UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005209

ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DAS ROCHAS
METASSEDIMENTARES DO GRUPO SÃO ROQUE
A NW DA GRANDE SÃO PAULO-Critérios Para Locação de
Poços Profundos

Leila Nunes Menegasse

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome
Presidente:	<u>Dr. U. Duarte</u>
Examinadores:	<u>Dr. A.C. Rebouças</u>
	<u>Dr. A.B. da Silva</u>

ass.

SÃO PAULO
1991

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE ANEXOS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	1
1.2 LOCALIZAÇÃO	2
1.3 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	2
1.4 QUADRO DO ABASTECIMENTO	2
1.5 OBJETIVOS	7
1.6 METODOLOGIA	7
2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS AQUÍFEROS FRATURADOS	12
2.1 CONDICIONANTES DO POTENCIAL AQUÍFERO	12
2.1.1 Estruturais	12
2.1.2 Litológicos	13
2.1.3 Climáticos	14
2.1.4 Geomorfológicos	16
2.2 MÉTODOS DE PROSPECÇÃO	16
3. A ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 ASPECTOS FÍSICO-CLIMÁTICOS	19
3.1.1 Geomorfologia	19
3.1.2 Clima	20
3.1.3 Hidrografia	20
3.2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO REGIONAL	22

3.3 GEOLOGIA LOCAL	24
3.3.1 Unidades Litológicas	24
1 - Metapelitos	27
2 - Metapsamitos	28
3 - Metassedimentos Químicos e Químico-detríticos	29
4 - Rochas de natureza ígnea	30
5 - Sedimentos Quaternários	31
3.3.2 Estruturas	32
3.3.2.1 Estruturas Dúcteis	32
3.3.2.2 Estruturas Rúpteis	33
3.4 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS	34
3.4.1 Considerações Iniciais	34
3.4.2 Distribuição e Geometria dos Lineamentos	35
3.4.2.1 Domínio Norte	37
3.4.2.2 Domínio Central	37
3.4.2.3 Domínio Sul	39
3.4.2.4 Integração dos Domínios Norte, Central e Sul	39
3.4.3 Distribuição das Extensões dos Lineamentos	42
3.5 HIDROGEOLOGIA	44
3.5.1 Estudos Hidrogeológicos Regionais	44
3.5.2 O Cadastramento dos Poços	45
3.5.2.1 Características dos Poços	46
A) Profundidade	47
B) Revestimento	49
3.5.3 Características do Sistema Aquífero	49
3.5.3.1 O Manto Intemperizado	50
3.5.3.2 O Meio Fraturado	54
3.5.3.3 Profundidades das Entradas D'água	55
3.5.3.4 Interação Hidráulica do Manto Intemperizado com o Meio Fraturado	57
3.5.3.5 Características de Recarga	58
3.5.4 Parâmetros Hidráulicos	60
3.5.4.1 Capacidade Específica	61
3.5.4.2 Vazão	61

3.5.5 Relações entre os Parâmetros Hidráulicos e os condicionantes hidrogeológicos:	65
3.5.5.1 Litotipos	65
3.5.5.2 Profundidades de Entradas d'água	68
3.5.5.3 Lineamentos	70
A) Número de Lineamentos	70
B) Sistemas de Lineamentos	70
C) Extensão dos Lineamentos	76
3.5.5.4 Manto Intemperizado	76
3.5.6 Características dos Poços Locados com base em Estudos Hidrogeológicos	76
3.6 HIDROQUÍMICA	80
3.6.1 Considerações Iniciais	80
3.6.2 Resultados	80
3.6.3 Composição Química das Águas	80
3.6.3.1 Elementos Maiores	85
3.6.3.2 Elementos Menores	87
3.6.4 Características Físico-químicas	88
3.6.5 Qualidade Química das Águas	88
3.6.6 Qualidade Bacteriológica	91
3.6.7 Evolução Química	92
3.7 PROPOSTA DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCAÇÃO DE POÇOS NA ÁREA DE ESTUDO	94
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº FIG.	TÍTULO	PAG.
01	Mapas de localização e acessos	3
02	Mapa dos principais elementos fisiográficos da área	4
03	Frequência de poços segundo ano de construção	6
04	Perfil típico de alteração desenvolvido sobre rochas do embasamento cristalino	15
05	Mapa da rede hidrográfica mostrando a associação dos padrões de drenagens às estruturas	21
06	Situação da área em relação às principais feições tectônicas do Estado de São Paulo	23
07	Coluna litoestratigráfica esquemática para a Faixa Jaraguá-Cristais	26
08	Diagramas de roseta das direções dos lineamentos nos Domínios Norte, Central e Sul	36
09	Diagrama de roseta das direções dos lineamentos nos Domínios Norte, Central e Sul, integrados	40
10	Frequência do comprimento dos lineamentos	43
11	Frequência das profundidades dos poços	48
12	Frequência das espessuras do manto intemperizado	52
13	Frequência das profundidades das entradas d'água	52

14	Profundidades das entradas d'água nos poços, segundo a localidade	56
15	Probabilidade logaritmo normal da <i>capacidade específica</i> dos poços	62
16	Frequência da <i>capacidade específica</i> dos poços	63
17	Frequência da vazão dos poços	63
18	Probabilidade logaritmo normal da vazão dos poços	64
19	Relação da <i>capacidade específica</i> com as profundidades das entradas d'água	69
20	Relação da vazão com as profundidades das entradas d'água	69
21	Probabilidade logaritmo normal da <i>capacidade específica</i> dos poços: associados a lineamentos e não associados a lineamentos	71
22	Probabilidade logaritmo normal da vazão dos poços: associados a lineamentos e não associados a lineamentos	72
23	Probabilidade logaritmo normal da <i>capacidade específica</i> dos poços associados a : 01 lineamento e mais de 01 lineamento	73
24	Probabilidade logaritmo normal da vazão dos poços associados a: 01 lineamento e a mais de 01 lineamento	74
25	Relação da <i>capacidade específica</i> com o comprimento do lineamento	77
26	Relação da vazão com o comprimento do lineamento	77
27	Diagrama de Piper das águas dos poços	84
28	Frequência dos valores de condutividade elétrica das águas dos poços	89
29	Frequência dos valores de pH das águas dos poços	89

ÍNDICE DE TABELAS

Nº TABELA	TÍTULO	PAG
01	Quedas de vazão nos poços de Jordanésia e Cajamar	5
02	Número de poços, por localidade	45
03	Profundidade dos poços, por localidade	47
04	Litologias predominantes, por localidade	49
05	Espessura média do manto intemperizado, de acordo com o litotipo	51
06	Espessura média do manto intemperizado, de acordo com a localidade	53
07	Vazões mínima, máxima e média, por localidade	65
08	<i>Capacidade específica</i> dos poços, por litotipo	66
09	Vazão dos poços, por litotipo	66
10	Produção dos poços que constam de estudos de locação	78
11	Concentração dos íons principais e parâmetros físico-químicos das águas dos poços	81
12	Concentração dos íons principais	82
13	Concentração dos elementos menores	83
14	Poços com restrições ao uso industrial	91

ANEXOS

Nº TÍTULO

01 Cadastramento dos poços

02 Perfis litológicos:

Fig.1 - Perfil AB - Parque Anhanguera

Fig.2 - Perfil CD - Polvilho

Fig.3 - Perfil EF - Fazendinha

Fig.4 - Perfil GH - Cajamar

Fig.5 - Perfil IJ - Jordanésia

03 Teste de Vazão no Poço SP.04 - Parque Anhanguera

04 Mapa geológico-estrutural da área

05 Mapa de lineamentos e de áreas favoráveis à perfuração de poços

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos àqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. Humberto Cordani, e ao Departamento de Geologia Econômica, na pessoa do Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho, Chefe deste Departamento

A meu orientador Prof. Dr. Uriel Duarte pelo constante incentivo, apoio e discussões durante a execução deste estudo.

Ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP), na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças, pelo apoio financeiro para efetivação de análises químicas, confecção de mapas e transporte, por meio do convênio CEPAS/FINEP/PADCT. E ainda a este professor pelo fornecimento de material bibliográfico.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), na pessoa do Engenheiro Milton K.Uchima, pelo apoio prestado, fornecendo transporte e pessoal técnico para amostragem de água nos poços de abastecimento público, além de análises químicas e bacteriológicas.

Aos Professores do Departamento de Geologia Econômica, Jorge Kazuo Yamamoto e Arlei Benedito Macedo, pelo auxílio na computação gráfica. E ainda a meu companheiro Jorge Gustavo, neste mesmo sentido.

Aos amigos Beltrão e Renato pelo auxílio prestado na fase de campo. Ainda a Beltrão, Marcelo, Mistreta, Gisela e Rosângela pelas discussões em variados aspectos abrangidos por este estudo.

A meus familiares pelo apoio e incentivo que sempre me acompanharam.

RESUMO

O principal objetivo deste estudo é identificar a inter-relação entre os fatores litológicos e estruturais que interferem no comportamento do aquífero fraturado existente em uma área de 169 Km², situada a NW da região Metropolitana da Grande São Paulo.

Todo o sistema público e industrial da região é alimentado principalmente por poços profundos e, secundariamente, poços cacimba, de uso doméstico.

Geologicamente a área é representada por rochas metassedimentares de médio grau metamórfico, pertencentes ao Grupo São Roque, de idade do Proterozóico Superior, cortadas por corpos graníticos. Sucessivos eventos deformativos afetaram estas rochas, resultando em intensos dobramentos e fraturamentos.

A grande variação litológica e os intensos fraturamentos, aliados ao relativamente espesso manto de intemperismo, com 10 a 30m em média, caracterizam os aquíferos da área.

Os dados de 51 poços profundos mostram que as principais entradas d'água ocorrem entre 50 e 100m. As produtividades são extremamente variáveis, com vazões entre 1,7 e 150m³/h e *capacidades específicas* entre 0,02 e 66,7 m³/h.m. Cerca de 61% possuem vazões acima de 10m³/h, que é a média regional; 13% apresentam vazões excepcionais, acima de 80m³/h, sendo que metade destes foram locados de acordo com estudos hidrogeológicos. Isto mostra a importância do uso de critérios hidrogeológicos para se obter sucesso na produção de poços profundos.

Foi verificada a influência dos tipos litológicos e dos sistemas de lineamentos sobre a produtividade dos poços profundos, correlacionando estes condicionantes hidrogeológicos e os parâmetros hidráulicos vazão e *capacidade específica*.

Baseado nessas correlações, foi proposto um mapa de lineamentos com indicação das zonas mais promissoras à perfuração de poços profundos, correspondentes, principalmente, ao cruzamento dos sistemas longitudinal e transversal. Consta também neste mapa as áreas favoráveis à recarga, as quais estão normalmente cobertas por densa vegetação.

O grau de mineralização das águas amostradas é baixo, com valores de STD entre 30 e 118mg/l. Os teores dos íons principais estão dentro dos limites de potabilidade, proporcionando águas de boa qualidade, nestes parâmetros.

O grande número de poços com boa produtividade, normalmente com vazões acima de $10\text{m}^3/\text{h}$, denotam a alta potencialidade aquífera da área. Os fatores determinantes deste quadro são as excelentes condições de recarga, resultantes do fator climático favorável, e da grande cobertura vegetal nas áreas de recarga, aliados à presença de denso fraturamento e de constante variação dos termos litológicos.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to identify the interrelationship between lithological and structural factors which influence the behaviour of fractured aquifers existing in an area of 169 square kilometers in the northwestern part of the Metropolitan Region of Greater São Paulo.

The public and industrial water supply systems are obtained mainly from drilled deep-wells and secondarily hand dug wells.

Geologically the area is represented by medium grade metasedimentary rocks cut by granitic bodies, belonging to the São Roque Group, of the Upper Proterozoic Age. Successive deformative events affected these rocks, resulting in intensive folding and fracturing patterns.

The wide variation of the lithology and intensive fracturing, allied to the thick weathering mantle, averaging between 10 to 30m, characterizes the aquifer zones. The principal water production zones are situated between the depth of 50 and 100m below ground surface.

The data of 51 drilled deep-wells shows that the yields and *specific capacities* are extremely variable, with discharges ranging from 1,7 to 150m³/h and *specific capacities* ranging from 0,02 to 66,7m³/h.m. About 61% of the wells have flow rates above 10m³/h, which is the regional average; 13% show exceptional high production, above 80m³/h, half of these have been located based on hidrogeologic studies. This demonstrate the importance of the use of hidrogeological techniques to obtain success in drilling deep-wells in such geological conditions.

It was show, by correlating well, yields and *specific capacities*, with the hidrogeologic features, the influence of the lineaments and lithological types on the productivity of wells.

Based on these correlations a map was drawn showing the lineaments, the more favorable zones to drill deep-wells and the recharge areas, which are normally covered by dense vegetation.

The mineralization content of the sampled water is low, with TDS values ranging between 30 and 118mg/l. The major ionic contents are within the potability limits, providing good drinking water quality.

The great number of wells with good yields, normally above $10\text{m}^3/\text{h}$ in this area, reveals the high potentiality of the aquifer, due to the excellent climatic and recharge conditions, allied to the presence of fractures and lithologic contacts.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O acelerado crescimento urbano com consequente aumento da demanda de água na Região Metropolitana da Grande São Paulo, e o avançado processo de degradação dos mananciais superficiais, tem levado as autoridades competentes para a necessidade de execução de estudos hidrogeológicos visando a locação de poços profundos para obtenção de água de boa qualidade. Normalmente a extração da água subterrânea complementa o sistema de abastecimento superficial deficiente, ou, conforme corrente na área deste estudo, é o único recurso alternativo em utilização.

A área, situada em terrenos metamórficos pré-cambrianos, tipifica tal situação, com o agravante de estar localizada, hidrograficamente, a jusante da Bacia do rio Juqueri, cujas águas já se encontram poluídas. Além disso, tem-se registrado nos poços profundos existentes na área, pertencentes à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), crescentes quedas de vazão nos últimos cinco anos, comprometendo ainda mais o abastecimento da população local. Vale salientar que os poços não são submetidos a qualquer manutenção.

Estudos hidrogeológicos com a finalidade de locação de poços destinados ao abastecimento público mostraram a importância de sua efetivação, visto que, poços perfurados a partir destes estudos obtiveram grande êxito na produção.

