UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

RELAÇÕES ENTRE RIOS E O AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA BACIA DE SÃO PAULO EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO INTENSIVA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Reginaldo Antonio Bertolo

Orientador: Prof. Dr. Nelson Ellert

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	*Nelson Ellert*	
Examinadores:	*Osmar Sinelli*	
	Aldo da Cunha Rebouças	

SÃO PAULO
1996

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005852

RELAÇÕES ENTRE RIOS E O AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA BACIA DE SÃO PAULO EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO INTENSIVA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Reginaldo Antonio Bertolo

Orientador: Prof. Dr. Nelson Ellert

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP

SÃO PAULO
1996

À

RHAUNA

Luz sempre presente

em todos os momentos e caminhos.

ÍNDICE

Lista de Figuras IV
Lista de Tabelas VII
Lista de Figuras em Anexo VIII
Resumo IX
Abstract X
Agradecimentos XI

1 - INTRODUÇÃO 01

2 - ÁREA DE ESTUDO 03

3 - METODOLOGIA 05

4 - TRABALHOS ANTERIORES 08
4.1 - Geologia Regional 08
4.2 - Hidrogeologia Regional 12

5 - MODELO DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA 20
5.1 - Dados Disponíveis de Poços Tubulares Profundos 20
5.2 - Geologia e Geometria do Aqüífero Sedimentar 26
5.3 - Comportamento dos Níveis d'Água em Poços Profundos 32
5.4 - Comportamento dos Níveis d'Água em Sondagens e Piezômetros 61
5.5 - Fluxos Locais e Regionais 65

6 - RELAÇÕES HIDRÁULICAS ENTRE RIOS E O AQÜÍFERO SEDIMENTAR 69
6.1 - Rio Tamanduateí 69
6.2 - Rio Tietê 84

7 - CONCLUSÕES 93

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97

9 - ANEXO 1 - CADASTRO DE POÇOS PROFUNDOS 101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Mapa de localização da área de estudo..... 04
FIGURA 4.1 - Contexto geológico regional da área de estudo..... 09
FIGURA 4.2 - Perfis geológicos NW-SE e NE-SW da Bacia Sedimentar de São Paulo... 10
FIGURA 4.3 -Contexto hidrogeológico da área de estudo na Bacia Hidrográfica-Hidrogeológica do Alto Tietê..... 13
FIGURA 5.1 - Informações disponíveis dos poços tubulares profundos em relação ao total de poços cadastrados na área de estudo..... 21
FIGURA 5.2 - Evolução do número de poços tubulares construídos na área de estudo..... 21
FIGURA 5.3 - Tipos de aquíferos explorados pelos poços tubulares na área de estudo..... 23
FIGURA 5.4 - Freqüência de profundidades dos poços tubulares profundos..... 23
FIGURA 5.5 - Freqüência de vazões dos poços tubulares profundos por tipo de aqüífero 24
FIGURA 5.6 - Freqüência de capacidade específica dos poços tubulares profundos..... 24
FIGURA 5.7 -Tipos de uso de água subterrânea na área de estudo..... 25
FIGURA 5.8 - Mapa geológico da área de estudo..... 27
FIGURA 5.9 - Mapa da superfície do topo do embasamento cristalino da área de estudo..... 29
FIGURA 5.10 - Mapa de espessura de sedimentos da área de estudo..... 30
FIGURA 5.11 - Mapa de ocorrência de sedimentos arenosos nos perfis dos poços tubulares profundos da área de estudo..... 31
FIGURA 5.12 - Relação entre cota do terreno e cota do nível estático dos poços da área de estudo..... 32
FIGURA 5.13 - Mapa de zonas de características geológicas e topográficas similares..... 35
FIGURA 5.14 - Médias de cotas topográficas das zonas similares..... 46
FIGURA 5.15 - Cotas médias do embasamento cristalino das zonas similares..... 46
FIGURA 5.16 - Porcentagem média de sedimentos arenosos no perfil dos poços das zonas similares..... 47
FIGURA 5.17 - Espessuras médias de sedimentos atravessada pelos poços das zonas similares..... 47

FIGURA 5.18 - Cotas médias do primeiro nível de filtros dos poços profundos das zonas similares..... 48
FIGURA 5.19 - Ano médio de perfuração dos poços profundos das zonas similares..... 48
FIGURA 5.20 - Médias de profundidades do nível estático dos poços profundos das zonas similares..... 49
FIGURA 5.21 - Médias de cotas do nível estático dos poços profundos das zonas similares..... 49
FIGURA 5.22 - Relação entre profundidade do nível estático e espessura de sedimentos atravessada pelos poços profundos das zonas D e G..... 51
FIGURA 5.23 - Relação entre profundidade do nível estático e a espessura de sedimentos atravessada pelos poços das zonas A e F..... 51
FIGURA 5.24 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços da zona D..... 53
FIGURA 5.25 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços da zona G..... 53
FIGURA 5.26 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços as zonas A e F..... 54
FIGURA 5.27 - Diferença entre profundidade de nível estático dos poços mais recentes em relação a poços mais antigos..... 55
FIGURA 5.28 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos nas décadas de 30 e 40..... 57
FIGURA 5.29 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1966 e 1968..... 58
FIGURA 5.30 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1974 e 1975..... 59
FIGURA 5.31 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1985 e 1989..... 60
FIGURA 5.32 - Mapa de localização de sondagens e piezômetros no Parque Dom Pedro II..... 62
FIGURA 5.33 - Modelo de circulação original da água subterrânea na área de estudo..... 67

FIGURA 5.34 - Modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo sob exploração intensiva..... 68
FIGURA 6.1 - Exemplo de relatório técnico construtivo de piezômetro executado pela Cia Metrô..... 70
FIGURA 6.2 - Perfil geológico construtivo dos piezômetros do rio Tamanduateí executados pela Cia Metrô..... 72
FIGURA 6.3a - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZA1, PZA2, PZB1, e PZB2..... 73
FIGURA 6.3b - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZC1, PZC2, PZD, e PZE..... 73
FIGURA 6.3c - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZF, PZG1, PZG2, e PZH..... 74
FIGURA 6.3d - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZ J1, PZ J2, PZ J3, e PZK..... 74
FIGURA 6.4 - Perfil hidrogeológico dos piezômetros do rio Tamanduateí..... 77
FIGURA 6.5a - Comportamento do nível d'água durante a perfuração das sondagens PZA, PZB, PZC, PZD e PZE..... 78
FIGURA 6.5b - Comportamento do nível d'água durante a perfuração das sondagens PZF, PZG, PZH, PZJ, e PZK..... 79
FIGURA 6.6 - Exemplo de perfil geológico construtivo de poços de observação construídos junto ao rio Tietê..... 86
FIGURA 6.7 - Perfil geológico construtivo dos poços de observação do rio Tietê..... 88
FIGURA 6.8 - Monitoramento dos níveis d'água dos poços de observação PO1A, PO2A, PO3A, e sondagem SD4A..... 89
FIGURA 6.9 - Perfil hidrogeológico dos poços de observação do rio Tietê..... 90

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 - Total de poços por zona e tipos de aquíferos explorados..... 34
TABELA 5.2 - Estatística descritiva dos poços da ZONA A..... 36
TABELA 5.3 - Estatística descritiva dos poços da ZONA B..... 37
TABELA 5.4 - Estatística descritiva dos poços da ZONA C..... 38
TABELA 5.5 - Estatística descritiva dos poços da ZONA D..... 39
TABELA 5.6 - Estatística descritiva dos poços da ZONA E..... 40
TABELA 5.7 - Estatística descritiva dos poços da ZONA F..... 41
TABELA 5.8 - Estatística descritiva dos poços da ZONA G..... 42
TABELA 5.9 - Estatística descritiva dos poços da ZONA H..... 43
TABELA 5.10 - Estatística descritiva dos poços da ZONA I..... 44
TABELA 6.1 - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros do Metrô..... 75
TABELA 6.2 - Condutividades hidráulicas calculadas para os piezômetros do Metrô. 83
TABELA 6.3 - Monitoramento dos níveis d'água dos poços de observação PO1, PO2, PO3 e SD4..... 89
TABELA 6.4 - Condutividades hidráulicas calculadas para os poços de observação PO1 e PO2..... 92

LISTA DE FIGURAS EM ANEXO (em apenso à contracapa)

MAPA 1 - Mapa de localização de poços tubulares profundos, piezômetros e sondagens geotécnicas da área de estudo.

PERFIL 1 - Perfil geológico/hidrogeológico A - A' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 2 - Perfil geológico/hidrogeológico B - B' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 3 - Perfil geológico/hidrogeológico C - C' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 4 - Perfil geológico/hidrogeológico D - D' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 5 - Perfil geológico/hidrogeológico E - E' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 6 - Perfil geológico/hidrogeológico F - F' de poços profundos e suas características construtivas.

PERFIL 7 - Perfil geológico/hidrogeológico G - G'.

PERFIL 8 - Perfil geológico/hidrogeológico H - H'.

PERFIL 9 - Perfil geológico/hidrogeológico I - I'.

PERFIL 10A - Perfil geológico/hidrogeológico J - J' - trecho 1.

PERFIL 10B - Perfil geológico/hidrogeológico J - J' - trecho 2.

PERFIL 10C - Perfil geológico/hidrogeológico J - J' - trecho 3.

PERFIL 10D - Perfil geológico/hidrogeológico J - J' - trecho 4.

RESUMO

A Bacia Sedimentar de São Paulo apresenta áreas de grande concentração de poços tubulares profundos operando simultaneamente, formando zonas de exploração intensiva de água subterrânea que geraram rebaixamentos generalizados nos níveis potenciométricos do aqüífero. A depressão contínua desses níveis proporcionou o surgimento de potenciais de inversão de fluxos de água dos cursos superficiais para o interior do aqüífero sedimentar.

Este trabalho objetiva a caracterização da forma com que a exploração intensiva da água subterrânea altera a dinâmica entre os rios Tietê e Tamanduateí com o aqüífero sedimentar, numa área situada na porção centro-leste do município de São Paulo, através da definição do modelo de circulação da água subterrânea e através da caracterização das relações hidráulicas entre os rios e aquíferos em determinados locais específicos.

Com base em informações geológicas e hidrogeológicas de 326 poços tubulares profundos e de vários piezômetros e sondagens geotécnicas, observou-se que o aqüífero é formado por intercalações de camadas argilosas e arenosas descontínuas horizontal e verticalmente, caracterizando o aqüífero como semi-confinado, heterogêneo e anisotrópico.

Estudos estatísticos mostraram que, em função da prática de bombeamento, os níveis d'água nos poços profundos tornam-se progressivamente mais profundos ao longo do tempo e que há uma relação diretamente proporcional entre a profundidade do poço e o nível d'água em seu interior. O bombeamento da água nos poços não chega a gerar, porém, rebaixamentos generalizados nos níveis freáticos em função da grande heterogeneidade no sentido vertical do aqüífero.

A água contida nos níveis aquíferos superficiais deve fazer parte de um sistema de fluxos local que se desloca preferencialmente no sentido horizontal, de maior condutividade hidráulica, cuja descarga se dá nas drenagens próximas. Parte deste sistema de fluxos deve, porém, atingir os níveis aquíferos mais profundos através de drenança das camadas semi-permeáveis sobrepostas.

Piezômetros monitorados junto ao rio Tamanduateí mostram condições de recarga dos níveis aquíferos semi-confinados pouco profundos. A superfície freática é, porém, pouco profunda e situa-se acima da cota de base do rio, indicando condições de descarga do aqüífero freático. Os poços de observação construídos junto ao Rio Tietê mostram uma situação de condições de descarga do aqüífero freático monitorado.

ABSTRACT

Zones of high concentration of operating deep wells occur in the São Paulo Sedimentary Basin. This has caused a major decline of the potenciometric levels of the sedimentary aquifer. The continuous depression of these levels have allowed a potential inversion of the water flows from the river into the sedimentary aquifer.

The objective of this work is to characterize how the intense exploitation of groundwater can change the dynamic of the Tietê and Tamanduateí rivers and the sedimentary aquifer, in an area located in the Eastern part of the São Paulo City, by defining the groundwater circulation model and characterizing the hydraulic relationship between rivers and aquifers in certain places.

Based on hydrogeological and geological information of 326 deep wells and on several piezometers and geotechnical soundings as well, it was observed that the sedimentary aquifer is formed by horizontal and vertical non-continuous interbeded layers of clay and sand, which defines a semi-confined, heterogeneous and anisotropic aquifer.

Statistical studies have shown that the water levels in the deep wells are becoming deeper along the time due to the practice of intensive exploration, and that there is a directly proportional relationship between the depth of the well and the water level in its interior. However, all these pumping wells do not cause drawdowns of the water table once the aquifer is very heterogeneous in the vertical direction.

The water which is contained in the shallow aquifers may be considered as making part of a local flow system that moves mostly in the horizontal direction, of a higher hydraulic conductivity, discharging in the nearby drainages. However, part of this local flow system should be reaching the deepest levels of the sedimentary aquifer by the leakage of the upper semi-permeable layers.

Monitored piezometers nearby the Tamanduateí River pointed out conditions for the recharge of the shallow semi-confined aquifer levels. The phreatic surface is shallow, however, and is located above the level of the river's bed, indicating conditions for the discharge of the phreatic aquifer. The monitoring wells constructed nearby the Tietê River showed conditions of discharge of the monitored phreatic aquifer.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho teve a valorosa contribuição de várias pessoas e entidades, às quais desejo registrar minha gratidão:

Ao Prof. Dr. Nelson Ellert um especial agradecimento, por sua orientação e apoio e por possibilitar a obtenção de recursos para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças pelas sua disponibilidade sempre presente e pelas suas valiosas sugestões relativas à dissertação.

Ao Instituto de Geociências - USP, através do Departamento de Geologia Econômica pela oportunidade oferecida em desenvolver as pesquisas em suas dependências.

Ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS-IG-USP) por seu apoio técnico, de equipamentos e de infra-estrutura.

Ao IDRC (International Development of Research Centre) - Canadá, e ao FINEP/PADCT pelo apoio financeiro à pesquisa; e à CAPES e ao CNPq pelo fornecimento de bolsas de estudo.

Ao Instituto Geológico (IG-SMA), através da Diretora Márcia M. N. Pressinotti, pela liberação de horas de trabalho e pelo apoio material para a execução desta pesquisa;

À Cia do Metropolitano de São Paulo (METRÔ), através do geólogo Hugo Cássio Rocha, pelo fornecimento de dados de sondagens e piezômetros e pela possibilidade oferecida em monitorar seus piezômetros durante o período de trabalhos de campo.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e às empresas de perfuração de poços Corner, Politi, Air-Drill e Hidrogesp por fornecerem dados de poços profundos.

Ao Sr. Antonio, funcionário do CEPAS-IG-USP, pela força dada nos trabalhos de campo; e às secretárias Lurdes (CEPAS-IG-USP) e Lúcia (DGE-IG-USP), sempre prestativas nas atribulações do dia-a-dia.

Ao companheiro geólogo Eduardo Jun Shinohara por sua contribuição durante a fase de levantamento de dados.

Aos amigos Mara Akie Iritani, Seiju Hassuda, Geraldo Ideo Oda e Sueli Yoshinaga, pelas longas discussões realizadas e pela rica convivência criativa, que proporcionaram o surgimento de grande companheirismo profissional.

E principalmente aos amigos Ricardo C. Aoki Hirata, Cyro Bernardes Jr e Luciana M. R. Ferreira, que, além de participarem intensamente deste círculo criativo, pacientemente revisaram o texto final desta dissertação e colaboraram com sugestões e críticas.

1) INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo apresenta um dos maiores problemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos do país. A industrialização verificada a partir da década de 50 gerou um processo de intensa urbanização com metropolização da área, que hoje conta com aproximadamente 15 milhões de habitantes.

Este processo foi acompanhado pela falta de planejamento global na ocupação do meio físico, gerando sérios problemas estruturais que, sob o ponto de vista dos recursos hídricos, culminou com problemas de abastecimento urbano e de qualidade das águas dos rios que cortam a região.

O crescente problema de oferta ocasionou elevações nos custos da água tratada e distribuída. Assim, uma das saídas encontradas por instituições que consomem grandes volumes de água, representadas principalmente por indústrias e condomínios urbanos, foi a construção de poços tubulares profundos.

Entretanto, a perfuração desses poços não foi acompanhada pelo planejamento no uso racional da água subterrânea, o que fez com que surgissem zonas de grandes concentrações de poços operando simultaneamente, principalmente em áreas industriais e condominiais.

Estudos hidrogeológicos posteriores indicaram que os poços nessas áreas estariam sobre-explorando o aqüífero sedimentar da Bacia de São Paulo, através da observação da ocorrência de contínuo abatimento dos seus níveis potenciométricos. Tal depressão de níveis potenciométricos ocasionou, inclusive, o surgimento de potenciais de inversão de fluxos de água dos cursos superficiais dessas áreas para o interior do aqüífero sedimentar.

Esta situação torna-se preocupante pois os rios e córregos da região encontram-se extremamente poluídos, representando em grande parte o sistema de coleta de esgoto residencial e industrial, o que poderia ocasionar a contaminação da água subterrânea.

De acordo com o exposto, este trabalho tem como objetivo principal a caracterização da forma com que a exploração intensiva de água subterrânea altera a dinâmica hidráulica entre os rios e o aqüífero sedimentar da Bacia de São Paulo, numa determinada área de estudo inserida nesse contexto.

Para tanto, define-se como objetivos específicos:

- a determinação do modelo conceitual de circulação da água subterrânea do aqüífero sedimentar, através da caracterização da geologia e da geometria deste aqüífero e através da análise do comportamento dos níveis de água subterrânea nos poços profundos e nas sondagens geotécnicas, piezômetros e poços de observação rasos; e

- a caracterização das relações hidráulicas entre os rios e aqüíferos em locais específicos.

2) ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada encontra-se na região centro-leste da cidade de São Paulo, no contexto da confluência dos rios Tietê e Tamanduateí, e que inclui os bairros Pari, Brás, Belém, Tatuapé e Moóca (FIGURA 2.1).

Do ponto de vista topográfico, predominam terrenos planos associados à planície de inundação dos rios Tietê e Tamanduateí, com cota mínima de 722 metros. Apenas na porção sudeste da área de estudo é que se encontram colinas que alcançam 800 metros de altitude.

Os critérios para a escolha desta área se deu a partir da análise dos mapas potenciométricos da cidade de São Paulo executados por DAEE (1975) e Campos (1988), por sua situação em relação aos fortemente poluídos rios Tietê e Tamanduateí, e à grande concentração de poços tubulares profundos em operação na região.

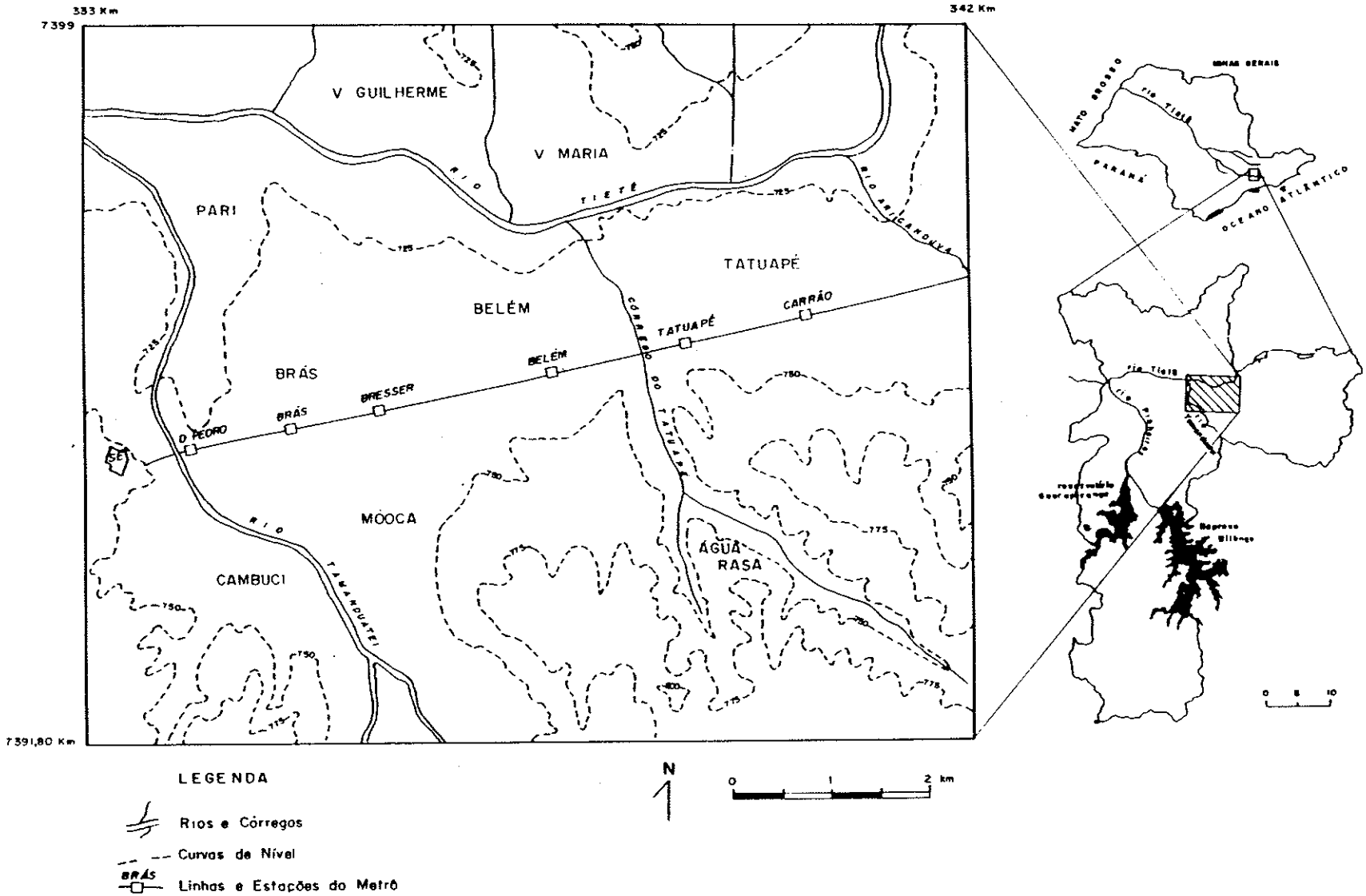


FIGURA 2.1 - Mapa de localização da área de estudo.

3) METODOLOGIA

O método utilizado para a realização dos objetivos propostos compreende as fases de revisão dos trabalhos existentes, de levantamento de dados, de trabalhos de campo e finalmente a fase de tratamento e análise dos dados obtidos. Estes itens são detalhados a seguir.

Revisão Bibliográfica

Nesta fase se deu o levantamento dos principais trabalhos científicos e técnicos nas áreas de geologia e hidrogeologia referentes à Região Metropolitana de São Paulo. Foram obtidos 27 trabalhos na área de hidrogeologia, cuja análise da evolução dos conhecimentos encontra-se no item 4.1.

Levantamento de Dados

Inicialmente, foram executados os trabalhos de cadastramento de poços tubulares profundos localizados na área de estudo no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), nas empresas perfuradoras de poços, e através dos cadastros de poços em anexo aos relatórios SABESP/A.A.Noronha (1986) e SABESP/CEPAS-IG/USP (1994). Foram obtidos dados de localização geográfica dos poços, seus dados construtivos, dados das características do aqüífero, dados de produção e dados dos tipos de uso da água. Procedeu-se, então, os trabalhos de triagem das informações confiáveis, de acordo com a empresa perfuradora, controle geológico e dados de produção. Os poços cadastrados foram locados em mapas topográficos na escala 1:25.000 (EMPLASA 1981), de onde se obtiveram as coordenadas UTM e cota da boca dos poços.

Na Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô), foram cadastradas informações geológicas e técnico-construtivas de várias sondagens geotécnicas e de 23 piezômetros, executados ao longo do ramal Leste e do ramal da Rua Oriente. Do total de piezômetros, somente 10 localizados transversalmente ao rio Tamanduateí (ramal da Rua Oriente) encontravam-se em operação durante a fase de levantamento dos dados no campo.

Trabalhos de Campo

Foram construídos 3 poços de monitoramento e 4 piezômetros na área da Associação Desportiva "Polícia Militar", próximo ao rio Tietê. Os poços de monitoramento foram construídos por perfuração a trado e os piezômetros através de cravação de tubo de aço por percussão, utilizando-se o equipamento Pionjär 120.

Os poços de observação tiveram os níveis d'água monitorados no período de junho de 1993 a junho de 1994. Nos poços de observação PM01 e PM02 foram realizados, respectivamente, ensaio de infiltração com carga constante e ensaio de infiltração com carga variável, a fim de se determinar a condutividade hidráulica do aqüífero.

Nos 10 piezômetros em funcionamento da Cia Metrô, os trabalhos de campo resumiram-se no monitoramento dos níveis d'água por seis vezes no período de julho de 1992 a agosto de 1994.

Tratamento e Análise dos Dados Obtidos

As informações geológicas e hidrogeológicas dos poços tubulares profundos foram tratadas e são apresentadas sob a forma de gráficos estatísticos, tabelas, mapas e perfis. Os dados das sondagens geotécnicas, piezômetros e poços de observação foram agrupados em perfis hidrogeológicos.

Para a execução de análises estatísticas e de alguns mapas temáticos, os dados dos poços profundos foram arquivados no programa de banco de dados DBASE III plus, que possibilita o gerenciamento dessas informações de maneira rápida e dinâmica. A partir deste programa, dados selecionados foram exportados para o programa gerador de gráficos estatísticos HARWARD GRAPHICS e para o programa gerador de superfícies SURFER.

Para a execução dos mapas temáticos (mapa de superfície do topo do embasamento cristalino, mapa de espessura de sedimentos, mapa de porcentagem de areia nos perfis dos poços e mapas de nível d'água) através do programa SURFER, utilizou-se o método 'inverso da distância ao quadrado' (IQD) para a interpolação dos dados, baseado nos trabalhos realizados por Takiya (1991). Este método executa a interpolação dos valores em locais escolhidos, a partir de um certo número de dados mais próximos. Quanto mais próximo estiver o ponto daquele a ser interpolado, maior será a sua influência sobre o valor a ser calculado. Nos mapas realizados, o número de pontos mais próximos daquele a ser interpolado varia de 2 a 4, dependendo da densidade de dados que cada mapa possui, sob um raio de pesquisa de 1 quilômetro.

4) TRABALHOS ANTERIORES

4.1) GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo encontra-se inserida na Bacia Sedimentar de São Paulo, que é uma das unidades integrantes do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini 1989), cuja origem está ligada a eventos tectônicos de idade cenozóica. Os sedimentos da bacia estão contidos num *hemi-graben* basculado para NNW, desenvolvido sobre terrenos cristalinos pré-cambrianos representados por granitos sin e pós tectônicos e por rochas metamórficas (migmatitos, gnaisses, xistos e metassedimentos em geral), relacionados ao Complexo Embu e aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba (Juliani 1992).

O conjunto dos terrenos cristalinos é recortado por um denso sistema de falhamentos transcorrentes de caráter dextral e orientados segundo o sentido ENE a EW, ativos até o final do Ciclo Brasiliano, no Cambro-Ordoviciano (Sadowski 1991, *apud* Riccomini *et al.* 1992), que geraram desde rochas cataclásticas a ultramilonitos. As reativações destes falhamentos durante o Terciário provocaram movimentos verticais que teriam originado a bacia sedimentar e condicionado a deposição e a deformação dos sedimentos.

O pacote sedimentar da Bacia de São Paulo tem formato irregular e área de 1452 km^2 (75 por 25 km nos eixos maior e menor), atingindo espessuras máximas da ordem de 255 metros no bairro da Moóca em São Paulo e espessuras médias ao redor de 100 metros (FIGURA 4.1). A topografia do substrato cristalino apresenta-se bastante acidentada na forma de *grabens* e *horsts* (FIGURA 4.2), originando sub-bacias, janelas e ramificações laterais importantes, tais como os grabens de Jaguaré, Cumbica e Brás Cubas.

A estratigrafia dos sedimentos da Bacia de São Paulo está relacionada ao Grupo Taubaté (Terciário, Paleógeno), composto pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo, superpostos pela Formação Itaquaquecetuba (Terciário, Neógeno) e por depósitos neocenozóicos (Riccomini *et al.* 1992) (FIGURA 4.2).

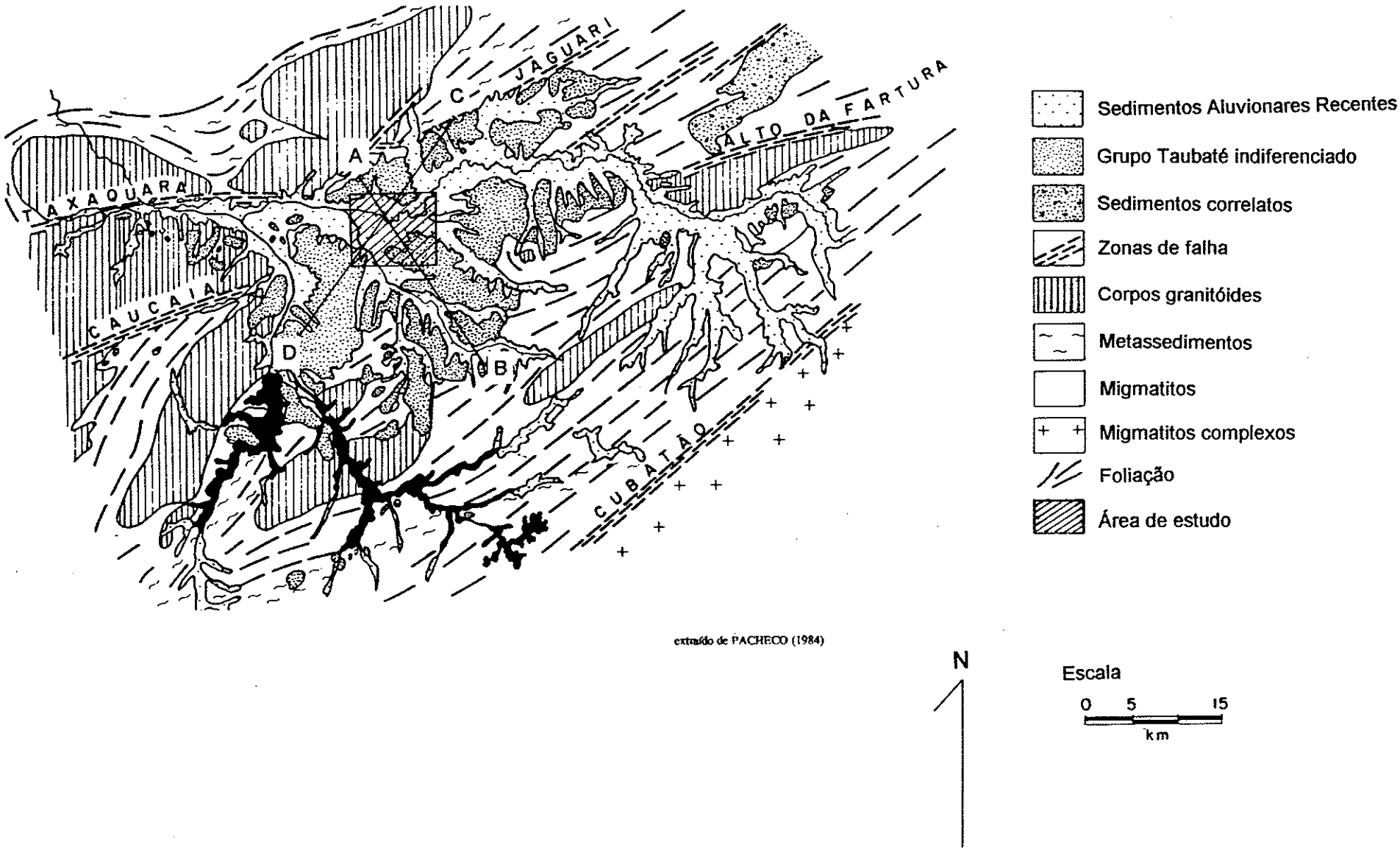
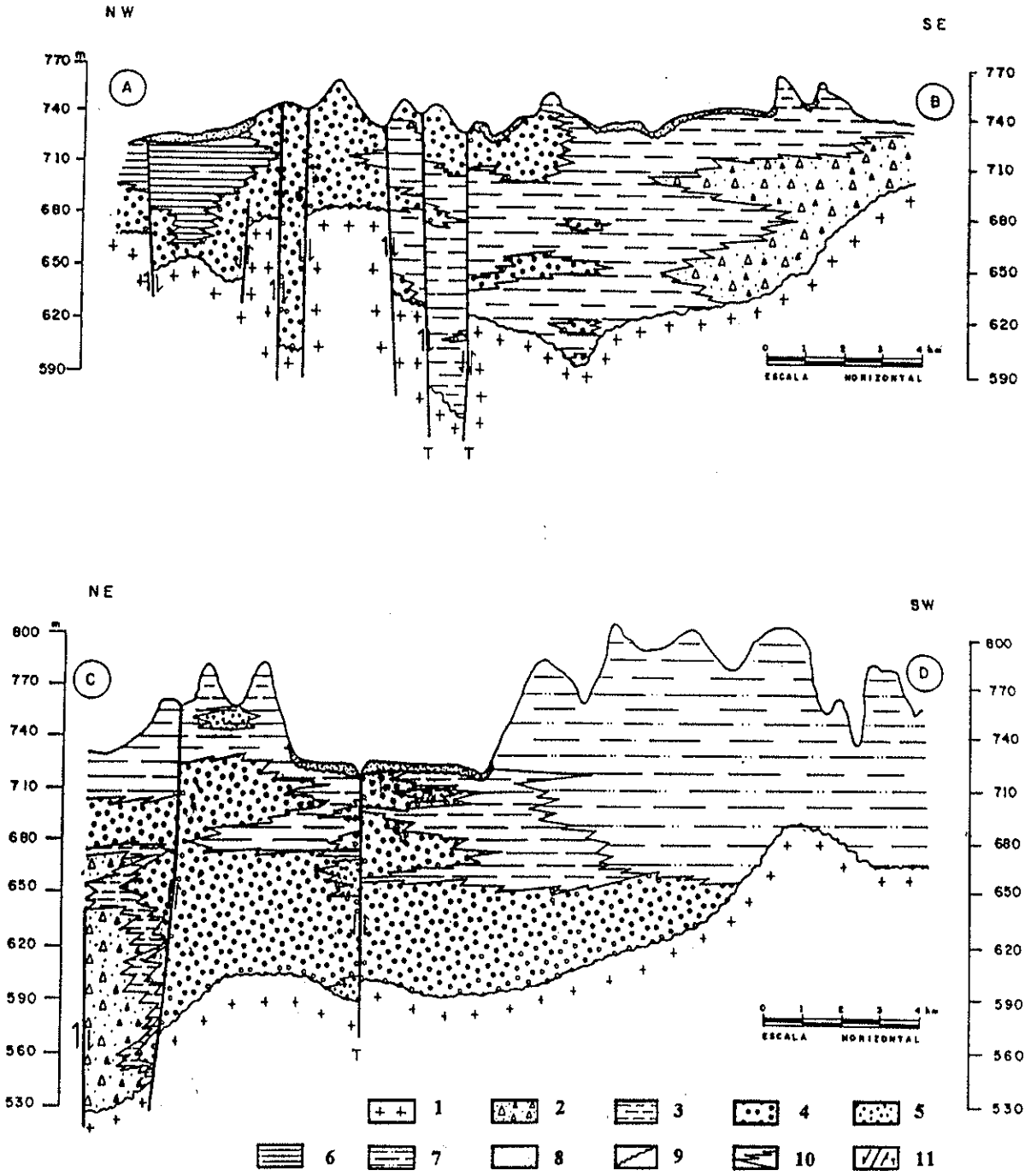


FIGURA 4.1 - Contexto geológico regional da área de estudo.



1 - Embasamento Cristalino Pré-Cambriano; **2 - Formação Resende:** predominância de fácies de brechas e diamictitos de leques aluviais proximais; **3 - Formação Resende:** predominância da fácies de lamitos de leques aluviais, em posição mediana a distal; **4 - Formação Resende:** predominância da fácies de lamitos de leques aluviais em posição distal e, principalmente, areias e conglomerados de sistema fluvial entrelaçado (braided); **5 - Formação Resende:** predominância de areias grossas e conglomerados de sistema fluvial; **6 - Formação Tremembé**: argilas lacustres; **7 - Formação São Paulo:** sistema fluvial meandrante; **8 - Aluviões quaternários**; **9 - contatos discordantes**; **10 - contatos interdigitados**; **11 - falhas normais inferidas**, localmente com possível movimentação transcorrente associada (indicada pela letra T)

FIGURA 4.2 - Perfis geológicos NW-SE e NE-SW da Bacia Sedimentar de São Paulo. (Extraído e modificado de Riccomini *et al.* 1992)

A Formação Resende compreende mais de 80% do preenchimento sedimentar da bacia e é representada por duas litofácies que gradam entre si. A primeira é representada por depósitos de leques aluviais proximais (fanglomerados), composta por diamictitos e conglomerados polimíticos dispersos em matriz lamítica a arenosa. A segunda litofácies está relacionada a depósitos de planície aluvial de rios entrelaçados (braided), composta por corpos tabulares de dimensão métrica de lamitos arenosos e arenitos com estratificação cruzada.

A Formação Tremembé compreende camadas tabulares de argilas verdes maciças, intercaladas com argilas escuras ricas em matéria orgânica, de origem lacustre. Esta formação foi descrita em três locais isolados, porém suas espessuras podem superar os 60 metros.

A Formação São Paulo corresponde a depósitos de sistema fluvial meandrante e apresenta espessuras que podem alcançar mais de 100 metros. É constituída por duas litofácies: a primeira, relacionada a depósitos de canais meandrantes, compreende pacotes de espessuras métricas de arenitos grossos a conglomeráticos com granodecrescência ascendente para siltitos e argilitos; a segunda litofácies, relacionada à planície de inundação, é constituída por arenitos de granulação média a grossa, com granodecrescência ascendente para sedimentos arenosos mais finos até siltitos e argilitos. É freqüente a presença de crostas limoníticas nesta formação, na interface entre sedimentos arenosos e argilosos.

A Formação Itaquaquecetuba corresponde aos depósitos de sistema fluvial entrelaçado (braided) que ocorrem sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. São descritas cinco litofácies nesta unidade: arenitos médios a grossos com estratificações cruzadas de grande porte; conglomerados com seixos bem arredondados e pouca matriz; arenito médio a fino, maciço e mal selecionado; lamitos maciços sílticos-arenosos; e blocos subangulosos, até métricos, de rochas do embasamento cristalino.

As Coberturas Neocenozóicas correspondem a depósitos colúvio-aluviais do Pleistoceno Superior e a depósitos colúvio-aluviais e baixos terraços do Holoceno. Os primeiros são compostos predominantemente por colúvios areno-argilosos e por aluviões compostos por conglomerados basais gradando para areias finas a médias. Os depósitos holocênicos raramente ultrapassam 10 metros de espessura e são constituídos por uma cascalheira basal que grada para sedimentos areno-silto-argilosos.

4.2) HIDROGEOLOGIA REGIONAL

4.2.1) Características dos Sistemas Aqüíferos

Considerando os limites da Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê, pode-se identificar, a nível regional, dois sistemas aqüíferos principais: o **Sistema Aqüífero Cristalino**, que ocorre no domínio das rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano, e o **Sistema Aqüífero Sedimentar**, que compreende os sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo. A FIGURA 4.3 mostra a localização da área de estudo no contexto da Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê.

O **Sistema Aqüífero Cristalino**, cujas altitudes máximas dos seus divisores situam-se entre 800 e 1000 metros, é formado por duas unidades de características hidrogeológicas distintas. A primeira unidade é correspondente ao aqüífero do manto de intemperismo, de natureza livre, heterogêneo e anisotrópico, onde a água circula por porosidade intergranular, apresentando espessuras médias da ordem de 50 metros (SABESP/CEPAS-IGUSP 1994). As condutividades hidráulicas variam de muito baixa (10^{-6} a 10^{-7} m/s) no terço superior do perfil a muito alta (10^{-3} a 10^{-4} m/s) na zona de transição entre a rocha relativamente alterada e a rocha sã (Rebouças & Cavalcante 1987, *apud* Rebouças 1992).

A segunda unidade corresponde ao aqüífero cristalino propriamente dito, onde a água circula através de lineamentos estruturais como falhamentos, juntas associadas e fraturas abertas da rocha sã (porosidade secundária), caracterizando o aqüífero como livre a semi-livre, heterogêneo e anisotrópico (DAEE, 1975). Segundo estudos executados por Menegasse (1991, *apud* Rebouças 1992), as melhores entradas de água dos sistemas de fraturas encontram-se até profundidades entre 100 e 150 metros a partir da base do manto de intemperismo. Devido à sua grande heterogeneidade, DAEE (1975) obteve valores de transmissividade entre 0,4 a 14 m^2/dia, muito variáveis e apenas indicativos, já que o modelo utilizado para os cálculos considera o aqüífero poroso, infinito e confinado. A capacidade específica média obtida é baixa (0,34 m^3/h/m), sendo que 82% dos poços analisados apresentavam valores inferiores à média. As vazões variam entre 5 e 150 m^3/h, com média de apenas 7,7 m^3/h (Giampá & Souza 1984, *apud* Rebouças 1992).

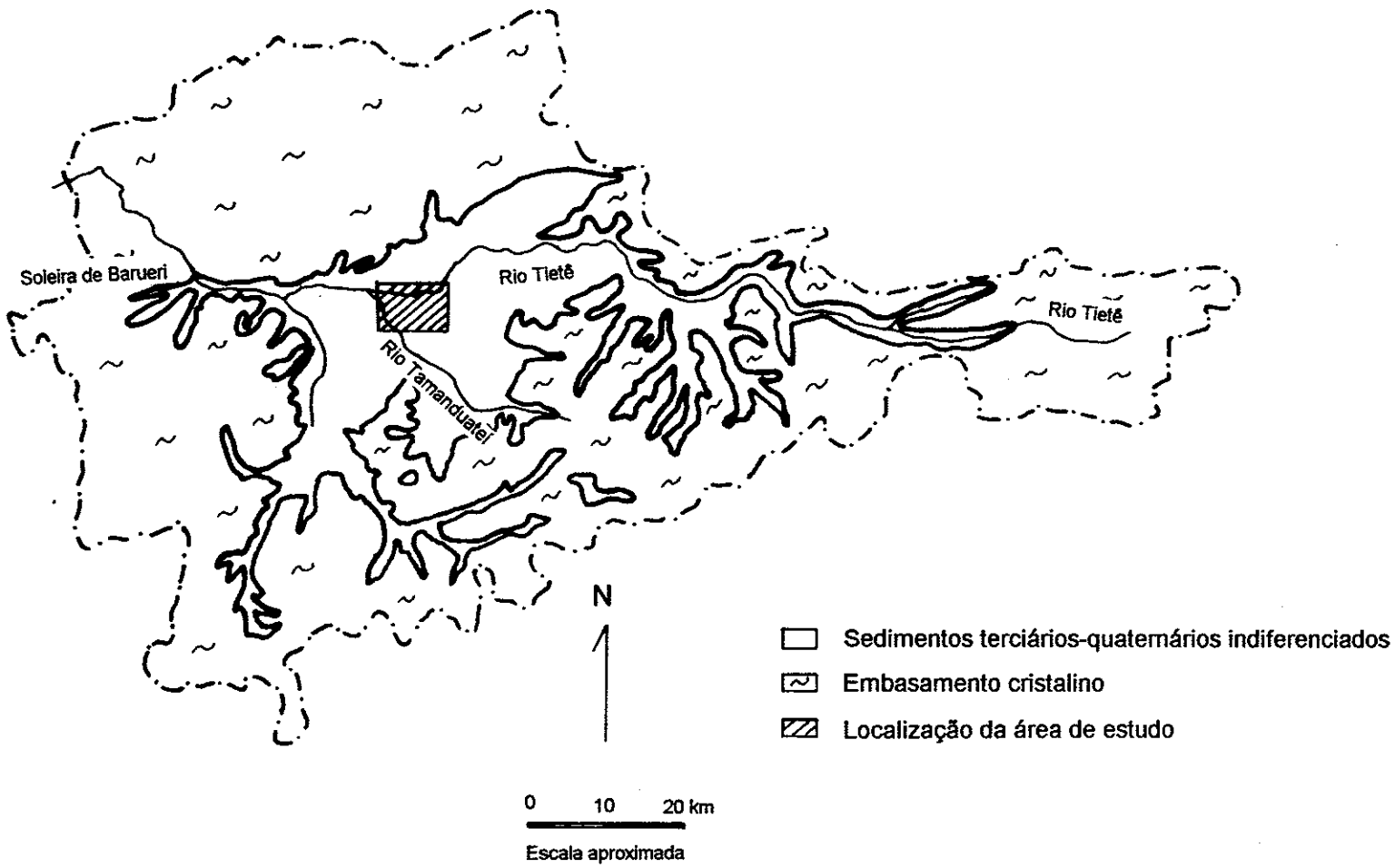


FIGURA 4.3 -Contexto hidrogeológico da área de estudo na Bacia Hidrográfica-Hidrogeológica do Alto Tietê.

