resultados obtidos em campo confirmam a influência dos cursos d'água de menor expressão na morfologia do nível freático. Dentro de uma variação de 73 metros, entre a cota média da represa e o divisor d'água entre as bacias dos rios Tiête e São José dos Dourados, observam-se profundidades com 23 metros, confirmando a tendência de congruência entre a morfologia do relevo e o nível freático. Encontram-se também profundidades mais baixas nas proximidades dos cursos d'água, caracterizando o afloramento do aquífero. Com isso, pode-se dizer que a forma como se apresenta a morfologia do nível d'água é regida pela morfologia do relevo e a proximidade dos cursos d'água, concordando, com FETTER (2001), NISHIYAMA & ZUQUETTE (1997) e com o IPT (1989).

Deve se levar em conta que o processo de extrapolação de dados foi feita utilizando bases cartográficas em que a influência dos cursos d'água na morfologia do nível freático não foi considerada; portanto, o mapa de profundidade gerado não releva esse fator como condicionante para o resultado final, estabelecendo a relação apenas entre as curvas de nível e caracterizando um mapa de profundidade no qual a influência dos cursos d'água é nula. Portanto, os reajustes feitos foram no sentido de estabelecer a influência deste fator. Assim, o re-delineamento das isolinhas decorreu da necessidade de considerar a interação destes dois fatores, tomando-se como base os dados obtidos em campo (FIGURA 5.9).

Como resultado, foram obtidas isolinhas de menor profundidade paralelas às redes de drenagem, tanto da represa quanto dos cursos d'água de menor expressão; nestas áreas, esse fator tem intensidade preponderante, mas conforme as isolinhas adentram para o 'continente', ocorre maior equilíbrio de influências entre os fatores considerados, até o fator relevo ser preponderante no delineamento. Por conta dessa dinâmica de influência, as maiores profundidades não necessariamente se apresentam nas áreas topograficamente mais elevadas. Os valores do nível freático aumentam rumo ao 'continente', atingindo 30 metros, onde a influência da rede de drenagem não é significativamente atuante. No entanto, as maiores profundidades ficam majoritariamente em torno de 26 metros (FIGURA 5.10). Tal situação foi observada também por NISHIYAMA & ZUQUETTE (1997), num mapeamento realizado em Uberlândia (MG), quando assumiu que a cota da superfície potenciométrica (em locais onde há a exposição da zona saturada) é a mesma que a do terreno, estando associadas a fundos de vales e áreas de cimeira, encontrando

profundidades de 0 a 2 metros acompanhando os canais de drenagens, ocupando faixas de larguras variáveis.

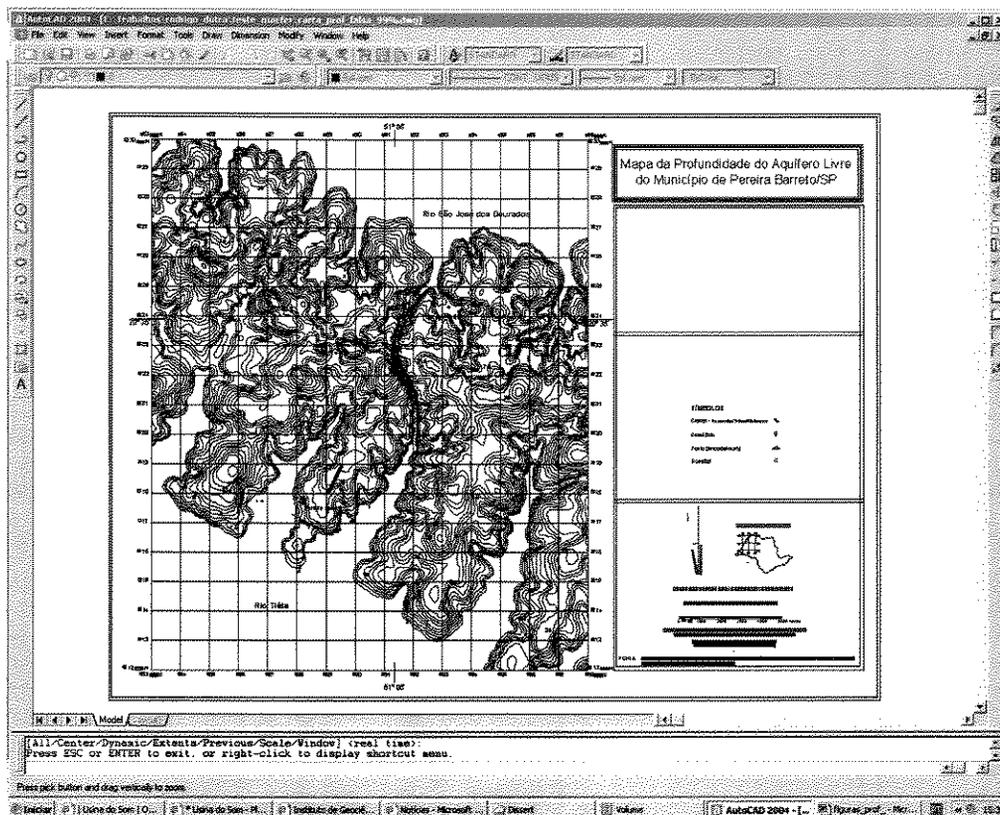


FIGURA 5.12 – Processo de reajustamento final do mapa de profundidade provisório.

Devido à não presença de relevos acidentados e o balanço de influência entre os fatores citados, as variações ocorrem, de uma forma geral, gradativa, sem a presença de diferenciações abruptas. Porém, onde a influência dos cursos d'água não é significativamente sentida e o relevo se torna o fator preponderante, obtêm-se, ao contrário, isolinhas mais concentradas (demonstrando variação de profundidade mais intensa). Isso é visto na porção sudoeste da área, onde, possivelmente, as profundidades são maiores que 30 metros, nas áreas de cimeira.

Os valores adotados para as isolinhas foram objetivados para facilitar a aplicação da metodologia, mas houve que levar também em consideração fatores estéticos. Exemplificando, pode se dizer que, caso fossem considerados os mesmos valores da escala adotada no método a configuração das isolinhas, isso poderia dificultar a interpretação do mapa, dando margem a interpretações errôneas. Com isso, foram adotadas equidistâncias de

6 metros, iniciando na profundidade de 2 metros até 14 metros; a partir daí, a equidistância é de 3 metros. Por fim, estabeleceu-se o valor de 30 metros para a isolinha que ocorre na porção sudoeste da área, de caráter único, e, além de fins estéticos, sua presença demonstra a diferenciação das proporções de profundidade onde não existe o balanço de influência entre o relevo e presença dos cursos d'água.

A influência da rede de drenagem causa a não congruência em algumas porções entre os divisores d'água superficial e o subterrâneo. Outro fator influenciador no direcionamento do fluxo subterrâneo é a presença do Canal Artificial. Entretanto, isso não aparece de forma explícita, já que a profundidade é dada em relação à superfície local; isso teria ficado mais nítido se o nível freático tivesse sido representado com dados piezométricos (em relação ao nível do mar), configurando, possivelmente, nas proximidades, isolinhas em sentido paralelo ao Canal Artificial, conforme diagnosticado pelo IPT (1989).

Pelos contornos apresentados no mapa de profundidade, podem se fazer considerações mais apuradas, principalmente no que tange as direções do fluxo subterrâneo. Observando os contornos e as direções de fluxo apresentados no mapa piezométrico do IPT (FIGURA 2.4, pg.13), percebe-se que, apesar de estar presente nas discussões e na caracterização da morfologia do nível freático, este mapa não releva os cursos d'água como áreas de descarga local, apresentando contornos convergentes com as curvas de nível topográficas. Dessa forma, as direções de fluxo apresentadas neste mapa possivelmente não correspondem com as reais características do meio estudado. Não é objetivo do presente trabalho a confecção, ou mesmo, a interpretação da superfície piezométrica da área; entretanto, é importante ter conhecimento desta informação, para predizer possíveis direções de uma pluma contaminante imposta por algum evento danoso às águas subterrâneas. Assim, pela base cartográfica gerada pode se perceber que há também de se considerar os cursos d'água como direcionadores de fluxo local.

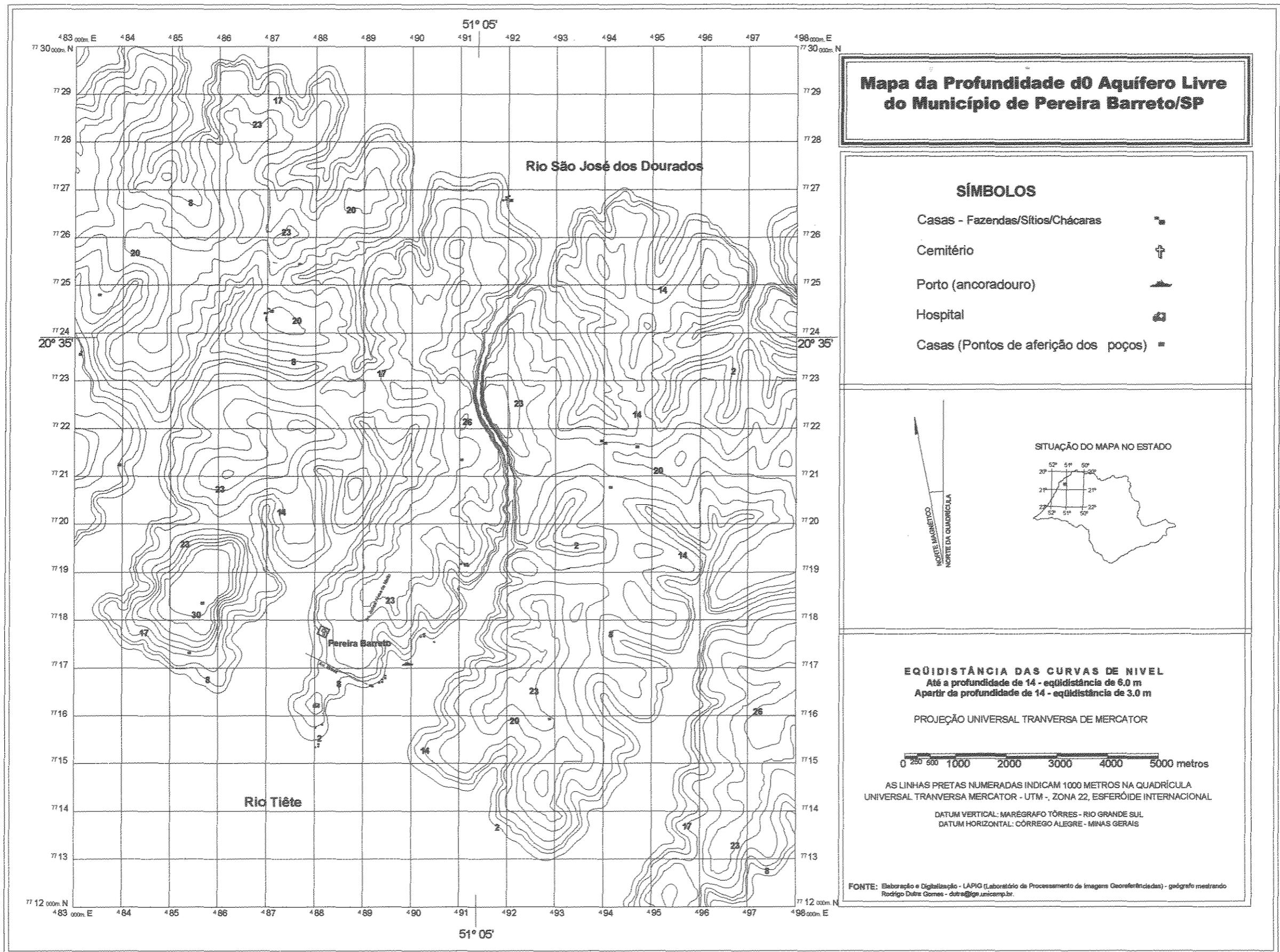


FIGURA 5.13 – Mapa da Profundidade do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto.

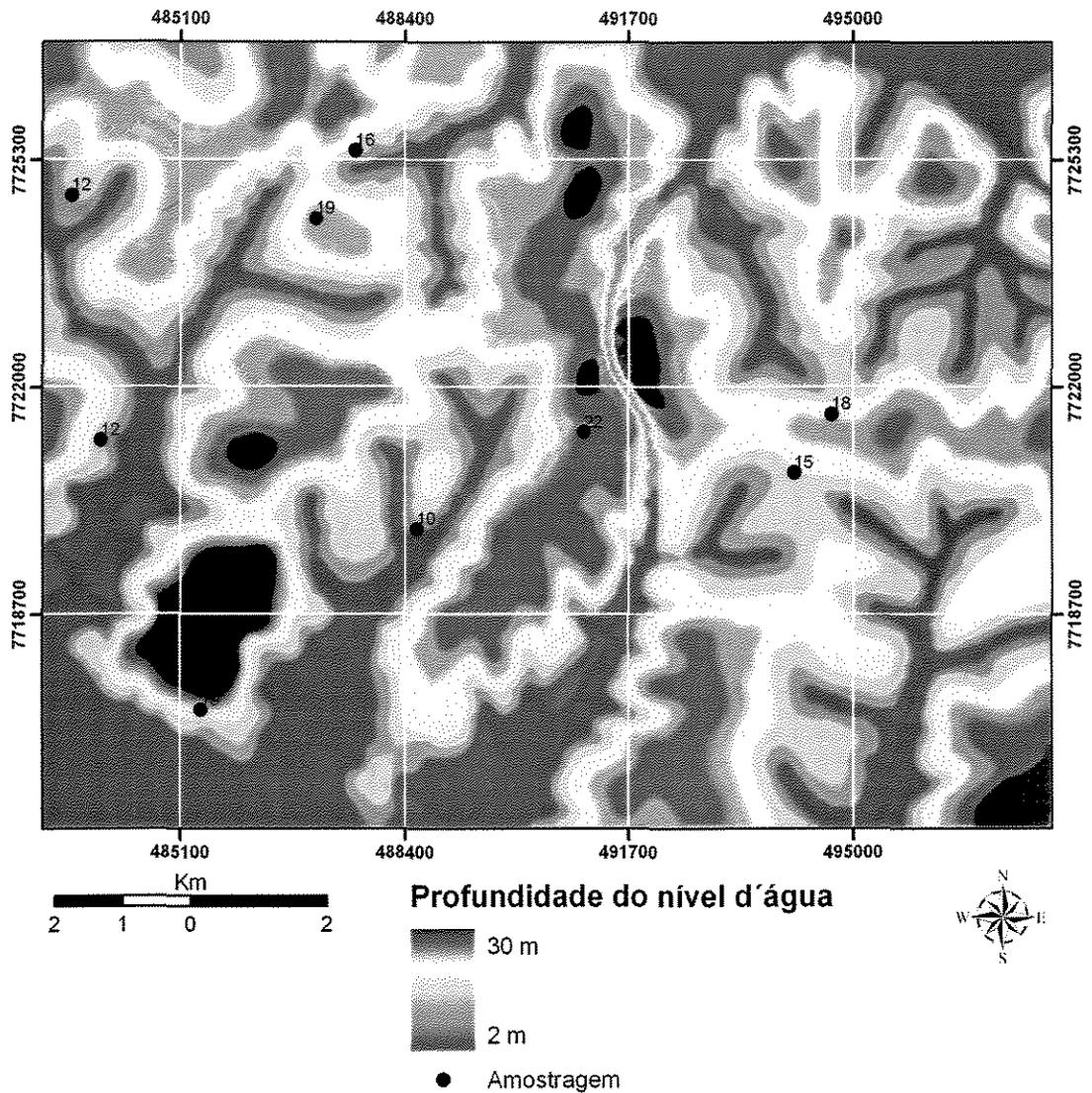


Figura 5.14 – Mapa de Profundidade em formato Raster⁹.

Tabela 5.2 – Comparação entre os dados Amostrados \ Gerados

Poços	Valor amostrado (m)	Valor Gerado (m)	Erro (m)
1	16 (bombeando)	14.29	-1.71
2	19	18.45	-0.55
3	12	12.62	+0.62
4	12.3	12.58	-0.28
5	19 (bombeando)	20	+ 1
6	22.10	22.53	+0.43
7	15	14.52	-0.48
8	18	17.57	-0.43
9	9.5 (bombeando)	7.55	- 1.95

⁹ Neste mapa, os dados amostrados estão representados com números inteiros, devido às limitações de representação do software utilizado, sem, no entanto, interferir no resultado do mapa.

O erro médio entre os valores amostrados e os gerados (apresentados na Tabela 5.2) é de 0.827 metros; as maiores inexactidões estão associadas aos poços com maiores proximidades dos cursos d'água, ou ainda pela influência da exploração (bombeamento) no momento de medição em campo. Observa-se, assim, que os poços com as maiores diferenças estão localizadas na intersecção de cursos d'água (poços: 3, 4), (FIGURA 5.14).

Após todas as considerações sobre os procedimentos e os resultados alcançados na confecção deste mapa, convém ressaltar que, apesar de estes estarem embasados em estudos específicos realizados na área, e que se cuidou de fazer a verificação/comparação dos resultados com dados obtidos em campo. Ainda assim, o seu resultado final é de caráter relativo, devido ao processo de generalização de dados, podendo ocorrer imprecisões de resultados, normalmente encontradas quando se seguem tais procedimentos. Entretanto, sem a execução destes procedimentos dificilmente se conseguiria efetivar o método proposto. Portanto, qualquer forma de aplicação dos procedimentos descritos em outras áreas requer adaptações metodológicas específicas. Exemplificando, é de supor que em áreas com predominância de litologias cristalinas não seja possível a aplicação de tais procedimentos, já que, no presente estudo, o ponto central que sustentou o plano da extrapolação dos dados consiste na consideração de que a superfície do nível freático apresenta-se em um relativo *continuum* espacial (permitido pelas características físicas do local – solo, geologia etc). Em áreas com litologias cristalinas esta relativa continuidade é interrompida por fraturas distribuídas de forma aleatórias, apresentando espessuras e dimensões diferentes entre si, comprometendo a generalização de dados na forma como foi aplicada no presente trabalho.

5.3.2 – CLASSE DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO LIVRE

Para o estabelecimento das classes de vulnerabilidade, seguiu-se o procedimento proposto no respectivo método. Assim, de acordo com o modelo, foram fixados valores conforme as características dos parâmetros considerados. Estes foram multiplicados, e como produto resultou os valores que demonstram as classes de vulnerabilidade do aquífero, conforme valores fixados para os fatores.

5.3.2.1 – GROUNDWATER OCCURRENCE:

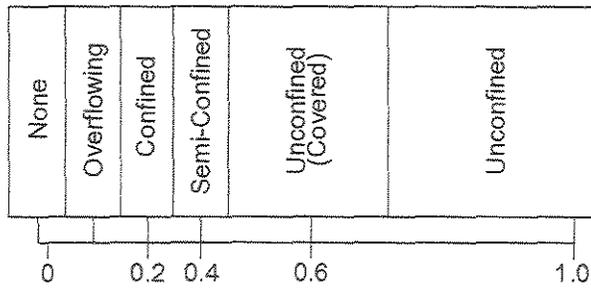


FIGURA 5.15 - Valores para Groundwater occurrence pelo método GOD.

Conforme se estabeleceu anteriormente, o aquífero estudado foi considerado como livre, em toda a área. No entanto, por segurança preferiu se adotar o valor 0.9 (FIGURA 5.15). Apesar de ter seguido a sugestão de FOSTER & HIRATA (1993), generalizando a classificação do *Groundwater Occurrence* em relação a algumas diferenciações localizadas nas características físicas do sistema de aquífero, preferiu não se maximizar os valores da classificação, ou seja, não relevando significativamente a existências das características físicas diferenciadas e também a não adoção do valor máximo (1.0) na classificação do tipo de aquífero.

5.3.2.2 – OVERALL LITHOLOGY OF AQUIPERM OR AQUITARD

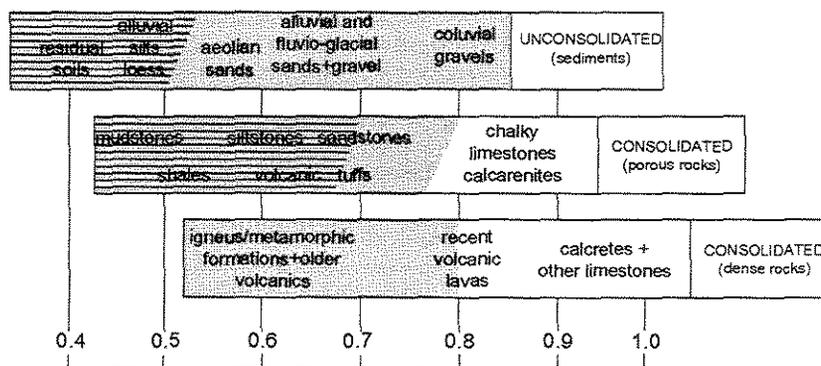


FIGURA 5.16 – Valores para Overall Lithology of aquífero or aquífero pelo método GOD.

Como os valores deste parâmetro são definidos de acordo com as características da litologia, fixaram-se dois valores, considerando essa variação geológica e os diferentes solos que estes dão origem (FIGURA 5.16).

Levando-se em consideração que a maioria da área é ocupada pelo arenito Santo Anastácio, poder-se-iam classificar as áreas com predominância desta litologia como valor 0.7. No entanto, de acordo com SUGUIO (1984) e IPT (1989), o manto de alteração do arenito é coberto por solos residuais, que, por sua vez, são cobertos por colúvios, que, devido às suas características, influem na capacidade de percolação da água que vai atingir o aquífero.

Por se apresentar com características arenosas e com boa drenagem, considera-se que os solos residuais advindos do arenito, classificados como Latossolo Vermelho Escuro e Argissolo, apesar de apresentarem dinâmicas de percolação hídrica diferentes, não apresentam grande capacidade de atenuação no processo de percolação da água. O mesmo ocorre com os colúvios (definido com valor 0.8) que apresentam características físicas semelhantes às dos solos que lhe dão origem (IPT, 1989). Por esta razão, optou-se por generalizar o valor como sendo de 0.75 para as áreas com litologia arenítica.

As áreas em que ocorre o afloramento do basalto Serra Geral são muito restritas, (nas bordas da represa Três Irmãs e Ilha Solteira), cujos solos residuais que originam são da classe Latossolo Vermelho Eutroférico, devido à boa drenagem interna e dos colúvios associados. Atribuiu-se para estas porções o valor 8.

5.3.2.3 – DEPTH TO GROUNDWATER TABLE (unconfined) OR STRIKE (confined).

> 100 m	50 - 100 m	20 - 50 m	10 - 20 m	5 - 10 m	2 - 5 m	< 2 m
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

FIGURA 5.17 – Valores para Depth to groundwater table pelo método GOD.

A classificação dos valores para as profundidades do *water table* foram feitos de acordo com as escalas de valores adotados pela metodologia para as respectivas profundidades (FIGURA 5.17).

5.3.2.4 – CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS (TABELA 5.2)

TABELA 5.2 – Correlação dos Valores dos Parâmetros.

1		2	3	4	5	6*	7	
1a	1b						classes	
Profundidade		0.75	0.8	Tipo de	Arenito	Basalto		
Classes(m)	Valor	(Arenito)	(Basalto)	Aquífero	(FINAL)	(FINAL)	Arenito	Basalto
< 2	1	0.75	0.8	0.9	0.675	0.720	ALTO	EXTREMO
2 - 5	0.9	0.675	0.72	0.9	0.607	0.648		ALTO
5 - 10	0.8	0.6	0.64	0.9	0.540	0.576		ALTO
10 - 20	0.7	0.525	0.56	0.9	0.472	0.504	MODERADO	MODERADO
20 - 50	0.6	0.45	0.48	0.9	0.405	0.432		MODERADO

* Apesar dos materiais advindo do Basalto se localizarem de forma restrita apenas em áreas de baixa profundidade, convencionou-se classificá-lo em todas classes de profundidade com vista facilitar a aplicação da metodologia.

Na coluna 1b estão os valores das classes de profundidade, estes são multiplicados por 0.75 u 0.8 (dependendo das características do material litológico), o resultado é apresentado na coluna 2 e 3. Este, por sua vez multiplica-se pelo valor do tipo do aquífero (0.9). O produto final (coluna 5 e 6) é transformado em classes de vulnerabilidade conforme a escala adotada no método **GOD** (coluna 7). Estes classes são cartografadas para representação da distribuição espacialmente das classes de vulnerabilidade.

5.3.3 – MAPA DE VULNERABILIDADE

Descrição do Mapa de Vulnerabilidade Natural do Aquífero (FIGURA 5.18)

Na base cartográfica gerada observa-se a preponderância do parâmetro 'depth to the water table' na configuração das classes de vulnerabilidade, encontrando as áreas de maiores vulnerabilidades em congruência com as isolinhas de profundidade, que se deve à

relativa homogeneidade dos outros parâmetros considerados, já que a estrutura litológica e o tipo de aquífero não variam significativamente na área.

Da mesma forma que os resultados apresentados por STIGER et al. (2002), o aquífero livre apresenta-se majoritariamente com vulnerabilidade moderada. Esta classe faz transparecer uma maior susceptibilidade a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não, sais menos solúveis e alguns metais pesados (além das substâncias móveis e persistentes). Nas áreas próximas aos cursos d'água, onde o aquífero se torna aflorante, a vulnerabilidade aumenta; até a profundidade média de 10 metros, atribuiu-lhe classe alta. Em locais restritos, onde se encontram solos de origem basáltica, observa-se a presença de classes extremas. Nestas duas últimas classes o aquífero possui sensibilidade para contrair contaminação também por substâncias degradáveis, como bactérias e vírus.

Observa-se, então, a influência do represamento do rio Tiête e suas repercussões nos sistemas hidrogeológicos da bacia. Como visto, na área, o fator *Depth Groundwater* é o parâmetro físico que (de acordo com este método) mais influencia na definição da classe vulnerabilidade. Assim, devido à implantação da Usina Hidroelétrica e, conseqüentemente, a criação da represa, houve uma elevação generalizada no nível freático, induzindo-se o aquífero livre a patamares mais elevados, aproximando-se-o da superfície e, assim, aumentando a susceptibilidade deste ambiente a receber maiores influências negativas da superfície. Contrariamente, AL-SENAFY & ABRAHAN (2004) observaram que, apesar da diminuição do nível freático no sul do Kuwait, devido à intensa utilização pela irrigação, houve o aumento da vulnerabilidade, causada pelo aumento da utilização de agroquímicos em superfície.

Comprova-se, então, que usualmente os projetos intervencionistas (UHE, Irrigação etc), além de influírem nos regimes hídricos das águas superficiais, também desempenham um papel desregulador dos sistemas hidrogeológicos, alterando os regimes de troca energia e matéria, influenciando o grau de vulnerabilidade do ambiente em relação a determinados eventos de origem naturais ou antrópicas.

Apesar de considerar os resultados satisfatórios para o cumprimento dos objetivos proposto nesta etapa do trabalho, pela visão sistêmica não se pode negligenciar a presença de outros fatores que compõem o meio e que, possivelmente, estariam influenciando (em

maior ou menor grau) os resultados apresentados; estes poderiam complementar a metodologia aplicada, com vista uma representação mais fiel do grau de vulnerabilidades às águas subterrâneas na área. Entretanto, acredita-se que a inserção e consideração de outros parâmetros em estudos dessa natureza não pode ser feita pela simples consideração quantitativa aleatória, sem a realização de estudos prévios que confirmariam a importância e relevância destes no método aplicado, ressaltando a dificuldade em discernir outros componentes do meio como sendo relevantes para um determinado objetivo.

Para a exemplificação dessas dificuldades, utilizar-se-á o estudo realizado por ROSS (1981) na Grande São Paulo, que procurou estabelecer uma relação entre as características litológicas e os diferentes compartimentos topográficos para o entendimento das variações na qualidade das águas subterrâneas, chegando à conclusão de que, naquele caso, não houve nenhuma relação nítida entre estes fatores na variação dos resultados, atribuindo à forma de urbanização a causa fundamental dessas variações.

Assim, levem-se em conta as considerações feitas por CHRISTOFOLETTI (op. cit) e PENTEADO ORELLANA (op. cit), sobre os riscos existentes quanto às especificações e generalizações desnecessárias presentes nos estudos sistêmicos, como tentativa de tratar um objeto de estudo em sua totalidade. Portanto, apesar de serem vários os elementos constituintes do meio, para que houvesse o estabelecimento de outras variáveis relevantes com vista o aprimoramento do método utilizado, necessitar-se-ia de uma pesquisa mais apurada neste sentido, fugindo dos objetivos traçados. No entanto, considera-se que o método utilizado não deixa de cumprir os objetivos propostos, mas também não se pode negligenciar suas limitações, considerando-o assim, conforme salientam os próprios autores, FOSTER & HIRATA (1988), de caráter relativo.