Tendo em vista a carência atual e a necessidade de atendimento de futuras demandas, além da ausência de perspectivas de abastecimento por meio de mananciais superficiais a curto e médio prazo, julgou-se ser este um local relevante para o estudo aqui proposto. A grande disponibilidade de dados, tais como: mapas geológicos em semi-detalle, boletins técnicos de poços *relativamente confiáveis*, constituem outros fatores que nortearam a escolha da área em questão.

Considerando que mais de 85% do território da RMGSP situa-se em terrenos de rochas fraturadas pré-cambrianas, este trabalho poderá servir como referência metodológica para estudos em áreas geologicamente correlacionáveis a esta.

Este estudo contou com o apoio do convênio firmado entre a SABESP e o Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP), No. 032/86-K, estando também enquadrado dentro do Projeto *Hidrogeologia de Rochas Fraturadas do Pré-Cambriano*, pelo convênio CEPAS/FINEP/PADCT, No. 42.86.0492.00.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo fica situada na porção NW da Região Metropolitana da Grande São Paulo, entre os quilômetros 23 e 40 da Rodovia Anhanguera. É limitada pelos paralelos 23°19'42" e 23°26'46" de latitude sul, e os meridianos 46°46'27" e 46°53'59" de longitude oeste, cobrindo uma extensão de aproximadamente 169Km² (Fig.1).

A área abrange parte dos Municípios de Cajamar, Santana do Parnaíba, São Paulo, Caieiras e Franco da Rocha, tendo como destaque as seguintes localidades mais importantes no contexto deste estudo: Sede do Município de Cajamar e seus Distritos de Jordanésia e Polvilho, Bairro Fazendinha, no Município de Santana do Parnaíba e região do Parque Anhanguera, no Município de São Paulo (Fig. 2). Neste último estão envolvidos os Bairros Jardim Britânia, Vila Sulina e Jardim Santa Fé.

1.3 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

De acordo com a estimativa feita pela Prefeitura de Cajamar, a população urbana deste Município no ano de 1990 era de 40.000 habitantes (87%), e rural, de 6.000 habitantes (13%); nos núcleos urbanos a população estava assim distribuída: Sede do Município de Cajamar: 5.000, Distrito de Jordanésia: 17.000 e Distrito de Polvilho: 18.000.

Em Fazendinha (Município de Santana do Parnaíba), a população em 1987 era de aproximadamente 8.000 habitantes, com uma densidade demográfica estimada em torno de 30 hab/Ha no núcleo central, de acordo com estudos realizados pela SABESP.

O desenvolvimento sócio-econômico da região está basicamente relacionado às atividades industriais e minerárias. O local onde a atividade industrial é mais intensa é no Distrito de Jordanésia, destacando-se, dentre outras, as indústrias alimentícias (charques e conservas), de fundição de aço, de celulose, de vernizes, de fabricação de adubos e usinas de cal e cimento. As atividades minerárias mais comumente desenvolvidas na região são a exploração de rochas carbonáticas (metacalcários, metadolomitos e mármore), lavradas para fabricação de cimento, cal, brita ou corretivo de solo e a extração de granitos para produção de brita.

1.4 QUADRO DO ABASTECIMENTO

Atualmente inexistente na área de estudo e região limítrofe um sistema de abastecimento público com captação de mananciais superficiais. O abastecimento é feito por meio de poços tubulares de propriedade da SABESP, atendendo a cerca de 90% da população urbana. Poços rasos de uso doméstico são utilizados nos locais ainda não atendidos pela rede pública. A distribuição dos 22 poços para abastecimento público na

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO

FIG. 1 - MAPAS DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

- Auto estrada
- Limite municipal
- Cursos d'água
- Barragem ou lagoa
- Área urbanizada
- 999 — Cota altimétrica (m)
- 3E-106 — Posto fluviométrico

0 500 1000 1500 2000 2500 3000m
ESCALA GRÁFICA

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NA GRANDE SÃO PAULO

Fig.2 - Mapa dos principais elementos fisiográficos da área

área é mostrado abaixo, sendo que, destes, apenas 18 são produtivos e encontram-se em operação:

- CAJAMAR: 01
- JORDANÉSIA: 06
- POLVILHO: 07
- FAZENDINHA: 03
- PARQUE ANHANGUERA: 05

Quanto ao consumo industrial, praticamente cada indústria possui um poço tubular, e, às vezes, um poço raso alternativo, escavado no manto intemperizado.

São notórias as quedas de vazão dos poços na área, principalmente naqueles situados em Jordanésia e Cajamar. Os dados a seguir (Tabela 1) exemplificam esta situação neste distrito, onde são mostradas as vazões ótimas dos testes de produção determinadas em poços da SABESP em anos anteriores a 1990 e as vazões máximas exploradas neste ano.

POÇO	VAZÃO DO TESTE (m ³ /h)	VAZÃO EM 1990 (m ³ /h)
JD.01	14,0 (1985)	10,0
JD.02	50,0 (1985)	26,0
JD.03	50,0 (1973)	14,0
JD.04	19,0 (1975)	12,0
JD.05	15,0 (1982)	8,0
CJ.01	150,0 (1980)	102,0

TABELA 1: QUEDAS DE VAZÃO NOS POÇOS DE JORDANÉSIA E CAJAMAR

Muito provavelmente estas quedas de vazão se devem, dentre outros fatores, à super-exploração dos aquíferos locais, sobretudo a partir de 1980 (Fig.3). Esta data marca uma época de construção de um grande número de poços por parte das indústrias, face às dificuldades de abastecimento público geradas pelo acelerado crescimento urbano. Acrescenta-se ainda, outra possível causa, que é a ausência de um serviço de manutenção periódica destes poços. A manutenção só é realizada, mesmo assim, precariamente, apenas quando há comprometimento da distribuição em razão das quedas de vazão.

No. DE POÇOS: 42

FIG. 3 - FREQUÊNCIA DE POÇOS
SEGUNDO ANO DE CONSTRUÇÃO

1.5 OBJETIVOS

O estudo tem como objetivos principais:

- Uma investigação dos fatores condicionantes, intrínsecos e extrínsecos ao sistema aquífero local, que podem influenciar na potencialidade hídrica subterrânea da área.
- Propor, em mapa, áreas promissoras à locação de poços profundos, a partir da caracterização dos condicionantes hidrogeológicos.
- Avaliação dos aspectos construtivos dos poços, concernentes à profundidade e revestimento, que podem afetar na sua explotabilidade, para adequação dos mesmos às condições hidrogeológicas locais.

1.6 METODOLOGIA

A) LEVANTAMENTO DA DOCUMENTAÇÃO DISPONÍVEL

A etapa inicial do estudo constou de um levantamento dos seguintes documentos disponíveis, utilizados na execução das investigações propostas:

- Bibliografia concernente à hidrogeologia de aquíferos fraturados de âmbito nacional e internacional; estudos hidrogeológicos, geológicos e geomorfológicos locais e regionais; dados hidrológicos e climáticos da área.
- Inventário dos poços profundos da área.
- Levantamento do material auxiliar para confecção de mapas, constando das seguintes folhas plani-altimétricas e fotografias aéreas:

Folhas Plani-altimétricas:

Confeccionadas pela EMPLASA (1981), em escala 1:25.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, cedidas pela SABESP:

- SF-23-Y-C-III-3-NO - Folha 241
- SF-23-Y-C-III-3-SE - Folha 244
- SF-23-Y-C-III-3-SO - Folha 243
- SF-23-Y-C-III-3-NE - Folha 242

Confeccionadas pela EMPLASA (1981), em escala 1:10.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, cedidas pela SABESP:

- SF-23-Y-C-III-3-NE-E - Folha Jordanésia
- SF-23-Y-C-III-3-SE-A - Folha Parque Panorama
- SF-23-Y-C-III-3-SE-D - Folha Pico do Jaraguá
- SF-23-Y-C-III-3-NE-C - Folha Ribeirão dos Taboões
- SF-23-Y-C-III-3-NO-F - Folha Cajamar
- SF-23-Y-C-III-3-SO-B - Folha Várzea do Souza
- SF-23-Y-C-III-3-SE-B - Folha Morro do Tico-Tico
- SF-23-Y-C-III-3-SE-C - Folha Morro do Botucuruvu

Confeccionada pelo IBGE (1984), Folha de Santana do Parnaíba, em escala 1:50.000, cedida pela SABESP.