O **Sistema Aqüífero Sedimentar**, que ocupa uma área aproximada de 25% da Bacia do Alto Tietê, é o mais importante por ser o mais explorado e por abrigar a maior parte da metrópole. A altitude média das colinas sedimentares situa-se ao redor da cota 760 metros, atingindo um máximo de 840 metros no espigão da Avenida Paulista e um mínimo de 710 metros na soleira de Barueri, onde o sistema encontra-se hidraulicamente fechado (Rocha *et al.* 1989). De acordo com a geologia dos sedimentos, as condições de ocorrência de água subterrânea são de aqüífero semi-confinado, de porosidade primária (intergranular), heterogêneo e anisotrópico. Ocorrência de artesianismo do aqüífero sedimentar foi verificada em poços construídos entre 1890 e 1910 na região da Várzea do Carmo, atual Parque Dom Pedro II (Marques Silva & Basano Filho 1972). Tal ocorrência não foi mais atestada na Bacia de São Paulo devido, provavelmente, à contínua exploração da água subterrânea ao longo dos anos.

As características do aqüífero sedimentar no que diz respeito à sua heterogeneidade são bem exemplificadas nos trabalhos de Chiossi (1974 e 1980), onde o autor verifica a existência de vários aqüíferos suspensos e independentes, através da análise de sondagens geotécnicas rasas executadas para a construção do Metrô.

Com relação à produtividade, o Sistema Aqüífero Sedimentar apresenta valores de transmissividade variando de 15 a 70 m^2/dia, com valor médio em torno de 50 m^2/dia, com base em testes de bombeamento executados em oito poços (DAEE 1975). A capacidade específica média obtida a partir da análise estatística dos dados de 933 poços, é de 1,66 m^3/h/m, sendo que somente 15% dos poços apresentam este valor e 50% destes apresentam valores de até 0,3 m^3/h/m. A vazão média obtida a partir desta análise é da ordem de 18 m^3/h, porém metade dos poços apresenta vazões igual ou inferior a 8,5 m^3/hora. A grande variação dos parâmetros hidrogeológicos observada é associada à heterogeneidade dos sedimentos e à configuração geométrica do aqüífero (Giancursi & Lopes 1980).

Em termos de fluxos de água subterrânea na Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê, DAEE (1975) observa que as estruturas topográficas e geológicas da área indicam que a água infiltrada no solo como recarga flui para os rios da bacia. Há ainda, indicações de que o Sistema Aqüífero Cristalino participa da recarga do Sistema Aqüífero Sedimentar.

4.2.2) Aspectos de Qualidade

Do ponto de vista químico, as águas subterrâneas dos aqüíferos cristalino e sedimentar são classificadas como bicarbonatada cálcica/sódica e bicarbonatada sódica, respectivamente (Parisot 1983). A água do aqüífero cristalino é medianamente mineralizada (80 a 500 mg/l de sólidos totais dissolvidos), enquanto que a água do aqüífero sedimentar apresenta-se pouco mineralizada (3 a 45 mg/l de sólidos totais dissolvidos) (SABESP/A.A.NORONHA 1986).

Em termos de evolução química da água do aqüífero sedimentar, Szikszay *et al.* (1990) apontam que a água da chuva, de composição sulfatada cálcica, muda a sua composição química para carbonatada sódica (água do aqüífero freático) ao atravessar a zona não saturada, resultado da interação química entre as soluções percolantes e os minerais do solo. Deve-se salientar, entretanto, que este estudo aconteceu em local específico (Estação Experimental da Cidade Universitária - USP), numa situação de topografia, vegetação e *run-off* atípico para o resto da Bacia de São Paulo, o que impossibilita generalizações.

Quanto à potabilidade, DAEE (1975) e Parisot (*op cit.*) indicam que a água dos aqüíferos cristalino e sedimentar são em geral boas para o consumo humano. Os fatores restritivos mais comuns à potabilidade são os teores excessivos de ferro e, secundariamente, nitratos e coliformes (SABESP/A.A.NORONHA 1986.).

Casos de poluição dos aqüíferos foram mencionados por Parisot (*op cit.*), que observou a presença de bário, chumbo e cromo na água de poços situados na zona industrial próxima à confluência dos rios Tietê e Pinheiros, indicando como possíveis causas a própria atividade industrial ou a infiltração das águas excessivamente poluídas destes rios no interior do aqüífero. Pacheco (1984) e Pacheco & Rebouças (1985), apontam, inclusive, que a maior parte dos casos de poluição ocorrem, principalmente, devido à má qualidade técnica construtiva dos poços, o que os tornam via de contaminação dos aqüíferos. Nestes estudos, os autores verificaram que 45% dos poços construídos na região centro-norte do município de São Paulo apresentavam alguma deficiência técnica de construção.

Outros casos de poluição de aqüíferos rasos foram anotados por Pacheco *et al.* (1988), devido à localização inadequada de cemitérios em meio urbano; e por Oliveira *et al.* (1990) e Oliveira (1992), que observaram a contaminação de aqüíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de reservatórios subterrâneos de postos de combustível.

De acordo com Rebouças (1992), os sistemas aqüíferos da Região Metropolitana de São Paulo encontram-se expostos à deterioração progressiva, devido às inúmeras fontes potenciais de poluição existentes (incluindo lixões, aterros sanitários e industriais, etc.). Destaca que os aqüíferos sedimentares são os que apresentam maiores riscos devido a grande carga contaminante presente, apesar de que os processos de transferência de poluentes sejam atenuados devido à presença de camadas argilosas.

4.2.3) Reservas dos Aqüíferos

As reservas permanentes de água subterrânea, que correspondem aos volumes estocados nos aqüíferos, podem ser estimadas através do produto entre o volume dos sistemas aqüíferos pelas suas respectivas porosidades efetivas.

Assim, Rebouças (1992) estima um volume de água subterrânea de 4 bilhões de m^3 no domínio do Sistema Aqüífero Cristalino, e de 8 bilhões de m^3 no domínio do Sistema Aqüífero Sedimentar, perfazendo um total de 12 bilhões de m^3 estocados na Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê. Este volume torna-se de 18,7 bilhões de m^3 quando se considera a área da Região Metropolitana de São Paulo (SABESP/CEPAS-IGUSP 1994).

As reservas reguladoras, ou dinâmicas, correspondem à parcela da água infiltrada no solo a partir das chuvas e que é restituída pelos aqüíferos aos rios, alimentando suas vazões de base e correspondendo à recarga natural dos aqüíferos. A este volume pode também ser acrescido o volume de água infiltrado artificialmente no solo a partir das perdas das redes de distribuição de água e esgoto, cuja importância na recarga do Sistema Aqüífero Sedimentar vêm sendo discutida desde a década de 80 por Giancursi & Lopes (1980) e Rebouças (1980).

Com base no balanço efetuado entre 1964 e 1975 numa área de 1460 km^2 à montante de Itaquaquecetuba, DAEE (1975) concluiu que 62% do escoamento total dos rios provém da contribuição dos aqüíferos. Baseando-se nesses estudos, SABESP/CEPAS-IGUSP (*op cit.*) calculou em 2,3 bilhões de m^3/ano as reservas reguladoras do Sistema Aqüífero Cristalino na

Região Metropolitana de São Paulo, correspondente à sua recarga natural. Para os domínios do Sistema Aqüífero Sedimentar, as reservas reguladoras correspondem à soma da recarga natural, (515 milhões de m^3/ano), já bastante prejudicada pela impermeabilização do solo, mais as perdas da rede de distribuição de água (383 milhões de m^3/ano), perfazendo um total de 898 milhões de m^3/ano. Assim, obteve-se um total estimado de 3,24 bilhões de m^3/ano como reservas reguladoras totais na Região Metropolitana de São Paulo.

De acordo com DAEE (1975) é pequeno o volume de água do Sistema Aqüífero Cristalino que participa da recarga do Sistema Aqüífero Sedimentar (apenas 10 milhões de m^3/ano) pois é pequena a capacidade do aqüífero cristalino em transmitir água.

Ainda com relação às recargas naturais, Szikszay *et al.* (1987), em estudo numa pequena área na Cidade Universitária para a verificação dos efeitos da evaporação e da infiltração da água na zona não saturada, verificaram que a influência pluviométrica na variação do nível hidrostático do aqüífero sedimentar freático foi observada após uma faixa de tempo de 50 a 170 dias. Estes estudos indicaram, inclusive que as condições de recarga natural dos aqüíferos ocorrem principalmente no período do verão ao início do outono, época de maior pluviometria.

As reservas explotáveis na Região Metropolitana de São Paulo, que corresponde a uma fração adotada em 25% das reservas reguladoras e que é uma função da viabilidade técnica e econômica das obras de captação, são estimadas em 586 milhões de m^3/ano no domínio do Sistema Aqüífero Cristalino e em 224 milhões de m^3/ano no domínio do Sistema Aqüífero Sedimentar, perfazendo um total de 810 milhões de m^3/ano (SABESP/CEPAS-IGUSP 1994).

4.2.4) Exploração de Água Subterrânea

Estima-se a existência de 7000 poços tubulares profundos em operação na Região Metropolitana de São Paulo. Estes poços estariam explorando aproximadamente 200 milhões de m^3/ano (SABESP/A.A.NORONHA 1986 e SABESP/CEPAS-IGUSP 1994). Há, ainda, uma estimativa de que 1 milhão de poços cacimba estejam extraindo dos aqüíferos um volume de 100 milhões de m^3/ano (SABESP/A.A.NORONHA *op cit.*). Desta forma, ainda há reservas explotáveis da ordem de 500 milhões de m^3/ano.

A exploração de água subterrânea não é, entretanto, homogênea em toda a área da Região Metropolitana de São Paulo, concentrando-se nas áreas mais densamente urbanizadas. Calcula-se a existência de 5000 poços tubulares profundos somente na Bacia Sedimentar de São Paulo (DAEE 1988, *apud* Rebouças 1992). Em algumas áreas de grande concentração de poços, tais como o eixo do espigão da Avenida Paulista, o Bairro de Santo Amaro e a zona do eixo Belenzinho-Tatuapé, ocorrem sintomas de super-exploração de água subterrânea, com base na comparação de mapas de superfície potenciométrica de diferentes períodos elaborados por DAEE (1975), SABESP/A.A.NORONHA (1986) e Campos (1988). De acordo com os cálculos de volumes explorados, os efeitos do bombeamento intensivo de água subterrânea nessas áreas não são mais graves pois há uma recarga induzida por perdas da rede de distribuição de água da SABESP (Campos *op cit.*, e Rebouças 1992.).

A recarga dos aqüíferos através da infiltração induzida das águas dos rios pelo bombeamento dos poços é considerada difícil por Campos (*op cit.*), pois os seus leitos deveriam estar impermeabilizados por argila e matéria orgânica. Bottura & Filho (1992), entretanto, simulam numericamente a operação de um poço tubular profundo junto ao rio Tamanduateí que explora água do aqüífero cristalino, e verificam que o nível dinâmico atinge rápida estabilização e que a expansão do cone de rebaixamento é totalmente compensado pelas recargas do rio Tamanduateí. Ross (1991), por sua vez, verifica que, através de modelamento matemático de fluxo de três poços tubulares profundos que exploram o aqüífero sedimentar na Cidade Universitária, ocorrem potenciais de infiltração de água do rio Pinheiros no aqüífero, mas que só haverá contaminação significativa da água subterrânea após 109 anos de bombeamento. Este mesmo autor, entretanto, estuda as relações hidráulicas entre os rios Tietê e Pinheiros com aqüíferos sedimentares freáticos em três áreas de detalhe e observa a não ocorrência de potenciais de infiltração das águas dos rios nos aqüíferos.

A exploração excessiva de água subterrânea e a interferência entre poços próximos entre si já causava preocupação desde a década de 50, quando Leinz (1955) calculou a distância mínima de interferência de 50 metros para poços que exploram o aqüífero sedimentar. O autor cita o caso de poços no bairro do Brás apresentando quedas de vazão e supõe haver interferências ou mesmo limonitização de filtros. Rebouças (1992) aponta, inclusive, que muitas das referências de aprofundamento excessivo de níveis refletem mais propriamente a queda da eficiência da obra de captação por falta de manutenção preventiva.

Dentre os trabalhos de cunho exploratório que visaram a utilização racional do recurso hídrico subterrâneo, destacam-se os de Iritani *et al.* (1990) e Iritani (1993) que avaliaram o potencial de exploração do aqüífero sedimentar no campus da Cidade Universitária (USP).

A prática de exploração de água subterrânea é realizada de forma caótica na Região Metropolitana de São Paulo. Não há, até o momento, nenhum programa de gerenciamento deste recurso, tanto do ponto de vista de quantidade como de qualidade, tornando os aqüíferos mais vulneráveis à super-exploração e à poluição.

5) MODELO DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para o estabelecimento do modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo, foi realizado um cadastro quantitativo de poços tubulares profundos, além de um levantamento de informações de piezômetros e sondagens geotécnicas realizados pela Cia Metrô. A localização dos poços tubulares profundos, piezômetros e sondagens geotécnicas pode ser vista no MAPA 1 (em anexo). As principais informações obtidas dos poços profundos encontram-se no ANEXO 1.

5.1) DADOS DISPONÍVEIS DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

A análise das informações disponíveis de 326 poços profundos cadastrados na área de estudo mostra que apenas 139 poços (42,6% do total) apresentam descrições geológicas dos sedimentos (FIGURA 5.1). No entanto, 80,0% dos poços (261 poços) apresentam outra importante informação geológica, que é a profundidade da superfície do embasamento cristalino sob os sedimentos da bacia. Este número só não é maior pois parte dos poços não chega a atingir o embasamento cristalino.

Os dados de produção obtidos durante o teste de bombeamento dos poços, isto é, as informações sobre nível estático, nível dinâmico, vazão e capacidade específica são disponíveis em 300 dos 326 poços cadastrados (92,0%). Já os dados construtivos, ou seja, profundidade do poço, tubos de revestimentos e posições de filtros encontram-se disponíveis em 175 poços (53,7%).

As informações sobre o ano da construção dos poços é encontrada na quase totalidade dos poços cadastrados. A FIGURA 5.2 mostra a evolução do número de poços profundos construídos na área de estudo. Observa-se que a freqüência de perfurações permaneceu constante até 1960. A partir dessa década até 1975, o ritmo de perfurações sofreu um forte incremento, diminuindo bastante a partir de então até o início da década de 90. As variações dos ritmos de perfurações são reflexos das variações da situação econômica da região e do país, e da própria saturação de atividades econômicas da área, principalmente a partir da década de 80. A densidade média de poços construídos, a partir da margem direita do rio Tamanduateí, é de 6,3 poços/km^2, o que indica uma grande concentração de poços nesta área da Bacia de São Paulo.

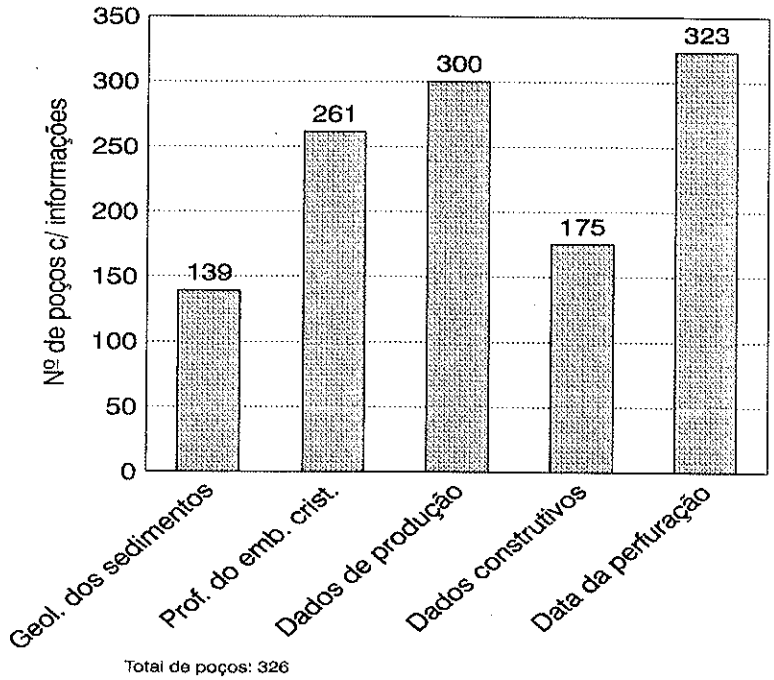


FIGURA 5.1 - Informações disponíveis dos poços tubulares profundos em relação ao total de poços cadastrados na área de estudo.

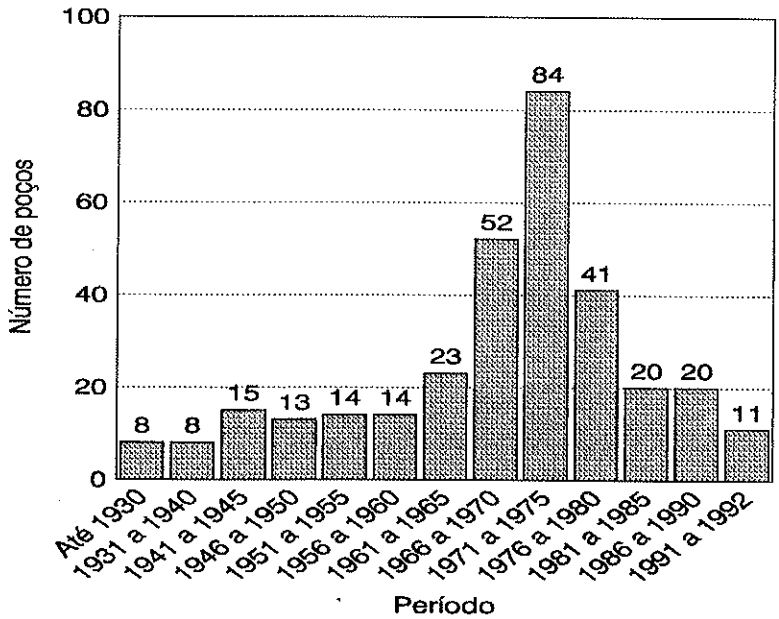


FIGURA 5.2 - Evolução do número de poços tubulares construídos na área de estudo.

A análise das informações geológicas e dos dados hidrodinâmicos dos poços tubulares profundos, indica que 82,4% dos poços exploram água exclusivamente do aqüífero sedimentar, 6,2% dos poços exploram exclusivamente o aqüífero cristalino e 11,5% de ambos (FIGURA 5.3). As profundidades atingidas pelos poços profundos indicam uma média de 151,7 metros e moda variando entre 100 e 150 metros (FIGURA 5.4). A prática mais comum entre as empresas de construção de poços é a de interromper a perfuração no momento em que se atinge o embasamento cristalino.

As vazões médias dos poços que exploram os aqüíferos sedimentar, cristalino e de ambos a partir do tratamento estatístico dos dados, são bastante semelhantes às vazões médias obtidas em estudos regionais (DAEE 1975). A vazão média calculada para poços que exploram o aqüífero sedimentar é de 18,5 m^3/h; a moda varia principalmente entre 10,0 e 20,0 m^3/h, sendo bastante freqüente, porém, vazões variando entre 5,0 e 40,0 m^3/h (FIGURA 5.5). Já os poços que exploram o aqüífero cristalino apresentam vazão média de 6,1 m^3/h e moda variando entre 5,0 e 10,0 m^3/h, sendo porém alto o índice de poços apresentando vazões abaixo de 2,5 m^3/h (9 poços de um total de 20). O comportamento da curva estatística de vazão de poços explorando os dois aqüíferos simultaneamente é semelhante à curva de freqüência de vazões do aqüífero sedimentar. Porém, a vazão média é inferior (8,5 m^3/h) e a moda varia entre 5,0 e 10,0 m^3/h.

A FIGURA 5.6 mostra as freqüências de capacidade específica obtidas. Observa-se que o aqüífero sedimentar apresenta capacidade específica média de 1,34 $m^3/h/m$ e moda variando entre 0,10 e 0,50 $m^3/h/m$, sendo bastante comum, porém, a presença de valores superiores à moda. O aqüífero cristalino apresenta valor médio de 0,16 $m^3/h/m$ e moda de valores inferiores a 0,10 $m^3/h/m$. Já os poços que exploram ambos os aqüíferos apresentam valores intermediários de produtividade, com média de 0,38 $m^3/h/m$ e valor modal variando principalmente entre 0,10 e 0,50 $m^3/h/m$.

Quanto aos tipos de uso de água subterrânea na área de estudo, nota-se que o uso industrial predomina largamente sobre os outros usos, com 79% dos poços cadastrados (FIGURA 5.7). Subordinadamente ocorrem os usos comercial (6%), particular (5%) e recreação (4%).

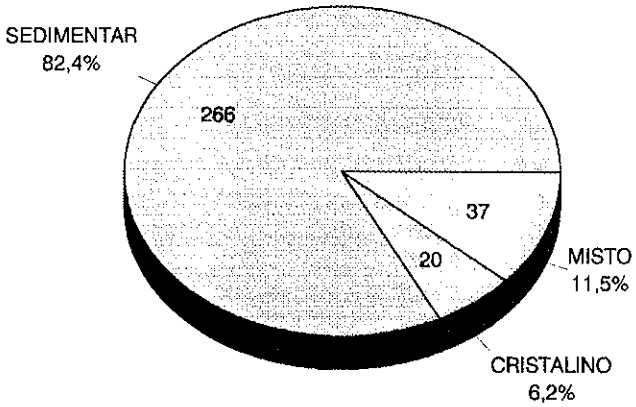


FIGURA 5.3 - Tipos de aqüíferos explorados pelos poços profundos na área de estudo.

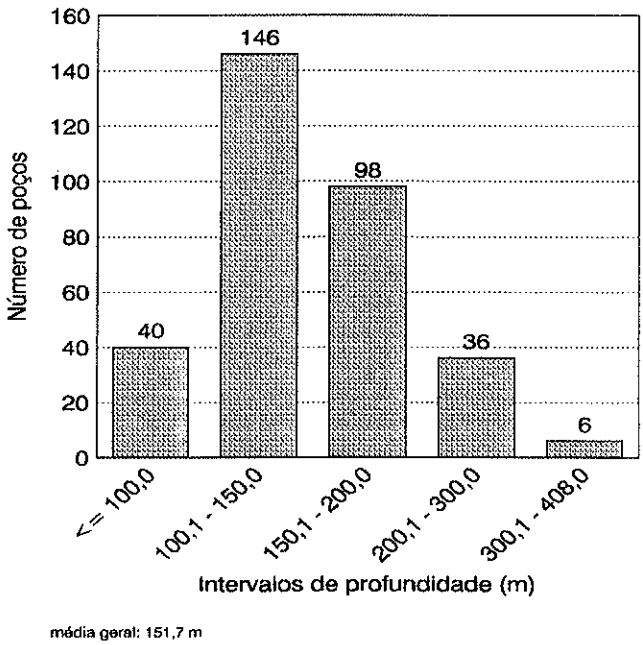


FIGURA 5.4 - Freqüência de profundidades dos poços tubulares profundos.

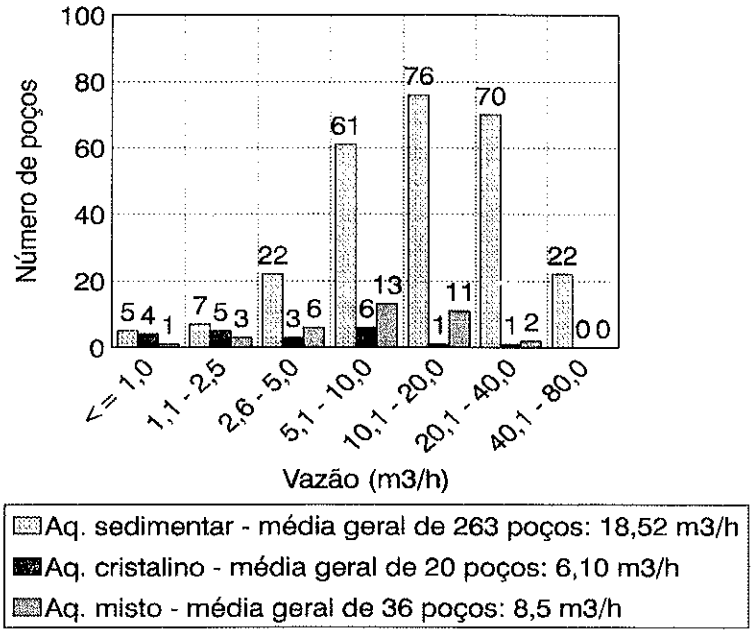


FIGURA 5.5 - Freqüência de vazões dos poços tubulares profundos por tipo de aqüífero.

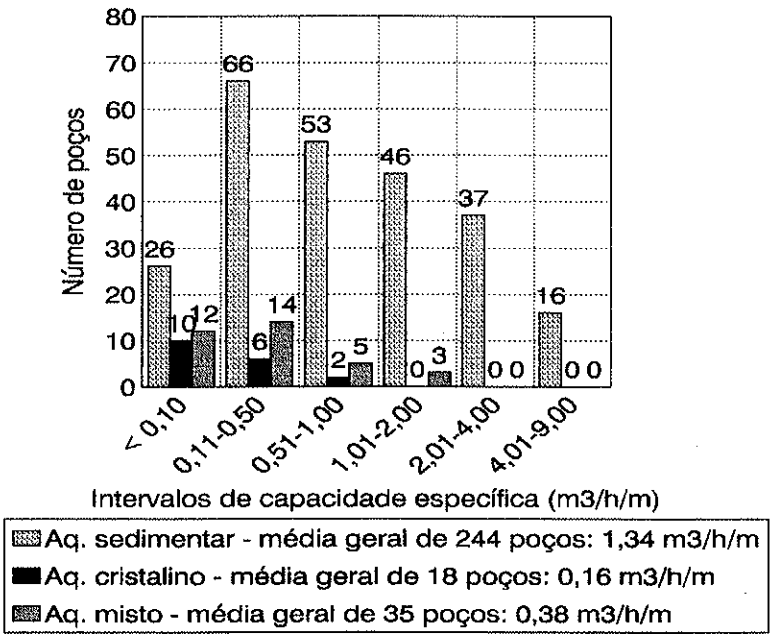


FIGURA 5.6 - Freqüência de capacidade específica dos poços tubulares profundos.

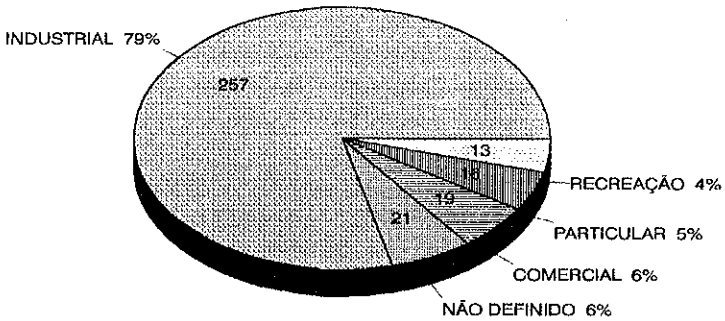


FIGURA 5.7 - Tipos de uso de água subterrânea na área de estudo.

5.2) GEOLOGIA E GEOMETRIA DO AQÜÍFERO SEDIMENTAR

Na área de estudo ocorrem aflorando duas das três fácies sedimentares do Grupo Taubaté (FIGURA 5.8). A Formação Resende aflora em aproximadamente 40% da área de estudo, principalmente nas porções mais elevadas da topografia e, de acordo com Riccomini *et al.* (1992), é a formação que apresenta o maior volume de sedimentos em subsuperfície. A Formação São Paulo ocorre restritamente na porção sudeste da área. As formações Tremembé e Itaquaquecetuba ocorrem em subsuperfície na área de estudo; a primeira tem ocorrência registrada no bairro do Pari, e a segunda junto ao vale do rio Tamanduateí, na região do Parque Dom Pedro II (Riccomini *et al.*, *op cit.*). Sobre estes sedimentos aflora uma extensa área de sedimentos neocenozóicos de pequena espessura e que acompanham as principais drenagens. Ocorrem, ainda, rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, aflorando restritamente nas porções norte e nordeste da área na forma de janelas estruturais. Nos extremos oeste e nordeste da área ocorrem estruturas rúpteis (falhas) no sentido NE sobre os sedimentos terciários; já ao longo de todo trecho do rio Tamanduateí há também um falhamento inferido no sentido NW.

Os perfis A - A' a F - F' (MAPA 1 e PERFIS 1 a 6, em anexo) mostram o comportamento das camadas sedimentares em subsuperfície, com base nas descrições geológicas de perfis de poços tubulares profundos.

Observa-se que, no caso de poços que contém informações geológicas, as camadas sedimentares apresentam espessuras que variam de métricas a decamétricas, e que ora predominam sedimentos arenosos, ora sedimentos argilosos.

A amarração estratigráfica dos sedimentos da Bacia de São Paulo, através da análise desses perfis, é uma tarefa impossível de se concretizar. As descrições geológicas de um poço normalmente não guardam relação com a geologia de outro poço relativamente próximo. Este fato é reflexo tanto da extrema heterogeneidade lateral e vertical dos sedimentos, como também da própria qualidade dos dados disponíveis, que não refletem exatamente o que ocorre na realidade: é bastante comum a generalização nas descrições dos sedimentos durante a perfuração, já que estes estariam misturados à lama de perfuração, ocasionando imprecisões importantes.

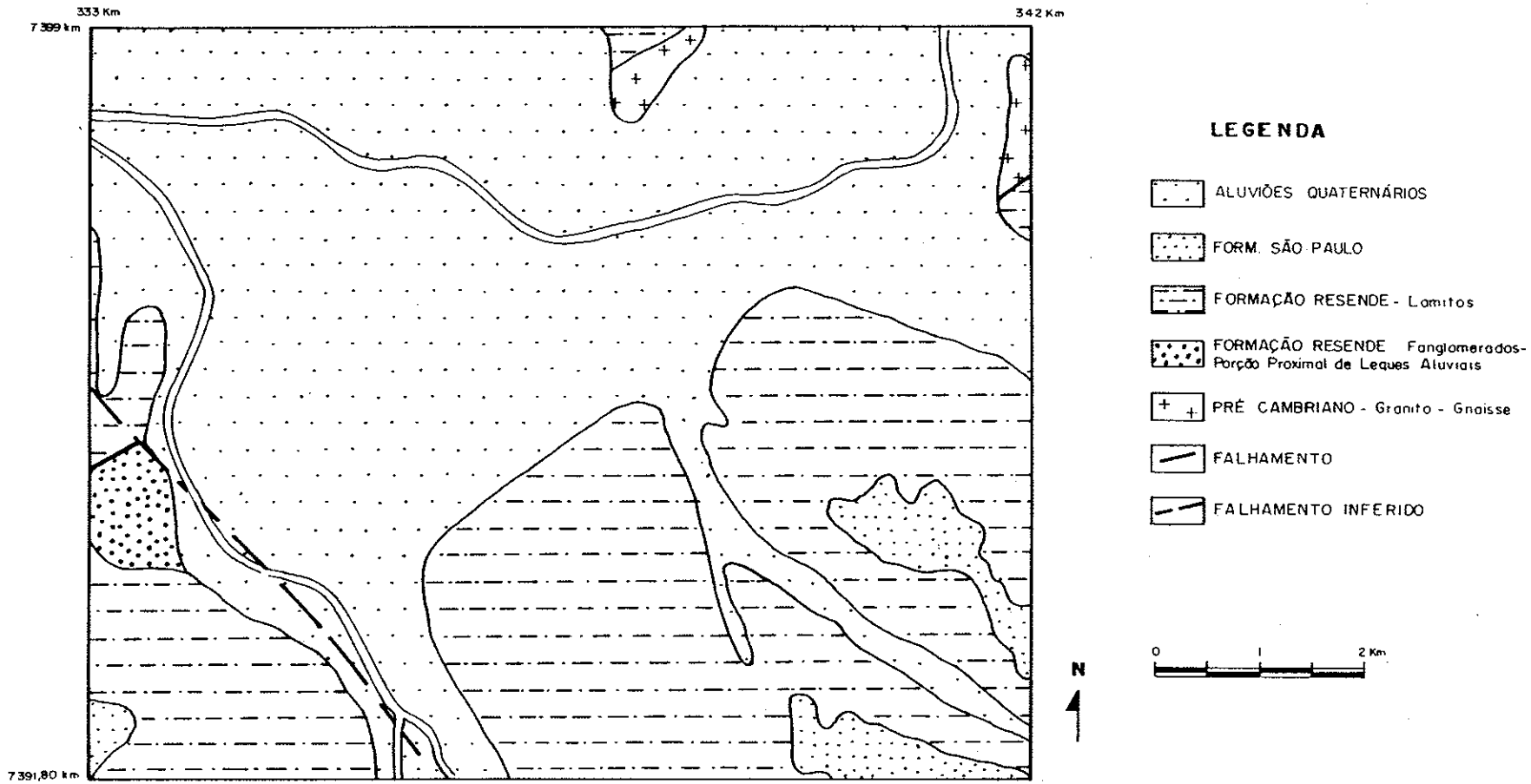


FIGURA 5.8 - Mapa Geológico da área de estudo. (Compilado de SABESP/CEPAS-IGUSP 1994).

O comportamento do contorno do topo do embasamento cristalino pré-cambriano sob os sedimentos da bacia pode ser observado tanto nesses perfis como no mapa da FIGURA 5.9, confeccionado a partir das informações de 261 poços tubulares profundos. Nota-se que o relevo se mostra extremamente irregular, com desníveis relativos que podem chegar a mais de 100 metros. As cotas mais elevadas do embasamento cristalino encontram-se a noroeste (bairros do Pari e Vila Guilherme) e a nordeste (Vila Maria), e as mais baixas na porção central da área de estudo (Moóca e Água Rasa).

É possível identificar, desta forma, que há uma série de blocos justapostos que apresentam desníveis verticais de origem tectônica. Uma análise mais criteriosa deste mapa permite identificar estruturas rúpteis no sentido NE e NW que são concordantes com as estruturas rúpteis identificadas em superfície (mapa geológico - FIGURA 5.8).

Os sedimentos da Bacia de São Paulo na área de estudo apresentam espessuras também bastante irregulares (FIGURA 5.10), reflexo tanto das irregularidades da topografia do embasamento cristalino como também da topografia de superfície. As maiores espessuras de sedimentos atingem valores de 250 metros na porção centro-sul da área (bairros da Moóca e Água Rasa), onde o substrato cristalino é mais profundo e a topografia é mais elevada. Neste local encontra-se a maior espessura de sedimentos registrada na Bacia de São Paulo (255 metros, poço nº 140, perfis C - C' e E - E' - PERFIS 3 e 5, em anexo). As menores espessuras de sedimentos ocorrem nos bairros Pari, Vila Guilherme e Vila Maria, podendo até ocorrer espessuras nulas.

Com o intuito de se obter uma visão apenas aproximada da ocorrência de sedimentos em subsuperfície, confeccionou-se o mapa de porcentagem de areia a partir das descrições geológicas dos perfis dos poços (FIGURA 5.11). Não obstante a insuficiente precisão em tais descrições, o método para a execução deste mapa baseia-se no cálculo de um índice de ocorrência de sedimentos permeáveis (de areia fina a conglomerado) descritos na espessura de sedimentos atravessada pelos poços profundos. Desta forma, somou-se as espessuras de sedimentos arenosos e dividiu-se pela espessura total de sedimentos atravessada pelo poço. Índices superiores a 50% indicam a predominância de camadas arenosas no perfil do poço. Foram utilizadas descrições geológicas de 131 poços da área de estudo para a execução deste mapa.

Nota-se, neste mapa, que as áreas mais arenosas ocorrem principalmente na porção central da área de estudo, ocorrendo ramificações laterais a leste e a oeste. Bordejando esta porção mais arenosa, ocorrem áreas de predominância de sedimentos mais finos nos perfis dos poços.

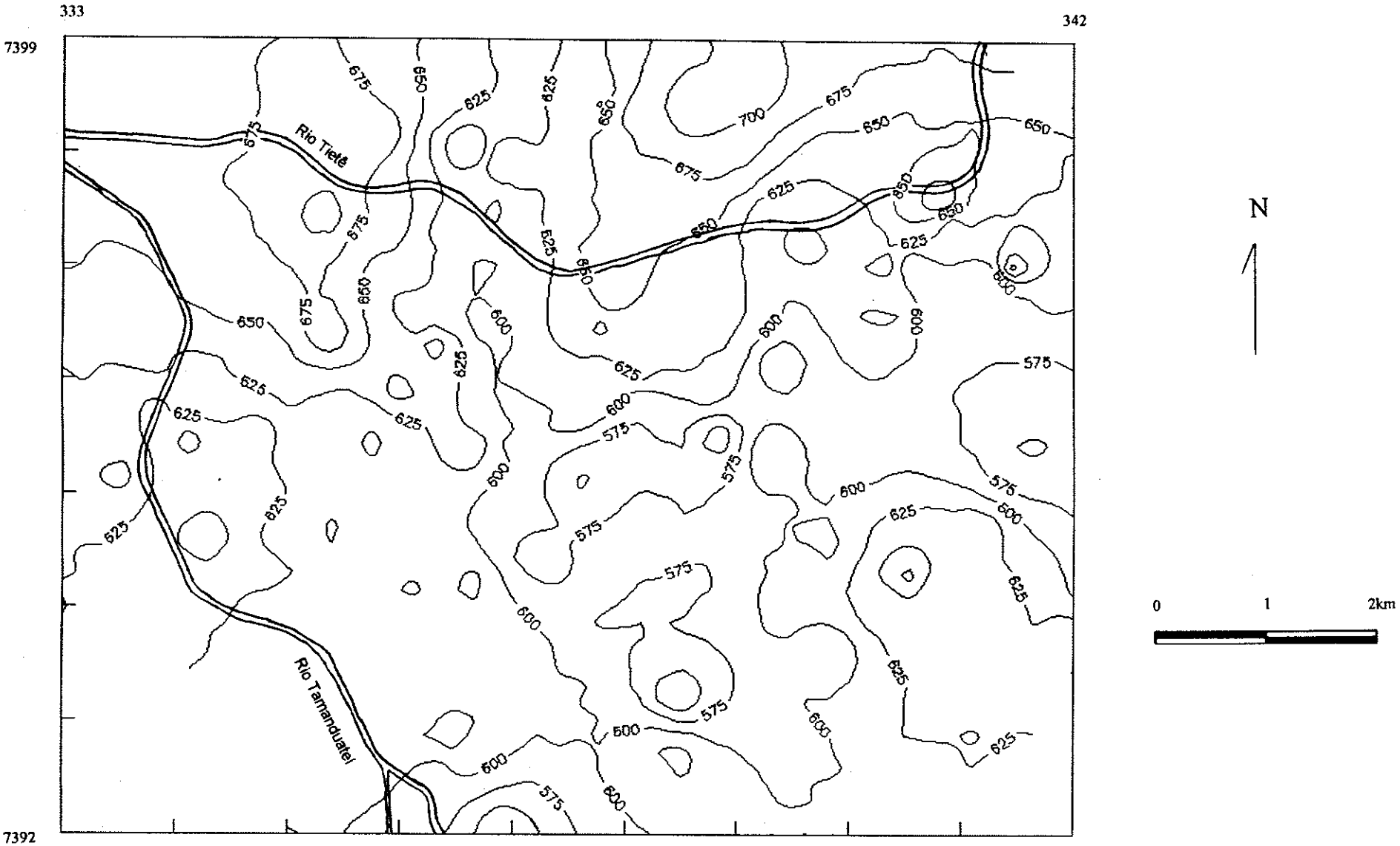


FIGURA 5.9 - Mapa da superfície do topo do embasamento cristalino da área de estudo.

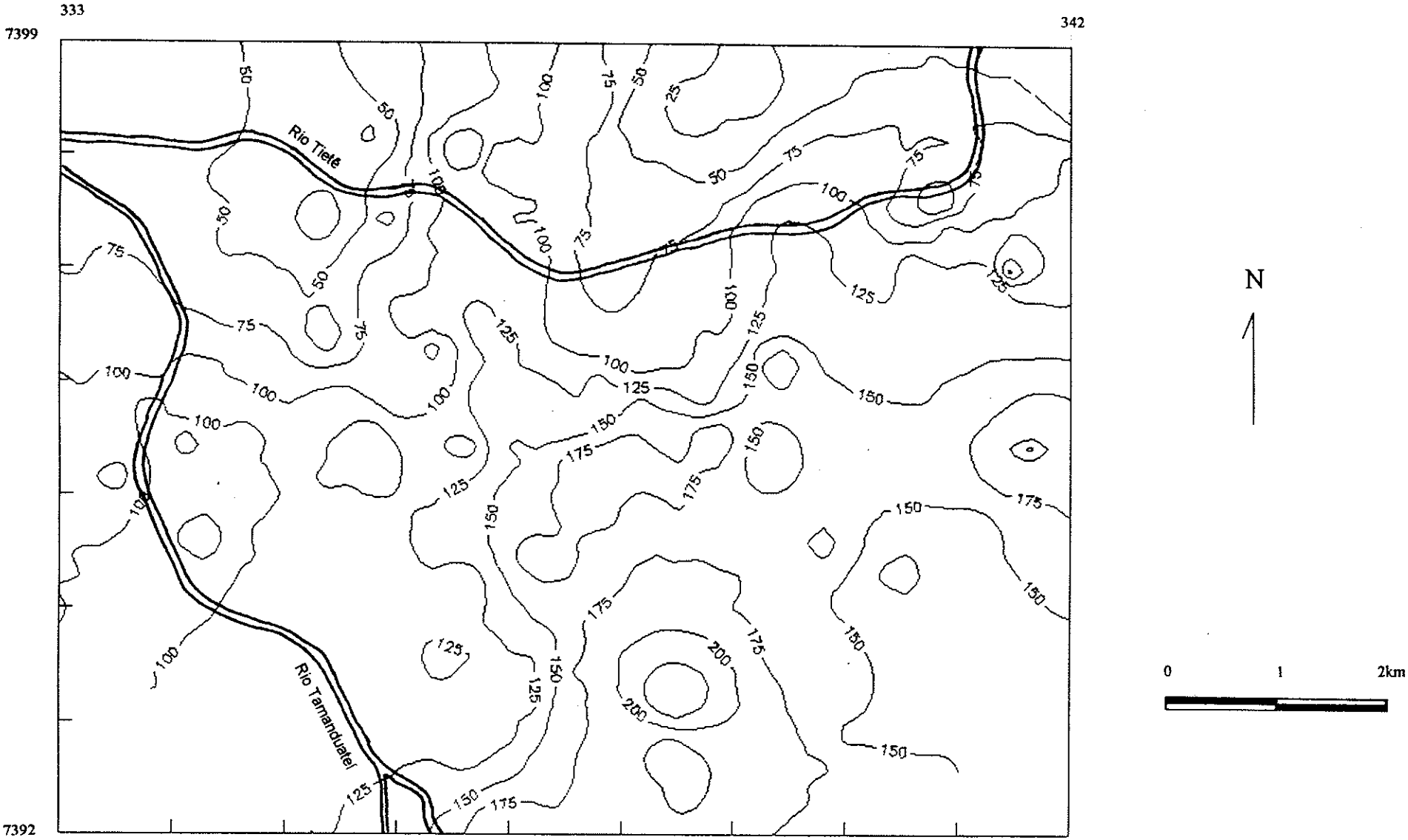


FIGURA 5.10 - Mapa de espessura de sedimentos da área de estudo.

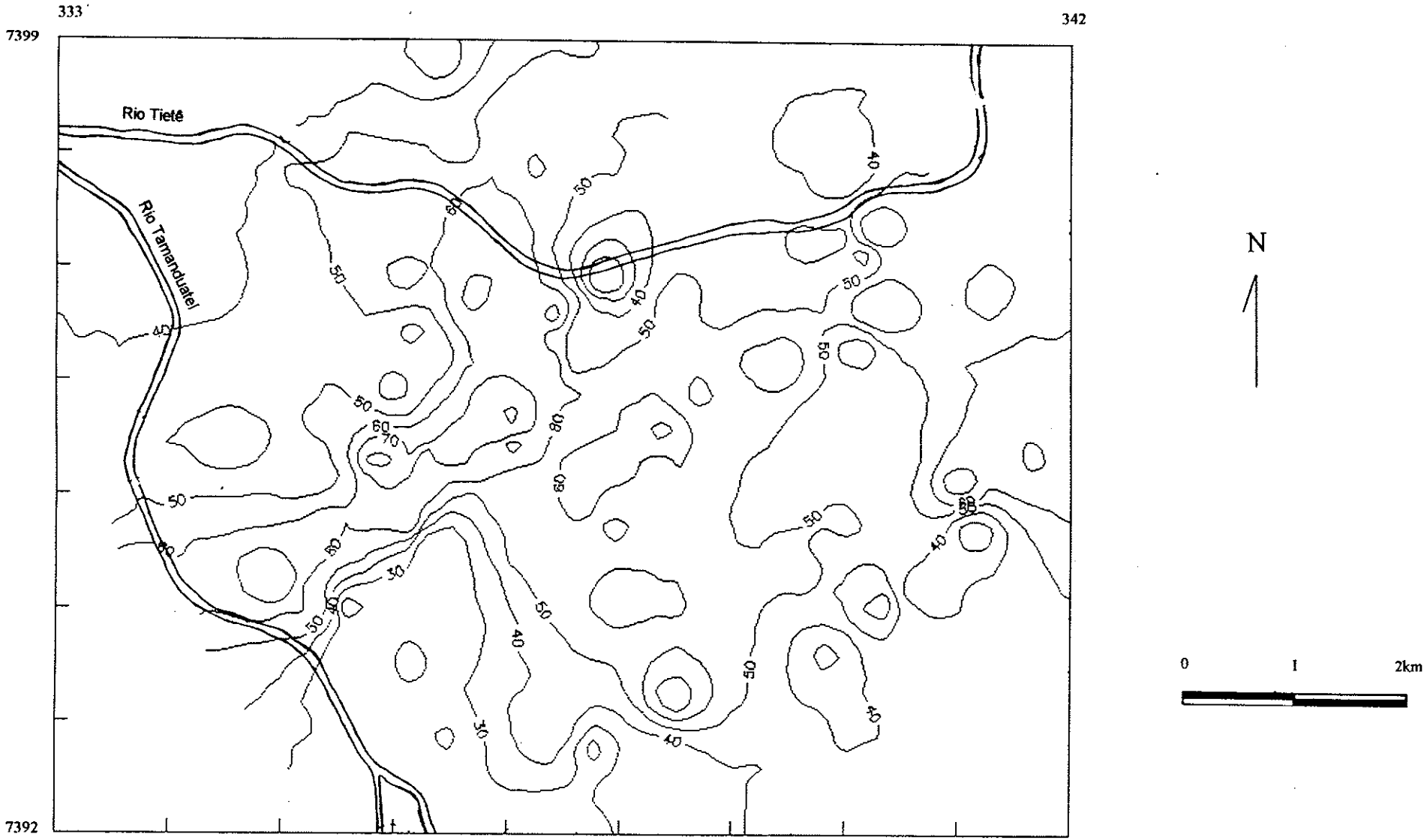


FIGURA 5.11 - Mapa de ocorrência de sedimentos arenosos nos perfis dos poços tubulares profundos da área de estudo.

