UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DA CIDADE
UNIVERSITÁRIA DE SÃO PAULO

Mara Akie Iritani

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. A.C.Rebouças
Examinadores:	Dr ^a A.A.K.e Silva
	Dr. F.Taioli

SÃO PAULO
1993

ÍNDICE

	PG
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE ANEXOS	IV
 RESUMO	 V
ABSTRACT	VI
 AGRADECIMENTOS	 VII
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVO	1
3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
3.1 - Contexto Geográfico	2
3.2 - Contexto Geológico	2
3.3 - Contexto Hidrogeológico	6
4 - METODOLOGIA	7
4.1 - Revisão Bibliográfica	7
4.2 - Trabalhos Anteriores na Área	9
4.3 - Trabalhos Realizados	10
5 - HIDRODINÂMICA	21
5.1 - Geometria do Aquífero Sedimentar	21
5.2 - Comportamento do Nível D'Água	29
5.3 - Parâmetros Hidrodinâmicos	37
5.4 - Avaliação das Reservas	46
6 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA	49
6.1 - Composição Físico-química	49
6.2 - Classificação	53
6.3 - Potencial de Corrosão ou de Incrustação	53
6.4 - Potabilidade	56
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
8 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	59
9 - BIBLIOGRAFIA	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Cidade Universitária (modificado de Emplasa, 1980)	3
Figura 2 - Mapa geológico da região próxima à Cidade Universitária (compilado de Emplasa, 1984)	5
Figura 3 - Mapa de localização das sondagens elétricas realizadas na Cidade Universitária	12
Figura 4 - Curva de eletrorresistividade obtida no levantamento geofísico realizado na Cidade Universitária	13
Figura 5 - Localização dos poços de observação e produtores perfurados na Cidade Universitária	15
Figura 6 - Localização e profundidade dos poços multiníveis.....	18
Figura 7 - Mapa do contorno estrutural do embasamento cristalino	23
Figura 8 - Mapa gravimétrico (anomalia Bouguer) da Cidade Universitária (compilado de Ussami & Molina, 1992).....	24
Figura 9 - Perfil sísmico entre os poços de observação P2 e P8 na Cidade Universitária (compilado de Taioli, 1992).....	26
Figura 10 - Mapa de isoespessura de sedimentos na Cidade Universitária	27
Figura 11 - Perfil litológico do poço de observação P12.....	28
Figura 12a - Perfil geológicos A-A' e B-B' na Cidade Universitária.....	30
Figura 12b - Perfil geológico C-C' na Cidade Universitária.....	31
Figura 13a - Variação temporal do nível d'água nos poços de observação.....	32
Figura 13b - Variação temporal do nível d'água nos poços de observação	33
Figura 14 - Mapa potenciométrico ilustrando as curvas equipotenciais na época de chuvas e estiagem.....	35
Figura 15 - Perfil geológico dos multiníveis e o fluxo da água subterrânea.....	36
Figura 16 - Resultado dos testes de vazão escalonada dos poços produtores	38
Figura 17a - Curvas granulométricas de amostras coletadas do poço de observação P12	40
Figura 17b - Curvas granulométricas de amostras coletadas do poço de observação P12	41
Figura 18 - Curva de tempo x rebaixamento do piezômetro multinível MN2-3 mostrando a resposta inversa do nível d'água.....	43
Figura 19 - Distribuição dos valores de pH e Eh na área de estudo	51
Figura 20 - Diagrama de Stiff de análises realizadas na época de estiagem e de chuvas	54
Figura 21 - Diagrama de Piper	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de vazão e capacidade específica dos poços produtores	37
Tabela 2 - Dados de condutividade hidráulica (K) obtidos a partir das curvas granulométricas de amostras do poço de observação P12, na Cidade Universitária	42
Tabela 3 - Valores de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) obtidos no teste hidrodinâmico do poço produtor PP1	44
Tabela 4 - Valores de coeficiente de armazenamento (S) obtidos no teste hidrodinâmico do poço produtor PP1	45
Tabela 5 - Estimativa das reservas permanente e reguladora do aquífero sedimentar na Cidade Universitária, utilizando o método volumétrico	47
Tabela 6 - Estimativa da reserva reguladora do aquífero sedimentar na Cidade Universitária, utilizando o método de fluxo	48
Tabela 7 - Valores médios de pH, Eh e condutividade elétrica específica (CE) dos poços de observação	50
Tabela 8 - Padrões de potabilidade (CETESB, 1988)	57

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Cadastro de poços profundos cadastrados próximos à Cidade Universitária	64
Anexo 2 - Perfis litológicos e geofísicos dos poços de observação.....	67
Anexo 3 - Resultado das análises químicas em mg/l.....	76
Anexo 4 - Resultados das análises químicas em meq/l.....	81
Anexo 5 - Perfis construtivo, litológico e geofísico dos poços produtores	84
Anexo 6 - Dados da profundidade e cota do nível d'água monitorado nos poços de observação, produtores e multiníveis	91
Anexo 7 - Valores de Eh, pH e condutividade elétrica específica monitorados nos poços de observação, produtores e multiníveis	94

RESUMO

A Cidade Universitária, situada na zona oeste do Município de São Paulo, com uma demanda mensal de 240.000 m³ de água, procurou meios alternativos à rede pública de abastecimento, optando pela exploração dos recursos hídricos subterrâneos como fonte complementar.

Aproveitando a oportunidade, foi feito este estudo visando caracterizar o potencial hídrico do aquífero sedimentar, composto por areias e conglomerados intercalados por lentes de lamito, pertencentes à Bacia Sedimentar de São Paulo.

Para tanto, instalou-se uma rede de poços de monitoração e multiníveis para a observação do comportamento do aquífero, que mostra um fluxo da água subterrânea em sentido ao Rio Pinheiros.

Os perfis geológicos dos poços, associados às informações geofísicas, permitiram definir a geometria do aquífero sedimentar, que se espessa na porção norte da Cidade Universitária. As maiores espessuras são encontradas numa faixa E-W passando pela Raia Olímpica e a Escola Politécnica.

O teste hidrodinâmico realizado no poço produtor PP1 evidenciou um comportamento com tendência ao semi-confinamento, com valores de transmissividade entre 10⁻⁴ e 10⁻³ m²/s e de condutividade hidráulica entre 10⁻⁶ e 10⁻⁴ m/s. O coeficiente de armazenamento mostrou menores valores a maiores profundidades, variando de 10⁻⁴ a 10⁻¹.

Estes dados permitiram avaliar as reservas permanente e reguladoras que mostraram altos valores. A reserva permanente é da ordem de 11 milhões de m³, enquanto a reserva reguladora ultrapassa os 900 mil m³/ano, volume este duas vezes superior ao volume produzido pelos poços produtores no aquífero sedimentar.

Estes resultados evidenciam o potencial produtivo favorável do aquífero na área de estudo, sendo que as análises de água realizadas mostraram-se dentro dos padrões de potabilidade.

Entretanto, devido à má qualidade da água do Rio Pinheiros, um estudo mais aprofundado sobre a relação com a água superficial deve ser realizado para evitar a contaminação do aquífero.

ABSTRACT

The São Paulo University Campus, in the west of São Paulo Municipality, which consumes 240.000 m³ of water per month, has tried other water supply alternatives, such as groundwater.

This study aims the characterization of the sedimentary aquifer hydric potential, which is composed by sands and conglomerates interlayered by mudstone lenses of the São Paulo Sedimentary Basin. A net of monitoring wells and multilevels was installed in order to study the aquifer behavior. Well monitoring made evaluation of ground water flux towards Pinheiros River possible.

The association of geologic sections with geophysical information enabled the definitions of the sedimentary aquifer geometry, which thickens in the northern part of the University Campus. Maximum thickness were found in a E-W belt passing through Raia Olímpica and Escola Politécnica.

A hydrodynamic test performed in the productive well PP1 showed a semi-confinement tendency, with transmissivity and hydraulic conductivity values between 10⁻⁴ and 10⁻³ m²/s and 10⁻⁶ and 10⁻⁴ m/s respectively. The storage coefficients decrease with greater depths, varying between 10⁻⁴ and 10⁻¹.

With these data, permanent and regulating reserves were estimated, the former of 11 million m³ and the latter over 900 thousand m³/year, twice as much as the volume produced by the productive wells in the sedimentary aquifer.

These results put in evidence the favorable productive potential of the aquifer in the study area. Water analysis proved it to be within potability standards.

It is important to point out that, due to the bad quality of the Pinheiros River water, a more detailed study on surface water flow should be carried out to avoid aquifer contamination.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve a contribuição de várias pessoas e órgãos, cujos agradecimentos deixo aqui registrados.

Ao Professor Dr. Aldo da Cunha Rebouças por sua orientação e apoio durante todo o período do estudo e por possibilitar a obtenção de recursos para a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Geociências, em particular ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, pela infra-estrutura fornecida.

Ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas por seu apoio em termos de técnicos, equipamentos e infra-estrutura.

Ao Instituto Geológico, na pessoa da diretora Márcia Maria Nogueira Pressinotti, pela liberação das horas de trabalho para a finalização deste estudo, assim como pelo apoio material na editoração da dissertação.

À FINEP/PADCT (Financiadora de Estudos e Projetos), convênio 43.87/1042/00, pelo apoio financeiro e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fornecimento da bolsa de estudo.

À Prefeitura da Cidade Universitária pela liberação de pessoal de apoio para a perfuração dos poços de observação e pelas informações fornecidas.

À Geol. Harmi Takiya pela colaboração na descrição do perfil geológico e pelas análises granulométricas realizadas.

Ao Eng. Rogério Teixeira Dias pela realização do levantamento altimétrico.

Às empresas de perfuração Hidrogesp, Falcão & Olsen, Corner e Air-Drill por fornecerem os dados dos poços.

Ao Professor Dr. Uriel Duarte por sua contribuição no estudo e nos contatos com a Prefeitura da Cidade Universitária.

Aos professores doutores José Milton Benetti Mendes e Nelson Ellert pela realização do levantamento geofísico e pelas discussões e sugestões ao estudo.

Aos professores doutores Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva, Márcia Szikszay e Alberto Pacheco pelas sugestões, bibliografia e disposição para a troca de idéias pertinentes à dissertação.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, em especial a Antonio Alves da Silva, Lourdes Marques, Vera Lúcia Tardelli e José Carlos Camargo.

Aos funcionários do Instituto Geológico, especialmente para Sandra Moni, Solange Moni e Manoel Azevedo Sobrinho pelo apoio na confecção da dissertação.

Ao Mário Marcelino pelo auxílio durante o período em que estagiava no CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas).

E principalmente, aos amigos Seiju Hassuda, Sueli Yoshinaga, Geraldo Hideo Oda, Ricardo César Aoki Hirata, Stephen D. Ross e Maria Amélia Souza Menezes, que sempre incentivaram e estiveram presentes durante o desenvolver dos trabalhos, contribuindo com discussões e críticas.

1. INTRODUÇÃO

A Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, construída na década de 60 na antiga "Fazenda do Butantã", ocupa uma ampla área arborizada com prédios espaçados e ruas largas. Durante os dias úteis, o ambiente é dominado pelo corpo docente, discente e de funcionários. Nos finais de semana, a população a utiliza como área de lazer, face ao pequeno número de parques em São Paulo.

Milhares de pessoas circulando em sua área durante toda a semana demandam um volume total de água de aproximadamente $240.000 \text{ m}^3/\text{mês}$. Este volume, que inclui o consumo do hospital universitário e do centro de vivência dos estudantes, era suprido pela rede de água pública.

Na procura por meios alternativos que baixassem os gastos com o pagamento de água, a Prefeitura da Cidade Universitária optou pela perfuração de seis poços para complementar o abastecimento.

Este fato forneceu uma oportunidade para se conhecer o comportamento da água subterrânea e o potencial produtivo do aquífero existente na área.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo foi caracterizar o comportamento da água subterrânea, avaliando o potencial produtivo do aquífero sedimentar como uma reserva estratégica para o abastecimento da Cidade Universitária.

Os objetivos específicos do trabalho consistiram em:

- caracterizar a geometria do aquífero sedimentar;
- determinar os parâmetros hidrodinâmicos;
- acompanhar o comportamento do fluxo da água subterrânea;
- calcular as reservas de água disponíveis à exploração.

Secundariamente, através de análises químicas pretendeu-se avaliar a composição química da água, enfocando a potabilidade e o seu potencial de corrosão.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A descrição da localização da área da Cidade Universitária fez-se através de três pontos de vista: geográfico, geológico e hidrogeológico.

3.1. Contexto Geográfico

A Cidade Universitária localiza-se na porção centro-oeste do Município de São Paulo, na margem esquerda do Rio Pinheiros (Figura 1).

A área está compreendida entre as coordenadas UTM 7.392 km e 7.395 km Norte, e 322 km e 326 km Leste, abrangendo uma área de aproximadamente 4,3 km².

Seus limites geográficos são impostos pelos altos topográficos ao sul, o Córrego Pirajussara a leste, o Córrego da Paz a oeste e o Rio Pinheiros ao norte.

Topograficamente pode-se dividir em dois blocos.

A porção norte da área, pertencente à planície de inundação do Rio Pinheiros, atualmente canalizado, caracteriza-se por uma topografia muito plana, com cobertura vegetal rala, dominada por gramíneas cultivadas.

Paralela ao rio existe a Raia Olímpica, a qual no início da implantação da Cidade Universitária, foi uma cava de exploração de areia para construção.

A parte sul da área apresenta terrenos mais íngremes, com níveis topográficos que chegam a ultrapassar os 790 metros de altitude. Possui cobertura vegetal mais densa, testemunho da Mata Atlântica.

3.2. Contexto Geológico

Geologicamente, a área encontra-se na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, que junto com outros embaciamentos pertence ao Rift Continental do Sudeste do Brasil.

O embasamento cristalino na bacia é representado por granitos sin e pós-tectônicos, migmatitos diversos, gnaisses graníticos e oftalmíticos, xistos com grau de feldspatização variável e metassedimentos, e subordinadamente, quartzitos e anfibolitos. Devido às falhas transcorrentes que cortam o embasamento, geraram-se rochas desde cataclasitos a ultramilonitos (Campos Neto et al., 1983).

Recobrando as rochas cristalinas têm-se os sedimentos terciários do Grupo Taubaté, composto pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo, superpostos pela Formação Itaquaquecetuba (Melo et al., 1989; Riccomini et al., 1992).

A descrição das formações foi resumida aqui a partir de Riccomini et al. (1992).

A Formação Resende engloba depósitos de leques aluviais associados a depósitos de rios entrelaçados representado por duas litofácies principais, compostas por diamictitos e conglomerados, e lamitos arenosos e arenitos.

A Formação Tremembé é constituída por sedimentos argilosos de origem lacustre.

Estas formações não afloram na Cidade Universitária, ao contrário das formações São Paulo e Itaquaquecetuba.

A Formação São Paulo, aflorante na porção sul da Cidade Universitária, é constituída por depósitos de sistema fluvial meandrante, representados por duas litofácies principais. A primeira, composta por arenitos grossos, conglomeráticos com granodecrescência ascendente para siltitos e argilitos, apresenta uma exposição na área da Prefeitura da Cidade Universitária.

A segunda litofácies é constituída por arenitos médios a grossos com granodecrescência ascendente para siltitos e argilitos, sendo que na Cidade Universitária afloram onde se encontra o Instituto de Química, na porção centro-sul da área.

Nesta formação são freqüentes a existência de crostas e concreções limoníticas com espessuras variáveis, na interface entre sedimentos arenosos e argilosos.

A Formação Itaquaquecetuba, descrita primeiramente por Coimbra et al. (1983), ocorre na porção norte da Cidade Universitária, próximo à Raia Olímpica.

Riccomini et al. (1992) descrevem cinco litofácies nesta unidade, constituídas por arenitos médios a grossos, mal selecionados; conglomerados sustentados por clastos, com seixos de quartzo e quartzito; arenitos maciços de granulação média a fina; lamitos maciços, siltico-arenosos de coloração esverdeada; e por blocos subangulosos de rochas do embasamento. Na primeira litofácies, de arenitos médios a grossos, é anotada a presença de cimentação por marcassita, que quando alterada, fornece uma grande variedade de sulfatos secundários (Atencio, 1986).

A distribuição espacial das formações na Cidade Universitária baseou-se no mapeamento realizado por J. M. V. Coutinho, publicado em mapa na escala 1:50.000 pela Emplasa (Emplasa, 1984) (Figura 2).

Aqui, o substrato cristalino é constituído por gnaisses graníticos e migmatitos, com afloramentos encontrados na porção sul e sudeste da Cidade Universitária, onde a topografia é mais elevada, suportando o divisor de águas. Algumas janelas do embasamento são encontradas na porção leste da área (Figura 2).

A Formação São Paulo e a Formação Itaquaquecetuba, representada pelos aluviões fluviais no mapa, ocupam a maior extensão na área de estudo (Figura 2).

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS E CARTOGRÁFICAS

Aluviões fluviais: argila, areia e cascalho.		Ruas e avenidas principais
Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo.		Estrada de ferro
Migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em zonas de movimentação tectónica intensificada.		Igrejas principais
Contato definido		Escolas principais
Eixo de zona de falha		Rio Pinheiros
Foliação subvertical (mergulho 80°-90°)		Principais edificações

As informações geológicas foram obtidas pela EMPLASA/SNM, a partir do levantamento de campo e compilação realizados por José Moacyr Vianna Coutinho, em 1979.

ESCALA 1:50.000

ESCALA GRÁFICA

1000 0 1000m

Figura 2 - Mapa geológico da região próxima à Cidade Universitária (compilado de Emplasa, 1984).

3.3. Contexto Hidrogeológico

Sob o contexto hidrogeológico, os sedimentos da Bacia de São Paulo assentados discordantemente sobre o substrato cristalino, constituem dois grandes sistemas aquíferos distintos: o Sistema Aquífero Cristalino, sustentado pelo embasamento cristalino alterado/fraturado, e o Sistema Aquífero São Paulo, formado pelos sedimentos que preenchem a bacia.