Fotografias Aéreas:

Obtidas pela Aerofoto Natividade (1962), em escala aproximada 1:25.000, cedidas pelo Departamento de Geografia da Faculdade Filosofia Ciências e Letras da USP, compreendendo as seguintes fotos:

- 1723 a 1729
- 1361 a 1365
- 1757 a 1764

Obtidas pela Terrafoto S.A. (1977), em escala aproximada 1:40.000, cedidas pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), compreendendo as seguintes faixas, e respectivas fotos:

- 04 - Fotos 124 a 130
- 05 - Fotos 145 a 151
- 38 - Fotos 063 a 070

B) CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-CLIMÁTICA

A caracterização física abrangeu os aspectos geomorfológicos e hidrográficos da área de estudo.

A geomorfologia e hidrografia foram caracterizadas principalmente a partir de estudos disponíveis sobre a região e de fotointerpretação das formas de relevo. Deste

estudo resultou um mapa de drenagem para verificação dos padrões existentes e o grau do condicionamento destes aos traços tectônicos.

Os aspectos climáticos foram caracterizados a partir de dados hidrometeorológicos dos boletins do Centro Tecnológico de Hidráulica/Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (CTH/DAEE, 1975).

C) CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Foi elaborado um mapa geológico-estrutural em escala 1:50.000, simplificado e modificado de PRÓ-MINÉRIO/IPT (1984).

As feições estruturais de interesse hidrogeológico local, representadas pelas descontinuidades de fraturas (juntas e falhas), foram interpretadas, inicialmente, a partir de Imagem de Satélite, em escala 1:100.000, produzida pelo SPOT-INPE-MCT (1988), para observação da estruturação regional. Seguiu-se um estudo de fotointerpretação utilizando-se as fotografias aéreas nas escalas 1:40.000 e 1:25.000.

Deste estudo resultou um mapa de lineamentos e diagramas de roseta para compreensão dos principais sistemas encontrados.

Foi realizado também, levantamento e cadastro de 51 poços tubulares junto à SABESP e firmas perfuradoras, tendo sido considerados os resultados do teste de vazão realizado na época de construção do poço. Sempre que possível, as características litológicas foram aferidas ao contexto geológico local interpretado neste estudo.

Os elementos hidrogeológicos inventariados, considerados mais importantes no contexto dos aquíferos da área, foram: os níveis estático e dinâmico, vazão, *capacidade específica*, perfil litológico, espessura do manto intemperizado e profundidades das entradas d'água. Os dados de construção e completação dos poços referem-se à profundidade total e extensão do revestimento.

A nível litológico, foram considerados os tipos de rocha, em função das características dos fraturamentos que poderiam gerar, e as descontinuidades litológicas, isto é, as zonas de contato entre as litologias.

A nível estrutural, os principais elementos examinados foram os sistemas de lineamentos obtidos e a sua distribuição geométrica nos três domínios estruturais individualizados.

Os parâmetros hidráulicos vazão e *capacidade específica* foram correlacionados aos elementos litológicos, estruturais e climáticos para identificação dos fatores que poderiam influenciar na produtividade dos poços.

Para efeito das correlações citadas no parágrafo anterior, no que concerne à influência do clima sobre o desenvolvimento do manto intemperizado na área, foi considerada apenas a espessura do manto, não tendo sido levado em conta o posicionamento topográfico dos poços, pois quase todos os cadastrados estão localizados no fundo ou baixa encosta de vales.

A partir dos resultados obtidos, foi proposto um zoneamento de áreas favoráveis à perfuração de poços, executado na escala 1:25.000 e apresentado na escala 1:50.000, tendo sido levado em consideração os locais de maior demanda atual e futura próxima e as condições de recarga/descarga.

D) CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Os objetivos principais da caracterização hidroquímica aqui proposta são a compreensão da origem e grau de mineralização das águas, da sua evolução química e aspectos relativos à sua qualidade para fins de consumo humano e industrial, principais tipos de demanda local.

Foram selecionados 10 poços para amostragem, cujo critério para escolha dos mesmos, foi baseado, principalmente, no grau de confiabilidade nos dados contidos nos boletins técnicos, e no aspecto construtivo dos poços, quanto às obras de proteção sanitária, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1977) - laje de proteção e cimentação - para garantir, tanto quanto possível, resultados sem interferência do meio extrínseco ao sistema aquífero.

As amostras foram coletadas o mais próximo possível da tubulação de descarga do poço. No caso de poços que estavam fora de operação, processou-se o bombeamento por cerca de 20 minutos antes da coleta, para evitar que se amostrasse água estagnada no poço, a qual poderia conter material em suspensão ou colóides.

Foram obedecidos os cuidados de preservação química, conforme especificações dos laboratórios responsáveis pelas análises, tais como, adição de ácido nítrico concentrado para estabilização dos elementos metálicos dissolvidos e de ácido sulfúrico para análise do nitrato. Para evitar a perda de CO_2 , preencheu-se totalmente os frascos mantendo-os à baixa temperatura (4°C).

Os parâmetros analisados e os respectivos laboratórios responsáveis foram os seguintes: os íons maiores, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- - laboratório da CETESB; os elementos traços, Al, Co, Fe, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, e Zn - laboratório do Instituto de Química da USP. As análises bacteriológicas foram realizadas pelo laboratório da SABESP.

O pH e a condutividade elétrica foram medidos no momento da coleta, utilizando-se, respectivamente o p-Hâmetro e o condutivímetro.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS AQUÍFEROS FRATURADOS

2.1 OS CONDICIONANTES DO POTENCIAL AQUÍFERO

2.1.1 Estruturais

As fraturas (juntas ou diáclases e falhas) constituem as estruturas mais frequentemente desenvolvidas e mais amplamente distribuídas nas rochas, sendo por isso, consideradas, a princípio, como as feições mais importantes sob o ponto de vista hidrogeológico em terrenos metamórficos e cristalinos.

COSTA (1986) abordou os principais sistemas de fraturamento e as suas relações com o potencial aquífero. Três foram os sistemas considerados pelo autor em função do posicionamento destes frente aos tipos de esforços:

- Sistemas Transversal e Longitudinal: Esforços de Tração
- Sistema Angular: Esforços de Compressão

As fraturas transversais formam-se paralelamente à direção dos esforços compressivos e perpendicularmente à xistosidade. De acordo com COSTA (op. cit.) estas fraturas são consideradas favoráveis à locação de poços, pois, sendo originadas por tração, apresentam maior abertura entre as paredes.