5.3) COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS D'ÁGUA EM POÇOS PROFUNDOS

Nos perfis A-A' a F-F' (PERFIS 1 a 6, em anexo), observa-se que os níveis d'água dos poços profundos, cujas medidas foram teoricamente tomadas momentos antes do início dos testes de bombeamento, não se comportam de maneira uniforme, impossibilitando a determinação segura de sentidos de fluxos da água subterrânea.

A heterogeneidade do comportamento dos níveis d'água dos poços profundos pode ser visualizada no gráfico da FIGURA 5.12, que mostra uma relação entre a cota do terreno e a cota do nível estático dos poços profundos da área de estudo. O gráfico, que teoricamente deveria mostrar uma correlação aproximada entre os dois fatores, já que os níveis d'água tendem a acompanhar as formas do relevo, mostra uma grande dispersão dos dados resultando numa ausência de correlação entre os dois parâmetros, ao contrário do que demonstrou Leinz (1955), que observou que os níveis d'água dos poços profundos da Bacia de São Paulo acompanhavam as formas da superfície do relevo.

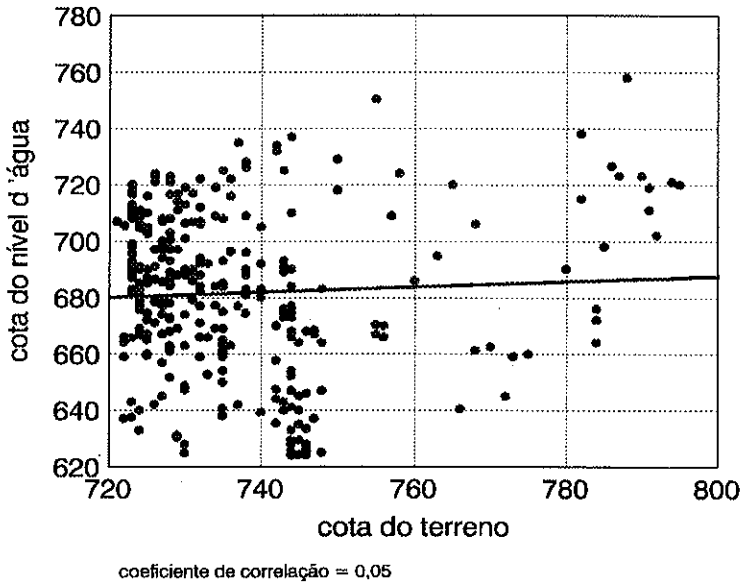


FIGURA 5.12 - Relação entre cota do terreno e cota do nível estático dos poços da área de estudo.

A heterogeneidade no comportamento dos níveis d'água dos poços profundos da área de estudo é explicada pela existência de vários fatores que se interrelacionam. Estes fatores correspondem às características geológicas/topográficas do aqüífero, às características construtivas dos poços profundos e às conseqüências da exploração do aqüífero ao longo do tempo.

Com relação às **características geológicas/topográficas** na variação do comportamento dos níveis d'água nos poços, a Bacia de São Paulo apresenta uma série de intercalações de camadas arenosas e argilosas de diferentes espessuras e descontínuas horizontal e verticalmente, o que caracteriza o aqüífero como de natureza predominantemente semi-confinado, heterogêneo e anisotrópico, favorecendo a ocorrência de aqüíferos locais com variados graus de conexão hidráulica entre si, onde a água subterrânea se encontra sob diferentes cargas hidráulicas. A topografia, tal como citado anteriormente, também interfere na posição dos níveis d'água.

A profundidade do poço e o nível de colocação dos filtros são os principais **itens construtivos da obra de captação** que interferem na posição do nível d'água no interior do poço. Quanto maior a profundidade do poço maior o número de camadas aqüíferas de diferentes pressões hidrostáticas o poço vai interceptar. Quanto aos filtros, que correspondem às aberturas por onde entra a água nos poços e que são geralmente colocados nos níveis aqüíferos fornecedores de água, a posição do nível d'água no interior do poço vai depender da sua profundidade de colocação. Além disso, a cimentação do tubo de boca normalmente impede a entrada da água dos níveis superficiais no interior do poço.

A **evolução da exploração do aqüífero** ao longo do tempo é um outro importante fator que interfere no nível d'água nos poços. Quanto mais próximos os poços e quanto maior o número de poços em operação no momento da leitura do nível d'água num poço, mais profundo será este nível devido às interferências relacionadas aos cones de rebaixamento. Assim, numa área de exploração intensiva de água subterrânea, há uma tendência de que quanto mais novo o poço, mais profundo será o nível d'água no seu interior.

Estabelecendo-se como parâmetros de avaliação do comportamento dos níveis d'água dos poços profundos as variáveis acima discutidas, procedeu-se uma seleção prévia dos dados mais confiáveis, eliminando-se aqueles que não apresentavam informações básicas como geologia, ano de perfuração e cota do nível estático. Procedeu-se, então, a delimitação de zonas com

características geológicas e topográficas similares no sentido de se investigar a influência das variáveis "características construtivas" e "evolução da exploração do aqüífero" sobre os níveis d'água, através da comparação das características de cada zona delimitada. A delimitação destas zonas visa fixar a variável "geologia/topografia" e estudar o comportamento das demais.

A delimitação de zonas de características geológicas e topográficas similares se deu através do cruzamento das informações contidas nos mapas topográfico, de contorno do embasamento cristalino, de espessura de sedimentos e no mapa de porcentagem de areia no perfil dos poços. Como resultado deste cruzamento de informações, obteve-se a delimitação de 9 zonas com características geológicas e topográficas relativamente similares (FIGURA 5.13). A TABELA 5.1 mostra o total de poços e os tipos de aqüíferos explorados em cada zona.

TABELA 5.1 - TOTAL DE POÇOS POR ZONA E TIPOS DE AQÜÍFEROS EXPLORADOS

Zona	Nº Poços	Aqüífero Sedimentar	Aqüífero Cristalino	Poços Mistos	Densidade Poços/Área	Forma de Distribuição Espacial
A	52	30	7	15	6,1	irregular
B	20	19	0	1	5,6	regular
C	10	0	9	1	1,7	irregular
D	47	42	0	5	11,5	regular
E	51	40	3	8	9,3	regular
F	36	32	0	4	10,6	regular
G	67	67	0	0	8,0	irregular
H	19	19	0	0	3,2	irregular
I	7	6	0	1	1,1	irregular

A seguir são descritas, sob forma de tabelas, as principais características de cada zona similar. As estatísticas realizadas se referem somente aos poços que exploram exclusivamente o aqüífero sedimentar de cada zona, com exceção da zona C que não contém poços explorando este aqüífero. Os poços que exploram os dois aqüíferos simultaneamente em todas as zonas foram desconsiderados.

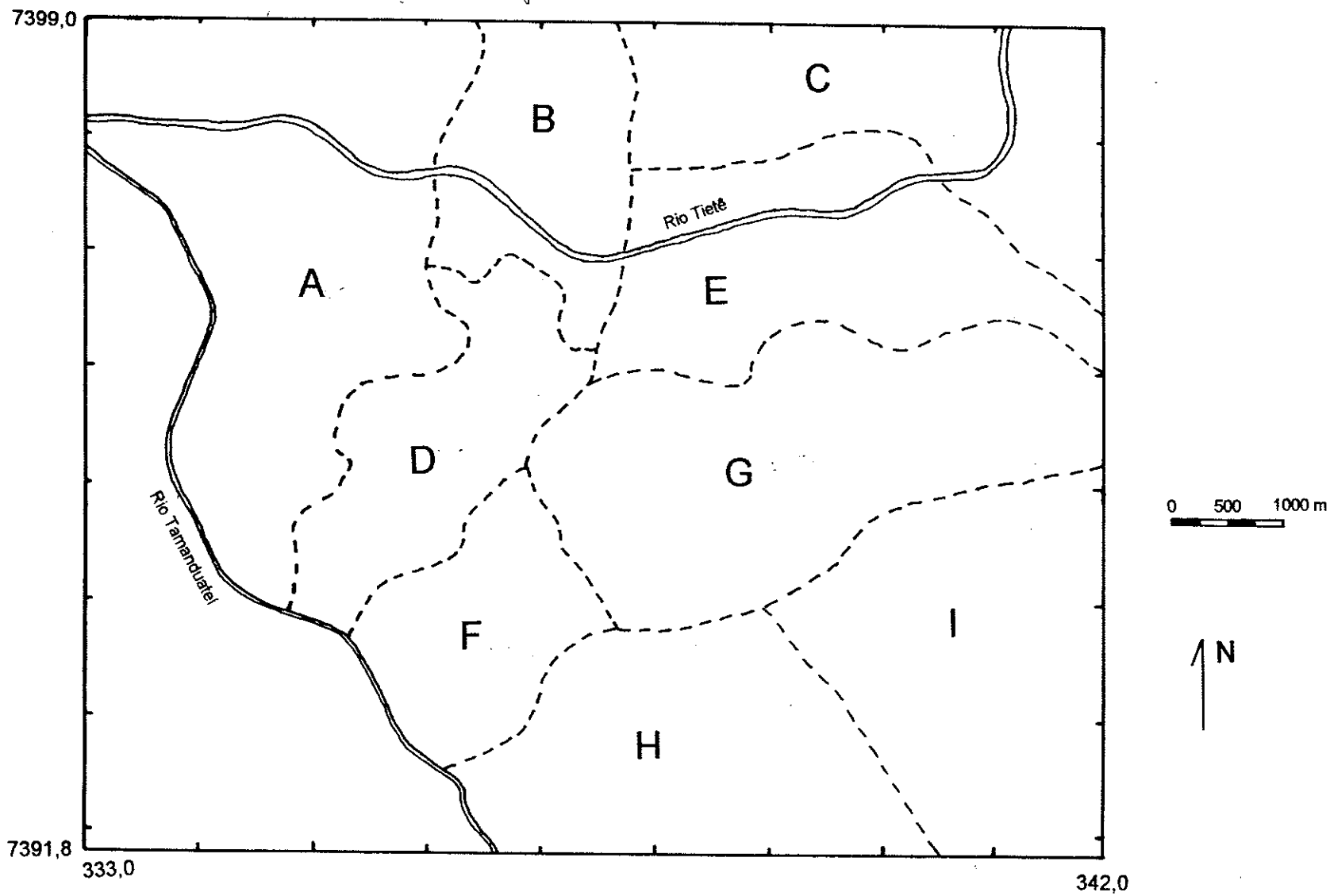


FIGURA 5.13 - Mapa de zonas de características geológicas e topográficas similares.

TABELA 5.2 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA A						
Variável	N° Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	25	726,7	726,0	2,5	724,0	734,0
Cota do Emb. Crist. (m)	23	635,3	636,0	19,2	595,0	666,0
% Areia no Perfil do Poço	10	39,3	37,7	8,6	24,8	56,5
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	25	89,4	88,0	22,5	30,0	136,0
Cota do 1° Nível de Filtros (m)	11	683,6	686,0	16,9	653,0	710,0
Ano de Perfuração	25	1959	1961	16	1929	1986
Prof. Nível Estático (m)	25	26,1	21,0	13,1	7,0	60,0
Cota Nível Estático (m)	25	700,6	704,0	12,6	668,0	721,0

TABELA 5.3 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA B						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	20	724,1	724,0	1,5	722,0	728,0
Cota do Emb. Crist. (m)	19	621,5	622,0	19,1	569,0	656,0
% Areia no Perfil do Poço	16	56,1	56,0	11,4	38,8	81,2
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	20	102,7	103,0	18,4	67,0	154,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	13	674,0	670,0	16,4	654,0	711,0
Ano de Perfuração	20	1969	1970	14	1942	1991
Prof. Nível Estático (m)	20	39,1	40,0	14,2	6,4	60,0
Cota Nível Estático (m)	20	685,0	684,0	14,4	665,0	716,6

TABELA 5.4 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA C						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	10	725,6	725,5	2,7	722,0	730,0
Cota do Emb. Crist. (m)	10	703,5	703,0	18,0	676,0	727,0
Espessura de Sedimentos (m)	10	22,1	19,0	17,9	0,0	48,0
Ano de Perfuração	10	1974	1973	6	1968	1984
Prof. Nível Estático (m)	10	46,2	42,5	26,3	3,0	102,0
Cota Nível Estático (m)	10	679,4	682,0	26,4	628,0	723,0

TABELA 5.5 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA D						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	40	731,3	731,0	5,5	724,0	742,0
Cota do Emb. Crist. (m)	34	606,4	603,0	13,2	587,0	637,0
% Areia no Perfil do Poço	26	66,2	66,1	10,8	49,0	87,5
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	37	124,5	127,0	14,1	90,0	153,0
Cota do 1° Nível de Filtros (m)	21	663,6	659,0	19,8	637,0	714,0
Ano de Perfuração	40	1965	1971	14	1939	1987
Prof. Nível Estático (m)	40	53,6	55,0	19,7	10,0	100,8
Cota Nível Estático (m)	40	677,8	674,9	18,8	639,2	725,0

TABELA 5.6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA E						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	36	730,0	729,0	4,8	722,0	740,0
Cota do Emb.Crist. (m)	34	609,9	607,0	22,7	571,0	659,0
% Areia no Perfil do Poço	25	51,1	49,1	16,5	21,4	79,2
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	36	120,5	122,5	22,8	68,0	155,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	21	656,6	652,0	24,3	614,0	722,0
Ano de Perfuração	36	1972	1972	13	1942	1990
Prof. Nível Estático (m)	36	65,7	68,5	22,2	18,0	98,5
Cota Nível Estático (m)	36	664,3	663,0	23,0	630,5	711,0

TABELA 5.7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA F						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	24	733,9	733,0	3,2	730,0	743,0
Cota do Emb. Crist. (m)	23	610,4	609,0	17,0	580,0	646,0
% Areia no Perfil do Poço	16	23,1	20,1	8,5	8,9	38,1
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	23	123,7	126,0	17,3	88,0	152,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	10	684,4	683,0	26,4	644,0	728,0
Ano de Perfuração	24	1967	1969	13	1943	1992
Prof. Nível Estático (m)	24	46,3	50,0	22,4	10,0	97,0
Cota Nível Estático (m)	24	687,6	686,5	22,6	638,0	728,0

TABELA 5.8 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA G						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	63	747,8	745,0	7,9	730,0	773,0
Cota do Emb. Crist. (m)	34	564,6	563,0	24,3	532,0	632,0
% Areia no Perfil do Poço	51	56,5	54,6	11,3	37,7	78,3
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	63	181,4	183,0	20,0	124,0	214,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	51	649,4	643,0	26,6	612,0	729,0
Ano de Perfuração	63	1975	1974	10	1948	1992
Prof. Nível Estático (m)	63	91,8	95,0	24,4	34,0	127,0
Cota Nível Estático (m)	63	656,0	652,2	26,2	624,0	724,0

TABELA 5.9 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA H						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	15	786,3	788,0	7,9	763,0	795,0
Cota do Emb.Crist. (m)	6	574,3	573,5	51,7	518,0	646,0
% Areia no Perfil do Poço	5	64,4	59,8	16,6	46,1	84,4
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	15	197,5	200,0	41,3	140,0	266,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	9	704,3	702,0	22,0	673,0	738,0
Ano de Perfuração	15	1970	1970	6	1953	1978
Prof. Nível Estático (m)	15	80,8	75,0	22,1	30,0	120,0
Cota Nível Estático (m)	15	705,5	711,0	24,1	664,0	758,0

TABELA 5.10 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS POÇOS DA ZONA I						
Variável	Nº Poços	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cota do Terreno (m)	7	774,0	775,0	12,9	750,0	787,0
Cota do Emb.Crist. (m)	7	628,7	632,0	34,7	582,0	688,0
% Areia no Perfil do Poço	6	38,0	34,2	17,0	20,7	67,8
Espessura de Sedimentos Atravessada pelo Poço(m)	7	145,3	146,0	26,0	99,0	181,0
Cota do 1º Nível de Filtros (m)	7	688,1	687,0	22,4	659,0	730,0
Ano de Perfuração	7	1981	1976	9	1971	1991
Prof. Nível Estático (m)	7	75,5	64,0	33,8	32,0	115,0
Cota Nível Estático (m)	7	698,5	718,0	35,3	660,0	738,0

Com base nos dados disponíveis de poços que exploram exclusivamente o aqüífero sedimentar, as zonas A, B, D e F apresentam dados de cota do terreno, cota do embasamento cristalino, porcentagem de areia e espessura de sedimentos atravessada pelos poços relativamente homogêneos para cada zona, com pequenos desvios padrões relativos e com valores de mediana próximos à média. A profundidade e a cota do nível estático apresentam valores heterogêneos, com mediana relativamente distante da média e alto desvio padrão.

A Zona E apresenta os parâmetros analisados com padrão estatístico semelhante às zonas descritas anteriormente, a não ser no parâmetro porcentagem de areia no perfil do poço, que é bastante variável. Na Zona C, cujos poços exploram exclusivamente o aqüífero cristalino, observa-se grande variabilidade na profundidade do nível estático, apesar dos poucos dados disponíveis nesta zona.

Na Zona G os parâmetros profundidade do nível estático, cota do nível estático e nível de colocação de filtros são bastante variáveis, apresentando altos valores de desvio padrão e mediana relativamente distante da média. As Zonas H e I apresentam as maiores variações de valores de cota do terreno, cota do embasamento cristalino, porcentagem de areia e espessura de sedimentos atravessada pelos poços, além de conter poucos poços para uma análise estatística confiável.

Com base nos valores médios obtidos, as FIGURAS 5.14 a 5.21 mostram uma comparação entre os parâmetros analisados em cada zona.

A FIGURA 5.14 mostra que as zonas A a F apresentam as menores médias de cota topográfica por se situarem nas planícies dos rios Tietê e Tamanduateí. As zonas G, H e I encontram-se em áreas mais acidentadas. O embasamento cristalino (FIGURA 5.15) apresenta-se bastante próximo à superfície na Zona C e bastante profundo nas zonas G e H, e ocorrendo, nesta última zona, de forma bastante irregular. As zonas F, A e I são as que apresentam as menores quantidades de areia nos perfis dos poços tubulares, respectivamente (FIGURA 5.16). As zonas mais arenosas são as zonas D, H, B e G, com média acima de 50%.

As espessuras de sedimentos atravessadas pelos poços, cujos valores **não** representam necessariamente a efetiva espessura de sedimentos até o embasamento cristalino, já que nem todos os poços atravessam todo o pacote de sedimentos, são maiores nas zonas G e H e menores, respectivamente, nas zonas C, B e A (FIGURA 5.17). Quanto ao primeiro nível de colocação de filtros nos poços, observa-se que nas zonas G, E e D, respectivamente, os filtros encontram-se profundos e nas menores cotas altimétricas (FIGURA 5.18). Os poços mais antigos e mais recentes encontram-se nas zonas A e I, respectivamente (FIGURA 5.19).

A FIGURA 5.20 mostra que as zonas G, H, I e E possuem as maiores profundidades de nível estático, respectivamente, e as zonas F, A e B as menores. A cota altimétrica média do nível estático (FIGURA 5.21) é maior nas zonas H, I, A e F e menor nas zonas G, E e D.

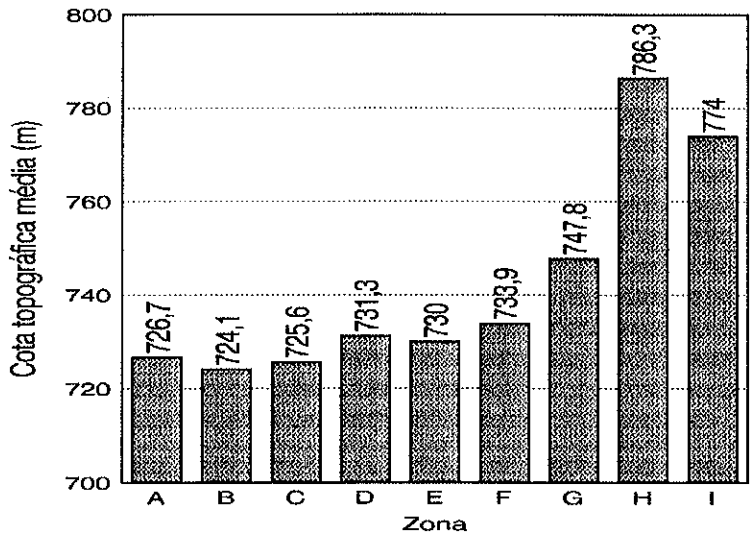


FIGURA 5.14 - Médias de cotas topográficas das zonas similares.

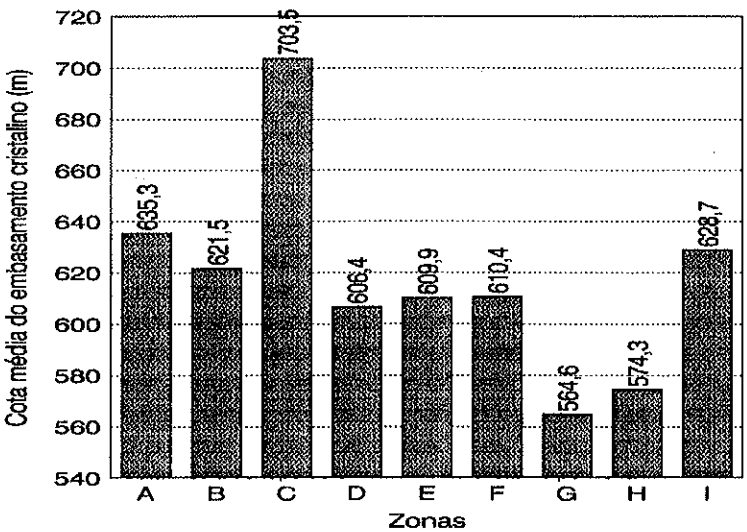


FIGURA 5.15 - Cotas médias do embasamento cristalino das zonas similares.

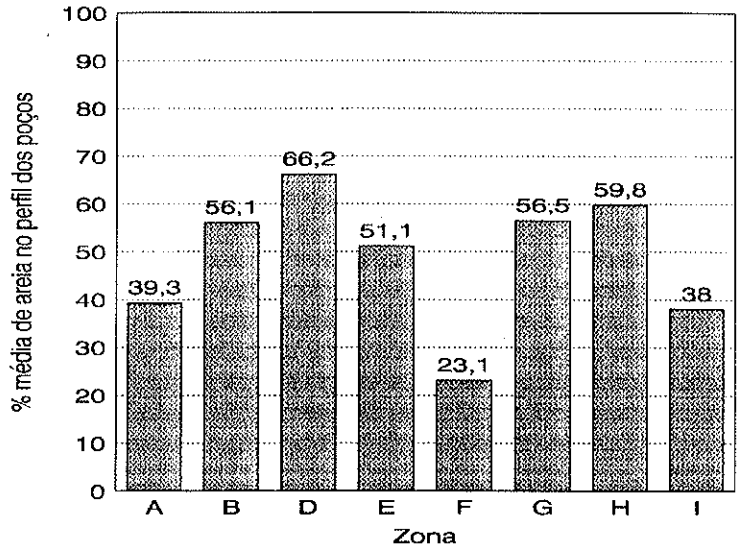


FIGURA 5.16 - Porcentagem média de sedimentos arenosos no perfil dos poços das zonas similares.

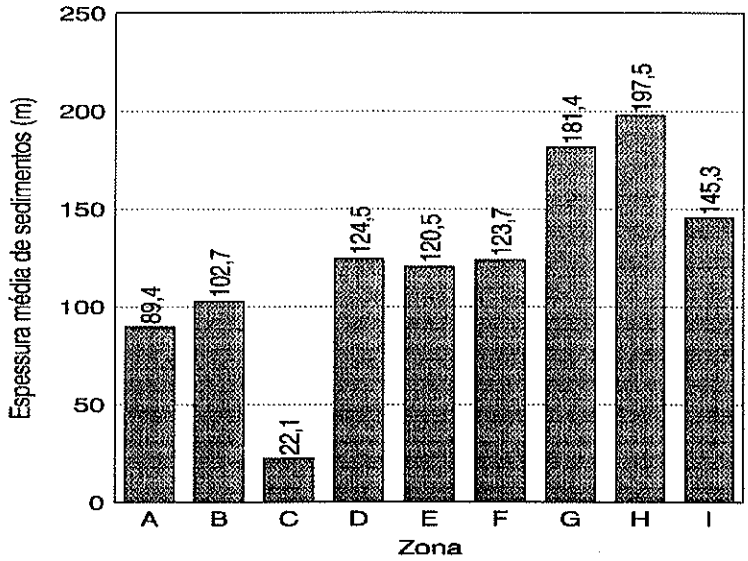


FIGURA 5.17 - Média de espessuras de sedimentos atravessada pelos poços profundos das zonas similares.

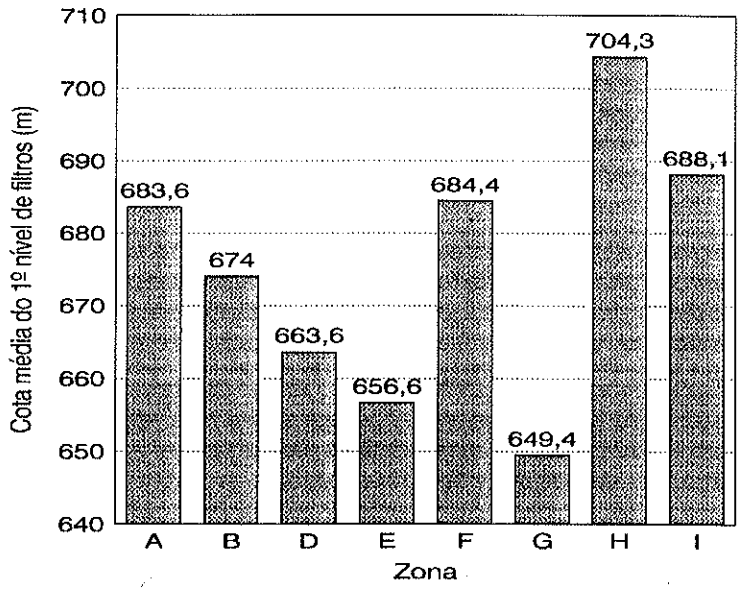


FIGURA 5.18 - Cotas médias do primeiro nível de filtros dos poços profundos das zonas similares.

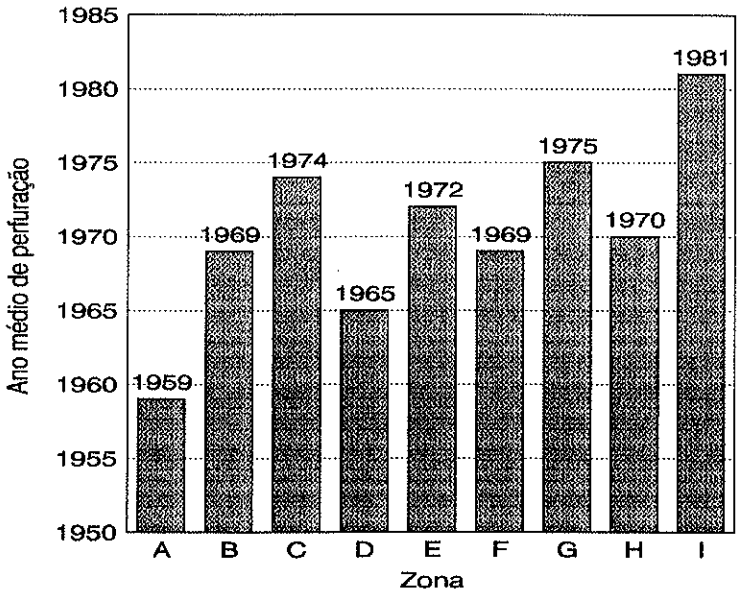


FIGURA 5.19 - Ano médio de perfuração dos poços profundos das zonas similares.

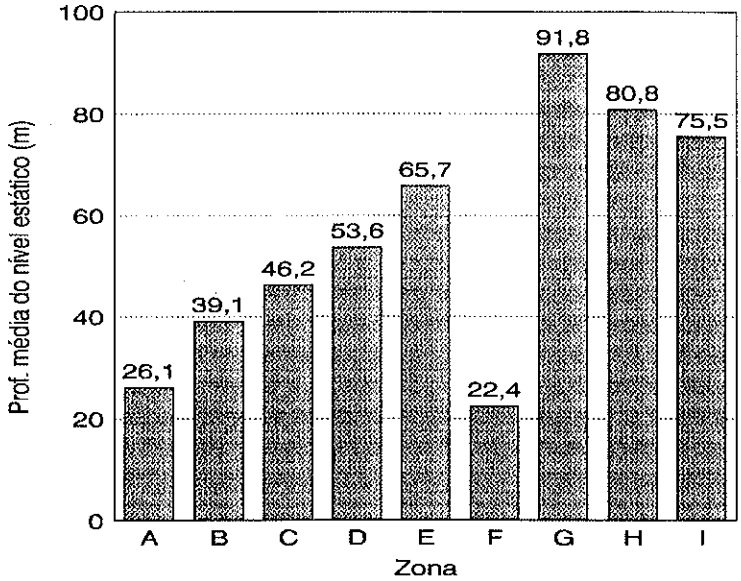


FIGURA 5.20 - Médias de profundidades do nível estático dos poços profundos das zonas similares.

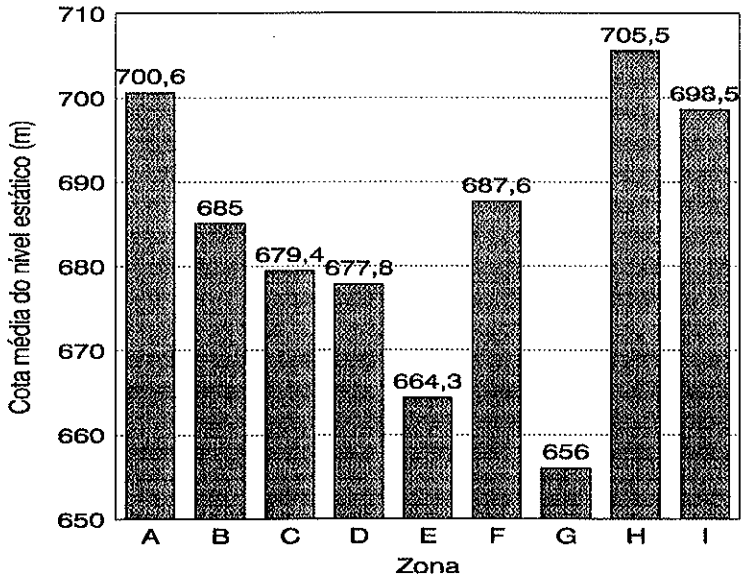


FIGURA 5.21 - Médias de cotas do nível estático dos poços profundos das zonas similares.

Com base nas características físicas relativamente similares das zonas delimitadas, compara-se, então, os dados dos níveis d'água dos poços profundos nessas zonas em função da espessura de sedimentos atravessada pelos poços (variável "características construtivas dos poços") e do ano de construção dos poços (variável "evolução da exploração do aqüífero). Para efeito de comparações, foram excluídos os dados da zona C, onde os poços exploram o aqüífero cristalino, os dados das zonas B, H e I, que se apresentam em pequena quantidade para uma análise estatística confiável, e os dados da zona E que apresentam-se heterogêneos nos parâmetros 'porcentagem de areia no perfil do poço'.

A relação entre a profundidade do nível estático com a espessura de sedimentos atravessada pelos poços pode ser observada nas FIGURAS 5.22 e 5.23. Os dados contidos no gráfico da FIGURA 5.22 relacionam-se às zonas D e G, que são predominantemente arenosas, apresentam bons contrastes de espessura de sedimentos e pequenos desníveis topográficos. Este gráfico mostra uma boa correlação entre as duas variáveis (coeficiente de correlação = 0,72), indicando que quanto maior a profundidade do poço, maior é a profundidade do nível estático.

No gráfico da FIGURA 5.23 foram reunidos os dados das zonas A e F, que apresentam baixos índices de quantidade de areia nos perfis dos poços, variação topográfica desprezível e bons contrastes de espessura de sedimentos atravessada pelos poços. Este gráfico, apesar de apresentar um menor coeficiente de correlação entre as duas variáveis (0,62), também indica a tendência de que quanto maior a profundidade do poço, maior a profundidade do nível estático.

A tendência observada nestes gráficos deve estar relacionada à forma de exploração da água subterrânea na área de estudo. Considerando-se que as entradas d'água (filtros) dos poços situam-se principalmente nas porções mais profundas do aqüífero, conclui-se que a queda dos níveis d'água com a profundidade do poço se relaciona à perda de carga hidráulica dos níveis aqüíferos profundos provocada pelas interferências de outros poços em operação no momento da leitura dos níveis. O abaixamento dos níveis d'água são mais dificilmente sentidos nos aqüíferos mais rasos devido à difícil conexão hidráulica entre os níveis aqüíferos na direção vertical.

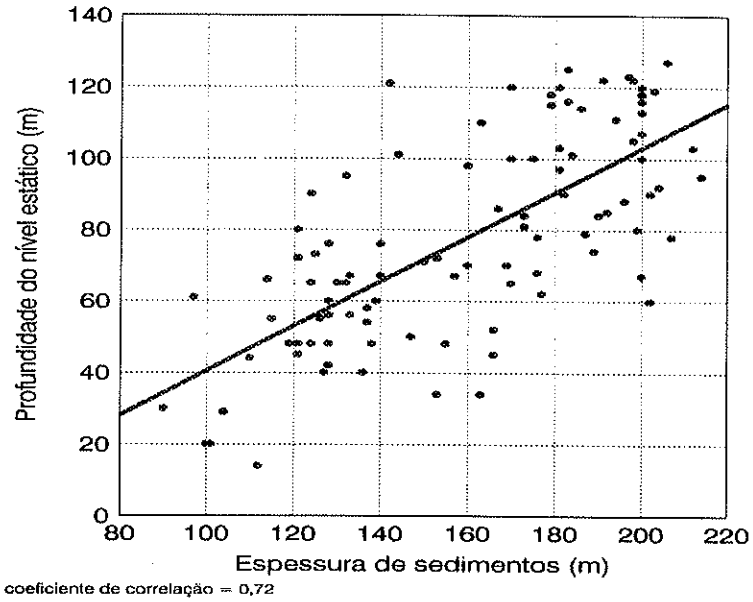


FIGURA 5.22 - Relação entre profundidade do nível estático e espessura de sedimentos atravessada pelos poços profundos das zonas D e G.

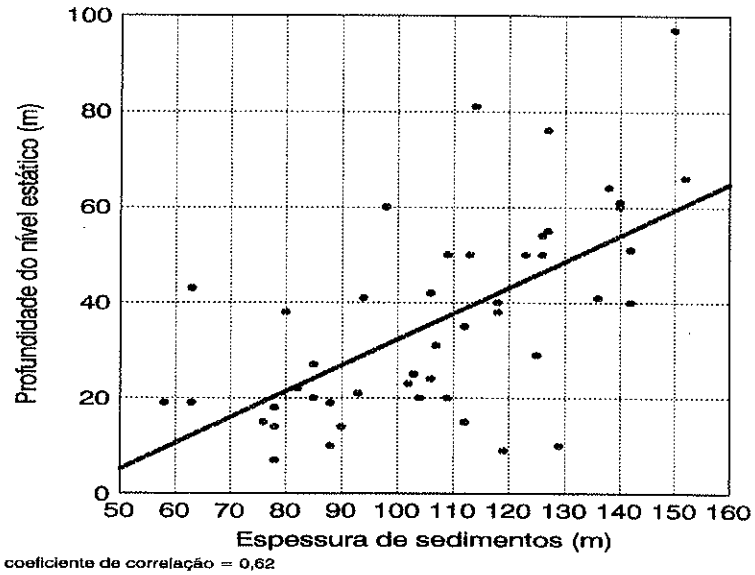


FIGURA 5.23 - Relação entre profundidade do nível estático e espessura de sedimentos atravessada pelos poços profundos das zonas A e F.

O comportamento dos níveis d'água nos poços profundos também tem forte relação com a evolução da exploração do aqüífero ao longo do tempo. Nos gráficos das FIGURAS 5.24 e 5.25 foram reunidos os dados de cota do nível d'água e ano de perfuração dos poços das zonas D e G, respectivamente. Estas zonas apresentam-se mais arenosas e os dados são tratados separadamente pois a espessura média de sedimentos atravessadas pelos poços na zona D é menor que para a zona G. Ambos os gráficos mostram uma boa correlação entre as variáveis (coeficientes de correlação igual a -0,78 para a zona D e de -0,70 para a zona G), indicando a ocorrência de queda dos níveis d'água do aqüífero sedimentar com o passar do tempo em função da exploração excessiva de água subterrânea. Quanto maior o número de poços, maior a perda de carga hidráulica dos níveis aqüíferos e maior o grau de interferências entre os poços.

O gráfico da FIGURA 5.26 reúne os dados dos poços das zonas A e F, que apresentam baixos índices de quantidade de areia nos perfis dos poços e pequena variação de espessura de sedimentos. Este gráfico mostra cotas de nível estático relativamente altas e a ausência de correlação entre esta variável com a variável ano de perfuração dos poços (coeficiente de correlação = -0,19). Este resultado deve estar relacionado ao grau de conexão hidráulica entre as camadas aqüíferas. Quanto menos permeável for a formação como um todo, menor é a probabilidade de ocorrência de níveis aqüíferos interconectados e, portanto, menor é a possibilidade de interferências entre os poços. Em outras palavras, quanto menor a transmissividade do aqüífero, menor é a extensão do cone de rebaixamento do poço e, portanto, menor é o grau de interferência entre poços. Outro fator que explica o resultado mostrado por este gráfico relaciona-se ao posicionamento dos filtros nos poços dessas zonas que, em média (FIGURA 5.18), apresentam-se pouco profundos e explorando os níveis aqüíferos mais superficiais.

Outro dado interessante quanto ao comportamento dos níveis d'água em função da forma de exploração do aqüífero é o fator "distância relativa entre poços", que também é um importante elemento na definição do grau de interferência entre os poços. O mapa da FIGURA 5.27, mostra, em cada ponto, a diferença de níveis d'água entre dois poços distantes a menos de 100 metros entre si. O valor negativo indica que o nível d'água do poço mais novo é tantos metros mais profundo que o poço mais antigo. Observa-se valores da ordem de 60 e 80 metros de rebaixamento relativo entre dois poços na porção central da área de estudo e valores de 100 metros de rebaixamento no extremo leste do mapa.

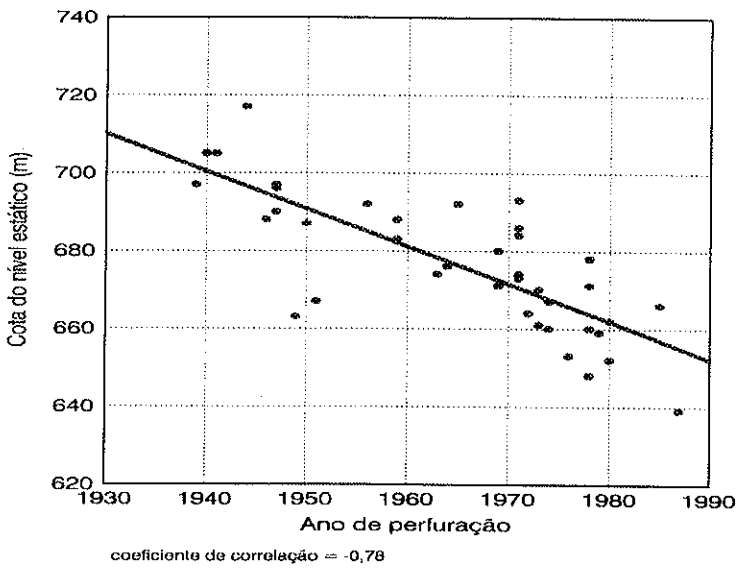


FIGURA 5.24 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços da zona D.

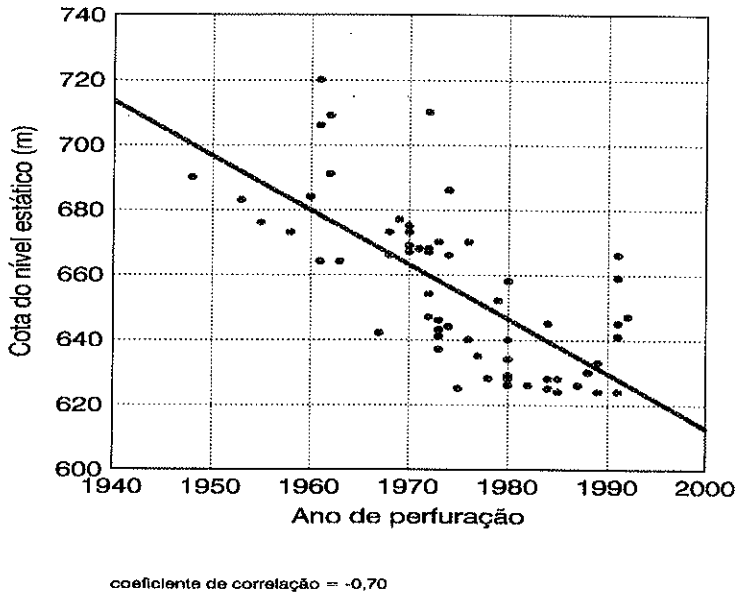


FIGURA 5.25 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços da zona G.

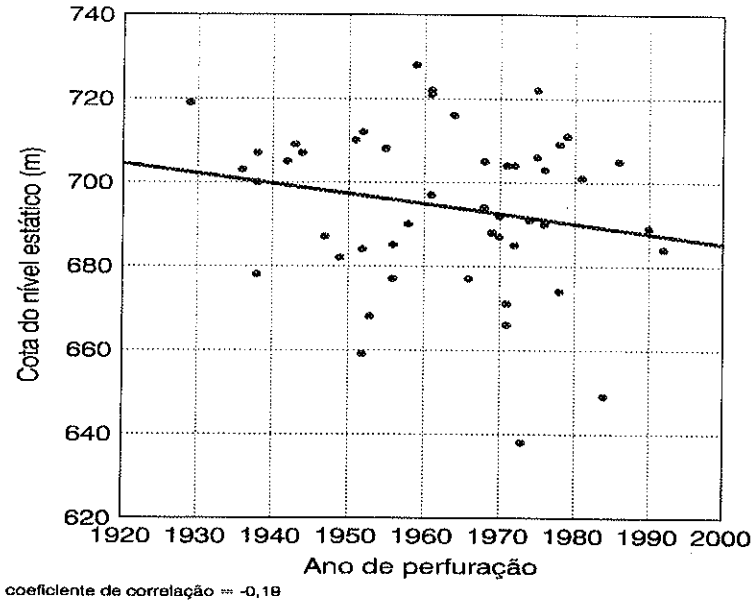


FIGURA 5.26 - Relação entre cota do nível estático e ano de construção dos poços das zonas A e F.

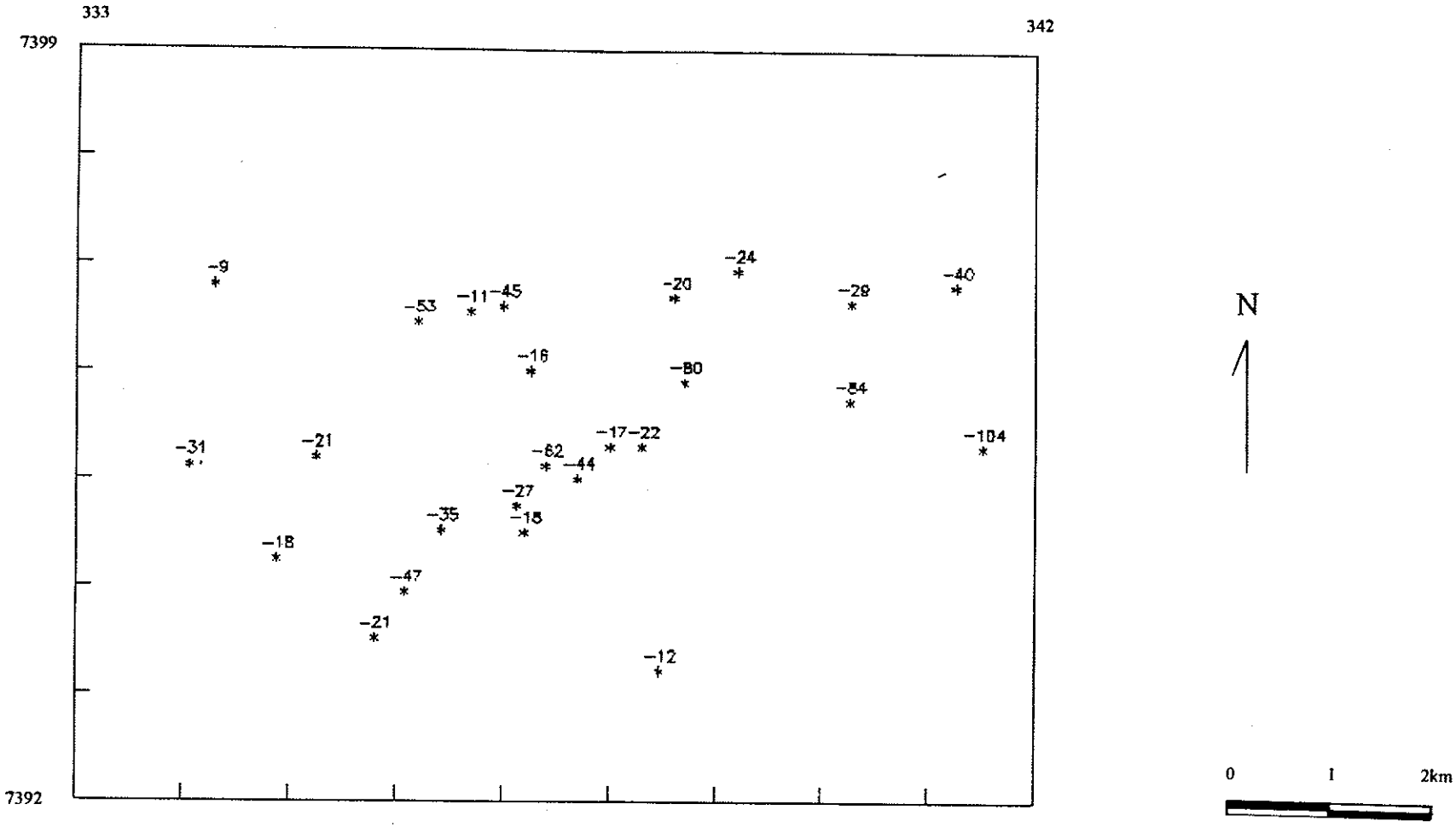


FIGURA 5.27 - Diferença entre profundidade de nível estático dos poços mais recentes em relação a poços mais antigos.