- Sistema Aquífero Cristalino

O Sistema Aquífero Cristalino caracteriza-se por duas zonas distintas de sistema de fluxo da água subterrânea: a rocha alterada onde a água percola, principalmente, nos interstícios resultantes do intemperismo, e a rocha sã ou pouco alterada, onde a água flui preferencialmente pelas fissuras e fraturas.

Em função de sua constituição, este sistema aquífero apresenta características hidrogeológicas muito heterogêneas, associadas às discontinuidades rúpteis existentes. Assim, poços distantes de umas dezenas de metros apresentam vazões totalmente diferentes quando associados a sistemas de fraturas distintos. Esta variabilidade é observada também nos parâmetros hidrodinâmicos, refletindo a dificuldade de sua caracterização.

A partir de dados de testes de bombeamento realizados em poços que exploram este sistema, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) obteve valores de transmissividade muito variáveis, entre 0,05 a 14,3 m²/dia ($5,8 \times 10^{-7}$ a $1,7 \times 10^{-4}$ m²/s), com uma média de 3,5 m²/dia ($4,1 \times 10^{-5}$ m²/s). O estudo mostrou que este aquífero caracteriza-se pela baixa produtividade, sendo que a análise de 934 poços forneceram uma capacidade específica média de 0,34 m³/h/m ($9,4 \times 10^{-5}$ m³/s/m), onde 80% destes apresentaram valores abaixo da média (DAEE, 1975).

Na área da Cidade Universitária, este aquífero restringe-se a uma pequena área onde dois poços produtores exploram baixas vazões.

- Sistema Aquífero São Paulo

O Sistema Aquífero São Paulo, menos extenso no contexto hidrogeológico do Estado de São Paulo, possui uma importância vital, uma vez que é inteiramente ocupado pela metrópole, onde os principais rios estão totalmente poluídos.

Em termos de produtividade, o Sistema Aquífero São Paulo possui um valor de capacidade específica média de $1,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ($4,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$) e valores de transmissividade variando de $15,0$ a $70,0 \text{ m}^2/\text{dia}$ ($1,7 \times 10^{-4}$ a $8,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), com a média em torno de $50,0 \text{ m}^2/\text{dia}$ ($5,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) (DAEE, 1975). Em poços perfurados em Cumbica, obteve-se transmissividades da ordem de $150,0 \text{ m}^2/\text{dia}$ ($1,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), sendo, entretanto, excepcionais se considerarmos outros dados obtidos em toda a bacia (Mariano & Silveira, 1984 in Rocha et al., 1989).

A porosidade efetiva, estimada através da análise do caráter litológico, fica entre 2 e 10% (DAEE, 1975).

As formações São Paulo e Itaquaquacetuba, pertencentes ao Sistema Aquífero São Paulo, não podem ser separadas em aquíferos distintos devido à ausência de estudos nesse sentido. Parisot (1983) e DAEE (1975) tratam ambas as formações indiferentemente devido às suas ligações hidráulicas e à dificuldade em diferenciá-las pelos dados de perfuração.

Além disso, a relação estratigráfica entre as formações não é nítida devido à ausência de relações diretas de contato entre as duas unidades (Melo et al. 1989).

Por conseguinte, neste estudo, as formações são tratadas conjuntamente como aquífero sedimentar.

4. METODOLOGIA

O estudo, segundo os objetivos, procurou levantar as condições hidrogeológicas da Cidade Universitária. Primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica de estudos realizados na Grande São Paulo e, mais especificamente, na área de estudo, obtendo-se assim, um panorama da geologia e hidrogeologia da região. Na sequência, passou-se à caracterização da área através de métodos indiretos e diretos de investigação.

4.1. Revisão Bibliográfica

A água subterrânea tem despertado maior atenção na Grande São Paulo apenas nas últimas décadas devido ao crescimento urbano e o conseqüente perigo de contaminação de um precioso recurso.

A partir da pesquisa bibliográfica foi possível traçar um breve histórico das quatro décadas de estudos no Aquífero São Paulo. Em geral, os trabalhos intensificaram-se na década de 80 devido ao desenfreado crescimento urbano, a perspectiva de falta de água no futuro e o conseqüente perigo de contaminação das águas superficiais.

As águas subterrâneas mereceram um estudo aprofundado na década de 50, onde fez-se uma abordagem geral da Bacia de São Paulo como potencial aquífero, baseando-se em dados de

poços existentes na época (Leinz, 1955). Este assunto voltou a ser retomado em outro trabalho dois anos depois (Leinz & Carvalho, 1957).

Alguns levantamentos gravimétricos foram realizados na década de 60-70, com o intuito de determinar a topografia do embasamento cristalino e de se apresentar como um método auxiliar na pesquisa de água subterrânea (Davino, 1970).

Um importante estudo sintetizando os conhecimentos da hidrogeologia da bacia foi realizado, ainda na década de 70, abordando não somente o aspecto físico de ocorrência da água subterrânea, como também o aspecto qualitativo e de aproveitamento deste recurso hídrico (DAEE, 1975).

Com a realização da Mesa Redonda "Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo", em 1980, o estudo do DAEE (1975) é revisado por Giancursi & Lopes (1980).

Este evento marca também a contribuição das informações adquiridas em obras civis do Metrô e Sabesp ao conhecimento da hidrogeologia da bacia (Chiossi, 1980).

Ainda, neste evento é realizada uma análise da interação entre a ocupação urbana e a utilização da água subterrânea, a qual ressalta a boa qualidade da água proveniente do aquífero sedimentar e a possibilidade de sua exploração, voltando a atenção para a necessidade de um planejamento e legislação adequada (Rebouças, 1980).

Estudos mais aprofundados começam alguns anos depois com Parisot (1983), que estudando a região centro-oeste do Município de São Paulo, caracteriza hidrogeológica e hidroquimicamente a área, além de definir zonas de diferentes graus de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos. Começa, então, uma maior preocupação com a preservação da qualidade das águas subterrâneas da Grande São Paulo.

Em seguida, foi realizada uma análise das características técnicas de uso e proteção das águas subterrâneas, abordando também o aspecto legislativo até então um pouco esquecido (Pacheco, 1984 e Pacheco & Rebouças, 1985).

A análise das superfícies piezométricas no período de 1968 a 1986 mostrou uma tendência de rebaixamento acentuado principalmente na região que se estende do Braz até as proximidades da Penha, alcançando até a Moóca, ilustrando a exploração desordenada em algumas regiões (Campos, 1988).

Apesar disto, mesmo com a impermeabilização da área de afloramento dos sedimentos da Bacia de São Paulo pela urbanização, o volume estimado de água subterrânea extraído por 7.000 poços é inferior às perdas calculadas da rede de distribuição de águas, que fica em torno de 0,5 bilhão m³/ano (Rocha et al., 1989).

Observa-se, então, que apesar da suficiente reserva, como avaliado em Rebouças (1992), por falta de gerenciamento dos recursos existem áreas com superexploração e sujeitos a riscos de poluição, fazendo-se urgente a aplicação dos instrumentos técnico-legais disponíveis para um adequado uso e proteção das águas subterrâneas.

Considerando-se ainda, a importância da bacia dentro do contexto de desenvolvimento da Grande São Paulo, é reduzido o número de trabalhos realizados na área de hidrogeologia.

4.2. Trabalhos Anteriores na Área

Neste item é realizado um levantamento dos trabalhos anteriores existentes na Cidade Universitária.

O estudo realizado no campo de provas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), utilizou a técnica de traçadores radioativos, a uma profundidade inferior a 20m, verificando que o fluxo da água subterrânea tem direção norte, em sentido à Avenida Jaguaré. O teste de bombeamento efetuado neste estudo forneceu um valor de condutividade hidráulica de $8,5 \times 10^{-6}$ m/s (Aoki, 1983).

Uma Estação Experimental foi instalada no Viveiro de Plantas da Cidade Universitária com o objetivo de promover estudos para determinar a evolução química da água de recarga, desde a água de chuva até chegar ao aquífero e estudar o efeito de evaporação e infiltração da água na zona não saturada. Atravessando sedimentos argilo-arenosos da Formação São Paulo, as sondagens e amostragens não ultrapassaram os 10 metros de profundidade. Com o uso de permeâmetros, a condutividade hidráulica variou de $3,7 \times 10^{-5}$ m/s nas camadas mais arenosas a $8,4 \times 10^{-8}$ m/s nas mais argilosas (Szikszay et al., 1986).

Ensaio de permeabilidade realizados no campo até a profundidade de 4 metros, mostraram valores de condutividade hidráulica ao redor de 10^{-6} m/s. A observação da influência pluviométrica indicou um tempo de resposta de 50 a 170 dias na variação do nível hidrostático, o qual mostrou maiores valores nos meses de janeiro a abril/1986, época das chuvas, indicando a recarga do aquífero (Szikszay et al., 1987).

O estudo da evolução da composição química da água na Estação Experimental permitiu verificar que os fatores que influenciaram a região próxima à superfície são predominantemente climáticos enquanto que em profundidade, predominam os fatores litológicos. Assim, a influência da água da chuva, de composição sulfatada cálcica, é evidente nos primeiros metros da zona não saturada. Com o aumento da profundidade (mais de 5,0 metros), a influência das camadas argilosas reflete na composição bicarbonatada sódica da água, que ao atingir o aquífero, muda para bicarbonatada cálcica (Szikszay et al., 1988 e 1990).

O estudo da correlação entre a composição mineralógica e da água evidenciou o processo de caolinização da muscovita e do microclínio, refletindo nas altas concentrações de K^+ nas águas de percolação (Szikszay & Toledo-Groke, 1989).

Um levantamento gravimétrico realizado por Ussami & Molina (1991) e um perfil sísmico executado por Taioli (1992) na Cidade Universitária tiveram o objetivo de determinar o topo do embasamento cristalino na área.

A produtividade do aquífero sedimentar foi avaliada pela vazão ótima dos poços produtores construídos na área, os quais juntos perfazem uma vazão total de $76 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,0211 \text{ m}^3/\text{s}$) (Iritani et al., 1990). Entretanto, a exploração dos poços pode inverter a característica de zona de descarga do Rio Pinheiros implicando numa alteração negativa da qualidade das águas nos poços produtores (Ross et al., 1990).

Esta relação entre o rio e o aquífero foi analisada através de modelação matemática chegando-se à conclusão que sem uma gestão adequada, a extração de água pelos poços através dos anos poderá induzir a contaminação do manancial subterrâneo (Ross, 1991).

4.3. Trabalhos Realizados

Seguindo os objetivos do trabalho, a metodologia traçada para fazer este estudo seguiu uma abordagem clássica, com a aplicação de métodos indiretos e diretos de investigação, seguidos de monitoração.

Assim, as principais etapas do trabalho compreenderam: cadastramento de poços profundos nas proximidades da Cidade Universitária, levantamento geofísico, perfuração dos poços de observação, monitoramento com medida de nível d'água, coleta de amostras para análises físico-químicas da água, perfuração de poços produtores e multiníveis, realização do teste hidrodinâmico, perfuração de um poço de observação com amostragem contínua, perfilagem geofísica, e levantamento altimétrico.

- Cadastramento de poços profundos

A primeira atividade desenvolvida foi um cadastramento de poços profundos nos arredores da Cidade Universitária.

Este cadastro permitiu conhecer a geologia e a produtividade do aquífero na região.

A localização dos poços foi obtida no cadastro do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), enquanto seus perfis foram obtidos nas empresas de perfuração.

Foram cadastrados um total de 20 poços, que concentram-se principalmente na zona industrial do Jaguaré (Anexo 1).

Os poços no vale do Córrego da Paz, assim como um poço existente no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), mostram espessuras de sedimentos superiores a 50 metros, onde predominam areias e argilas intercaladas. A vazão varia de $6,8$ a $30 \text{ m}^3/\text{h}$, e a capacidade específica está entre $0,18$ e $3,33 \text{ m}^3/\text{h/m}$.

Para o sul-sudoeste da Cidade Universitária têm-se os poços no alto topográfico, nas proximidades da Av. Corifeu de Azevedo Marques, atravessando apenas rochas cristalinas. A produtividade destes poços cai, possuindo vazões de 3,1 a 8,5 m³/h e baixos valores de capacidade específica.

Um poço cadastrado e pertencente à USP não foi encontrado, estando possivelmente soterrado. Sua localização foi baseada nas coordenadas obtidas no DAEE.

Dois poços pertencentes ao IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), abandonados no momento, apresentam pequena espessura de sedimentos, possuindo baixas vazões, uma vez que exploravam basicamente o embasamento cristalino.

- Levantamento geofísico

O levantamento geofísico utilizado neste estudo foi realizado por pesquisadores do CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas) aplicando o método da eletrorresistividade, que consiste na medição das diferentes resistividades dos diversos materiais existentes no subsolo através da aplicação de uma corrente elétrica.

Neste estudo foram executadas 45 sondagens (Ellert & Mendes, 1988), com o resistivímetro TDC 1000/12 da Tectrol e seus acessórios.

As sondagens elétricas concentraram-se na porção sedimentar da área, onde predomina a topografia com baixa declividade (Figura 3). O objetivo deste levantamento consistiu em determinar a variação da espessura do pacote sedimentar, auxiliando a locação dos poços produtores e de observação.

Um exemplo das curvas de eletrorresistividade obtidas é ilustrado na figura 4.

A análise das curvas mostrou 17 sondagens satisfatórias para a avaliação do pacote sedimentar (Mendes, comunicação verbal), permitindo visualizar um espessamento em direção às proximidades da Raia Olímpica, na porção norte-nordeste da área (Figura 3).

Muitas sondagens foram descartadas devido à interferência de fios, canos e tubulações enterradas, existentes em grande número na área. Em alguns lugares, a falta de espaço, os inúmeros prédios e a topografia mais íngreme impediram a execução das sondagens até a profundidade de investigação desejada.

Contudo, estes resultados auxiliaram na escolha dos locais para perfuração dos poços de observação e produtores, que procuraram ser construídos na porção sedimentar com maior espessura.

- Rede de poços de observação

Os 11 poços de observação foram construídos pelo CEPAS, com uma sonda rotativa de pequeno porte, com o apoio da Prefeitura da Cidade Universitária.

camada espessura resistividade
(m) ($\Omega.m$)

1	2.0	450
2	2.5	800
3	10.0	150
4	10.0	6
5		50000

Figura 4 - Curva de eletrorresistividade obtida no levantamento geofísico realizado na Cidade Universitária .

O diâmetro de perfuração dos poços foi 4", revestidos com tubos ranhurados de PVC de 3". O espaço anelar foi preenchido com material da própria formação, e nos primeiros metros, com calda de cimento para proteção sanitária. Com o mesmo objetivo, foram construídas, também, lajes de cimento. Todos os poços possuem, ainda, um tubo de ferro fechado com cadeado para a proteção contra acidentes.

A localização dos poços concentra-se basicamente na porção sedimentar da área, onde predomina a topografia suave (Figura 5).

A profundidade dos poços de observação varia em torno de 30 metros. A maior parte deles atravessou material sedimentar arenoso, com exceção do poço P7, perfurado no embasamento cristalino (Anexo 2). Um poço P10A, com apenas 6 metros de profundidade, foi perfurado ao lado do poço P10 devido a problemas construtivos.

Os sedimentos atravessados são predominantemente arenosos, de composição quartzo-feldspática, cuja granulometria varia de fina a grossa.

Em função do método de perfuração, a amostragem ficou prejudicada, devido à perda de material fino na lama de bentonita.

Os poços P8 e P10 chegaram a atingir o embasamento cristalino, e assim como o poço P7, mostra uma rocha gnáissica.

- Monitoramento dos poços de observação

Durante o estudo foi realizado um monitoramento do nível d'água e dos parâmetros pH, Eh, condutividade elétrica específica (CE) e temperatura nos poços de observação. O período de monitoramento foi de aproximadamente 21 meses.

As medidas dos parâmetros físicos da água foram realizadas com um aparelho portátil da marca Dionex.

- Coleta de amostras para análises físico-químicas

Após a perfuração e limpeza dos poços de observação, foram realizadas quatro campanhas de análise da água, com um intervalo de aproximadamente três meses entre cada uma.

Para a coleta foi utilizado um amostrador tipo caçamba com válvula de pé e frascos de polietileno para acondicionar as amostras.

No campo foram feitas medidas de pH, Eh, condutividade elétrica específica, temperatura, HCO_3^- e CO_2 livre.

As amostras coletadas foram acondicionadas em ambiente refrigerado, sem a adição de qualquer conservante, seguindo-se as especificações fornecidas pelo Laboratório de Radioquímica

Figura 5 - Localização dos poços de observação e produtores perfurados na Cidade Universitária.

e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), onde as análises foram processadas.

Foram determinadas as concentrações de 21 elementos. Os elementos sódio, cálcio, magnésio, silício, alumínio, boro, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, níquel, fósforo, chumbo e zinco, foram analisados por emissão atômica com plasma de argônio induzido. O potássio foi analisado por absorção atômica, o amônio, nitrato e cloreto por colorimetria, e o sulfato por turbidimetria (Anexo 3).

O erro das análises em termos de balanço iônico em meq/l, foi calculado pela expressão:

$$e(\%) = \frac{\Sigma \text{ânions} - \Sigma \text{cátions}}{\Sigma \text{ânions} + \Sigma \text{cátions}} \cdot 100$$

O valor de erro aceitável é inferior a 10%, sendo que 26% das amostras se enquadram nesse intervalo e 36% apresentam um erro entre 10 e 20% (Anexo 4).

Os resultados das análises químicas foram interpretados através dos diagramas tradicionais de Piper e Stiff.

- Poços produtores

A Prefeitura da Cidade Universitária, interessada em explorar a água subterrânea, contratou uma empresa de perfuração que construiu seis poços produtores, sendo quatro na porção sedimentar da área (PP1 a PP4), próximos à Raia Olímpica, e dois no embasamento cristalino (PP5 e PP6), próximos do Hospital Universitário (Figura 5).

O diâmetro dos poços é de 6", possuindo cimentação e laje para a proteção sanitária.

Os poços PP5 e PP6, com profundidades de 152m e 200m, respectivamente, atravessam rochas cristalinas compactas, não possuindo, portanto, revestimento em toda a extensão, excetuando-se a porção desmoronante superior.