Em trabalho pioneiro no Brasil, relacionando tipos de fraturamentos à produção aquífera, COSTA (1965), In: COSTA (1980), encontrou uma vazão média cerca de duas vezes maior para os poços associados às fraturas transversais, em relação às fraturas angulares.

LARSON (1984) aponta uma baixa capacidade de armazenamento para o sistema transversal quando este é originado sob deformação plástica (ou dobramentos) devido à fraca interconexão das fraturas. O mesmo autor assinala porém uma alta capacidade de armazenamento para este sistema quando o mesmo é gerado sob deformação rúptil, salientando ainda que tais fraturas funcionam como grandes condutos de drenagem coletores de água de fraturas menores pertencentes ao mesmo sistema.

As fraturas angulares constituem um par conjugado, que, a grosso modo, formam um ângulo de 60° entre si e têm como bissetriz a direção do maior esforço compressivo. Estas são consideradas pela maioria dos autores como desfavoráveis à locação de poços, pois suas aberturas são muito reduzidas, além de poderem ser colmatadas pelo processo de milonitização. Entretanto, em clima favorável pode haver decomposição dos minerais ao longo das zonas miloníticas e cataclásticas. Em estudo

realizado na região de Porto Alegre, por exemplo, HAUSMAN (1975) constatou que as maiores vazões ocorriam em poços situados nas zonas milonitizadas ou cataclásticas das rochas cristalinas.

As fraturas longitudinais são subparalelas à direção da xistosidade ou às charneiras das dobras, portanto, perpendiculares aos esforços compressivos. Semelhantemente às fraturas transversais, são também trativas, porém geradas por alívio de tensões, que ocorre devido a fenômenos epirogenéticos em áreas inicialmente sujeitas a elevadas tensões compressivas tangenciais à crosta (COSTA, 1980). O autor (op. cit.) cita que ótimas vazões foram obtidas em poços situados ao longo destes fraturamentos na região do nordeste brasileiro, os quais apresentam grande abertura entre as paredes das fendas.

2.1.2 Litológicos

No que se refere à influência dos litotipos sobre a potencialidade aquífera, novamente reincidente a importância do fraturamento, pois o menor ou maior grau de ruptura da rocha depende das suas características mecânicas, que por sua vez está intimamente associado à textura e estrutura da mesma. COSTA (1986) fez uma análise do comportamento mecânico dos distintos tipos litológicos, com relação à intensidade e frequência do fraturamento, em observância às características texturais e estruturais da rocha face aos esforços compressivos e tracionais. Tal análise pode ser assim resumida:

"Fraturas de tração -

Abertura - são maiores nas rochas com minerais granulares do que com minerais tabulares. Este comportamento deve-se ao fato de a abertura das fraturas de tensão serem maiores nas rochas mais resistentes, ou seja, com maior módulo de elasticidade (E), pois a tensão de tração t é diretamente proporcional a E ($\delta t = E \cdot \epsilon$), onde ϵ é a medida de deformação plástica.

Frequência - é inversamente proporcional ao módulo de elasticidade (E). Dessa forma, as rochas de mais baixo E (menos resistentes), tais como os filitos e siltitos, possuem maior frequência de fraturamento de tração em relação aos granitos.

Rupturas por cisalhamento

Em rochas com minerais granulares e isentos de planos de clivagem (maior E) há maior resistência ao cisalhamento do que aquelas constituídas de minerais tabulares, ou menos resistentes (menor E). No que se refere à textura da rocha, quanto mais grossa, menor sua resistência ao cisalhamento, pois haverá maior influência dos planos de clivagem dos minerais. Quanto ao grau metamórfico, as rochas de mais baixo grau possuem maior intensidade de ruptura por cisalhamento que as de maior grau

metamórfico, embora, nestas, os planos de separação sejam maiores, em razão da menor energia de deformação acumulada em relação às rochas de mais baixo grau metamórfico".

Ainda neste contexto, as zonas de contato entre as rochas de diferentes graus de competência podem funcionar como um importante meio de descontinuidade. Isto é extensivo também, à presença de diques e sills, geralmente compostos de diabásios ou pegmatitos, que atuam muitas vezes como barreiras, permitindo o acúmulo de água, ou mesmo como condutos, quando providos de um maior grau de fraturamento.

2.1.3 Climáticos

O clima e a composição mineralógica das rochas são controladores da velocidade e tipo de alteração, do que resulta em um regolito ou manto de intemperismo (solo superficial pedogenético e saprolito) de espessura variável, não superior a 30m em áreas de clima temperado. Em áreas sob clima tropical alcançam 100m (LEWIS, 1987), podendo chegar a 150m na presença de grandes falhas (REBOUÇAS & CAVALCANTE, 1987).

O regolito exerce a dupla função de armazenar e transmitir a água pluvial para o meio fraturado, além de promover a descarga da água subterrânea, mantendo o fluxo de fontes e fluxo de base dos rios perenes, como mencionado por REBOUÇAS & CAVALCANTE (op.cit.) e DAEE (1975).

Em áreas sob clima tropical úmido, o processo de alteração química das rochas resulta na formação do solo laterítico, caracteristicamente poroso. O mecanismo principal desta alteração é a hidratação e hidrólise dos silicatos, por meio do HCO_3^- e CO_2 , com remoção parcial da sílica e do alumínio e formação de argilo-minerais mais estáveis, compostos, predominantemente de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Dentre os diversos estudos hidrogeológicos que tratam das características do perfil de alteração em terrenos pré-cambrianos sob clima tropical, destaca-se o de Mc FARLANE (1987), com exemplos de Malawi, Zimbabwe, na África. A autora discute os processos de alteração química e mineral que podem ocorrer no regolito e distingue três zonas principais que caracterizam o perfil de alteração: colúvio, saprolito e a rocha alterada (fraturada). Ela destaca ainda, que a transição do saprolito para a rocha alterada pode ser marcada por uma zona estreita de material desagregado de maior condutividade hidráulica (brecciated zone).

As características composicionais das zonas de alteração e suas porosidades e permeabilidades relativas estão representadas na Figura 4, cujo esquema foi elaborado por ACWORTH (1987). Estas zonas podem ser correlacionadas às sumarizadas por

PERFIL

DESCRIÇÃO

Horizonte de solo "A": Geralmente menor que 0,5m de espessura. Normalmente solo arenoso vermelho, alta porosidade, bem drenado e lixiviado.

Horizonte de solo "B": Zona deposicional com formação de laterita. Espessura varia até 15m.

Zona "a" (Zona de solo "C"): Poucos metros de espessura. Argila arenosa ou areia argilosa, frequentemente concrecionada.

Zona "b": 1m a 30m de espessura. Acumulação massiva de minerais secundários (argilas), em que alguns minerais primários estáveis podem estar presentes na sua forma original. Baixa permeabilidade e porosidade.

Zona "c": 1m a 30m de espessura. Rocha progressivamente alterada na parte superior para uma camada granular friável de agregados de cristais desintegrados e fragmentos de rocha. Porosidade e Permeabilidade intermediária.

Zona "d": 1m a 20m de espessura. Rocha fraturada e fissurada. Baixa porosidade, mas moderada a alta permeabilidade nas fissuras.

Rocha Fresca.