Para efeito de obtenção de uma visualização espacial do comportamento dos níveis d'água ao longo do tempo, executou-se os mapas de nível d'água por período de tempo (FIGURAS 5.28 a 5.31). Estes mapas não podem ser considerados como mapas potenciométricos, pois estes requerem dados de níveis d'água de camadas aqüíferas seguramente correlacionáveis, tomados sempre nos mesmos pontos de amostragem e num único tempo definido, o que não é o caso dos dados disponíveis.

Alguns critérios de seleção de dados foram adotados para a execução destes mapas de nível d'água. Foram considerados os dados dos poços que exploram o aqüífero sedimentar profundo de cada zona delimitada e foram excluídos os dados de níveis d'água que não se encontravam em harmonia com os demais.

A FIGURA 5.28 mostra um mapa de nível d'água com base nos dados de poços construídos nas décadas de 30 e 40, que teoricamente representaria os níveis originais do aqüífero profundo, sem qualquer sintoma de exploração excessiva na escala da área de estudo. Observa-se que predominam cotas de nível d'água ao redor de 700 metros, abaixo, portanto, da cota média de descarga de 720 metros do rio Tietê na área de estudo, e abaixo também da cota 710 metros da soleira de Barueri, que é o nível de base das drenagens da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Estes níveis d'água dos poços abaixo das cotas mínimas de descarga dos aqüíferos não devem ser inteiramente confiáveis, não devendo representar a potenciometria original do aqüífero.

Nos mapas seguintes (FIGURAS 5.29 a 5.31), observa-se o aparecimento de curvas de cotas 680, 660 e 640 metros, cada qual aumentando a sua área de abrangência na medida em que o tempo passa, sugerindo o contínuo abatimento dos níveis d'água do aqüífero sedimentar profundo, o que caracterizaria um processo de super-exploração. A caracterização objetiva deste processo, entretanto, deve se dar através de um monitoramento contínuo dos níveis d'água de pelo menos parte dos poços que se encontram em funcionamento e em constante processo de manutenção, o que não ocorre nos dias de hoje dado ao total descontrole na operação destes poços.

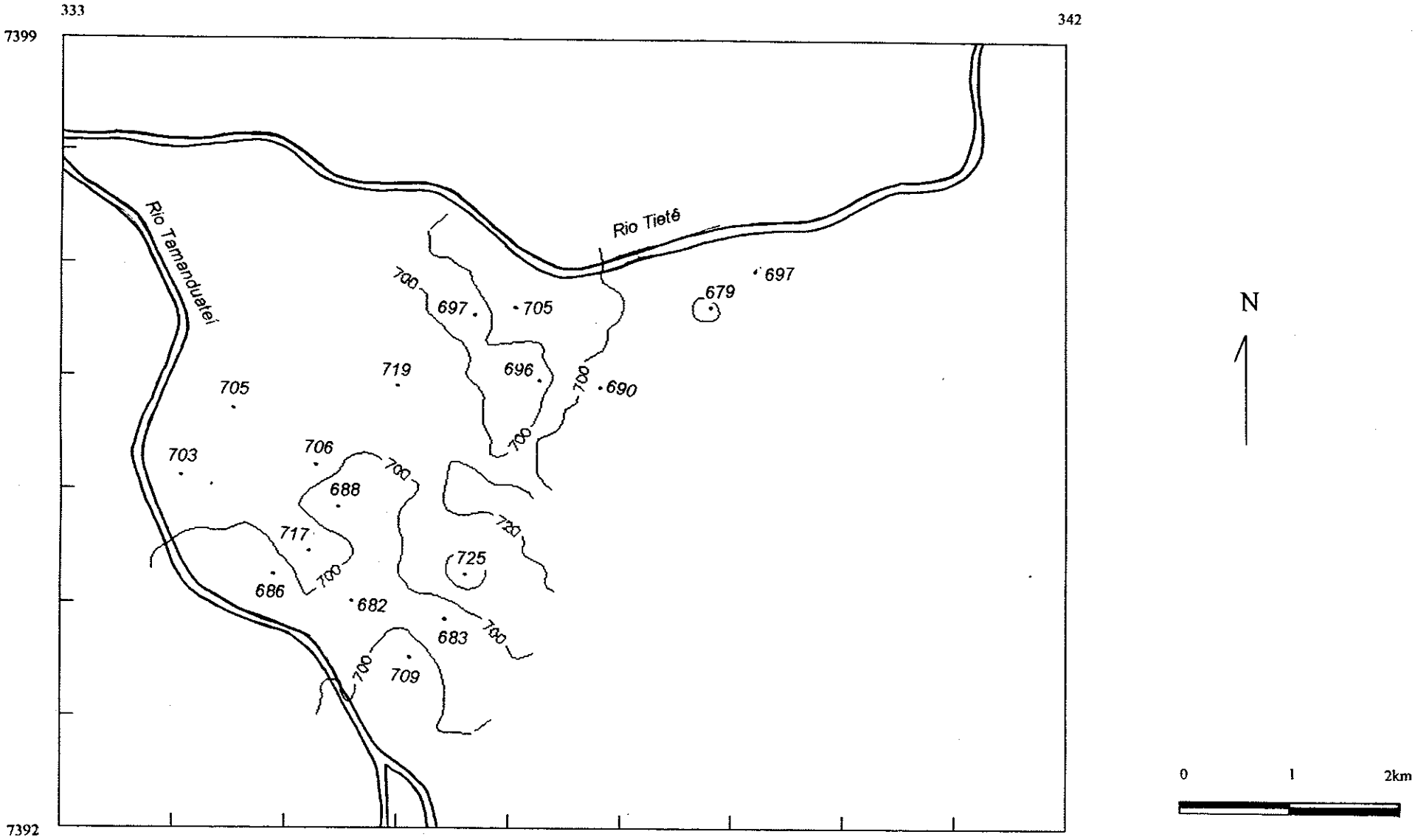


FIGURA 5.28 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos nas décadas de 30 e 40.

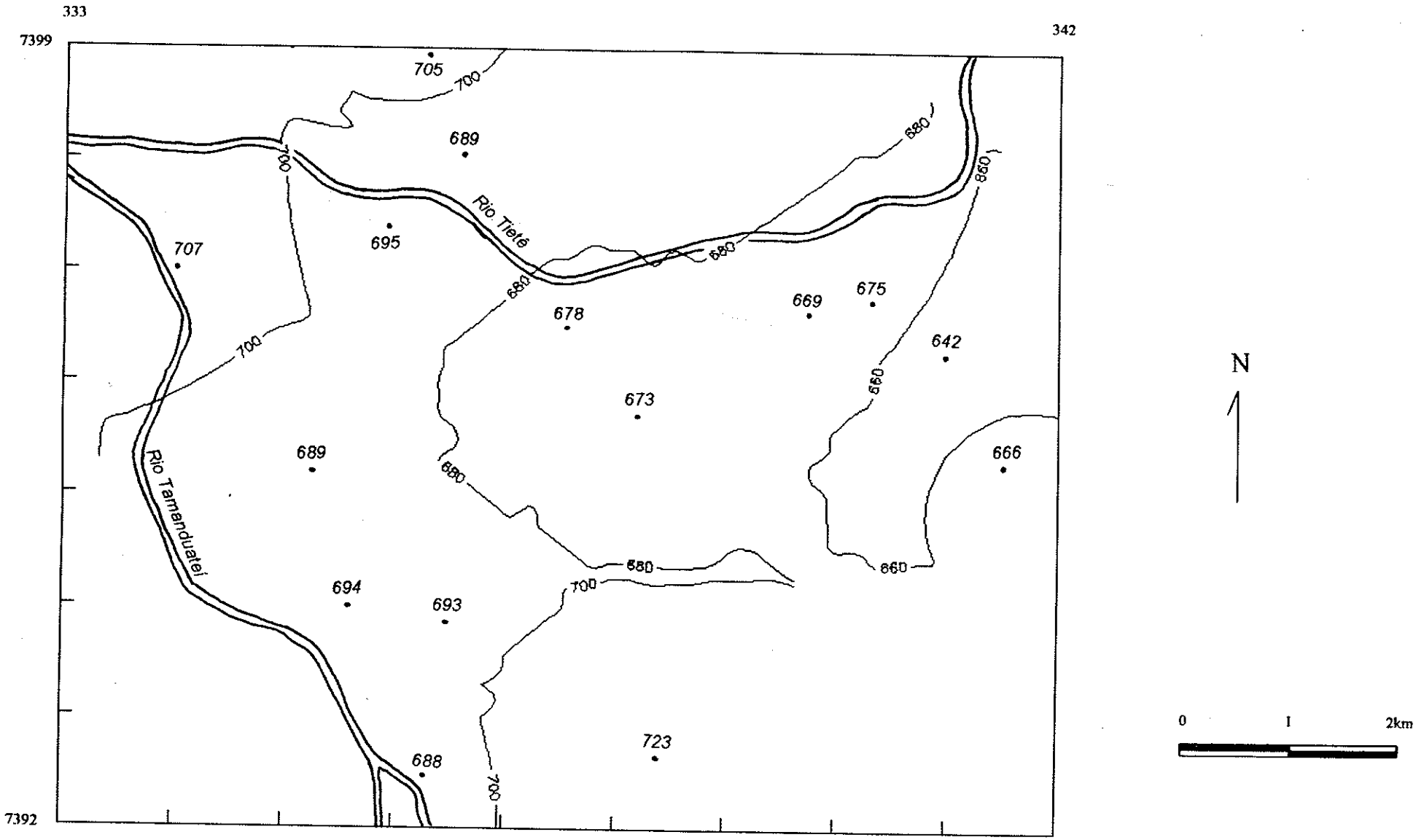


FIGURA 5.29 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1966 e 1968.

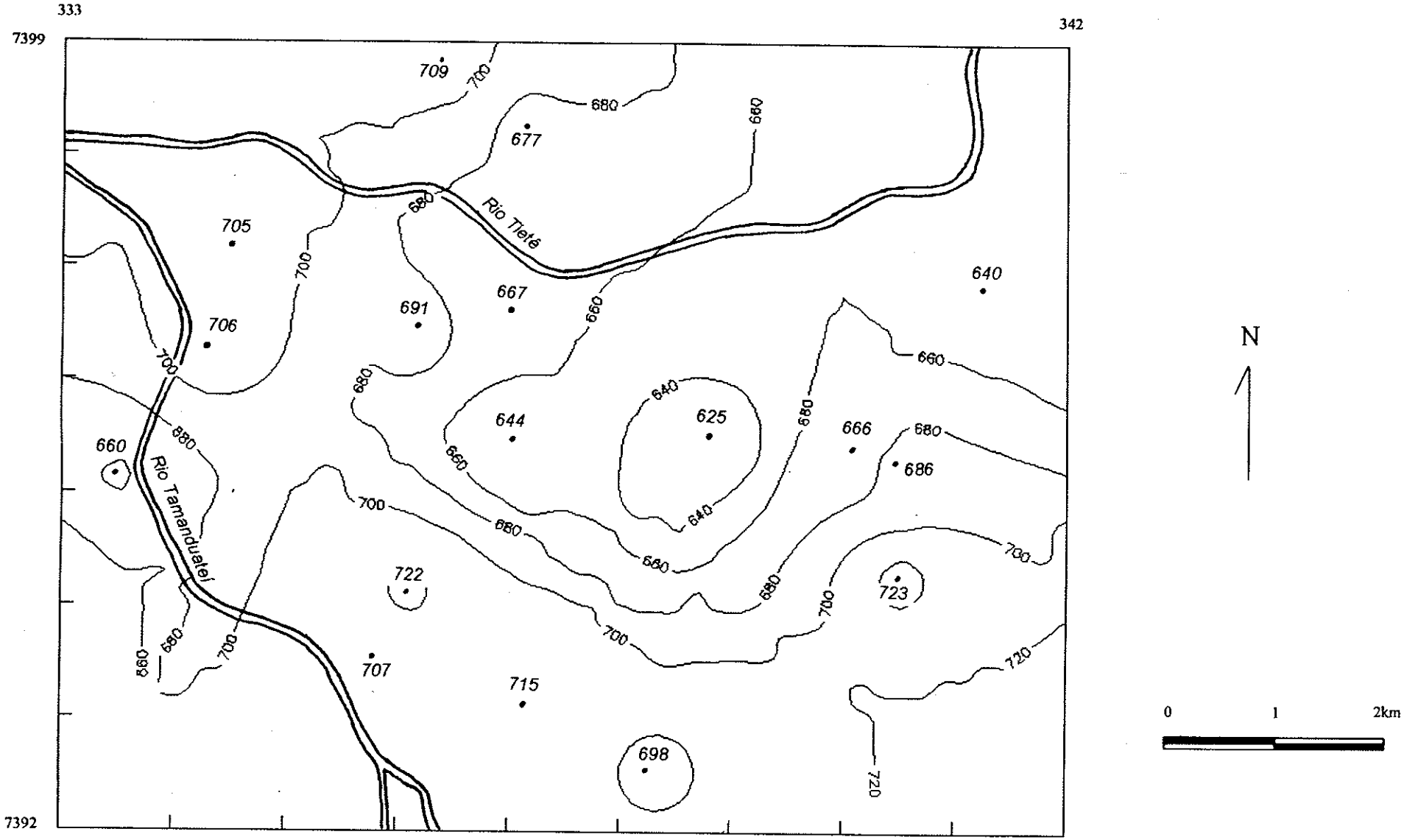


FIGURA 5.30 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1974 e 1975.

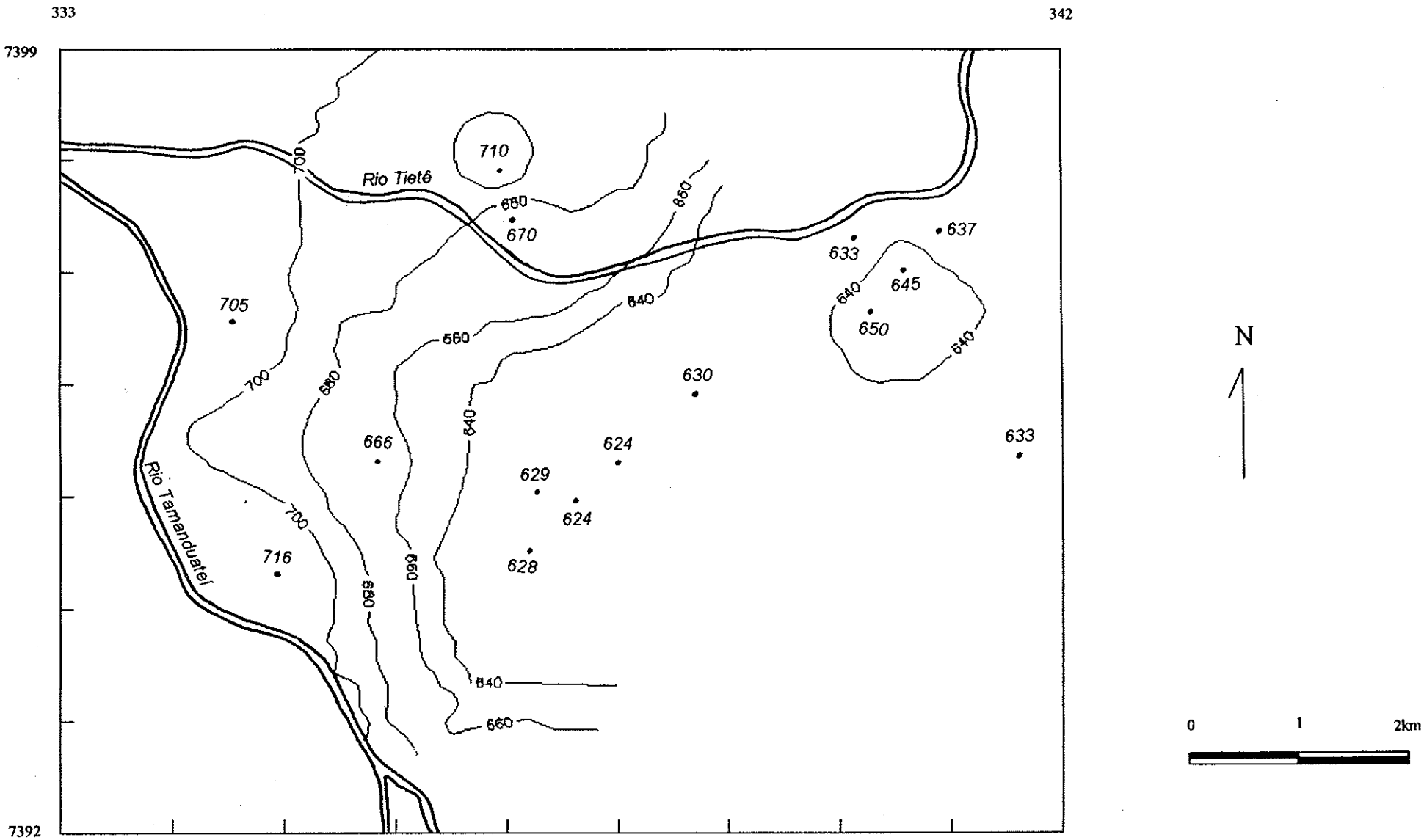


FIGURA 5.31 - Mapa de nível d'água de poços profundos construídos entre 1985 e 1989.

5.4) COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS D'ÁGUA NAS SONDAGENS E PIEZÔMETROS

Através da análise dos perfis de poços profundos A - A' a F - F' (PERFIS 1 a 6, em anexo), além dos mapas de nível d'água executados (FIGURAS 5.28 a 5.31), observa-se que os níveis d'água dos poços profundos estão sempre abaixo das cotas de base dos principais rios da área de estudo. Esta situação estaria indicando a existência de fluxos potenciais de água dos rios para o interior do aqüífero sedimentar.

Entretanto, ao se analisar os dados históricos de sondagens geotécnicas e piezômetros executados pelo Metrô, cujas perfurações atingem profundidades rasas e variando normalmente entre 15 e 30 metros, observam-se níveis d'água pouco profundos e próximos à superfície.

Os perfis G - G' e H - H' (PERFIS 7 e 8, em anexo) exemplificam esta situação, onde foram colocadas seções de poços profundos ao lado de seções de piezômetros. Observa-se, nestes perfis, a tendência verificada no item anterior de que quanto maior a profundidade da perfuração, maior a profundidade do nível d'água, indicando condições de recarga do aqüífero profundo.

Os perfis hidrogeológicos I - I' e J - J' (em anexo), correspondem a seções de sondagens geotécnicas e piezômetros construídos pelo Metrô durante o período de 1973 a 1980. A FIGURA 5.32 representa um destaque do Mapa de Localização de Poços Profundos, Sondagens e Piezômetros (MAPA 1, em anexo), onde se apresenta a localização de sondagens e piezômetros executados no Parque D. Pedro II.

Nestes perfis I - I' e J - J', a maior parte das sondagens geotécnicas apresenta duas medidas de nível d'água: a primeira medida corresponde ao primeiro nível d'água anotado durante a perfuração, correspondendo ao nível freático; a segunda medida corresponde ao nível d'água observado após a conclusão da sondagem já com o tubo de revestimento instalado. As duas medidas de nível d'água de cada sondagem fornecem indicações quanto ao sentido da componente vertical de fluxos de água subterrânea.

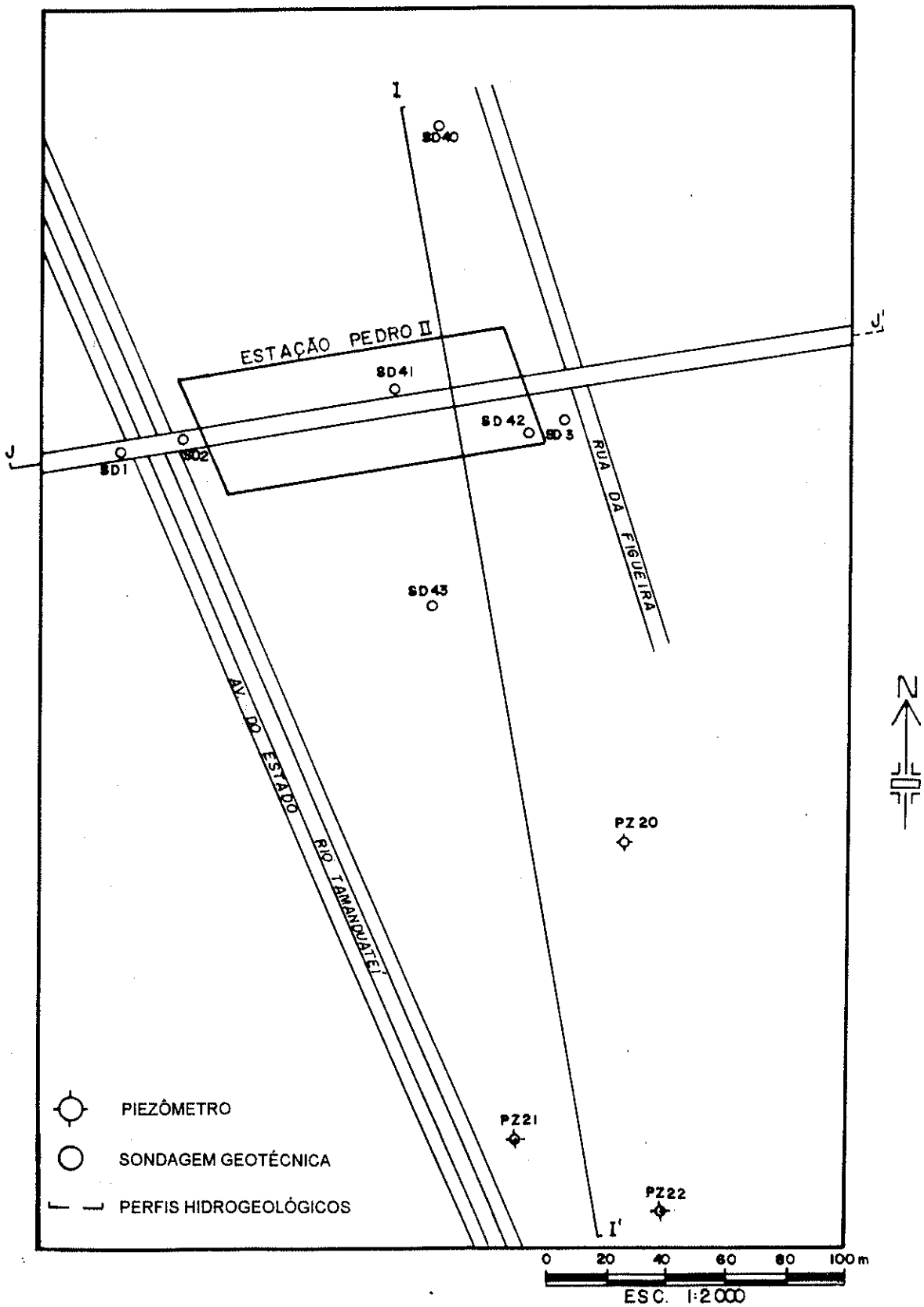


FIGURA 5.32 - Mapa de localização de sondagens e piezômetros no Parque Dom Pedro II.

Na interpretação hidrogeológica destes perfis, há que se considerar que as correlações de níveis d'água não são inteiramente confiáveis. Isto se deve ao fato de que as sondagens geotécnicas e piezômetros foram construídos em épocas diferentes, e os perfis executados não levam em consideração os efeitos da sazonalidade e outros efeitos de natureza artificial (tal como bombeamentos), que promovem variações dos níveis d'água dos aquíferos superficiais.

O perfil hidrogeológico I - I' (PERFIL 9) ocorre aproximadamente paralelo e próximo ao rio Tamanduateí. As seções geológicas mostram a predominância de sedimentos arenosos sob uma camada aparentemente contínua de sedimentos argilo-siltosos, o que torna a camada aqüífera semi-confinada.

O primeiro nível d'água anotado nas sondagens, que corresponde ao nível do lençol freático, apresenta-se raso e praticamente na mesma profundidade, numa cota média um pouco acima de 722 metros, indicando uma superfície freática contínua. O segundo nível d'água nas sondagens se encontra predominantemente um pouco acima do nível freático, sugerindo a existência de uma componente vertical ascendente de fluxo de água subterrânea, o que caracteriza, portanto, a zona de descarga do aqüífero. A componente horizontal de fluxos de água subterrânea se dá no sentido do aqüífero para o rio Tamanduateí, pois sua cota de base situa-se a aproximadamente 721 metros no local, abaixo, portanto, dos níveis d'água das sondagens e dos piezômetros. Este rio, por sua vez, apesar de possuir toda sua margem concretada, apresenta o seu leito em conexão com o aqüífero.

Os PERFIS 10A a 10D (em anexo) mostram o perfil hidrogeológico J - J', obtido a partir de sondagens geotécnicas e piezômetros executados pelo Metrô ao longo do ramal leste, disposto na direção transversal aos rios Tamanduateí e Aricanduva, além do córrego do Tatuapé. As descrições geológicas dos sedimentos mostram uma grande descontinuidade vertical e lateral das camadas, imprimindo ao aqüífero condições de semi-confinamento em função das características de forte heterogeneidade. A amarração estratigráfica das camadas sedimentares é uma tarefa bastante difícil nesta escala de trabalho, apesar de serem as descrições geológicas bastante precisas.

Os níveis d'água apresentam-se sempre bastante rasos. O comportamento do primeiro nível d'água encontrado nas sondagens durante as perfurações sugere a existência de uma superfície freática contínua e acompanhando as ondulações da topografia. A componente

horizontal de fluxos de água subterrânea ocorre, portanto, das zonas mais elevadas para as zonas mais baixas da topografia. A componente vertical de fluxos pode ser observada nos piezômetros multiníveis e nas sondagens geotécnicas.

Próximo ao rio Tamanduateí (PERFIL 10A), o nível freático apresenta-se acima da cota de base do rio Tamanduateí, o que indica que o aqüífero estava fornecendo água para o rio na ocasião da execução das sondagens. Neste mesmo perfil J - J', no seu segundo trecho (PERFIL 10B), o destaque é para os piezômetros PZ26AB e PZ29AB, onde se nota condições de fluxos descendentes e, portanto, condições de recarga das camadas aqüíferas sotopostas. Já no PERFIL 10C, as sondagens também indicam que o aqüífero sedimentar se apresenta sob condições de recarga ao longo de todo trecho. Neste perfil, os níveis d'água na sondagem SD19 apresentam-se abaixo da cota de base do córrego do Tatuapé, indicando condições de influência do córrego em relação ao aqüífero, isto é, o córrego apresentando potenciais de fornecimento de água para o aqüífero.

O quarto trecho do perfil J - J' (PERFIL 10D), já na porção leste da área de estudo, apresenta uma certa condição de equilíbrio hidrostático entre o primeiro nível d'água encontrado durante a perfuração e o nível d'água da sondagem revestida. Os níveis sempre se encontram acima da cota de base do rio Aricanduva e a sondagem SD29 indica potenciais de fluxos ascendentes de água subterrânea e, portanto, condições de descarga do aqüífero na época da realização da perfuração.

5.5) FLUXOS LOCAIS E REGIONAIS

Do exposto até o momento, quanto ao comportamento dos níveis de água subterrânea nos poços tubulares profundos, sondagens geotécnicas rasas e piezômetros, as principais informações observadas são as seguintes:

- os níveis d'água nos poços profundos se tornam progressivamente mais profundos ao longo do tempo na medida em que o bombeamento se torna mais intensivo;
- como a exploração da água subterrânea através de poços profundos se dá principalmente na base do aqüífero sedimentar, há uma tendência de que quanto mais profundo o poço, mais profundo se torna o nível d'água no interior do poço;
- o bombeamento dos poços profundos não chega a gerar rebaixamentos generalizados nos níveis d'água do aqüífero freático, já que estes são verificados próximos à superfície nas sondagens e piezômetros;
- prevalecem condições de recarga do aqüífero sedimentar em praticamente toda a área de estudo.
- o aqüífero freático normalmente fornece água para os rios, mas há locais, tal como o córrego do Tatuapé (PERFIL 10C, em anexo), onde há potenciais hidráulicos para a ocorrência do inverso.

O bombeamento intensivo de água subterrânea não provoca rebaixamento generalizado na porção freática do aqüífero sedimentar devido à extrema heterogeneidade vertical deste aquífero, que gera uma série de patamares aquíferos de natureza semi-confinada, delimitados por camadas drenantes de natureza pelítica. Esta heterogeneidade vertical imprime mudanças nas propriedades hidráulicas espaciais do aqüífero, de forma que a componente vertical da condutividade hidráulica seja muitas vezes menor que a componente horizontal. Como os fluxos de água subterrânea se dão preferencialmente no sentido da maior condutividade hidráulica, a conexão hidráulica entre as porções rasas e as mais profundas do aqüífero sedimentar se tornam cada vez mais difíceis em profundidade.

Do ponto de vista de fluxos, a água que ocorre no aqüífero sedimentar superficial deve fazer parte de um sistema de fluxos local de água subterrânea, enquanto que a água presente em poços profundos deve estar associada a um sistema de fluxos regionais.

A recarga do sistema de fluxos local deve acontecer na própria área de estudo, seja através da infiltração de águas pluviais, já bastante reduzida devido à alta taxa de impermeabilização da área, como também pelas perdas da rede pública de água tratada. A elevada heterogeneidade na direção vertical do aqüífero sugere que parte da água infiltrada na área de estudo como recarga circula preferencialmente nas porções mais rasas do aqüífero, descarregando, em sua maior parte, nos córregos e rios próximos. A outra parte da água infiltrada na área deve, em função do bombeamento dos poços, atingir os níveis aquíferos mais profundos da própria área através de drenança das camadas semi-permeáveis.

O aqüífero sedimentar profundo, que na área de estudo encontra-se sob baixas pressões hidrostáticas em função de sua exploração intensiva, deve ser recarregado principalmente por um sistema de fluxos laterais de caráter regional e secundariamente por drenança das camadas aqüíferas sobrepostas. Os fluxos regionais são de difícil caracterização em função da heterogeneidade e anisotropia do aqüífero e das irregularidades do contorno do embasamento cristalino. A área de recarga referente a este sistema de fluxos regionais deve corresponder a toda área da Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê, incluindo o Sistema Aqüífero Cristalino.

As FIGURAS 5.33 e 5.34 mostram, de forma esquemática e a partir do perfil E - E' (PERFIL 5), o modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo. A FIGURA 5.33 apresenta a situação original dos fluxos de água subterrânea quando o aqüífero ainda não se encontrava em exploração. Observa-se que, de acordo com este modelo, a maior parte da área exibe condições de recarga do aqüífero superficial, e que somente nas porções mais elevadas da topografia da área de estudo há condições de recarga de fluxos mais profundos de água subterrânea. Nesta condição original, o rio Tietê representava a zona de descarga tanto dos fluxos locais como dos fluxos regionais de toda a Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê.

Na FIGURA 5.34 está representado o modelo esquemático de circulação da água subterrânea da área de estudo no aqüífero sedimentar sob exploração intensiva. Observa-se a existência de uma superfície freática rasa acompanhando as formas da topografia e a existência de fluxos locais e intermediários provenientes da recarga que ocorre na própria área de estudo, sendo o rio Tietê a zona de descarga destes fluxos, numa situação semelhante à das condições originais. Já a porção mais profunda do aqüífero se apresenta recarregada por fluxos regionais laterais e por drenança das camadas aqüíferas mais rasas, sendo que a resultante dos fluxos de água subterrânea se dirige no sentido dos poços tubulares profundos.

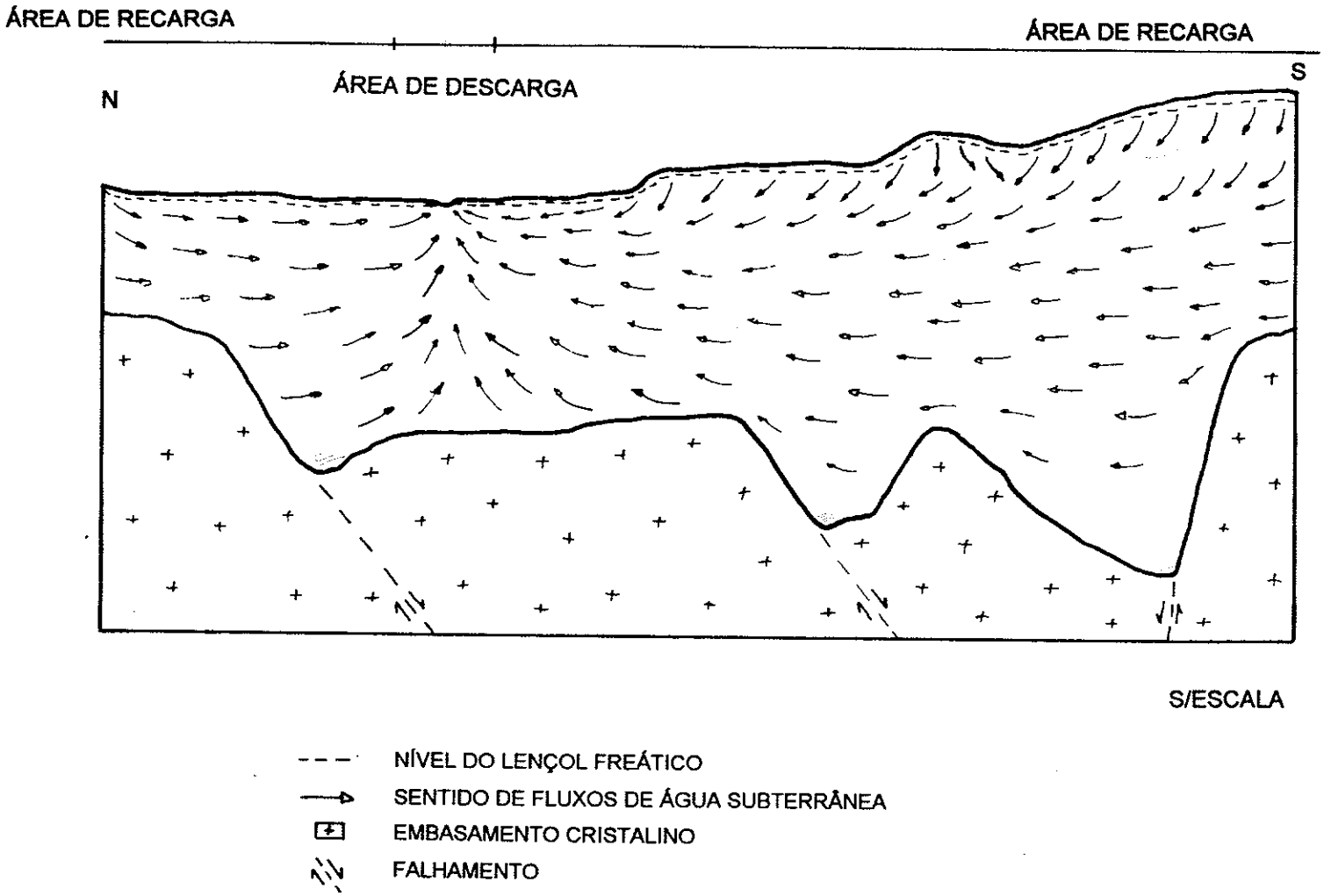


FIGURA 5.33 - Modelo de circulação original da água subterrânea na área de estudo.

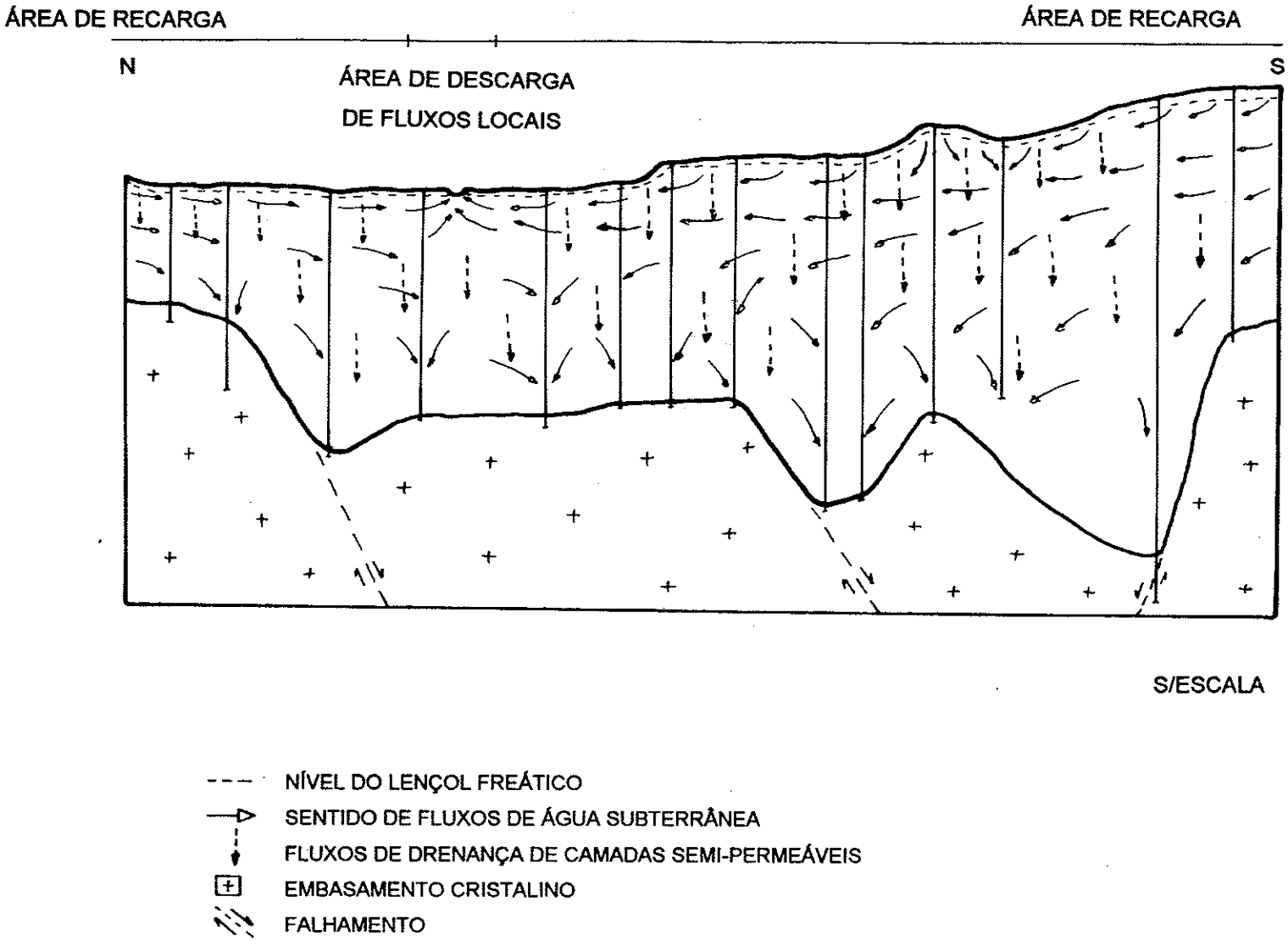


FIGURA 5.34 - Modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo sob exploração intensiva.

6) RELAÇÕES HIDRÁULICAS ENTRE RIOS E O AQÜÍFERO SEDIMENTAR

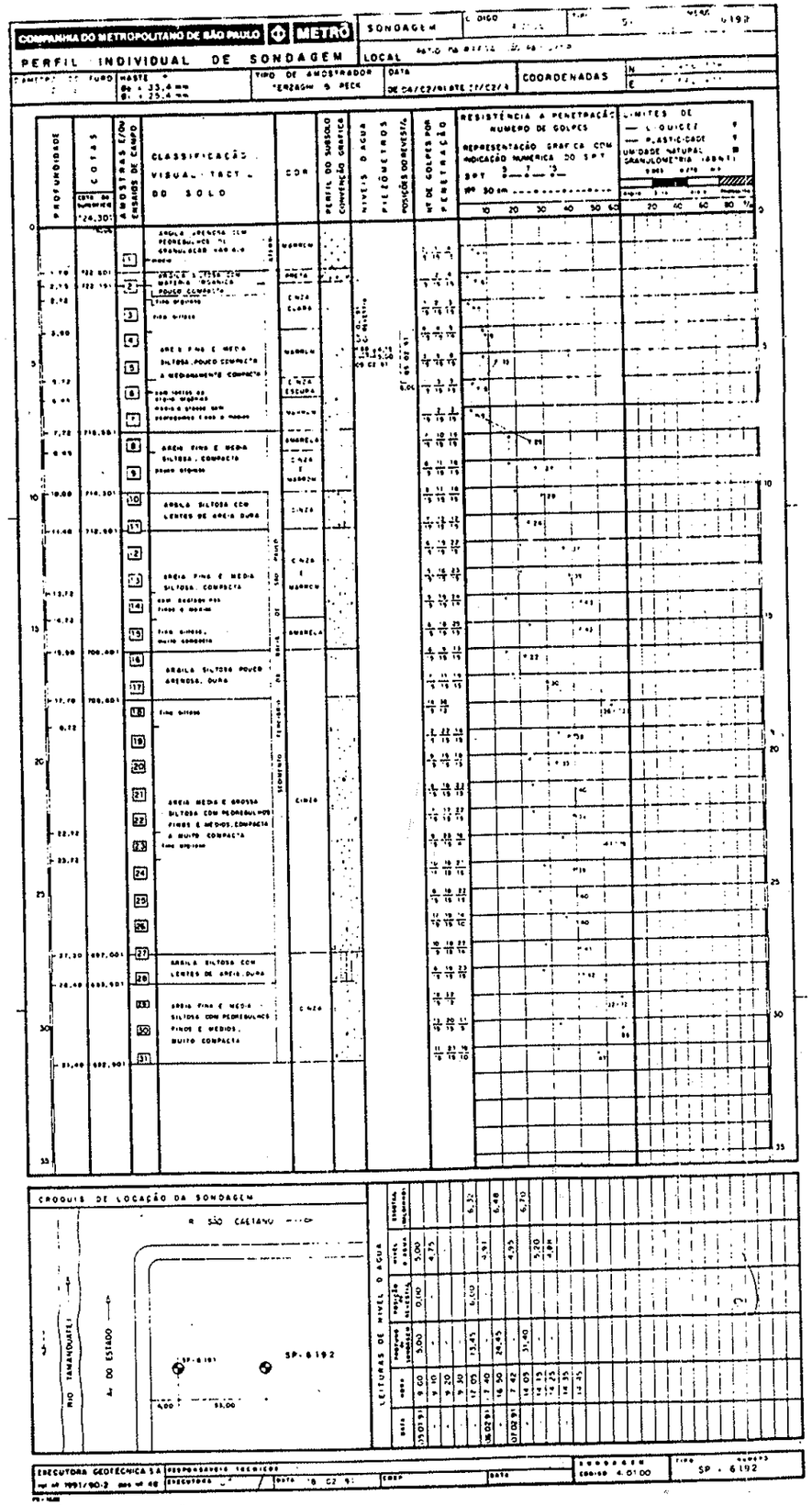
Este capítulo apresenta uma discussão sobre as relações hidráulicas entre os rios Tamanduateí e Tietê com o aqüífero sedimentar superficial, com base em dados obtidos em campo a partir do monitoramento de piezômetros e poços de observação situados transversalmente a esses rios. A localização dos piezômetros e dos poços de observação pode ser vista no MAPA 1 (em anexo).

6.1) RIO TAMANDUATEÍ

6.1.1) Dados Disponíveis

A Cia Metrô executou uma série de sondagens geotécnicas com instalação de piezômetros, localizados desde a rua Mauá (Bom Retiro) até a rua Oriente (Pari), dispostos transversalmente ao rio Tamanduateí (MAPA 1). Estes piezômetros encontravam-se em operação durante a fase de levantamento de dados, o que possibilitou a obtenção de dados hidrogeológicos das camadas aqüíferas superficiais próximas a este rio.