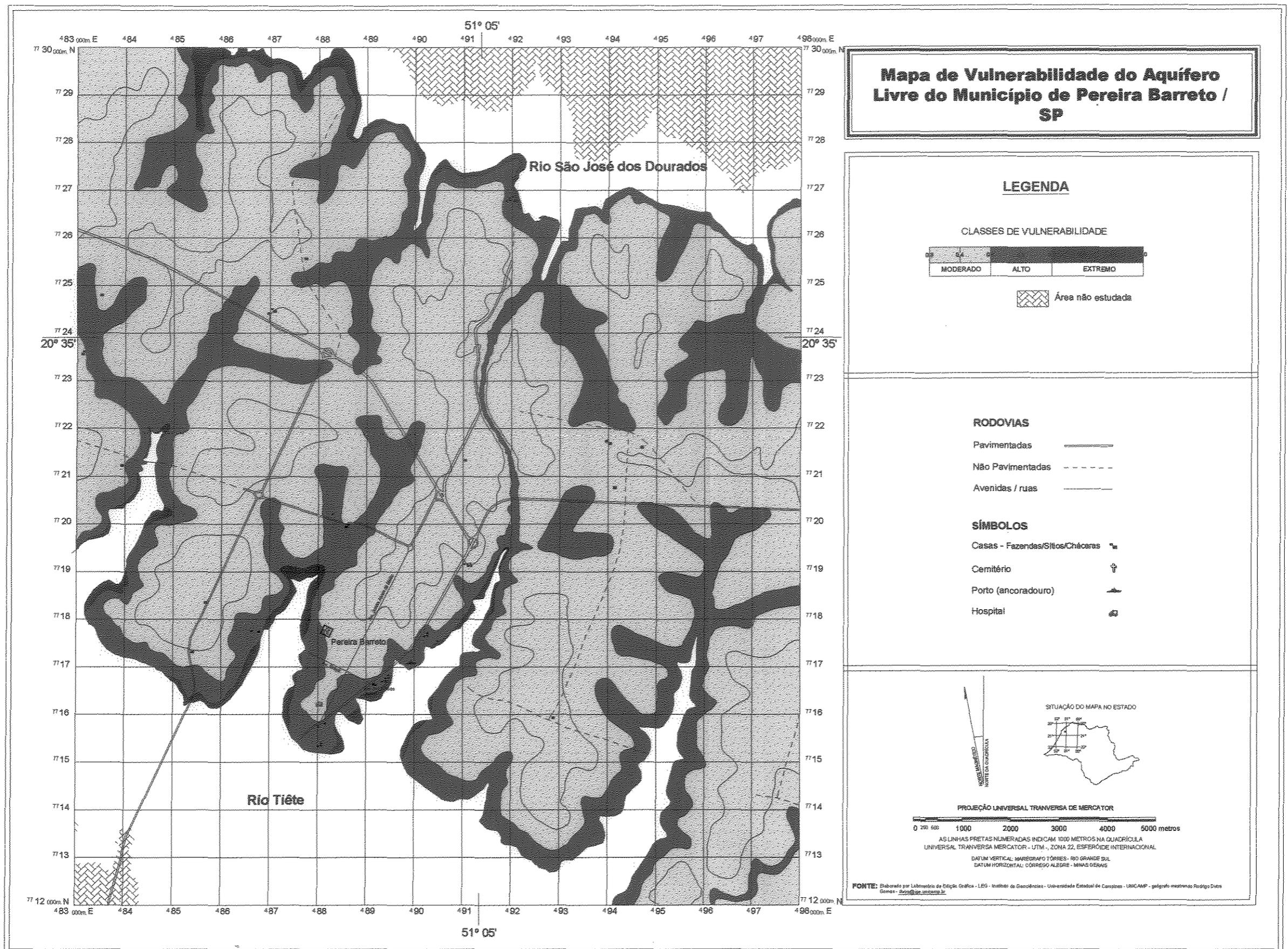


FIGURA 5.18 – Mapa de Vulnerabilidade Natural do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto/SP.

CAPÍTULO 6 - MAPEAMENTO DE RISCO À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO FREÁTICO.

6.1 – METODOLOGIA PARA CARACTERIZAR AS FONTES POTENCIAIS.

6.1.1 – Confeção da base cartográfica.

Para a determinação e confeção cartográfica das classes de risco, necessitou se espacializar as fontes potenciais de contaminação. Para tanto, utilizou-se como base uma imagem de satélite da área urbana e do entorno da cidade, disponibilizada pela FUNDUNESP (Fundação para o Desenvolvimento da UNESP)¹⁰. Esta foi visualizada na órbita 222 ponto 7 do sistema de referência do satélite LANDSAT-7, pelo sensor ETM+, apresentando uma resolução espacial de 12,5 metros, com a passagem do satélite datada de 12/08/2001. Em relação à imagem orbital, foram utilizadas as bandas 1 (Blue), 2 (Green) e 3 (Red). A imagem foi previamente georeferenciada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP de Ilha Solteira, e posteriormente cedida em formato GEOTIFF (FIGURA 6.1).

A utilização de imagens de satélites na determinação do risco normalmente conduz à espacialização das fontes potenciais de contaminação dos aquíferos. No entanto, há de se considerar que uma das características dos países em desenvolvimento é a rápida variação nos tipos de culturas exploradas, não mantendo, muitas vezes, constância no cultivo de determinadas áreas. Essa tendência, neste caso, limita a utilização e interpretação destes tipos informações, já que a carta de ocupação e uso gerada é sempre de caráter provisório. Por isso, há necessidade de utilizá-las apenas como base de reconhecimento, para uma posterior delimitação atualizada. Assim, são necessárias saídas de campo, *in loco*, para verificação e reconhecimento das informações contidas nesta imagem, além de possíveis inserções de informações antes não existentes. Nesta perspectiva, convém ressaltar que as bases cartográficas geradas com estes procedimentos tornam-se também de caráter provisório, em face da não constância dos usos.

¹⁰ Pelo projeto “Identificação dos Níveis de Degradação das Pastagens na Área De Influencia do Complexo de Urubupungá Através da Utilização de Dados Edáficos e Morfofisiológicos Associados ao Geo-Processamento”, UNESP de Ilha Solteira, prof. Dr. Hélio Ricardo Silva.

Neste estudo foram estabelecidas saídas de verificação e reconhecimento no período de 26 a 31 de dezembro de 2003, utilizando como material a própria imagem de satélite e um GPS (Global Position Systems), pela não atualidade da base e das possíveis alternâncias de culturas, com alterações nos limites espaciais destas áreas. Isso envolve alteração da configuração qualitativa (tipo) e quantitativa (número) das áreas cultivadas. Os pontos georeferenciados localizados na imagem e ligados entre si formam polígonos representativos dos limites de exploração agrícola. Estas saídas a campo, identificando formas de utilização do solo, foram devidamente registradas em fotos, algumas aqui apresentadas.

Com a definição das formas de utilização da superfície, a imagem de base foi importada para o programa AutoCAD2000, onde foram feitas as delimitações dos polígonos de cultivo, gerando o mapa de uso e ocupação.

6.1.2 – Caracterização das Fontes Potenciais de Poluição

A caracterização das fontes baseou-se nas formas de ocupação que oferecem risco na área (uso urbano, uso agrícola, disposição de resíduos sólidos e lagoa de efluentes), com considerações sobre como estas interferem na qualidade das águas do aquífero e como foram classificadas neste estudo. No caso do uso agrícola, a classificação foi também feita especificamente para cada tipo de cultura (cana-de-açúcar, milho, soja, laranja e manga), seguindo todas os mesmos preceitos metodológicos.

Uso Urbano – A periculosidade da ocupação urbana foi classificada considerando os critérios já descritos, condizente com as situações em que há fontes contaminantes em superfície/subsuperfície e onde ficou comprovada sua interferência na qualidade da água.

Uso Agrícola.

A exploração das culturas agrícolas requer a correção de acidez (com calcário) e a aplicação de nutrientes nos solos, o que usualmente é efetuado com o emprego de fórmulas ou misturas conhecidas como NPK (nutrientes macroessenciais), que carregam ainda outros nutrientes em quantidades menores, em face de exigências dos vegetais.

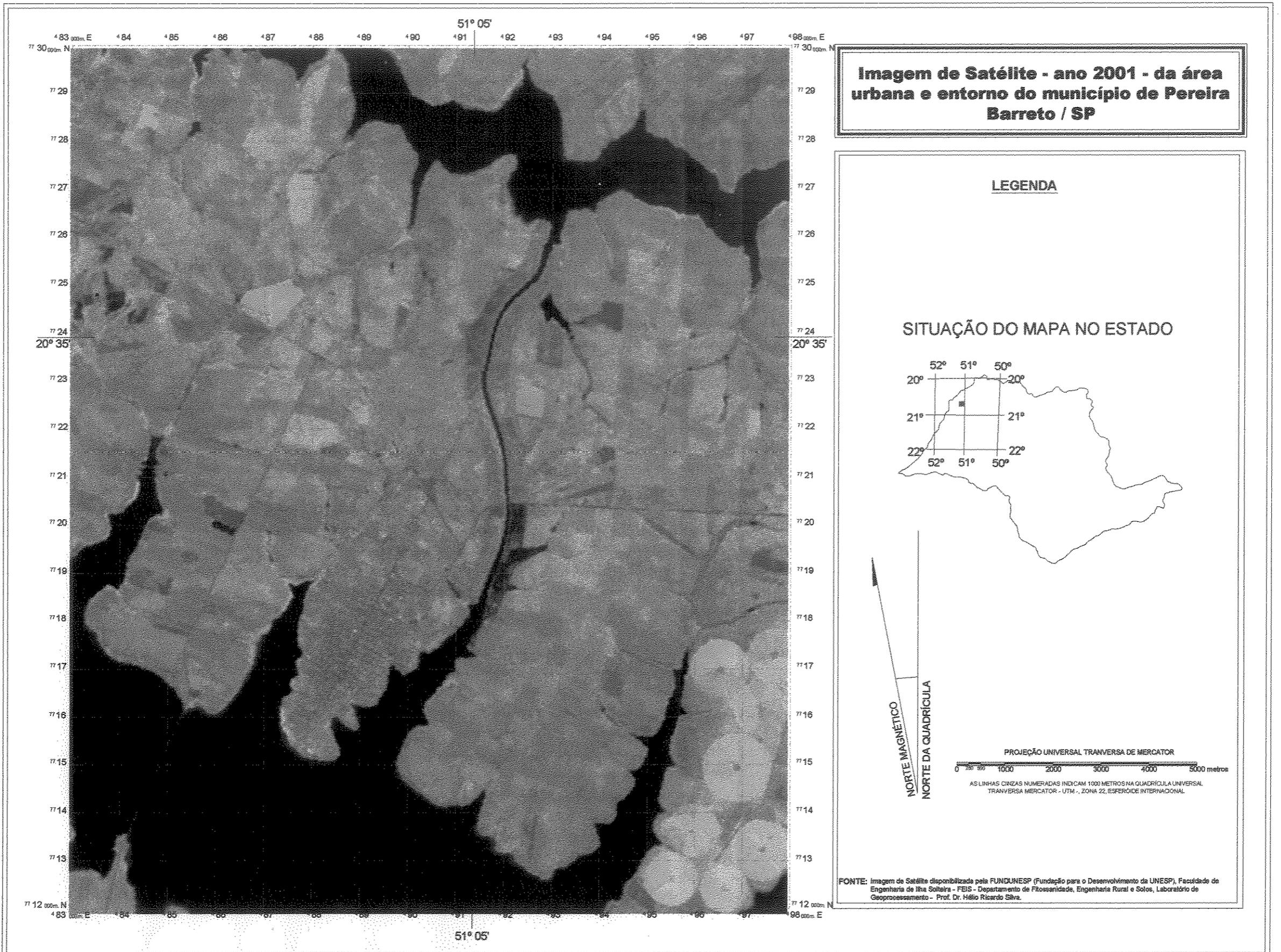


FIGURA 6.1 – Imagem de Satélite da área urbana e entorno do município de Pereira Barreto / SP.

Os sais de N, P e K utilizados nas misturas dos fertilizantes são padronizadas pelo Ministério da Agricultura, e as principais fontes de Nitrogênio são: o Nitrato de amônio – NH_4NO_3 , e o Sulfato de Amônio – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, para o Fósforo há o Super simples – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$ e o Super Triplo – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$, e para o Potássio, o Cloreto de Potássio (KCl).

Destes constituintes, os compostos de nitrogênio são os que oferecem maior risco à contaminação, pois a nitrificação os transforma em íon nitrato (NO_3^-), que, devido à sua alta mobilidade e persistência, podem atravessar o subsolo e atingir o lençol freático pelos processos de lixiviação, vindo a constituir um acúmulo de NO_3^- residual nas águas subterrâneas; dependendo da sua quantidade, pode constituir um agente de poluição. Os compostos fosfatados e potássicos são retidos no solo e assimilados pelas plantas, e geralmente as quantidades que atingem o lençol não são significativamente poluentes (CETESB, 1977). Porém, deve se assinalar que a quantidade de nitrato lixiviado deriva-se do acúmulo de nitrogênio total no solo e somente uma parte menor provém diretamente do fertilizante aplicado em um dado ano. Portanto, a lixiviação dos fertilizantes poderá ocorrer mesmo se nenhuma carga nitrogenada houver sido aplicada em um dado tempo. Contudo, as maiores incertezas encontradas estão na avaliação da quantidade de nitratos lixiviados, por existir uma complexa relação entre clima-irrigação-sistema solo-colheita, dificultando a mensuração (HIRATA, 1994). Por isso, preferiu se determinar o índice de periculosidade de acordo com as características de persistência e mobilidade destes compostos.

No QUADRO 6.2 está contido um resumo das principais características dos fertilizantes agrícolas, retirado de FOSTER & HIRATA (1993), servindo como base de comparações, e conseqüentemente, da classificações para os fertilizantes utilizados nas culturas presentes na área.

Os pesticidas são compostos químicos que têm a finalidade de exterminar insetos e outros organismos que atacam as culturas agrícolas, e sua utilização tem crescido nas últimas décadas. Em face das características físico-químicas dos seus compostos, sua aplicação em superfície pode levar à percolação, até atingir o sistema hidrogeológico, influenciando a qualidade dos aquíferos. Dependendo da mobilidade e persistência dos composto e do sistema irrigação-colheita-pluviosidade, eles serão mais ou menos danosos

em potencial. Assim como os fertilizantes, a quantidade lixiviada dos pesticidas é de difícil estimativa, devido aos mesmos complexos processos de relação das variáveis envolvidas.

À problemática do comportamento destes pesticidas alia-se à dificuldade de obtenção de dados sobre o seu comportamento em maiores profundidades, no subsolo. No entanto, acredita-se que a taxa lixiviada de uma aplicação de pesticida varia de 0,5 a 5,0%, dependendo do tipo de composto e do sistema solo-colheita. Portanto, considera-se que a principal ameaça que estes possam oferecer às águas subterrâneas está ligada aos compostos relativamente móveis, de ampla aplicação em zonas de recarga, constituindo um risco iminente em áreas vulneráveis (FOSTER & HIRATA, 1993). Em função das características dos pesticidas referidos no QUADRO 6.1, da regularidade de aplicação e em bibliografias pertinentes, define-se o grau de periculosidade desses produtos aos aquíferos.

Os dados referentes às formulações de NPK e aos tipos de pesticidas mais utilizados nas respectivas explorações foram obtidos junto à Casa da Agricultura de Pereira Barreto, nos comércios especializados na venda de agroquímicos e na Destilaria Pioneiros S/A (para informações sobre o plantio de cana-de-açúcar). No caso da cana-de-açúcar há que se referir também a aplicação de vinhaça (sub-produto), de natureza ácida, e que adiciona matéria orgânica no solo.

QUADRO 6.1 – Principais características dos pesticidas utilizados em plantações.

GRUPO QUÍMICO	ADSORÇÃO		AFINIDADE COM		SOLUBILIDADE E (H ₂ O a 20 ~ 25°C)	PERSISTÊNCIA NO SOLO (meia vida/dias)	MOBILIDADE
	Matéria orgânica	argila	Matéria orgânica	argila			
I. IÔNICO							
Catiônico	+ (d)	+(de)	forte	Muito forte	Alta	4000-5000	1
Ácidos	+	-	débil	Muito forte	Alta a maior pH	10-140	5
Básicos	+ (cdef)	+(de)	débil	média	Alta a baixo pH	25-400	3
II. NÃO-IÔNICOS							
Hidrocarbonetos	+ (bd)	+	Muito forte	Débil	Baixa moderada	460-1650	1
Organofosforados	+ (bd)	+(c)	Muito forte	Média	Baixa	1-60	1
Anilinas perduráveis	+ (bd)	+	Forte	ébil	Baixa a média	45-180	1
Fenilúricos	+ (bd)	+(cf)	Média	ébil	Moderada	120-400	3
Carbamatos	+ (bd)	-	Média	Débil	Moderada	10-70	3
Amidas	+ (bd)	-	Débil	Muito débil	Moderada	30-70	3
Tiocarbamatos	+ (bd)	+	Forte	Média	Moderada	30-220	2
Fenilamidas	+ (bd)	-	Forte	Débil	Moderada	300-400	2
Benzonitrilos	+ (bd)	+	Forte	média		60-180	2

b. afinidade hidrofóbica
c. afinidade hidrogênica
d. transferência de carga
e. intercâmbio de ions
f. intercâmbio de ligantes

escala de mobilidade
1 – imóvel
2 – pouco móvel
3 – móvel
4 – altamente móvel
5 – extremamente móvel

FONTE: VRBA & ROMIJN (1986) *apud* FOSTER & HIRATA (1993)

QUADRO 6.2 – Principais características dos fertilizantes utilizados em plantações.

Tipo	Absorção no solo	Mobilidade no solo		Transformação		Possíveis Contaminantes	
		Cátions	Ânions	Química	Biológica	Cátions	Ânions
DE NITROGÊNIO							
Nitrato de Cálcio	Baixo, somente Ca	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Salitre de amônio	Parcial, somente NH ₄	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Salitre de Sódio	Baixa, somente A	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Salitre de Potássio	Baixa, somente K	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Salitre de amônio	Aumento NH ₄ e Ca	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Sulfato de amônio	Parcial, somente NH ₄	Baixa	Média		*	NH ₄	SO ₄
Amoníaco Líquido	Alta NH ₄	Baixa	Alta		*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Água Amoniacal	Parcial NH ₄	Baixa	Alta	*	*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Uréia	Parcial NH ₄	Baixa	Alta	*	*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Cianamida Cálcica	Parcial NH ₄	Baixa	Alta	*	*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
Uréia-50/amoniaco-50				*	*	NH ₄	NO ₃ , NO ₂
DE FÓSFORO							
Superfosfato							HPO ₄
Superfosfato granulado	Muito alta	Extremamente baixa					HPO ₄
Tri-superfosfato	Muito alta	Extremamente baixa		*			HPO ₄
Fosfato pulverizado	Muito alta	Extremamente baixa		*			HPO ₄
Pó de Thomas	Muito alta	Extremamente baixa		*			HPO ₄
Superfosfato simples	Muito alta	Extremamente baixa		*			HPO ₄
+ fosfato cru	Muito alta	Extremamente baixa		*			HPO ₄
DE POTÁSSIO							
Cloreto de potássio	Baixa, somente K	Baixa	Alta			K	Cl
Cloreto de potássio +	Baixa, somente K	Baixa	Baixa			K	Cl
Sulfato de magnésio							
Kainit	Baixa, somente K	Baixa	Alta			K	Cl
Sulfato de potássio	Baixa, somente K	Baixa	Média			K	Cl
NPK combinado	umentada	Baixa	Alta	*	*	k	NO ₂ , NO ₃ PO ₄

FONTE: VRBA & ROMJN (1986) *apud* FOSTER & HIRATA (1993)

6.1.2.1 – Caracterização das Fontes Agrícolas Específicas :-

Cana-de-açúcar – As principais características de uso dos fertilizantes e pesticidas são:

- Fertilizantes mais usados: fórmula 5-25-25 aplicando 600kg por hectare, e 4-18-12 aplicando 833Kg por hectare. Conforme a Destilaria Pioneiros S/A, a vinhaça é utilizada sem lavagem ou diluição, diretamente na cultura de cana-de-açúcar.
- Os Pesticidas comumente usados são o Thiodan®, aplicado à base de 6L/há, diluído para 200 L/há, e Confidor®, aplicado a 400g/ha.

Impacto dos fertilizantes: Considerando que o saco de 50 Kg de fertilizantes possui, no primeiro caso, 5% e no segundo 4% de N, obtém-se a cifra de 2,5 e 2 Kg para os respectivos sacos; para uma carga aplicada de 600Kg/ha, necessitam-se 12 sacos no

primeiro caso e 16,6 sacos no segundo, gerando uma carga potencial de 30 e 33Kg nitrogênio por Hectare. Nessa mesma perspectiva, serão 150Kg de Fósforo e 150Kg Potássio, no primeiro caso, e 149kg de Fósforo e 99,6kg de Potássio, no segundo. Durante o processo de fertirrigação há o despejo direto da vinhaça sobre a plantação.

Impacto dos Pesticidas – Na classificação dos pesticidas, com base no QUADRO 4.1, observa-se que o produto Thiodan® pertence ao grupo químico dos não-iônicos Tiocarbamatos, e o Confidor® é do grupo dos não-iônicos Hidrocarbonetos clorados

Milho – Características:

- Fórmula de fertilizante comumente usada: 8-28-16.
- Pesticida Match® 300ml/ha.

Impacto dos Fertilizantes - Considerando um saco de 50 kg tem-se 4kg de Nitrogênio, 14kg de Fósforo, 8kg de Potássio. No caso do milho recorreu-se aos padrões estabelecidos pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas, 1998), que se refere à aplicação de 375 kg de NPK por hectare. Assim, há necessidade de 7,5 sacos de 50 kg para suprirem a necessidade de fertilização do solo, ou seja, 30kg de Nitrogênio por hectare, 105 kg de Fósforo e 60 kg de Potássio.

Impacto dos Pesticidas – Para a caracterização do produto utilizado nesta cultura, recorreu-se a bibliografias que possibilitassem o conhecimento das características do grupo químico do pesticida usado (Match®). CARVALHO et al. (2002) analisaram efeitos da persistência dos inseticidas na cultura do tomateiro, incluindo o mesmo pesticida usado no plantio de milho da área (Match®), apresentando o ingrediente ativo Lufenuron do grupo químico Aciluréias. Naquele estudo este foi classificado como sendo pouco persistente, apresentando vida curta (5-15 dias).

Soja – Características:

- Formulação: 0-20-20.

- Pesticida Match®, doses de 150 a 300 ml/ha; Thiodan® com dosagem variáveis de 350 á 525 g/ha (floculado) ou 0,5 á 1,5 l/ha dependendo do tipo de pragas a se controlar, com uma diluição, aplicando-se 100 a 250 l/ha, o mesmo acontecendo com o pesticida Tamarom® variando de 500 a 750ml, diluído em 200 a 300 l/ha.

Impactos dos Fertilizantes – Ao contrário das outras culturas, não utiliza concentrações de compostos nitrogenados, chegando a ser (como no caso), inexistente. Em um saco de 50kg não há participação de N, entretanto 10kg de Fósforo e 10 kg de Potássio, o que elimina um grande fator que determina o grau de risco potencial – o Nitrogênio. Os parâmetros adotados pelo IAC (1998) para a quantidade de composto NPK aplicável por hectare são muito generalizados, variando de 20 a 120kg para Fósforo e 0 a 80 para Potássio, não permitindo uma definição confiável do quanto é aplicado por hectare.

Impactos dos Pesticidas – Os dois pesticidas mais comumente utilizados nesse tipo de cultura são os mesmos utilizados para a plantação de milho e cana-se-açúcar, tendo sido já devidamente descritos.

Laranja e Manga – Características:

- Fertilizante comumente usados: sem informações.
- Pesticidas comumente usados: sem informações.

Impacto dos Fertilizantes – Para essas culturas não foi possível obter-se as características dos fertilizantes usados na área, pelo fato de estes produtos não serem adquiridos no comércio municipal e a Casa de Agricultura não deter essas informações. Sabe-se que as fórmulas NPK mais utilizadas para a cultura de Laranja, de acordo com AGROBYTE (2004)¹¹, é a 14-04-07 – 7 kg de N, 2 Kg de P e 3,5Kg de K no saco de 50Kg. A aplicação destes elementos nesta cultura é feita por pé, e não em superfície. Em uma planta adulta (4º ano), recomenda-se a aplicação de 300g de N, 100 a 300g de P e 70 a 200g de K (IAC, 1998). Nesse aspecto, as quantidades de compostos nitrogenadas oferecem uma carga que

¹¹ In: <http://www.agrobyte.com.br/laranja.htm>

poderá ser armazenada no subsolo e posteriormente sofrer processos de lixiviação. Ressalte-se que as cifras de aplicação apresentadas não são necessariamente as mesmas usadas na área estudada, servindo apenas como parâmetro estimativo.

Para a cultura de manga não foi conseguida informação referente à fórmula NPK utilizada. No entanto, obteve-se a quantidade por hectare como sendo 10 a 40kg/ha de N, 10 a 60kg/ha de P e 10 a 80kg de K. Nota-se que a variedade quantitativa de aplicação dos compostos dificulta a interpretação das cargas aplicadas em superfície, não sendo possível precisar a quantidade aplicada em determinada área, podendo esta variar em dependência das diferentes condições agrícola (solo, clima etc) de uma região.

Impacto dos pesticidas – A caracterização dos pesticidas dessas culturas foi comprometida pelos mesmos motivos dos fertilizantes, ou seja, as compras desses produtos não são feitas no município de Pereira Barreto, não sendo possível caracterizar de forma precisa qual o tipo de produto normalmente usado nestas plantações.

Considerações – Devido aos problemas de definição quanti-qualitativa dos fertilizantes e pesticidas das referidas culturas, para a caracterização da potencialidade do risco destas, tomou-se como base a comparação da quantidade de nitrogênio utilizada nas outras culturas encontradas na área, com vista a uma aproximação da periculosidade dessa carga, considerando a relativa homogeneidade física da área (solo, relevo, clima etc), ou seja, os mesmos processos (lixiviação, absorção etc) que estão condicionados a ocorrer nas outras culturas potencialmente poderão ocorrer nas áreas com plantio de laranja e manga. Assim, para o plantio da laranja, recomenda-se (IAC, 1998) que o espaçamento das plantas sejam de 7 x 5m, ou seja, cada planta ocupando um espaço de 35m². Nestas condições, haveria cerca 285 pés de laranja por hectare. Portanto, se as cargas nitrogenadas idealmente exigidas são de 300g por pé plantado, os 285 pés geram uma carga potencial de 85kg de nitrogênio por hectare.

6.1.2.2 - Disposição De Resíduos Sólidos

Baseado em FOSTER & HIRATA (1993) e CETESB (1977) são levados em conta dois fatores preponderantes na determinação do risco, no presente estudo.

Primeiramente, considera-se que a área de estudo está inserida em uma região sem a presença considerável de indústrias, e que os resíduos hospitalares, de acordo com informações dos administradores do Hospital e Santa Casa de Misericórdia do Município, são todos incinerados. Assim a grande maioria dos resíduos sólidos depositados no lixão são de origem doméstica. A presença do nitrogênio na composição deste tipo de resíduo é relativamente alta e bem determinada, sendo a quantidade produzida um dos fatores preponderantes na classificação do risco potencial; considera-se que a produção média de lixo seja de 0,4 kg/hab/dia, e que neste contenha 1% (em peso) de nitrogênio (CETESB, 1977).

Apesar da difícil estimativa da quantidade lixiviada em uma área de disposição de resíduos sólidos, considera-se que este processo é de importância na classificação do risco. Porém, como o cálculo exige informações não disponíveis e sem confiabilidade, preferiu-se caracterizar o perigo potencial também, a partir, do índice de pluviosidade, com base no quadro retirado de FOSTER & HIRATA (1993) (QUADRO 6.3).

QUADRO 6.3 – Categoria De Perigo Potencial

	Chuva Anual (mm/a)		
	< 200	200-1000	> 1000
MUNICIPAL			
Somente residencial	Baixo	Baixo	Moderado
Incluindo hospitalares	Baixo	Moderado	Alto
Incluindo indústrias	Baixo	Alto	Alto

6.1.2.3 – Lagoas de Efluentes

No caso presente, devido aos problemas de caracterização dos efluentes da lagoa, pela indisponibilidade de dados referentes à sua composição, decidiu-se simplificar a classificação, pela consideração de que, da mesma forma que os resíduos sólidos, os efluentes não contêm fluidos de origem industrial e mineral, pela ausência de tais atividades na Cidade. Assim, não se recorreu a análises específicas sobre a periculosidade dos compostos presentes, visto que, normalmente, os efluentes de origem doméstica não contêm elementos altamente perigosos.

Por essa razão, classificou-se o perigo potencial com base em fatores de fácil determinação – área ocupada pela lagoa –, retirado de FOSTER & HIRATA (1993) (QUADRO 6.4). A área da lagoa de efluente do município foi calculada no programa AutoCAD2000®.

QUADRO 6.4 – Classificação dos riscos em potencial das lagoas.