PERMEABILIDADE
(relativa)
Baixa Alta

POROSIDADE
(aproximada)
0 40

Fig. 4 : Perfil típico de alteração desenvolvido sobre rochas do embasamento cristalino (segundo ACWORTH, 1987)

REBOUÇAS e CAVALCANTE (1987), em estudo sobre a hidrogeologia de rochas do embasamento cristalino sob clima úmido no Brasil. Estes autores apresentam os seguintes valores de condutividade hidráulica (K) e porosidade efetiva (ne):

a) Zona superficial - correlacionada aos horizontes de solo *B* da Figura 4:

$$K = 10^{-7} \text{ a } 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$n_e = 0,1 \text{ a } 2,0\%$$

b) Zona de material friável - correlacionada à Zona *b* da Figura 4:

$$K = 10^{-5} \text{ a } 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$n_e = 2,0 \text{ a } 5,0\%$$

c) Zona de rocha fraturada - correlacionada às Zonas *c* e *d* da Figura 4:

$$K = 10^{-5} \text{ a } 10^{-3} \text{ m/s}$$

2.1.4 Geomorfológicos

Diversos estudos abordando a influência do posicionamento topográfico do poço sobre a sua produtividade foram realizados, podendo-se citar: SIDDIQUI e PARIZEK (1971), PARIZEK (1976), COSTA (1986); BERTACHINI (1987). Estes estudos revelam que, de forma geral, há uma maior produtividade dos poços perfurados em fundo de vales que nas encostas ou interflúvios, uma vez que aqueles locais normalmente constituem zonas naturais de descarga, além de aumentarem aí as possibilidades de se encontrar maior densidade de fraturas.

2.2 MÉTODOS DE PROSPECÇÃO

A prospecção de aquíferos fraturados envolve basicamente três níveis de estudo: (a) caracterização dos termos litológicos quanto à composição e formas de contato; (b) caracterização das feições estruturais, com ênfase aos sistemas rupturais; (c) compartimentação geomorfológica. Estudos geofísicos podem ser também utilizados dependendo das características do sistema aquífero a explorar.

O estudo das feições rupturais, via de regra, é realizado a partir da detecção e interpretação dos padrões estruturais por imagens de satélite, fotografias aéreas e fotomosaicos, constituindo assim, num dos principais instrumentos utilizados para prospecção de água subterrânea em aquíferos fraturados.

O objetivo da análise fotogeológica na prospecção de água subterrânea é a detecção dos principais sistemas de fraturamento e das zonas de contato litológico, os quais constituem as discontinuidades mais importantes do ponto de vista de armazenamento e circulação de água. Estes estudos, que devem ser efetuados com aferições de campo, permitem o estabelecimento de critérios de locação valiosos, pois a distinção dos sistemas de fraturamentos é indicativa do potencial hídrico destes, como visto no Item 2.1.1. Além disso, outras importantes informações podem ser obtidas por fotoanálise, tais como o grau de orientação das estruturas (tropia), homogeneidade na distribuição dos elementos estruturais (geneidade), variações litológicas, avaliação da permeabilidade do substrato (geralmente tanto menor quanto maior a densidade de drenagem), grau de intemperismo ou espessura da cobertura intemperizada.

Estudos versando sobre métodos de análise do fraturamento e tratamento estatístico a partir da fotointerpretação, tiveram início na década de 50, destacando-se entre outros, os trabalhos de PINCUS, 1951; CLOSS, 1955; BLANCHET, 1957; LATTMAN, 1958; BRIERE & RAZACK, 1982. Diversos estudos do fraturamento aplicados à hidrogeologia de terrenos cristalinos, metamórficos e carbonáticos foram executados por vários autores, dentre os quais pode-se citar, nos terrenos cristalinos e metamórficos: SETZER, 1964; COSTA, 1965; HAUSMAN, 1975; COSTA, 1986; BERTACHINI, 1987. Nos terrenos carbonáticos, citam-se LATTMAN e PARIZEK, 1964; SIDDIQUI e PARIZEK, 1971; PARIZEK, 1976; SILVA, 1984. Ressalta-se que, apesar destes estudos em terrenos carbonáticos não estarem relacionados a rochas pré-cambrianas, os princípios básicos metodológicos de prospecção empregados são bastante similares, pois a ocorrência de água subterrânea em ambos tipos de aquíferos está fortemente vinculada às estruturas de discontinuidade secundárias.

Estes autores analisaram a relação entre os parâmetros de produtividade à presença de fraturamentos. Os resultados revelaram que, dentre os poços mais produtivos, existe uma maior frequência daqueles associados a *lineamentos* ou a *traços de fratura*.

Os *traços de fratura*, vistos em fotografias aéreas, são considerados por diversos autores (LATTMAN, 1958; PARIZEK, 1976) manifestações na superfície topográfica de zonas de concentração de fraturas aproximadamente verticais, que se estendem linearmente por menos de 1,6Km, mas geralmente entre 300 e 600m. As feições lineares maiores são consideradas *lineamentos* por PARIZEK (1976). Já NORTHFLEET

et al. (1971), in: SOARES e FIORI (1976), consideram o limite para os traços de fratura de 3,5 Km. Tal distinção entre lineamentos e traços de fratura e os limites de extensão entre eles foram estabelecidos para distinguir as juntas ou diáclases dos falhamentos, pois, normalmente, estas feições fotogeológicas, a partir de determinada extensão, correspondem a falhas, tendo, portanto, sofrido deslocamento relativo dos blocos (SOARES e FIORI, op.cit.).

Ao longo das zonas de fraturamento, os processos meteóricos e erosivos são mais facilmente instalados, constituindo assim, zonas preferenciais ao desenvolvimento de drenagens.

As sondagens geofísicas na exploração de água subterrânea são realizadas para detecção da espessura do manto de intemperismo, profundidade das fraturas e profundidade do nível d'água. Os métodos mais utilizados são o da Sondagem e Caminhamento Elétrico. O método gravimétrico seria recomendado para detecção de feições cársticas em terrenos calcários.

BOLOGUINI e MOUTIN (1967, in: IPT, 1982) propuseram o uso de fotos aéreas para terrenos metamórficos e pesquisa geofísica para terrenos granito-gnáissicos no estudo de aquíferos fraturados e fissurados. A detecção fotogeológica das estruturas rúpteis em terrenos metamórficos é facilitada pelo maior grau de anisotropia e de manifestação dos elementos estruturais sobre o relevo, mesmo quando o manto de intemperismo é relativamente espesso, como verificado na área objeto deste estudo. Já nos terrenos granito-gnáissicos esta manifestação é comparativamente bem menos perceptível.

3. A ÁREA DE ESTUDO

3.1 ASPECTOS FÍSICO-CLIMÁTICOS

Na Figura 2 estão representados os principais elementos fisiográficos da área que servirão como referência para a caracterização geomorfológica e hidrográfica a seguir.

3.1.1 Geomorfologia

A nível geomorfológico regional, a área está enquadrada dentro do Planalto Atlântico, na Zona da Serrania de São Roque (ALMEIDA, 1964, in: PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1981a), cuja elaboração dos relevos deu-se segundo as superfícies de aplainamento de Itaguá e Japi (MARTONNI, 1943; Ab'Saber, 1948; in PRÓ-MINÉRIO/IPT, op.cit.). A Serrania de São Roque é caracterizada por um relevo montanhoso, de variada constituição litológica, cujas maiores altitudes são encontradas na região da Serra do Japi (1.200 a 1.250m) e assoalhos dos vales situando-se em geral a altitudes de 700 a 800m.