A FIGURA 6.1 mostra um exemplo de relatório técnico-construtivo de um piezômetro executado pelo Metrô. As informações disponíveis nestes relatórios correspondem aos dados de localização geográfica e cotas altimétricas; dados detalhados da seção geológica da perfuração, além de ensaios de resistência à penetração (SPT); dados do comportamento do nível d'água e do posicionamento dos revestimentos durante a execução da perfuração; dados precisos da forma de instalação dos piezômetros; e dados de monitoramento de níveis d'água, realizados nos piezômetros durante os ensaios de infiltração de carga variável para a obtenção do parâmetro condutividade hidráulica.



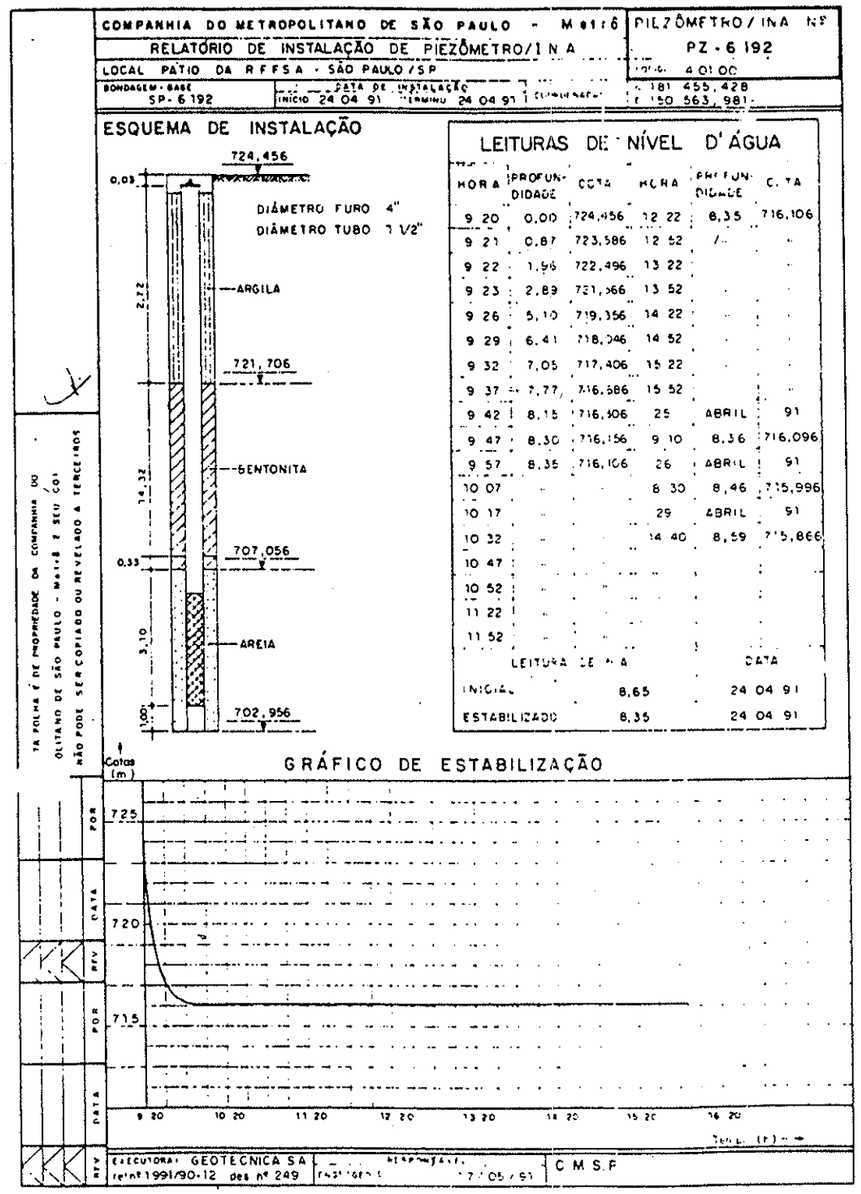


FIGURA 6.1 - Exemplo de relatório técnico construtivo de piezômetro executado pela Cia Metrô.

Os 10 piezômetros em operação, vários dos quais do tipo multinível, foram construídos em furos de sondagem de 4" de diâmetro, contendo tubos de PVC de 1.1/2" com ranhuras protegidas por telas nas suas extremidades. Nestas extremidades, que correspondem às seções de tomada de pressão hidrostática das camadas aqüíferas, o espaço anelar entre o furo e o tubo de revestimento foi preenchido com um pré-filtro arenoso. As camadas aqüíferas sobrepostas foram isoladas hidraulicamente da camada aqüífera monitorada, utilizando-se de bentonita e argila como material de preenchimento do restante do espaço anelar.

6.1.2) Comportamento dos Níveis D'Água

A FIGURA 6.2 mostra um perfil geológico destes piezômetros. Nota-se a alternância de camadas de natureza arenosa intercalados com camadas argilosas, sendo nítida a predominância de sedimentos arenosos nas sondagens mais próximas ao canal do rio Tamanduateí, desde o piezômetro PZB até o piezômetro PZH. A grande variação faciológica horizontal destes sedimentos impede a realização de correlações estratigráficas das camadas. Verifica-se também a predominância de camadas de argila nos primeiros metros das sondagens, havendo a possibilidade de continuidade de uma camada de argila entre as sondagens PZD e SD32 abaixo do canal do rio Tamanduateí. Ainda nesta figura, observa-se as posições das entradas de água (filtros) nos piezômetros, sempre colocados juntos às camadas arenosas mais permeáveis.

A maior parte dos piezômetros teve seus níveis d'água monitorados por seis vezes no período de julho de 1992 a agosto de 1994. As FIGURAS 6.3a a 6.3d e a TABELA 6.1 mostram as cotas dos níveis potenciométricos monitorados. As variações de níveis d'água num mesmo piezômetro são relativamente pequenas e estão ligadas a fatores relacionados à sazonalidade. A exceção fica por conta do piezômetro PZG2, cuja variação de nível d'água chega a pouco mais de 2,5 metros. Esta situação está relacionada à operação de uma bateria de poços para a realização de uma obra de rebaixamento de nível d'água próximo ao local do piezômetro, visando a construção de um túnel da Eletropaulo.

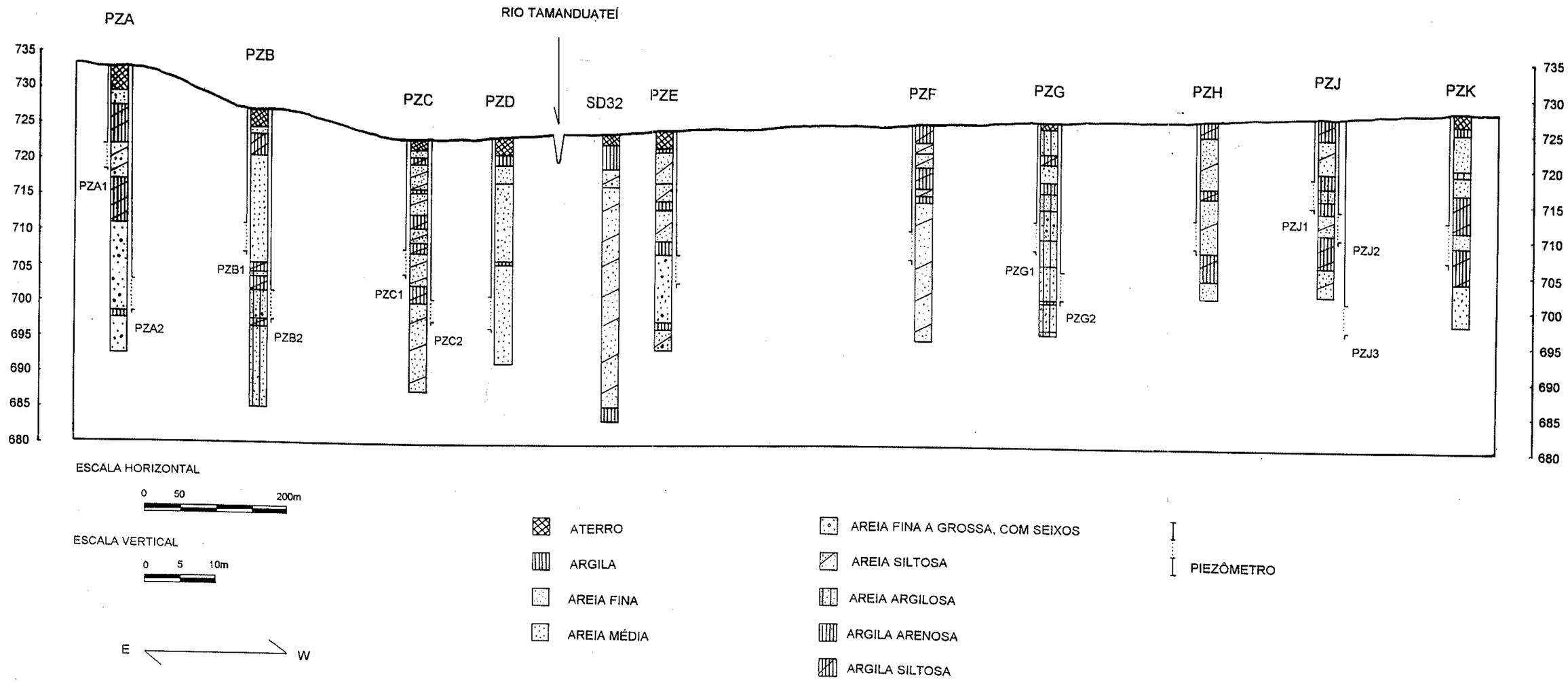


FIGURA 6.2 - Perfil geológico construtivo dos piezômetros do rio Tamanduatei executados pela Cia Metrô.

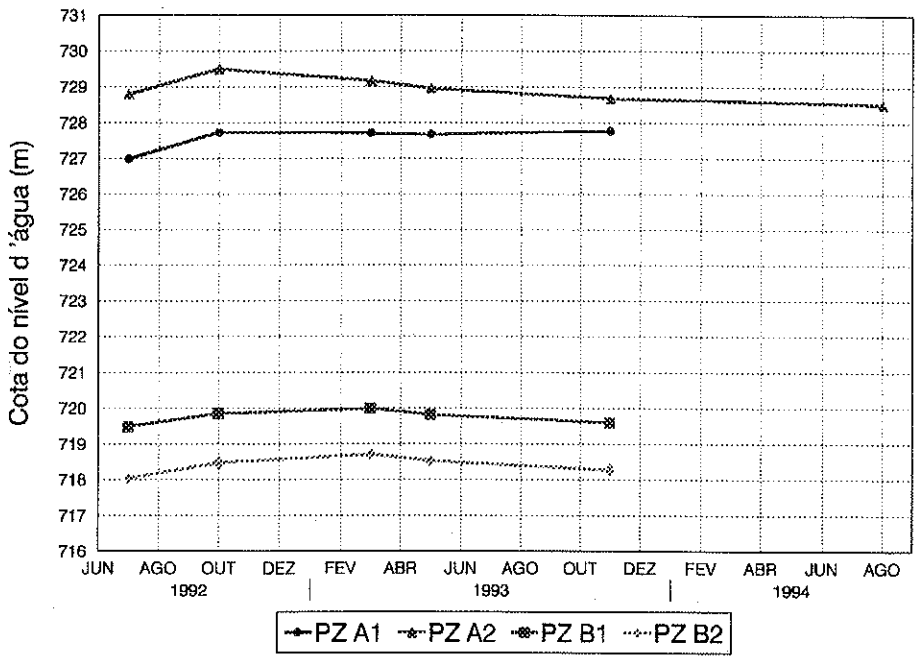


FIGURA 6.3a - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZA1, PZA2, PZB1 e PZB2.

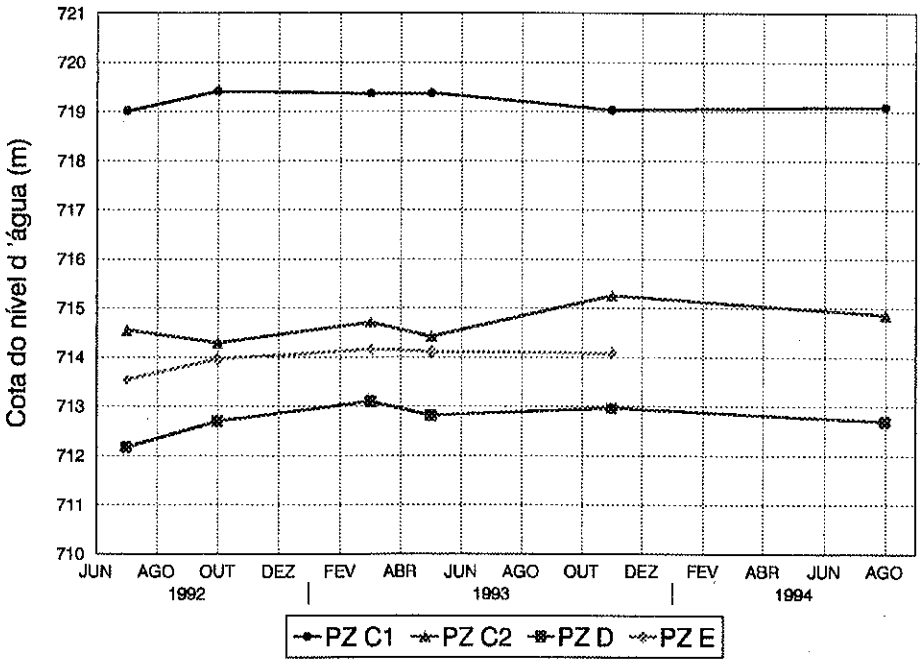


FIGURA 6.3b - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZC1, PZC2, PZD e PZE.

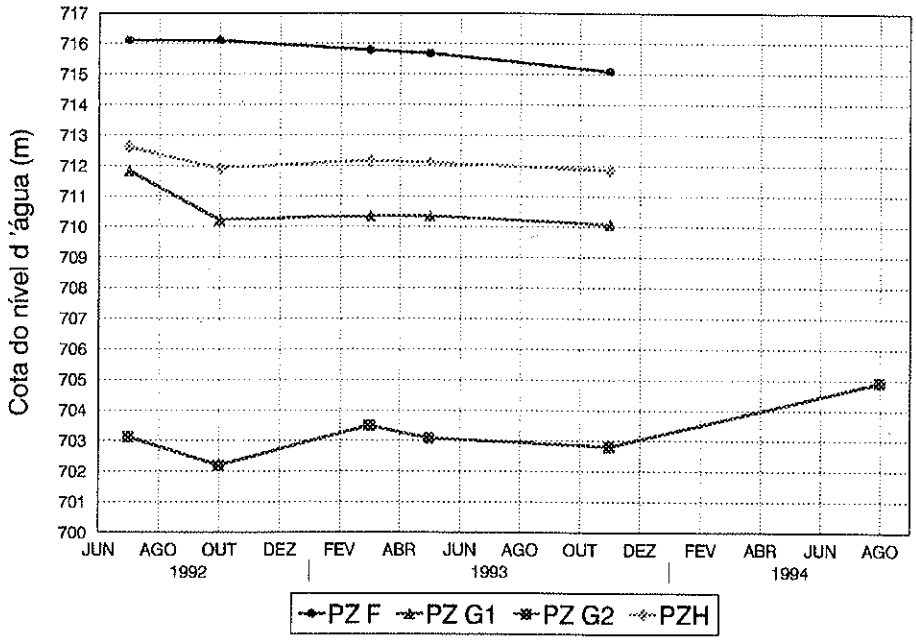


FIGURA 6.3c - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZF, PZG1, PZG2 e PZH.

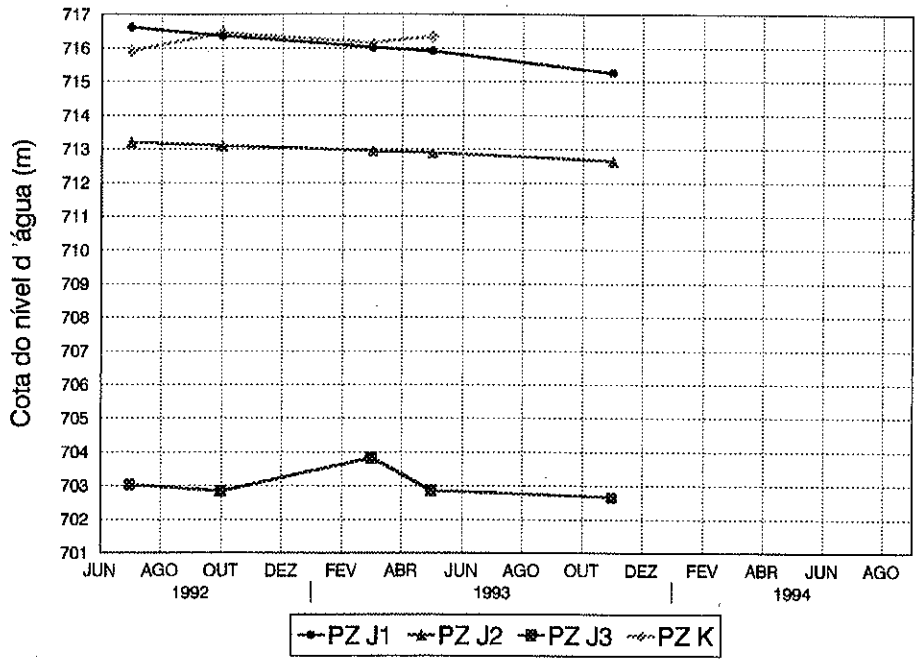


FIGURA 6.3d - Monitoramento dos níveis d'água dos piezômetros PZJ1, PZJ2, PZJ3 e PZK.

TABELA 6.1 - MONITORAMENTO DOS NÍVEIS D'ÁGUA DOS PIEZÔMETROS DO METRÔ (cotas em metros).							
	abril/91	01/07/92	21/10/92	07/03/93	07/05/93	23/11/93	26/08/94
PZA1	727.06	726.97	727.72	727.70	727.66	727.76	
PZA2	716.77	728.79	729.49	729.16	728.95	728.68	728.52
PZB1	720.06	719.48	719.84	719.98	719.81	719.58	
PZB2	718.61	718.01	718.46	718.69	718.51	718.27	
PZC1	718.90	719.01	719.41	719.36	719.37	719.03	719.09
PZC2	714.99	714.54	714.28	714.71	714.42	715.25	714.86
PZD	713.94	712.17	712.69	713.10	712.81	712.96	712.69
PZE	716.11	713.54	713.96	714.15	714.11	714.08	
PZF	713.03	716.10	716.10	715.78	715.67	715.09	
PZG1	712.57	711.82	710.22	710.34	710.34	710.08	
PZG2	704.09	703.12	702.19	703.49	703.07	702.79	704.91
PZH	713.03	712.61	711.91	712.16	712.10	711.86	
PZJ1	719.46	716.61	716.36	716.01	715.91	715.26	
PZJ2	713.54	713.20	713.10	712.95	712.89	712.64	
PZJ3	702.44	703.03	702.84	703.83	702.86	702.66	
PZK	722.97	715.90	716.45	716.15	716.34		

A FIGURA 6.4 mostra um perfil hidrogeológico destes piezômetros do Metrô destacando a posição dos níveis potenciométricos em relação ao seu ponto de tomada de pressão e também em relação à cota de base do rio Tamanduateí. As cotas de níveis potenciométricos adotadas nesta figura correspondem a uma média aritmética simples dos níveis monitorados de julho de 1992 a maio de 1993, que corresponde à situação de uma medição para cada estação do ano.

Com a observação do comportamento dos níveis d'água nos piezômetros multiníveis, nota-se que, com a exceção do piezômetro PZA, todos os demais piezômetros indicam condições de fluxos descendentes de água subterrânea e, portanto, condições de recarga dos níveis aqüíferos monitorados, numa área em que teoricamente deveria estar apresentando situação oposta, já que o rio Tamanduateí deveria representar a zona de descarga destes níveis aqüíferos. Todos os piezômetros, inclusive, e também com a exceção do piezômetro PZA, apresentam níveis potenciométricos abaixo da cota de base do rio Tamanduateí. Esta situação está provavelmente relacionada ao rebaixamento de níveis devido à operação de poços profundos e/ou à realização de obras geotécnicas.

Estes dados de níveis d'água refletem, entretanto, a potenciometria dos níveis aqüíferos monitorados, e não exatamente o fato de que o rio Tamanduateí possua a característica de ser influente. As FIGURAS 6.5a e 6.5b mostram os dados de profundidade de níveis d'água monitorados durante a execução dos furos de sondagem dos piezômetros. Cada ponto representa uma medida de nível d'água tomado no momento do início dos trabalhos de aprofundamento do furo.

De uma forma geral, nota-se que a primeira medida de níveis d'água encontrada durante as perfurações encontra-se relativamente próxima à superfície do terreno, mas que, na medida em que os furos se tornam mais profundos, os níveis d'água também se apresentam mais profundos, indicando que os níveis aqüíferos sotopostos encontram-se sob menores cargas hidráulicas.

A plotagem dos dados do primeiro nível d'água encontrado nos furos de sondagem dos piezômetros (FIGURA 6.4) mostra uma superfície freática acompanhando as formas da topografia e predominantemente encerrada nos níveis mais argilosos. Nas proximidades do rio Tamanduateí esta superfície situa-se pouco acima da cota de base do rio, indicando condições de descarga do aqüífero freático. A ocorrência de descarga do aqüífero no rio deve ser muito pequena, já que o gradiente hidráulico é muito baixo e o fundo do canal do rio deve estar encerrado numa camada de argila no local.

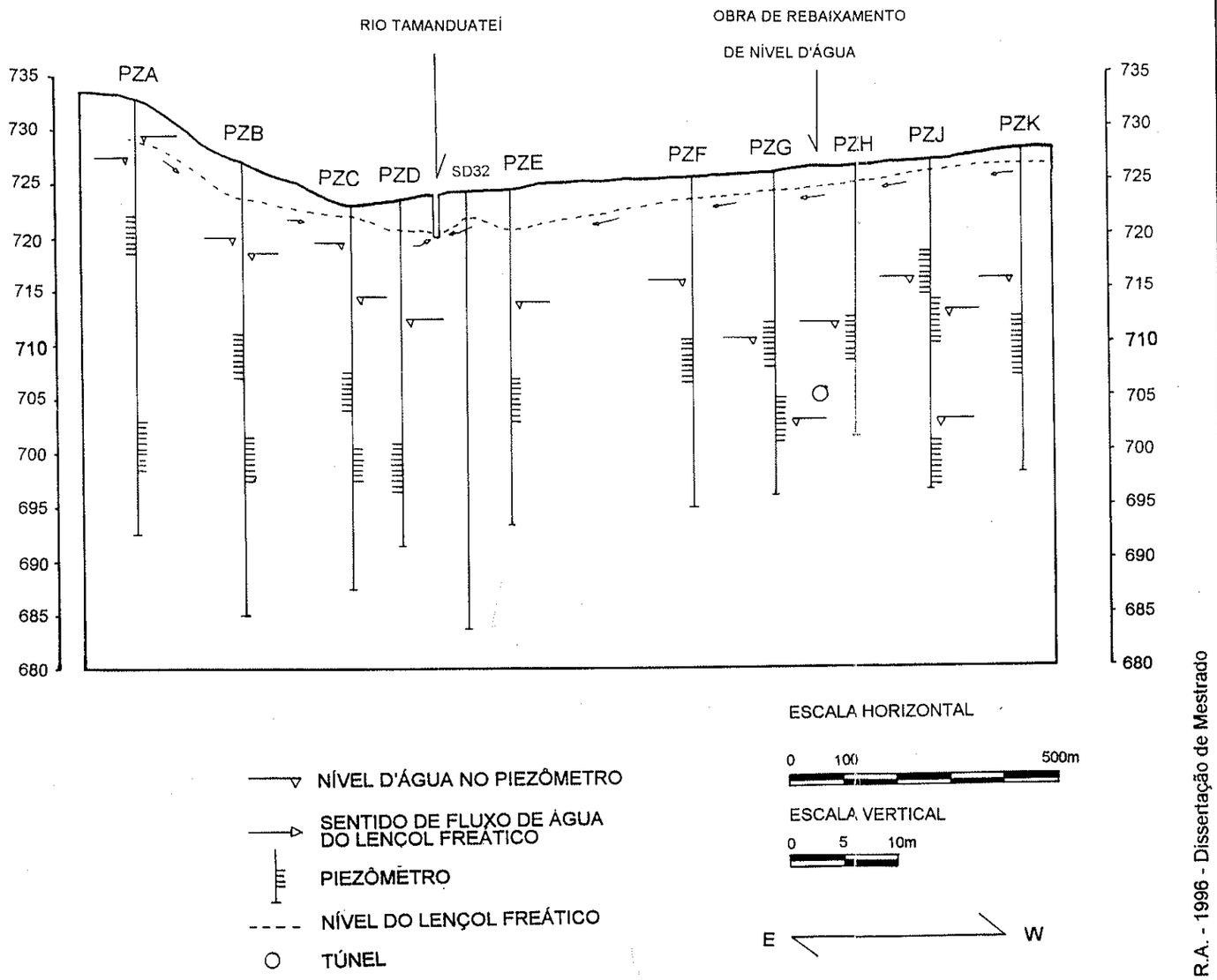
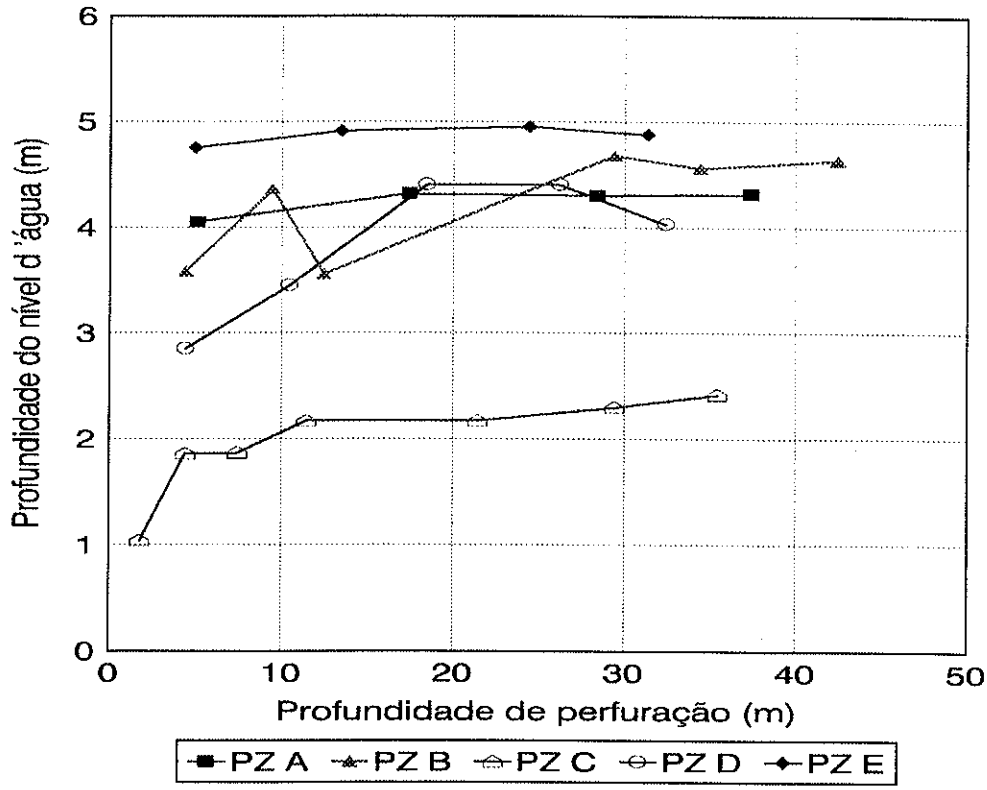


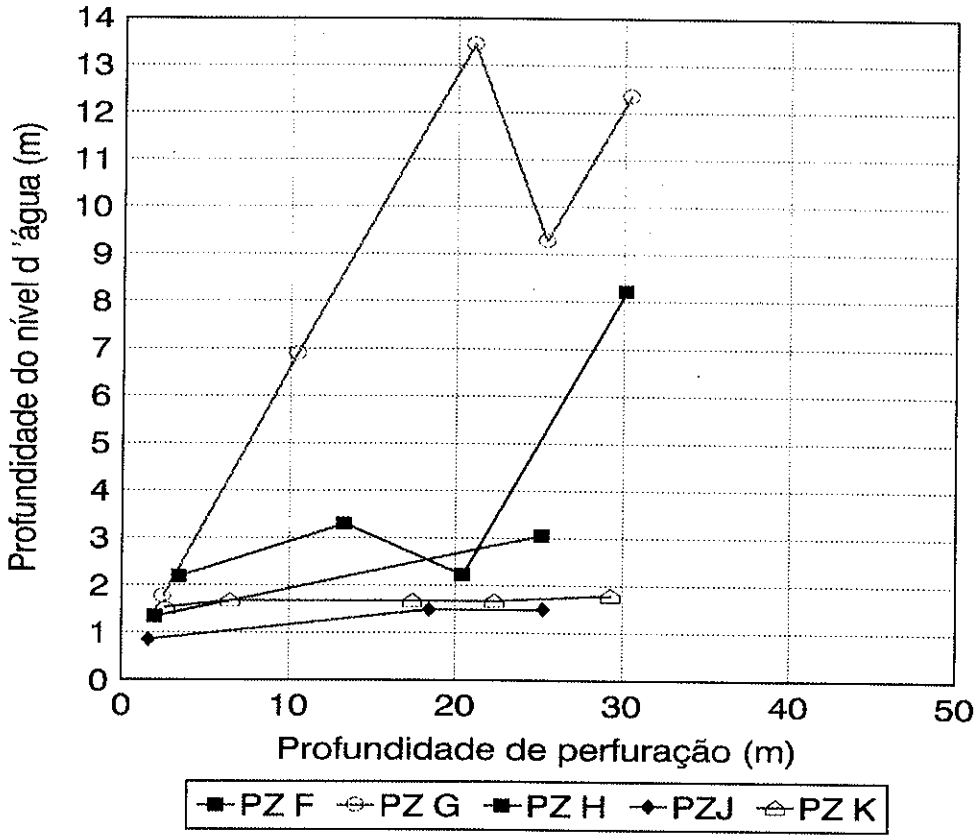
FIGURA 6.4 - Perfil hidrogeológico dos piezômetros do rio Tamanduateí.

BERTOLO, R.A. - 1996 - Dissertação de Mestrado



OBSERVAÇÃO: Medições de nível d'água tomados diariamente. Período de realização dos furos de sondagem: PZA - 22/01 a 25/01/91; PZB - 07/11 a 14/11/90; PZC - 03/01 a 10/01/90; PZD - 29/10 a 05/11/90; PZE - 05/02 a 07/02/91

FIGURA 6.5a - Comportamento do nível d'água durante a perfuração das sondagens PZA, PZB, PZC, PZD e PZE.



OBSERVAÇÃO: Medições de nível d'água tomados diariamente. Período de realização dos furos de sondagem: PZF - 18/01 a 22/01/91; PZG - 23/10 a 29/10/90; PZH - 05/01 a 10/01/90; PZJ - 16/01 a 19/01/91; PZE - 06/11 a 10/11/90.

FIGURA 6.5b - Comportamento do nível d'água durante a perfuração das sondagens PZF, PZG, PZH, PZJ e PZK.

Cabe menção, entretanto, que os dados disponíveis não permitem a realização de um diagnóstico seguro sobre as relações entre o rio Tamanduateí e o aqüífero freático, já que os dados de níveis d'água dos furos de sondagem foram tomados em meses diferentes e não há dados de monitoramento contínuo desses níveis freáticos, no sentido de se investigar os efeitos da sazonalidade sobre estes níveis.

Novas pesquisas devem ser realizadas no sentido de se monitorar as variações sazonais de níveis do aqüífero freático, e no sentido de se determinar as possíveis variações da carga hidráulica aqüífera no fundo do canal do rio, através da instalação de piezômetros. Outra possibilidade objetiva de se investigar a eventual infiltração da água do rio no aqüífero pode se dar através da realização de análises química/bacteriológica da água dos piezômetros do Metrô próximos ao rio, principalmente no que se refere aos parâmetros da série do nitrogênio, cloreto e coliformes fecais.

6.1.3) Ensaios de Condutividade Hidráulica

Após a construção dos piezômetros, a Cia Metrô realizou ensaios de infiltração com carga variável para a determinação do parâmetro condutividade hidráulica. Além destes ensaios, o Metrô também realizou um ensaio de recuperação na sondagem SD32. Os dados destes ensaios encontram-se disponíveis e foram tratados para a obtenção deste parâmetro.

Os dados dos ensaios de infiltração com carga variável foram obtidos a partir do preenchimento do piezômetro com água até a boca e a realização de medições periódicas do rebaixamento dos níveis d'água após a interrupção do fornecimento de água. Os dados de tempo e rebaixamento são, então, tratados de acordo com método de cálculo de condutividade hidráulica que melhor se adapte às condições do ensaio.

De acordo com os dados disponíveis, o método de cálculo de condutividade hidráulica a partir de ensaio de infiltração com carga variável que melhor se ajusta às características geológicas e construtivas do perfil do piezômetro é dado pela fórmula obtida por Gilg & Gavard (1957, *apud* ABGE, 1981), onde:

$$K = \frac{\Delta H}{\Delta t} \cdot \frac{(d_1)^2}{4\, H_m\, [(2L/6{,}2) + d]}$$

onde:

ΔH = diferença de carga hidráulica entre o início e o fim do ensaio;

Δt = tempo entre o início e o fim do ensaio;

L = trecho aqüífero ensaiado;

d_1 = diâmetro do tubo de revestimento;

d = diâmetro da perfuração; e

$H_m = n_e - \Delta H/2$, onde n_e corresponde ao nível estático inicial.

O procedimento de cálculo consiste inicialmente na plotagem dos dados de tempo e rebaixamento em papel monolog. O trecho de comportamento linear do gráfico é o válido para efeito de obtenção da variação da carga hidráulica ao longo do ensaio, correspondente ao termo $\Delta H/\Delta t$.

O ensaio de recuperação realizado na sondagem SD32 consistiu na retirada de um volume de água do interior da sondagem parcialmente revestida e na realização de medições periódicas da recuperação dos níveis da água subterrânea. Os dados disponíveis foram plotados em papel monolog, sendo colocado o tempo em escala logarítmica (abcissa) e a razão entre a carga hidráulica (h_t) num determinado tempo "t" e a carga hidráulica inicial (h_o) no tempo inicial "t_o" na ordenada. Tomando-se o trecho linear da curva construída, aplicou-se a seguinte fórmula para obtenção do parâmetro condutividade hidráulica, desenvolvida pelo U.S. Department of the Navy (1982, *apud* Cedergren, 1989):

$$K = \frac{R^2}{2L} \cdot \ln (L/R) \cdot \frac{\ln (h1/h2)}{(t2-t1)}$$

onde:

- h1, h2, t1, t2 = cargas hidráulicas inicial e final para os tempos inicial e final, obtidos a partir do gráfico construído;
- L = trecho aqüífero ensaiado;
- R = raio da perfuração; e
- r = raio interno do tubo de revestimento.

A TABELA 6.2 mostra os resultados obtidos a partir do tratamento dos dados de ensaio de infiltração com carga variável dos piezômetros e dos dados de ensaio de recuperação da sondagem SD32.

Observa-se, nesta tabela, que os trechos onde se deram os ensaios correspondem àqueles mais permeáveis, predominantemente arenosos. Nota-se uma sutil relação diretamente proporcional entre a granulometria do trecho ensaiado e a condutividade hidráulica correspondente. A predominância de valores baixos de condutividade hidráulica se deve à elevada quantidade de sedimentos argilosos e siltosos na matriz dos sedimentos. Mesmo assim, observa-se diferenças da ordem de 39 vezes entre as condutividades hidráulicas maior e menor calculadas.

TABELA 6.2 - CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS CALCULADAS PARA OS PIEZÔMETROS DO METRÔ			
Piezômetro/ Sondagem	Trecho ensaiado (m)	Geologia	Condutividade Hidráulica (cm/s)
PZA1	10,8 a 13,3	areia fina e média siltosa	$24,1 \times 10^{-6}$
PZA2	30,0 a 34,5	areia fina, média e grossa, argilosa, compacta	$58,0 \times 10^{-6}$
PZC1	15,6 a 19,0	areia fina e média, siltosa, compacta	$6,5 \times 10^{-6}$
PZC2	22,6 a 25,8	areia fina e média, siltosa, compacta	$3,6 \times 10^{-6}$
PZD	21,9 a 26,3	areia fina e média pouco argilosa, compacta	$3,0 \times 10^{-6}$
PZE	17,4 a 21,5	areia fina, média e grossa, siltosa, com cascalhos finos e médios, compacta	$45,7 \times 10^{-6}$
PZF	14,9 a 19,0	areia média grossa, siltosa, compacta	$1,8 \times 10^{-6}$
PZG1	13,8 a 18,0	areia fina muito argilosa compacta, passando para areia fina e média argilosa com cascalhos finos e médios	$1,5 \times 10^{-6}$
PZH	14,0 a 18,0	areia média e grossa, pouco argilosa, com pedregulhos finos e médios, passando para areia fina siltosa compacta	$1,8 \times 10^{-6}$
PZJ2	12,8 a 17,0	areia fina siltosa compacta	$8,7 \times 10^{-6}$
SD32	10,0 a 40,4	areia fina e média siltosa, compacta	$14,3 \times 10^{-6}$

OBSERVAÇÃO: condutividades hidráulicas obtidas em ensaios de infiltração com carga variável, com exceção da SD32 (ensaio de recuperação).

6.2) RIO TIETÊ

6.2.1) Dados Disponíveis

O comportamento da água subterrânea do aqüífero sedimentar superficial próximo ao rio Tietê foi investigado através da construção de três poços de observação e quatro piezômetros na área da Associação Desportiva "Polícia Militar", localizada na via marginal do rio Tietê, em frente à saída para a rodovia Presidente Dutra. A disposição dos poços de observação e piezômetros, em perfil transversal ao rio Tietê, pode ser observada no MAPA 1 (anexo).

As perfurações dos três poços de observação (PO1, PO2, e PO3), foram executadas através de trado manual de 6". Um exemplo de perfil geológico-construtivo de um dos poços de observação pode ser visto na FIGURA 6.6. Nestes furos foram instalados tubos de PVC de 3" com ranhuras protegidas por telas de "nylon" no último metro. O espaço anelar entre o furo e o tubo foi preenchido com areia média e, ao redor da boca do poço, foi construída uma laje de proteção sanitária. A profundidade máxima dessas sondagens alcançou 5 metros. Não houve a possibilidade de maior aprofundamento dessas sondagens por esse método pois ocorriam desmoronamentos das paredes dos furos quando o trado atravessava camadas de areia grossa. Por vezes, houve a necessidade de utilização de caldo de bentonita para dar estabilidade às paredes dos furos.

No caso específico do poço de observação PO3, a perfuração a trado não se mostrou satisfatória para atravessar uma camada de material de aterro, constituído de tijolos, blocos de concreto e borracha. Quando a sondagem já contava com 4,5 metros, ocorreu uma obstrução por entulho a 2,2 metros de profundidade, provocado pelo atrito da ferramenta contra a parede do furo.

Com o objetivo de se investigar as camadas aqüíferas mais profundas, deu-se os trabalhos de execução de três piezômetros (PZ1, PZ2, PZ3), construídos através de cravação de tubos de aço de 3/4" de diâmetro, utilizando-se o equipamento Pionjär 120 como percursor. Localizam-se junto dos poços de observação e alcançam profundidades de até 8,7 metros. Estes piezômetros, entretanto, não estão operando de forma adequada, encontrando-se obstruídos. Durante a cravação dos tubos, encontrou-se uma camada de argila cinza esverdeada extremamente

resistente à penetração (descrita no poço de observação PO1), e que, segundo Riccomini (informação verbal) seria correspondente às argilas lacustres da Formação Tremembé. Os trabalhos posteriores de limpeza desses piezômetros, inclusive, não resultaram na desobstrução das entradas de água dos tubos.

Na tentativa de superar a espessura da camada argilosa, para que se tornasse possível a investigação do segundo horizonte aqüífero próximo ao rio Tietê, deu-se os trabalhos de construção do piezômetro PZ4. Este piezômetro, localizado a apenas 7 metros da margem direita do rio, teve os seus quatro primeiros metros perfurados a trado (SD4), de onde se tomou a medida do nível d'água. Deu-se, então, no interior desse furo, o início da sondagem por percussão, utilizando-se novamente o Pionjär 120. Este procedimento teve como objetivo a redução do atrito da parede do furo sobre o tubo de aço em penetração. Entretanto, a 5,3 metros deu-se o início de uma camada altamente resistente à penetração e o limite de operacionalidade do equipamento aconteceu quando o tubo de aço alcançou os 8,6 metros. Este piezômetro, assim como os demais, também não se encontra em funcionamento.

Desta forma, os dados hidrogeológicos disponíveis para a investigação das relações hidráulicas entre o rio Tietê e o aqüífero são aqueles obtidos dos poços de observação, que monitoram exclusivamente o aqüífero freático.

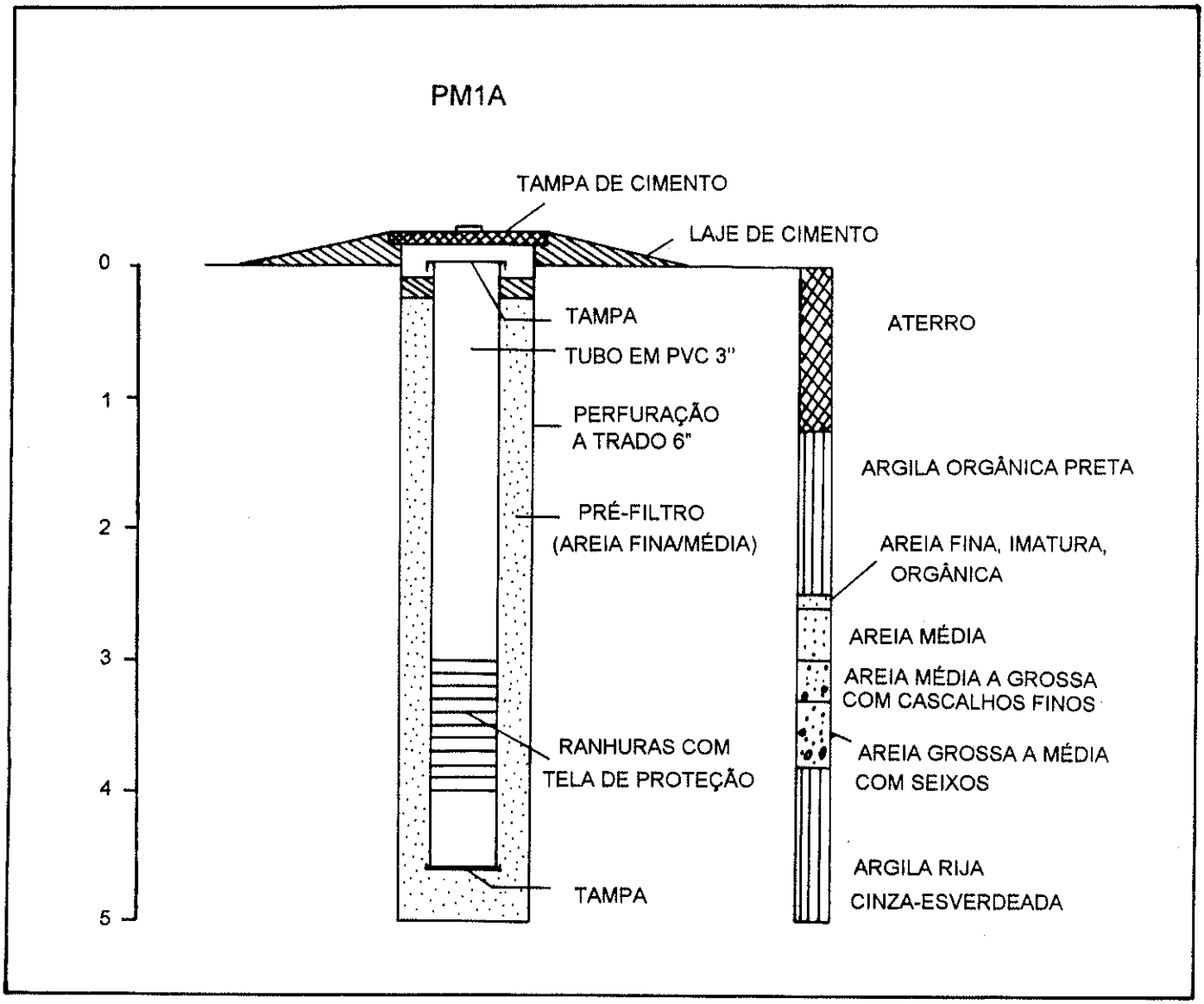


FIGURA 6.6 - Exemplo de perfil geológico coonstrutivo de poço de observação junto ao rio Tietê.

6.2.2) Comportamento dos Níveis D'Água

A FIGURA 6.7 mostra um perfil geológico construtivo dos poços de observação e piezômetros localizados junto ao rio Tietê. Nos poços de observação PO1 e PO2 e na sondagem SD4 nota-se a ocorrência de sedimentos aluvionares recentes associados ao rio Tietê, representados pela alternância de camadas friáveis de sedimentos argilosos e arenosos a conglomeráticos, formando granodecrescência e misturas de diferentes proporções. No poço de observação PO1 ocorre uma camada de argila cinza esverdeada compacta e homogênea que deve apresentar uma considerável extensão lateral nesta escala, devido à presença de camadas resistentes em todos os piezômetros (PZ1 a PZ4). O poço de observação PO3 apresenta perfil geológico diferenciado, com uma espessa camada de aterro. De acordo com informações obtidas na Associação Desportiva "Polícia Militar", o local deste poço de observação corresponde ao aterro de um meandro abandonado por ocasião da retificação do traçado do rio Tietê.