ORIGEM DO EFLUENTE	ÁREA DE LAGOAS (ha)		
	1	1 – 5	> 5
MUNICIPAL			
Somente residencial	Reduzido	Reduzido	Moderado
Residencial e industrial	Reduzido	Moderado	elevado

6.2 - RESULTADOS

6.2.1 - Observações de Campo

Conforme a tendência exposta por PASSOS (1988) e pela CESP (1990), para a região ao qual está inserida a área de estudo, a implantação da pecuária como forma predominante de economia, em substituição ao cultivo do café, entre as décadas de 40 a 60, teve como consequência a relativa minimização das outras formas de exploração agrícola.

Primeiramente, observa-se a nítida predominância das áreas de cultivos na porção oeste (em relação ao Canal Artificial), apresentando culturas de caráter permanente e temporário. As ocupações com culturas de cana-de-açúcar, milho, soja, laranja e manga estão dispostas na QUADRO 6.5, com informações referentes à área total no Município e a área observada nos limites do recorte estudado.

QUADRO 6.5 – Área total cultivada e área observada.

culturas	Área total (Km ²)*	Área observada (Km ²)
Cana-de-açúcar	381	7,89
Milho	370	4,90
Soja	479	3,87
Laranja	310	1,61
Manga	18	2,39

*De acordo com CENSO 2000 (www.ibge.gov.br)

Apesar de a porção oeste conter a maioria do cultivo agrícola da área, não se observa nenhuma predominância produtiva entre as culturas; o que se verifica é a concentração de produção das culturas de cana-de-açúcar e soja na porção oeste da área estudada. A produção da primeira é destinada ao abastecimento das Usinas de Álcool da região, e a segunda aos parques industriais nacionais. A área de cultivo canavieiro encontrado no recorte estudado corresponde a 2,07% do total cultivado, e para a soja é apenas 0,80%, localizando-as na porção noroeste da área. O plantio de milho (1,32% da área total cultivada) destina-se ao abastecimento de indústrias, apresentando plantio espacialmente fragmentado, com pequenas porções cultivadas (média de 0,39Km² por área cultivada), distribuídas todas na porção oeste (FOTO 6.1).

Em relação ao plantio de laranja e manga (0,51% e 13,27% em relação a área total produzida), observam-se proximidades no plantio nas áreas das duas culturas, a oeste da área urbana, com 1,61 e 2,39Km², respectivamente (FOTO 6.1).

Localiza-se ainda nesta porção, ao norte da área urbana o local de despejo dos resíduos sólidos produzido na área urbana do município (lixão) (FOTO 6.2) e a oeste duas lagoas de efluentes domiciliares.

Na porção leste predomina a exploração pecuária, tornando a área relativamente homogênea em relação ao uso agrícola, apenas com o milho em uma pequena área ao sul desta porção. Encontra-se ainda o cultivo de capim colômbio (*Panicum maximum*) para servir de alimentação do gado criado na fazenda Bonanza. A irrigação no cultivo é feita por aspersão tipo pivô central.

Em relação aos aspectos fitossociológicos, encontrou-se resquício de Mata Latifoliada Tropical Semidecídua (apresentada no mapa como mata fechada), cuja presença já fora referida pela CESP (1990). Por conter espécies de interesse econômico e por ser indicadora de solos com características químicas mais favoráveis às atividades agrícolas, ela veio sofrendo, até hoje, diversos níveis de perturbação, além da devastação causada pela expansão do café e, posteriormente, pela pecuária. Ela aparece ainda nas bordas dos cursos de d'água de pequena expressão (córregos) e da represa, na forma de Matas Ciliares, apresentando indivíduos vegetais com altura média de 7,03 m com predomínio, das classes de 4 a 8 m de altura, com poucos emergentes maiores que 10 m (CESP, 1990).

Pelas observações feitas, foram delimitados os elementos da paisagem que possibilitaram a elaboração do Mapa de Usos e Ocupação. (FIGURA 6.2).

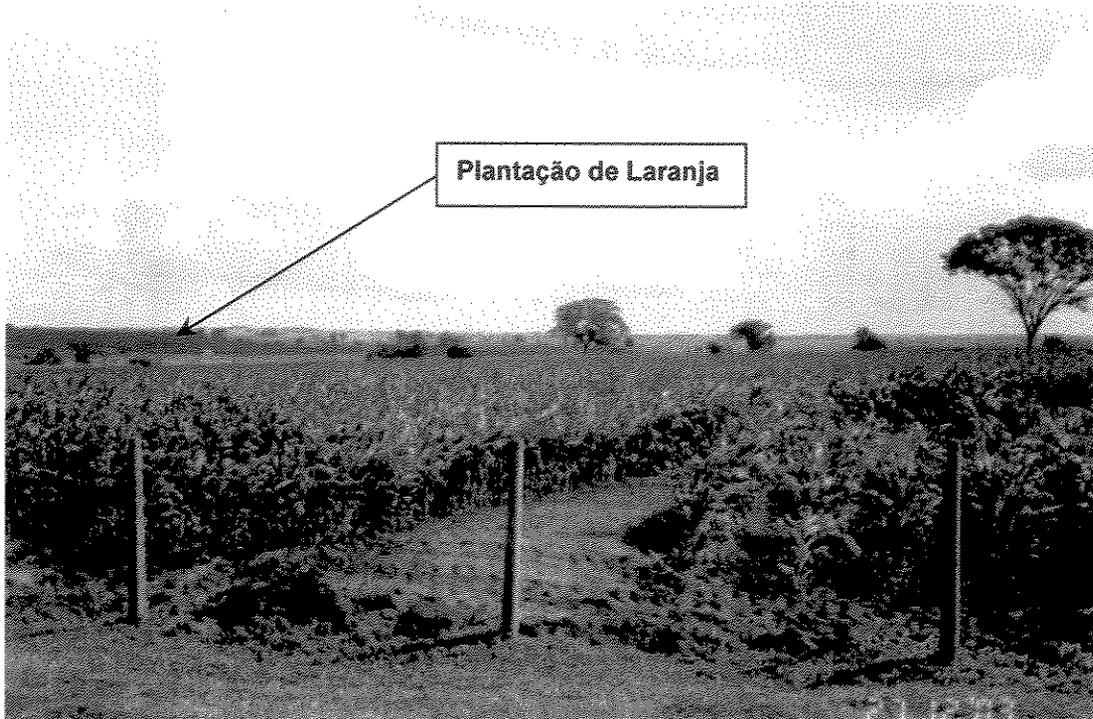


FOTO 6.1 – Plantação de Milho –Plantação de Laranja (ao fundo).
Ponto UTM – Zona 22 – 483368E, 7721653N, visada E.



FOTO 6.2 – Vista Parcial do Lixão municipal. Ponto UTM – não cotado.

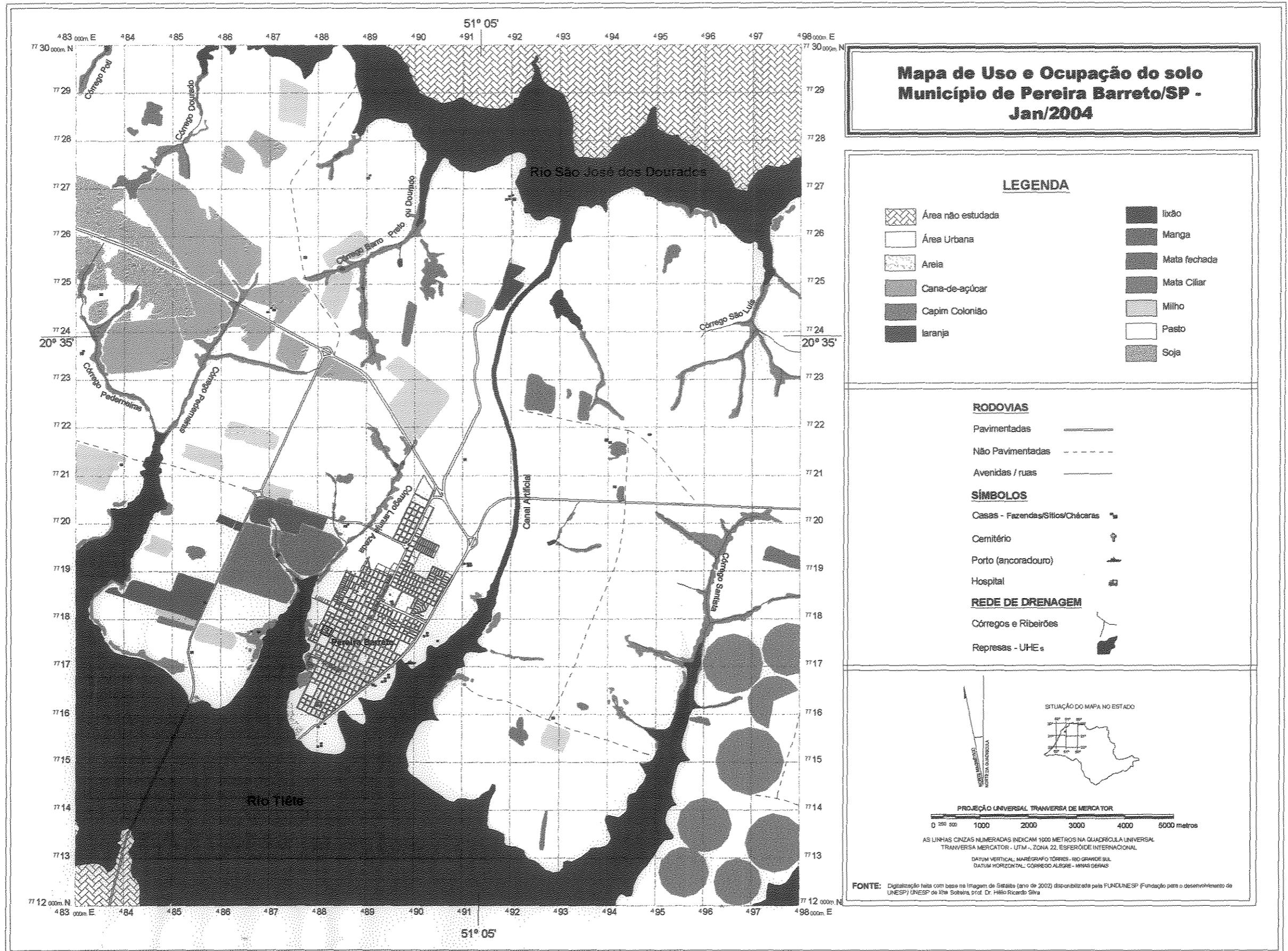


FIGURA 6.2 – Mapa de Uso e Ocupação do solo do Município de Pereira Barreto/SP.

6.2.2 – Classificação da Periculosidade das Fontes Potenciais.

6.2.2.1 - Fontes Dispersas:-

Fontes Urbanas – Conforme os resultados das análises apresentadas no Capítulo 4 e levando em conta as já citadas fontes poluidoras urbanas, considera-se que as áreas portadoras dos maiores riscos estão localizadas nas bordas do Município, onde o sistema de esgoto é relativamente recente, ou mesmo inexistente (detendo saneamento *in situ*). Nestas áreas, cargas contaminantes do solo podem estar presentes e, pela lixiviação, podem estar fornecendo cargas de nitrato às águas subterrâneas. Apesar da existência de postos de serviços, estes se localizam, em sua maioria, nas áreas de cimeira, em que a profundidade do aquífero é maior. Os outros postos, localizados na periferia, estão em áreas classificadas de alto risco, com a presença do cemitério Municipal e sua interferência na qualidade do aquífero livre. O restante da área urbana foi considerado de moderado risco potencial, por não apresentar fontes potenciais significativamente danosas.

Fontes Agrícolas - Cana-de-açúcar – Fertilizantes – Dos elementos analisados, apenas o Nitrogênio possui características danosas ao aquífero estudado, com os elementos fontes de sua composição apresentando características de alta mobilidade. Convém lembrar que a quantidade de nitrato lixiviado deriva-se do acúmulo de nitrogênio total no solo e somente uma parte menor provém diretamente do fertilizante aplicado em um dado ano. Portanto, o que se está analisando aqui é também a carga contínua de nitrogênio aplicada ao longo dos anos. Assim, além da carga imposta pela utilização de compostos nitrogenados na fertilização, a possível instalação da Usina de Álcool Santa Adélia poderá ocasionar um aumento produtivo da cana-de-açúcar e um correlativo acúmulo de nitrogênio. Assim, esse acúmulo de nitrogênio no subsolo tenderá a manter-se e elevar-se ao longo dos anos, aumentando a tendência de que (pelos processos de lixiviação) essa constante carga de nitrogênio possa vir a atingir o aquífero em forma de NO_3 . Os efeitos e potencialidades de contaminação da vinhaça já foram admitidos anteriormente, reforçando que a forma como esta é aplicada na área (despejo direto, sem lavagem ou diluição) representa uma fonte eminente de contaminação do aquífero, devendo requerer um monitoramento adequado de seu emprego, pelos responsáveis pela exploração.

Impacto dos pesticidas – No caso do produto Thiodan®, observam-se características que não potencializam o produto como fonte poluidora significativa de aquífero, já que possui forte afinidade com a matéria orgânica, possibilitando uma maior retenção deste composto na parte superior do solo (onde a presença de matéria orgânica é mais pronunciada). A moderada solubilidade em água e a pouca mobilidade não o torna um produto com grande capacidade de infiltração, tendo maior dificuldade para atingir o aquífero. Para o Confidor®, a potencialização de contaminação torna-se menor do que o primeiro, devido à mais forte afinidade com a matéria orgânica, à baixa solubilidade e, principalmente, à baixa mobilidade deste.

Considerações - Apesar das diferenças de potencialidades de contaminação entre os dois fatores considerados (fertilizantes e pesticidas), preferiu se pesar de forma desigual as diferenciações para a classificação de risco final, ou seja, apesar de as potencialidades encontradas serem distintas, adotou se considerar a fonte de maior potencialidade como preponderante na determinação do risco (no caso o uso dos fertilizantes e da vinhaça), já que casos de poluição pelo plantio de cana-de-açúcar já foram observados e documentados, além de que é preferível adotar uma postura prudente na delimitação das áreas que possam fornecer riscos às águas subterrâneas. Por isso, convencionou se classificar a ocupação pelo plantio de cana-de-açúcar como uma área de carga potencialmente alta à contaminação das águas subterrâneas.

Milho – Fertilizantes - Da mesma forma que na plantação de cana-de-açúcar, tem-se praticamente a mesma quantidade de nitrogênio aplicada por hectare, o que torna a periculosidade nesta área (em relação ao nitrogênio) a mesma, uma vez que o ambiente físico (geologia, solo, relevo) detém as mesmas características. As similaridades permanecem em relação aos outros constituintes da fórmula (Fósforo e Potássio), ou seja, as suas respectivas características de alta absorção pela matéria orgânica e baixa mobilidade no solo permitem que estes constituintes não ofereçam altos riscos potenciais à contaminação.

Impacto dos pesticidas - o referido pesticida detém um caráter de pouca persistência, não proporcionando, neste aspecto, riscos potenciais consideráveis ao aquífero.

Considerações - Pelas considerações efetuadas, as áreas ocupadas por plantações de milho foram consideradas de alto risco. Apesar das cargas pouco persistentes dos pesticidas, os nitrogenados aplicados na superfície detêm características de grande mobilidade e persistência. Por isso, também aqui preferiu se adotar uma postura prudente na classificação da periculosidade. Outro fator considerado foram as tendências produtivas da área, com a futura implantação da Usina de Álcool. A carga de nitrogênio adicionada atualmente poderá ser lixiviada por longos períodos, recebendo constantemente abastecimento de compostos nitrogenados pela implantação da cultura de cana-de-açúcar.

Soja – Fertilizantes – Não apresenta risco ao aquífero, por não deter cargas nitrogenadas em sua composição.

Impacto dos Pesticidas – Por apresentarem características de baixa mobilidade, alta absorção pela matéria orgânica e baixa persistência, estes não possuem, a princípio, potencialidades de contaminação.

Considerações – A ocupação agrícola da soja não representa riscos imediatos à poluição, já que não utiliza compostos nitrogenados na fertilização e nem produtos móveis e persistentes na aplicação de pesticidas. No entanto, preferiu se atribuir à área um moderado risco, pela possibilidade de produtos não comumente utilizáveis, além da já citada tendência produtiva que posteriormente poderá inserir compostos potencialmente danosos para as águas subterrâneas.

Laranja e Manga – A utilização de compostos nitrogenados na cultura de laranja é 2,83 vezes maior do que as cargas aplicadas no plantio de cana-de-açúcar e milho. Apesar de não conhecer as características dos pesticidas, as quantidades de cargas de nitrogênio levaram a considerar as áreas de plantio de laranja como sendo potencialmente de alto risco à contaminação.

Nessa perspectiva, o cultivo de manga também representa uma área potencialmente de risco, pelas cargas de nitrogênio similares às do plantio de cana e milho. Ainda assim, pode-se considerá-lo de potencial moderado, pelas incertezas a respeito das reais quantidades de aplicação de nitrogênio; numa tendência de superestimação, classificou-se-a como de alto risco, considerando o não conhecimento das características dos pesticidas utilizados (podendo estes conter substâncias químicas de alta mobilidade e persistência), além do já citado alto índice pluviométrico.

Capim Colonião – Não foram obtidas informações para o risco potencial que esta forma de utilização agrícola oferece aos aquíferos.

6.2.2.2 – Fontes Pontuais:-

Resíduos Sólidos:-

De acordo com o IBGE (Censo 2000), a população residente no município de Pereira Barreto é de 25.028 habitantes. Aplicando o método de estimativa da carga de lixo produzida por habitante (0,4kg/hab/dia), chega-se à cifra de 10 toneladas de resíduos, que vão ser depositados no lixão, diariamente. Pela estimativa realizada pela CETESB (1977), este produzirá 100kg de nitrogênio por dia (1% do total de lixo). Estabelecendo como base as cargas nitrogenadas aplicadas pela atividade agrícola no município (30kg cana, milho e 85kg para laranja etc), conclui-se que pontualmente essa carga gerada produz um risco potencial considerável às águas subterrâneas.

Com base no QUADRO 6.3, que mostra correlação entre pluviosidade e origem do resíduo, classifica-se a área de disposição como perigo moderado, já que, apesar dos resíduos serem teoricamente de origem apenas residenciais, sem a presença de compostos de alta periculosidade (ex. industriais), os índices de pluviosidade podem deflagrar uma intensificação dos processos de lixiviação do material depositado, considerando os índices pluviométricos locais acima de 1.000 mm/ano.

Relacionando os dois fatores considerados, classificou-se a área de disposição de resíduos sólidos do Município como potencialmente de alto risco.

Lagoa de Efluentes:-

Com base No QUADRO 6.4, classificou-se a lagoa de efluentes do Município como sendo de baixo risco, devido às características dos efluentes, que apresentam, teoricamente, compostos químicos de baixa periculosidade e área espacialmente pequena – 0,0082ha.

6.2.3 – MAPA DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO.

Após o estabelecimento do risco que as cargas potencialmente poluidoras oferecem ao aquífero, foi estabelecida a relação entre vulnerabilidade natural e o risco da carga potencial, culminando na fixação das classes de risco potencial espacializados cartograficamente no mapa final de risco. Esta relação foi feita conforme proposto pela metodologia GOD, com base na lógica apresentada pelo quadro 3.2 (Capítulo 3).

Considerando que a área é preponderantemente ausente de baixas classes de vulnerabilidade, ou seja, pelos seus naturais aspectos físicos, o aquífero já possui baixo poder de absorção de cargas contaminantes impostas, aliado ao fato de que a área apresenta formas de ocupação que representam altos potenciais de contaminação e que o mapa final do risco resulta dessa interação, considera-se que as formas e localizações das áreas de risco condizem com essa lógica.

Assim, as áreas onde estão localizadas as fontes de contaminação são as que possuem maior densidade de áreas com alto risco, com as delimitações condizentes com os limites das áreas agrícolas cultivadas e da área urbana (porção oeste). Em contrapartida, onde a utilização agrícola por culturas não é preponderante, sendo a produção pecuária a dominante (porção leste), encontra-se apenas uma pequena área com alta classe de risco, onde está localizados a pequena área com plantio de milho.

O mapa de risco (FIGURA 6.3) indica que a maioria das áreas com altos riscos à contaminação estão localizadas em áreas de recargas de abastecimento dos aquíferos; portanto, se este for feito com água contaminada por compostos móveis e persistentes, a probabilidade de esta atingir áreas mais expressivas é maior. Estima-se que cerca de 70% dos nitratos encontrados nas águas subterrânea na Inglaterra são originárias da agricultura (LAKE et al., 2003). Dentro desta perspectiva, destacam-se as áreas agrícolas de plantio de cana-de-açúcar, onde é significativa a carga de compostos que geram o NO₃ (fertilizantes,

vinhaça etc). Outra área que se pode considerar como de alto risco, pela sua localização, é a de plantio de laranja – a oeste da área urbana, que, além de localizada em zona de recarga, a grande quantidade de nitrogênio aplicado em sua produção (IAC, 1998) gera acúmulos de nitrogênio no solo.

A área de disposição de resíduos (lixão, classificado como classe alta de risco), apesar de localizada numa situação de recarga, está sob influência do Canal Artificial, que, de acordo com o IPT (1989), afeta a direção do fluxo subterrâneo, atraindo-o para si, principalmente para perto de suas bordas. Assim, da mesma forma que o ocorrido no Distrito Federal (KOIDE, 2003), as cargas nitrogenadas geradas pelo lixão e pela plantio de milho (norte da área urbana) que atingem o aquífero são levados pelo fluxo e se diluem nas águas superficiais. As outras áreas com alto risco que produzem cargas de nitrogênio podem já estar influenciando qualitativamente no aquífero e este pode estar sendo usado como fonte de abastecimento de água para as propriedades agrícolas que se encontram nas zonas de descarga, que, dependendo das concentrações dos contaminantes presentes, podem estar influenciando na saúde das pessoas que a consomem.

Da mesma forma que no capítulo anterior (pg. 85), pela visão sistêmica, ressalvas devem ser feitas com relação aos limites rígidos estabelecidos para as classes de periculosidade de contaminação no mapa final de risco, já que, longe de ser estático, o ambiente apresenta-se de uma forma dinâmica e evolutiva apresentando limites gradativos entre os diferentes ambientes constituintes, principalmente em se tratando de ocupação humana ao qual é regida, dentre outras coisas, pela dinâmica sócio-econômica em escalas locais, regionais ou mesmo mundiais. Considera-se, então, que, a representação cartográfica apresentada no mapa de risco responde e cumpre com as indagações e objetivos deste trabalho, apresentando os contornos dos ambientes que representam periculosidade à contaminação do aquífero. No entanto, estes limites não representam nitidamente as dinâmicas atuantes nas diferentes escalas, deixando, assim, estes contornos rígidos, de certa forma frágeis, por serem passíveis de serem alterados inesperadamente, conforme a influência de algum fator constituinte (ex. fatores sócio-econômicos) poder atuar de forma preponderante.

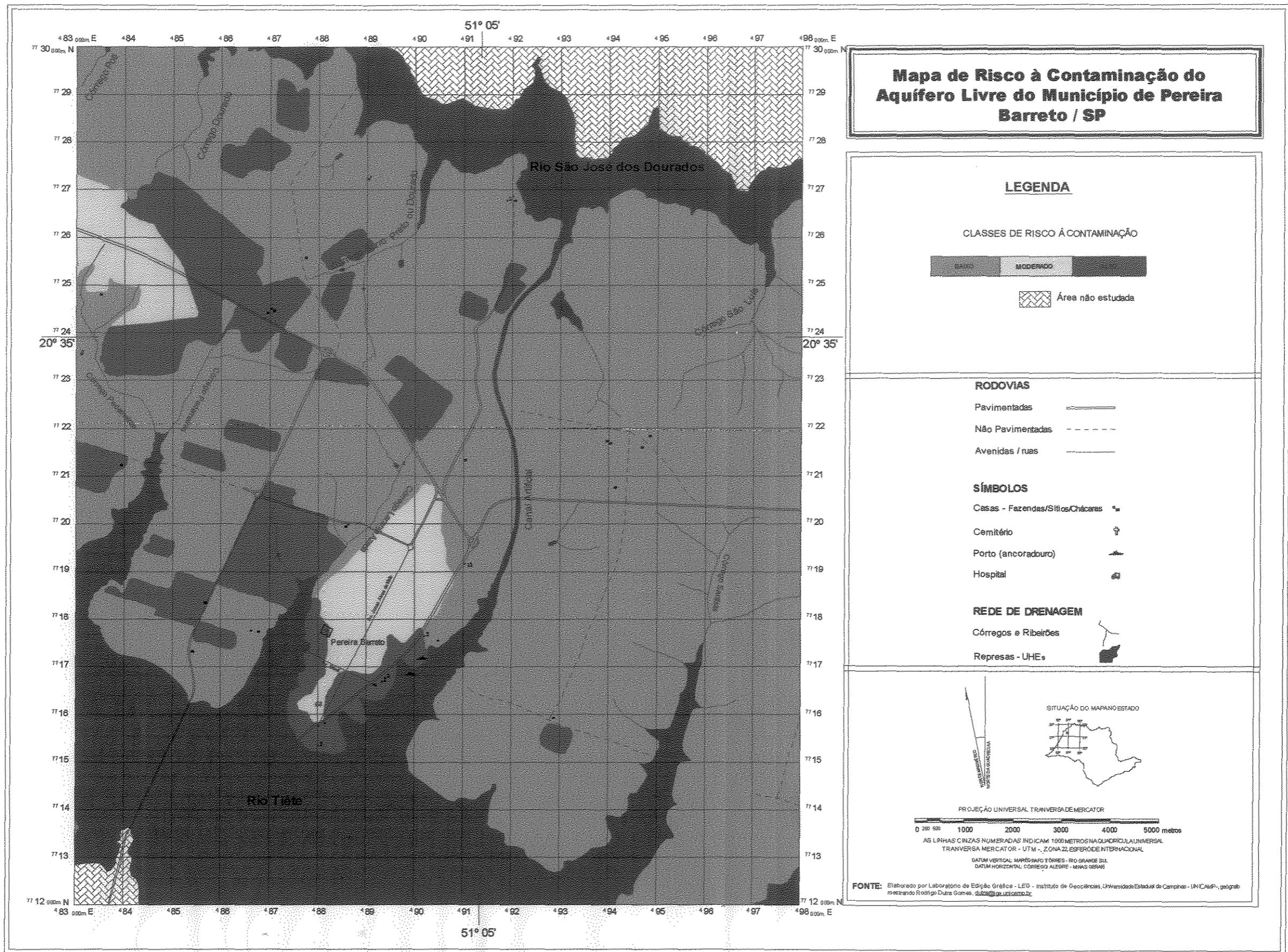


FIGURA 6.3 – Mapa de Risco à Contaminação do Aquífero Livre do Município de Pereira Barreto/SP.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Com o decorrer do trabalho, percebe-se que algumas idéias foram expostas de forma explícita e outras de maneira implícita. Como de caráter explícito, cita-se a impossibilidade de se tratar qualquer questão ambiental pela não integralização da relação homem/natureza, demonstrada pelos resultados apresentados, com os tipos de influência que o primeiro provoca sobre o segundo, mediante sua ocupação e utilização. Apesar de não ter sido discutido, fica implícito que os problemas ambientais encontrados não representam mais do que uma forma sob a qual a problemática social se expressa (PASSOS, 1988), tendo em conta que toda a forma de intervenção associa-se às formas de produção da sociedade, sendo resultado das relações sociais que nesta ocorrem. Isso se verifica pela observação de que as mais significativas fontes potenciais de contaminação encontradas estão relacionados tanto ao processo produtivo (cultivos), quanto pela deficiência das estruturas físicas urbanas (lixões, fossas sépticas etc).

Essa argumentação comprova a importância de se considerar a relação homem/meio de uma forma integrada, considerando ambos como parte de um mesmo sistema, onde as trocas de matéria e de energia ocorrem de forma contínua e mútua, efetivando a importância da abordagem sistêmica como instrumento teórico-metodológico para estudos que consideram essa integralidade.

Dentro desta perspectiva, apesar dos problemas metodológicos encontrados, foi demonstrada de forma relativa, a influência da ocupação superficial nas águas do aquífero livre dentro da área urbana do município de Pereira Barreto, adicionando compostos nitrogenados a este sistema. Foram aferidas concentrações que tornam a água imprópria para o consumo humano, principalmente nas áreas periféricas do Município (onde estão localizadas as maiorias dos poços). Ao contrário, o poço 7, localizado em área de cimeira (onde o aquífero é mais profundo) foram observadas baixas concentrações de contaminantes, porém essas condições não são aplicáveis a todos os poços, apresentando, em certos casos (como no caso do poço 19) baixas concentrações em áreas periféricas do Município.

As maiores concentrações de nitrato estão possivelmente associadas tanto às áreas com menores profundidades (demonstrando a influência da elevação do nível

potenciométrico na capacidade auto-protetora do aquífero), quanto, principalmente, aos poços que apresentam alguma fonte contaminante em superfície. Dos 27 poços analisados, 9 apresentaram concentrações de NO_3 acima dos padrões aceitáveis, parte destes recebem, possivelmente, cargas nitrogenadas oriundas de atividades agrícolas, mas a maioria dos poços que apresentaram concentrações elevadas estão associados a influência do Cemitério Municipal, com índices que variam de 11 mg/L (Julho – Poço 14) á 32 mg/L (Abril – Poço 13), lembrando que a concentração permitida pela Portaria 518 é de 10 mg/L.