A nível local, a área possui um relevo com morros de altitudes moderadas, em torno de 750 a 850m, os quais são esculpidos por uma erosão diferenciada em consequência da intensa variação litológica. Ressaltam os morros de altitudes mais elevadas (900 a 1.000m), sustentados por quartzitos (Morros do Rosário e Ponunduva), por granitos (Morros Grande e do Tico-Tico) e por rochas meta-subvulcânicas ácidas (Morro de Polvilho). Esta esculturação diferenciada sobre as rochas de diferentes graus de resistência à erosão, associada a fatores estruturais, tal como o forte mergulho das foliações, provocam, localmente, um forte alinhamento do relevo. Estas feições podem ser facilmente identificadas nos terrenos com intercalações de filitos e rochas carbonáticas (trecho Cajamar-Jordanésia), filitos e anfibolitos (sul de Fazendinha) e xistos e metarenitos (sul de Polvilho).

Os patamares mais baixos correspondem aos depósitos aluvionares e elúvio-coluvionares, situados a altitudes entre 700 e 750m. Estes depósitos adquirem maior expressão ao longo dos extensos vales das drenagens mais importantes, onde se desenvolveram as cidades de Cajamar, ao longo do Ribeirão das Lavras; Jordanésia, ao longo do Ribeirão dos Cristais; Fazendinha e Polvilho, estas últimas próximas ao Rio Juqueri.

3.1.2 Clima

O clima da região é subtropical úmido com temperatura média anual de 18°C e precipitação total anual variando entre 1.100 e 1.500mm, com média de 1400mm (DAEE, 1975). Ocorrem duas estações anuais marcantes: uma de estiagem, entre os meses de abril a setembro e outra chuvosa, de outubro a março.

A evapotranspiração real média é de aproximadamente 800mm/ano (DAEE, 1975), o que proporciona um superavit médio de precipitação de 600 mm/ano.

3.1.3 Hidrografia

A área está localizada na Bacia do Alto Tietê, a jusante da Sub-Bacia do Rio Juqueri, ocupando aproximadamente 20% desta sub bacia. O Rio Juqueri drena a área de estudo na sua porção central, no sentido de leste para oeste, onde deságua no Rio Tietê, na altura do Reservatório de Pirapora. Os seus principais tributários diretos na área são o Ribeirão dos Cristais, Córrego Jaguari, Córrego Itaim, Ribeirão São Miguel e Córrego Santa Fé. Os tributários secundários são o Ribeirão das Lavras, Córrego Olhos d'Água, Córrego das Furnas e Córrego Bom Sucesso (Fig. 2).

O forte controle estrutural sobre as drenagens é facilmente detectável nas fotografias aéreas, com presença de um padrão de drenagem variando de local para local, de acordo com a estruturação imposta e com as litologias atravessadas. De uma forma geral, predomina um padrão de drenagem dendrítico, porém com presença de confluências em ângulos retos, denotando o condicionamento estrutural. Mudanças bruscas de direção das linhas centrais de drenagem presentes também são atribuídas à influência das estruturas de descontinuidade nas rochas.

Este nítido condicionamento pode ser facilmente identificado na Figura 5, onde são mostradas a rede hidrográfica e os lineamentos fotointerpretados em escala 1:40.000.

Na parte sul da área, abaixo do trecho Polvilho-Fazendinha-Parque Anhanguera existem duas direções principais de alinhamento das drenagens, uma de direção NW e outra NNE, sendo que, a NW está associada ao plano de foliação regional.

Na região central, sobre a faixa Polvilho-Fazendinha até o extremo leste, a densidade de drenagem observada é menor, em parte devido à ocupação urbana, que alterou os cursos d'água e a topografia originais. Porém, é possível, mesmo assim, notar-se um alinhamento das drenagens no sentido E-W, inclusive o próprio Rio Juqueri.

Na metade norte persiste a heterogeneidade dos padrões de drenagem, mas com duas direções de drenagens principais, NE e NW, sendo os primeiros vinculados à

INTERPRETAÇÃO A PARTIR DE AEOROFOTOS 1:40000 (EMPLASA, 1977).

0 3,6 km
ESCALA

LEGENDA

- DRENAGEM
- LINEAMENTOS
- FOLIAÇÃO
- ÁREA URBANIZADA
- PONTOS DE COTAS MÁXIMAS

FIGURA 5 - Mapa da rede hidrográfica mostrando a associação dos padrões de drenagens às estruturas.

foliação plano-axial regional. O condicionamento destas linhas de drenagem pelas estruturas é mais acentuado nesta região, no trecho Cajamar-Jordanésia, onde as lentes de rochas metacarbonáticas intercalam às metapelíticas.

A mais baixa densidade de drenagem no centro-leste da área é atribuída à intrusão granítica dos morros Grande e do Tico-Tico.

Na área existe um único posto fluviométrico (Posto 3E-106), instalado a leste, no Rio Juqueri (Fig.2), e outros três postos estão instalados à montante daquele, fora do limite leste. A ausência de um posto a jusante do existente na área impossibilita a avaliação da contribuição dos tributários na área de estudo, ou seja, do próprio balanço hídrico. Como a finalidade do trabalho não inclui a quantificação dos recursos hídricos, mas, uma proposta metodológica para locação de poços tubulares na área, tais problemas foram desconsiderados.

3.2 CONTEXTO GEOTECTÔNICO REGIONAL

A área de estudo situa-se dentro da compartimentação tectônica do embasamento pré-cambriano paulista, identificada como *Faixa de Dobramentos São Roque* (In: PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1981b). Nesta faixa está representado o Grupo São Roque, de idade do Proterozóico Superior, o qual é constituído por uma cunha de rochas metassedimentares de fácies metamórfica xito-verde a anfíbolito (COUTINHO, 1972), cortadas por batólitos e *stocks* graníticos pré- ou sin- a tardi- tectônicos à fase do metamorfismo regional.

Numerosos estudos compreendendo os aspectos petrográficos, litológicos e estruturais do Grupo São Roque, foram realizados, destacando-se os seguintes: CORDANI et al. (1961); KENECHT (1964); HENNIES et al. (1967); HASUI et al. (1969); PENALVA & HASUI (1970); COUTINHO (1972); HASUI (1973); HASUI & SADOWSKI (1976); HASUI et al. (1977); CARNEIRO (1983); CARNEIRO et al. (1984); CARNEIRO et al. (1985); BERGMAN (1988); SANTORO et al. (1988).

O Grupo São Roque é limitado a Norte e a Sul pelas extensas zonas de rochas cataclásticas ao longo dos falhamentos transcorrentes dextrais de Jundiuvira e Taxaquara, respectivamente, ativadas no fim do Ciclo Brasileiro (HASUI et al., 1969), e a W pela Bacia Sedimentar do Paraná (Fig.6).

O embasamento pré- São Roque engloba gnaisses e migmatitos relacionados ao Complexo Amparo e os milonito-gnaisses e blastomilonitos dobrados, estes de idade incerta (CARNEIRO, 1984).

FIGURA 6 - Situação da área em relação às principais feições tectônicas do Estado de São Paulo (in: IPT/PRÓ-MINÉRIO, 1981)

As direções estruturais predominantes para o Bloco São Roque no polígono Jundiá-Salto de Itú-Sorocaba-Barueri são 55-70°NE (HASUI et al., 1969). Desvios locais para NW e NNE são considerados por estes autores como decorrentes dos falhamentos transcorrentes e das intrusões granitóides.