Os poços de observação tiveram seus níveis d'água monitorados no período de junho de 1993 a junho de 1994. A FIGURA 6.8 e a TABELA 6.3 mostram as cotas dos níveis potenciométricos monitorados. As variações de níveis d'água são devidas a fatores relacionados à sazonalidade, com exceção do poço de observação PO3, que apresentou brusca queda de níveis após o conserto de um vazamento de tubulação de água próxima. Na sondagem SD4 apenas um dado de nível d'água foi obtido durante a construção do piezômetro PZ4.

A FIGURA 6.9 mostra um perfil hidrogeológico dos poços de observação destacando a posição dos níveis d'água sempre acima da cota de base do rio Tietê e acompanhando aproximadamente a topografia do terreno, formando uma única e contínua superfície freática em conexão com o rio Tietê. Os fluxos de água subterrânea, neste caso, possuem sentido para o rio Tietê, que corresponde à zona de descarga do aqüífero freático. Este fato é, inclusive, evidenciado pela existência de uma nascente na margem do rio próxima à sondagem SD4.

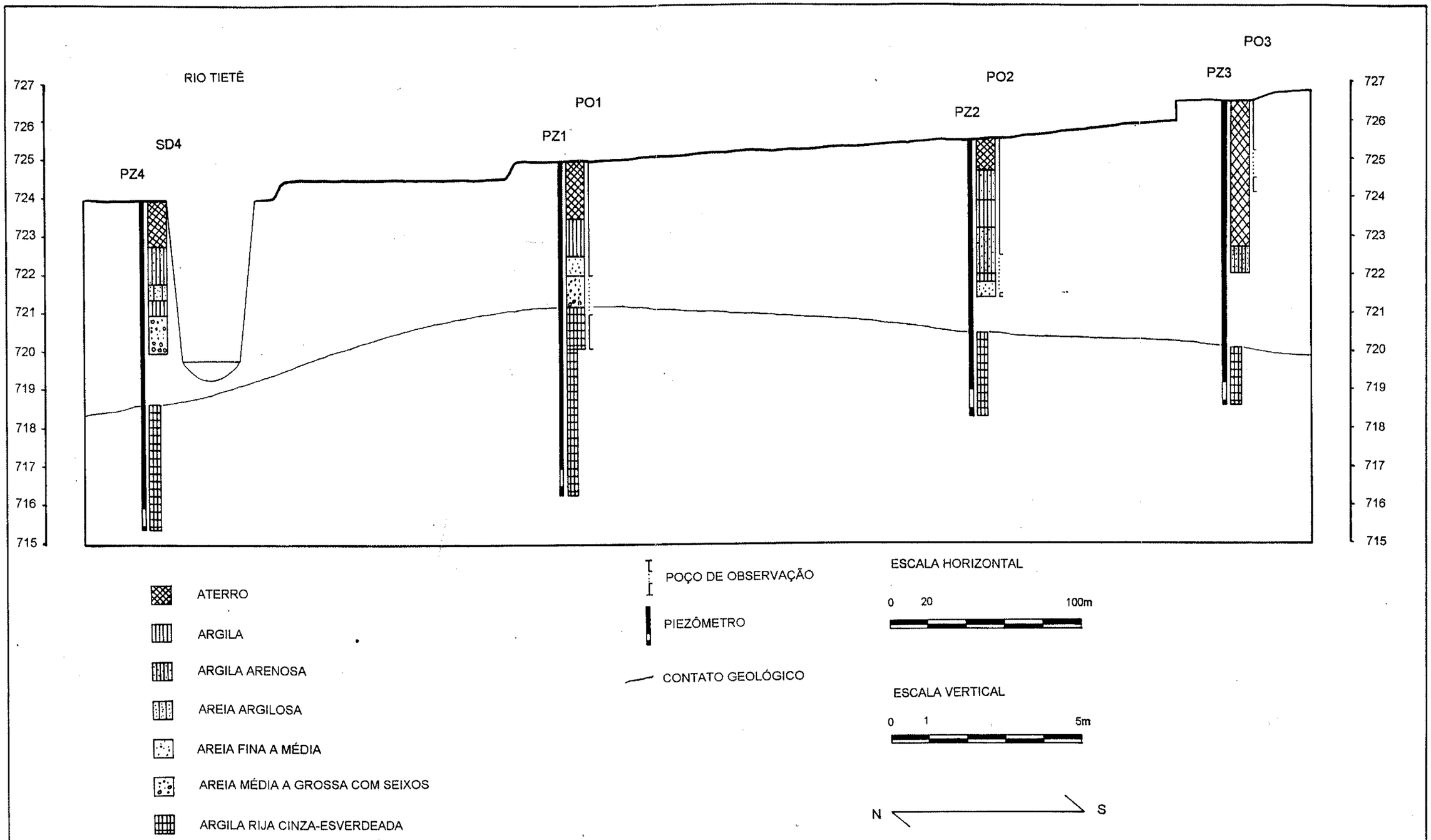


FIGURA 6.7 - Perfil geológico construtivo dos poços de observação e piezômetros do rio Tietê.

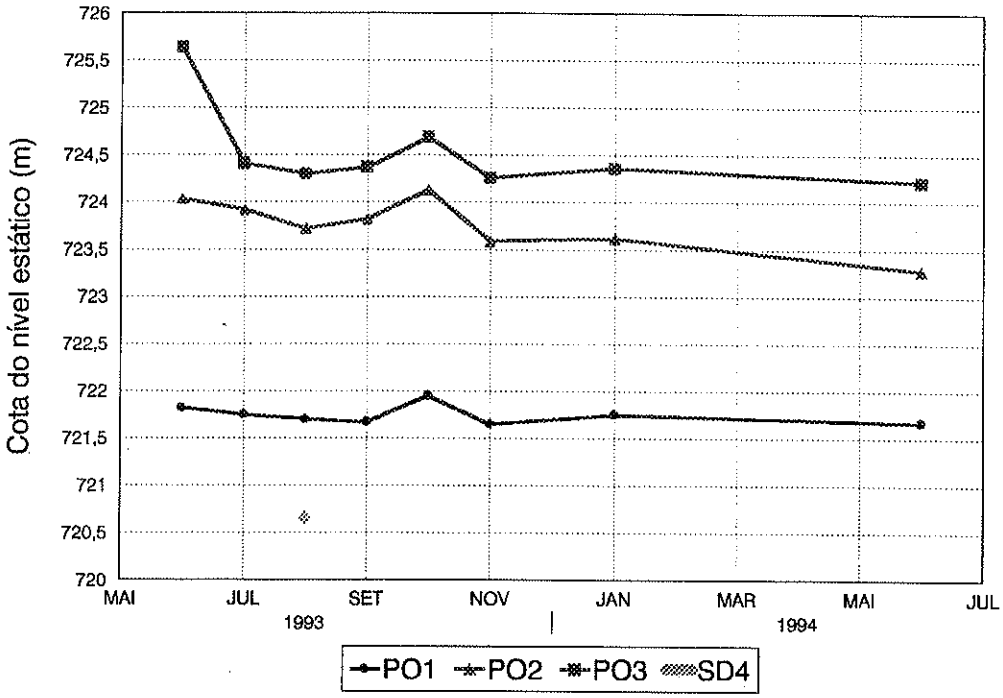


FIGURA 6.8 - Monitoramento dos níveis d'água dos poços de observação PO1, PO2, PO3 e SD4.

TABELA 6.3 - MONITORAMENTO DOS NÍVEIS D'ÁGUA DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO PO1, PO2, PO3 E SD4 (cota em metros).

	PO 1	PO 2	PO 3	SD4
23.06.93	721.83	724.10	725.66	
29.06.93	721.82	724.04	725.64	
24.07.93	721.75	723.92	724.41	
12.08.93				720.65
17.08.93	721.70	723.72	724.30	
14.09.93	721.67	723.82	724.37	
14.10.93	721.95	724.13	724.69	
17.11.93	721.70	723.76	724.38	
23.11.93	721.65	723.59	724.26	
04.01.94	721.75	723.62	724.36	
18.06.94	721.67	723.28	724.22	

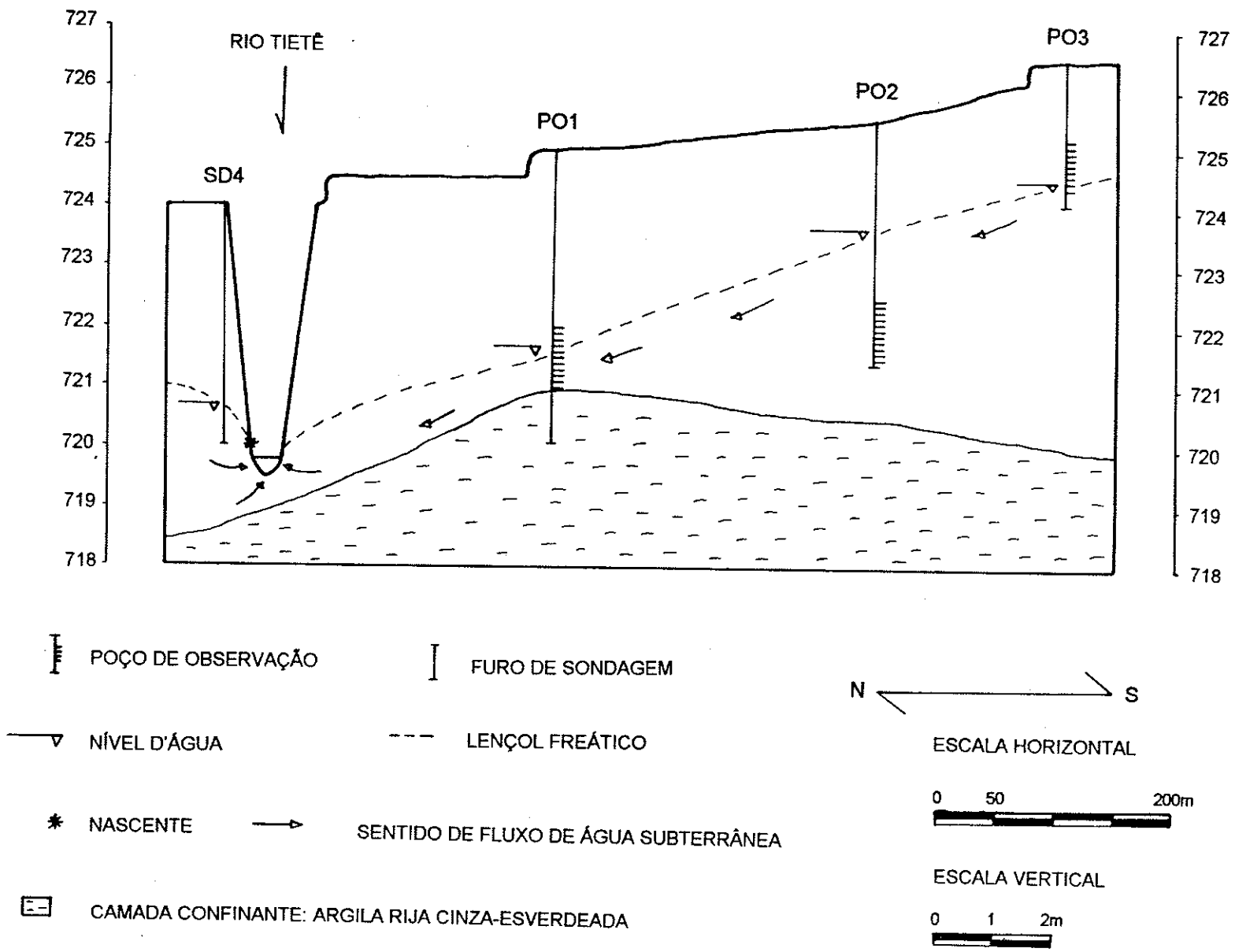


FIGURA 6.9 - Perfil hidrogeológico dos poços de observação do rio Tietê.

BERTOLO, R.A. - 1996 - Dissertação de Mestrado

6.2.3) Ensaios de Condutividade Hidráulica

Para a obtenção do parâmetro condutividade hidráulica do aqüífero freático junto ao rio Tietê, foram realizados um ensaio de infiltração com carga constante no poço de observação PO1 e um ensaio de infiltração com carga variável no poço de observação PO2.

A metodologia de campo empregada para a realização do ensaio de infiltração com carga variável no poço de observação PO2 é idêntica à realizada para os piezômetros do rio Tamanduateí, através do preenchimento do poço de observação com água até a boca e a realização de medições periódicas do rebaixamento dos níveis d'água após a interrupção do fornecimento de água. O método de cálculo da condutividade hidráulica corresponde à mesma fórmula utilizada para os piezômetros do rio Tamanduateí.

A obtenção da condutividade hidráulica através do ensaio de infiltração com carga constante, realizado no poço de observação PO1, consiste na aplicação de uma determinada vazão constante no interior do poço onde o nível d'água permanece constante. A realização deste ensaio se dá normalmente em ocasiões de elevada permeabilidade do terreno. O dado obtido de vazão é, então, tratado na seguinte fórmula (Zangar 1953, *apud* ABGE 1981):

$$K = \frac{Q}{h} \cdot \frac{6{,}2}{2.\Pi.L} \approx \frac{Q}{h.L}$$

onde:

Q = vazão constante obtida durante o ensaio;

h = profundidade do nível estático inicial;

L = espessura aqüífera ensaiada.

A TABELA 6.4 mostra os resultados obtidos a partir do tratamento dos dados dos ensaios realizados:

TABELA 6.4 - CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS CALCULADAS PARA OS POÇOS DE OBSERVAÇÃO PO1 E PO2.				
Poço de Observação	Trecho ensaiado (m)	Método	Geologia	Condutividade Hidráuliça (cm/s)
PO1	3,0 a 4,1	carga constante, fundo impermeável	Areia média a grossa friável com seixos na base	$5,7 \times 10^{-3}$
PO2	2,3 a 4,0	carga variável	Argila muito arenosa a areia fina a média	$0,3 \times 10^{-3}$

Os valores de condutividade hidráulica obtidos estão de acordo com a granulometria do sedimento, isto é, quanto maior a granulometria, maior a condutividade hidráulica. No caso do poço de observação PO1, o valor da condutividade hidráulica deve estar subdimensionado pois a granulometria da geologia testada é maior que a granulometria do material de pré-filtro utilizado, de natureza arenosa média.

Com base nos valores obtidos de condutividade hidráulica, a velocidade real da água subterrânea do aqüífero freático pode ser estimada de acordo com a seguinte relação:

$$Vr = \frac{K.i}{n_{ef}}$$

onde:

K = condutividade hidráulica;

i = gradiente hidráulico entre dois pontos considerados;

n_{ef} = porosidade efetiva.

Adotando-se um valor médio de condutividade hidráulica entre o poço de observação PO2 e o rio Tietê de $1,0 \times 10^{-3}$ cm/s, para um gradiente hidráulico de 0,0078 (3,9 metros de carga hidráulica entre o poço de observação e o rio para 500 metros de distância entre os dois pontos), e adotando-se uma porosidade efetiva de 25%, a velocidade da água subterrânea entre os dois pontos considerados pode ser estimada como sendo de $3,1 \times 10^{-5}$ cm/s, ou de 2,7 cm/dia. A baixa velocidade da água subterrânea obtida é devida, principalmente, ao baixo gradiente hidráulico entre os pontos considerados no local.

7) CONCLUSÕES

Considerando os objetivos iniciais deste estudo, de se caracterizar a relação existente entre a exploração intensiva de água subterrânea e a dinâmica hidráulica entre os rios e aquíferos, através do estabelecimento do modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo e através do monitoramento de piezômetros e poços de observação próximos aos rios Tamanduateí e Tietê, algumas conclusões foram estabelecidas.

Quanto ao modelo de circulação da água subterrânea na área de estudo, observou-se que o aqüífero sedimentar apresenta espessuras que variam de 0 a 250 metros e que sua geometria é condicionada pelo comportamento do embasamento cristalino, que se mostra acidentado devido à ação de falhamentos que geraram *grabens* e *horsts*. Os sedimentos apresentam-se extremamente heterogêneos e são formados por intercalações de camadas argilosas e arenosas de diferentes espessuras e descontínuas horizontal e verticalmente, o que caracteriza o aqüífero como de natureza predominantemente semi-confinado, heterogêneo e anisotrópico, favorecendo a ocorrência de aquíferos locais com variados graus de conexão hidráulica entre si.

O estudo do comportamento dos níveis de água subterrânea nos poços tubulares profundos, sondagens geotécnicas rasas e piezômetros revelaram algumas informações importantes quanto à forma de circulação da água subterrânea.

Quanto aos níveis de água nos poços profundos, observou-se a ocorrência de um processo de abatimento dos níveis potenciométricos na escala da área de estudo causado pela exploração excessiva de água subterrânea e a existência de um comportamento diferenciado destes níveis em áreas mais ou menos arenosas do aqüífero sedimentar. No geral, entretanto, observou-se que os níveis d'água se tornam progressivamente mais profundos ao longo do tempo, na medida em que o bombeamento se torna mais intensivo. Há, também, uma tendência de que quanto mais profundo o poço, mais profundo se torna o nível d'água no seu interior, já que a exploração se dá principalmente na base do aqüífero sedimentar.

Observou-se, também, que o bombeamento dos poços profundos não chega a gerar rebaixamentos generalizados nos níveis d'água do aqüífero freático, já que estes níveis são verificados próximos à superfície nas sondagens e piezômetros. Foi verificada, porém, através da

análise de níveis d'água em dados históricos de sondagens, a predominância de condições de recarga do aqüífero sedimentar em praticamente toda a área de estudo.

O bombeamento intensivo de água subterrânea não provoca rebaixamento generalizado na porção freática do aqüífero sedimentar devido à sua extrema heterogeneidade vertical, que gera uma série de patamares aquíferos de natureza semi-confinada, delimitados por camadas drenantes de natureza pelítica. Esta heterogeneidade vertical deve imprimir mudanças nas propriedades hidráulicas espaciais do aqüífero, de forma que a componente vertical da condutividade hidráulica seja muitas vezes menor que a componente horizontal. Como os fluxos de água subterrânea se dão preferencialmente no sentido da maior condutividade hidráulica, a conexão hidráulica entre as porções rasas e as mais profundas do aqüífero sedimentar é difícil, porém possível através de drenança das camadas semi-permeáveis.

Do ponto de vista de fluxos, a água que ocorre no aqüífero sedimentar superficial deve fazer parte de um sistema de fluxos local de água subterrânea, enquanto que a água presente em poços profundos deve estar associada a um sistema de fluxos regionais.

A recarga do sistema de fluxos local deve acontecer na própria área de estudo. A elevada heterogeneidade na direção vertical do aqüífero sugere que parte da água infiltrada na área de estudo como recarga circula preferencialmente nas porções mais rasas do aqüífero, descarregando nos córregos e rios próximos. A outra parte da água infiltrada na área deve, em função do bombeamento dos poços, atingir os níveis aquíferos mais profundos da própria área através de drenança das camadas semi-permeáveis.

O aqüífero sedimentar profundo, que na área de estudo encontra-se sob baixas cargas hidráulicas em função de sua exploração intensiva, deve ser recarregado principalmente por um sistema de fluxos laterais de caráter regional e secundariamente por drenança das camadas aqüíferas sobrepostas. A área de recarga referente a este sistema de fluxos regionais deve corresponder a toda área da Bacia Hidrogeológica do Alto Tietê, incluindo o Sistema Aqüífero Cristalino.

Para ilustrar o modelo de circulação da água subterrânea, foram monitorados os níveis d'água de piezômetros junto ao rio Tamanduateí e de poços de observação junto ao rio Tietê.

Os níveis d'água monitorados nos piezômetros junto ao rio Tamanduateí mostram condições de fluxos descendentes de água subterrânea e, portanto, condições de recarga do aqüífero sedimentar nos níveis aquíferos semi-confinados monitorados. As cotas de nível d'água monitorados situam-se, inclusive, abaixo da cota de base do rio Tamanduateí. Esta situação está provavelmente relacionada ao rebaixamento de níveis ocasionados pela operação de poços profundos e/ou à realização de obras geotécnicas de rebaixamento de níveis d'água.

Os níveis d'água monitorados pelo Metrô durante a execução dos furos de sondagem desses piezômetros mostram, contudo, a existência de uma superfície freática pouco profunda e acompanhando as formas da topografia. Nas proximidades do rio Tamanduateí esta superfície freática situa-se pouco acima da cota de base do rio, indicando condições de descarga do aqüífero. Os dados disponíveis do comportamento do lençol freático no local não permitem, entretanto, a realização de um diagnóstico seguro sobre as relações entre o rio Tamanduateí e o aqüífero no local, já que os dados dos níveis freáticos dos furos de sondagem foram tomados em meses diferentes e não há dados de monitoramento contínuo desses níveis.

Já os níveis d'água monitorados nos poços de observação junto ao rio Tietê indicam a situação de descarga do aqüífero freático monitorado. Observou-se uma superfície freática contínua e em conexão com o rio apresentando gradiente hidráulico que indica fluxos de água do aqüífero para o rio. O aqüífero freático no local encontra-se totalmente isolado dos níveis aquíferos mais profundos por uma camada argilosa extremamente impermeável e de expressiva continuidade lateral para a escala de investigação.

Como sugestão para estudos posteriores, faz-se necessário monitorar as variações sazonais dos níveis d'água do aqüífero freático junto ao rio Tamanduateí e também determinar as possíveis variações da carga hidráulica aqüífera no fundo do canal do rio. Outra possibilidade objetiva de se investigar a eventual infiltração da água do rio no aqüífero pode se dar através da realização de análises químicas e bacteriológicas da água dos piezômetros do Metrô próximos ao canal do rio.

Com relação à exploração da água subterrânea através de poços profundos, a melhor caracterização dos efeitos da super-exploração do aqüífero sedimentar pode se dar através da implantação de um sistema de monitoramento contínuo em pelo menos parte dos poços em funcionamento e em contínuo processo de manutenção.

Uma colocação que já é consenso entre todos, mas que pouco foi feito de forma efetiva desde a regulamentação da Lei Estadual nº 6134 através do Decreto nº 32955, datado de 07 de fevereiro de 1991 e que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas no Estado de São Paulo, diz respeito à necessidade de se planejar a utilização deste recurso hídrico tanto do ponto de vista de quantidade como de qualidade. Faz-se urgente a implantação de um programa de controle de operação dos poços para que se estabeleçam as vazões ótimas dos poços a fim de que a vazão explorada seja ao menos da mesma ordem da recarga do aqüífero. Apesar de se tratar de um recurso renovável do ponto de vista quantitativo, é imprescindível o planejamento do uso da água subterrânea para que sejam evitados problemas econômicos e ambientais.

8) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE) - 1981 - Ensaios de Permeabilidade em Solos - Primeira Tentativa - Boletim nº 4.

BOTTURA, J.A. & FILHO, J.L.A. - 1992 - Simulação Numérica da Operação a Longo Prazo de Poço Tubular. Congr.Bras.Águas Subterrâneas, 7°. Anais...Belo Horizonte, MG. p.140-147.

CAMPOS, J.E. - 1988 - Indícios de Abatimento dos Níveis de Água Subterrânea da Bacia Sedimentar de São Paulo. Congr.Bras.Águas Subterrâneas, 5° Anais... ABAS. São Paulo. p.74-83.

CEDERGREN, H.R. - 1989 - Seepage, Drainage and Flow Nets - Third Edition - Wiley Interscience.

CHIOSSI, N.J. - 1974 - Investigações sobre a Agressividade da Água Subterrânea no Metrô de São Paulo. Cia METRÔ de São Paulo. Congr.Int.Geol.Eng., 2°. p.26-39.

CHIOSSI, N.J. - 1980 - Condições Hidrogeológicas da Bacia Sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Publ.Esp. SBG/ABGE. SP. p.95-116.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1975 - Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 1 - Grande São Paulo. 3 volumes.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S/A. (EMPLASA/SNM) - 1981 - Mapa Planialtimétrico da Região Metropolitana de São Paulo. Escala 1:25.000 - Folhas 331 e 332.

GIANCURSI, F.D.; CONEJO LOPES, M.F. - 1980 - Aspectos Hidrogeológicos da Região da Grande São Paulo. Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Publ.Esp. SBG/ABGE. São Paulo. p.117-128.

IRITANI, M.A. - 1993 - Potencial Hidrogeológico da Cidade Universitária de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IG/USP. São Paulo, 108 p.

IRITANI, M.A.; REBOUÇAS, A.C.; HASSUDA, S.; DUARTE, U.; ELLERT, N.; MENDES, J.M.B.; ROSS, S.D.; MARCELINO, M. - 1990 - Potencial Hidrogeológico do Campus USP - São Paulo. Congr.Bras. Águas Subterrâneas, 6° Anais... Porto Alegre, RS p 38-49.

JULIANI, C. - 1992 - O Embasamento Pré-Cambriano da Bacia de São Paulo. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. ABAS., ABGE, SBG/SP. p 3-20.

LEINZ, V. - 1955 - Águas Subterrâneas na Bacia de São Paulo. Bol.Soc.Bras.Geoc. São Paulo. 4(2): 5-22.

MARQUES SILVA, L. & BASANO FILHO, H. - 1972 - Levantamento Hidrogeológico da Porção Central da Bacia de São Paulo. Águas Subterrâneas. 1(2):21-27. São Paulo.

OLIVEIRA, E. - 1992 - Contaminação de Aqüíferos por Hidrocarbonetos provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo. Dissertação de Mestrado, IG/USP, São Paulo.

OLIVEIRA, E.; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A.; PACHECO, A. - 1990 - Gasoline Hydrocarbons: Groundwater Pollution Potencial in Metropolitan São Paulo. Preprints International Seminar of Pollution, Protection and Control of Groundwater, Porto Alegre, RS. p. 92-103.

PACHECO, A. - 1984 - Análise das Características Técnicas e da Legislação para Uso e Proteção das Águas Subterrâneas em Meio Urbano (Município de São Paulo). Tese de Doutoramento, IG/USP, São Paulo, 174p.

PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. - 1988 - O Problema Geo-Ambiental da Localização de Cemitérios em Meio Urbano. Congr.Bras.Águas Subterrâneas, 5° Anais... ABAS, São Paulo. p.207-15.

PACHECO, A. & REBOUÇAS, A.C. - 1985 - Aspectos de Proteção Sanitária dos Poços Tubulares no Município de São Paulo. Rev. Águas Subterrâneas, nº 9 - dez/1985.

PARISOT, E.H. - 1983 - As Águas Subterrâneas no Centro-Oeste do Município de São Paulo. Características Hidrogeológicas e Químicas. Dissertação de Mestrado, IG/USP, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. - 1980 - Aspectos Hidrogeológicos no Planejamento da Ocupação Urbana da Grande São Paulo. Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Publ. Esp. SBG/ABGE. São Paulo, p. 129-138.

REBOUÇAS, A.C. - 1992 - Condições de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. ABAS,ABGE,SBG - SP. São Paulo. p.77-88.

RICCOMINI, C. - 1989 - O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de doutoramento, IG/USP. São Paulo, 256p.

RICCOMINI, C., COIMBRA, A.M., TAKIYA, H. - 1992 - Tectônica e Sedimentação na Bacia de São Paulo. . Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. ABAS., ABGE, SBG/SP. São Paulo. p 21-45.

ROCHA, G.A.; GONÇALVES, V.G.; REBOUÇAS, A.C.; BARRETO, L.M.B. - 1989 - Hidrogeologia da Bacia de São Paulo. Workshop Geologia da Bacia de São Paulo, SP. IG/USP,SBG/SP. São Paulo. p.44-59.

ROSS, S.D. - 1991 - Hydrogeological Study of River Connected Aquifers in Greater São Paulo, Brazil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Waterloo, Waterloo, Canada. 187p.

ROSS, S.D.; RUDOLPH, D.L.; ELLERT, N.; FARVOLDEN, R.N.; GREENHOUSE, J.P.; REBOUÇAS, A.C. - 1990 - Hydrogeological Study of the River Connected Aquifers in Greater São Paulo. Congr.Bras. Águas Subterrâneas, 6° Anais... Porto Alegre (RS). p.38-49.

SABESP/A.A. NORONHA SERVIÇOS DE ENGENHARIA S.A. - 1986 - Estudo do Potencial de Água Subterrânea na Região Metropolitana de São Paulo - Avaliação Preliminar. Relatório Técnico apresentado à SABESP. Circulação Restrita.

SABESP/CEPAS-IG-USP - 1994 - Diagnóstico Hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo - Diagnóstico Final. Convênio SABESP/CEPAS-IG-USP. São Paulo. 115p.

SZIKSZAY, M.; CONSONI, A.J.; YOKOTA, H.K.; ARAUJO, J.R.; DUARTE, U.; KANEHISA, M.S. - 1987 - Estudo Preliminar da Hidrodinâmica na Zona Não Saturada da Estação Experimental (Cidade Universitária, São Paulo). Rev.Águas Subterrâneas. (11); 33-62.

SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A.A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R.M.; SAMESHIMA, R.H. - 1990 - Evolution of the Chemical Composition of Water Passing through the Unsatured Zone to Groundwater at an Experimental Site at the University of São Paulo, Brazil. Journal of Hydrology. (118); 175-190.

TAKIYA, H. - 1991 - Aplicação de Métodos Quantitativos Espaciais a Dados Geológicos da Bacia de São Paulo. Dissertação de Mestrado - IG/USP. 109p.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

9) ANEXO 1 - CADASTRO DE POÇOS PROFUNDOS

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUÍFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INÍCIO	FIM							
1	PARI	334,80	7397,88	723	A	CORNER	1963	168,00	51	672			MISTO	713,00	10,00	97,00	6,00	0,0690	RECR
2	PARI	334,80	7397,88	723	A	CORNER	1963	147,50	46	677			MISTO	,	,	,	0,50	,	RECR
3	PARI	335,33	7397,45	723	A	JANER	1969	150,00	10	713			CRISTALINO	718,00	5,00	60,00	9,00	0,1636	IND
4	PARI	335,93	7397,39	723	A	CORNER	1966	120,00	41	682			MISTO	695,50	27,50	68,00	11,00	0,2716	IND
5	PARI	336,05	7397,30	723	A	AGUABRAS	1972	92,00	68	655			MISTO	693,00	30,00	45,00	12,00	0,8000	COM
6	BELEM	336,23	7397,31	723	B	CORNER	1970	111,00	110	613	677	623	SEDIMENTAR	688,00	35,00	60,00	27,70	1,1080	IND
7	BELEM	337,03	7396,60	725	D	CORNER	1974	142,00	138	587			SEDIMENTAR	667,00	58,00	115,00	45,00	0,7895	IND
8	BELEM	337,04	7396,64	725	D	CORNER	1941	102,00	101	624			SEDIMENTAR	705,00	20,00	44,00	55,00	2,2917	IND
9	BELEM	337,05	7396,59	725	D	CORNER	1940	102,00	100	625			SEDIMENTAR	705,00	20,00	52,00	55,00	1,7188	IND
10	TATUAPE	338,60	7396,69	727	E	CORNER	1964	95,00	92	635			SEDIMENTAR	677,00	50,00	60,50	10,00	0,9524	IND
11	TATUAPE	338,80	7396,63	731	E	CORNER	1943	94,00	92	639			SEDIMENTAR	679,00	52,00	61,00	9,50	1,0556	IND
12	TATUAPE	338,80	7396,68	730	E	CORNER	1969	96,30	96	634			SEDIMENTAR	663,00	67,00	91,00	7,20	0,3000	IND
13	TATUAPE	339,20	7396,94	728	E	CORNER	1945	117,00					SEDIMENTAR	673,00	55,00	,	42,00	,	IND
14	TATUAPE	339,20	7396,94	728	E	CORNER	1946	120,00					SEDIMENTAR	697,00	31,00	51,00	15,00	0,7500	IND
15	TATUAPE	339,20	7396,94	728	E	CORNER	1935	100,00					SEDIMENTAR	,	,	,	8,00	,	IND
16	TATUAPE	339,73	7396,64	734	E	CORNER	1966	147,00	142	592			SEDIMENTAR	669,00	65,00	78,00	18,00	1,3846	IND
17	TATUAPE	340,14	7397,09	735	E	CORNER	1969	139,00					SEDIMENTAR	665,00	70,00	86,00	14,00	0,8750	IND
18	TATUAPE	340,00	7397,30	724	E	CORNER	1969	118,00	114	610	668	623	SEDIMENTAR	666,50	57,50	77,00	16,00	0,8205	RECR
19	BM RETIRO	334,00	7397,00	721		GEOPESQ	1966	130,00					SEDIMENTAR	707,00	14,00	56,00	24,00	0,5714	IND
20	CAMBUCI	336,08	7393,94	735	F	JANER	1952	204,00	140	595			MISTO	675,00	60,00	130,00	2,00	0,0286	IND
21	PARI	334,55	7396,55	724	A	CORNER	1973	178,00	58	666			MISTO	709,00	15,00	62,00	21,80	0,4638	IND
22	BRAS	334,55	7396,23	725	A	CORNER	1951	112,00	112	613			SEDIMENTAR	710,00	15,00	22,00	28,00	4,0000	IND
23	BRAS	334,43	7396,19	725	A	CORNER	1972	102,00	93	632			SEDIMENTAR	704,00	21,00	52,00	28,00	0,9032	IND
24	BRAS	334,25	7396,13	724		CORNER	1926	114,00	114	610			SEDIMENTAR	,	,	,	20,00	,	
25	BRAS	334,25	7396,13	724		CORNER	1926	114,00	114	610			SEDIMENTAR	,	,	,	20,00	,	
26	BRAS	334,25	7396,13	724		CORNER	1926	122,00	120	604			SEDIMENTAR	,	,	,	20,00	,	
27	BRAS	334,25	7396,13	724		CORNER	1943	106,00	106	618			SEDIMENTAR	,	,	26,00	30,00	,	
28	BRAS	334,25	7396,13	724		CORNER	1927	151,00	151	573			SEDIMENTAR	,	,	,	15,00	,	
29	BRAS	334,19	7395,74	725	A	JANER	1964	122,00	119	606	684	602	SEDIMENTAR	716,00	9,00	40,00	35,00	1,1290	COM
30	BRAS	334,43	7395,73	725	A	CASTIGLION	1971	80,00					SEDIMENTAR	704,00	21,00	32,00	5,00	0,4545	
31	BRAS	334,54	7395,70	725	A	CORNER	1942	107,00	104	621			SEDIMENTAR	705,00	20,00	28,00	36,00	4,5000	IND
32	BRAS	334,15	7395,48	724	A	AIR LIFT	1969	176,00	60	664	684	639	MISTO	691,00	33,00	76,00	6,00	0,1395	IND
33	BRAS	334,06	7395,12	725	A	CORNER	1930	76,00	75	650			SEDIMENTAR	,	,	,	25,00	,	COM
34	BRAS	334,06	7395,12	725		CORNER	1930	92,00					SEDIMENTAR	,	,	,	35,00	,	COM
35	BRAS	334,06	7395,12	725	A	CORNER	1936	86,00	82	643			SEDIMENTAR	703,00	22,00	51,00	17,00	0,5862	COM
36	BRAS	334,06	7395,12	725	A	CORNER	1942	93,60	94	631			SEDIMENTAR	,	,	40,00	31,00	,	COM
37	BRAS	334,06	7395,12	725	A	CORNER	1950	92,70	93	632			SEDIMENTAR	672,00	53,00		40,00		COM
38	BRAS	334,06	7395,12	725	A	CORNER	1947	92,10	80	645			SEDIMENTAR	687,00	38,00	61,80	35,00	1,4706	COM
39	BRAS	334,30	7394,60	727	A	CORNER	1955	64,40	63	664			SEDIMENTAR	708,00	19,00	26,00	8,00	1,1429	IND
40	BRAS	334,88	7394,25	728	A	CORNER	1938	121,00	109	619			SEDIMENTAR	678,00	50,00	68,00	41,00	2,2778	IND
41	BRAS	334,88	7394,25	728	A	CORNER	1944	92,00	84	644			SEDIMENTAR	686,50	41,50	,	8,00	,	IND
42	BRAS	334,88	7394,25	728	A	CORNER	1953	115,00	98	630			SEDIMENTAR	668,00	60,00	86,00	19,70	0,7577	IND
43	CAMBUCI	335,11	7393,88	727	D	CORNER	1939	90,00	90	637			SEDIMENTAR	697,00	30,00	34,00	18,00	4,5000	IND
44	CAMBUCI	335,03	7393,81	727	D	CORNER	1951	127,50	128	599			SEDIMENTAR	667,00	60,00	72,00	48,00	4,0000	IND
45	CAMBUCI	335,04	7393,90	727	D	CORNER	1959	266,00	113	614			MISTO	679,00	48,00	88,00	22,00	0,5500	IND
46	CAMBUCI	335,80	7393,51	732	F	CORNER	1970	142,00	142	590			SEDIMENTAR	692,00	40,00	115,00	12,00	0,1600	COM
47	CAMBUCI	335,80	7393,51	732	F	CORNER	1971	152,00	152	580			SEDIMENTAR	666,00	66,00	101,00	8,70	0,2486	COM

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INICIO	FIM							
48	CAMBUCI	335,80	7393,51	732	F	CORNER	1971	149,50	140	592			SEDIMENTAR	671,00	61,00	100,00	7,50	0,1923	COM
49	CAMBUCI	335,80	7393,51	732	F	CORNER	1974	223,00	112	620			MISTO	707,00	25,00	135,00	1,80	0,0164	COM
50	MOOCA	337,19	7394,85	747	G	CORNER	1973	164,00	163	584	643	591	SEDIMENTAR	637,00	110,00	140,00	9,00	0,3000	IND
51	BELEM	337,65	7395,10	744	G	CORNER	1980	205,00	203	541	639	555	SEDIMENTAR	625,50	118,50	132,50	10,30	0,7357	IND
52	BELEM	337,85	7396,90	724	E	CORNER	1973	152,00	52	672			CRISTALINO	709,00	15,00	97,00	5,70	0,0695	IND
53	BELEM	337,85	7396,90	724	E	CORNER	1972	230,00	58	666			CRISTALINO	.	.	.	.	.	IND
54	BELEM	337,52	7395,68	744	G	CORNER	1972	145,00	140	604	664	605	SEDIMENTAR	668,00	76,00	110,00	42,00	1,2353	IND
55	MOOCA	337,27	7395,03	745	G	CORNER	1988	183,00			624	568	SEDIMENTAR	629,50	115,50	166,80	14,70	0,2865	IND
56	BELEM	338,30	7395,30	748	G	CORNER	1984	196,00	197	551	622	554	SEDIMENTAR	625,00	123,00	126,50	6,26	1,7886	IND
57	BELEM	337,50	7395,85	742	G	CORNER	1980	175,00	173	569	639	579	SEDIMENTAR	657,70	84,30	102,24	28,30	1,5775	IND
58	BELEM	336,68	7396,80	725	D	CORNER	1978	125,00	124	601	648	603	SEDIMENTAR	659,60	65,40	80,00	14,00	0,9589	IND
59	BELEM	337,70	7395,00	746	G	CORNER	1982	170,00			628	586	SEDIMENTAR	626,00	120,00	126,00	3,00	0,5000	IND
60	BELEM	336,90	7396,35	728	D	CORNER	1973	142,50	140	588	649	596	SEDIMENTAR	661,00	67,00	74,00	24,00	3,4286	IND
61	BELEM	336,92	7396,29	728	D	CORNER	1971	129,00	128	600	656	601	SEDIMENTAR	672,50	55,50	62,50	20,50	2,9286	IND
62	MOOCA	337,64	7394,97	746	G	CORNER	1985	199,00	198	548	612	550	SEDIMENTAR	624,18	121,82	132,47	41,60	3,9061	IND
63	BELEM	337,70	7395,00	746	G	CORNER	1987	200,00	200	546	621	559	SEDIMENTAR	625,60	120,40	128,71	60,92	7,3309	IND
64	MOOCA	337,64	7394,97	746	G	CORNER	1989	191,00			614	561	SEDIMENTAR	624,13	121,87	136,64	36,00	2,4374	IND
65	BELEM	337,70	7395,00	746	G	CORNER	1984	179,00			625	572	SEDIMENTAR	628,00	118,00	126,00	9,00	1,1250	IND
66	BELEM	336,20	7396,45	726	A	CORNER	1980	96,00	96	630				.	.	.	.	.	IND
67	BELEM	338,00	7395,30	744	G	CORNER	1985	182,50	181	563	617	564	SEDIMENTAR	624,00	120,00	171,70	2,92	0,0565	IND
68	BELEM	337,00	7395,58	740	D	CORNER	1987	152,00	144	596	637	596	SEDIMENTAR	639,20	100,80	118,55	17,60	0,9915	IND
69	BELEM	336,20	7396,45	726	A	CORNER	1980	200,00	83	643	667	653	MISTO	671,00	55,00	107,00	9,60	0,1846	IND
70	BELEM	336,20	7396,45	726	D	CORNER	1978	128,00	119	607	659	603	SEDIMENTAR	678,50	47,50	76,00	16,00	0,5614	IND
71	BELEM	337,15	7396,20	728	D	CORNER	1980	128,50	128	600	645	602	SEDIMENTAR	651,70	76,30	89,80	26,60	2,0000	IND
72	MOOCA	337,20	7394,50	746	G	CORNER	1985	200,00	200	546	634	556	SEDIMENTAR	627,63	118,37	126,98	25,55	2,9675	IND
73	BRAS	334,80	7395,70	728		CORNER	1973	92,00						.	.	.	.	.	
74	BRAS	335,40	7395,65	732	D	CORNER	1971	122,00	121	611	672	633	SEDIMENTAR	684,00	48,00	62,00	20,50	1,4643	IND
75	BELEM	336,33	7396,28	728	A	CORNER	1978	150,00	65	663	678	670	MISTO	684,00	44,00	97,00	8,80	0,1660	IND
76	MOOCA	335,50	7394,60	733	D	CORNER	1976	312,00	121	612	654	616	MISTO	652,70	80,30	88,50	14,40	1,7561	IND
77	TATUAPE	339,90	7394,75	773	G	CORNER	1991	186,00			625	593	SEDIMENTAR	659,09	113,91	135,00	2,70	0,1280	SAN
78	TATUAPE	339,75	7394,70	772	G	CORNER	1991	206,00			626	595	SEDIMENTAR	645,02	126,98	135,00	3,00	0,3741	SAN
79	V FORMOSA	340,67	7394,15	786	I	CORNER	1991	163,00	147	639	673	629	SEDIMENTAR	726,58	59,42	115,00	3,00	0,0540	SAN
80	AGUA RASA	339,60	7394,48	766	G	CORNER	1991	183,00			624	590	SEDIMENTAR	640,55	125,45	130,00	10,15	2,2308	SAN
81	TATUAPE	340,14	7397,09	735	E	CORNER	1971	132,00	131	604	682	622	SEDIMENTAR	661,00	74,00	90,00	9,00	0,5625	IND
82	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	CORNER	1971	126,00	125	604	651	606	SEDIMENTAR	711,00	18,00	100,00	24,00	0,2927	IND
83	BELEM	337,70	7395,00	746	G	CORNER	1971	177,00	176	570	624	574	SEDIMENTAR	668,00	78,00	106,00	25,50	0,9107	IND
84	BELEM	338,00	7395,30	744	G	CORNER	1973	182,50	181	563	641	565	SEDIMENTAR	641,00	103,00	117,00	20,50	1,4643	IND
85	TATUAPE	339,69	7397,20	730	E	CORNER	1973	141,00	139	591	652	603	SEDIMENTAR	647,30	82,70	102,00	12,00	0,6218	IND
86	TATUAPE	339,80	7394,57	775	I	CORNER	1973	182,00	181	594	680	597	SEDIMENTAR	660,00	115,00	125,00	6,50	0,6500	IND
87	TATUAPE	340,48	7395,27	760	G	CORNER	1974	189,00			672	576	SEDIMENTAR	686,00	74,00	140,00	10,00	0,1515	IND
88	MOOCA	337,90	7394,70	755	G	CORNER	1976	192,00			645	566	SEDIMENTAR	670,40	84,60	124,00	18,00	0,4569	IND
89	TATUAPE	340,25	7395,73	743	G	CORNER	1970	176,00			637	579	SEDIMENTAR	675,00	68,00	110,00	36,00	0,8571	IND
90	TATUAPE	340,25	7395,73	743	G	CORNER	1970	169,00			663	581	SEDIMENTAR	673,00	70,00	95,00	16,00	0,6400	IND
91	TATUAPE	340,25	7395,73	743	G	CORNER	1980	212,00			622	540	SEDIMENTAR	640,00	103,00	128,50	72,00	2,8235	IND
92	TATUAPE	340,27	7396,64	735	E	CORNER	1988	143,00	138	597	647	599	SEDIMENTAR	640,70	94,30	116,80	21,40	0,9511	IND
93	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	CORNER	1980	200,00	105	624	607	576	MISTO	714,00	15,00	140,00	2,00	0,0160	IND
94	TATUAPE	341,15	7394,69	782	I	CORNER	1971	141,00	140	642	698	649	SEDIMENTAR	738,00	44,00	90,00	2,50	0,0543	IND