As variações nas concentrações de nitrato ao longo do período considerado foram atribuídas, em parte, à quantidade de água dentro do sistema no momento de coleta, tendência essa observada em alguns poços onde a quantidade de água (verificada pela profundidade do nível d'água) é congruente com as variações de concentração (quanto mais água dentro do sistema menor as concentrações de nitrato observadas). No entanto, essa relação não foi observada em muitos poços, justificada pela desconsideração de outros fatores que compõem o sistema (que não foram considerados) e podem estar influenciando nos resultados, ou ainda, devido às necessárias adaptações do método de coleta, que também pode estar influenciando nas reais concentrações de nitrato, de forma a não permitir o entendimento da dinâmica de variação nas concentrações, tornando todos os resultados das análises de caráter relativo.

Pela aplicação do método proposto por FOSTER & HIRATA (1993), foi possível estabelecer as classes de vulnerabilidade natural do aquífero da área, representadas cartograficamente. Dentre os parâmetros obtidos, o mais problemático foi a profundidade da superfície potenciométrica, tendo requerido a confecção de um mapa de profundidades, com o auxílio dos estudos já anteriormente realizados na área, de programas de software (SIG) e campanhas de aferição, em campo, da profundidade do nível d'água em poços rasos de propriedades agrícolas. O mapa de profundidade obtido mostra isolinhas de menor profundidade convergindo com os cursos d'água superficiais, aumentando de valor conforme se afasta dos mesmos. Este mapa mostra ainda que as direções de fluxo apresentadas pelo IPT (1988) estão incorretas, por desconsiderar os cursos d'água como áreas de descarga subterrânea local. Com base em sondagens realizadas pelo IPT (1989), foi possível considerar o aquífero como sendo Livre. As características da zona vadosa foram obtidas principalmente pelos relatórios do IPT e pela descrição dos contatos

geológicos realizada por SUGUIO (1984), no Canal Artificial. Foram encontrados majoritariamente solos de alteração de arenito cobertos por colúvios e solos de alteração do basalto em áreas restritas localizada nas bordas das represas.

Como produto da correlação dos valores estabelecidos para cada parâmetro, foram encontradas, majoritariamente, classes de vulnerabilidade moderada, com áreas de alta classe nas proximidades da rede de drenagem (represa, córregos etc), devido à preponderância do parâmetro profundidade do nível d'água na delimitação da vulnerabilidade, justificado pela relativa homogeneidade dos outros parâmetros na área.

Dessa forma, é nítida a influência da intervenção antrópica na vulnerabilidade natural dos ambientes, já que a elevação induzida do nível potenciométrico alterou as condições iniciais deste sistema, que passou a apresentar uma vulnerabilidade aumentada pela sua maior proximidade da superfície.

No entanto, essa perspectiva não é aplicada para os resultados encontrados no estabelecimento das classes de risco à contaminação, ficando nítida a influência do tipo de ocupação na delimitação e classificação destas áreas.

Tomando-se como fator preponderante de periculosidade as cargas nitrogenadas impostas em superfície, a exploração agrícola representa a forma de ocupação que mais insere cargas danosas no ambiente. A inserção de produtos químicos (destacando-os nas culturas de cana-de-açúcar, milho e laranja) concorre para isso. Cargas nitrogenadas, pela utilização dos compostos NPK na fertilização do solo, bem como adição de matéria orgânica (como é o caso da utilização da vinhaça como produto de fertirrigação da cana-de-açúcar) promovem tais aumentos de risco.

As presenças do lixão municipal, das lagoas de efluentes municipais ou mesmo da ocupação urbana são as outras fontes significativas de compostos nitrogenados no ambiente, que, apesar de não atingirem grandes extensões, levam a uma alta periculosidade, agravadas pelas altas médias pluviométricas inerentes à região, intensificando os processos de lixiviação.

A aplicação da abordagem sistêmica como fonte teórico-metodológica possibilitou analisar criticamente o método utilizado de forma a compreender suas limitações. Estas estão relacionadas com a não consideração de outros fatores constituintes do ambiente, que de certa forma estariam influenciando de alguma forma nos resultados

obtidos, mas que não foram considerados. Outra limitação diz respeito à representação cartográfica gerada, ao qual busca representar a partir de contornos rígidos uma relação entre sistemas dinâmicos – sistemas físicos (geologia, solo, hidrologia etc) e sistemas sócio-econômicos.

Espera-se que os resultados obtidos possam servir como fonte de referência para a implantação de possíveis medidas conservacionistas por parte de órgãos de gerência territorial e ambiental. Sabe-se, porém, que a aplicação de estudos dessa natureza ficam, muitas vezes, à mercê de diversos interesses (econômicos, políticos etc), nem sempre sendo levados adiante, o que compromete a conservação dos recursos naturais. No entanto, ainda assim o presente trabalho pode servir como fonte de informações para possíveis estudos regionais, servindo como material de consulta e obtenção de informações sobre a atual situação da relação homem/natureza na área, imprescindível ao planejamento ambiental.

8 – BIBLIOGRAFIA

AL-ADAMAT, R. A. N., FOSTER, I. D. L., BABAN, S. M. J. *Groundwater vulnerability and risk mapping for the basaltic aquifer, of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC*. Applied Geography 23, p.303-324, 2003, disponível: www.sciencedirect.com.br, acessado em 05/03/ 2004.

ALMEIDA, J. R., MORAES, F. E., SOUZA, J. M., MALHEIROS, T. M. *Planejamento Ambiental*. Editora Thex, Rio de Janeiro, 2002.

AL-SENAFY, M. ABRAHAM, J. *Vulnerability of Groundwater resources from agricultural activities in southern Kuwait*. Agricultural Water Management 64 pp. 1-15, Kuwait, disponível: www.sciencedirect.com.br, acessado em 15/05/ 2004.

AUGUSTIN, C. H. R. R. *A Geografia Física: O levantamento integrado e avaliação de recursos naturais*. Boletim de Geografia Teorética, nº15 p.141-153, Rio claro, 1985.

BANDEIRA, I. C. N., ALMEIDA, F. M., DIAS, E. E. F., MATTA, M. A. S., FIGUEIREDO, A. B., MENDES, J. M. C. *Aspectos de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos da bacia do Paracuri, Belém/PA*. In: CD rom do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

BERNARDES, N. *Uma Geografia (Sistêmica) dos Sistemas Econômicos*. Comentário Bibliográfico, Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, ano 39, n.2 p.186-191, 1977.

BERTALANFFY, L. V. *Teoria Geral dos Sistemas*. Editora Vozes Ltda, Petrópolis, 1973.

BERTRAND, G. *Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico*. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, 1972.

BORGES, M. F., GASPAR, J. J. *Identificação dos Efeitos da Actividade Agro-pecuária na Qualidade das Águas Subterrâneas para consumo Humano no concelho de Barcelos, com recurso a um SIG*. ESIG, Portugal, 2001.

BRIGGS, D. COURTNEY, F., *Agricultural and Environment. The Physical Geography of Temperate Agricultural Systems*, Longman Scientific & Technical, London, 1989.

BRANCO, S. M. *Ecossistêmica. Uma Abordagem Integrada dos Problemas Ambientais*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1989.

CARMO, R. L. *A Água é o Limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo*. Núcleo de Estudos de População – NEPO / UNICAMP, Campinas, 2002.

CARVALHO, G. A., REIS, P. R., MORAES, J. C., FUINI, L. C., ROCHA, L. C. D., GOUSSAIN, M. M. *Efeitos de alguns Inseticidas Utilizados na Cultura do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill). A Trichogramma pretiosum RILEY, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae)*. Ciência Agrotecnica, v. 26, n.6, p.1160-1166, Lavras, 2002.

CARVALHO, V. F. *Chorume dos cemitérios contamina lençol freático*. Disponível in: - http://www.phol.com.br/news_eco/eco/news/messages/134.htm, acessado em 14/10/2002.

CESP – Companhia Energética de São Paulo. *Estudos de Impacto Ambiental / EIA, UHE Três Irmãos*. São Paulo, 1990.

CESP – Companhia Energética de São Paulo. *Relatório de Impacto Ambiental / RIMA, UHE Três Irmãos*, São Paulo, 1990.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. *Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. Série Documentos da SMA. 2 vol. (texto e mapas). Páginas: v.1 144p; v.2 mapas,1997

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 1998 – 2000*. CETESB, São Paulo, 2001.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - *Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, São Paulo, 1977.

CHORLEY, R. J., KENNEDY, B. A. *Physical Geography. A systems Approach*. Hall International Inc., London, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. Editora Hucitec, USP, São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1999.

COLLIN, M. L., MELLOUL, A. J. *Assessing Groundwater Vulnerability to Pollution to Promote Sustainable Urban and Rural Development*. Journal of Cleaner Production 11, pp. 727-736, Israel, 2003.

CORTEZ, L. MAGALHÃOES, P. HAPPI, J. *Principais Subprodutos da Agroindústria Canavieira e sua Valorização*. Revista Brasileira de Energia, vol. 2, n. 2, 1992.

CRUZ, O. *A Geografia Física, o Geossistema, a Paisagem e os Estudos dos Processos Geomórficos*. Boletim de Geografia Teorética, 15 :53-62, Rio Claro, 1985.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Estudos de Águas Subterrâneas. Região Administrativa de Campinas*, São Paulo – 1985.

DORES, E. F. G. C., DE-LAMONICA-FREIRE, E. *Contaminação do ambiente Aquático por Pesticidas. Estudo de Caso: Águas usadas para Consumo Humano em Primavera do*

Leste, Mato Grosso – análise Preliminar. Química Nova, v. 24, n.1, p. 27-36, Cuiabá, 2001.

ESPÍNDOLA, R. S. *Impactos dos Sistemas de Saneamento “In Situ” nas Águas Subterrâneas, Município de Itaquaquecetuba (SP)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2001.

FERREIRA, L. M. R. *A Prática de Disposição de Efluentes Domiciliares “In Situ” e os Impactos nas Águas Subterrâneas. Estudo de Caso: Município de Campinas, São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FETTER, C. W. *Applied hydrogeology*. Macmillan Publishing Company, New York, 1993.

FILIZOLA, H. F., FERRACINI, V. L., SANS, L. M. A., GOMES, M. A. F., FERREIRA, C. J. A. *Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guairá*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 5, p.659-667, Brasília, 2002.

FOSTER, S. & HIRATA R. C. A, *Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas. Uma metodologia embasada em dados existentes*. Instituto Geológico, São Paulo, 1993.

FOSTER, S. *Assessment of Groundwater Pollution Risk*. In: www.worldbank.org, acessado em 10/11/2003.

GALLO, L. A. *O Nitrogênio e o Ciclo do Nitrogênio*. In: www.ciagri.usp.br, acessado em 31/05/2004.

GARCIA JUNIOR, W. *Plano de Desenvolvimento Municipal*. Prefeitura Municipal de Pereira Barreto, Casa da Lavoura, Pereira Barreto, 2001.

GONÇALVES, C. W. P. *Os (Dês)Caminhos do Meio Ambiente*. Editora Contexto, São Paulo, 2002.

GONDOLO, G. C. F. *Desafios de um sistema Complexo à Gestão Ambiental. Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo*. Editora Annablume, São Paulo, 1999.

GREGORY, K. J. *A Natureza da Geografia Física*. São Paulo, Editora Bertrand Brasil S.A., 1985.

GUIGUER, N., KOHNKE, M. W. *Métodos para Determinação da Vulnerabilidade de Aquíferos*. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002.

HIRATA, R. C. A. *Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas. Estudo de Casos no Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 1994.

HIRATA, R. C. A., FERREIRA L. M. R. *Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição*. Revista Brasileira de Geociências, v.31, p.43-50, 2001.

HIRATA, R. C. A., *Os Recursos Hídricos Subterrâneos e as Novas Exigências Ambientais*. Revista do Instituto Geológico, v.14, n.2, p. 39-61, 1993.

HUGGETT, R. *Systems Analysis in Geography*. Clarendon Press, Oxford, 1980.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. *Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas*. Instituto Agronômico, Campinas, 1998.

INSTITUTO GEOLÓGICO. *Mapeamento da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos Fraturados Pré-cambrianos da Região Metropolitana de Campinas*. Volume I – Relatório Técnico Final, São Paulo, 2002.

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. *Modelagem numérica tridimensional do fluxo subterrâneo na cidade de Pereira Barreto – Primeira Versão*. Relatório nº29995, 1988.

IPT - Instituto Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. *Avaliação do efeito do enchimento do reservatório da barragem de Três Irmãos sobre o nível freático na área da cidade de Pereira Barreto – 2ª Fase*. Relatório nº27789, Volume I, 1989.

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. *Monitoramento hidrogeológico da cidade de Pereira Barreto – Análise das informações coletadas até agosto/1992*. Relatório nº 30.761, 1989.

JAPIASSU, H. *Interdisciplinaridade e Patologia do Saber*. IMAGO Editora, Rio de Janeiro, 1976.

KERLE, E. A., VOGUE, P.A. JENKINS J. J., HUDDLESTON, J. H. *Site assessment for groundwater vulnerability to pesticide contamination*. Oregon State University, Oregon, 1998.

KOIDE, S., ARAÚJO, R. N. G., PIRES, A. C. B. *Monitoramento d Contaminação da Zona Freática de Área de Aterro de Lixo no Distrito Federal*. IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, 1993.

LAKE, I. R., LOVETT, A. A. HISCOCK, K. M., BETSON, M. FOLEY A. *Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS*. Journal of Environmental Management 68 pp. 315-328, London, 2003.

LEITE, M. A. F. P. *Análise Geossistêmica em Geografia como Subsídio ao Planejamento Paisagístico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

LIMA, O. A. L. *Geossistemas e recursos hídricos: águas subterrânea no Estado da Bahia*. Bahia *Análise & Dados*, v. 13, n. Especial, pp. 391-402, Salvador, 2003.

LIMA S. C., QUEIROZ NETO, J. P. *Estudos Ambientais Integrados – Uma Discussão Metodológica*. VII Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada, anais, v.II, Departamento de Geografia, UFPR, 1997.

LIMA FILHO, M., MELO, N. A. *Risco a Poluição no Aquífero Beberibe no setor norte da região metropolitana de Recife*. In: CD rom do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

MARTINEZ, M. M., SILVA, J. L. S. *Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil*. In: CD rom do Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

MATOS, B. A. *Avaliação da ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MAURO, C. A., CHRISTOFOLETTI, A. *Aspectos Físico-Geográfico da Região Administrativa de Araçatuba*. *Geociências*, São Paulo, v.3 p.139-167, 1984.

MEAULO, F. J. *O mapeamento da Vulnerabilidade Natural à Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos: O exemplo de Araraquara*. In: Cd rom do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

MELLO, H. P. *O Sonho Nacional: Petróleo e Eletricidade (1954 – 1994)*. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Economia, 1994.

MELO, J. G., REBOUÇAS, A. C., QUEIROZ, M. A. *Avaliação dos Riscos Potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas na Zona Sul de Natal, RN*. IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, 1993.

MELO A. S. S. A., SILVA M. P. *Estimando o valor da "externalidade positiva" do uso da Vinhaça na Produção de Cana-de-Açúcar: um estudo de caso*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2003.

MENDONÇA, F. A. *Geografia Sócio-Ambiental*. Terra Livre. n° 16 p.139-158, São Paulo, 2001.

MEZZALIRA, S., RODRIGUES, N. S., MATSUI, E. SALATI, E. *Potencialidade e Utilização da Água Subterrânea na Bacia do Rio São José dos Dourados*. Instituto Geológico, boletim n.3, São Paulo, 1979.

MONTEIRO, A. B., CABRAL, J. S. P., BARBOSA, D. L., FREIRE, P. K. *Vulnerabilidade e distribuição espacial dos nitratos no aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão – Recife - Pernambuco*. In: CD rom do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

MONTEIRO, C. A. F. *Geossistemas a busca de uma procura*. Editora Contexto, São Paulo, 2001.

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Clima Urbano*. IGEOG-USP Séries Teses e Monografia n.25, Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, 1976.

MORAES, A. C. R. *Meio Ambiente e Ciências Humanas*. Editora Hucitec, São Paulo, 1994.

MORIN, E. *Introdução ao Pensamento Complexo*. Instituto Piaget, Coleção Epistemologia e Sociedade, Lisboa, 1990.

MULLIGAN, C. N., YONG, R. N. *Natural Attenuation of Contaminated Soils*. Environmental International 30, p. 587-601, London, 2004.

NISHIYAMA, L., ZUQUETTE, L. V. *Águas Subsuperficiais: Procedimentos para levantamento e estimativa de informações para elaboração e apresentação do mapa de profundidade da zona saturada*. Revista de Geociências, 16(2): p. 581-607, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. B. *Classes de Solos do Brasil*. FUNEP, UNESP, Jaboticabal, 1992.

OLIVEIRA, M. J., SOUTO, F. A. F., ROSÁRIO J. M. L., SACASA, R. J., MOURA H. *Vulnerabilidade Natural e Sazonalidade do Aquífero do Aquífero Livre no Loteamento Marabaixo III, Macapá – AP*. In: CD rom do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

OTTAWAY, J. H. *Bioquímica da poluição*. EPU: EDUSP, São Paulo, 1982.

PACHECO, A., FIGUEIRA, J. L.G., ESPÍNDOLA, R. S., BATELLO, E. R., DEHAINI, J. *A contaminação das Águas Subterrâneas pelos Sistemas de Disposição in situ – Estudo Preliminar*. IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, 1993.

PARALTA, E. A., OLIVEIRA, M. M., BATISTA, S. B., FRANCÉS, A. P., RIBEIRO, L. F., CEREJEIRA, M. J. *Aplicação de SIG na Avaliação da vulnerabilidade Aquífera e Cartografia da Contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo*. A Hidroinformática em Portugal. Lisboa, 2001.

PASSOS, M. M. *Biogeografia e Paisagem*. Programa de Mestrado em Geografia, UNESP Presidente Prudente, UEM Maringá, 1988.

PASSOS, M. M. *O Pontal do Paranapanema: Um Estudo da Geografia Física Global*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

PENTEADO ORELLANA, M. M. *Metodología Integrada no Estudo do Meio Ambiente*. Geografia, vol 10, nº 20, Rio Claro, 1985.

RIBEIRO DE MELO, D. *Geossistema: sistemas territoriais naturais*. VII Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada, anais Volume II – Departamento de geografia – UFPR, Curitiba, 1997.

RODRIGUES, C. *A Teoria Geossistêmica e a sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais*. Revista do Departamento de Geografia, USP 69-77, São Paulo, 2001.

ROSS, J. L. S. *Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental*. Revista do Departamento de Geografia, USP, São Paulo, 1995.

ROSS, J. L. S. *Qualidade da Água Subterrânea no Espaço Urbano da Grande São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1981.

SANTOS FILHO, M. G. *O Impacto na Qualidade das Águas Subterrâneas Geradas pela disposição Inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Tatuí / SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2001.

SILVA, A. A. *Análise de Impactos Sócio-Econômicos devido à Construção da UHE Três Irmãos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista – FEIS, Ilha Solteira, 2002.

SILVA, L. M. *Em cerca de 75% dos cemitérios públicos há problemas de contaminação e, nos particulares, o índice é de 25%*, In: [://www.geofiscal.eng.br/cemiterios.htm](http://www.geofiscal.eng.br/cemiterios.htm), acessado em 15/05/2004.

SOTCHAVA V. B. *O Estudo de Geossistemas*. Método em Questão, USP, Instituto de Geografia, São Paulo, 1977.

SOTCHAVA V. B. *Por uma Teoria de Classificação de Geossistemas de Vida Terrestre*. Biogeografia, USP, Instituto de Geografia, São Paulo, 1978.

STIGTER, T. VIEIRA, J., NUNES, L. *Avaliação da Susceptibilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas no Apoio à Tomada de Decisão. Caso de estudo: Implementação de campos de golfe no concelho de Albufeira (Algarve)*. Universidade de Algarve, Algarve, 2002.

SUGUIO, K., BARCELOS, J. H., GUEDES M. G., VERDIANI, A. C. *Canal de Pereira Barreto: Local de Transição entre os Arenitos Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina*. Revista do Instituto de Geociências, São Paulo, v.5, n.1/2, p.25-37,1984.

SZUBERT, E. C. *Riscos de Contaminação das águas Subterrâneas da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul*. Companhia de Pesquisa de Recurso Mineral – CPRM, Porto Alegre, 1998.

THAPINTA, A. HUDAK, P. F. *Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand*. Environment International 29, pp. 87-93, Texas, 2003.

VARNIER, C. L. *O Efeito do Nitrogênio Proveniente de Sistemas de Saneamento “In Situ” na Qualidade das Águas Subterrâneas em Aquíferos Livres e Rasos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

VELASCO, A. D. *A Ação do Estado e seus Efeitos em Cidades de Pequeno Porte: Estudo de Caso na Cidade de Pereira Barreto*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.

VILLELA, S. H. *Avaliação Sócio-Econômica de Impactos Ambientais Devido à Implantação e Operação da Usina Hidroelétrica “Três Irmãos”, no Rio Tiête – Aplicação*

do “*Modelo Interpretativo da Inserção Regional de UHEs, Elaborada pela ELETROBRAS*.
Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

VICENTE L. E., PEREZ FILHO, A. *Abordagem Sistêmica e Geografia*. Revista de Geografia, v. 28, n. 3, pp. 323-344, Rio Claro, 2003.

WALDMAN, Maurício. *Ecologia e Lutas Sociais*. São Paulo, Contexto, 1992.

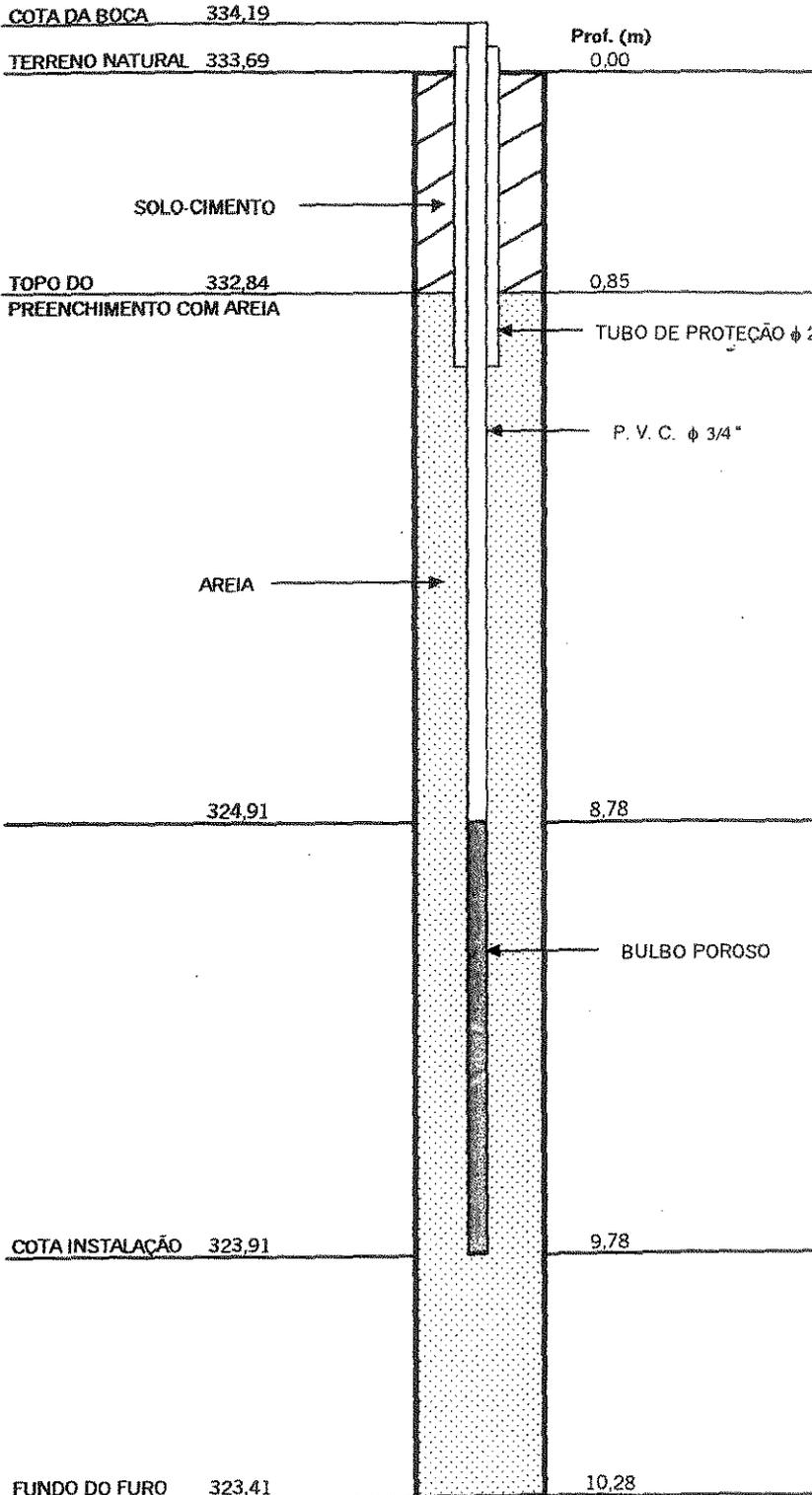
ZOBY, J. L. G., MATOS, B. *Águas Subterrâneas no Brasil e sua Inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos*. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002.