Os poços que exploram o Aquífero Sedimentar foram perfurados até atingirem o embasamento cristalino, contudo, em função da característica desmoronante do pacote, o revestimento não conseguiu penetrar totalmente no aquífero.

As profundidades de perfuração dos poços PP1 a PP4 foram de 72m, 66m, 36m e 50m, mas seus revestimentos atingiram apenas as profundidades de 63,7m, 51,5m, 33,5m e 47,5m, respectivamente (Anexo 5).

Os sedimentos atravessados são predominantemente arenosos friáveis, de granulação variável, com intercalações de camadas areno-argilosas. O embasamento cristalino, como observado nos poços de observação e nos demais poços profundos, é constituído por rocha gnáissica de composição granítica.

- Levantamento altimétrico

O levantamento altimétrico foi realizado em duas etapas: a primeira levantou apenas a

altimetria do poço profundo PP1 e dos multiníveis, das águas da Raia e do rio, realizada por uma firma particular. Na segunda etapa, realizada pela CETESB, foram levantadas as altitudes de todos os poços e o nível da água da raia.

Apesar de existirem mapas topográficos da Cidade Universitária, a planície de inundação do Rio Pinheiros, principalmente próximo à Raia Olímpica, mostra-se, a olho nu, muito homogênea. Por conseguinte, foi necessário o levantamento altimétrico dos poços para se visualizar e quantificar as cotas topográficas e suas diferenças.

Na Raia Olímpica, após este levantamento, observou-se um declive topográfico da porção onde se encontra o poço de observação P6, próximo ao Córrego Pirajussara no sentido para o poço P5, próximo ao Córrego da Paz, perfazendo uma diferença de nível de quase 2 metros entre estes pontos.

- Poços multiníveis

Após a conclusão do poço PP1, iniciou-se a perfuração de três poços multiníveis (MN1 a MN3).

Dispostos radialmente ao poço profundo (Figura 6), foram construídos para observar o cone de rebaixamento durante o teste de bombeamento e determinar os parâmetros hidrodinâmicos transmissividade e coeficiente de armazenamento.

A perfuração, realizada com 4" de diâmetro, utilizou sonda rotativa de pequeno porte, obtendo-se amostra lavada de calha e alcançando profundidades de aproximadamente 40 metros. Dentro destes furos foram colocados 4 a 5 tubos ranhurados e entelados de PVC com 3/4" de diâmetro, a diferentes profundidades, isolados entre si por níveis de bentonita.

O multinível MN1 possui 4 tubos com filtros instalados a profundidades de 40,9m (MN1-1), 35m (MN1-2), 30m (MN1-3) e 24m (MN1-4), distando 31,2m do poço produtor PP1.

O multinível MN2, mais próximo à Raia, ao contrário do MN1, encontra-se a uma distância radial de 23,2m do poço PP1. Este é o único multinível com 5 seções filtrantes, localizados nas profundidades de 41,5m (MN2-1), 35,5m (MN2-2), 29,5m (MN2-3), 24m (MN2-4) e 18m (MN2-5).

Seguindo uma reta paralela à Raia a partir do poço PP1, encontra-se o multinível MN3 a distância de 25,4m. Os filtros instalados a profundidades de 38,5m, 26m, 18m e 11,5m são nomeados de MN3-1 a MN3-4, respectivamente.

O espaço anelar dos primeiros metros do furo foram preenchidos com pasta de cimento, para impedir a infiltração de águas superficiais. Construiu-se, também, uma laje de proteção sanitária ao redor dos poços. Além disso, todos possuem tubo de ferro tampado e com cadeado para a proteção contra acidentes.

ESQUEMA DO MULTINÍVEL MN-1

Diâmetro : 3/4"

Profundidades:

MN1-1 : 40,85 m
 MN1-2 : 35,00 m
 MN1-3 : 30,00 m
 MN1-4 : 24,00 m

MN2-1 : 41,50 m
 MN2-2 : 35,50 m
 MN2-3 : 29,50 m
 MN2-4 : 24,00 m
 MN2-5 : 18,00 m

MN3-1 : 38,50 m
 MN3-2 : 26,00 m
 MN3-3 : 18,00 m
 MN3-4 : 11,50 m

Figura 6 - Localização e profundidade dos poços multiníveis.

A geologia atravessada na perfuração é a mesma observada no poço PP1, representada por areias de granulação variada, chegando a conglomeráticas, com intercalações lamíticas.

Nos outros três poços produtores, não se instalou multiníveis por escassez de tempo e disponibilidade de equipamento. Contudo, na continuação deste estudo, a construção de poços de monitoração permitirão a realização de outros testes hidrodinâmicos.

- Teste hidrodinâmico

Após a perfuração dos poços produtores, a empresa responsável executou testes de produção que possibilitaram a inferência da vazão explotável.

Contudo, para a determinação dos parâmetros T e S (transmissividade e coeficiente de armazenamento) foram perfurados os multiníveis ao redor do poço produtor PP1 (Figura 6), e com uma instalação elétrica provisória, realizou-se o teste hidrodinâmico.

A vazão extraída foi de 30 m³/h e permaneceu constante durante todo o teste.

Durante o ensaio, o cone de rebaixamento foi acompanhado através de 14 pontos de medida (13 distribuídos nos poços multiníveis e 1 no poço produtor), num período de 18 horas de bombeamento e oito dias de recuperação, o que mobilizou, no início, mais de uma dezena de pessoas. Por quebra ou defeito nos medidores de nível, os dados de alguns multiníveis ficaram prejudicados durante a fase de rebaixamento, não sendo possível calcular os parâmetros hidrodinâmicos. Entretanto, na recuperação, com o problema contornado, as medidas de nível foram realizadas, obtendo-se as curvas para cada multinível.

Assim, o teste permitiu avaliar o comportamento hidrodinâmico dos sedimentos na área de estudo.

- Perfuração de um poço de observação com amostragem contínua

Próximo ao poço produtor PP2 foi perfurado um poço de observação denominado P12.

Através do método da percussão e um amostrador especial de 1", chamado de "split spoon sampler", foi possível amostrar o sedimento sem a interferência da lama de perfuração.

Em alguns trechos, onde a amostragem era difícil devido à constituição arenosa grosseira ou a presença de cascalhos utilizou-se uma caçamba para trazer o material à superfície sem a contaminação da lama.

Após cada amostragem, o furo era aberto no diâmetro de 4" pelo método rotativo até próximo à profundidade amostrada, utilizando-se uma lama densa de perfuração para evitar o desmoronamento das paredes.

Por meio desta metodologia de perfuração, chegou-se à profundidade de 40,8 metros, revestindo-se, por fim, com tubo de PVC, de 3", ranhurado e entelado apenas no último metro.

O perfil litológico obtido neste poço, e descrito com a colaboração da geóloga Harmi Takiya, mostrou sedimentos predominantemente arenosos, com intercalações de lamito de pequena espessura.

- Perfilagem geofísica

As investigações indiretas são úteis na complementação dos dados existentes, permitindo-se uma análise contínua da formação rochosa, utilizando-se intervalos de medida pequenos. A aplicação dos resultados da perfilagem à hidrogeologia depende do método utilizado. O potencial espontâneo, por fornecer informações diretas da resistividade da água das formações, indica a sua qualidade. As perfilagens de eletrorresistividade e eletromagnética são importantes na determinação da espessura das formações, da qualidade da água e na diferenciação das camadas com diferentes porosidades. O registro de radiação gama natural é sensível à constituição litológica, permitindo, geralmente, diferenciar os estratos mais argilosos (Astier, 1975). Contudo, a comprovação direta através da amostragem em locais selecionados faz-se necessária para embasar e controlar os perfis geofísicos obtidos, como é o caso do poço de observação P12, amostrado em toda a sua extensão.

Assim, neste estudo, a perfilagem geofísica permitiu determinar a distribuição e espessura das camadas arenosas e argilosas atravessadas pelos poços.

É de conhecimento que os métodos indiretos possuem uma vantagem em relação aos métodos diretos em relação à redução de custos e tempo. Como exemplo, temos a perfuração dos poços de observação na área. Pelo método rotativo com coleta de amostra lavada, um poço de observação demorou, em média, uma semana para ser executado. Em contrapartida, o poço P12, com amostragem contínua, precisou de aproximadamente um mês para ser completado.

Nos poços produtores da porção sedimentar, a perfilagem geofísica foi realizada pela empresa perfuradora antes da colocação do revestimento, utilizando-se os métodos de raios gama, potencial espontâneo e eletrorresistividade (Anexo 5), para auxiliar na colocação dos filtros na época da perfuração.

Nos poços de observação P1, P2, P5, P6 e P9, a perfilagem foi realizada com um aparelho GEONICS, modelo EM-39, de propriedade do CEPAS-USP, o qual utiliza os métodos de raios gama e eletromagnético.

A haste de medida foi introduzida no poço, a uma velocidade constante, obtendo-se os valores a cada 10 cm. As perfilagens de gama-natural e da condutividade foram feitas em descidas independentes, pois não é possível medir os dois parâmetros de uma só vez. Além disso, como recomendado, cada parâmetro foi medido na descida e subida da haste de medição, para checagem dos dados. Para cada poço de observação perfilado, então, foram obtidos, pelo menos, quatro perfis geofísicos, dois, de subida e descida, para ambos os parâmetros.

Os dados obtidos com o EM-39 foram armazenados em um arquivo de dados eletrônico, acoplado ao aparelho, que, depois, ligado a um microcomputador, permitiu o armazenamento das informações em disquetes. Os dados obtidos foram então tratados através de um programa específico de geofísica (DAT39G, fornecido pela Universidade de Waterloo-Canadá) permitindo diferenciar as respostas das distintas camadas do subsolo (Anexo 2).

Para os poços produtores, a perfilagem gama natural mostrou-se mais efetiva na determinação das camadas argilosas que mostram grandes picos nos valores de medida. Os perfis elétricos sofreram a influência da parede do poço, saturada de lama, não fornecendo uma boa resposta.

Nos poços de observação, o perfil eletromagnético apresentou uma melhor resposta às camadas argilosas que mostram picos de maior condutividade enquanto que as camadas arenosas não ultrapassam os 20 mS/m. O perfil gama natural também apresentou uma boa resposta, contudo sofreu a interferência das camadas arenosas devido à sua constituição feldspática. Outra hipótese pode ter sido a pequena distância de medida, que no caso foi de apenas 10 cm.

A interpretação dos dados geofísicos, associados às informações geológicas, permitiu, então, definir a geometria do aquífero sedimentar na área estudada.

5. HIDRODINÂMICA

Neste capítulo foram integradas as informações obtidas, de maneira a definir a geometria do aquífero sedimentar, seus parâmetros hidrodinâmicos e o comportamento do nível d'água. Por fim, frente ao seu potencial produtivo, foi realizada uma avaliação dos recursos disponíveis em relação ao volume explotado.

O estudo concentrou-se principalmente no Aquífero Sedimentar onde a espessura de sedimentos ultrapassa os 30 metros e as perspectivas de produção são maiores.

5.1. Geometria do Aquífero Sedimentar

A área possui como condições de contorno hidrogeológico local, as drenagens do Córrego Pirajussara, Córrego da Paz e o Rio Pinheiros. Na parte sul, seu limite é imposto por um divisor de águas pluviais, cuja altitude topográfica ultrapassa os 790 metros.

Na Cidade Universitária, por situar-se na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, afloram na área dois aquíferos: o Aquífero Sedimentar e o Cristalino. A análise da morfologia do topo do embasamento cristalino, a qual controla a espessura de sedimentos e da distribuição litológica das camadas em subsuperfície permitiu definir a geometria do aquífero sedimentar na área.

- Substrato cristalino

O embasamento cristalino faz parte, dentro do contexto hidrogeológico do Estado de São Paulo, do Sistema Aquífero Cristalino. Contudo, sua extensão aflorante na área é pequena, delimitando o aquífero sedimentar ao sul da Cidade Universitária.

O poço de observação P7 mostra em seu perfil, uma rocha gnáissica com manto de alteração espesso chegando a 21 metros. Este encontra-se extremamente friável e arenoso até os 12 metros de profundidade.

Acima dos 21 metros, a rocha alterada apresenta um comportamento de aquífero granular, enquanto que a maiores profundidades, a água passa a percolar apenas nas fraturas.

Os poços produtores PP5 e PP6, que exploram apenas o aquífero cristalino, também atravessaram rochas gnáissicas, chegando a 152 m e 200 m de profundidade, respectivamente. Em sua porção superior, os poços atravessaram cerca de 15 metros de sedimentos e depois aproximadamente 10 metros de rocha alterada (Anexo 5).

O substrato cristalino delimita o Aquífero Sedimentar em profundidade, controlando a espessura de sedimentos.

Para definir o contorno estrutural do embasamento, integrou-se as informações dos poços perfurados na área auxiliados pelas informações geofísicas.

Os poços que atingiram o embasamento mostram diferentes espessuras de sedimentos atravessados. Os poços de observação P8 e P10 atingiram o substrato a profundidades de 26 e 29 metros, respectivamente. Os poços produtores perfurados na planície de inundação do Rio Pinheiros mostram maiores profundidades, chegando a 71 metros no poço PP1. Os poços PP2, PP3 e PP4 atingiram o embasamento nas respectivas profundidades de 64m, 34m e 48m. Na região do vale do Córrego da Paz, no sentido da Avenida Jaguaré, os poços profundos mostram espessuras de sedimento entre 45 e 65 metros. Em topografia mais elevada, os poços abandonados do IPEN (PC12 e PC13) atravessaram apenas 24 e 10 metros de sedimentos respectivamente.

O mapa de contorno estrutural (Figura 7) mostra um declive do topo do embasamento em direção ao norte, com uma inclinação acentuada na faixa que engloba o centro esportivo, a Praça do Relógio, passando pelos Institutos de Geociências e de Matemática. Na faixa passando pelo IPT, Escola Politécnica de Engenharia e pela porção centro-leste da Raia Olímpica, o embasamento apresenta suas menores cotas, formando um paleovale de direção leste-oeste. Um alto estrutural é observado na porção norte da área, próximo aos poços P5 e PP3.

Esta diferença na declividade do topo do embasamento forma uma descontinuidade leste-oeste, podendo estar relacionada aos lineamentos do Graben do Jaguaré.

O mapa gravimétrico (anomalia Bouguer) de Ussami & Molina (1992), transferido para a base topográfica da área (Figura 8), mostra uma concordância com o mapa de contorno estrutural

Figura 7 - Mapa do contorno estrutural do embasamento cristalino.

obtido. Observa-se valores mais negativos na porção E-W passando pela Escola Politécnica, sendo que os valores vão aumentando para o norte e sul desta faixa.

Um perfil sísmico realizado por Taioli (1992) entre os poços de observação P2 e P8 mostrou-se também coerente com o mapa de contorno estrutural do embasamento. Neste perfil (Figura 9), a diferença de cota do topo do substrato entre os poços é de 25 metros, com declive em direção ao poço P2, concordando com a figura 7.

- Aquífero sedimentar

Os sedimentos da Bacia de São Paulo dominam praticamente quase toda a área da Cidade Universitária.

A espessura do pacote sedimentar aumenta no sentido da faixa E-W que passa pela Escola Politécnica e avança até a Raia Olímpica. O mapa de isoespessura de sedimentos (Figura 10) mostra que o pacote sedimentar chega a ultrapassar os 71 metros. Devido ao alto estrutural do topo do embasamento, a espessura de sedimentos diminui na porção norte da área da Cidade Universitária.

Como dito anteriormente, o estudo concentrou-se ao norte da isolinha de 30 metros pois a porção sedimentar com espessuras inferiores a este valor são, em termos de exploração, relativamente sem interesse. Ao sul desta isolinha, com cotas topográficas mais altas, a região atua basicamente como área de recarga.

A litologia do pacote sedimentar foi definida pela observação dos poços perfurados auxiliados pela perfilagem geofísica realizada.

O poço de observação P12, com amostragem contínua mostrou um perfil detalhado da litologia em subsuperfície. Os sedimentos encontrados são intercalações de areias de granulação variada e lamito (Figura 11).

As camadas arenosas, semelhantes entre si, são compostas de conglomerados mal selecionados, com porções de areia fina a grossa. Podem apresentar granodecrescência ascendente, apresentando areia fina no topo passando a areia grossa e conglomerado na base.

Separando estas camadas, têm-se lentes de lamito cinza esverdeado desde centimétricas chegando até 2 metros de espessura. Em algumas destas lentes foram encontrados traços de sulfetos.

Os demais poços de observação apresentaram sedimentos predominantemente arenosos, de granulometria variável (Anexo 2). Entretanto, devido ao método de perfuração, a amostragem de calha prejudicou a avaliação da porção silto-argilosa das formações.

Os poços de observação P1, P4, P5, P6, P10, P11 e P12 apresentaram uma camada superficial argilosa orgânica, de pequena espessura (em torno de 2 metros, geralmente), pertencentes aos sedimentos aluviais quaternários. O poço P9 apresentou um nível de cascalho

26

POÇO DE OBSERVAÇÃO P12

Figura 11 - Perfil litológico do poço de observação P12.

aos 6 metros de profundidade, provavelmente uma pequena lente, uma vez que não foi observado em outros poços.

Os poços produtores, atingindo maiores profundidades, atravessaram predominantemente areias, de granulação variável de fina a grossa, chegando a conglomerática, intercaladas por sedimentos argilosos e areno-argilosos (Anexo 5).

Aqui, novamente, a amostragem de calha não permitiu a definição exata da localização das camadas argilas. Assim, a perfilagem executada nos poços produtores e de observação permitiu delimitar e definir estas lentes.

Por conseguinte, a integração das informações litológicas e do contorno estrutural do embasamento permitiu a elaboração de perfis cortando toda a área, de maneira a ilustrar a disposição das camadas em subsuperfície.

Os perfis A-A', B-B' e C-C' (Figuras 12a e 12b) mostram o pacote sedimentar predominantemente arenoso com intercalações de lentes de lamito de pequena espessura. Observa-se também o espessamento deste pacote rumo à porção centro-leste da Raia Olímpica.