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INICIO	FIM							
95	TATUAPE	339,00	7396,20	745	G	CORNER	1984	170,00			654	578	SEDIMENTAR	645,00	100,00	112,00	10,00	0,8333	IND
96	TATUAPE	338,60	7396,69	727	E	CORNER	1974	151,00	90	637	682	638	MISTO	657,00	70,00	85,00	5,00	0,3333	IND
97	TATUAPE	339,85	7395,60	744	G	CORNER	1972	163,00			653	586	SEDIMENTAR	710,00	34,00	110,00	25,00	0,3289	IND
98	TATUAPE	339,40	7395,00	755	G	CORNER	1972	196,00			679	566	SEDIMENTAR	667,00	88,00	120,00	24,00	0,7500	IND
99	BELEM	337,35	7396,17	728	B	CORNER	1943	105,60	106	622			SEDIMENTAR	693,00	35,00	47,00	51,00	4,2500	IND
100	BELEM	337,40	7396,17	728	B	CORNER	1942	107,00	104	624			SEDIMENTAR	708,00	20,00	28,00	36,00	4,5000	IND
101	BELEM	337,54	7396,20	728	E	CORNER	1942	105,00	105	623			SEDIMENTAR	703,00	25,00	35,00	60,00	6,0000	IND
102	BELEM	336,10	7396,90	724	B	CORNER	1971	86,50	80	644	676	649	SEDIMENTAR	690,00	34,00	50,00	14,00	0,8750	IND
103	TATUAPE	338,59	7396,18	727	E	CORNER		74,00	74	653			SEDIMENTAR	.	.	.	.	.	IND
104	BELEM	337,80	7395,87	744	G	CORNER	1948	136,30					SEDIMENTAR	690,00	54,00	62,00	44,00	5,5000	IND
105	BELEM	337,55	7395,92	740	E	CORNER	1943	106,00	88	652	722	652	SEDIMENTAR	705,00	35,00	45,00	45,00	4,5000	IND
106	BELEM	337,26	7396,00	738	D	CORNER	1959	116,00	115	623			SEDIMENTAR	683,00	55,00	65,00	26,00	2,0000	IND
107	BELEM	337,26	7396,00	738	D	CORNER	1959	147,00	147	591			SEDIMENTAR	688,00	50,00	60,00	40,00	4,0000	IND
108	BELEM	337,26	7396,00	738	D	CORNER	1947	137,40					SEDIMENTAR	690,00	48,00	57,00	33,00	3,6667	IND
109	BELEM	337,26	7396,00	738	D	CORNER	1947	127,50					SEDIMENTAR	696,00	42,00	54,00	3,60	0,3000	IND
110	BELEM	337,60	7395,74	744	G	PAMEC	1968	131,50	131	613	717	613	SEDIMENTAR	676,00	68,00	90,00	4,40	0,2000	IND
111	BELEM	336,75	7395,61	740	D	CORNER	1956	124,00	124	616			SEDIMENTAR	692,00	48,00	50,00	9,00	4,5000	
112	BELEM	337,12	7395,65	742		CASTIGLION		118,00						724,00	18,00	70,00	9,00	0,1731	IND
113	BELEM	337,00	7395,67	742	D	JANER	1973	161,00	153	589	643	590	SEDIMENTAR	670,00	72,00	97,00	12,00	0,4800	IND
114	BELEM	337,04	7395,47	742	G	JANER	1974	174,00	160	582	628	575	SEDIMENTAR	644,00	98,00	107,00	13,00	1,4444	IND
116	BELEM	337,58	7395,65	743	G	CORNER	1955	157,00					SEDIMENTAR	676,00	67,00	80,00	41,40	3,1846	IND
117	PARI	335,35	7396,40	730	A	CORNER	1965	150,00	35	695			MISTO	706,40	23,60	32,50	5,30	0,5955	IND
118	MOOCA	337,40	7392,88	791	H	JANER	1971	220,00			702	577	SEDIMENTAR	719,00	72,00	130,00	6,00	0,1034	SAN
119	BELEM	336,36	7396,80	724	B	CORNER	1951	103,00	103	621			SEDIMENTAR	683,00	41,00	48,00	50,00	7,1429	IND
120	BELEM	336,36	7396,80	724	B	CORNER	1958	120,00	101	623			SEDIMENTAR	682,00	42,00	52,00	25,00	2,5000	IND
121	BELEM	336,36	7396,80	724	B	CORNER	1960	122,00	102	622			SEDIMENTAR	685,00	39,00	60,00	15,00	0,7143	IND
122	BELEM	336,68	7396,90	724	D	CORNER	1964	147,00	128	596			SEDIMENTAR	675,70	48,30	65,00	18,00	1,0778	IND
123	BELEM	336,70	7396,55	726	D	CORNER	1947	104,00					SEDIMENTAR	697,00	29,00	.	22,00	.	
124	MOOCA	337,40	7395,12	743	G	CORNER	1973	195,00	175	568			SEDIMENTAR	643,00	100,00	116,00	10,20	0,6375	IND
125	MOOCA	337,40	7395,12	743	G	CORNER	1949	95,60					SEDIMENTAR	.	.	50,00	8,00	.	IND
126	MOOCA	337,40	7395,12	743	G	CORNER	1962	185,00	166	577			SEDIMENTAR	691,00	52,00	65,00	14,40	1,1077	IND
127	MOOCA	337,30	7395,06	744	G	CORNER	1952	145,00					SEDIMENTAR	675,00	69,00		36,00		IND
129	MOOCA	337,11	7394,77	745	G	CORNER	1961	173,00	173	572			SEDIMENTAR	664,00	81,00	88,00	25,00	3,5714	IND
131	MOOCA	337,32	7394,68	748	G	CORNER	1963	190,00					SEDIMENTAR	664,00	84,00	90,00	36,00	6,0000	IND
132	MOOCA	337,32	7394,68	748	G	CORNER	1953	170,00					SEDIMENTAR	683,00	65,00	77,00	45,00	3,7500	IND
133	MOOCA	337,20	7394,50	746	G	CORNER	1973	200,00	200	546			SEDIMENTAR	646,00	100,00	114,00	18,00	1,2857	IND
134	MOOCA	337,20	7394,40	750	F	ARN CASTIG	1971	121,00					SEDIMENTAR	729,00	21,00	62,00	2,00	0,0488	IND
135	MOOCA	336,37	7394,58	738	F	GEOTECNIC	1959	130,00	129	609			SEDIMENTAR	728,00	10,00	60,00	4,00	0,0800	IND
136	MOOCA	336,85	7393,95	755	F	JANER	1964	181,00			681	625	SEDIMENTAR	750,30	4,70	77,00	24,74	0,3422	IND
137	AGUA RASA	338,10	7393,20	788	H	ARN CASTIG	1973	156,00					SEDIMENTAR	758,00	30,00	95,00	4,00	0,0615	IND
138	AGUA RASA	338,47	7393,21	784	H	JANER	1970	266,00	241	543	673	525	SEDIMENTAR	672,00	112,00	130,00	11,00	0,6111	IND
139	AGUA RASA	338,47	7393,21	784	H	JANER	1970	268,00	256	528	696	617	SEDIMENTAR	676,00	108,00	130,00	10,00	0,4545	IND
140	AGUA RASA	338,47	7393,21	784	H	JANER	1973	408,00	266	518			SEDIMENTAR	664,00	120,00	180,00	5,20	0,0867	IND
141	CAMBUCI	335,70	7393,65	730	F	CORNER	1969	107,00	106	624			SEDIMENTAR	688,00	42,00	57,00	12,00	0,8000	IND
142	CAMBUCI	335,60	7394,00	732	F	CORNER	1949	125,00	123	609			SEDIMENTAR	682,00	50,00	71,00	0,90	0,0429	IND

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INÍCIO	FIM							
143	CAMBUCI	335,60	7394,00	732	F	CORNER	1953	146,90					SEDIMENTAR	,	,	,	,	,	IND
144	CAMBUCI	335,60	7394,00	732	F	CORNER	1968	137,00	118	614			SEDIMENTAR	694,00	38,00	69,00	7,80	0,2516	IND
145	BELEM	336,00	7395,90	734	A	CORNER	1929	76,00	76	658			SEDIMENTAR	719,00	15,00	34,00	50,00	2,6316	IND
146	BRAS	335,25	7395,20	731	D	CORNER	1971	122,00	121	610			SEDIMENTAR	686,00	45,00	60,00	20,80	1,3867	IND
147	BRAS	335,25	7395,20	731	A	CORNER	1944	108,00	106	625			SEDIMENTAR	706,80	24,20	29,70	15,00	2,7273	IND
148	BRAS	335,25	7395,20	731		CORNER	1966	125,00	125	606			SEDIMENTAR	689,00	42,00	58,00	20,00	1,2500	IND
149	MOOCA	337,69	7392,82	794	H	CORNER	1967	160,00					SEDIMENTAR	721,00	73,00	90,00	18,00	1,0588	IND
150	BRAS	335,57	7395,10	732	D	JANER	1965	127,00	127	605	700	609	SEDIMENTAR	692,00	40,00	50,00	22,00	2,2000	IND
151	MOOCA	335,47	7394,84	732	D	CORNER	1946	110,00	110	622			SEDIMENTAR	688,00	44,00	,	5,00	,	IND
152	MOOCA	336,08	7393,94	735	F	CORNER	1973	170,00	150	585			SEDIMENTAR	638,00	97,00	110,00	13,00	1,0000	IND
153	MOOCA	336,08	7393,94	735	F	CORNER	1956	130,00	126	609			SEDIMENTAR	685,00	50,00	80,00	19,00	0,6333	IND
154	MOOCA	336,08	7393,94	735	F	CORNER	1952	132,00	127	608			SEDIMENTAR	659,00	76,00	83,00	18,00	2,5714	IND
155	MOOCA	336,20	7394,10	737	F	JANER	1966	145,00	140	597	682	613	SEDIMENTAR	677,00	60,00	110,00	10,00	0,2000	IND
156	MOOCA	336,60	7394,22	743	F	CORNER	1908	114,80					SEDIMENTAR	725,00	18,00	,	11,00	,	IND
157	MOOCA	336,60	7394,22	743	F	CORNER	1943	113,00	109	634			SEDIMENTAR	,	,	71,50	16,00	,	IND
158	MOOCA	336,48	7393,85	743	F	CORNER	1968	137,00	117	626			SEDIMENTAR	693,00	50,00	130,00	,	,	IND
159	MOOCA	336,43	7393,82	740	F	CORNER	1939	120,00					SEDIMENTAR	683,00	57,00	,	20,00	,	IND
160	MOOCA	336,00	7393,76	734	F	CORNER	1952	115,00	113	621			SEDIMENTAR	684,00	50,00	83,00	8,80	0,2667	IND
161	MOOCA	336,10	7393,50	734	F	CORNER	1943	103,00	103	631			SEDIMENTAR	709,00	25,00	60,00	4,00	0,1143	IND
162	MOOCA	336,50	7392,84	732	F	CORNER	1952	109,00	109	623			SEDIMENTAR	712,00	20,00	50,00	30,00	1,0000	IND
163	IPIRANGA	336,30	7392,47	729	H	CORNER	1966	179,00	153	576			SEDIMENTAR	688,00	41,00	68,00	20,00	0,7407	IND
164	MOOCA	337,40	7392,95	791	H	JANER	1969	219,00			711	578	SEDIMENTAR	711,00	80,00	105,00	6,50	0,2600	SAN
165	MOOCA	337,35	7391,93	734	H	HIDROGESP	1986	176,00			663	597	SEDIMENTAR	677,20	56,80	121,00	4,96	0,0773	SAN
166	BELEM	337,70	7396,40	727	E	HIDROGESP	1990	82,00	68	659	673	650	SEDIMENTAR	685,60	41,40	74,20	1,30	0,0396	SAN
167	MOOCA	336,50	7393,38	743	F	HIDROGESP	1990	139,17	126	617	682	610	SEDIMENTAR	689,00	54,00	121,62	4,50	0,0665	SAN
168	V FORMOSA	340,30	7394,03	768	I	HIDROGESP	1991	144,00	136	632	659	633	SEDIMENTAR	661,24	106,76	123,64	5,05	0,2992	SAN
169	V FORMOSA	340,60	7393,90	770	I	HIDROGESP	1990	148,50	146	624	687	634	SEDIMENTAR	662,50	107,50	110,30	10,00	3,5714	SAN
170	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	HIDROGESP	1989	159,38	126	603	614	586	SEDIMENTAR	630,50	98,50	112,10	8,00	0,5882	IND
171	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	HIDROGESP	1991	106,70	103	626	724	624	SEDIMENTAR	716,84	12,16	20,50	5,90	0,7074	IND
172	TATUAPE	340,25	7397,35	723	E	HIDROGESP	1984	116,00	96	627	677	626	SEDIMENTAR	643,00	80,00	87,00	20,00	2,8571	RECR
173	VGUILHERM	336,94	7397,90	723	B	HIDROGESP	1985	79,80	67	656	701	654	SEDIMENTAR	710,00	13,00	52,00	6,70	0,1718	IND
174	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	HIDROGESP	1990	188,70	110	619	635	550	MISTO	631,25	97,75	104,35	11,00	1,6667	IND
175	TATUAPE	340,43	7397,47	723	E	HIDROGESP	1987	360,00	60	663			CRISTALINO	637,50	85,50	,	0,20	,	RECR
176	BELEM	336,20	7396,45	726	A	AIR LIFT	1974	115,00	112	614	686	645	SEDIMENTAR	691,00	35,00	48,00	13,20	1,0154	IND
177	TATUAPE	339,38	7396,21	747	G	AIR LIFT	1970	186,68			729	568	SEDIMENTAR	668,50	78,50	120,00	14,90	0,3590	IND
178	CAMBUCI	335,28	7394,03	730	D	AIR LIFT	1980	116,50	107	623	652	620	SEDIMENTAR	713,00	17,00	77,00	9,30	0,1550	SAN
179	BRAS	335,30	7395,13	731	A	AIR LIFT	1976	140,50	136	595	660	630	SEDIMENTAR	690,00	41,00	62,00	7,20	0,3429	SAN
180	AGUA RASA	339,85	7393,60	750	I	AIR LIFT	1976	169,00	168	582	690	597	SEDIMENTAR	718,00	32,00	65,00	12,18	0,3691	RECR
182	TATUAPE	338,80	7395,50	730	G	AIR LIFT	1975	202,00	198	532	668	533	SEDIMENTAR	625,00	105,00	121,00	6,30	0,3938	IND
183	MOOCA	336,80	7394,80	742	F	AIR LIFT	1968	150,00	149	593	672	593	SEDIMENTAR	734,00	8,00	60,00	4,50	0,0865	RECR
184	TATUAPE	340,10	7396,30	738	E	AIR LIFT	1971	190,00	136	602	664	607	MISTO	726,00	12,00	93,00	5,40	0,0667	IND
185	MOOCA	338,00	7394,15	758	G	AIR LIFT	1970	152,40			684	606	SEDIMENTAR	724,00	34,00	69,00	3,60	0,1029	IND
186	CAMBUCI	335,27	7393,95	728	D	AIR LIFT	1980	107,70	104	624	664	638	SEDIMENTAR	700,30	27,70	74,00	7,70	0,1663	SAN
187	TATUAPE	338,65	7396,35	729	E	AIR LIFT	1973	153,00	104	625	649	628	MISTO	,	,	,	,	,	IND
188	PARI	334,30	7396,80	723	A	AIR LIFT	1970	64,50	52	671	694	658	SEDIMENTAR	720,00	3,00	18,50	9,90	0,6387	IND
189	BELEM	338,20	7395,70	744	G	AIR LIFT	1968	150,00			669	594	SEDIMENTAR	673,00	71,00	90,00	7,00	0,3684	RECR

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INICIO	FIM							
190	BELEM	337,70	7396,03	735	E	AIR LIFT	1972	153,00	140	595	664	590	SEDIMENTAR	663,00	72,00	106,40	25,50	0,7413	IND
191	PARI	334,30	7396,80	723	A	AIR LIFT	1971	130,00	68	655			CRISTALINO	711,00	12,00	102,00	0,15	0,0017	IND
192	BRAS	334,65	7395,44	728	A	AIR LIFT	1970	98,00	94	634	653	645	SEDIMENTAR	687,00	41,00	58,50	8,30	0,4743	SAN
193	BELEM	336,20	7396,45	726	D	AIR LIFT	1969	120,00	115	611	684	638	SEDIMENTAR	724,00	2,00	34,00	20,00	0,6250	IND
194	TATUAPE	341,45	7397,00	729	C	AIR LIFT	1973	100,00	46	683			CRISTALINO	697,00	32,00	58,50	5,00	0,1887	IND
195	TATUAPE	340,27	7396,64	735	E	POLITI	1985	156,00	144	591	646	593	SEDIMENTAR	650,00	85,00	121,25	34,43	0,9498	IND
196	TATUAPE	340,58	7397,00	727	E	POLITI	1987	160,00	154	573	642	579	SEDIMENTAR	645,00	82,00	107,50	30,40	1,1922	IND
197	TATUAPE	340,27	7396,64	735	E	JANER	1971	167,00	154	581	671	574	SEDIMENTAR	669,00	66,00	100,00	12,86	0,3782	IND
198	MOOCA	337,13	7394,75	745	G	POLITI	1991	192,50	142	603	680	572	SEDIMENTAR	624,20	120,80	150,45	26,40	0,8904	IND
199	TATUAPE	340,12	7397,30	724	E	POLITI	1988	145,00	116	608	628	610	SEDIMENTAR	632,92	91,08	94,12	25,55	8,4046	RECR
200	MOOCA	336,15	7394,76	735	D	POLITI	1984	64,00			714	670	SEDIMENTAR	725,00	10,00	21,00	30,00	2,7273	IND
201	BELEM	336,33	7396,28	728	A	JANER	1959	124,00	62	666			MISTO	689,00	39,00	58,85	17,00	0,8564	IND
202	BELEM	336,33	7396,28	728	A	JANER	1972	149,00	63	665	675	665	SEDIMENTAR	685,00	43,00	48,00	16,50	3,3000	IND
203	BELEM	336,50	7395,45	735	D	JANER	1971	131,00			654	617	SEDIMENTAR	693,00	42,00	90,00	5,50	0,1146	IND
207	MOOCA	336,20	7395,10	735	D	JANER	1972	141,00	121	614	677	598	SEDIMENTAR	663,50	71,50	80,00	17,00	2,0000	IND
210	BELEM	338,30	7395,30	748	G	JANER	1972	189,00	184	564	658	572	SEDIMENTAR	647,00	101,00	123,00	34,80	1,5818	IND
212	BELEM	337,45	7396,60	724	B	HIDROGEO	1991	252,00	85	639	683	641	MISTO	669,00	55,00	73,00	7,20	0,4000	RECR
213	BELEM	337,00	7396,60	725	D		1974	140,00	132	593			SEDIMENTAR	660,00	65,00	113,00	40,00	0,8333	IND
214	VGUILHERM	336,27	7398,95	724	A		1968	90,00	88	636	699	634	SEDIMENTAR	705,00	19,00	55,00	17,50	0,4861	PART
215	BELEM	336,90	7396,35	728	D		1949	130,00	130	598	666	606	SEDIMENTAR	663,00	65,00	105,00	16,50	0,4125	IND
216	MOOCA	336,45	7392,86	732	F		1961	101,00	88	644	714	707	SEDIMENTAR	722,00	10,00	38,00	46,80	1,6714	IND
217	BELEM	337,55	7396,50	724	B		1968	80,00	80	644	676	650	SEDIMENTAR	678,00	46,00	54,00	16,00	2,0000	PART
218	AGUA RASA	338,20	7392,70	792	H		1967	200,00	185	607	723	605	SEDIMENTAR	702,00	90,00	112,00	6,50	0,2955	IND
220	VGUILHERM	336,60	7398,05	723	B		1968	157,00	154	569	670	566	SEDIMENTAR	689,00	34,00	46,00	40,00	3,3333	IND
221	BRAS	334,75	7395,80	728	A		1961	111,00	107	621	686	617	SEDIMENTAR	697,00	31,00	35,00	31,00	7,7500	IND
222	TATUAPE	339,40	7396,15	747	G		1970	202,00	199	548	648	545	SEDIMENTAR	667,00	80,00	120,00	18,00	0,4500	IND
223	TATUAPE	339,65	7395,50	744	G		1969	200,00			641	549	SEDIMENTAR	677,00	67,00	100,00	10,00	0,3030	PART
224	V MARIA	338,10	7398,35	725	C		1970	250,00	30	695			CRISTALINO	685,00	40,00	70,00	10,00	0,3333	IND
225	VGUILHERM	335,65	7398,78	723	A		1970	237,00	65	658			CRISTALINO	698,00	25,00	120,00	2,00	0,0211	PART
226	BRAS	335,05	7394,65	730	D		1971	200,00	133	597	644	602	MISTO	674,00	56,00	100,00	4,50	0,1023	IND
228	SANTANA	334,25	7398,40	723	A		1968	245,00	65	658			CRISTALINO	708,00	15,00	75,00	2,20	0,0367	PART
229	VGUILHERM	335,75	7398,20	723	A		1971	120,00	21	702			CRISTALINO	699,00	24,00	86,00	2,50	0,0403	IND
231	V MARIA	338,25	7397,55	723	E		1973	131,00	62	661			MISTO	691,00	32,00	76,00	16,00	0,3636	IND
232	CAMBUCI	336,10	7393,05	730	F		1958	132,00	118	612	695	610	SEDIMENTAR	690,00	40,00	65,00	6,50	0,2600	IND
233	V MARIA	338,55	7398,40	730	C		1968	260,00	8	722			CRISTALINO	628,00	102,00	140,00	7,20	0,1895	IND
235	V MARIA	339,70	7398,70	727	C		1970	200,00	39	688	693	653	CRISTALINO	694,00	33,00	197,00	4,40	0,0268	PART
236	V MARIA	339,20	7398,65	726	C		1973	192,00	12	714			CRISTALINO	723,00	3,00	82,00	9,70	0,1228	IND
238	VGUILHERM	336,35	7398,65	725	A		1972	120,00	78	647	676	652	MISTO	690,00	35,00	55,00	13,20	0,6600	IND
240	V MARIA	337,15	7397,90	723	B		1970	102,00	96	627	711	621	SEDIMENTAR	716,60	6,40	23,00	18,80	1,1325	IND
241	V MARIA	338,20	7397,85	724	C		1973	150,00	0	724			CRISTALINO	667,00	57,00	90,00	9,30	0,2818	IND
243	BELEM	336,65	7396,40	727	D		1963	144,00			696	587	SEDIMENTAR	674,00	53,00	80,00	17,50	0,6481	IND
244	MOOCA	336,90	7392,05	732	H		1963	204,00	198	534	646	535	SEDIMENTAR	706,00	26,00	60,00	18,00	0,5294	PART
245	CAMBUCI	336,17	7392,88	732	F		1969	270,00	108	624	646	621	MISTO	692,00	40,00	110,00	6,00	0,0857	IND
246	V MARIA	337,75	7398,45	725	B		1973	125,00	103	622			SEDIMENTAR	685,00	60,00	90,00	0,70	0,0233	IND
248	BELEM	338,40	7395,50	742	G		1973	206,00	154	588	718	547	SEDIMENTAR	732,00	10,00	90,00	5,00	0,0625	IND
250	VGUILHERM	335,45	7398,70	723	A		1973	108,00	23	700			CRISTALINO	709,00	14,00	80,00	1,00	0,0152	IND
251	MOOCA	336,35	7393,55	737	F		1972	178,00	137	600			MISTO	735,00	2,00	110,00	6,00	0,0556	IND

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INICIO	FIM							
252	BRAS	335,20	7394,45	731	D		1944	116,00	112	619			SEDIMENTAR	717,00	14,00	62,00	45,00	0,9375	IND
253	BELEM	336,70	7396,55	726	D		1950	136,00	136	590			SEDIMENTAR	686,50	39,50	54,00	43,00	2,9655	IND
254	AGUA RASA	338,40	7392,65	790	H		1966	148,00	144	646			SEDIMENTAR	723,00	67,00	98,00	6,00	0,1935	IND
256	V MARIA	338,80	7398,44	727	C		1968	200,00	0	727			CRISTALINO	698,00	29,00	78,00	28,80	0,5878	IND
257	BELEM	337,29	7395,94	740	D		1969	140,00	139	601			SEDIMENTAR	680,00	60,00	80,00	30,00	1,5000	IND
258	BRAS	334,83	7395,00	727	A		1938	90,00	85	642			SEDIMENTAR	700,00	27,00	46,00	2,40	0,1263	IND
259	BRAS	334,83	7395,00	727	A		1938	90,00	85	642			SEDIMENTAR	707,00	20,00	45,00	20,00	0,8000	IND
260	MOOCA	335,85	7393,90	732	F		1956	127,00	127	605			SEDIMENTAR	677,00	55,00	75,00	5,70	0,2850	IND
261	TATUAPE	339,75	7395,75	743	G		1958	160,00	160	583			SEDIMENTAR	673,00	70,00	85,00	24,00	1,6000	IND
262	BRAS	335,40	7394,65	732	D		1969	120,00	97	635			SEDIMENTAR	671,00	61,00	85,00	10,00	0,4167	PART
263	BELEM	336,35	7396,78	724	B		1956	120,00	105	619			SEDIMENTAR	684,00	40,00	60,00	7,00	0,3500	IND
264	BELEM	338,25	7396,45	728	E		1971	150,00	77	651			MISTO	723,00	5,00	100,00	3,60	0,0379	IND
265	BELEM	338,15	7394,85	757	G		1962	174,00	155	602			SEDIMENTAR	709,00	48,00	62,00	15,00	1,0714	PART
266	TATUAPE	338,45	7396,35	728	E		1969	94,00	90	638			SEDIMENTAR	661,00	67,00	70,00	15,00	5,0000	IND
268	MOOCA	338,05	7392,20	780	H		1953	156,00					SEDIMENTAR	690,00	90,00	98,00	4,80	0,6000	IND
269	MOOCA	337,85	7392,00	763	H		1964	203,00					SEDIMENTAR	694,70	68,30	97,50	12,00	0,4110	RECR
271	BRAS	334,85	7396,10	728	A		1961	82,00	78	650			SEDIMENTAR	721,00	7,00	19,00	25,00	2,0833	IND
272	MOOCA	337,80	7394,55	765	G		1961	167,00	166	599			SEDIMENTAR	720,00	45,00	65,00	22,00	1,1000	IND
273	V MARIA	340,00	7397,85	723	E		1972	105,00	91	632			SEDIMENTAR	683,00	40,00	50,00	18,00	1,8000	PART
274	TATUAPE	339,75	7396,55	735	E		1973	132,00	130	605			SEDIMENTAR	660,00	75,00	95,00	24,00	1,2000	IND
275	TATUAPE	341,00	7395,10	768	G		1961	177,00			702	621	SEDIMENTAR	706,00	62,00	80,00	20,00	1,1111	IND
276	TATUAPE	340,30	7396,75	735	E		1968	120,00	120	615			SEDIMENTAR	675,00	60,00	75,00	40,00	2,6667	IND
277	TATUAPE	341,40	7396,65	729	E		1961	150,00	138	591	655	605	SEDIMENTAR	669,00	60,00	100,00	8,00	0,2000	IND
278	CARRAO	341,50	7395,30	744	G		1960	202,00	202	542	689	599	SEDIMENTAR	684,00	60,00	80,00	19,00	0,9500	IND
280	CARRAO	341,50	7395,30	744	G		1968	212,00	207	537	643	532	SEDIMENTAR	666,00	78,00	95,00	18,00	1,0588	IND
283	TATUAPE	340,25	7397,00	736	E		1970	190,00	80	656			MISTO	696,30	39,70	103,00	5,00	0,0790	IND
284	TATUAPE	340,97	7396,28	737	G		1967	214,00			677	537	SEDIMENTAR	642,00	95,00	115,00	15,00	0,7500	IND
286	TATUAPE	340,15	7396,55	735	E		1973	143,00	137	598	671	598	SEDIMENTAR	708,00	27,00	83,00	6,00	0,1071	PART
287	CARRAO	341,60	7395,40	744	G		1972	340,00	202	542	672	538	SEDIMENTAR	654,00	90,00	129,00	17,60	0,4513	IND
289	TATUAPE	341,25	7396,80	726	E		1973	155,00	155	571			SEDIMENTAR	642,00	84,00	120,00	2,40	0,0667	IND
290	TATUAPE	341,25	7396,86	726	E		1973	150,00	150	576			SEDIMENTAR	721,00	5,00	69,00	23,40	0,3656	IND
291	TATUAPE	341,25	7396,62	724	E		1974	153,00	153	571			SEDIMENTAR	640,00	84,00	120,00	2,50	0,0694	IND
292	TATUAPE	340,10	7395,40	756	G		1973	170,00	167	589			SEDIMENTAR	670,00	86,00	110,00	15,00	0,6250	IND
294	TATUAPE	341,25	7396,80	724	E		1963	140,00	140	584			SEDIMENTAR	680,50	43,50	55,00	32,00	2,7826	IND
295	TATUAPE	340,10	7396,30	738	E		1965	118,00	118	620			SEDIMENTAR	681,00	57,00	72,00	16,00	1,0667	IND
296	CARRAO	341,60	7395,40	744			1946	41,00	34	710			SEDIMENTAR	737,00	7,00	27,00	2,00	0,1000	IND
304	VGUILHERM	336,22	7398,98	724	A		1983	80,00	67	657	702	655	MISTO	711,00	13,00	70,30	7,20	0,1257	IND
305	MOOCA	336,10	7394,10	736	F		1975	90,00	90	646	728	652	SEDIMENTAR	722,00	14,00	60,00	0,50	0,0109	IND
306	V MARIA	338,11	7397,50	723	E		1980	152,00	72	651	680	665	MISTO	681,00	42,00	73,00	10,60	0,3419	IND
307	V MARIA	338,14	7398,06	724	C		1977	111,00	48	676	682	676	MISTO	679,00	45,00	78,00	10,50	0,3182	IND
308	BRAS	334,30	7396,28	724	A		1975	80,00	78	646	697	642	SEDIMENTAR	706,00	18,00	55,00	12,00	0,3243	IND
309	MOOCA	337,17	7393,10	782	H		1975	140,00			722	645	SEDIMENTAR	715,00	67,00	102,00	4,10	0,1171	PART
310	BELEM	338,11	7395,28	745	G		1976	202,00	198	547	684	547	SEDIMENTAR	640,00	105,00	121,00	6,30	0,3938	IND
311	BRAS	335,75	7395,47	733			1976	141,00	137	596	663	632	SEDIMENTAR	692,00	41,00	62,00	7,20	0,3429	PART
313	VGUILHERM	336,99	7398,07	723	B		1984	103,00			662	626	SEDIMENTAR	692,00	31,00	63,00	6,60	0,2063	PART
314	TATUAPE	340,79	7397,60	722	C		1984	170,00	20	702			CRISTALINO	659,00	63,00	98,00	2,20	0,0629	PART
315	TATUAPE	340,79	7397,60	722	C		1984	150,00	18	704			CRISTALINO	664,00	58,00	95,00	1,30	0,0351	PART

Nº POÇO	BAIRRO	COORDENADAS			ZONA	CIA PERF.	ANO PERF.	PROF	ESPES SEDIM.	COTA EMBAS.	FILTROS		TIPO AQUIFERO	COTA N. ESTÁT.	N. ESTÁT.	N. DINÂM.	VAZÃO	CAPAC. ESPECÍF.	USO AGUA
		UTME	UTMN	COTA							INICIO	FIM							
316	VGUILHERM	336,38	7398,83	724	A		1974	180,00	54	670	703	614	MISTO	709,00	15,00	118,00	4,30	0,0417	IND
317	VGUILHERM	337,15	7398,24	724	B		1974	104,00	103	621	662	626	SEDIMENTAR	677,00	47,00	67,00	10,70	0,5350	IND
318	VGUILHERM	337,15	7398,24	724	B		1974	104,00	103	621	662	626	SEDIMENTAR	684,00	40,00	57,00	20,50	1,2059	IND
319	TATUAPE	340,10	7395,40	756	G		1974	183,00	182	574	670	576	SEDIMENTAR	666,00	90,00	110,00	16,00	0,8000	IND
320	V FORMOSA	340,50	7394,25	787	I		1975	150,00	99	688	730	686	MISTO	723,00	64,00	95,00	6,00	0,1935	IND
321	PARI	334,52	7397,18	722	A		1975	200,00	46	676	699	678	MISTO	705,50	16,50	50,00	16,00	0,4776	IND
323	BRAS	334,42	7396,22	725	A		1976	102,00			676	636	SEDIMENTAR	702,50	22,50	40,00	32,70	1,8686	IND
324	TATUAPE	339,71	7396,70	735	E		1977	133,00	129	606	644	616	SEDIMENTAR	654,00	81,00	91,00	20,50	2,0500	IND
325	MOOCA	337,40	7392,95	791	H		1978	200,00			738	603	SEDIMENTAR	719,00	72,00	126,00	8,00	0,1481	PART
326	VGUILHERM	336,38	7398,83	724	A		1978	250,00	78	646	701	624	MISTO	711,00	13,00	82,00	10,20	0,1478	IND
327	BELEM	336,18	7396,61	726	D		1978	127,00	126	600	673	603	SEDIMENTAR	671,00	55,00	78,00	10,00	0,4348	IND
328	MOOCA	336,42	7394,52	738	F		1978	130,00	125	613	644	622	SEDIMENTAR	709,00	29,00	110,00	6,90	0,0852	IND
329	MOOCA	336,42	7394,52	738	F		1978	155,00	138	600	675	594	SEDIMENTAR	674,40	63,60	99,00	9,00	0,2542	IND
330	VGUILHERM	336,38	7398,83	724	A		1979	80,00	78	646	710	652	SEDIMENTAR	710,50	13,50	49,50	20,50	0,5694	IND
331	VGUILHERM	337,03	7398,96	725	B		1979	122,00	120	605	654	610	SEDIMENTAR	674,50	50,50	54,50	20,50	5,1250	RECR
332	MOOCA	337,20	7394,50	746	G		1980	201,00	200	546	633	557	SEDIMENTAR	633,50	112,50	125,00	16,00	1,2800	IND
333	MOOCA	337,20	7394,50	746	G		1980	201,00	200	546	633	557	SEDIMENTAR	627,60	118,40	127,00	25,50	2,9651	INDOS
334	BELEM	337,65	7395,10	744	G		1980	179,00			623	570	SEDIMENTAR	629,40	114,60	152,00	61,00	1,6310	IND
335	BELEM	336,60	7395,43	736	D		1980	202,00	78	658	676	658	MISTO	716,00	20,00	130,00	5,50	0,0500	IND
336	PARI	334,55	7396,55	724	A		1986	66,00	58	666	694	676	SEDIMENTAR	704,70	19,30	35,00	16,00	1,0191	IND
338	CAMBUCI	335,63	7393,67	730	F		1984	117,00	114	616	684	638	SEDIMENTAR	648,80	81,20	109,50	10,50	0,3710	IND
340	BRAS	335,84	7395,30	733	D		1985	134,00	133	600	665	601	SEDIMENTAR	665,90	67,10	88,20	20,80	0,9858	IND
341	VGUILHERM	337,06	7397,46	723	B		1985	105,00	98	625	665	620	SEDIMENTAR	665,80	57,20	77,10	26,40	1,3266	IND
342	BRAS	334,94	7394,30	728	D		1986	130,00	92	636	669	607	MISTO	716,50	11,50	115,00	3,80	0,0367	IND
343	VGUILHERM	336,83	7397,49	722	B		1977	132,00	130	592	663	596	SEDIMENTAR	666,00	56,00	78,00	38,00	1,7273	IND
344	MOOCA	337,00	7391,80	730	H		1975	206,00	199	531	657	530	SEDIMENTAR	719,00	11,00	110,00	3,60	0,0364	IND
345	MOOCA	338,26	7392,52	785	H		1975	195,00	181	604	701	635	SEDIMENTAR	698,00	87,00	120,00	0,70	0,0212	PART
346	SE	333,50	7395,15	725			1975	250,00	132	593	651	608	SEDIMENTAR	659,50	65,50	74,80	29,90	3,2151	IND
347	CARRAO	341,68	7395,55	742	G		1977	230,00	200	542	652	549	SEDIMENTAR	635,40	106,60	113,60	8,10	1,1571	IND
348	MOOCA	337,77	7392,75	795	H		1977	235,00			673	571	SEDIMENTAR	720,00	75,00	122,20	4,00	0,0847	PART
349	BELEM	337,79	7395,93	744	G		1978	200,00			677	564	SEDIMENTAR	628,00	116,00	117,00	6,50	6,5000	IND
350	BELEM	337,06	7395,52	742	D		1978	138,00	132	610	665	613	SEDIMENTAR	647,50	94,50	108,30	16,60	1,2029	IND
351	BRAS	335,50	7395,12	732	D		1979	204,00	125	607	658	538	SEDIMENTAR	659,00	73,00	81,00	30,00	3,7500	PART
352	CARRAO	341,62	7395,35	744	G		1979	352,00	204	540	645	557	SEDIMENTAR	652,20	91,80	138,80	29,90	0,6362	IND
353	BRAS	334,95	7394,23	728	D		1980	200,00	114	614	661	615	SEDIMENTAR	662,00	66,00	89,20	6,20	0,2672	PART
354	CAMBUCI	335,63	7393,40	730	F		1981	90,00			695	649	SEDIMENTAR	701,00	29,00	69,80	2,60	0,0637	PART
355	MOOCA	336,17	7394,35	736	D		1983	211,00			624	536	SEDIMENTAR	663,00	73,00	124,60	8,10	0,1570	PART
357	TATUAPE	339,31	7395,36	756	G	HIDROGESP	1991	159,00	124	632	702		SEDIMENTAR	665,90	90,10	114,70	6,40	0,2602	IND
358	TATUAPE	338,70	7395,90	729	E	HIDROGESP	1989	350,00	110	619	635	-	MISTO	631,20	97,80	103,10	8,80	1,6604	IND
359	CARRAO	341,62	7395,35	744	G	HIDROGESP	1989	194,00			625		SEDIMENTAR	633,00	111,00	122,90	40,00	3,3613	IND
360	TATUAPE	340,44	7395,52	744	G	AIR LIFT	1992	181,00			640		SEDIMENTAR	647,00	97,00	108,80	0,90	0,0763	COM
361	TATUAPE	340,89	7397,35	722	E	AIR LIFT	1989	200,00	109	613	629		SEDIMENTAR	637,00	85,00	87,00	6,00	3,0000	COM
362	MOOCA	336,08	7393,94	735	F	HIDROGESP	1992	153,00	142	593	645		SEDIMENTAR	683,80	51,20	106,60	9,00	0,1625	IND
363	PARI	335,93	7397,39	723	A	AIR LIFT	1989	124,00	44	679			CRISTALINO	687,00	36,00	69,00	18,00	0,5455	IND

POÇO TUBULAR PROFUNDO

PIEZÔMETRO

SONDAGEM GEOTÉCNICA

PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO

DESTAQUE DA FIGURA 5.34

N

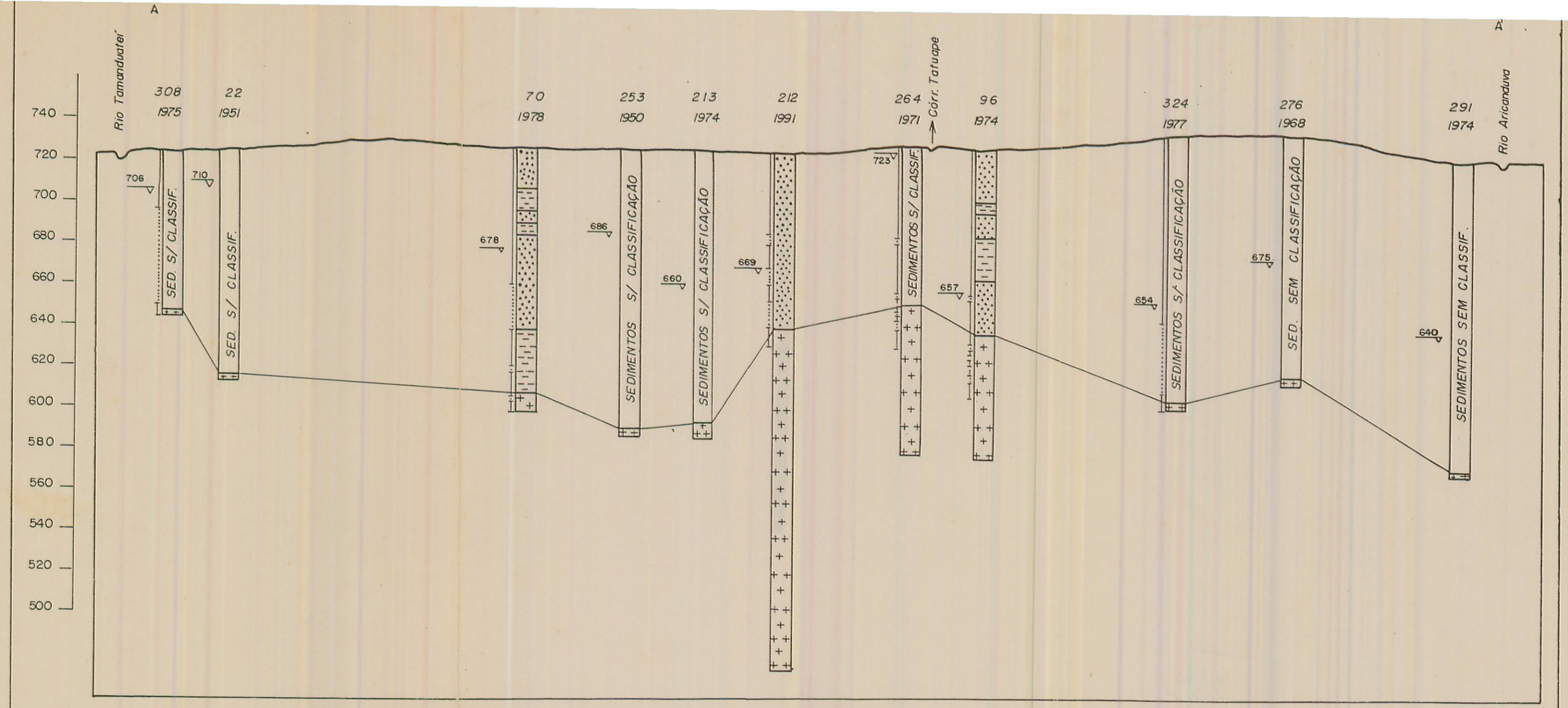
ESCALA HORIZONTAL

0 1000m

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

BIBLIOTECA
T2240
USP

MAPA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS, PIEZÔMETROS E SONDAGENS GEOTÉCNICAS DA ÁREA DE ESTUDO.