ANEXO 1
PERFIS DE INSTALAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-01

Local: **DER**

N A antes (m): **7,22**

N A após (m):

Data da instalação: **17/01/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

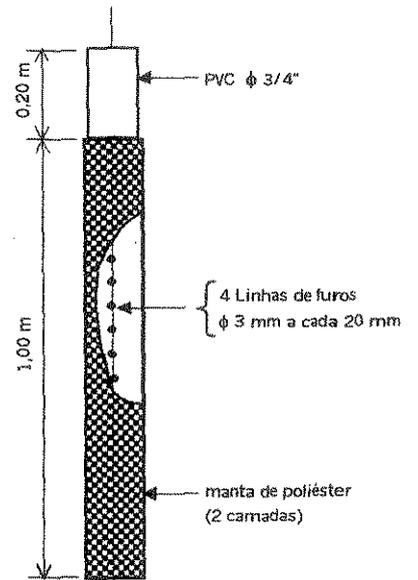
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-02**

Cota da boca (m): **334,19**

Cota de instalação (m): **323,91**

BULBO POROSO

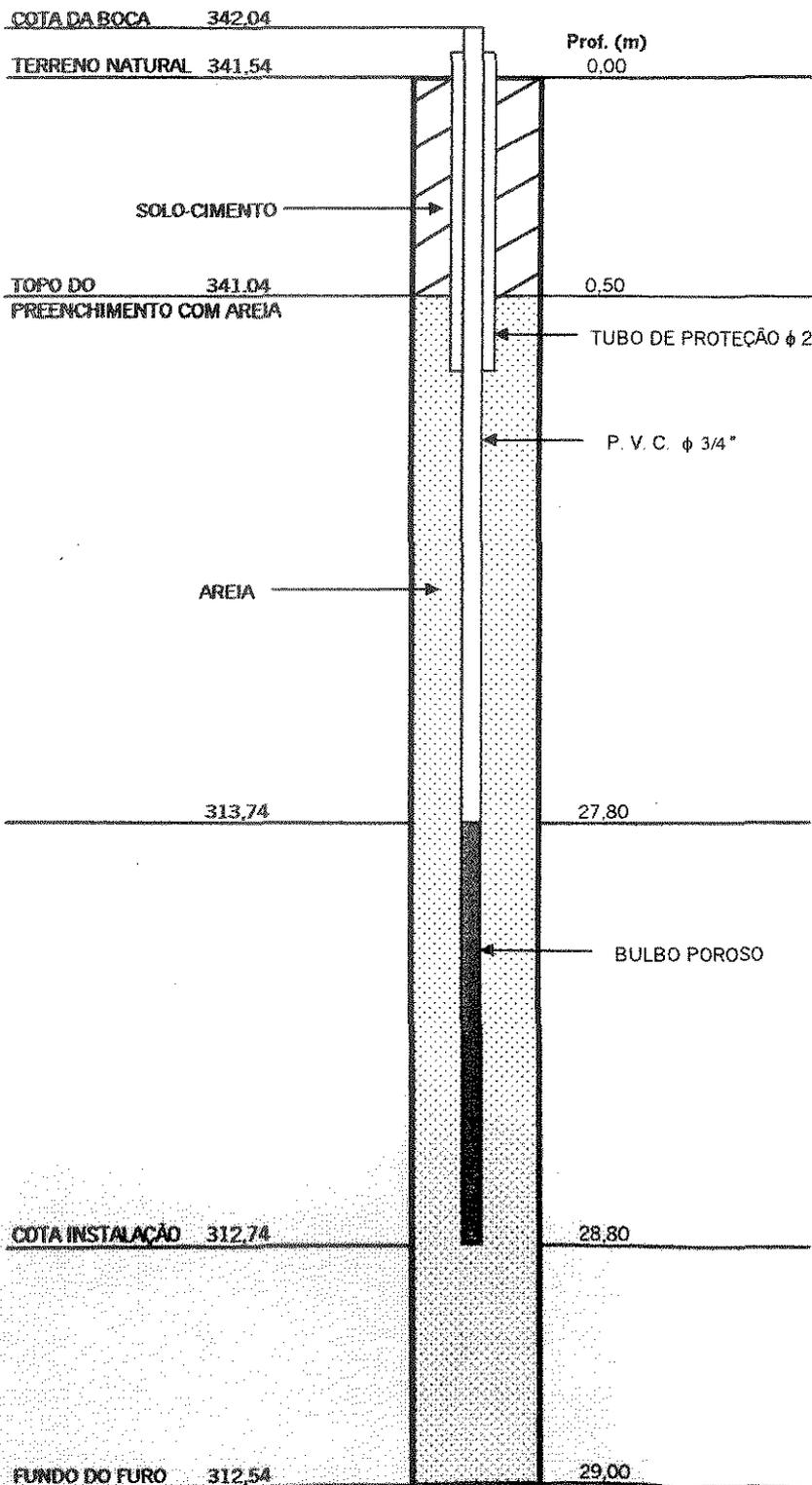


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO:- Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-02

Local: **Ceramica J.C. da Silva**

N A antes (m): **24,05**

N A após (m):

Data da instalação: **25/01/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

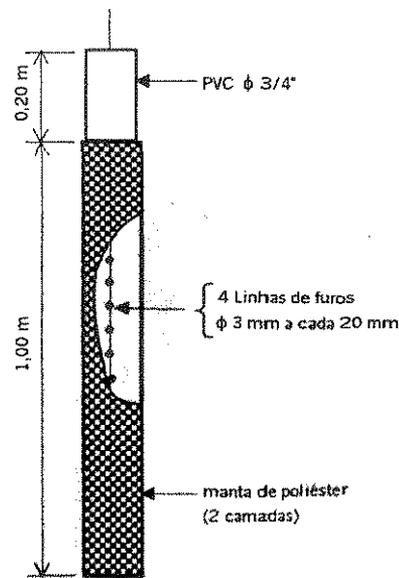
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-02**

Cota da boca (m): **342,04**

Cota de instalação (m): **312,74**

BULBO POROSO

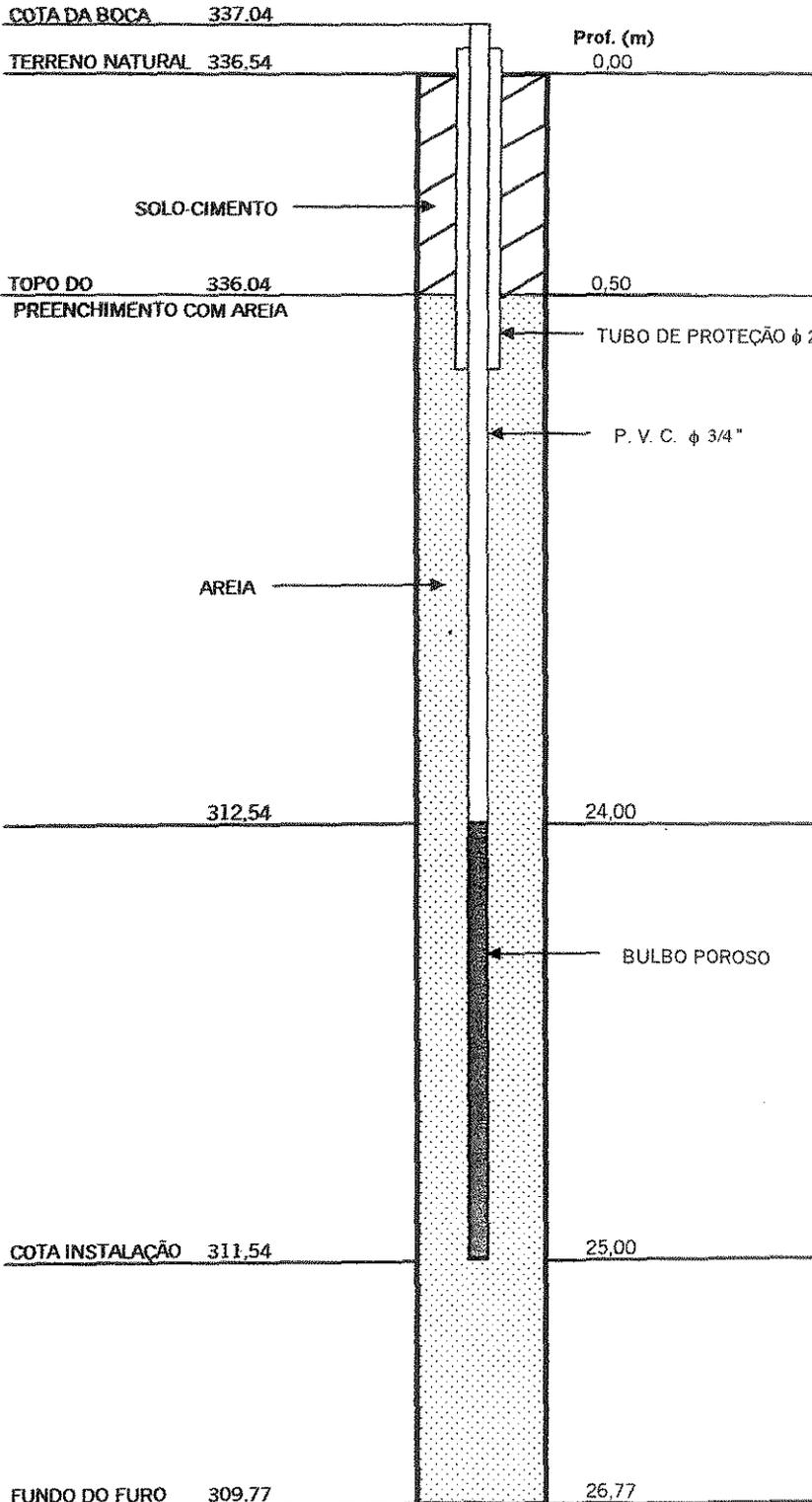


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-03

Local: **Cooperativa Agrícola Tietê**

N A antes (m): **17,80**

N A após (m):

Data da instalação: **22/01/88**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

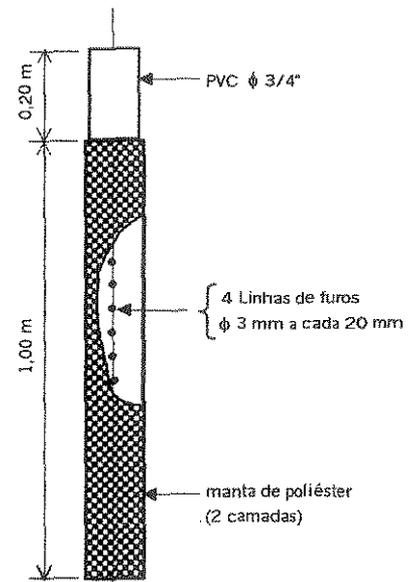
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-03**

Cota da boca (m): **337,04**

Cota de instalação (m): **311,54**

BULBO POROSO

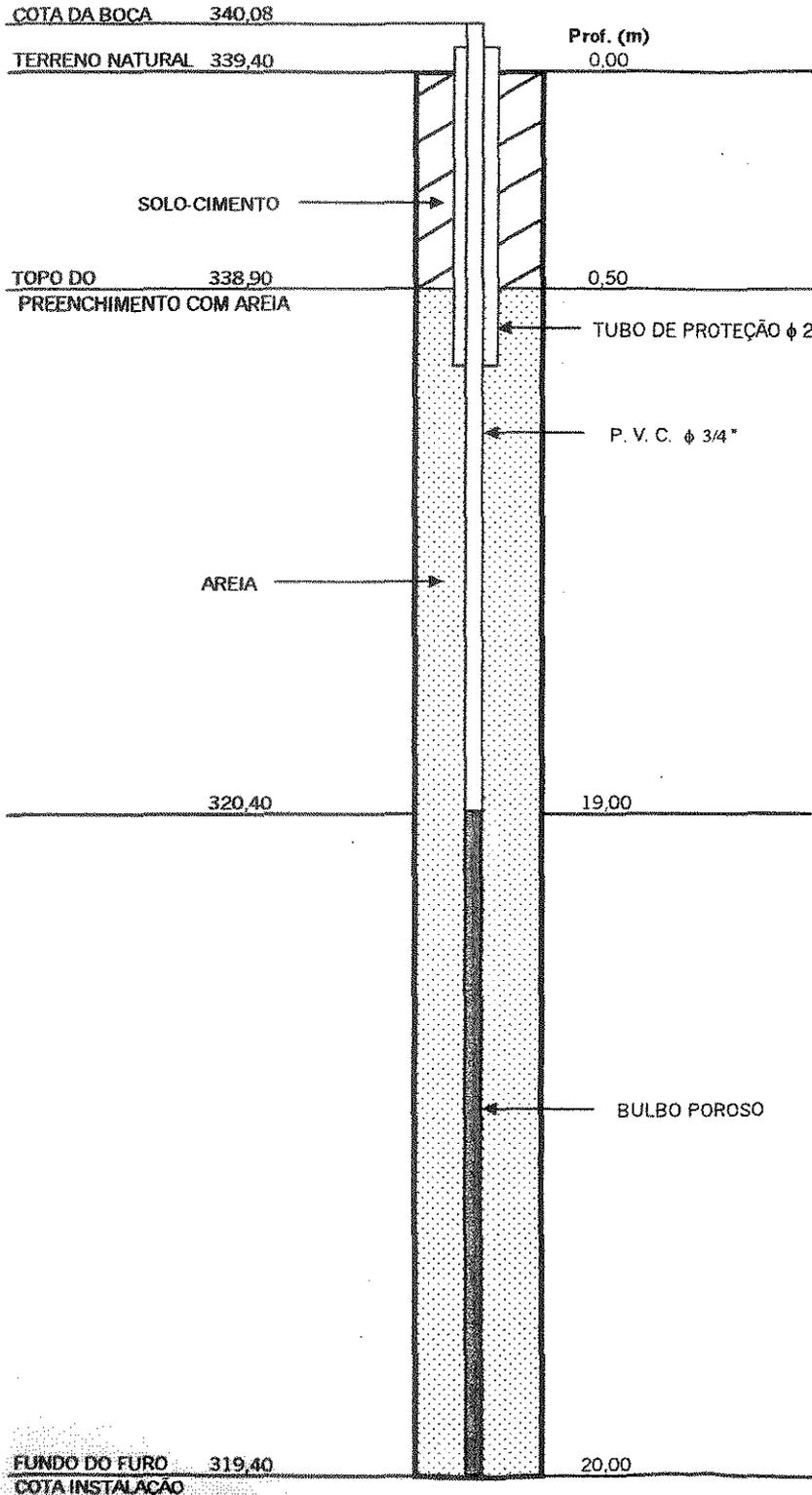


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-05

Local: **Posto Pinheiro (Antigo Posto Tietê)**

Recuperação do Instrumento: **05/12/01**

N A antes (m): **17,19**

Data da instalação: **09/02/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

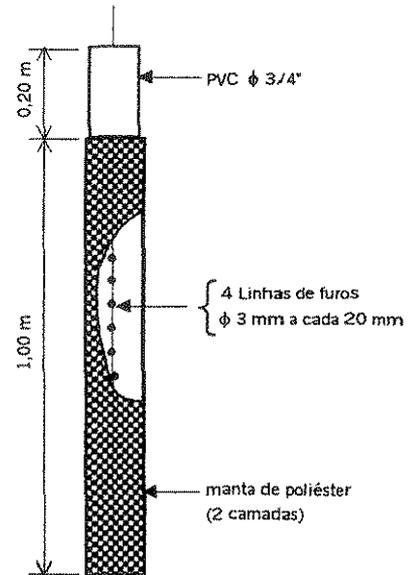
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-05**

Cota da boca (m): **340,08**

Cota de instalação (m): **319,40**

BULBO POROSO

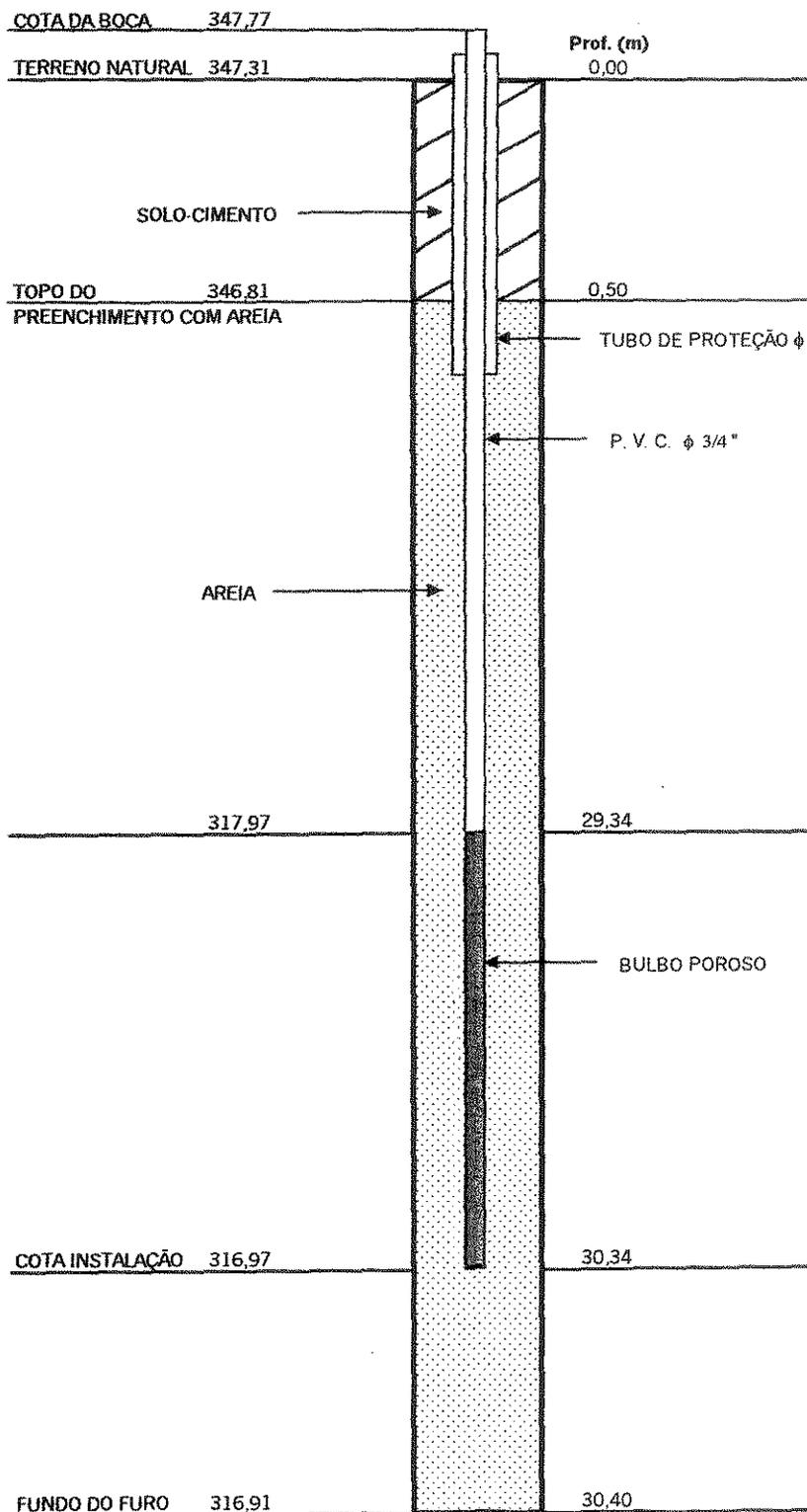


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: - Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-07

Local: **Pátio da Nestlé**

N A antes (m): **20,04**

N A após (m):

Data da instalação: **07/02/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

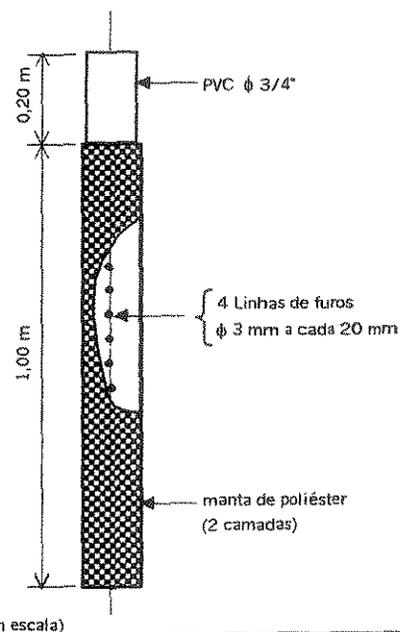
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem n°: **NA-07**

Cota da boca (m): **347,77**

Cota de instalação (m): **316,97**

BULBO POROSO



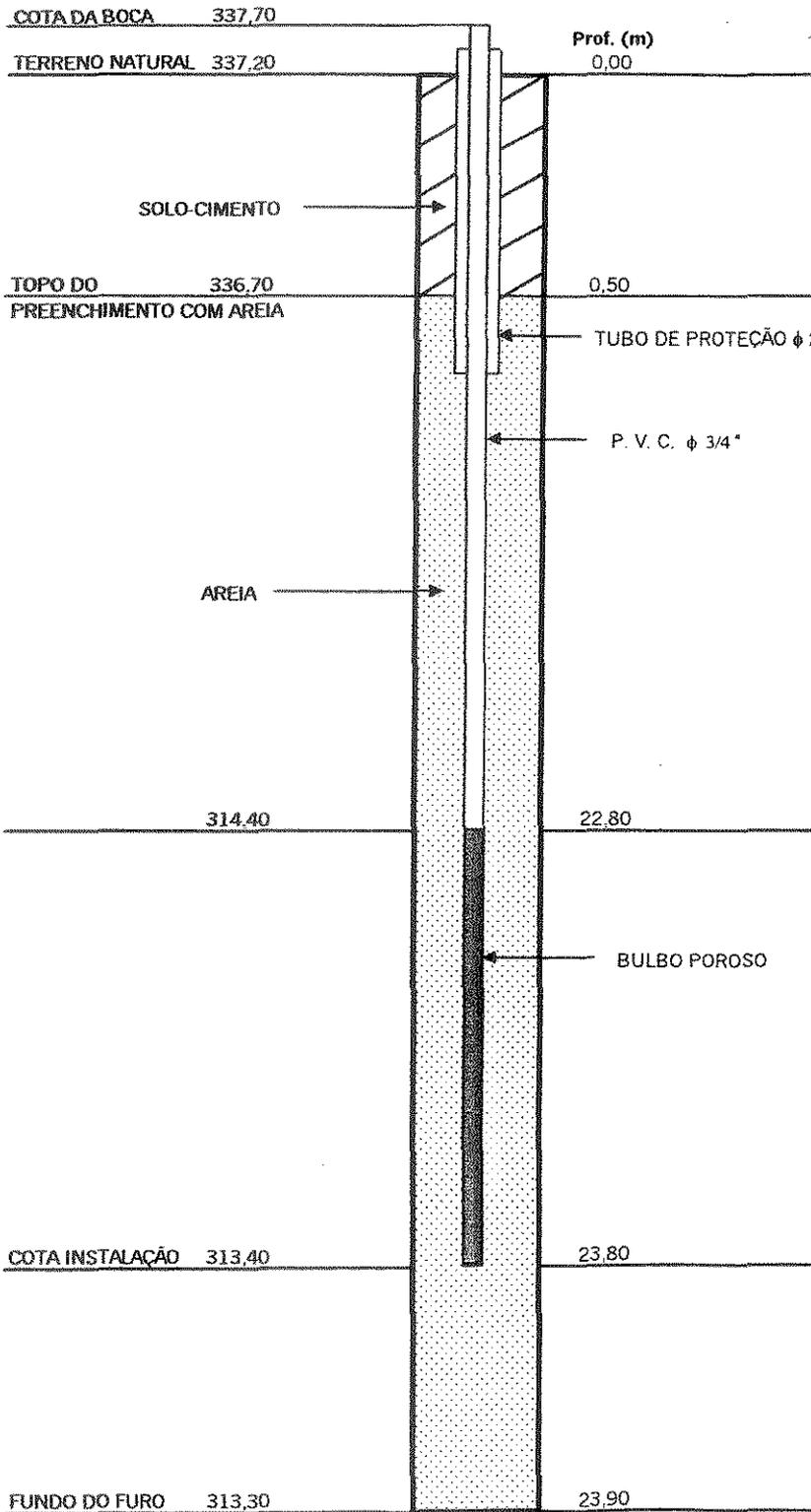
(sem escala)



OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: - Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-08

Local: ACEP

N A antes (m): 17,64

N A após (m):

Data da instalação: 01/02/90

Inclinação: Vertical

φ do furo de sondagem (pol.): 4"

φ do tubo (pol.): 3/4"

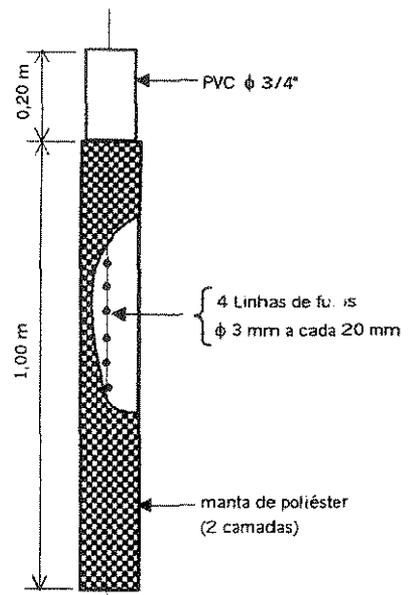
φ do bulbo (pol.): 3/4"

Sondagem nº: NA-08

Cota da boca (m): 337,70

Cota de instalação (m): 313,40

BULBO POROSO

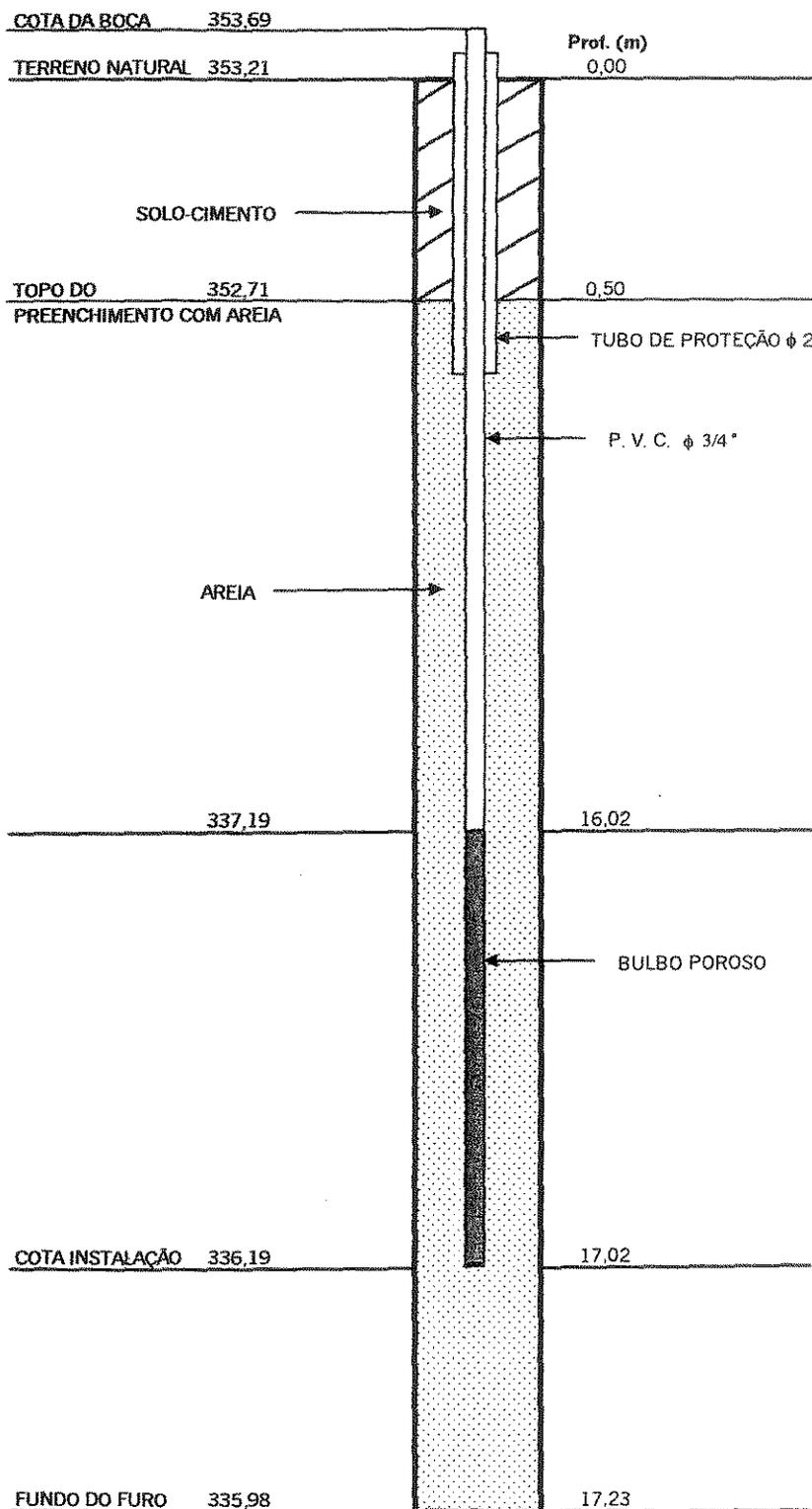


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-09

Local: **E.E.P.G. Maria Elza Domingues**

N A antes (m): **15,25**

N A após (m):

Data da instalação: **23/01/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-09**

Cota da boca (m): **353,69**

Cota de instalação (m): **336,19**

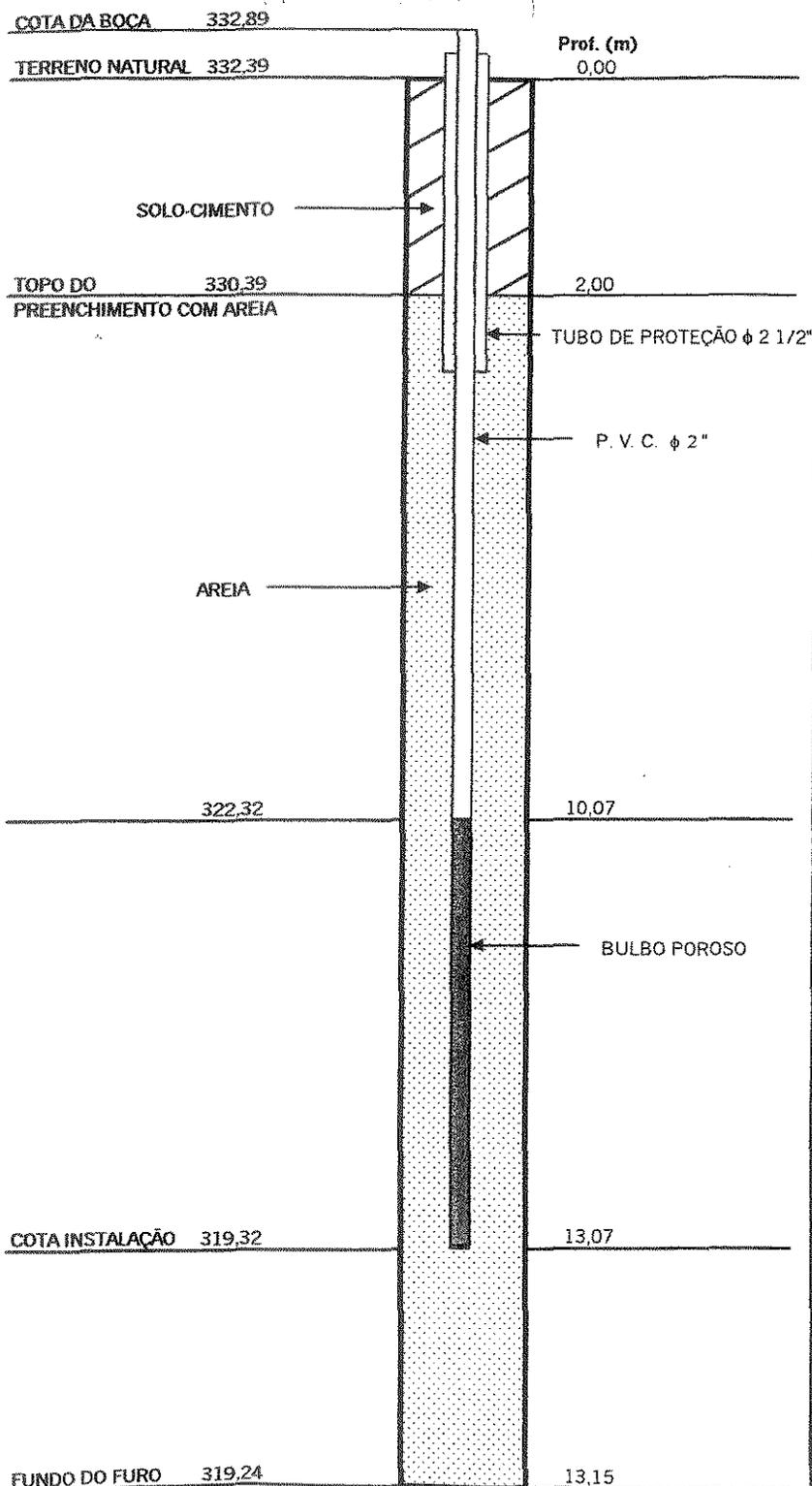
BULBO POROSO

(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: - Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-10