Abaixo da cota 680 m não foi possível avaliar a extensão e o comportamento das camadas argilas devido à limitação da profundidade dos poços de observação, que não ultrapassam os 41 metros. Assim, as camadas de material fino a maiores profundidades foram inferidas através dos perfis geofísicos e litológicos dos poços profundos.

As intercalações de lentes argilas mostram uma recorrência ao longo de todo o pacote arenoso, apresentando desde centímetros a metros. A sua extensão também varia de poucos metros a centenas de metros.

Na área da planície de inundação do Rio Pinheiros, a camada superior, com espessura de aproximadamente 2 metros, mostra grande continuidade lateral (Figura 12b), sendo composta de material argiloso, de coloração marrom a preta, constituindo-se os sedimentos aluviais quaternários.

5.2. Comportamento do Nível D'Água

O comportamento do nível d'água da rede de poços de observação foi monitorado durante um período de aproximadamente dois anos (Anexo 6).

A diferença das cargas hidráulicas entre a época de estiagem e chuvas nos poços ficaram entre 0,6 a 3,0 metros sendo que as maiores diferenças foram sentidas nos poços P3 e P7, localizados em topografia mais elevada que os demais.

A variação temporal observada nas cargas hidráulicas, mostrou cotas do nível d'água mais elevadas nos meses de janeiro a maio e mais baixas no período de junho a novembro (Figura 13a e 13b). Esta variação apresenta uma relação intrínseca com a pluviometria, cujo período de chuvas, nos anos de 1988 a 1990, estendeu-se de dezembro a março.

- aterro
 - argila marrom escura
 - lamito
 - conglomerado mal selecionado com porções de areia grossa a fina
 - embasamento cristalino
 - contato litológico (inferido)
 - P1 poço de observação
 - PP2 poço produtor
- (L,G,EM,ER) informações utilizadas para a construção dos perfis:
- L - perfil litológico
 - G - perfil gama-natural
 - EM - perfilagem eletromagnética
 - ER - perfilagem geoeletrica

Figura 12a - Perfil geológicos A-A' e B-B' na Cidade Universitária.

Figura 13a - Variação temporal do nível d'água nos poços de observação.

Figura 13b - Variação temporal do nível d'água nos poços de observação .

A partir então, dos níveis de água, traçou-se os mapas potenciométricos em relação ao tempo. A figura 14 ilustra o comportamento das linhas equipotenciais nas épocas de seca e chuva. Em função da disposição dos poços na área, as curvas potenciométricas concentram-se na porção plana, onde os sedimentos ultrapassam os 30 metros de espessura.

A superfície potenciométrica tende a acompanhar a topografia do terreno sendo que, na faixa E-W de maior espessura de sedimentos (Figura 10), as linhas tendem a distanciar-se diminuindo o gradiente hidráulico.

O comportamento das curvas potenciométricas mostram a influência da pluviometria, sendo que na época das chuvas, o nível d'água mais elevado, reflete no avanço destas curvas no sentido do Rio Pinheiros. Assim, na época chuvosa, a curva de cota 718 m, por exemplo, está mais ao norte do que na época de estiagem.

O acompanhamento da variação do nível d'água com a pluviometria ilustra uma resposta relativamente rápida às precipitações, que alcançam o lençol freático no período de dias (Figuras 13a e 13b).

Esta variação dos níveis potenciométricos também foi observada por Szikszay et al. (1988), que obtiveram as maiores cargas hidráulicas na época das chuvas e as menores, nos meses de primavera e fim de inverno. A resposta à infiltração em dois piezômetros e um poço existentes nesta área de estudo foram 50 e 170 dias, respectivamente.

Contudo, estes dados entram em discordância com os resultados obtidos por Rubio (1992), que utiliza o traçador trítio artificial para determinar o tempo de infiltração da água em duas áreas localizadas no IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). Neste trabalho, em doze meses de monitoração, o trítio deslocou-se apenas 79 cm na área antiga de estudo e 63,5 cm na sua área nova de estudo.

Esta diferença de tempo de infiltração pode se dar devido à diferenças litológicas e geográficas, sendo que na área do IPEN, a profundidade do embasamento cristalino é menor como observado pelos poços cadastrados PC12 e PC13 (Anexo 1). Quanto à declividade do terreno, na região onde concentram-se os poços de observação, a topografia é mais plana diminuindo a velocidade de escoamento das chuvas e aumentando o tempo para a infiltração.

Além disso, como descrito por Rubio (1992), sua área antiga de estudo apresenta uma camada de aterro compactado, o que pode mascarar os resultados.

Segundo o mapa potenciométrico obtido, o fluxo geral da água subterrânea é em direção ao Rio Pinheiros, área de descarga local.

Os níveis monitorados nos multiníveis mostra um fluxo vertical preferencialmente para o aquífero (fluxo descendente) (Figura 15), mostrando características de área de recarga.

Figura 14 - Mapa potenciométrico ilustrando as curvas equipotenciais na época de chuvas e estiagem.

5.3. Parâmetros Hidrodinâmicos

- Vazão e capacidade específica

Após a perfuração dos poços produtores, a empresa responsável efetuou testes de vazão que permitiram avaliar a sua produtividade em termos de capacidade específica (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de vazão e capacidade específica dos poços produtores.

poço	Q		Q/s	
	(m ³ /h)	(m ³ /s)	(m ³ /h/m)	(m ³ /s/m)
PP1	36,6	10,2 x 10 ⁻³	0,87	2,4 x 10 ⁻⁴
PP2	20	5,6 x 10 ⁻³	0,84	2,3 x 10 ⁻⁴
PP3	06	1,6 x 10 ⁻³	0,36	1,0 x 10 ⁻⁴
PP4	20	5,6 x 10 ⁻³	0,92	2,6 x 10 ⁻⁴
PP5	6,5	1,8 x 10 ⁻³	0,10	0,3 x 10 ⁻⁴
PP6	9	2,5 x 10 ⁻³	0,08	0,2 x 10 ⁻⁴

Os valores de vazão e capacidade específica dos poços que exploram o aquífero sedimentar são altos, com exceção do poço PP3, que também possui a menor profundidade. Contudo, os valores de capacidade específica estão abaixo da média encontrada para toda a bacia sedimentar de 1,66 m³/h/m (4,6 x 10⁻⁴ m³/s/m) (DAEE, 1975). Nos poços perfurados no embasamento cristalino (PP5 e PP6) os valores estão em torno de 0,1 m³/h/m, ou seja, 0,3 x 10⁻⁴ m³/s/m, com produtividade inferior à porção sedimentar.

Nos testes de vazão escalonada realizados pela empresa de perfuração os gráficos de vazão por rebaixamento permitiram definir a vazão ótima para cada poço isoladamente. O ponto de inflexão da curva indica a máxima vazão que pode ser extraída do poço sem que haja um desgaste, garantindo um tempo mais longo na sua vida útil.

Contudo, nos poços PP1, PP5 e PP6, que extraem vazões de 36,6, 6,5 e 9 m³/h (Prefeitura da Cidade Universitária, informação verbal), as taxas estão acima da vazão ótima, que seria de 30, 5 e 7 m³/h respectivamente, como mostra a figura 16.

No poço PP1, o bombeamento excessivo pode causar um rebaixamento do nível d'água abaixo do primeiro conjunto de filtros, deixando-os descobertos e induzindo o efeito "cachoeira", o que pode reduzir a sua vida útil. Assim, recomenda-se a redução da vazão para 30, 5 e 7 m³/h para os poços PP1, PP5 e PP6, respectivamente.

Figura 16 - Resultado dos testes de vazão escalonada dos poços produtores.

Os poços cadastrados mostram valores acima de $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, ou seja, $2,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, para aqueles que exploram o aquífero sedimentar, como é o caso do poço PC11, no IPT, cuja capacidade específica é de $3,33 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ($9,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$). Apenas o poço da Colgate Ltda. (PC10), atravessando 44 metros de sedimentos, possui capacidade específica de $0,42 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ($1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$).

Os poços cadastrados que exploram o aquífero cristalino mostram baixos valores, geralmente abaixo de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ($1,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$), com exceção dos poços PC19 e PC20 localizados na margem direita do Rio Pinheiros.

- Condutividade hidráulica obtida pela análise granulométrica

Durante a perfuração do poço de observação P12 foram coletadas seis amostras, exclusivamente nos níveis arenosos, as quais foram submetidas à análise granulométrica no Laboratório de Sedimentologia do IG/USP.

As curvas granulométricas (Figuras 17a e 17b) classificam as amostras como areias geralmente grossas pobremente selecionadas.

Através destas análises foi possível calcular o parâmetro condutividade hidráulica utilizando-se a fórmula de Hazen.

$$k_i = c \cdot d_{10}^2$$

onde:

k_i = permeabilidade intrínseca

c = coeficiente faciológico

d_{10} = diâmetro efetivo (mm)

Considerando-se a água a 20°C e d_{10} em mm, pode-se calcular diretamente a condutividade hidráulica (K em cm/s) adotando-se $c=1$ (Freeze & Cherry, 1979).

Observa-se que os valores obtidos encontram-se em torno de 10^{-4} m/s , para todos os intervalos amostrados (Tabela 2).

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Poço de Observação P12

Figura 17a - Curvas granulométricas de amostras coletadas do poço de observação P12 .

Figura 17b - Curvas granulométricas de amostras coletadas do poço de observação P12.

Tabela 2 - Dados de condutividade hidráulica (K) obtidos a partir das curvas granulométricas de amostras do poço de observação P12.

amostra	profundidade (m)	K ($\times 10^{-4}$) (m/s)
A	12,0 a 13,5	1,56
B	13,8 a 14,6	3,61
C	19,9 a 20,5	1,00
D	27,8 a 28,3	1,32
E	33,8 a 34,5	1,21
F	34,5 a 35,2	1,10

A fórmula de Hazen foi determinada originalmente para areias uniformes, contudo pode ser utilizada para o intervalo de areias finas a cascalhos, com bons resultados (Freeze & Cherry, 1979).

Os valores de condutividade hidráulica mostram mesma ordem de grandeza indicando uma semelhança das camadas arenosas.

- Transmissividade e coeficiente de armazenamento obtidos no teste hidrodinâmico

O teste hidrodinâmico, realizado no poço profundo PP1 e monitorado nos poços multiníveis, teve uma duração de 18 horas de bombeamento e oito dias de recuperação, extraindo uma vazão constante de 30 m³/h ($8,3 \times 10^{-3}$ m³/s). A figura 15 mostra a distribuição espacial destes poços.

A carga hidráulica observada durante o teste hidrodinâmico apresentou um comportamento característico no início das medidas, denominado de efeito Noordbergum. Este fenômeno consiste na resposta inversa do nível d'água monitorado em aquíferos ou em aquíferos separados por aquíferos, em relação ao aquífero bombeado, durante testes hidrodinâmicos na fase de rebaixamento e recuperação (Rodrigues, 1983).

Na Cidade Universitária, as lentes argilosas atuam como aquíferos dentro do pacote arenoso.

Assim, como se observa na figura 18, o nível d'água nos multiníveis subiu alguns centímetros antes de começar a rebaixar normalmente.

Rodrigues (1983) explica esta elevação através da compressão tridimensional da matriz rochosa do aquífero, causando um aumento da pressão de água.

Figura 18 - Curva de tempo x rebaixamento do piezômetro multinível MN2-3 mostrando a resposta inversa do nível d'água.

Os dados obtidos de tempo versus rebaixamento foram interpretados pelo método de Walton (Kruseman & Rider, 1970), sendo que as curvas obtidas mostraram uma configuração semelhante em todos os multiníveis monitorados, tanto no bombeamento como na recuperação.

O tempo de duração do teste revelou-se pequeno para a completa avaliação do comportamento do aquífero. Entretanto, notou-se uma tendência ao comportamento semi-confinado.

As curvas interpretadas forneceram, então, os valores de transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S).

A partir da espessura saturada de cada piezômetro multinível, calculou-se também a condutividade hidráulica com a finalidade de comparar com àquela obtida a partir da análise granulométrica.

A tabela 3 mostra os valores de transmissividade e condutividade hidráulica calculados para a fase de rebaixamento e recuperação do teste hidrodinâmico.

Tabela 3 - Valores de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) calculados para o teste hidrodinâmico do poço produtor PP1.

poço	rebaixamento		recuperação	
	T ($\times 10^{-4}$) (m^2/s)	K ($\times 10^{-5}$) (m/s)	T ($\times 10^{-4}$) (m^2/s)	K ($\times 10^{-5}$) (m/s)
MN1-1	2,06	0,56	2,64	0,71
MN1-2	2,22	0,71	1,92	0,61
MN1-3	1,86	0,71	1,47	0,56
MN1-4	3,39	1,67	4,25	2,09
MN2-1			2,64	0,69
MN2-2	2,06	0,64	2,58	0,80
MN2-3	1,78	0,68	2,33	0,89
MN2-4	2,64	1,28	2,39	1,16
MN2-5			7,94	5,43
MN3-2	2,58	1,15	2,97	1,33
MN3-3	5,03	3,49	6,64	4,61
MN3-4			13,9	17,0

A transmissividade do aquífero sedimentar é da ordem de 10^{-4} a $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ enquanto que a condutividade hidráulica está entre 10^{-6} a 10^{-4} m/s .

Observa-se que estes valores de condutividade hidráulica são da ordem de 10 a 100 vezes mais baixos que aqueles calculados pela análise granulométrica, na tabela 2.

Esta diferença provém do método de determinação. A análise granulométrica restringiu-se essencialmente às camadas arenosas, sendo que as amostras coletadas possuem um caráter pontual frente a espessura do aquífero total do aquífero. Além disso, neste método não se considera o arranjo dos grãos, a compactação ou cimentação dos sedimentos. Os resultados obtidos através do teste hidrodinâmico integram todo o pacote sedimentar contido em sua espessura saturada, incluindo as lentes lamíticas, dando no conjunto, menores valores de K e T.

Analisando-se ainda a tabela 3, observa-se que os piezômetros multiníveis mais rasos apresentam valores até 10 vezes maior que os mais profundos.

A tabela 4 mostra os valores de coeficiente de armazenamento obtidos no teste de hidrodinâmico.

Tabela 4 - Valores de coeficiente de armazenamento (S) obtidos no teste hidrodinâmico do poço produtor PP1.

poço	coeficiente de armazenamento ($\times 10^{-3}$)	
	rebaixamento	recuperação
MN1-1	2,0	0,1
MN1-2	1,8	2,0
MN1-3	2,4	2,5
MN1-4	3,4	4,5
MN2-1		0,5
MN2-2	0,7	0,6
MN2-3	5,1	6,2
MN2-4	6,5	7,1
MN2-5		12,0
MN3-2	3,8	4,2
MN3-3	4,7	7,4
MN3-4		120,0

Os valores de coeficiente de armazenamento obtidos no teste hidrodinâmico, em sua maioria, são menores que 10^{-2} , com exceção dos multiníveis MN2-5 e MN3-4, mais rasos, cujos valores caem no campo de aquíferos livres (Tabela 4).

Para este parâmetro hidrodinâmico também os valores obtidos tendem a diminuir com o aumento da profundidade dos multiníveis, refletindo o caráter de maior confinamento pelas lentes argilosas mais profundas.

Portanto, o comportamento semi-confinado evidenciado nas curvas obtidas é reflexo destas lentes intercaladas entre os estratos arenosos. Apesar de suas pequenas espessuras, elas apresentam suficiente extensão e recorrência para influenciar o comportamento do aquífero.

5.4. Avaliação das Reservas

A demanda de água na Cidade Universitária atualmente é da ordem de 240.000 m³/mês, ou seja, quase 2,9 milhões de m³ de água ao ano, incluindo-se aqui o consumo do Hospital Universitário.

Os poços perfurados na área não suprem totalmente o abastecimento de água, que é feito através da rede pública. No entanto, como fonte complementar e estratégica permite uma redução nos gastos com o consumo de água e minimiza a falta da mesma na rede da SABESP.

A água extraída dos poços PP4, PP5 e PP6 abastece apenas o Hospital Universitário enquanto que para o Centro de Vivência dos Alunos (CRUSP) é enviada a água dos poços PP1, PP2 e PP3.

Se considerarmos um período de funcionamento de 16 horas para cada poço, extraíndo a vazão ótima estimada, o volume produzido soma um total de aproximadamente 514.000 m³/ano, que corresponde a apenas 18% da demanda total.

Para uma avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos na Cidade Universitária, foi realizada uma estimativa das reservas do aquífero sedimentar. Integrando-se os dados obtidos, estimou-se a reserva permanente, estocada no aquífero, e a reserva reguladora que, como o próprio nome diz, escoar no sentido das áreas de descarga, regularizando o fluxo dos rios principalmente na época de estiagem.

Como limite da área, consideraram-se os contornos hidrogeológicos impostos pelo divisor de águas ao sul, e pelas drenagens do Córrego da Paz a oeste, pelo Córrego Pirajussara a leste e pelo Rio Pinheiros a norte.

Em função da espessura e gradiente hidráulico diferentes, para a estimativa das reservas, dividiu-se a área em dois blocos hidrogeológicos separados pela curva de 40 metros de espessura de sedimentos (Figura 10).

Ao norte desta isolinha têm-se os sedimentos mais espessos, de topografia mais plana, cuja área soma 1,19 km². Nesta porção, considerou-se uma espessura média de 50 metros de sedimentos para os cálculos das reservas.

Ao sul da isolinha 40 metros, a topografia é mais acidentada e o topo do embasamento cristalino encontra-se mais raso. A espessura média de sedimentos considerada foi de 15 metros, estendendo-se por uma área de 2,40 km².

Estes blocos foram denominados informalmente de Bloco A e Bloco B, respectivamente.

Associados aos dados de coeficiente de armazenamento obtidos no teste hidrodinâmico, calculou-se as reservas permanente e reguladora pelo método volumétrico. No Bloco A, mais espesso, considerou-se o volume de água liberado pelo comportamento semi-confinado do aquífero sedimentar utilizando-se o valor médio dos piezômetros multiníveis mais profundos ($S=0,00347$). Para o comportamento livre, o valor de porosidade efetiva considerado foi 0,12, do piezômetro multinível MN3-4, mais raso. Nestes cálculos assumiu-se que o Bloco B apresenta um comportamento livre, com a mesma porosidade efetiva encontrada para os sedimentos do Bloco A.