ARGILA

AREIA

EMBASAMENTO CRISTALINO

REVESTIMENTO/FILTRO

NÍVEL D'ÁGUA

ESCALA HORIZONTAL

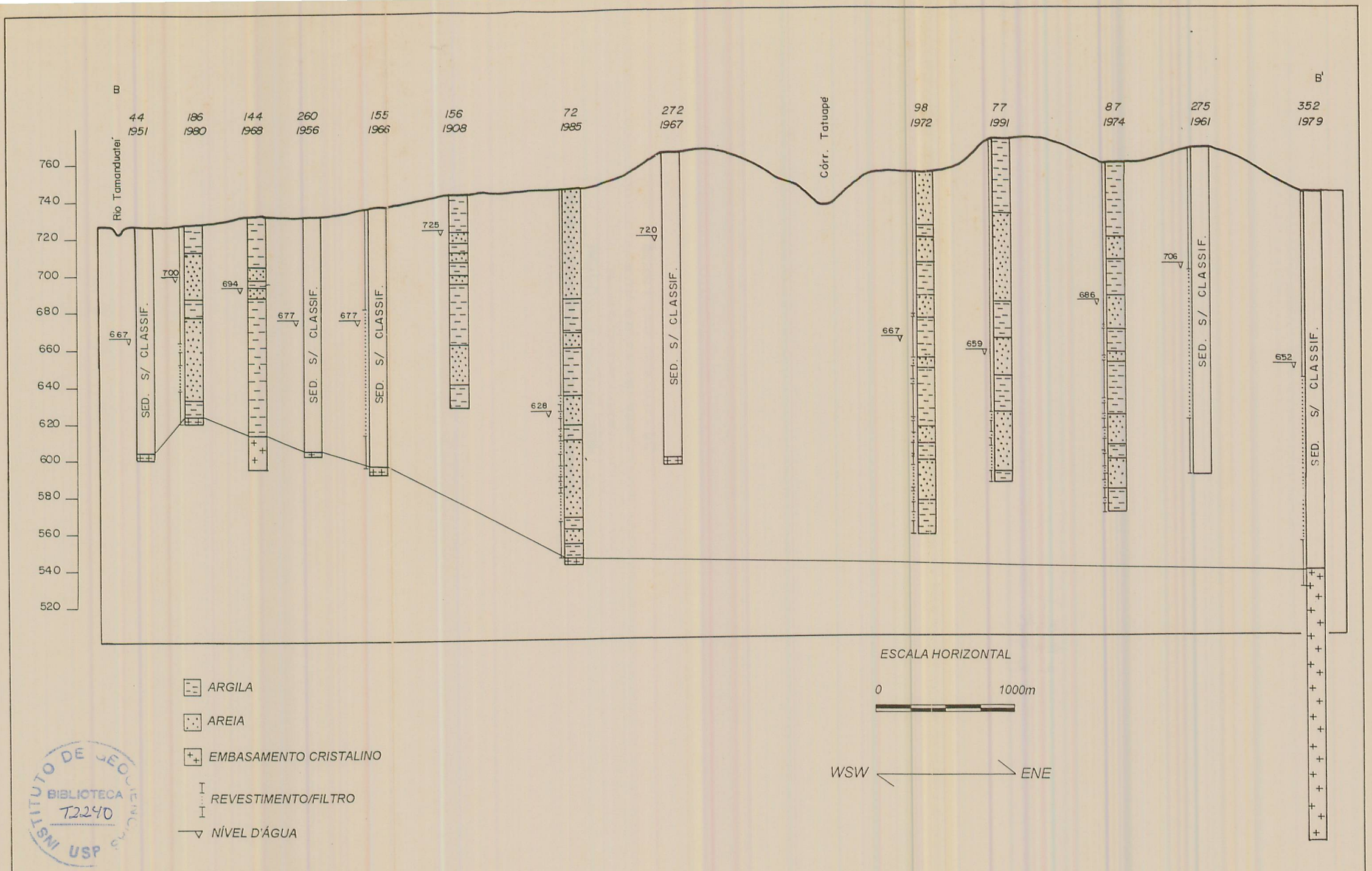
0 1000m

W E

BIBLIOTECA
T2240
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS USP

PERFIL 1 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO A - A' DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

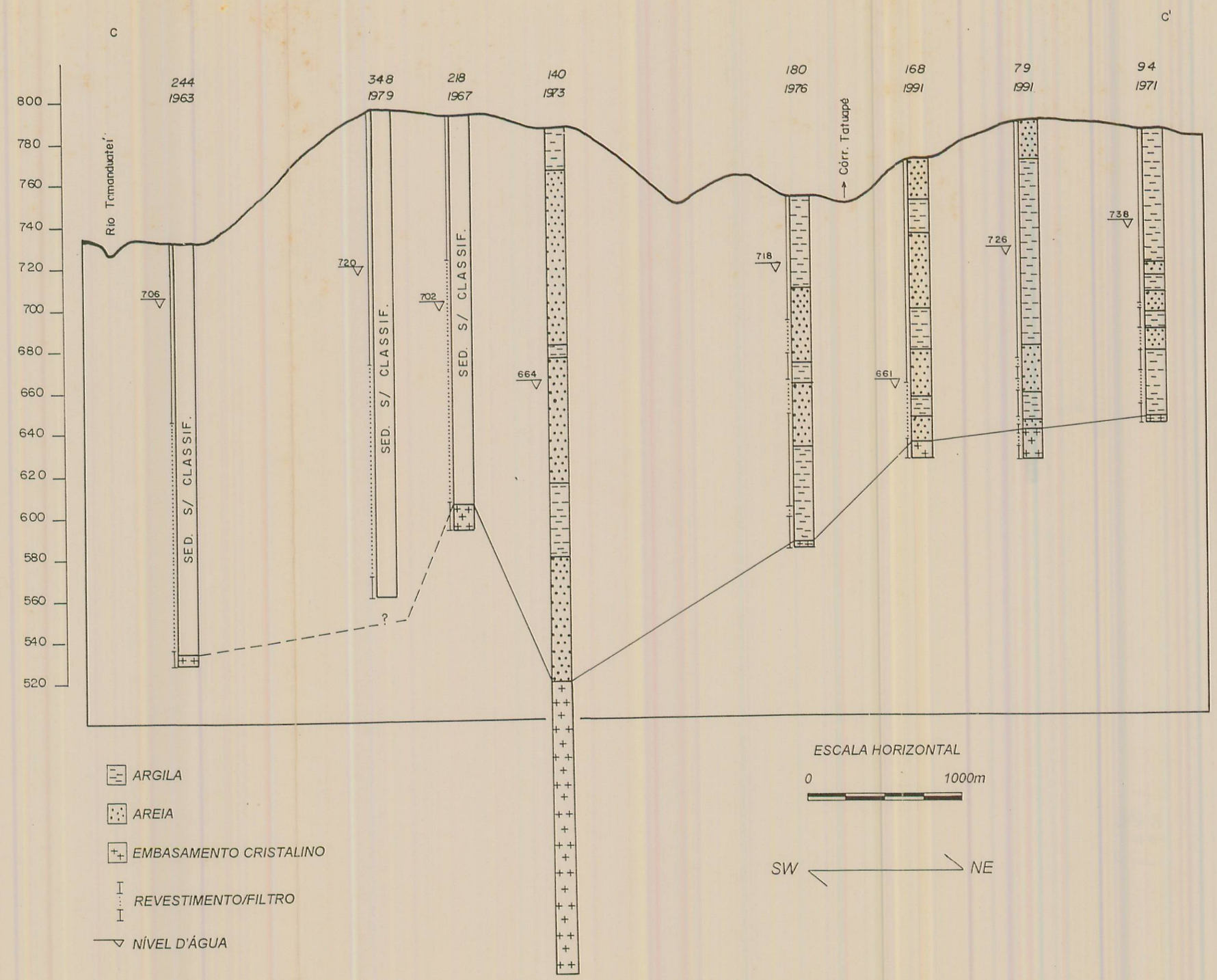
Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP

PERFIL 2 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO B - B' DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

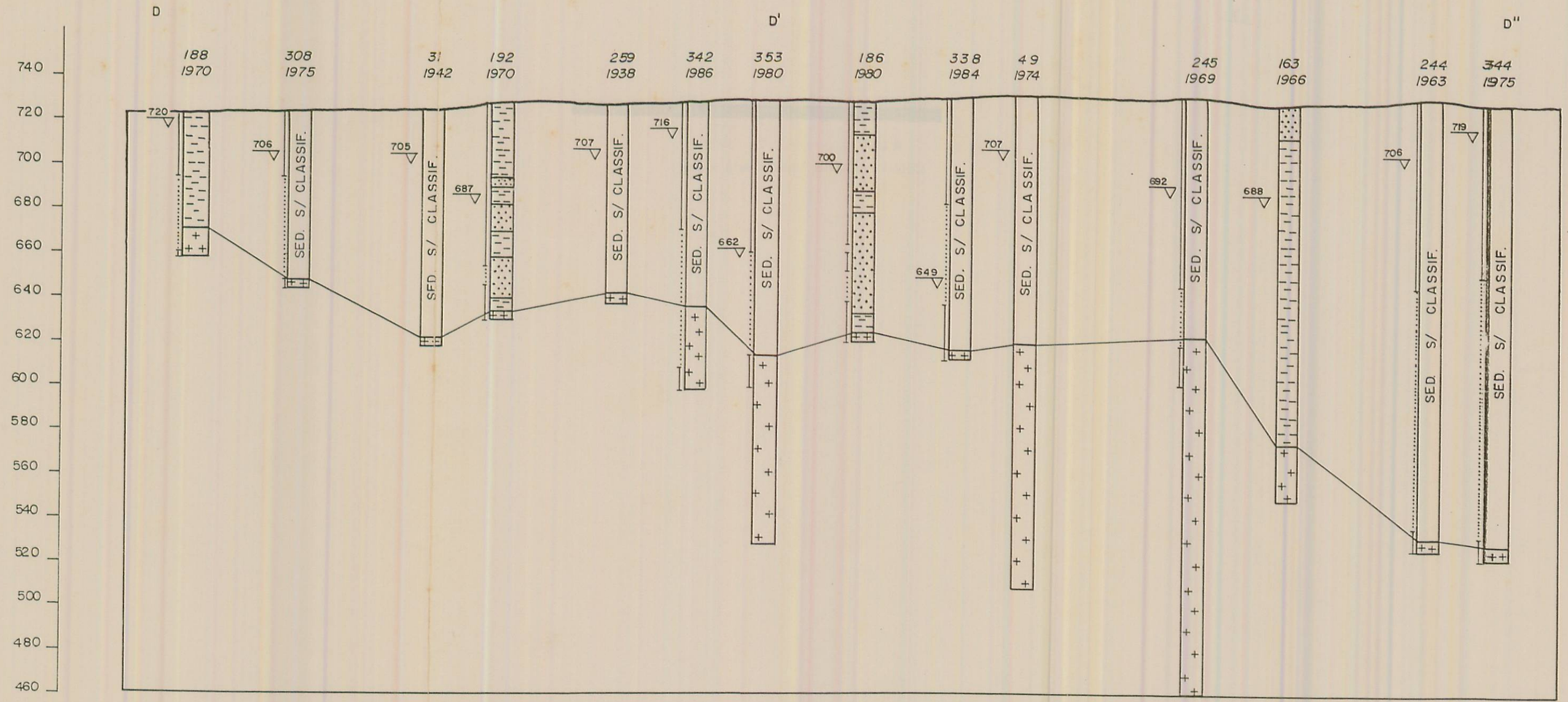
Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



PERFIL 3 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO C - C' DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS USP
BIBLIOTECA
T2240



ARGILA

AREIA

EMBASAMENTO CRISTALINO

REVESTIMENTO/FILTRO

NÍVEL D'ÁGUA

ESCALA HORIZONTAL

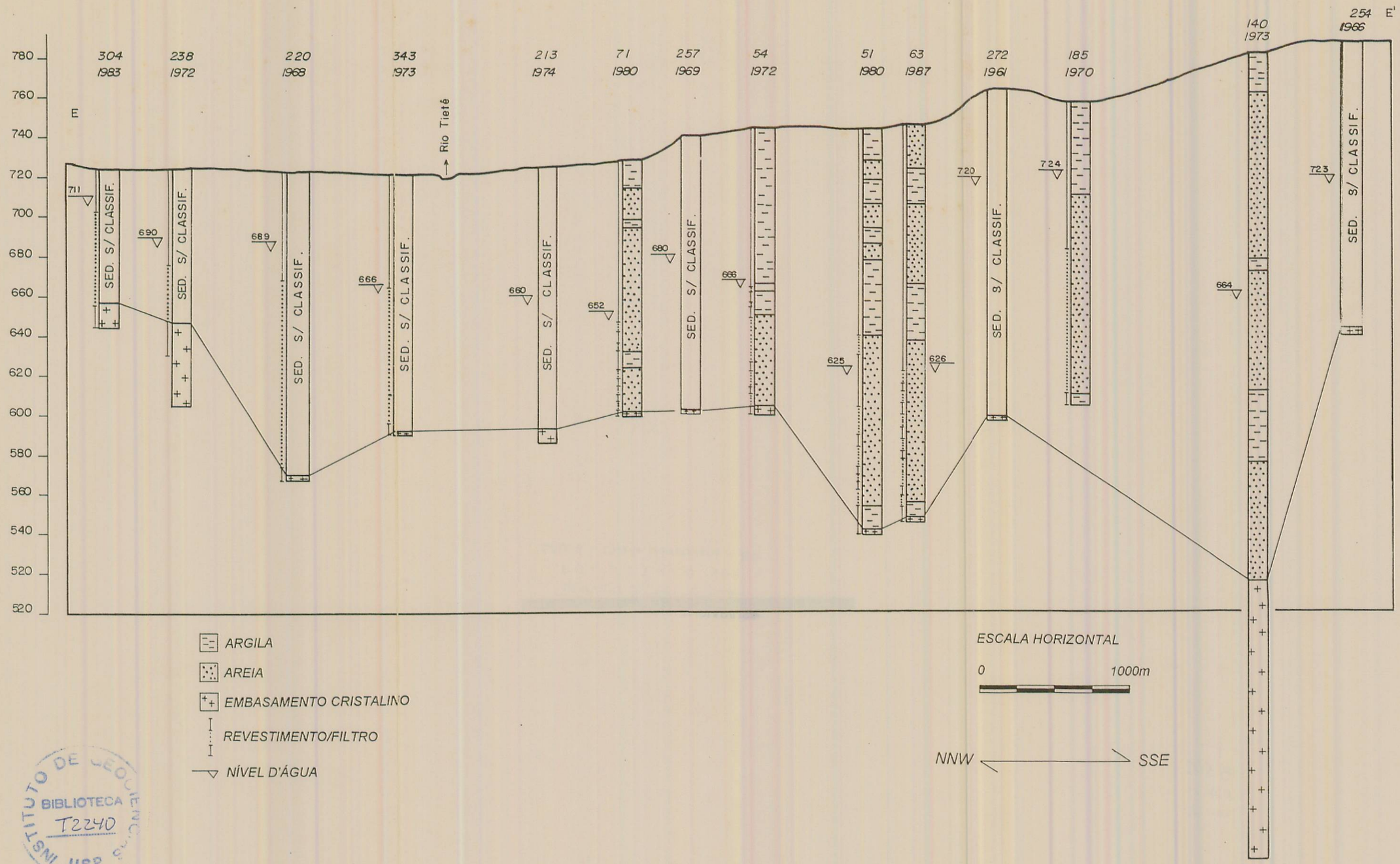
0 1000m

NNW SSE

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS USP
BIBLIOTECA
T2240

PERFIL 4 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO D - D' - D" DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

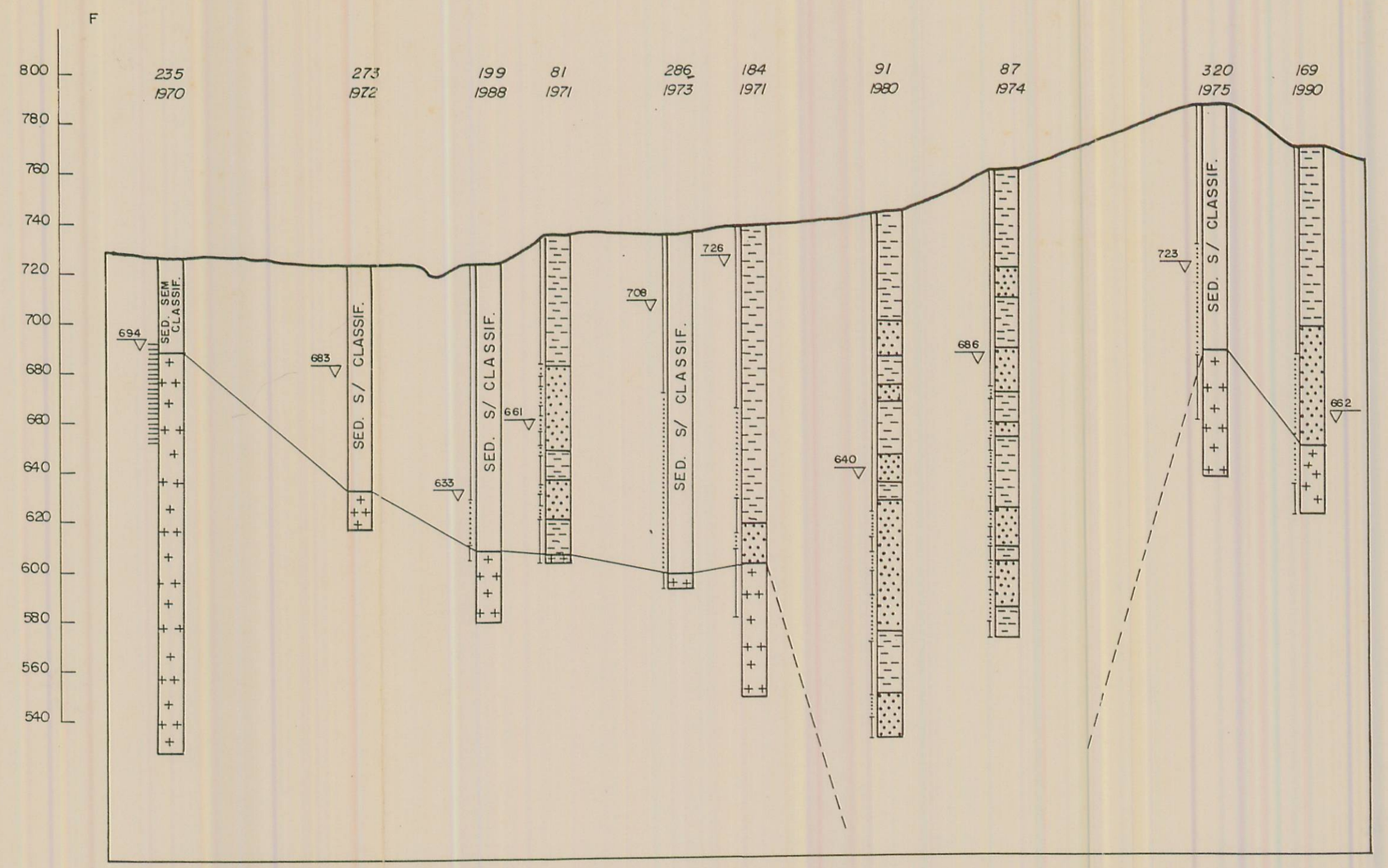
Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS USP
BIBLIOTECA
T2240

PERFIL 5 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO E - E' DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



ARGILA

AREIA

EMBASAMENTO CRISTALINO

REVESTIMENTO/FILTRO

NÍVEL D'ÁGUA

ESCALA HORIZONTAL

0 1000m

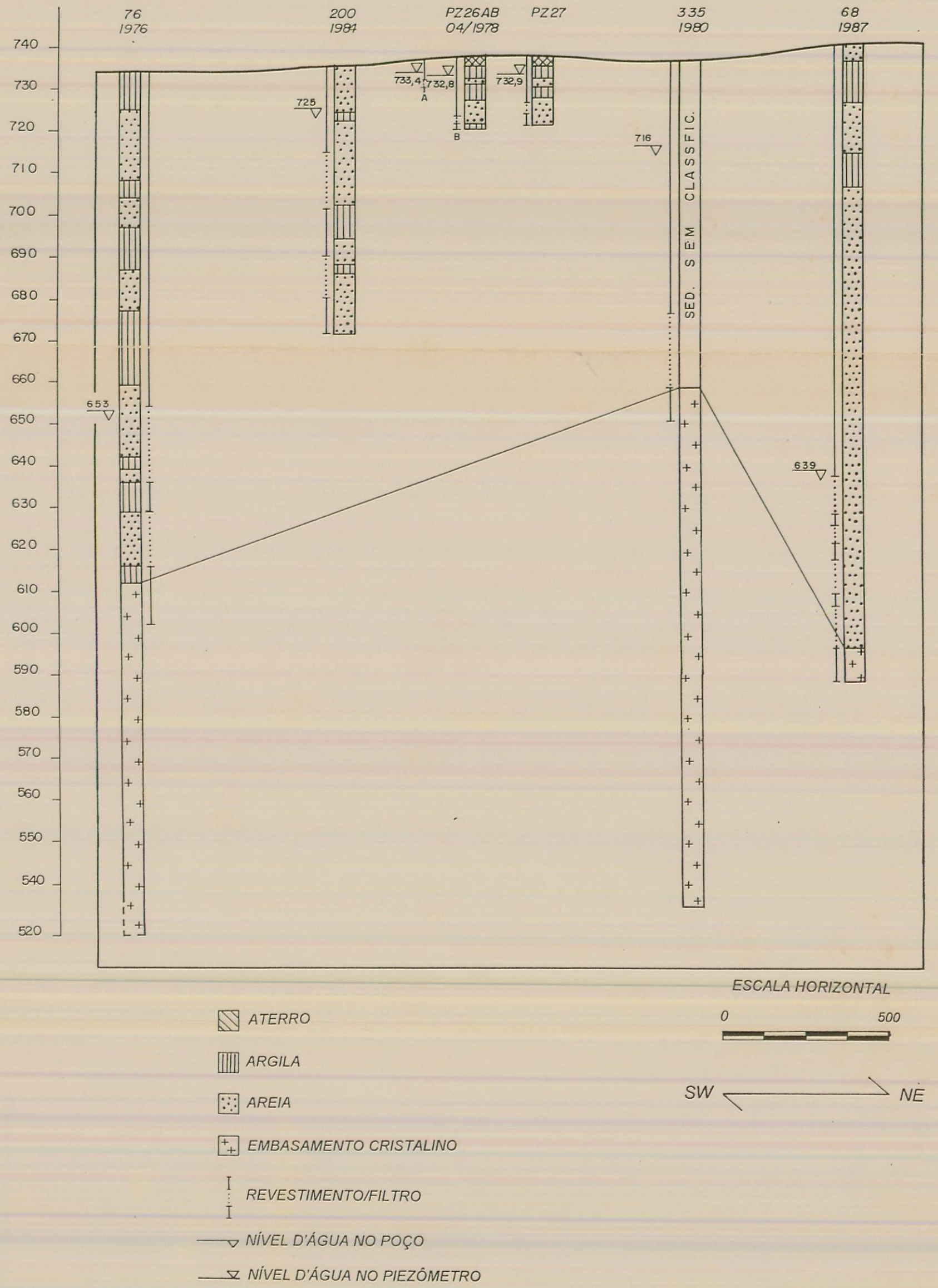
NNW SSE

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP

PERFIL 6 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO F - F' DE POÇOS PROFUNDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.

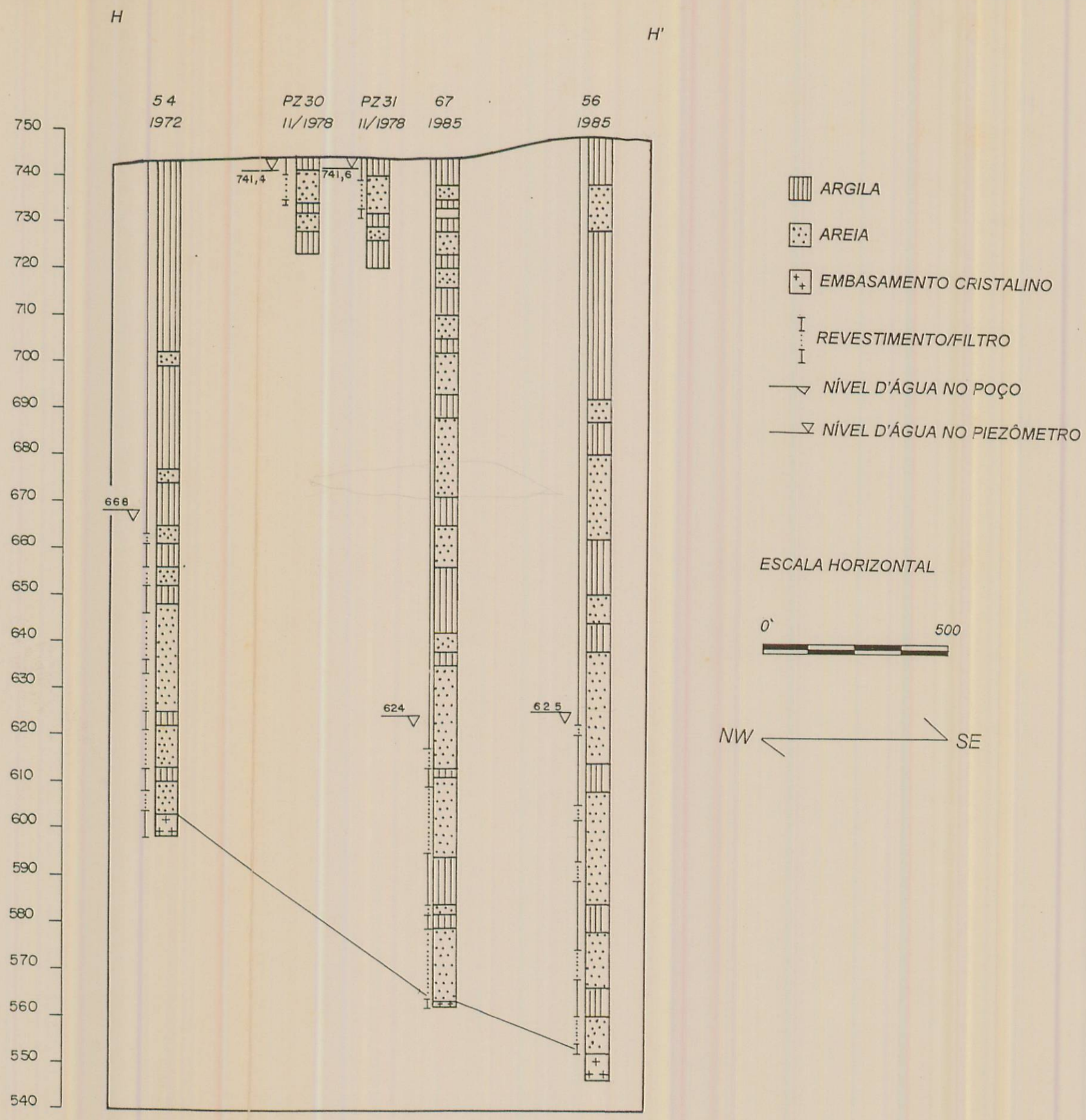
Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

BIBLIOTECA
T2240
INSTITUTO DE CIÊNCIAS
USP



PERFIL 7 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO G - G'.

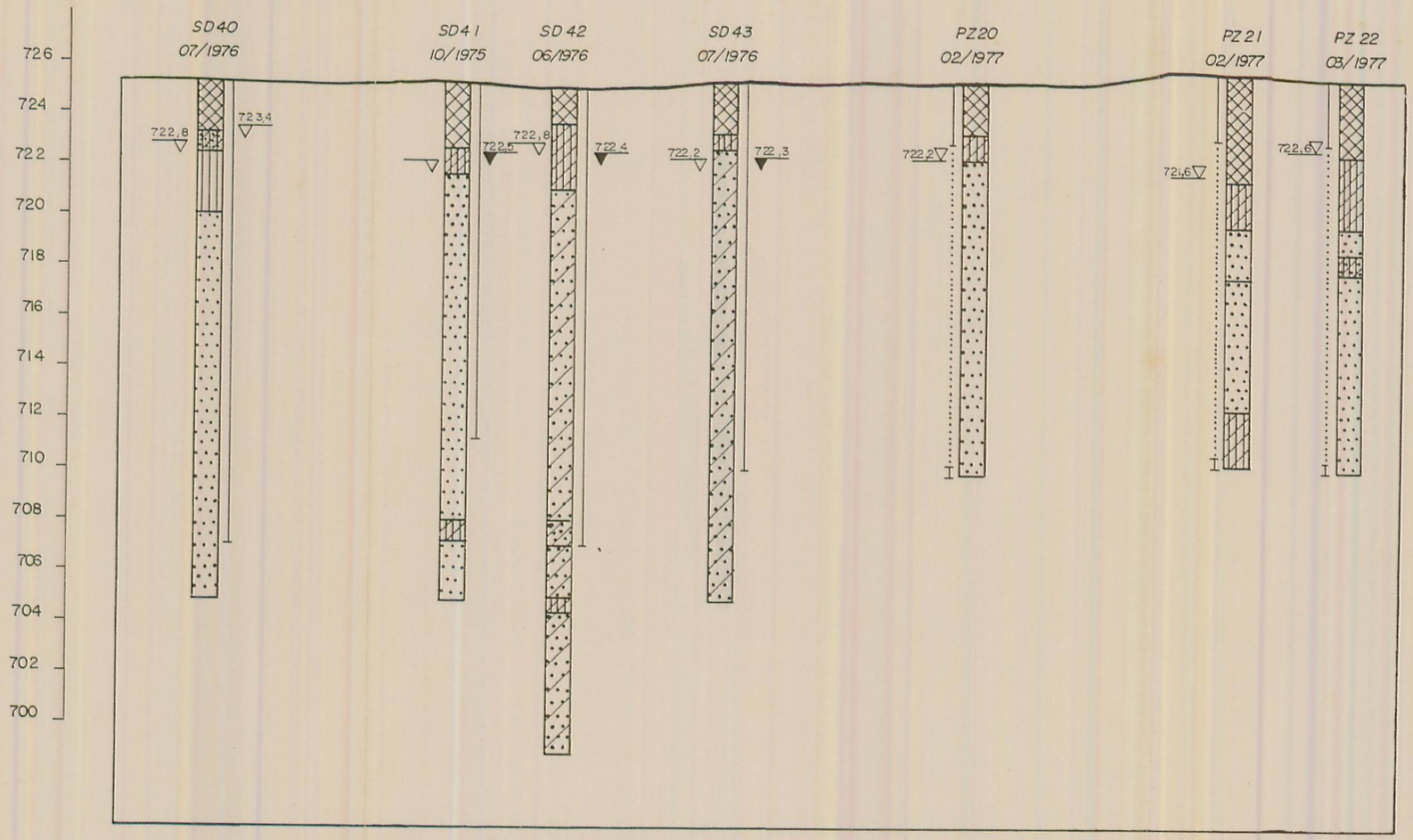
Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



PERFIL 8- PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO H - H'.

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

DE GEOCIÊNCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP



ATERRO
AREIA DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL
ARGILA
SILTE
AREIA ARGILOSA
AREIA SILTOSA
ARGILA ARENOSA
ARGILA SILTOSA
SILTE ARENOSO
SILTE ARGILOSO
REVESTIMENTO
ENTRADA D'ÁGUA DO PIEZÔMETRO
PRIMEIRO NÍVEL D'ÁGUA ENCONTRADO DURANTE A PERFURAÇÃO
NÍVEL D'ÁGUA NA SONDAGEM COM REVESTIMENTO
NÍVEL D'ÁGUA NO PIEZÔMETRO

ESCALA HORIZONTAL

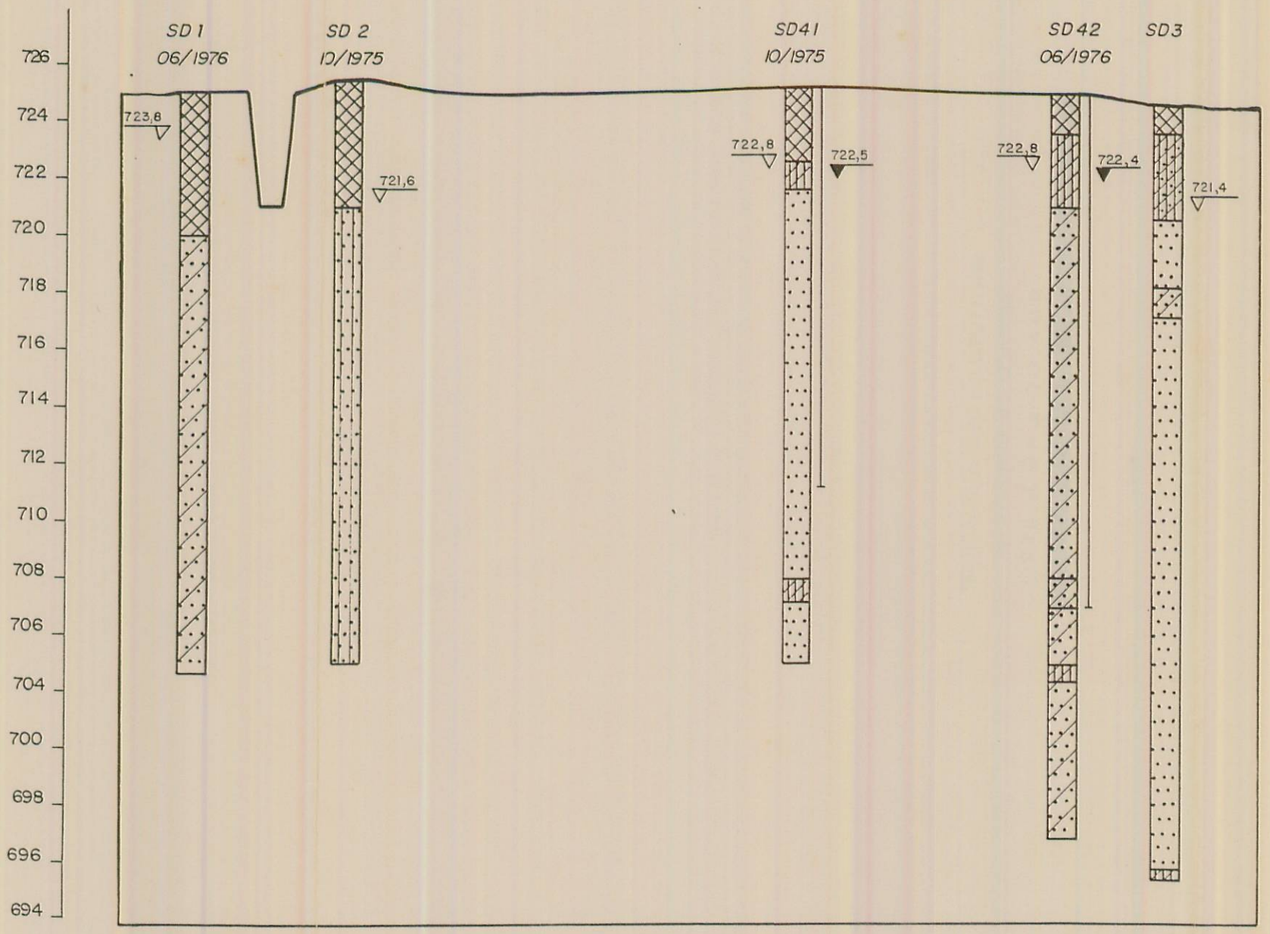
0 100m

N S

PERFIL 9 - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO I - I'. *Perfil junto à estação D.Pedro II, paralelo ao rio Tamanduateí (cota aproximada de 721 metros).*

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

DE GEOCIÊ
BIBLIOTECA
T2240
USP



ATERRO
AREIA DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL
ARGILA
SILTE
AREIA ARGILOSA
AREIA SILTOSA
ARGILA ARENOSA
ARGILA SILTOSA
SILTE ARENOSO
SILTE ARGILOSO

REVESTIMENTO
ENTRADA D'ÁGUA DO PIEZÔMETRO
PRIMEIRO NÍVEL D'ÁGUA ENCONTRADO DURANTE A PERFURAÇÃO
NÍVEL D'ÁGUA NA SONDAGEM COM REVESTIMENTO
NÍVEL D'ÁGUA NO PIEZÔMETRO

ESCALA HORIZONTAL

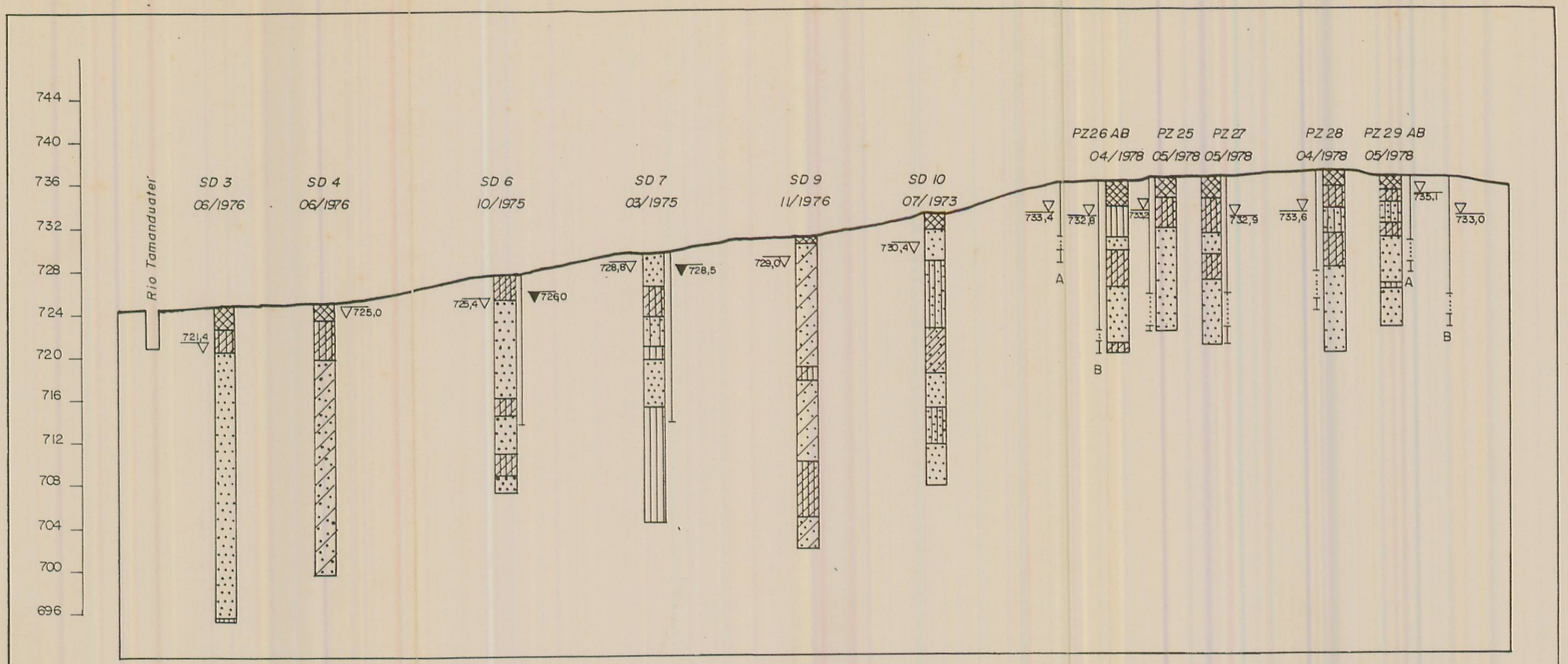
0 30m

W E

PERFIL 10A - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO J - J' - TRECHO 1.

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP



ATERRO
AREIA DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL
ARGILA
SILTE
AREIA ARGILOSA
AREIA SILTOSA
ARGILA ARENOSA
ARGILA SILTOSA

SILTE ARENOSO
SILTE ARGILOSO
REVESTIMENTO
ENTRADA D'ÁGUA DO PIEZÔMETRO
PRIMEIRO NÍVEL D'ÁGUA ENCONTRADO DURANTE A PERFURAÇÃO
NÍVEL D'ÁGUA NA SONDAGEM COM REVESTIMENTO
NÍVEL D'ÁGUA NO PIEZÔMETRO

ESCALA HORIZONTAL

0 2000m

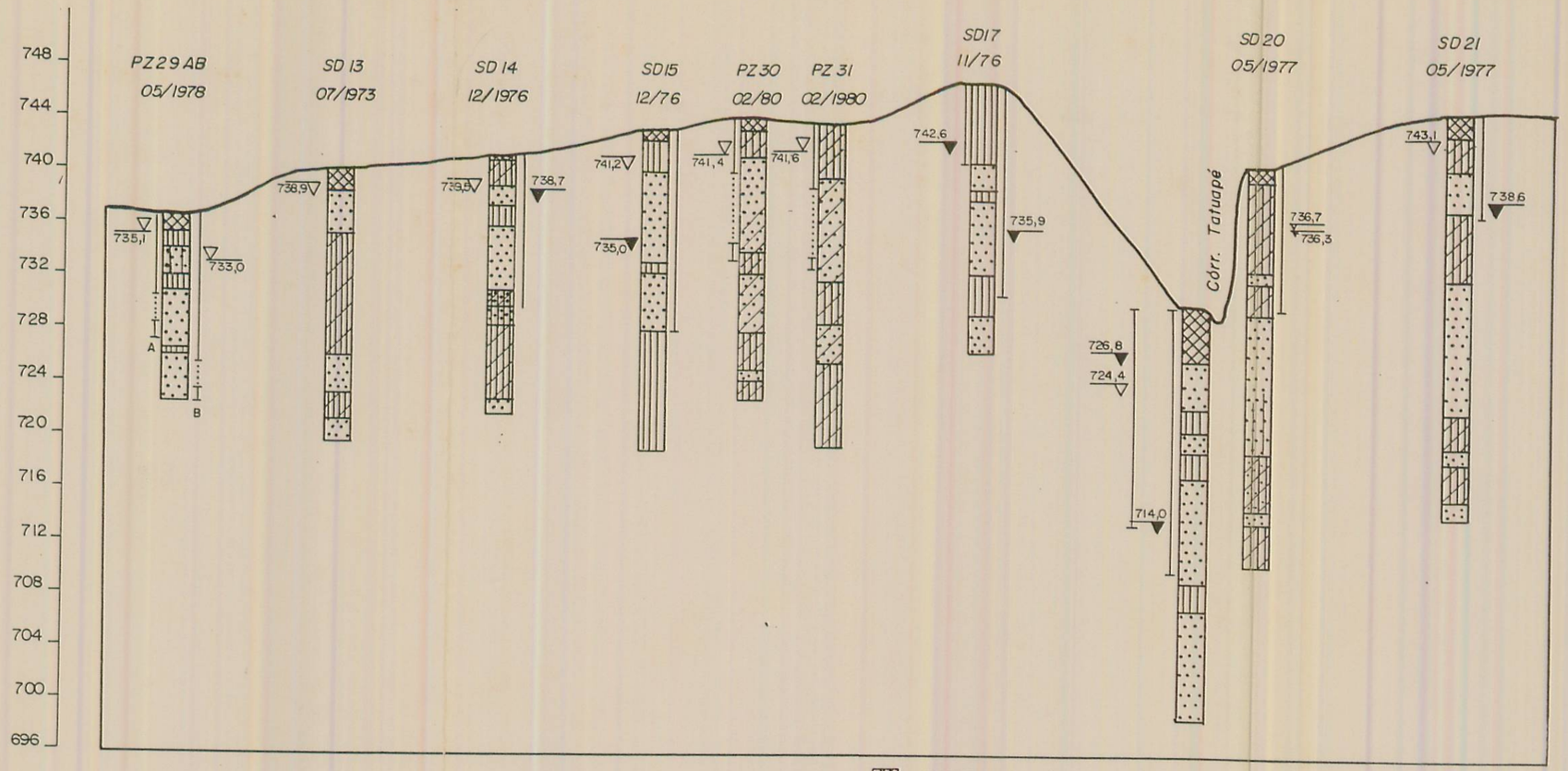
W E

PERFIL 10B - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO J - J' - TRECHO 2.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/USP
SERVIÇO DE BIBLIOTECA
RUA DO LAGO, 562
05508 - Cidade Universitária - SP

BIBLIOTECA
T2240
USP

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996



ATERRO
AREIA DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL
ARGILA
SILTE
AREIA ARGILOSA
AREIA SILTOSA
ARGILA ARENOSA
ARGILA SILTOSA
SILTE ARENOSO
SILTE ARGILOSO

REVESTIMENTO
ENTRADA D'ÁGUA DO PIEZÔMETRO
PRIMEIRO NÍVEL D'ÁGUA ENCONTRADO DURANTE A PERFURAÇÃO
NÍVEL D'ÁGUA NA SONDAGEM COM REVESTIMENTO
NÍVEL D'ÁGUA NO PIEZÔMETRO

ESCALA HORIZONTAL

0 2000m

W E

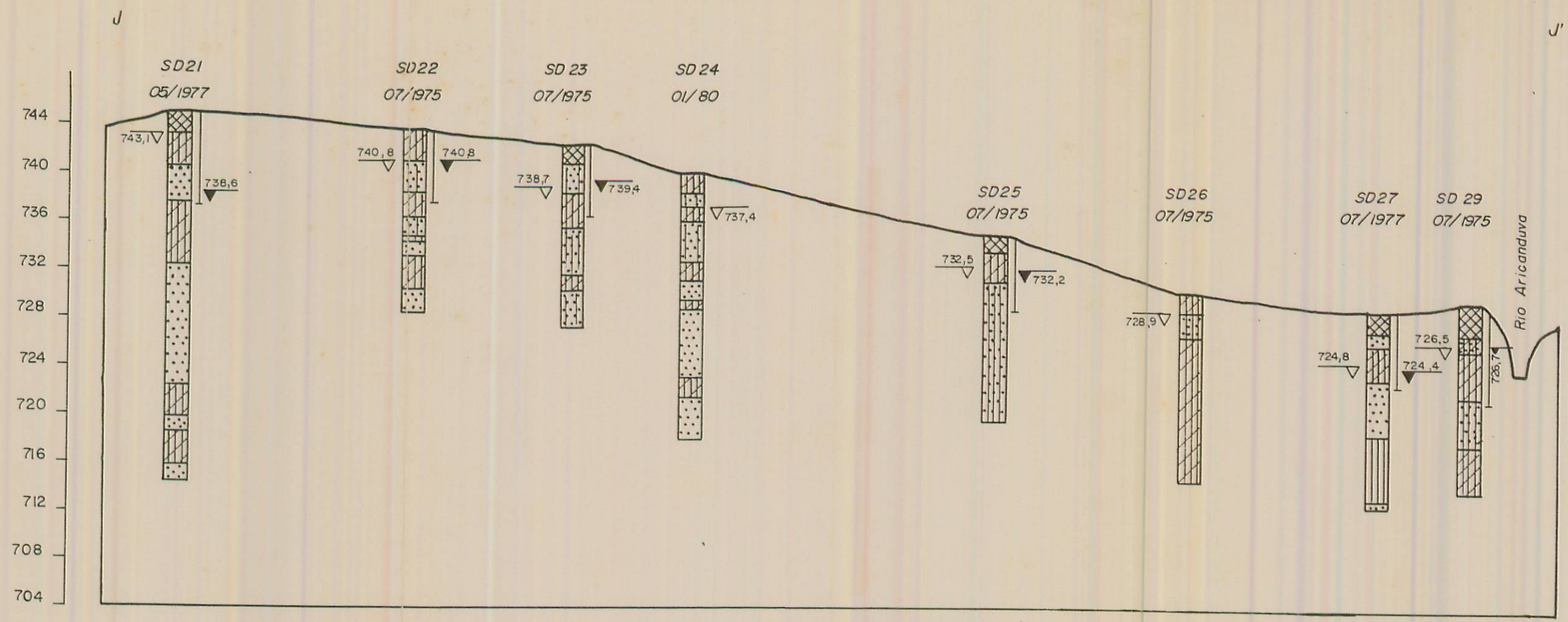
PERFIL 10C - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO J - J' - TRECHO 3.

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS/USP
SERVIÇO DE BIBLIOTECA
RUA DO LAGO, 562
05508 - Cidade Universitária - SP

BIBLIOTECA
T2240
USP

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

INSTITUTO DE GEOCIENCIAS/USP
SERVIÇO DE BIBLIOTECA
RUA DO LAGO, 562
05508 - Cidade Universitária - SP.



ATERRO
AREIA DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL
ARGILA
SILTE
AREIA ARGILOSA
AREIA SILTOSA
ARGILA ARENOSA
ARGILA SILTOSA
SILTE ARENOSO
SILTE ARGILOSO

REVESTIMENTO
ENTRADA D'ÁGUA DO PIEZÔMETRO
PRIMEIRO NÍVEL D'ÁGUA ENCONTRADO DURANTE A PERFURAÇÃO
NÍVEL D'ÁGUA NA SONDAGEM COM REVESTIMENTO
NÍVEL D'ÁGUA NO PIEZÔMETRO

ESCALA HORIZONTAL

0 2000m

W E

PERFIL 10D - PERFIL GEOLÓGICO/HIDROGEOLÓGICO J - J' - TRECHO 4.

Dissertação de Mestrado, BERTOLO, R.A. - 1996

DE GEOCIENCIAS
BIBLIOTECA
T2240
USP