Local: Av. Brasilia - 1724 (Necrópoli)

N A antes (m):

N A após (m): 12,68

Data da instalação: 12/07/90

Inclinação: Vertical

φ do furo de sondagem (pol.): 4"

φ do tubo (pol.): 2"

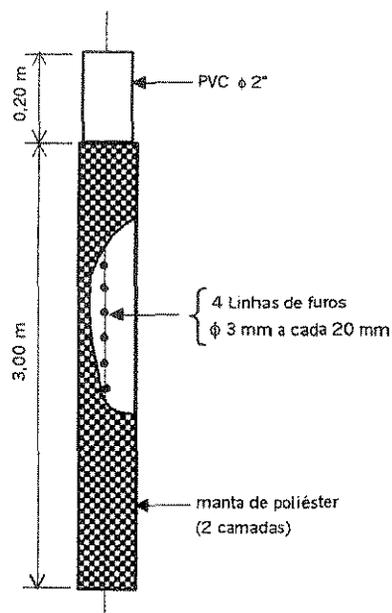
φ do bulbo (pol.): 2"

Sondagem nº: NA-10

Cota da boca (m): 332,89

Cota de instalação (m): 319,32

BULBO POROSO

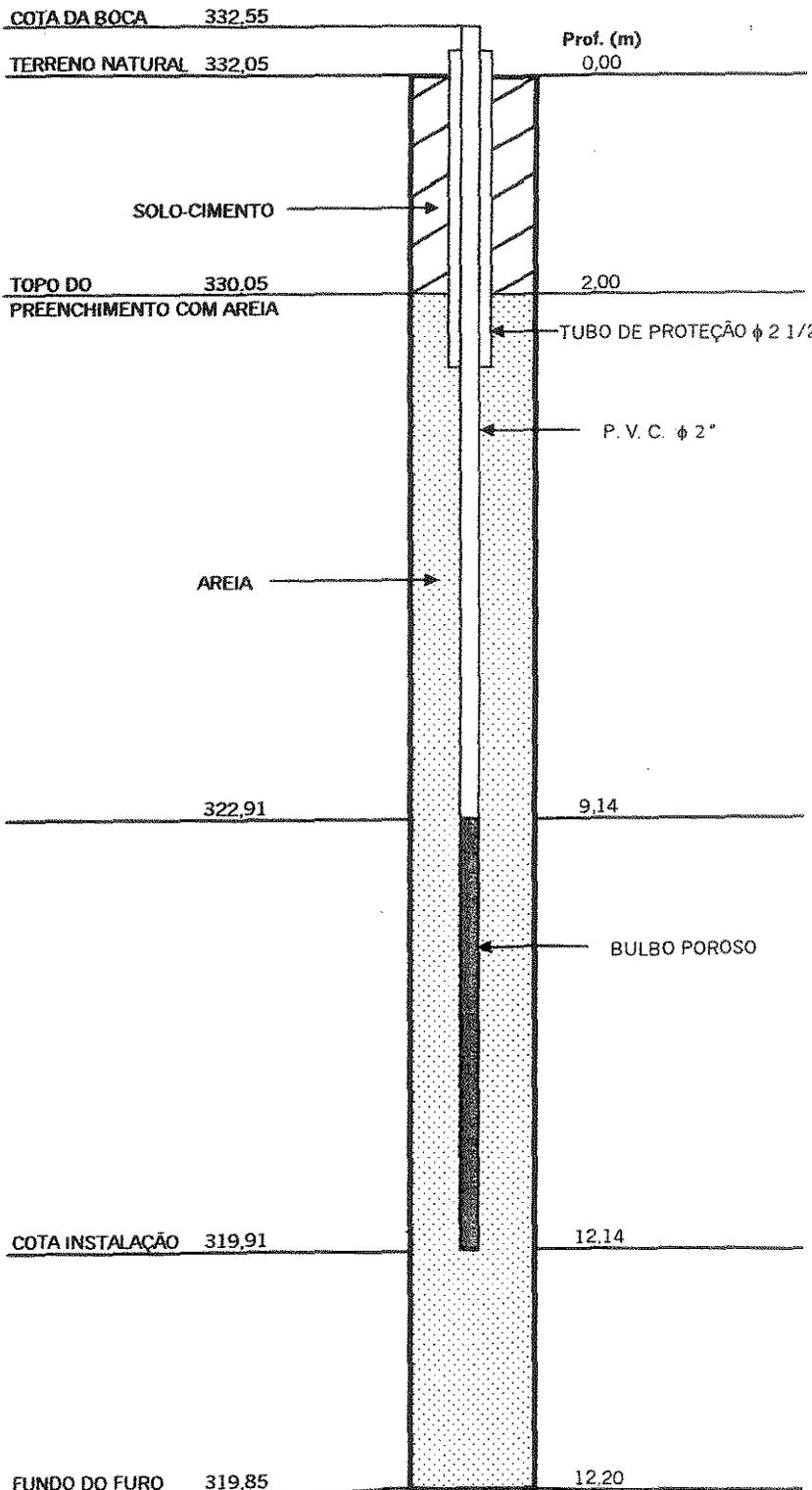


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-11

Local: **R.: Santa Catarina - 1657 (Negrópolis)**

N A antes (m):

N A após (m): **11,71**

Data da instalação: **12/07/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **2"**

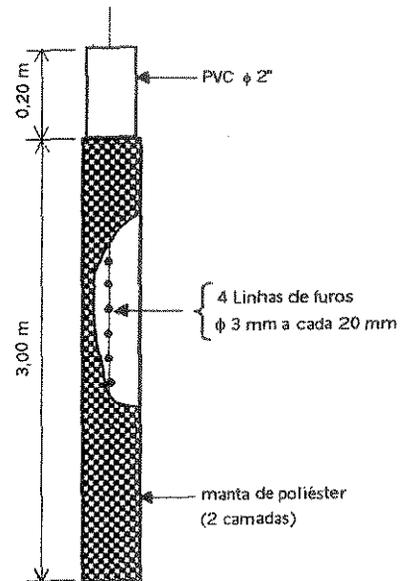
φ do bulbo (pol.): **2"**

Sondagem n°: **NA-11**

Cota da boca (m): **332,55**

Cota de instalação (m): **319,91**

BULBO POROSO



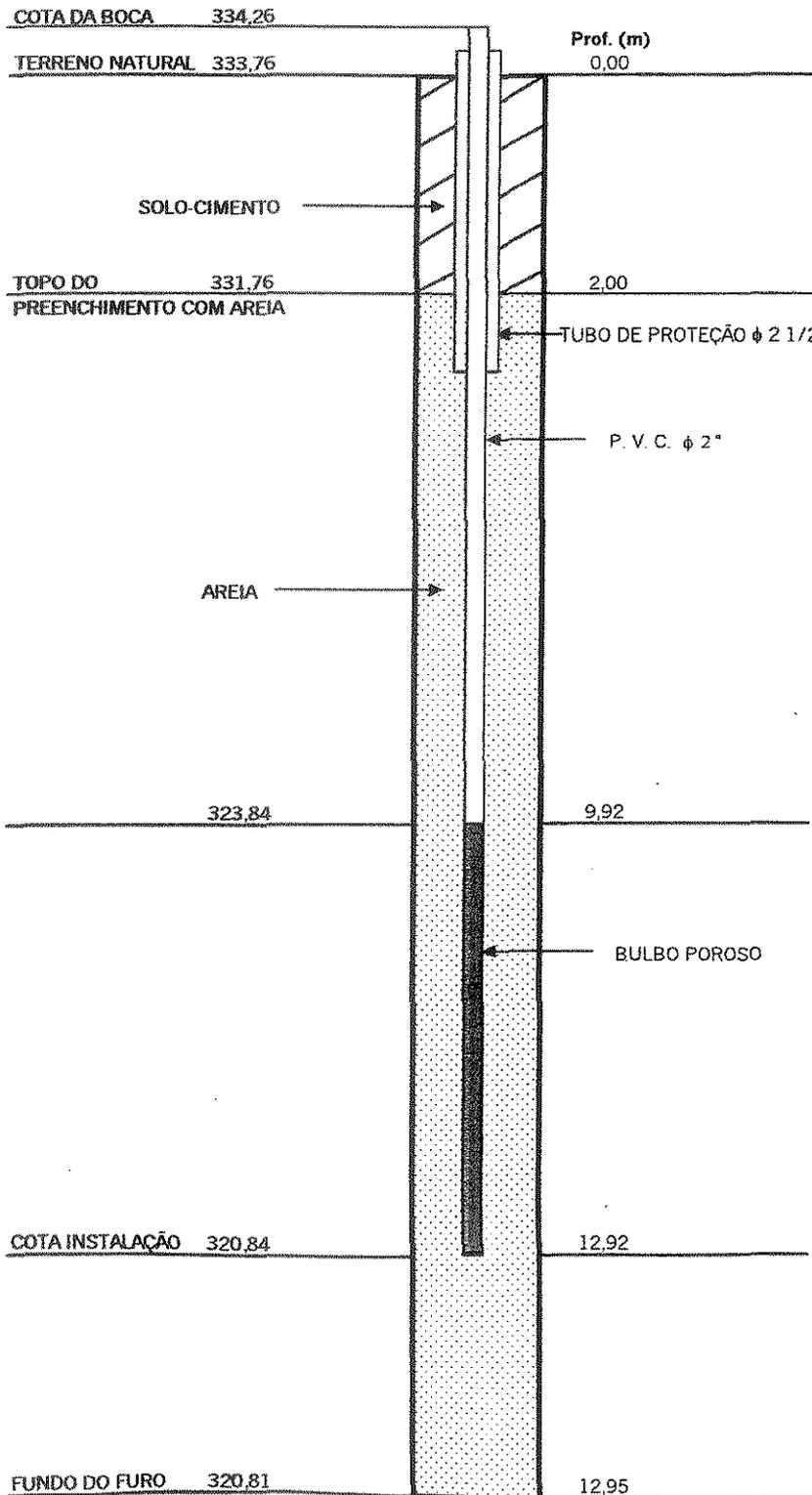
(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO:- Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA

Antes da instalação para o A.C. 1002 5.32



NA-12

Local: **Necrópole**

N A antes (m):

N A após (m): **12,10**

Data da instalação: **11/07/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **2"**

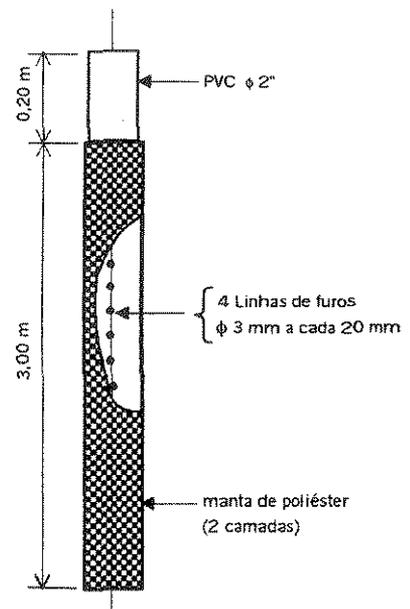
φ do bulbo (pol.): **2"**

Sondagem nº: **NA-12**

Cota da boca (m): **334,26**

Cota de instalação (m): **320,84**

BULBO POROSO

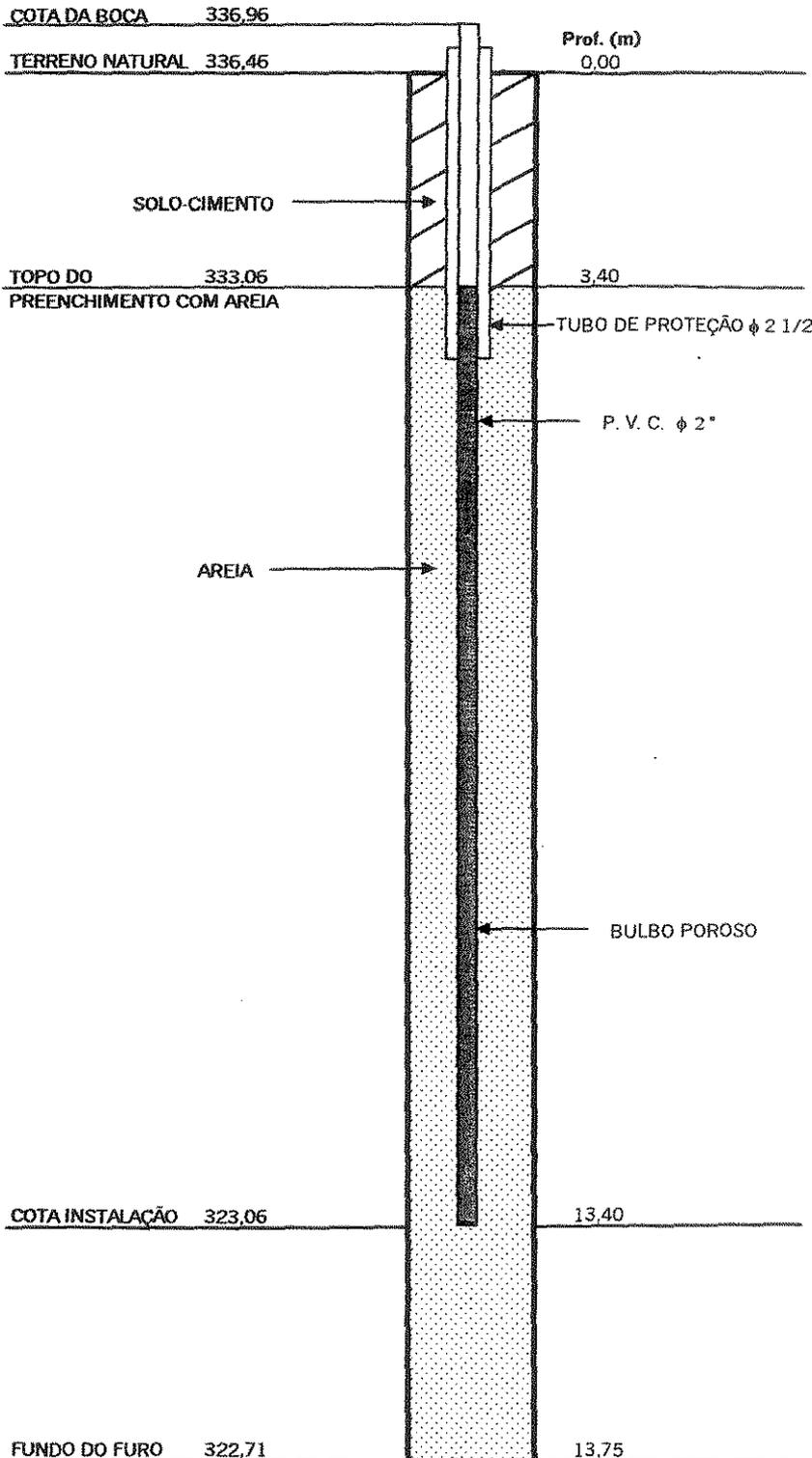


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO:- Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-13

Local: **Necrópole**

N A antes (m):

N A após (m): **13,26**

Data da instalação: **31/07/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **2"**

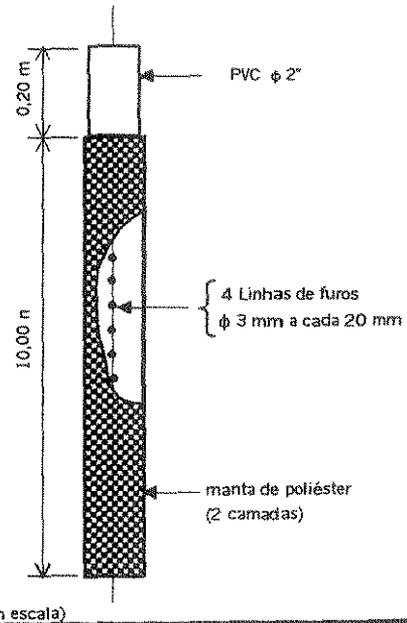
φ do bulbo (pol.): **2"**

Sondagem n°: **NA-13**

Cota da boca (m): **336,96**

Cota de instalação (m): **323,06**

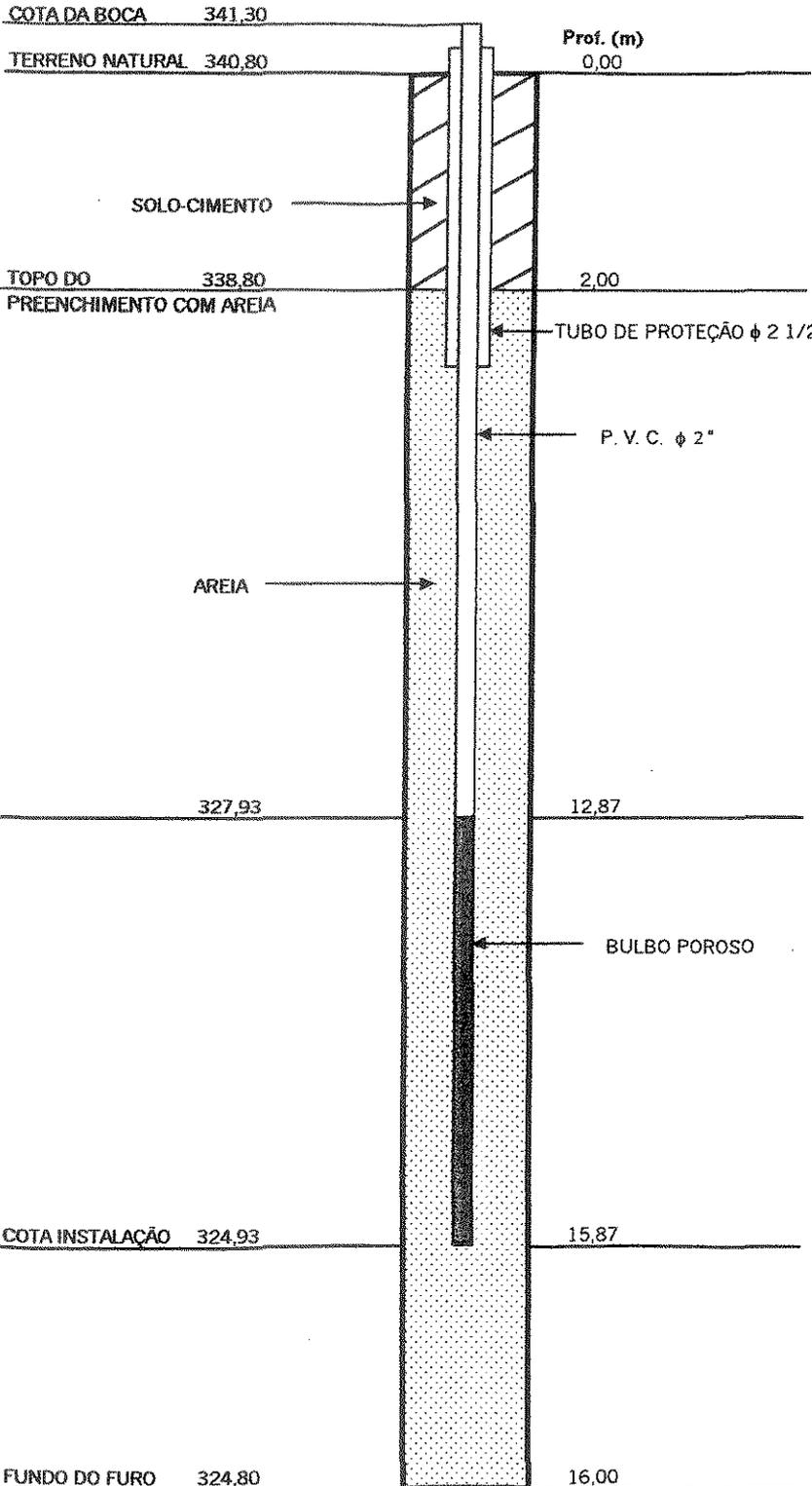
BULBO POROSO



OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO:- Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-14

Local: **Necrópole**

N A antes (m):

N A após (m): **15,63**

Data da instalação: **12/07/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **2"**

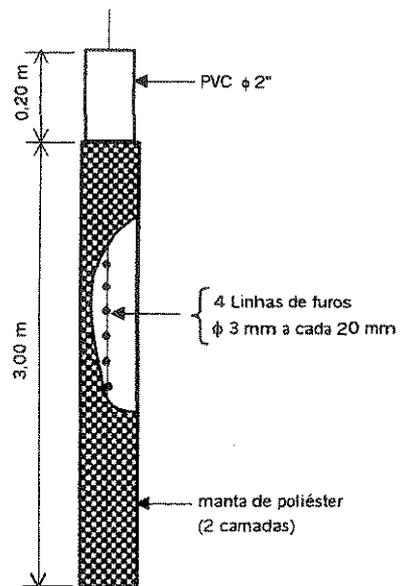
φ do bulbo (pol.): **2"**

Sondagem nº: **NA-14**

Cota da boca (m): **341,30**

Cota de instalação (m): **324,93**

BULBO POROSO



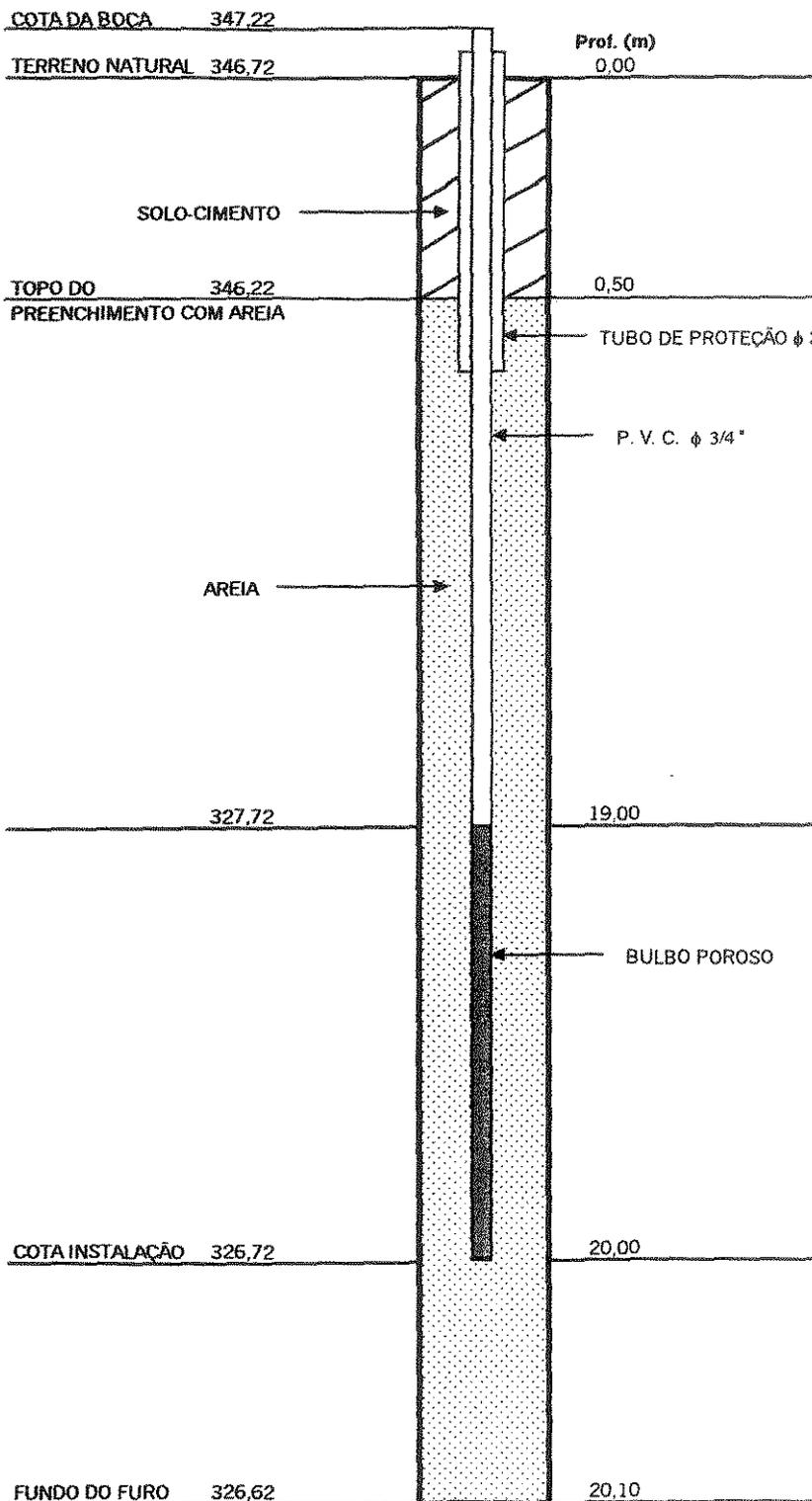
(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: - Pereira Barreto

afim da casa nos fundos perto da escola

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-15

Local: **Hospital Santa Casa**

N A antes (m): **Seco**

N A após (m):

Data da instalação: **26/07/90**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

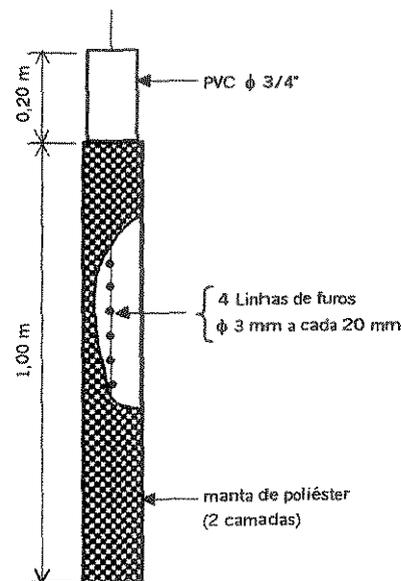
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem nº: **NA-15**

Cota da boca (m): **347,22**

Cota de instalação (m): **326,72**

BULBO POROSO

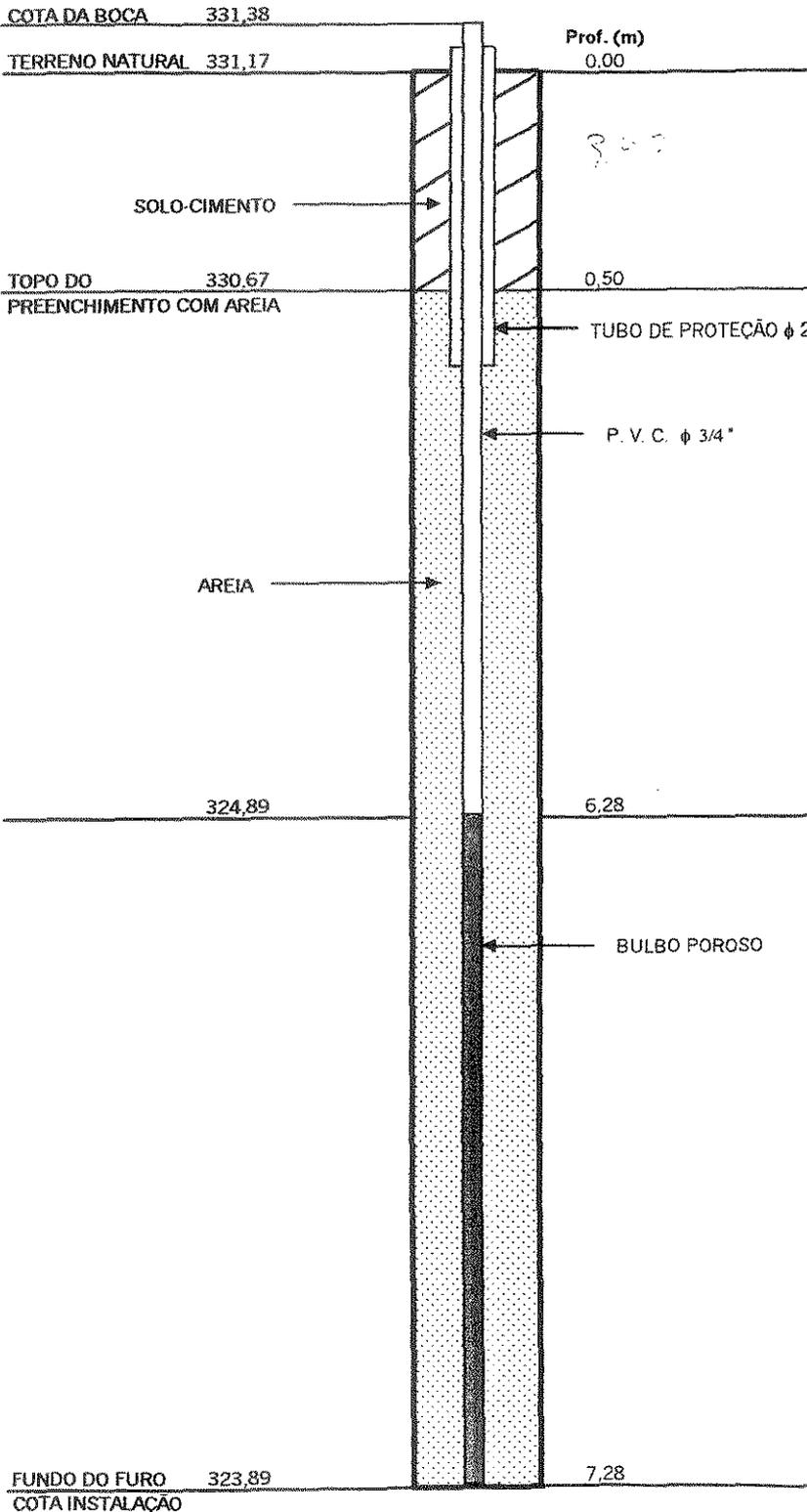


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-19

Local: R.: Baía - 1712

N A antes (m): 7,12

N A após (m):