Assim, a estimativa da reserva permanente estocada no aquífero sedimentar somou um volume total de 11.666.465 m³ de água (Tabela 5). Deste total, cerca de 7 milhões de m³ estão armazenados na porção sedimentar mais espessa e hidrogeologicamente mais favorável do ponto de vista de produtividade dos poços.

Tabela 5 - Estimativa das reservas permanente e reguladora do aquífero sedimentar na Cidade Universitária, utilizando o método volumétrico.

Bloco	comportamento do aquífero	área (m ²)	espessura (m)	variação do nível estático (m)	porosidade efetiva	coeficiente de armazenamento	Reserva Permanente (m ³)	Reserva Reguladora (m ³ /ano)
A	livre	1.190.000	50	1,51	0,12	0,00347	7.140.000	215.628
	semi-confinado						206.465	6.235
B	livre	2.400.000	15	2,4	0,12		4.320.000	691.200
Total		3.590.000					11.666.465	913.063

Para a estimativa da reserva reguladora utilizou-se a variação média sazonal do nível d'água nos poços de observação espalhados pela área. No Bloco A, a variação média foi de 1,51 m e no Bloco B, de 2,40 m.

O volume estimado a partir desta variação do nível d'água, da área dos blocos e da porosidade efetiva ou coeficiente de armazenamento soma um total de 913.063 m³/ano, que se não for explorado, escoar para o rio (Tabela 5).

A água existente vem basicamente do comportamento livre do aquífero pois aquela liberada por expansão e alívio de pressão do comportamento semi-confinado é insignificante.

Os dados de condutividade hidráulica permitiram estimar a reserva reguladora pelo método de fluxo, de maneira a comparar com os resultados obtidos pelo método volumétrico.

Para a estimativa considerou-se que o fluxo da água subterrânea é horizontal e perpendicular à direção do rio, não havendo descargas para as outras drenagens. A espessura de sedimentos considerada foi de 50 metros e o comprimento da seção por onde passa o fluxo foi de 2.200 metros. A condutividade hidráulica utilizada foi o valor médio obtido nos poços multiníveis, de $2,37 \times 10^{-5}$ m/s. O gradiente hidráulico adotado foi o valor obtido entre os poços de observação P3 e P5, que possuem o maior e menor nível d'água, alinhados perpendicularmente ao Rio Pinheiros.

Assim, pela lei de Darcy, a reserva reguladora soma um volume total de 879.694 m³/ano (Tabela 6).

Tabela 6 - Estimativa da reserva reguladora do aquífero sedimentar na Cidade Universitária, utilizando o método de fluxo.

condutividade hidráulica	gradiente hidráulico	espessura do aquífero	comprimento	Reserva Reguladora	
(m/s)		(m)	(m)	(m ³ /s)	(m ³ /ano)
2,37E-05	0,0107	50	2.200	0,0279	879.694

Os dois métodos utilizados para a estimativa da recarga reguladora do aquífero mostraram-se concordantes, com valores próximos entre si.

Considerando os poços produtores no aquífero sedimentar (PP1 a PP4) explorando a vazão ótima durante um período de 16 horas por dia, o volume soma 443.840 m³/ano. Comparativamente às estimativas realizadas, este valor é duas vezes menor que a reserva reguladora obtida.

A taxa de recarga específica estimada a partir da reserva reguladora em relação à área total forneceu um valor de 0,25 Mm/km²/ano. Considerando os blocos A e B separadamente, tem-se 0,18 e 0,29 Mm/km²/ano, respectivamente.

Esta diferença de valores entre os blocos pode advir de fatores de impermeabilização por pavimentações, aterros de constituição argilosa e menos arborização no bloco A, que apesar da menor inclinação do terreno, apresentou a menor taxa de recarga. Além disso, o perfil litológico da região mostra uma camada superficial argilosa, o que pode dificultar a infiltração da precipitação.

Observa-se, então, que quantitativamente, apenas a reserva que escoia para o rio é suficiente para suprir a produção dos poços sem obrigatoriamente exaurir o aquífero. Além disso, o bombeamento dos poços pode alterar o fluxo subterrâneo de maneira a induzir recargas regionais.

Analisando-se a reserva reguladora, nota-se que o aquífero suportaria uma maior extração de água e a avaliação da sua produtividade e da sua geometria indicam a faixa de maior espessura de sedimentos como a área mais favorável à construção de um novo poço, aumentando a contribuição dos recursos hídricos subterrâneos à demanda total de água da Cidade Universitária.

Entretanto, a deterioração das águas do Rio Pinheiros podem inviabilizar a exploração destes recursos uma vez que o bombeamento dos poços pode induzir uma recarga do rio, denegando a qualidade da água subterrânea.

No estudo realizado por Ross (1991), através da modelação matemática, ele conclui que após a ativação do poço PP1, a poluição chegaria depois de um período de 5 a 10 anos de bombeamento, tornando-se a concentração da pluma constante após um período de 110 anos.

Por conseguinte, é necessário um estudo mais aprofundado desta relação água superficial/água subterrânea tendo em vista estes pontos, a geologia heterogênea e a possível indução de recargas regionais.

6. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

O enfoque principal deste estudo resumiu-se na hidrodinâmica do aquífero sedimentar. Contudo, para a exploração e utilização da água subterrânea é necessário conhecer, além da produtividade, também a sua qualidade.

Para tanto, foram realizadas algumas análises físico-químicas de amostras coletadas dos poços de observação, através de quatro campanhas de amostragem, com intervalos de aproximadamente três meses, durante o período de março/1989 a janeiro/1991 (Anexo 3).

Estes dados permitiram a avaliação das características físico-químicas da água subterrânea através da análise da composição e classificação da água, da determinação do seu potencial de corrosão ou incrustação e de sua potabilidade.

6.1. Composição Físico-química

A análise dos parâmetros físicos da água se fez através dos dados de Eh, pH, condutividade elétrica específica (CE) e temperatura monitorados nos poços de observação durante um período de 21 meses (Anexo 7), enquanto que sua composição química foi avaliada através dos resultados das análises realizadas em laboratório (Anexo 3).

- Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos mostraram que as águas são predominantemente ácidas, oxidantes e pouco condutivas.

A tabela 7 mostra os valores médios de pH, Eh e condutividade elétrica específica (CE) nos poços observação.

Os valores de pH e Eh variaram entre 3,41 a 6,90 e -13 mV e 211 mV, respectivamente. Os valores de pH diminuem e Eh aumentam no sentido norte da área da Cidade Universitária, como ilustra a figura 19.

Tabela 7 - Valores médios de pH, Eh e condutividade elétrica específica (CE) nos poços de observação.

poço	pH	Eh (mV)	CE (uS/cm)
1	5,33	89,3	178,4
2	6,06	50,1	334,9
3	5,43	81,6	97,1
4	5,31	86,5	68,3
5	4,72	123,9	282,9
6	5,88	57,4	67,3
7	6,15	46,9	366,3
9	5,39	85,8	76,2
10	6,03	51,1	272,9
10A	5,67	65,3	317,7
11	5,87	60,8	203,1

A condutividade elétrica específica (CE) variou, na área de 36 a 690 uS/cm.

O poço de observação P7, localizado no embasamento cristalino, mostrou uma grande variação nas medidas durante o período monitorado, mas na média, apresentou maiores valores que aqueles obtidos nos poços instalados na porção sedimentar, ultrapassando 500 uS/cm. Parisot (1983), em seu estudo na zona oeste do Município de São Paulo, obteve valores da ordem de centenas de uS/cm para o embasamento cristalino, enquanto poços no aquífero sedimentar apresentaram valores bem menores.

Os poços de observação P3, P4, P6 e P9, perfurados na porção sedimentar, mostraram valores geralmente inferiores a 100 uS/cm.

A temperatura da água acompanhou a variação sazonal, apresentando uma diferença de até 2°C em relação à temperatura do ar.

- Íons maiores

As águas mostraram baixos teores de cátions alcalinos e alcalino-terrosos. Os teores de sódio e potássio não ultrapassaram 11 mg/l enquanto que os teores de cálcio e magnésio chegam a atingir 25 mg/l. Somente o poço P7, no embasamento cristalino, apresentou concentrações mais elevadas de cálcio, atingindo 112 mg/l.

O bicarbonato é o íon predominante na maioria das amostras, não ultrapassando a concentração de 150 mg/l. Os maiores teores são encontrados no embasamento cristalino, no poço de observação P7.

Nas águas não foi constatado o íon carbonato uma vez que em soluções com valores de pH inferiores a 8,3, sua concentração é desprezível.

O sulfato apresentou altas concentrações, chegando a atingir 175,0 mg/l na porção norte da área, onde encontram-se os poços de observação P1 e P5.

Em Itaquaquecetuba, na formação de mesmo nome, também ocorrem águas extremamente ácidas com altos teores de sulfatos (Atencio, 1986). Este fato é explicado pela presença de marcassita e pirita nesta formação, que, em ambiente oxidante, passa para a forma de sulfato. Estes minerais são observados ao longo do perfil geológico do poço de observação P12 e devem ocorrer em quantidade variável nos sedimentos da região próxima da Raia Olímpica. Contudo, desconhece-se os fatores responsáveis por esta distribuição heterogênea dos minerais sulfetados na formação (Atencio, comunicação verbal), fazendo-se necessário maiores estudos.

A concentração do sulfato na água subterrânea tem, também, a contribuição das águas pluviais, em cuja composição química este íon é predominante (Szikszay et al., 1988).

O cloreto e o nitrato encontram-se em baixas concentrações, raramente ultrapassando 10 mg/l. Apenas os poços P10 e P10A apresentaram teores de cloreto entre 13 e 17 mg/l.

- Íons menores

Os íons menores existentes na água subterrânea apresentaram-se, de maneira geral, em baixas concentrações.

Alguns elementos como ferro, manganês e amônio mostraram-se em concentrações anômalas em alguns poços.

Os poços P2, P10 e P10A apresentam altos teores de amônio, imprimindo um cheiro característico às amostras de água.

Altas concentrações de ferro são encontradas no poço P10A enquanto que anomalias de manganês são encontradas no poço P11. Este fato pode ser devido à existência de ferro na forma coloidal ou em suspensão.

6.2. Classificação

As análises químicas (Anexo 4) foram interpretadas segundo os diagramas de Stiff e Piper, cujos resultados mostraram-se semelhantes.

Na figura 20 ilustra-se os diagramas de Stiff de apenas duas análises realizadas, sendo uma na época de estiagem e outra na época de chuvas. No diagrama de Piper (Figura 21) encontram-se plotados os resultados das quatro campanhas de coleta realizadas. Algumas análises foram consideradas com ressalvas pois o balanço iônico apresentou altos erros.

No poço P7, no embasamento cristalino, as águas classificaram-se como bicarbonatadas cálcicas, com exceção da amostra de junho/89, coletada na época de estiagem, cuja água classificou-se como sulfatada bicarbonatada cálcica. Segundo os diagramas de Stiff, a mineralização das águas na época das chuvas é maior em relação àquelas coletadas na época de estiagem. Além disso, comparativamente aos demais poços, a água do embasamento cristalino apresenta maior mineralização que a água proveniente do aquífero sedimentar.

O poço P3, localizado na porção topograficamente alta da área, apresentou uma água sulfatada cálcica.

Na porção plana, próxima à Raia Olímpica, os poços P6, P10 e P11 classificaram-se predominantemente como bicarbonatadas sódicas. O poço P10A, com apenas 6 metros de profundidade, apresentou uma água bicarbonatada cálcica.

No poço P9, as análises de março e outubro/89 mostraram águas bicarbonatadas sulfatadas, mista e cálcica, respectivamente. As outras classificaram-se como bicarbonatadas cálcica e mista.

Na porção norte da área, as águas são caracteristicamente sulfatadas mistas, sendo que predominam os cátions cálcio e sódio+potássio no poço P1 e cálcio e magnésio no poço P5. Apenas na época da estiagem, a água do poço P1 classificou-se como bicarbonatada cálcica-magnesiânica.

6.3. Potencial de Corrosão ou de Incrustação

As águas subterrâneas foram caracterizadas segundo seu potencial de corrosão ou incrustação utilizando-se o índice de estabilidade de Rysnar (I), calculado por:

$$I = 2\text{pH}_s - \text{pH}$$

onde:

pH_s é o pH de saturação obtido através do nomograma de Hoover-Langelier; e
 pH é o pH medido no poço.

Figura 20 - Diagrama de Stiff de análises realizadas na época de estiagem e de chuvas.

LEGENDA

○ análise nº do poço

Análises realizadas em:

● 30/03/89

+ 29/06/89

△ 11/10/89

○ 18/01/90

Figura 21 - Diagrama de Piper .

Os valores calculados mostram um índice de estabilidade de Rysnar maior que 9, indicando que as águas possuem um caráter muito corrosivo. Apenas o poço P7 e o multinível MN3-1, analisados em 18/01/90, apresentaram águas corrosivas, com índice de estabilidade entre 7 e 9.

Esta caracterização evidencia o potencial de ataque químico das águas, devendo-se levar o fato em consideração nos projetos de captação e adução quando da seleção de materiais e equipamentos a serem utilizados e do regime de exploração, aumentando, assim, a vida útil da obra.

6.4. Potabilidade

O resultado das análises químicas foram avaliadas segundo as normas de potabilidade (Tabela 8) adotadas no Estado de São Paulo (Decreto 12.486 de 20/10/87, NTA-60).

De uma maneira geral, as águas coletadas são quimicamente potáveis contudo, muitas das amostras apresentaram altos teores de ferro e manganês. Esta anomalia pode ser resultado da ausência de filtragem das amostras coletadas, incluindo o teor de ferro na forma coloidal e em suspensão.

Entretanto, é conhecida a existência de minerais ricos em ferro nos sedimentos da Bacia de São Paulo, sendo característico na Formação São Paulo as precipitações de óxido de ferro na forma de crostas e concreções limoníticas.

Assim, para o consumo da água, é necessário um controle do teor de ferro, realizando, talvez, um prévio tratamento com aeração e filtragem da água.

Tabela 8 - Padrões de potabilidade (CETESB, 1988).

LEGISLAÇÃO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetros (características)	Unidade (mg/l)	Decreto 12.486 de 20/10/87 NTA-60 (Estadual)			Dec. 79.367 de 09/03/77 Port. 56 BSB de 13/03/77		Águas Minerais Res. 25 de 1976
		Abastecimento Público	Fontes	Poços	VMD	VMP	
1) Físicos organolépticos							
Aspecto	—	limpido	limpido	limpido	—	—	limpido
Cor	Pt/l (Hazen)	10-20	5	30	5	20	5
Odor	—	isento ou leve cloro	nenhum	nenhum	Não objetável	Não objetável	nenhum/próprio
pH	—	5-9	4-10	5-10	—	—	4-9
Sabor	—	—	—	—	Não objetável	Não objetável	caract.
Turbidez	N.T.U	2-5	5	10	1	5	3
2) Químicos							
Alcal. hidróxidos	CaCO ₃	—	0	0	—	—	0
Alcal. carbonatos	CaCO ₃	—	120	120	—	—	—
Alcal. bicarbonatos	CaCO ₃	—	—	250	—	—	—
Alumínio	Al	—	—	—	0,05	0,10	—
Arsênio	As	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,05
Bário	Ba	1,0	1,0	1,0	—	1,0	1,0
Cádmio	Cd	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,01
Chumbo	Pb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
Cianeto	CN	0,2	0,2	0,2	—	—	0,2
Cloretos	Cl	250	100	250	200	600	100
Cloro residual	Cl ₂	0,3	—	—	—	—	—
Cobre	Cu	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0
Cromo hexavalente	Cr	0,05	0,05	0,05	—	—	0,05
Cromo total	Cr	—	—	—	—	0,05	—
Dureza	CaCO ₃	—	300	100-200	—	—	—
Fenóis	C ₆ H ₅ OH	—	—	—	—	0,001	—
Ferro	Fe	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	—
Fluoreto	F	1,0	1,0	1,0	—	0,6-1,7	1,00
Manganês	Mn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,05
Mercurio	Hg	—	—	—	—	0,002	0,001
Nitrogênio amoniacal	N	—	0,05	0,08	—	—	0,03
Nitrogênio albuminóide	N	—	0,08	0,15	—	—	0,05
Nitrogênio nitrato	N	—	0-0,02*	0-0,02*	—	—	ausente
Nitrogênio nítrico	N	10	2-5*	2-6*	—	10	ausente
Oxigênio consumido	O ₂	2,5	2,0	3,5	—	—	4,5 (H) 3,5 (OH ⁻)
Prata	Ag	—	—	—	—	0,05	—
Selênio	Se	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,01
Sólidos dissolvidos	—	—	—	—	500	1000	—
Sólidos totais	—	500	500	500	500	1500	1500 (180°C)
Sulfato	SO ₄	250	—	—	—	—	—
Surfactantes	LAS	—	—	—	0,2	0,5	—
Zinco	Zn	5,0	5,0	5,0	1	5	5,0
3) Biocidas orgânicos sintéticos hidrocarbonetos clorados							
Só Portaria 56 BSB como VMP (Valor Máximo Permitido)							
Aldrin	0,001 mg/l						
Clordano	0,003 mg/l						
DDT	0,05 mg/l						
Dieldrin	0,001 mg/l						
Endrin	0,0002 mg/l						
Heptacloro	0,0001 mg/l						
Lindano	0,004 mg/l						
Metoxicloro	0,1 mg/l						
Toxafeno	0,005 mg/l						
comp. organofosforados e carbamatos	0,1 mg/l						
Herbicidas-clorofenoxi:							
2,4-D	0,02 mg/l						
2,4,5 TP (silvex)	0,03 mg/l						
2,4,5 T	0,002 mg/l						

Notas:

- Os valores assinalados com asterisco, são os números tolerados face a exames bacteriológicos satisfatórios.
- Os teores de fluoreto dependem da temperatura média diária do ar; consultar tabela específica na lei; quanto maior a temperatura, menor o teor de fluoreto admissível.
- Há erros de impressão no original da Portaria 56, onde consta:
 - Bário 0,1 quando o correto é 1,0 mg/l Ba
 - Mercúrio 0,02 quando o correto é 0,002 mg/l Hg
- No Decreto 12.486 não são tolerados resíduos de pesticidas e outras substâncias estranhas.
- VMD = Valor Máximo Desejado
VMP = Valor Máximo Permitido

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquífero sedimentar na Cidade Universitária abrange a maior parte da área e é composto por camadas arenosas, de granulação variada chegando a conglomerados, intercaladas por lentes argilosas de lamito.

Sua geometria mostra-se bastante irregular, apresentando maiores espessuras de sedimentos numa faixa E-W, passando pelo poço produtor PP1 e estendendo-se em direção à Escola Politécnica de Engenharia e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, formando um paleovale. A maior espessura de sedimentos observada foi de 71 metros no poço produtor PP1. Na porção sul da Cidade Universitária, o embasamento cristalino tende a ficar mais raso, chegando a aflorar na região de maiores cotas topográficas. No extremo norte da área, onde está localizado o poço PP3, o pacote sedimentar volta a adelgaçar devido a um alto estrutural do substrato, delimitando a faixa de maior espessamento dos sedimentos.

A monitoração do nível d'água medido nos poços de observação mostrou uma variação sazonal, com uma resposta rápida às precipitações. As curvas equipotenciais traçadas no mapa potenciométrico também evidenciam esta variação, mostrando maiores cargas hidráulicas na época das chuvas. Contudo, independente da intensidade pluviométrica, o fluxo subterrâneo mostra-se sempre com sentido geral ao Rio Pinheiros, acompanhando a topografia do terreno. Entretanto, devido ao espessamento do pacote sedimentar na região da Escola Politécnica, as curvas equipotenciais tem a tendência de distanciar-se nesta porção, diminuindo o gradiente hidráulico.

Do ponto de vista produtivo, o aquífero mostrou-se favorável dentro do contexto geológico da região. A vazão ótima dos poços produtores, soma $2,4 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$, o que corresponde a 18% da demanda atual da Cidade Universitária, considerando um tempo de funcionamento de 16 horas por dia.

Os valores de capacidade específica dos poços no aquífero sedimentar mostraram-se próximos a $2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, com exceção do poço PP3. Os poços do embasamento cristalino possuem menor produtividade, com valor de capacidade específica em torno de $2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

No teste hidrodinâmico realizado, a transmissividade e a condutividade hidráulica mostraram valores variando de 10^{-4} a $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e 10^{-6} a 10^{-4} m/s , respectivamente.

O comportamento do aquífero tendendo a semi-confinado, evidenciado no teste, refletiu nos valores de coeficiente de armazenamento que varia de 10^{-4} nos piezômetros multiníveis mais profundos chegando a 0,12 em piezômetros mais rasos.

Com estes dados foi possível calcular as reservas permanente e reguladora do aquífero sedimentar, sendo que a estimativa da reserva permanente revelou um volume de 11 milhões de m^3 de água.

A reserva reguladora, estimada pelo método volumétrico e de fluxo, aproxima-se de 900 mil m^3 ao ano que, se não for explorado, escoar para a área de descarga.

Considerando a vazão ótima de exploração dos poços no aquífero sedimentar com 16 horas de funcionamento ao dia, o volume soma quase 444 mil m^3 ao ano, volume este duas vezes inferior à reserva reguladora.

A análise físico-químicas das amostras de água mostraram que elas classificam-se predominantemente como bicarbonatadas cálcicas a sódicas, com ocorrência de águas sulfatadas ao norte da Cidade Universitária. A avaliação segundo os padrões de potabilidade, mostram que a água é quimicamente potável.

A única restrição do ponto de vista químico reside no seu potencial corrosivo, desfavorável para determinados materiais construtivos, necessitando-se um plano de manutenção dos poços.

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O Aquífero Sedimentar na Cidade Universitária, composto de camadas arenosas a conglomeráticas, intercaladas com lentes lamíticas, apresenta uma geometria irregular, com maiores espessuras na porção norte da área, onde concentram-se quatro dos poços produtores construídos.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos através destes poços mostrou um caráter favorável do ponto de vista produtivo, refletido na vazão que soma aproximadamente 0,02 m^3/s e na capacidade específica, superior a $10^{-4} m^3/s/m$. Com menor produtividade, os poços no Aquífero Cristalino apresentaram valores chegando apenas a $3 \times 10^{-3} m^3/s$ e $3 \times 10^{-5} m^3/s/m$, respectivamente.

O teste hidrodinâmico realizado no poço produtor PP1 evidenciou um comportamento semi-confinado tendendo a livre para o Aquífero Sedimentar, com valores de condutividade hidráulica e de transmissividade superiores a $5 \times 10^{-5} m/s$ e $1 \times 10^{-4} m^2/s$, respectivamente. O coeficiente de armazenamento variou de 10^{-4} a 10^{-1} com maiores valores a menores profundidades.

O nível potenciométrico apresenta uma relação intrínseca com a pluviometria através da sua variação sazonal. Contudo, o sentido geral do fluxo da água subterrânea mantém-se para o Rio Pinheiros.

A partir destes resultados, a avaliação das reservas mostra um panorama favorável visto que a reserva permanente soma 11 milhões de m^3 de água, enquanto a reserva reguladora soma um volume de aproximadamente 900 mil m^3/ano , quase duas vezes maior que o volume explorado pelos poços. Esta diferença, atualmente não utilizada, escoar para a área de descarga.

A perfuração de mais um poço produtor pode diminuir esta diferença perdida e aumentar a contribuição da água subterrânea para o abastecimento da Cidade Universitária. A análise dos

mapas de contorno estrutural do embasamento e de espessura de sedimentos indica como região favorável à locação de um poço, a faixa E-W que passa na Escola Politécnica e avança até a Raia Olímpica, onde o pacote sedimentar se espessa devido a um provável paleovale. Considerando a distância entre os poços já construídos, o local a considerar seria atrás da Faculdade de Economia e Administração, próximo à Faculdade de Psicologia.

Portanto, o potencial produtivo do Aquífero Sedimentar revelou-se uma reserva complementar e estratégica ao abastecimento de água na Cidade Universitária.

Entretanto, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos esbarra em um outro fator limitante, sua qualidade. Apesar de, atualmente, a água subterrânea ser quimicamente potável, recomenda-se um estudo específico de sua interação com as águas superficiais de maneira a impedir a contaminação proveniente do Rio Pinheiros ou dos córregos limítrofes, induzida pelo bombeamento dos poços.

Por conseguinte, recomenda-se o respeito às limitações físicas do aquífero e construtivas dos poços para um melhor e mais racional aproveitamento do recurso hídrico subterrâneo.

9. BIBLIOGRAFIA

- AOKI, P. E. 1983. Metodologia das determinações da velocidade, direção e sentido do fluxo da água subterrânea, com utilização de traçadores radioativos. São Paulo, Escola Politécnica/USP. 128p. (Dissertação de Mestrado).
- ASTIER, J. L. 1975. Geofísica aplicada a la hidrogeologia. Madrid, Paraninfo. 344p.
- ATENCIO, D. 1986. Sulfatos secundários: relação com rochas pré-existentes e síntese. São Paulo, IG/USP. 210p. (Dissertação de Mestrado).
- CAMPOS, E. J. 1988. Índícios de abatimento dos níveis de água subterrânea da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: Cong. Bras. Ág. Subt., 5, São Paulo, 1988. Anais... São Paulo, ABAS. p. 74-83.
- CAMPOS NETO, M. C. & BASEI, M. A. S. 1983. A importância dos falhamentos transcorrentes na configuração do pré-cambriano entre São José dos Campos e Amparo (SP). In: Simp. Reg. Geol., 4, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, SBG. p.79-90.
- CHIOSSI, N. J. 1980. Condições hidrogeológicas da bacia sedimentar de São Paulo. Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda. Publ. Esp. ABGE/SBG, São Paulo, p. 95-115.
- COIMBRA, A. M.; RICCOMINI, C.; MELO, M. S. 1983. A Formação Itaquapecetuba: evidências de tectonismo no Quaternário Paulista. In: Simp. Reg. Geol., 4, São Paulo, 1983. Atas... São Paulo, SBG. p.253-266.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) 1988. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, CETESB, 1 ed., 150 p.
- DAVINO, A. 1970. Gravimetria como método de pesquisa de água subterrânea na Bacia Sedimentar de São Paulo. Reunião Anual, 22, Salvador, BA, 1970. Ciência e Cultura, SBPC, Supl. 22, p.81-82.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) 1975. Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 1. Grande São Paulo. DAEE/Tahal Consulting Engineers Ltd., 3v.
- ELLERT, N. & MENDES, J. M. B. 1988. Levantamento geofísico na Cidade Universitária. CEPAS/USP. Relatório interno.
- EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. (EMPLASA) 1984. Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo. Escala 1:50.000. Emplasa. 1 mapa.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, EUA. 604 p.
- GIANCURSI, F. D. & LOPES, M. F. C. 1980. Aspectos hidrogeológicos da região da Grande São Paulo. Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda. Publ. Esp. ABGE/SBG, São Paulo, p.117-128.
- 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. In: Cong. Bras. Ág. Subt., 6, Porto Alegre, 1990. Anais... Porto Alegre, RS, ABAS. p.15-20.
- KRUSEMAN, G. P. & RIDER, N. A. 1970. Analysis and evaluation of pumping test data. The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement. 200p. (Bulletin 11).
- LEINZ, V. 1955. Água subterrânea na Bacia de São Paulo. Boletim Soc. Bras. Geologia, 4(2):5-22.
- LEINZ, V. & CARVALHO, A. M. V. 1957. Contribuição à geologia da Bacia de São Paulo. F.F.C.L./USP, Boletim 205, Geologia 15, p.1-61.
- MELO, M. S.; COIMBRA, A. M. ; RICCOMINI, C. 1989. Evolução dos conhecimentos sobre a geologia da Bacia de São Paulo na década de oitenta. Geologia da Bacia de São Paulo, 1989. Workshop... IG-USP/SBG, São Paulo, p.1-11.

- PACHECO, A. 1984. Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano (Município de São Paulo). São Paulo, IG/USP, 174 p. (Tese de Doutorado).
- PACHECO, A. & REBOUÇAS, A. C. 1985. Aspectos de proteção sanitária dos poços tubulares no Município de São Paulo. Rev. Águas Subterrâneas, 9:51-58.
- PARISOT, E. H. 1983. As águas subterrâneas no centro-oeste do Município de São Paulo. Características hidrogeológicas e químicas. São Paulo, Instituto de Geociências/USP. 83p. (Dissertação de Mestrado).
- REBOUÇAS, A. C. 1980. Aspectos hidrológicos no planejamento da ocupação urbana da Grande São Paulo. Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda. Publ. Esp. ABGE/SBG, São Paulo, p. 129 -135.
- REBOUÇAS, A. C. 1992. Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. Seminário "Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo". Anais... ABAS/ABGE/SBG, São Paulo, p.77-87.
- 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". Anais... ABAS/ABGE/SBG, 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: estágio atual de conhecimento. Geologia da Bacia de São Paulo, 1989. Workshop... IG-USP/SBG, São Paulo, p. 44-59.
- RODRIGUES, J. D. 1983. The Noordbergum effect and characterization of aquitards at the Rio Maior mining project. Groundwater, março/abril, 1983, p.200-207.
- 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. In: Cong. Bras. Ág. Subt., 6, Porto Alegre, 1990. Anais... Porto Alegre, RS, ABAS. p.38-49.
- ROSS, S. D. 1991. Hydrogeological study of river connected aquifers in Greater São Paulo, Brazil. Waterloo, Canadá, Universidade de Waterloo, 187 p. (Dissertação de Mestrado)
- RUBIO, D. C. 1992. Aplicação e avaliação da técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial em pesquisas hidrogeológicas no Brasil. São Paulo, IG/USP. (Tese de Doutorado).
- SZIKSZAY, M.; CONSONI, A. J.; GUIGUER, N.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A. A.; PARISOT, E.; SGAMBATO, F.; YOSHINAGA, S. 1986. Instalação de uma estação

experimental para estudo da dinâmica e da evolução da composição química da água na zona não saturada. Águas Subterrâneas. n.10, p.5-20.

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). Águas Subterrâneas. n.11, p.33-62.

SZIKSZAY, M.; HYPÓLITO, R.; KIMMELMANN, A. A.; FIGUEIRA, R. M.; ORLANDO, R.; SAMESHIMA, R. H. 1988. Estudo hidrogeológico e hidroquímico na zona não saturada. In: CONG. BRAS. ÁG. SUBT., 5, São Paulo, 1988. Anais... São Paulo, ABAS. p.133-143.

SZIKSZAY, M. & TOLEDO-GROKE, M. C. 1989. Correlation of the chemical composition of water from the unsaturated zone with the mineralogy of a profile on the São Paulo Basin, Brazil. In: International Symposium on Water-Rock Interaction, 6, Malvern, 1989. Proceedings... Wallingford, British Geological Survey, p. 669-672.

SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A. A.; HYPÓLITO, R.; FIGUEIRA, R. M.; SAMESHIMA, R. H. 1990. Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to ground water at an experimental site at the University of São Paulo, Brazil. Journal of Hydrology, 118:175-190.

TAIOLI, F. 1992. Desenvolvimento e teste de sistema sismográfico de alta resolução. São Paulo, IG/USP, 119 p. (Tese de Doutorado).

USSAMI, N. & MOLINA, E. C. 1992. Geofísica aplicada II. Notas de Aula. IAG/USP, São Paulo.

Anexo 1

Cadastro de poços profundos próximos à Cidade Universitária

DADOS DOS POÇOS PROFUNDOS CADASTRADOS

POÇO	LOCAL	ANO	PROFUN. TOTAL (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m)	VAZÃO (m ³ /h)	CAPACIDADE ESPECÍFICA (m ³ /h/m)	PERFIL GEOLOGICO (m)	AQUÍFERO EXPLORADO
PC1	Usina Colombina S/A	1978	81,0	13,0	49,0	6,5	0,18	0 - 45 areia e argila intercalada 45 - 47 granito alterado 47 - 81 granito cinza	sedimentar e cristalino
PC2	Concretex Eng. de Concreto S/A	1977	68,0	15,0	28,6	30,0	2,21	0 - 60 areia média a grossa 60 - 68 gnaíse granítico	sedimentar e cristalino
PC3	Sobraf S/A Bras. de Fundações	1954	53,1	5,5	14,0	14,5	1,71	0 - 57 areia e argila intercalada 57 - rocha	sedimentar
PC4	Sobraf S/A Bras. de Fundações	1973	56,5	15,0	36,0	6,8	0,32	0 - 55 areia e argila intercalada 55 - 56,5 rocha	sedimentar
PC5	Cia. Antártica Paulista	1953	54,9	15,0	23,5	25,0	2,94	0 - 54 areia e argila intercalada 54 - 56,3 moledo 56,3 - rocha	sedimentar
PC6	Cia. Antártica Paulista	1953	51,3	15,0	23,7	25,0	2,87	0 - 52 areia e argila intercalada 52 - rocha	sedimentar
PC7	Cia. Antártica Paulista	1957	57,0	3,0	19,0	28,0	1,75	0 - 58,5 areia e argila intercalada 58,5 - rocha	sedimentar
PC8	Cia. Antártica Paulista	1959	66,5	16,5	27,5	28,0	2,55	0 - 58 areia e argila intercalada 58 - 66,5 rocha decomposta	sedimentar
PC9	Cia. Antártica Paulista	1962	53,0	15,5	28,0	24,0	1,92	0 - 52 areia e argila intercalada 52 - 53 rocha	sedimentar
PC10	Colgate Palmolive Ltda.	1973	45,5	12,0	29,0	7,2	0,42	0 - 44 areia e argila intercalada 44 - 45,5 rocha dura	sedimentar
PC11	Inst. de Pesquisas Tecnológicas (IPT)	1945	63,0	0,0	8,0	26,6	3,33	0 - 63 areia e argila intercalada 63 - rocha	sedimentar
PC12	Inst. de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)	1969	199,0	36,0	90,0	0,6	0,01	0 - 22 argila e areia 22 - 24 rocha decomposta 24 - 32 rocha fraturada 32 - 199 granito	cristalino
PC13	Inst. de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)	1969	200,0	8,0	82,0	2,5	0,03	0 - 5 argila 5 - 10 areia 10 - 200 granito gnaíse	cristalino
PC14	Drogasil Ltda.	1972	155,0	5,0	99,0	3,1	0,03	0 - 29 rocha decomposta 29 - 155 granito gnaíse	cristalino
PC15	Corner Ltda. Poços Artes. Ind. Com.	1979	150,0	2,0	76,0	8,5	0,11	0 - 8 solo de alteração de rocha 8 - 150 granito	cristalino
PC16	Viação Santa Madalena S/A	1970	65,0	6,0	10,0	6,0	1,50		
PC17	Cidade Universitária de São Paulo	1951	60,0	2,0	9,0	56,0	8,00	0 - 60 areia e argila intercalada 60 - rocha	sedimentar
PC18	Telemeccânica Elétrica S/A Ind. Com.	1972	150,0	17,0	85,0	15,0	0,22	0 - 9 sedimento 9 - 150 granito	cristalino
PC19	Cia. Bras. Fibras Sintéticas Nailon S/A	1972	200,0	35,0	60,0	24,0	0,96	0 - 19 sedimento 19 - 200 granito	cristalino
PC20	Rohm & Hass Fibras Sintéticas S/A	1973	255,0	54,0	95,0	36,0	0,88	0 - 14 argila 14 - 255 rocha	cristalino

Anexo 2

Perfis litológico e geofísico dos poços de observação

POÇO DE OBSERVAÇÃO P1

POÇO DE OBSERVAÇÃO P2

POÇO DE OBSERVAÇÃO P3

POÇO DE OBSERVAÇÃO P4

POÇO DE OBSERVAÇÃO P5

POÇO DE OBSERVAÇÃO P6

POÇO DE OBSERVAÇÃO P7

POÇO DE OBSERVAÇÃO P8

POÇO DE OBSERVAÇÃO P9

POÇO DE OBSERVAÇÃO P10

POÇO DE OBSERVAÇÃO P11

Anexo 3

Resultado das análises químicas em mg/l

ANÁLISES QUÍMICAS (CAMPUS-USP)