Data da instalação: 08/05/91

Inclinação: Vertical

φ do furo de sondagem (pol.): 4"

φ do tubo (pol.): 3/4"

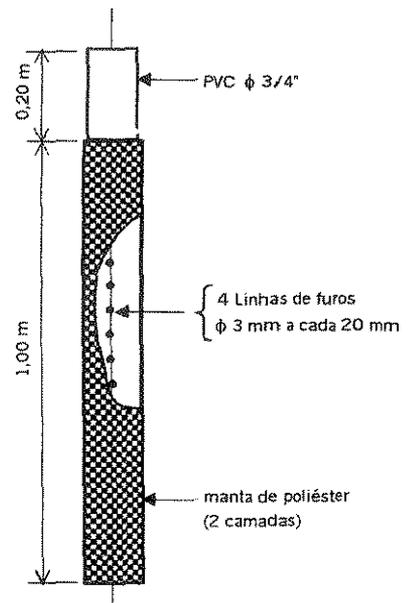
φ do bulbo (pol.): 3/4"

Sondagem nº: NA-19

Cota da boca (m): 331,38

Cota de instalação (m): 323,89

BULBO POROSO

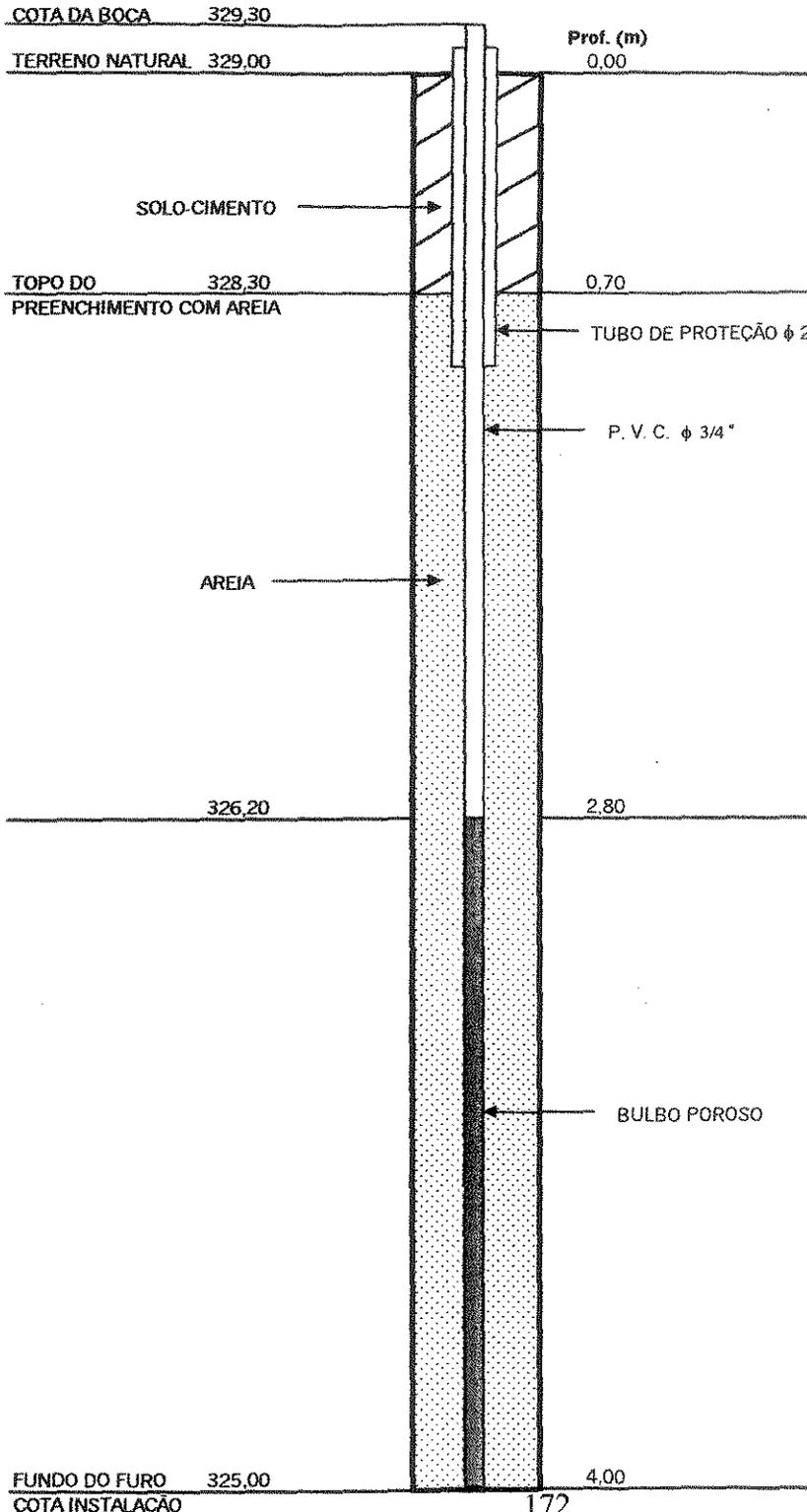


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-21

Local: C. E. Lazer M. Lobato

N A antes (m): 3,91

N A após (m): 4,22

Data da instalação: 25/05/01

Inclinação: Vertical

φ do furo de sondagem (pol.): 6"

φ do tubo (pol.): 3/4"

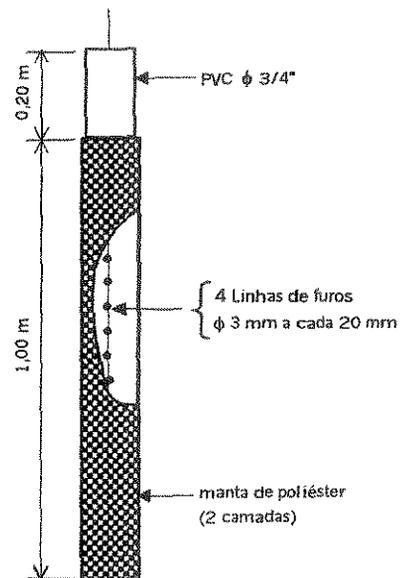
φ do bulbo (pol.): 3/4"

Sondagem n°: NA-21

Cota da boca (m): 329,30

Cota de instalação (m): 325,00

BULBO POROSO

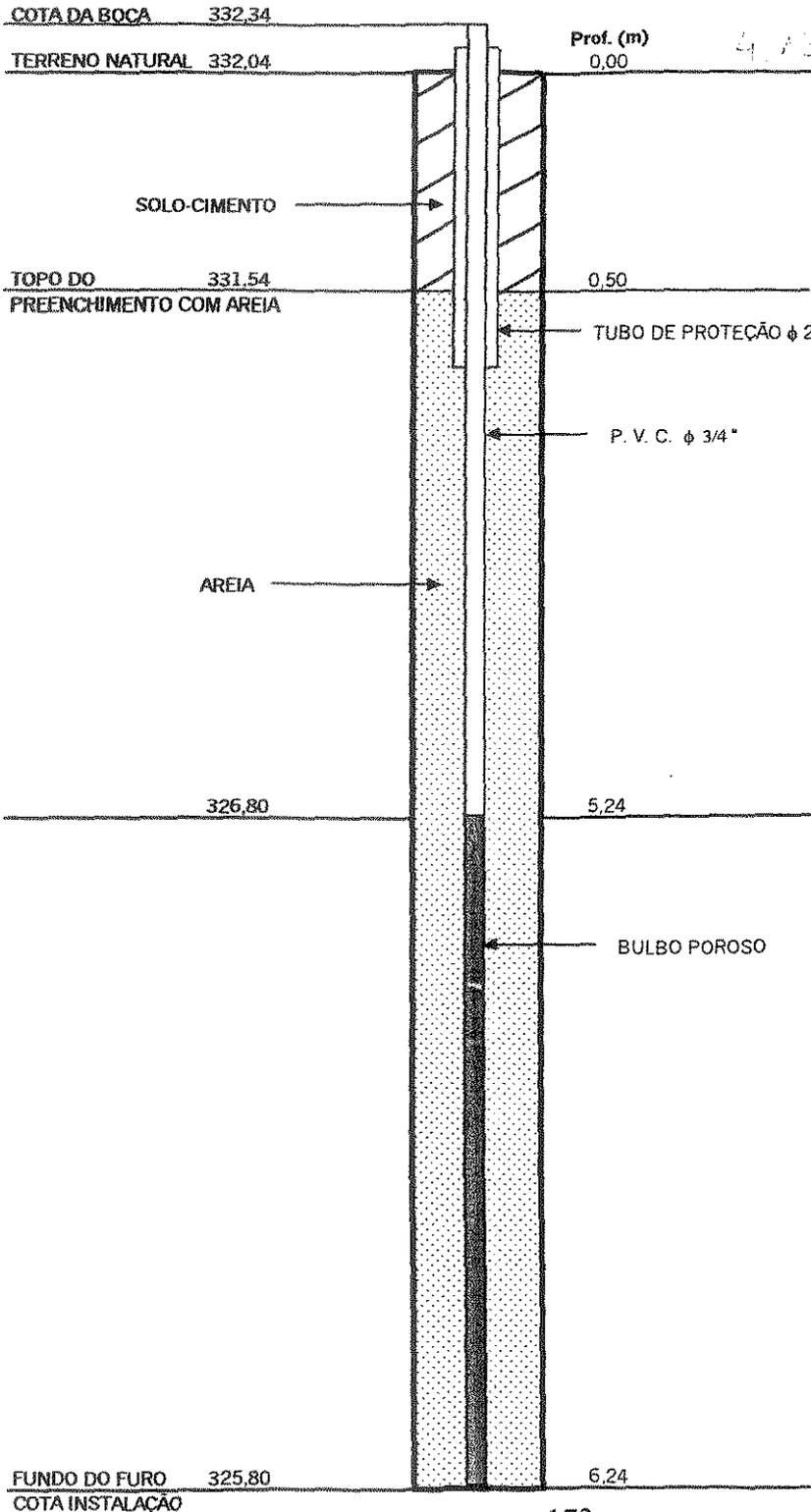


(sem escala)

OBRA: Bacia da UHE Três Irmãos - Monitoramento do Lençol Freático

LOCALIZAÇÃO: Pereira Barreto

PERFIL DE INSTALAÇÃO DE MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA



NA-22

Local: **A.P.A.E.**

N A antes (m): **5,77**

N A após (m):

Data da instalação: **06/06/91**

Inclinação: **Vertical**

φ do furo de sondagem (pol.): **4"**

φ do tubo (pol.): **3/4"**

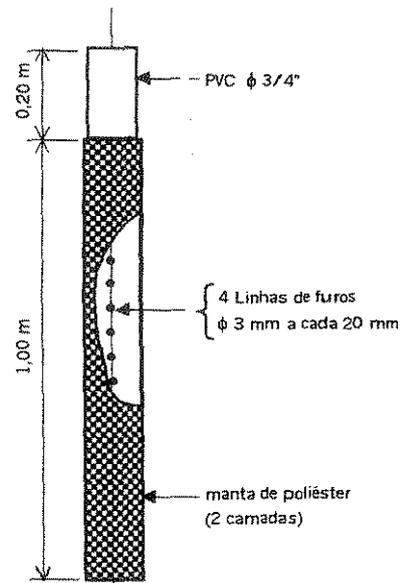
φ do bulbo (pol.): **3/4"**

Sondagem n°: **NA-22**

Cota da boca (m): **332,34**

Cota de instalação (m): **325,80**

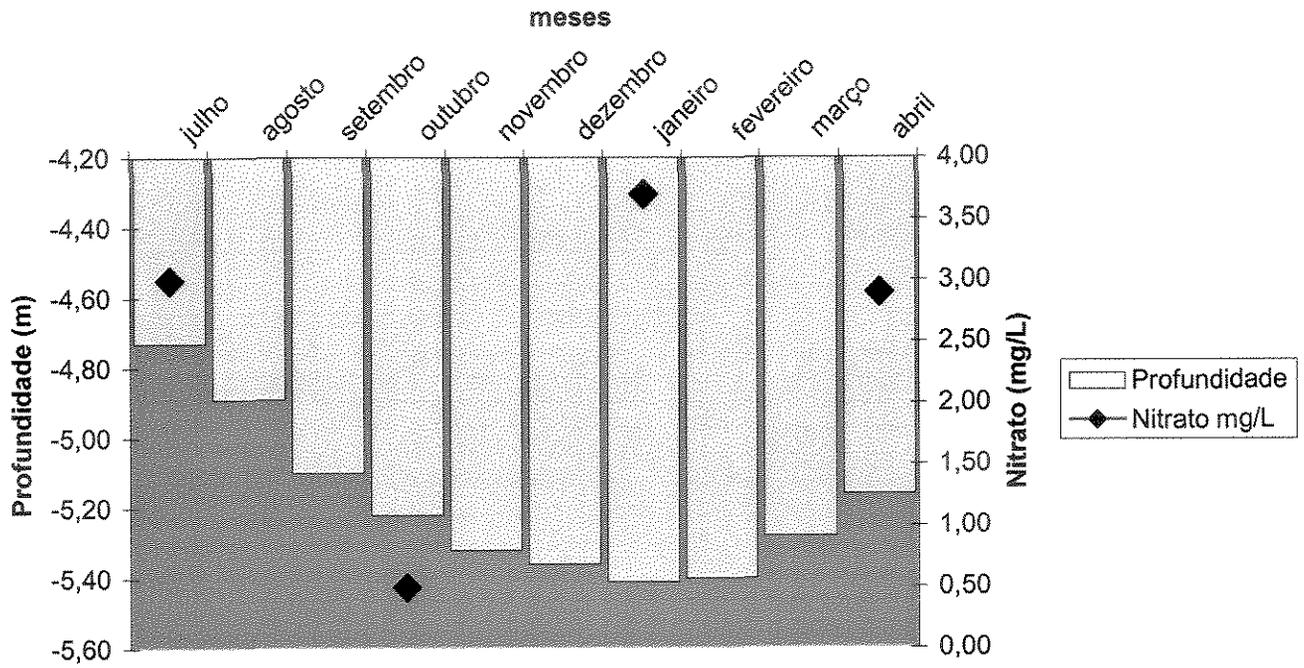
BULBO POROSO



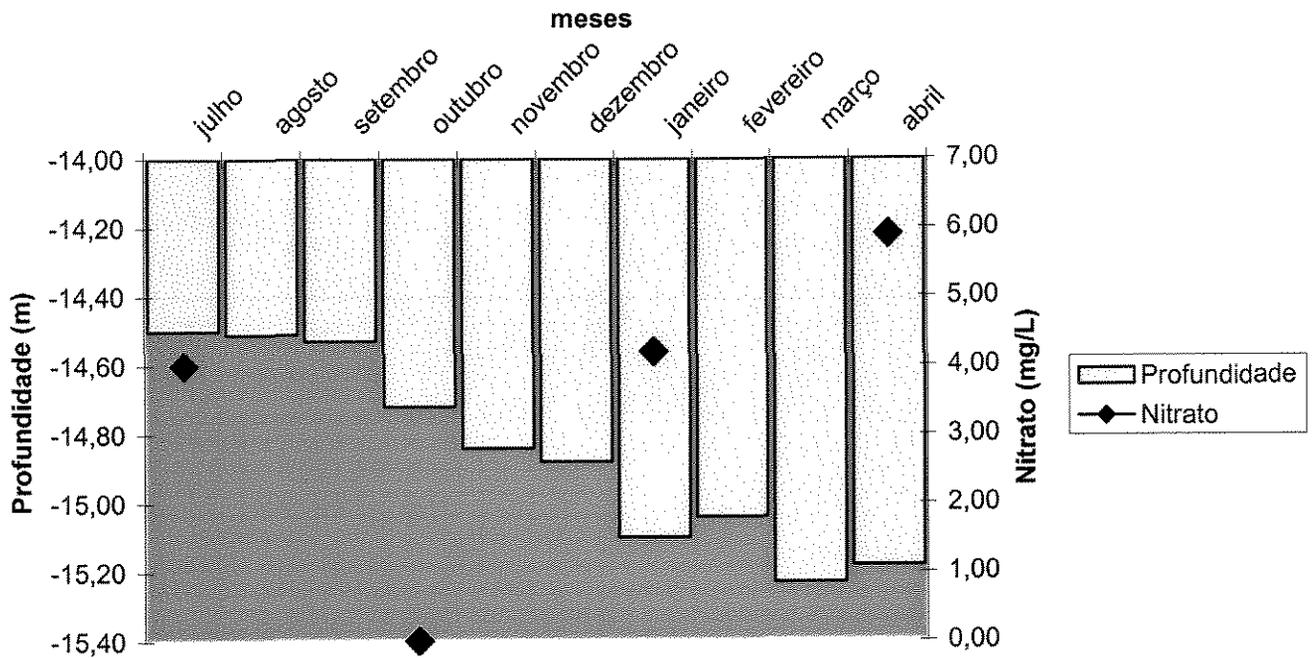
(sem escala)

ANEXO 2
GRÁFICOS DE CORRELAÇÃO: PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA /
NITRATO.

CORRELAÇÃO (N.A 1) - PROFUNDIDADE / NITRATO

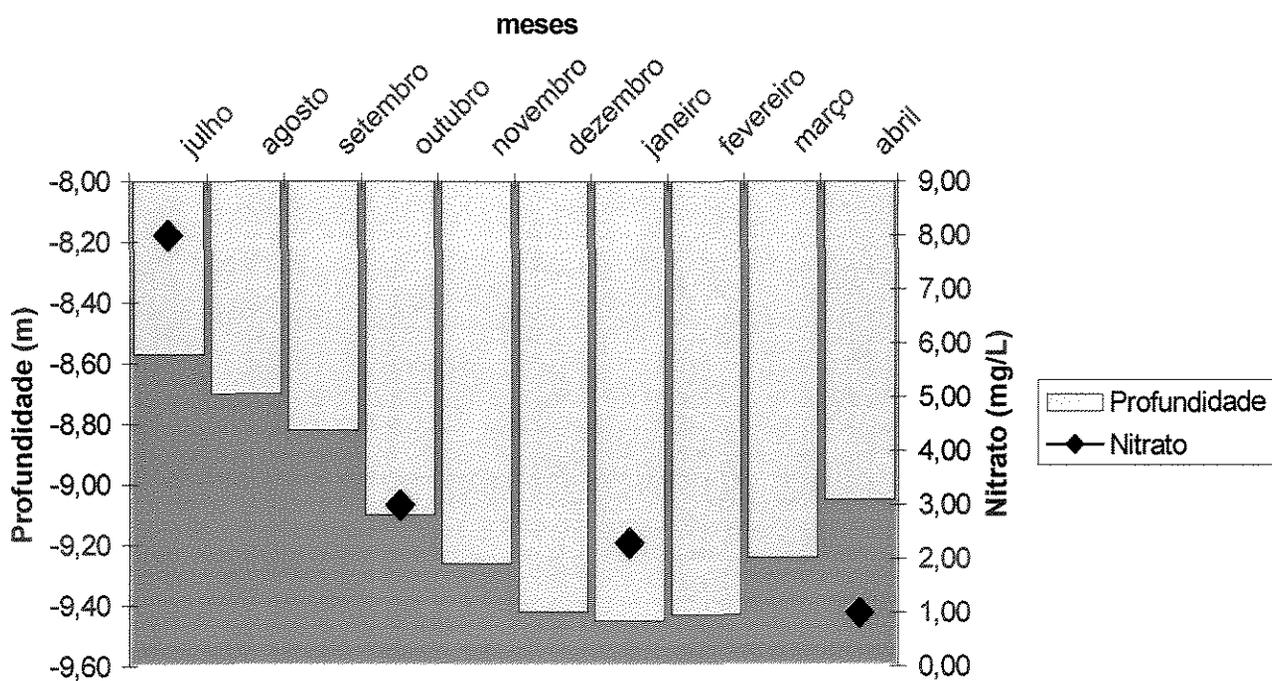


CORRELAÇÃO (N.A 2) - PROFUNDIDADE / NITRATO

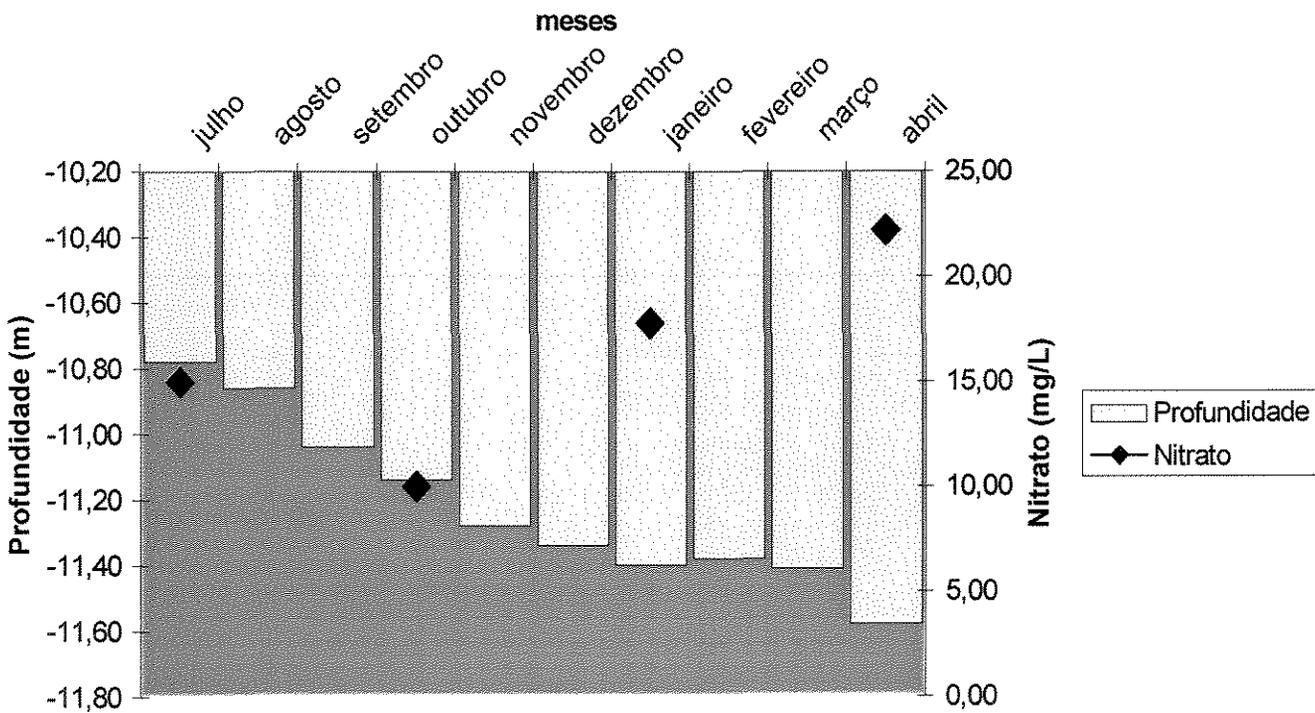


UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

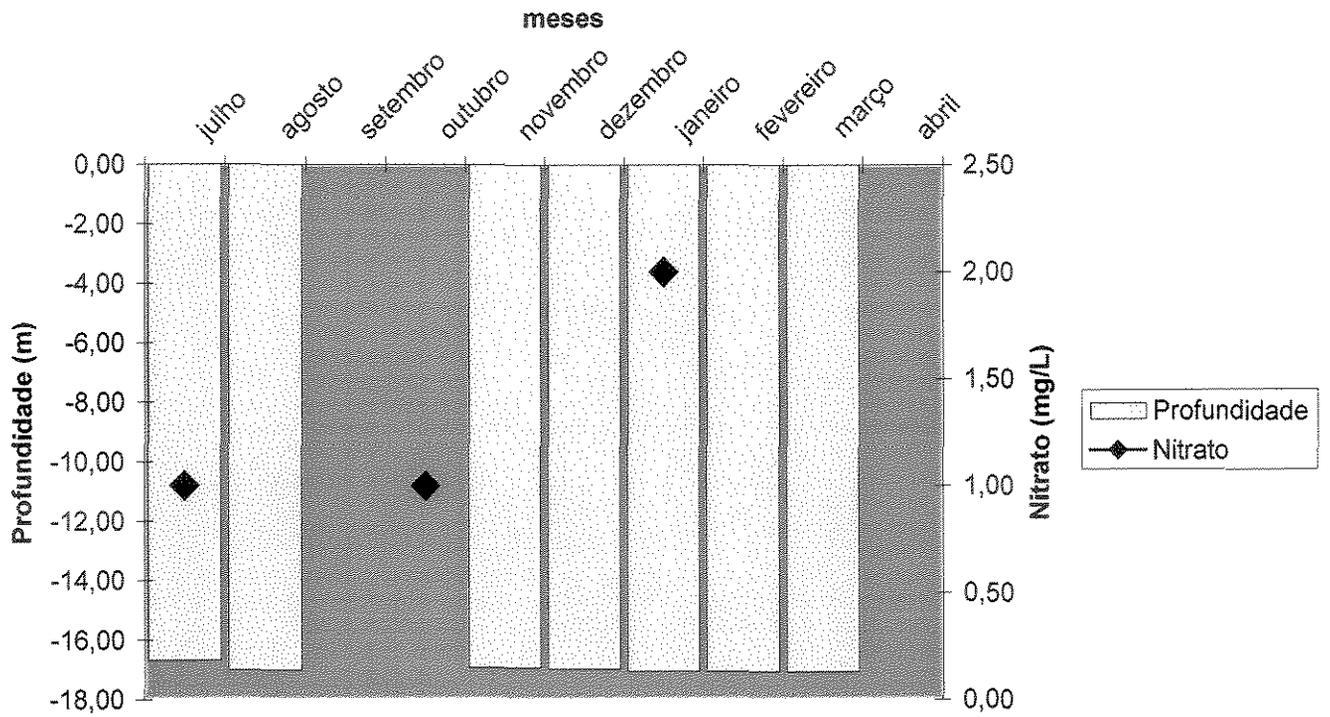
CORRELAÇÃO (N.A 3) PROFUNDIDADE / NITRATO



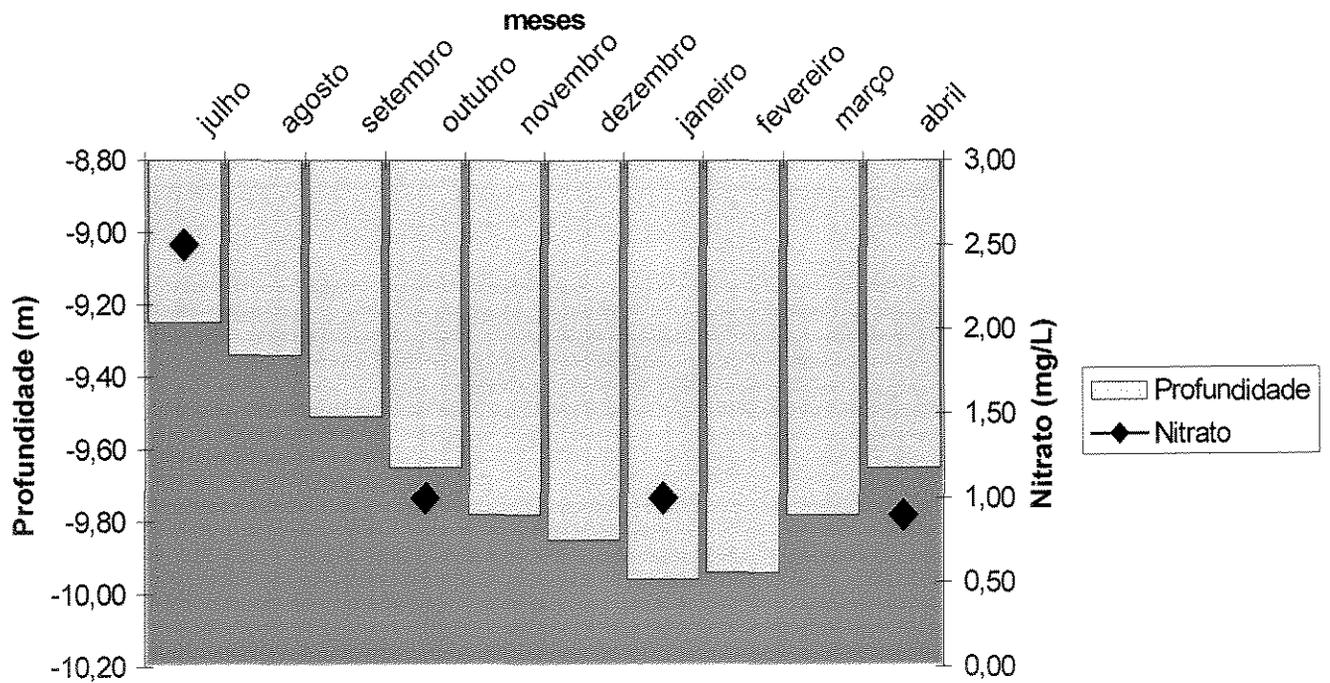
CORRELAÇÃO (N.A 5) - PROFUNDIDADE / NITRATO