30/03 a 05/04/89

(mg/l)

POÇO	T(°C)	pH	Eh(mV)	CE(μS/cm)	CO2	HCO3	SO4	Cl
1	24,0	5,46	84	210	211,2	18,3	57,54	3,94
2	23,0	6,27	39	480	312,4	106,8	2,15	6,15
3	22,0	5,04	104	77	115,5	6,1	11,70	5,10
4	23,0	5,39	84	71	147,4	18,3	4,73	3,73
5	24,0	4,35	147	410	209,0	6,1	175,01	1,60
6	25,0	6,36	35	181	41,8	54,9	10,00	5,92
7	22,5	6,10	48	370	198,0	140,3	31,20	1,33
9	25,0	5,46	82	73	134,2	12,2	7,42	3,35
10	22,0	5,83	64	260	426,8	36,6	2,35	12,92
11	22,0	5,88	61	194	192,5	30,5	10,47	7,42
POÇO	Ca	K	Mg	Na	NH4	NO3	NO2	
1	8,68	3,46	2,91	5,34	2,87	<0,01	<0,01	
2	1,48	1,85	0,90	1,84	18,80	<0,01	<0,01	
3	6,43	2,22	0,90	3,50	<0,20	3,54	<0,01	
4	2,53	1,79	0,60	3,67	1,10	0,04	<0,01	
5	25,09	3,26	14,51	5,76	1,11	0,31	<0,01	
6	9,39	2,22	2,52	9,91	1,04	0,62	<0,01	
7	42,58	6,63	7,71	5,84	1,97	<0,01	<0,01	
9	5,28	0,94	1,28	3,23	0,33	<0,01	<0,01	
10	4,29	1,55	1,45	5,52	6,59	<0,01	<0,01	
11	5,37	1,90	1,74	4,52	2,73	0,04	0,36	
POÇO	Al	Ba	Si	Zn	Cr	Fe	Mn	
1	<0,10	0,16	8,90	<0,02	0,08	0,52	0,38	
2	<0,10	0,04	0,61	<0,02	<0,05	<0,02	<0,01	
3	<0,10	0,03	1,20	<0,02	<0,05	<0,02	0,10	
4	<0,10	0,06	3,63	<0,02	<0,05	0,07	0,17	
5	2,12	0,08	5,42	0,22	0,31	0,75	0,78	
6	<0,10	0,11	10,00	<0,02	0,06	0,03	0,05	
7	<0,10	0,27	1,90	<0,02	0,17	0,43	1,64	
9	<0,10	0,09	5,96	<0,02	<0,05	0,02	0,18	
10	<0,10	0,14	1,71	<0,02	<0,05	0,44	0,13	
11	<0,10	0,44	2,64	<0,02	0,06	0,64	4,03	

ANÁLISES QUÍMICAS (CAMPUS-USP)

29 e 30/06/89

(mg/l)

POÇO	T(°C)	pH	Eh(mV)	CE(μS/cm)	CO2	HCO3	SO4
1	21,5	6,09	45	163	214,5	36,6	4,61
2	20,0	5,85	66	250	316,8	91,5	3,65
3	19,5	5,82	67	97	135,3	18,3	4,48
4		5,33	95	52	154,0	6,1	<2,00
5	22,0	5,23	86	350	177,1	18,3	42,00
6	22,0	6,48	25	114	55,0	30,5	2,11
7	20,0	5,47	88	141	235,4	18,3	16,45
9	22,0	5,78	60	81	145,2	12,2	<2,00
10	21,0	6,23	39	350	372,9	48,8	<2,00
11	20,0	6,06	54	230	206,8	36,6	6,75
POÇO	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Cl
1	9,28	0,12	3,72	3,00	0,35	5,19	4,70
2	2,59	0,94	2,01	1,53	0,20	3,88	8,20
3	1,88	0,18	1,26	0,55	0,36	3,62	4,88
4	1,23	0,46	1,65	0,37	0,08	3,62	4,71
5	18,59	0,32	2,26	9,96	0,65	4,14	3,88
6	3,40	0,90	5,44	1,33	0,02	8,43	3,18
7	7,14	0,99	1,61	1,09	1,98	4,66	8,84
9	5,03	0,04	0,80	1,14	0,18	3,36	4,63
10	4,69	0,05	1,36	2,37	0,13	10,39	16,86
11	3,66	0,21	1,51	2,19	10,05	4,40	6,64
POÇO	Al	Ba	Si	Zn	NH4	NO3	
1	<0,05	0,14	10,27	<0,02	1,80	2,88	
2	<0,05	0,07	4,51	<0,02	22,10	0,04	
3	<0,05	0,02	2,48	<0,02	0,51	0,04	
4	<0,05	0,03	4,99	<0,02	1,26	<0,01	
5	0,51	0,05	8,65	0,22	0,89	<0,01	
6	<0,05	0,04	24,77	<0,02	0,50	<0,01	
7	<0,05	0,12	2,12	<0,02	2,16	0,09	
9	<0,05	0,05	7,36	<0,02	<0,20	<0,01	
10	<0,05	0,04	2,70	<0,02	2,55	<0,01	
11	<0,05	0,25	1,68	<0,02	1,93	<0,01	

ANÁLISES QUÍMICAS (CAMPUS-USP)

11/10/89

(mg/l)

POÇO	T(°C)	pH	Eh(mV)	CE(μS/cm)	CO2	HCO3	SO4	Cl
1	21,5	6,23	35	184	139,7	24,4	52,46	4,76
2	20,0	6,17	40	360	308,0	67,1	3,96	9,42
3	20,0	6,88	4	107	134,2	6,1	12,38	5,29
4								
5	21,0	5,10	73	310	149,6	6,1	145,00	3,20
6	22,0	7,25	-13	75	74,8	24,4	10,47	2,38
7	20,5	6,93	6	340	195,8	140,3	44,00	9,18
9	21,0	5,73	67	87	124,3	24,4	16,27	3,76
10A	21,0	6,44	24	610	429,0	152,5	158,00	15,23
11	19,5	5,41	82	240	195,8	24,4	10,77	7,61
POÇO	Ca	K	Mg	Na	NH4	NO3	NO2	Ni
1	8,75	3,14	2,76	4,63	2,91	8,10	<0.01	<0.02
2	2,33	2,36	1,33	3,06	21,72	0,13	<0.01	<0.02
3	1,83	1,20	0,35	3,14	0,71	0,09	<0.01	<0.02
4								
5	19,87	2,18	11,16	4,18	1,28	0,09	<0.01	<0.02
6	2,59	4,79	0,89	5,85	0,61	2,17	0,07	0,02
7	39,34	4,81	7,27	6,32	2,56	0,04	<0.01	<0.02
9	6,38	1,06	1,19	2,99	<0.20	0,18	<0.01	<0.02
10A	22,28	1,71	3,78	3,73	4,02	<0.04	<0.01	<0.02
11	3,82	1,49	2,15	4,55	3,39	0,13	<0.01	<0.02
POÇO	Al	B	Ba	Si	Zn	Fe	Mn	
1	<0.05	<0.02	0,12	10,24	<0.02	0,06	0,35	
2	<0.05	<0.02	0,05	2,49	<0.02	0,20	0,12	
3	<0.05	<0.02	0,03	2,29	<0.02	3,38	0,32	
4								
5	0,06	<0.02	0,05	9,19	0,08	1,20	0,72	
6	<0.05	<0.02	0,05	24,73	<0.02	0,22	0,04	
7	<0.05	<0.02	0,13	1,88	<0.02	0,09	1,92	
9	<0.05	<0.02	0,07	6,44	<0.02	0,52	0,17	
10A	<0.05	0,02	0,08	2,60	<0.02	57,76	1,40	
11	<0.05	<0.02	0,25	1,49	<0.02	1,83	11,22	

ANÁLISES QUÍMICAS (CAMPUS-USP)

18/01/90
(mg/l)

POÇO	T(°C)	pH	Eh (mV)	CE(μS/cm)	CO2	HCO3	SO4	Cl	Ni
1	25	5,30	94	127	184,8	12,2	35,5	6,89	0,04
2	25	6,23	42	350	385,0	109,8	3,3	8,80	0,03
3	21	5,78	57	95	187,0	12,2	12,7	5,00	0,03
4	23	5,12	71	78	132,0	12,2	10,1	3,30	0,04
5	24	4,11	157	260	232,1	0,0	108,0	1,90	0,07
6	23	5,74	67	44	125,4	12,2	6,7	1,60	0,03
7	23	6,63	23	590	159,4	481,9	25,0	5,30	0,04
9	23	5,52	81	56	116,6	48,8	11,9	4,80	0,02
10A	24	5,41	87	250	343,2	61,0	7,8	15,40	0,04
11	22	6,19	45	199	189,2	30,5	9,4	8,80	0,04
MN1-4	25	7,26	-14	250	42,9	195,2	20,1	18,10	0,03
MN2-1	28	7,65	-35	191	6,6	79,3	19,0	13,40	0,03
MN2-5	25	7,71	-37	350	9,9	115,9	71,3	28,50	0,03
MN3-1	27	10,64	-200	240	3,3	91,5	22,6	17,00	0,04
MN3-4	25	8,70	-100	320	12,1	115,9	93,2	23,00	0,05
POÇO	Ca	Na	Mg	K	NH4	NO3	NO2	Fe	Mn
1	7,3	3,9	2,6	2,3	4,00	0,44	0,07	11,50	0,30
2	3,8	2,5	1,7	2,6	25,00	<0,01	0,07	11,60	0,10
3	1,6	2,8	0,8	1,2	0,70	0,09	<0,01	10,80	0,30
4	9,7	1,4	1,6	2,1	0,50	<0,01	<0,01	0,40	0,10
5	23,9	5,4	6,4	10,7	<0,20	<0,01	<0,01	0,30	0,40
6	1,6	3,3	0,8	4,2	<0,20	<0,01	<0,01	0,10	0,02
7	112,0	7,2	23,1	3,6	1,20	<0,01	0,03	0,20	1,00
9	5,6	2,5	1,3	0,7	<0,20	<0,01	0,03	0,05	0,10
10A	17,4	3,3	4,0	2,2	11,50	0,09	0,03	20,90	0,90
11	3,2	5,1	2,2	1,3	1,70	<0,01	0,03	6,80	10,70
MN1-4	10,8	48,0	1,7	3,3	0,40	0,44	<0,01	1,50	<0,02
MN2-1	19,5	14,2	1,9	2,8	0,20	0,44	<0,01	0,30	<0,02
MN2-5	12,8	82,5	2,0	3,8	1,40	5,31	<0,01	0,60	<0,02
MN3-1	9,7	34,2	0,8	5,2	0,30	3,54	<0,01	0,50	<0,02
MN3-4	10,0	66,3	2,2	4,1	1,90	4,43	<0,01	5,30	<0,02
POÇO	Cd	Cr	Cu	Pb	Si	Zn	Al	B	Ba
1	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	9,2	0,03	0,3	0,02	0,20
2	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	1,8	<0,02	0,2	0,02	<0,02
3	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	2,4	<0,02	0,3	0,02	<0,02
4	<0,02	<0,05	0,03	<0,01	3,2	<0,02	0,3	0,03	<0,02
5	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	7,1	0,20	3,4	0,04	<0,02
6	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	25,7	0,02	0,3	0,02	<0,02
7	0,03	<0,05	0,03	<0,10	2,6	<0,02	0,3	0,06	0,20
9	0,02	<0,05	0,03	<0,10	6,9	0,02	0,3	0,02	<0,02
10A	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	3,0	0,02	0,2	0,02	0,10
11	<0,02	<0,05	0,03	<0,10	1,4	<0,02	0,2	0,02	0,70
MN1-4	<0,02	<0,05	0,04	<0,10	8,0	<0,02	3,3	0,04	<0,02
MN2-1	<0,02	<0,05	0,04	<0,10	2,3	<0,02	0,8	0,03	<0,02
MN2-5	<0,02	<0,05	0,04	<0,10	4,3	<0,02	1,5	0,04	<0,02
MN3-1	<0,02	<0,05	0,05	<0,10	11,6	0,05	1,4	0,04	<0,02
MN3-4	<0,02	<0,05	0,07	<0,10	26,1	0,06	19,2	0,03	<0,02

Anexo 4

Resultado das análises químicas em meq/l

ANALISES QUIMICAS (CAMPUS-USP)

30/03 a 05/04/89

(meq/l)

POÇO	HCO3	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	e%
1	0,3	1,20	0,11	0,43	0,24	0,23	0,09	23,6
2	1,8	0,04	0,17	0,07	0,07	0,08	0,05	75,4
3	0,1	0,24	0,14	0,32	0,07	0,15	0,06	5,2
4	0,3	0,10	0,11	0,13	0,05	0,16	0,05	13,9
5	0,1	3,65	0,05	1,25	1,20	0,25	0,08	15,3
6	0,9	0,21	0,17	0,47	0,21	0,43	0,06	4,9
7	2,3	0,65	0,04	2,13	0,64	0,25	0,17	3,3
9	0,2	0,15	0,09	0,26	0,11	0,14	0,02	8,7
10	0,6	0,05	0,36	0,21	0,12	0,24	0,04	24,5
11	0,5	0,22	0,21	0,27	0,14	0,20	0,05	17,5

ANALISES QUIMICAS (CAMPUS-USP)

29 e 30/06/89

(meq/l)

POÇO	HCO3	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	e%
1	0,6	0,10	0,13	0,46	0,25	0,23	0,10	8,3
2	1,5	0,08	0,23	0,13	0,13	0,17	0,05	58,3
3	0,3	0,09	0,14	0,09	0,05	0,16	0,03	23,5
4	0,1	0,02	0,13	0,06	0,03	0,16	0,04	7,0
5	0,3	0,88	0,11	0,93	0,82	0,18	0,06	21,6
6	0,5	0,04	0,09	0,17	0,11	0,37	0,14	10,7
7	0,3	0,34	0,25	0,36	0,09	0,20	0,04	12,8
9	0,2	0,02	0,13	0,25	0,09	0,15	0,02	18,6
10	0,8	0,02	0,47	0,23	0,20	0,45	0,03	17,1
11	0,6	0,14	0,19	0,18	0,18	0,19	0,04	21,9

ANALISES QUIMICAS (CAMPUS-USP)

11/10/89

(meq/l)

POÇO	HCO3	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	e%
1	0,4	1,09	0,13	0,44	0,23	0,20	0,08	30,0
2	1,1	0,08	0,27	0,12	0,11	0,13	0,06	55,1
3	0,1	0,26	0,15	0,09	0,03	0,14	0,03	27,7
4								
5	0,1	3,02	0,09	0,99	0,92	0,18	0,06	19,7
6	0,4	0,22	0,07	0,13	0,07	0,25	0,12	10,9
7	2,3	0,92	0,26	1,97	0,60	0,27	0,12	7,9
9	0,4	0,34	0,11	0,32	0,10	0,13	0,03	19,2
10A	2,5	3,29	0,43	1,11	0,31	0,16	0,04	58,4
11	0,4	0,22	0,21	0,19	0,18	0,20	0,04	16,3

ANALISES QUIMICAS (CAMPUS-USP)

18/01/90

(meq/l)

POÇO	HCO3	SO4	Cl	Ca	Mg	Na	K	e%
1	0,2	0,74	0,19	0,37	0,21	0,17	0,06	17,1
2	1,8	0,07	0,25	0,19	0,14	0,11	0,07	61,5
3	0,2	0,26	0,14	0,08	0,07	0,12	0,03	34,1
4	0,2	0,21	0,09	0,49	0,13	0,06	0,05	18,5
5	0,0	2,25	0,05	1,20	0,53	0,23	0,27	1,6
6	0,2	0,14	0,05	0,08	0,07	0,14	0,11	1,6
7	7,9	0,52	0,15	5,60	1,91	0,31	0,09	4,0
9	0,8	0,25	0,14	0,28	0,11	0,11	0,02	39,4
10A	1,0	0,16	0,43	0,87	0,33	0,14	0,06	6,6
11	0,5	0,20	0,25	0,16	0,18	0,22	0,03	22,6
MN1-4	3,2	0,42	0,51	0,54	0,14	2,09	0,08	18,4
MN2-1	1,3	0,40	0,38	0,98	0,16	0,62	0,07	6,6
MN2-5	1,9	1,49	0,80	0,64	0,17	3,59	0,10	2,5
MN3-1	1,5	0,47	0,48	0,49	0,07	1,49	0,13	7,2
MN3-4	1,9	1,94	0,65	0,50	0,18	2,88	0,10	10,8

Anexo 5

Perfis construtivo, litológico e geofísico dos poços produtores

POÇO PRODUTOR PP1

Perfil Construtivo

Perfil Litológico

aterro
areia muito grosseira, mal selecionada
areia conglomerática, mal selecionada
areia média a grossa, mal selecionada, quartzo-feldspática
areia conglomerática, com matriz média a grossa, mal selecionada, quartzo-feldspática
areia conglomerática com matriz grossa
areia conglomerática, muito grosseira, mal selecionada, quartzo-feldspática, com grãos oxidados
areia média, quartzo-feldspática, mal selecionada
conglomerado com matriz média bem selecionada, quartzosa
Parte grosseira, angulosa a subangulosa, medianamente selecionada. Presença de matéria orgânica.
areia média bem selecionada, arredondada, quartzosa
com pequena porção grosseira conglomerática
areia média, bem selecionada, com intercalações de areia grosseira
areia fina a média, conglomerática, com predominância de finos nos dois primeiros metros
argila cinza-azulada com porção silto-arenosa fina
embasamento cristalino

Perfil Geofísico

POÇO PRODUTOR PP3

Perfil Litológico

material argiloso

arenito fino, mal selecionado, quartzo-feldspático

nível de cascalho, subangulosos a subarredondados, quartzosos, com muita argila verde. Presença de matéria orgânica nos dois últimos metros.

arenito médio-grosso, constituído basicamente por quartzo. Apresenta também feldspato.

arenito grosso, quartzoso, com pequena porção de feldspatos

arenito muito grosso, quartzoso, com argila esverdeada

arenito muito grosso, quartzoso, com presença de arenito fino e argila esverdeada

nível de quartzo leitoso com pirita e muscovita

POÇO PRODUTOR PP5

Perfil Litológico

argila castanho avermelhada com pouca areia fina
areia mal selecionada fina a grossa
rocha gnáissica de composição granítica, semi-alterada

rocha gnáissica cinza de composição granítica, muito foliada com intercalações submétricas de rocha rica em feldspato róseo

rocha gnáissica de composição granítica com bandamentos definidos nas bandas ricas em feldspato róseo

POÇO PRODUTOR PP6

Perfil Construtivo

Perfil Litológico

argila castanhada contendo pouca areia
areia mal selecionada fina a grosseira
rocha gnáissica de composição granítica alterada
rocha gnáissica cinza de composição granítica, de granulção média, possuindo feldspato róseo
rocha gnáissica cinza de composição granítica
rocha gnáissica de composição granítica contendo muito feldspato róseo

Anexo 6

Dados da profundidade e cota do nível d'água monitorado nos poços de observação,
produtores e multiníveis

VALORES DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)

DATA	POÇO DE OBSERVAÇÃO										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P10A	P11
04-Jan-89	1,80	1,72	4,12	0,23	1,60	3,61	2,17	1,99	4,00		3,19
24-Jan-89		2,16	4,14	2,38			1,77	2,24			2,87
30-Mar-89	2,48	2,45	4,79	4,25	1,79	3,60	2,23	2,36	4,20		3,11
29-Jun-89	2,73	2,75	5,78	4,48	2,02	3,82	2,88	2,54	4,63		3,27
28-Ago-89	2,66				1,80	3,70					
11-Out-89	2,85	2,69	6,43	3,95	2,11	4,06	3,03	2,47		4,57	3,27
20-Out-89	2,85	3,10	6,49		2,11	4,00	2,96	2,46		4,54	3,25
10-Nov-89	2,82	2,63	6,65		2,10	4,04	3,00	2,47		4,55	3,23
23-Nov-89	2,75	2,49	6,66		1,92	4,03	3,00	2,43		4,52	3,11
13-Dez-89	2,91	2,67	6,91		2,11	4,05	3,05	2,52		5,80	3,24
09-Jan-90	2,60	2,26	6,05	2,55	1,60	3,78	2,10	2,12		4,35	2,60
18-Jan-90	2,58	2,21	5,59	2,32	1,60	3,78	2,08	2,22		3,96	2,71
21-Mar-90	2,20	2,17	4,75	3,85	1,31	3,63	1,75	2,09		3,95	2,94
10-Abr-90						3,75					
04-Mai-90	2,69	2,22	5,22	3,90	1,71	3,80	2,02	2,30		4,19	2,90
20-Mai-90	2,76	2,60	6,24	4,11	1,97	3,83	2,32	2,45		4,37	3,20
06-Jul-90	3,18	3,14	6,78	5,19	2,53	4,43	3,27	2,95	5,12	4,94	3,64
01-Ago-90	3,17	3,00	6,99	4,90	2,52	4,44	3,12	2,85	5,07	4,91	3,56
02-Out-90	3,27	3,35	7,64	4,96	2,94	4,47	5,21	2,90	5,41	5,26	2,30
24-Jan-91	3,17	2,71	6,06	2,40	1,45	4,32	2,56	2,79	3,88		

DATA	POÇO MULTINÍVEL												
	MN1-1	MN1-2	MN1-3	MN1-4	MN2-1	MN2-2	MN2-3	MN2-4	MN2-5	MN3-1	MN3-2	MN3-3	MN3-4
04-Jan-89	3,43	3,40	1,30	3,05	3,28	3,24	3,25	3,13	3,14				
13-Dez-89	4,10	3,42	4,36	4,24	3,89	3,89	3,80	3,58	3,55	4,11	3,93	3,87	3,28
18-Jan-90	2,97	2,79	2,96	2,61	2,76	2,76	2,75	2,71	2,72	3,00	2,97	2,96	2,85
16-Fev-90	3,76	3,21	3,66	3,38	3,23	3,46	3,50	3,29	3,26	3,08	3,59	3,47	3,35
21-Mar-90	3,46	2,77	3,04	2,69	2,65	3,13	2,87	2,86	2,82	2,60	3,11	3,06	2,89
10-Abr-90	3,25	2,75	3,05	2,77	2,78	3,04	2,87	2,88	2,88	2,90	3,04	3,04	2,93
04-Mai-90	3,24	2,81	3,12	2,85	2,78	3,04	2,94	2,93	2,90	2,94	3,19	3,18	3,00
20-Mai-90	3,35	3,24	3,23	3,20	3,00	3,00	3,47	3,02	3,01	3,06	3,29	3,28	2,99
06-Jul-90	3,61	3,70	3,72	3,70	3,52	3,53	3,46	3,42	3,40	3,34	3,62	3,60	3,34
01-Ago-90	3,86	3,76	3,74	3,71	3,56	3,53	3,47	3,45	3,42	3,38	3,64	3,63	3,42
02-Out-90	4,21	3,82	3,80	3,79	3,37	3,58	3,53	3,50	3,49	3,43	3,68	3,68	3,48
24-Jan-91	3,56	3,49	3,49	3,50	3,27	3,22	3,25	3,24	3,24	3,32	3,42	3,42	3,34

DATA	POÇO PRODUTOR			
	PP1	PP2	PP3	PP4
06-Jul-90	4,33	4,26	4,27	8,22
01-Ago-90	4,38	4,34	4,68	8,08
02-Out-90	4,47	4,42	4,60	
24-Jan-91	4,03	3,70	3,68	

VALORES DA COTA DO NÍVEL D'ÁGUA (m)

DATA	POÇO DE OBSERVAÇÃO										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P10A	P11
04-Jan-89	718,66	719,47	731,88	722,63	717,99	717,96	735,21	718,57	719,76		718,41
30-Mar-89	717,98	718,74	731,21	718,61	717,80	717,97	735,16	718,20	719,56		718,49
29-Jun-89	717,73	718,44	730,22	718,38	717,57	717,75	734,50	718,02	719,13		718,33
28-Ago-89	718,23				718,26	718,33					
11-Out-89	717,61	718,50	729,57	718,91	717,48	717,51	734,35	718,09		719,07	718,34
20-Out-89	717,61	718,09	729,51		717,48	717,57	734,42	718,10		719,09	718,35
10-Nov-89	717,64	718,56	729,35		717,49	717,53	734,38	718,09		719,08	718,37
23-Nov-89	717,71	718,70	729,34		717,67	717,54	734,38	718,13		719,11	718,49
13-Dez-89	717,55	718,52	729,09		717,48	717,52	734,33	718,04		717,83	718,36
18-Jan-90	717,88	718,98	730,41	720,54	717,99	717,79	735,30	718,34		719,67	718,89
21-Mar-90	718,36	719,06	731,40	719,06	718,48	718,06	735,78	718,50		719,78	718,76
11-Abr-90						717,82					
04-Mai-90	717,77	718,97	730,78	718,96	717,88	717,77	735,36	718,26		719,44	718,70
20-Mai-90	717,70	718,59	729,76	718,75	717,62	717,74	735,06	718,11		719,26	718,41
06-Jul-90	717,71	718,45	729,71	718,10	717,53	717,60	734,62	718,02	719,07	719,10	718,51
01-Ago-90	717,72	718,59	729,50	718,39	717,54	717,59	734,77	718,12	719,12	719,13	718,59
02-Out-90	717,63	718,25	728,86	718,33	717,12	717,57	732,68	718,07	718,78	718,78	719,85
24-Jan-91	717,72	718,88	730,44	720,89	718,61	717,71	735,33	718,18	720,31		

DATA	POÇO MULTINÍVEL												
	MN1-1	MN1-2	MN1-3	MN1-4	MN2-1	MN2-2	MN2-3	MN2-4	MN2-5	MN3-1	MN3-2	MN3-3	MN3-4
04-Jan-89	717,42	717,45	719,55	717,80	717,37	717,41	717,40	717,52	717,51				
13-Dez-89	716,75	717,43	716,49	716,61	716,76	716,76	716,85	717,07	717,10	716,78	716,96	717,02	717,61
18-Jan-90	717,88	718,06	717,89	718,24	717,89	717,89	717,90	717,94	717,93	717,89	717,92	717,93	718,04
16-Fev-90	717,54	718,09	717,64	717,92	717,74	717,51	717,47	717,68	717,71	718,11	717,60	717,72	717,84
21-Mar-90	717,39	718,08	717,81	718,16	718,00	717,52	717,78	717,79	717,83	718,29	717,78	717,83	718,01
11-Abr-90	718,05	718,55	718,25	718,53	718,19	717,93	718,10	718,09	718,09	718,29	718,15	718,15	718,26
04-Mai-90	717,61	718,04	717,73	718,00	717,87	717,61	717,71	717,72	717,75	717,95	717,70	717,71	717,89
20-Mai-90	717,51	717,61	717,63	717,65	717,65	717,65	717,18	717,63	717,64	717,84	717,61	717,62	717,90
06-Jul-90	717,49	717,60	717,58	717,60	717,45	717,44	717,51	717,55	717,57	717,85	717,57	717,59	717,85
01-Ago-90	717,44	717,54	717,56	717,59	717,41	717,44	717,51	717,53	717,56	717,81	717,55	717,56	717,77
02-Out-90	717,09	717,48	717,50	717,51	717,61	717,39	717,45	717,48	717,48	717,76	717,51	717,51	717,71
24-Jan-91	717,74	717,81	717,81	717,80	717,71	717,75	717,72	717,73	717,74	717,87	717,77	717,77	717,85

DATA	POÇO PRODUTOR			
	PP1	PP2	PP3	PP4
06-Jul-90	717,49	716,85	716,37	715,22
01-Ago-90	717,44	716,78	715,96	715,36
02-Out-90	717,35	716,69	716,04	
24-Jan-91	717,79	717,42	716,96	

Anexo 7

Valores de Eh, pH e condutividade elétrica específica monitorados nos poços
de observação, produtores e multiníveis

VALORES DE Eh (mV)

DATA	POÇO DE OBSERVAÇÃO										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P10A	P11
24-Jan-89		47	126	66			23	88			68
30-Mar-89	84	39	104	84	147	35	48	82	64		61
29-Jun-89	45	66	67	95	86	25	88	60	39		54
28-Ago-89	83				113	48					
11-Out-89	35	40	4		73	-13	6	67		24	82
13-Dez-89	85	52	70		113	73	68	87		82	62
09-Jan-90	35	4	54	30	158	9	6	58		33	48
18-Jan-90	94	42	57	71	157	67	23	81		87	45
16-Fev-90	95	53	91	67	166	96	33	121		85	49
21-Mar-90	84	77	149	124	188	8	51	97		108	85
04-Mai-90	82	52	133	105	96	80	53	113		68	54
20-Mai-90	105	73	86	116	116	99	54	85		58	88
06-Jul-90	84	88	68	114	100	62	87	73	49	61	52
01-Ago-90	151	38	55	85	113	76	21	71	46	57	45
02-Out-90	211	57	73	99	151	92	93	118	67	73	58
28-Nov-90	76	24	115	77	92	91	64	96	34	47	
24-Jan-91	80	49	54	78	114	71	32	75	59		

DATA	POÇO MULTINIVEL												
	MN1-1	MN1-2	MN1-3	MN1-4	MN2-1	MN2-2	MN2-3	MN2-4	MN2-5	MN3-1	MN3-2	MN3-3	MN3-4
18-Jan-90	5			-14	-35				-37	-200			-100
06-Jul-90	30	34	14	40	38	27	8	12	15	-3	-38	4	11
01-Ago-90	30	43	-9	30	34	3	-7	7	19	14	-28	-16	12
02-Out-90	47	48	-10	39	58	13	10	32	43	-18	-42	-11	47
28-Nov-90	42	39	7	27	41	32	20	22	27	25	11	1	32
24-Jan-91	28	38	25	37	44	44	31	30	33	28	13	19	29

DATA	POÇO PRODUTOR			
	PP1	PP2	PP3	PP4
04-Mai-90				91
20-Mai-90				85
06-Jul-90	19	45	45	
01-Ago-90	20	24	28	
02-Out-90	38	38	60	
28-Nov-90	18	31	32	
24-Jan-91	23	11	38	

VALORES DE pH

DATA	POÇO DE OBSERVAÇÃO										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P10A	P11
24-Jan-89		5,98	4,42	5,65			6,47	5,30			5,54
30-Mar-89	5,46	6,27	5,04	5,39	4,35	6,36	6,10	5,46	5,83		5,88
29-Jun-89	6,09	5,85	5,82	5,33	5,23	6,48	5,47	5,78	6,23		6,06
28-Ago-89	5,52				5,10	6,20					
11-Out-89	6,23	6,17	6,88		5,10	7,25	6,93	5,73		6,44	5,41
23-Nov-89	5,28	6,18	5,40		4,95	5,30	6,19	5,42		5,83	6,01
13-Dez-89	5,43	6,05	5,73		4,96	5,63	5,77	5,42		5,55	5,87
09-Jan-90	6,34	7,06	6,09	6,47	4,24	6,67	6,90	6,04		6,38	6,09
18-Jan-90	5,30	6,23	5,78	5,12	4,11	5,74	6,63	5,52		5,41	6,19
16-Fev-90	5,22	6,03	5,28	5,77	3,90	5,20	6,43	4,88		5,44	6,07
21-Mar-90	5,34	5,54	4,12	4,61	3,94	6,85	5,97	4,68		4,95	5,34
04-Mai-90	5,44	5,98	4,49	4,94	5,17	5,48	6,08	4,85		5,69	6,00
20-Mai-90	4,91	5,59	5,30	4,71	4,71	5,05	5,93	5,34		5,88	5,43
06-Jul-90	5,43	5,36	5,71	4,83	5,14	5,83	5,35	5,66	6,09	5,85	6,03
01-Ago-90	4,21	6,23	5,88	5,34	4,90	5,61	6,86	5,59	6,10	5,86	6,14
02-Out-90	3,41	5,99	5,70	5,26	4,44	5,42	5,36	5,02	5,83	5,72	5,96
28-Nov-90	5,51	6,49	4,72	5,45	5,18	5,25	5,70	5,42	6,30	6,06	
24-Jan-91	5,43	6,07	5,90	5,46	4,79	5,59	6,39	5,55	5,80		

DATA	POÇO MULTINIVEL												
	MN1-1	MN1-2	MN1-3	MN1-4	MN2-1	MN2-2	MN2-3	MN2-4	MN2-5	MN3-1	MN3-2	MN3-3	MN3-4
18-Jan-90	6,90			7,26	7,65				7,71	10,64			8,70
06-Jul-90	6,43	6,37	6,70	6,27	6,30	6,52	6,85	6,77	6,71	7,06	7,69	6,85	6,78
01-Ago-90	6,44	6,21	7,22	6,48	6,36	6,95	7,16	6,87	6,64	6,81	7,58	7,32	6,84
02-Out-90	6,20	6,16	7,20	6,32	6,00	6,79	6,84	6,46	6,26	7,35	7,74	7,22	6,20
28-Nov-90	6,17	6,22	6,86	6,45	6,17	6,37	6,61	6,55	6,45	6,49	6,79	6,96	6,34
24-Jan-91	6,43	6,25	6,54	6,27	6,11	6,13	6,41	6,40	6,35	6,48	6,78	6,66	6,40

DATA	POÇO PRODUTOR			
	PP1	PP2	PP3	PP4
04-Mai-90				5,30
20-Mai-90				5,29
06-Jul-90	6,65	6,16	6,15	
01-Ago-90	6,62	6,55	6,48	
02-Out-90	6,34	6,36	5,98	
28-Nov-90	6,63	6,40	6,35	
24-Jan-91	6,53	6,78	6,24	

VALORES DE CONDUTIVIDADE ELETRICA ESPECIFICA (uS/cm)

	POÇO DE OBSERVAÇÃO										
DATA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9	P10	P10A	P11
24-Jan-89			121	156				37			230
30-Mar-89	210	480	77	71	410	181	370	73	260		194
29-Jun-89	163	250	97	52	350	114	141	81	350		230
28-Ago-89	170				290	84					
11-Out-89	184	360	107		310	75	340	87		610	240
23-Nov-89	186	410	113		260	52	460	89		580	250
13-Dez-89	188	370	112		260	54	230	83		200	240
09-Jan-90	138	350	83	104	240	48	62	58		370	180
18-Jan-90	127	350	95	78	260	44	590	56		250	199
16-Fev-90	154	360	74	154	260	50	540	57		210	199
21-Mar-90	173	330	85	75	270	55	570	63		180	210
04-Mai-90	220	340	63	49	290	57	540	62		230	148
20-Mai-90	210	159	98	36	300	60	350	101		260	200
06-Jul-90	200	169	107	42	300	51	151	99	330	310	200
01-Ago-90	191	340	104	53	310	50	610	81	260	230	240
02-Out-90	240	390	111	64	280	57	105	97	280	350	114
28-Nov-90	147	380	106	58	200	55	112	67	210	350	
24-Jan-91	131	320	122	52	220	57	690	65	220		

	POÇO MULTINIVEL												
	MN1-1	MN1-2	MN1-3	MN1-4	MN2-1	MN2-2	MN2-3	MN2-4	MN2-5	MN3-1	MN3-2	MN3-3	MN3-4
DATA													
18-Jan-90	230			250	191				350	240			320
06-Jul-90	250	83	169	175	97	170	194	167	141	410	148	370	153
01-Ago-90	270	80	165	140	97	173	188	173	126	310	172	400	161
02-Out-90	260	83	189	145	99	172	179	162	125	350	195	340	116
28-Nov-90	240	76	174	131	93	116	157	132	113	164	197	270	75
24-Jan-91	220	89	193	146	103	118	165	145	125	230	220	270	97

DATA	POÇO PRODUTOR			
	PP1	PP2	PP3	PP4
04-Mai-90				56
20-Mai-90				39
06-Jul-90	93	189	159	
02-Ago-90	90	164	155	
02-Out-90	90	159	162	
28-Nov-90	161	146	147	
24-Jan-91	139	150	165	