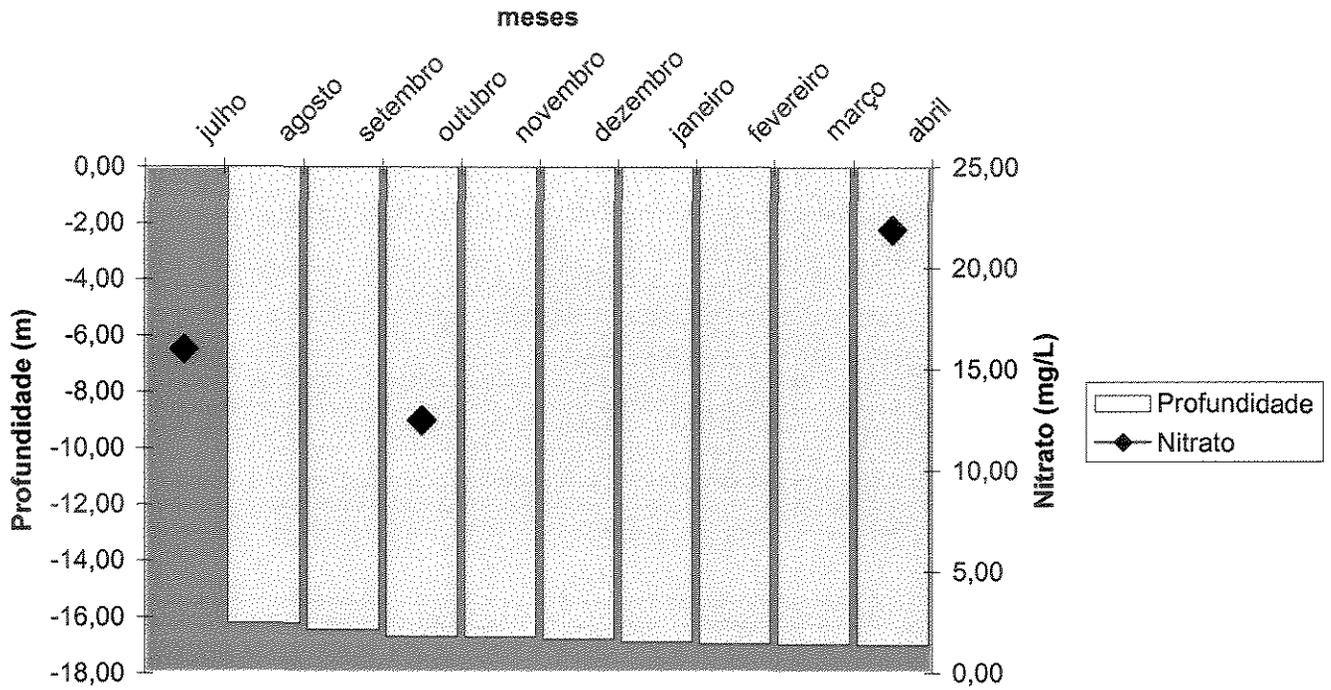
CORRELAÇÃO (N.A 7) - PROFUNDIDADE / NITRATO



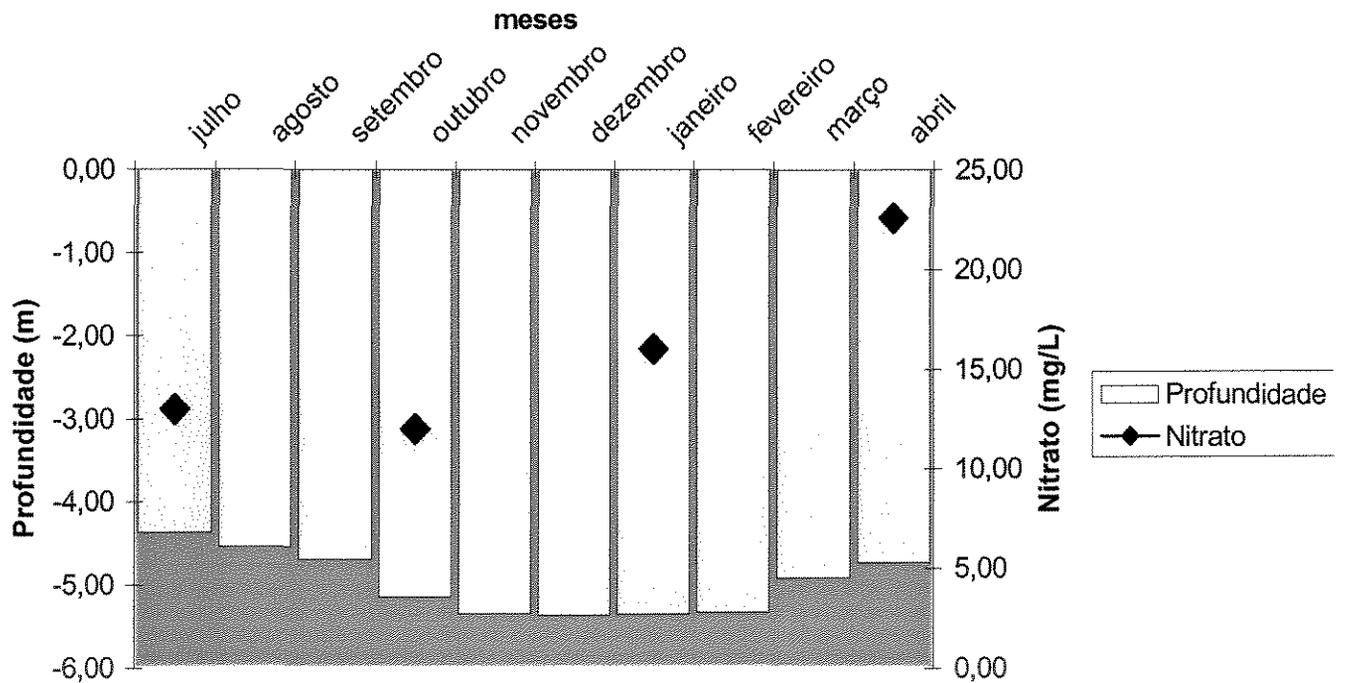
CORRELAÇÃO (N.A 8) - PROFUNDIDADE / NITRATO



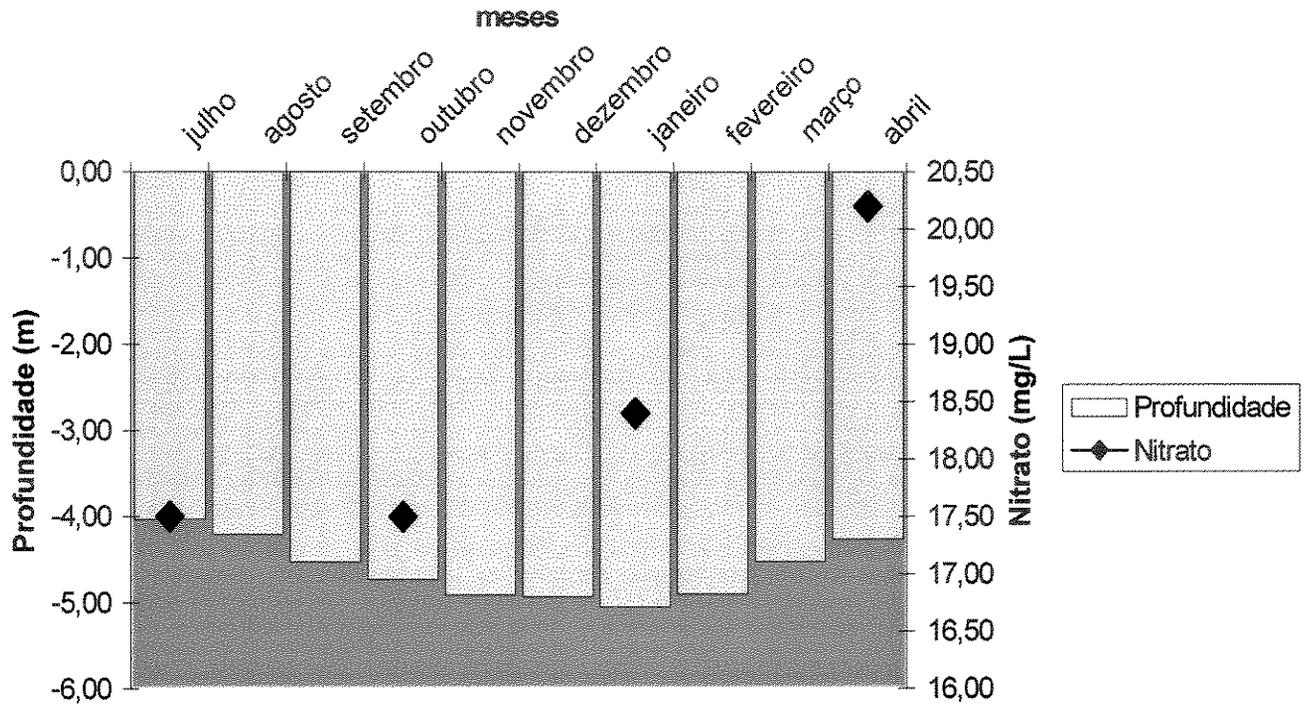
CORRELAÇÃO (N.A 9) - PROFUNDIDADE / NITRATO



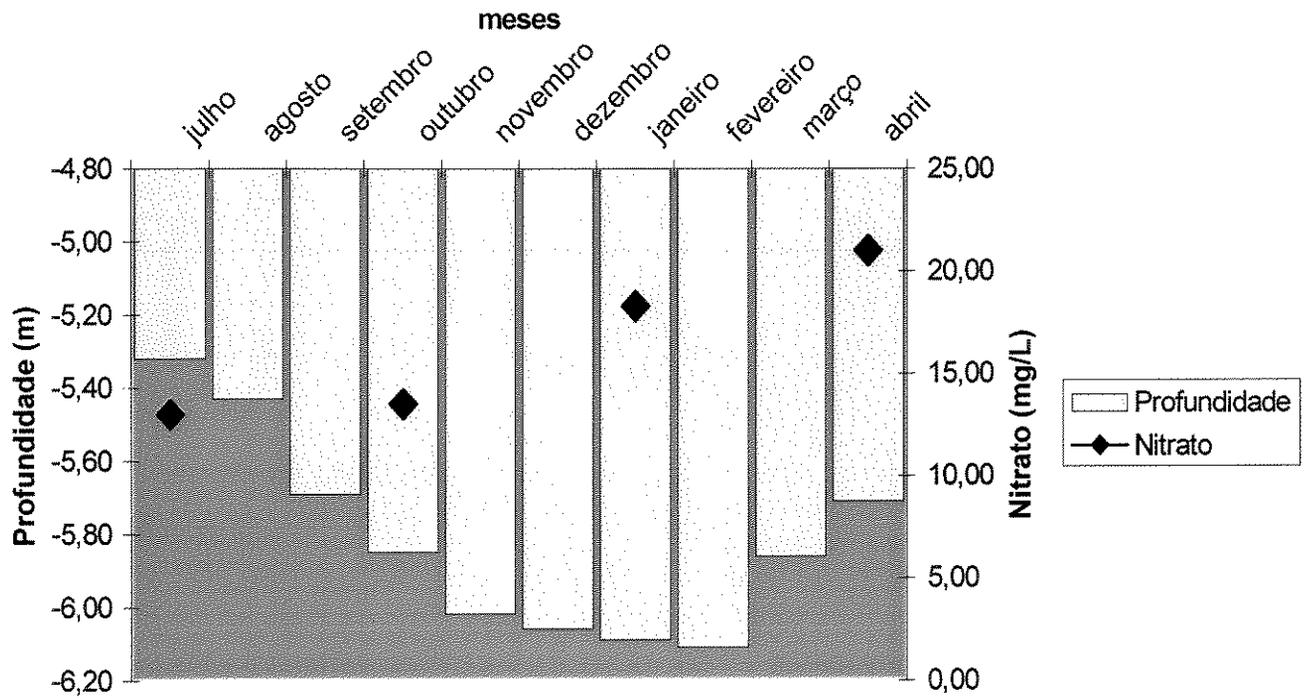
CORRELAÇÃO (N.A 10) - PROFUNDIDADE / NITRATO



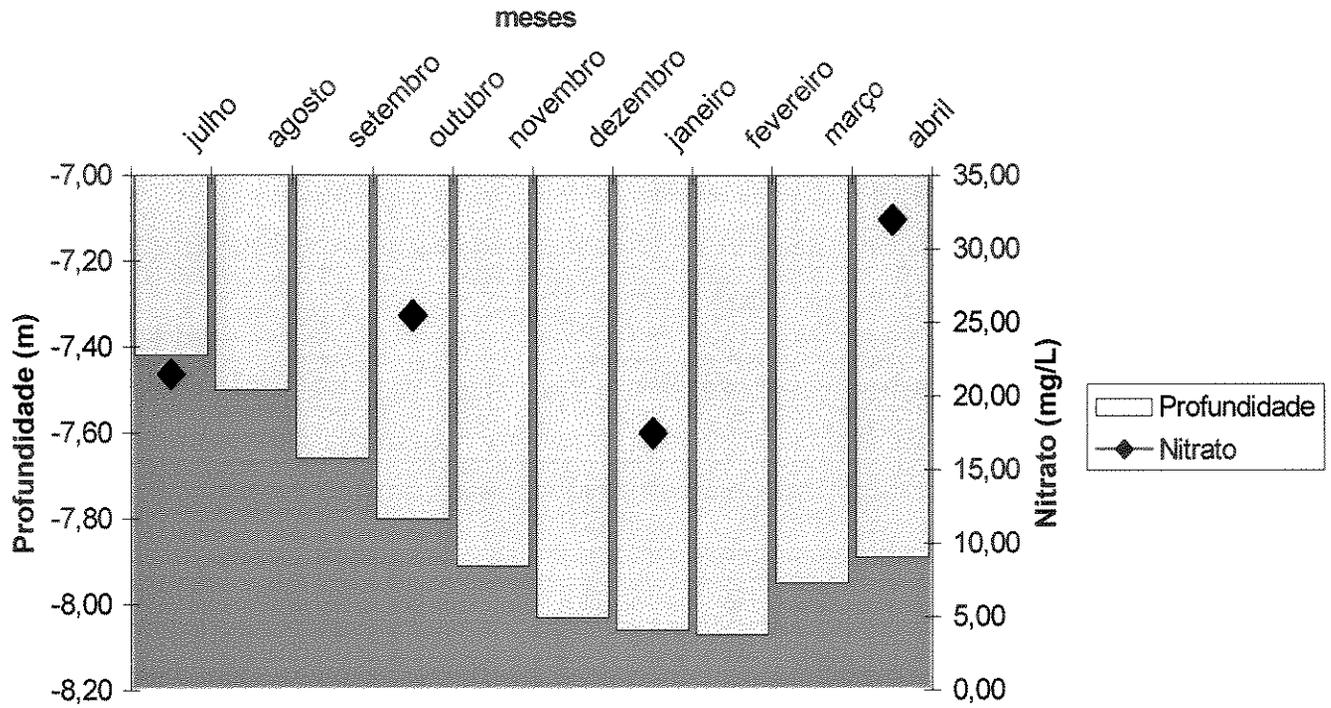
CORRELAÇÃO (N.A 11) - PROFUNDIDADE / NITRATO



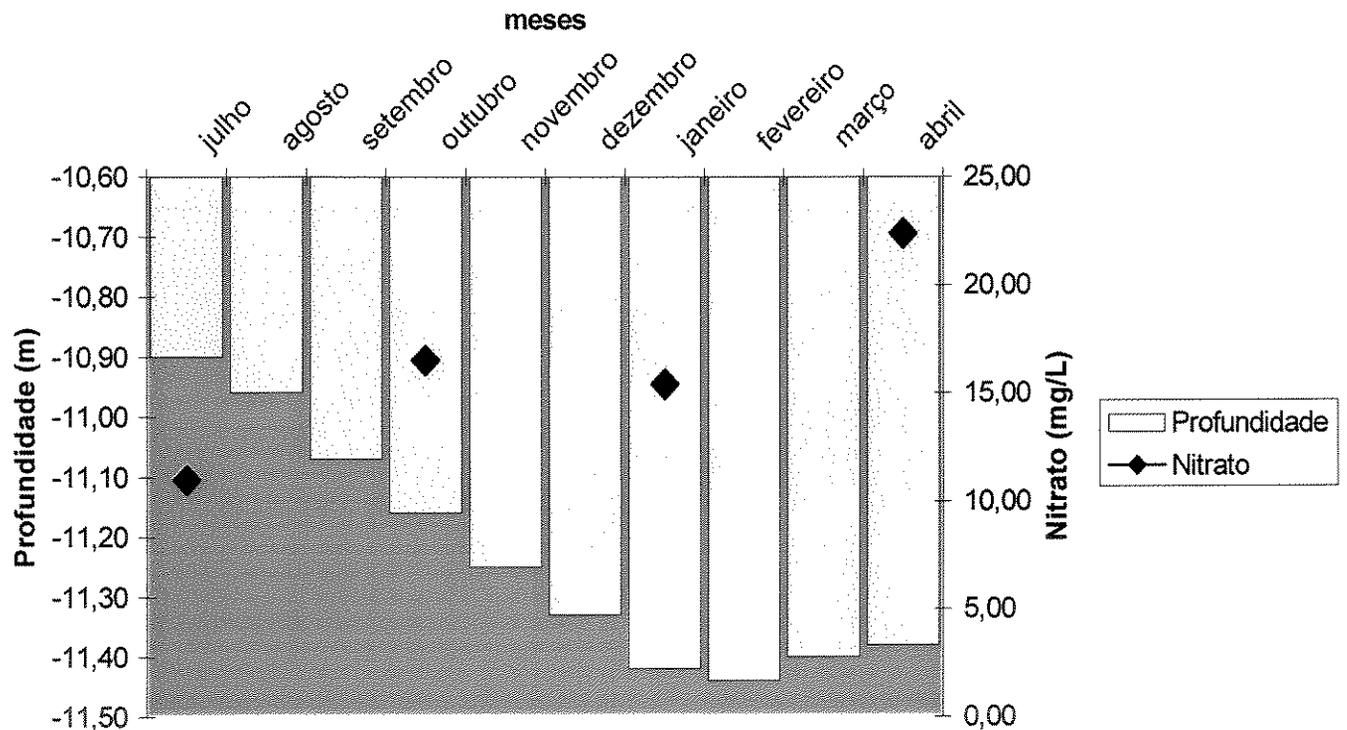
CORRELAÇÃO (N.A 12) - PROFUNDIDADE / NITRATO



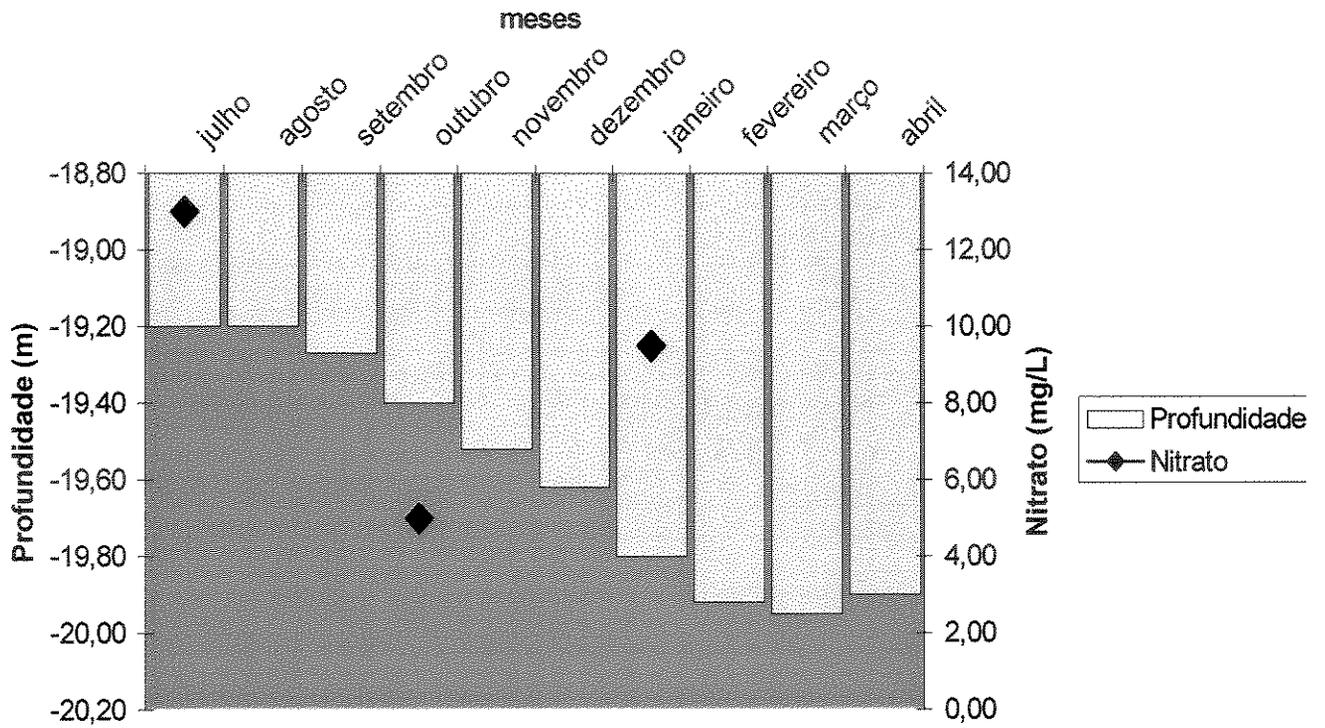
CORRELAÇÃO (N.A 13) - PROFUNDIDADE / NITRATO



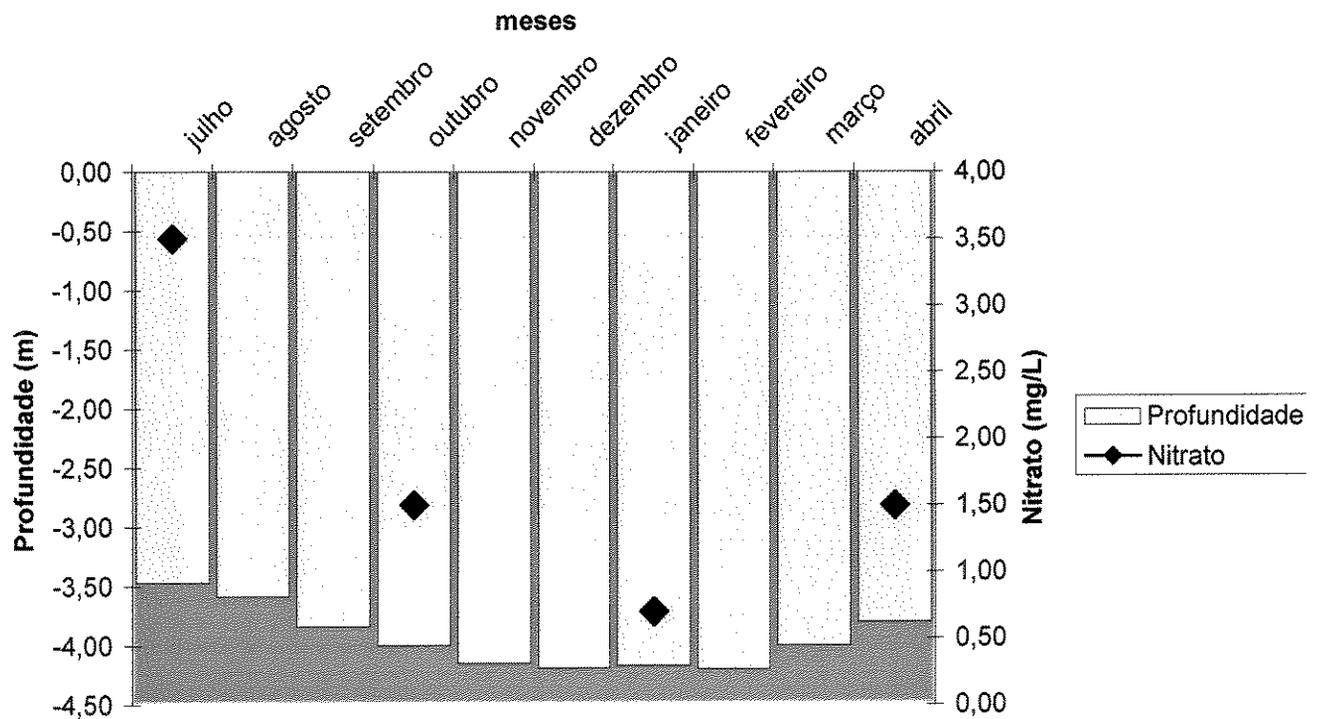
CORRELAÇÃO (N.A 14) - PROFUNDIDADE / NITRATO



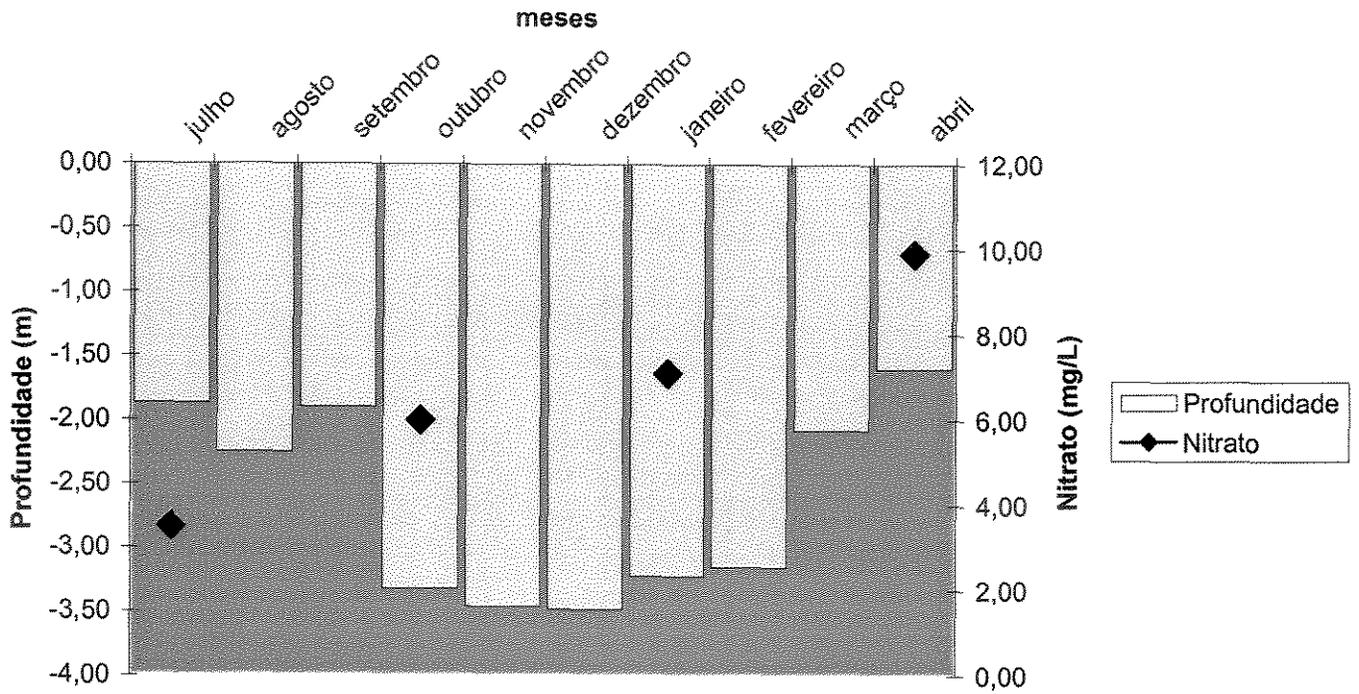
CORRELAÇÃO (N.A 15) - PROFUNDIDADE / NITRATO



CORRELAÇÃO (N.A 19) - PROFUNDIDADE / NITRATO



CORRELAÇÃO (N.A 21) - PROFUNDIDADE / NITRATO



CORRELAÇÃO (N.A 22) - PROFUNDIDADE / NITRATO