As rochas que compõem o Grupo São Roque formam uma grande variedade de tipos litológicos, configurando faixas alongadas, em contatos frequentemente transicionais, orientados preferencialmente nas direções ENE e EW. Compreendem, predominantemente, metassedimentos pelíticos (filitos e xistos) e psamíticos (quartzitos, arenitos e metaconglomerados), rochas químicas (metacalcários e metadolomitos), clasto-químicas (cálcio-silicáticas), além de anfibolitos e metavulcânicas locais. Intrusões de granitos e granitóides ocorrem como corpos de dimensões variáveis e formas irregulares, alguns dos quais provocando grandes feições dômicas, tal como a presente nos xistos encaixantes do granito do Tico-Tico, na área de estudo.

Os padrões de dobramento do Grupo São Roque são bastante variáveis, em virtude, principalmente, da diversidade litológica, ocorrendo nas zonas essencialmente filíticas em sucessivos anticlinais e sinclinais, com dobras abertas a fechadas, normais ou invertidas, evoluindo às vezes para dobra-falhas (HASUI et al., 1969). Todavia é identificado na unidade uma fase regional de dobramentos holomórficos, cujos planos axiais são subverticalizados, com intensa transposição associada e considerada contemporânea ao metamorfismo regional, evidenciado pela xistosidade plano-axial e pelo alojamento das rochas granitóides (PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1981b). Associados aos dobramentos, diáclases e falhas se desenvolveram dispostas nas formas subvertical, transversal e paralelamente à xistosidade.

3.3 GEOLOGIA LOCAL

Diversos autores executaram mapeamentos geológicos de semi-detalle (escala 1:25.000 e 1:50.000) abrangendo toda área de estudo ou parte dela, podendo-se citar: CARNEIRO (1983) na Faixa Jaraguá-Cristais; PRÓ-MINÉRIO/IPT (1984), na Folha de Santana de Parnaíba; PRÓ-MINÉRIO/UNESP (1987), nas Folhas de Cajamar e Jordanésia; e BERGMAN (1988), na região de Pirapora do Bom Jesus.

3.3.1 Unidades Litológicas

A área caracteriza-se por apresentar acentuadas variações das litologias, com predomínio das sequências metapelíticas, associadas a metapsamitos impuros e imaturos, e, secundariamente, a metassedimentos químicos e clasto-químicos, em contatos frequentemente transicionais e concordantes entre si, configurando corpos normalmente alongados com orientações predominantes entre ENE e EW. A estas rochas associam-se

também corpos de anfibolitos e de granitos intrusivos. O profundo grau de intemperismo destas rochas, a acentuada variação dos litotipos e os contatos transicionais dificultam a delimitação entre as unidades litológicas.

Uma divisão estratigráfica para estas unidades na Faixa Jaraguá-Cristais, a qual compreende cerca de 80% da área deste estudo, foi proposta por CARNEIRO (1983), como ilustrado na Figura 7. Tal divisão é a mesma encontrada no mapa geológico de Santana do Parnaíba do PRÓ-MINÉRIO/IPT(1984), o qual abrange totalmente a área deste estudo.

No Anexo 4 está representado o mapa geológico-estrutural da área, cujas unidades litológicas foram simplificadas e modificadas de PRÓ-MINÉRIO/IPT (1984), discriminadas a seguir.

1. Metapelitos

- Filitos (PSsf)
- Micaxistos (PSsx)

2. Metapsamitos

- Metarcóseos, metarenitos, metagrauvacas (PSsm)
- Quartzitos (PSsq)

3. Metassedimentos Químicos e Químico-detríticos

- Rochas Carbonáticas (PSsc)
- Rochas Calcio-silicáticas (PSss)

4. Rochas de Natureza Ígnea

- Anfibolitos (PSsa)
- Meta-subvulcânicas ácidas (PSsv)
- Granitos (PS)

5. Sedimentos Quaternários (Qa, Qc)

FIGURA 7 - COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA ESQUEMÁTICA PARA A FAIXA JARAGUÁ-CRISTAIS (segundo CARNEIRO, 1983)

1 - METAPELITOS

Neste conjunto estão incluídas variações de filitos e xistos mostrando diversidades granulométricas, composicionais e metamórficas. São os de maior expressão física, perfazendo cerca de três quartos da área. As acentuadas intercalações entre as duas unidades e o profundo grau de intemperismo atuante, dificultam a distinção entre os dois litotipos em campo.

Filitos (PSsf)

Os filitos são as rochas de maior expressão em toda área, ocorrendo nas partes norte, sul e oeste.

Geralmente são bandados milimétrica a centimetricamente, em diversas cores, quando alterados (níveis avermelhados, amarelados e arroxeados). Exibem tonalidades alternadas cinza claro e cinza escuro, quando inalterados. De acordo com CARNEIRO (1983) este bandamento é resultado de uma forte clivagem. Outra acentuada foliação existente é introduzida por uma clivagem de crenulação, que dá um aspecto laminado à rocha.

Sua composição mineralógica encerra mica branca e quartzo, com opacos e algum feldspato como acessórios.

As intercalações subordinadas mais comuns são de natureza metarenítica fina a metarcoseana, com as quais estão em contato transicional. Pouco comuns são as intercalações de filitos grafitosos, xistos muscovíticos finos a porfiroblásticos, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos.

Micaxistos (PSsx)

Esta unidade distribui-se na porção central da área, estendendo-se na direção aproximadamente leste-oeste e contornando a intrusão granítica do Morro do Tico-Tico.

CARNEIRO (1983) distinguiu dois tipos petrográficos: micaxistos finos e xistos porfiroblásticos, como podem ser facilmente identificados no campo.

Os micaxistos finos são localmente feldspáticos ou bastante quartzosos, encerrando uma mineralogia à base de quartzo, muscovita e biotita, com microporfiroblastos ocasionais de estauroлита, sillimanita e ou granada. As intercalações mais frequentes são metarcóseos, quartzitos, filitos, rochas cálcio-silicáticas e anfibolitos.

Os micaxistos porfiroblásticos ocorrem principalmente nas adjacências do corpo granítico do Tico-Tico, possuindo granulação fina a média e localmente grosseira, com porfiroblastos de estauroilita, sillimanita e granada, conferindo um aspecto maculado à rocha.

2 - METAPSAMITOS

Este conjunto encontra-se exposto a SE e a NW da área. A SE, possuem estruturas orientadas para NW, sofrendo uma inflexão e prolongamento para EW, alcançando o extremo oeste.

O pacote metapsamítico encerra a sequência PSsm - metarcóseos, metarenitos finos, metarenitos conglomeráticos, metaconglomerados, com frequentes intercalações de filitos - e a sequência PSsq - quartzitos.

As intercalações subordinadas no conjunto metapsamítico incluem filitos, sericita-xistos e quartzitos.

Metarcóseos, Metarenitos e Metagrauvacas (PSsm)

Esta unidade é constituída principalmente de metarcóseos, quartzo-filitos e metarenitos finos, tendo o feldspato como constituinte comum e a matriz quartzosa.

Na porção sul da área, em uma faixa de aproximadamente 500m de largura, estes metapsamitos estão associados a intercalações frequentes de xistos muscovíticos. Os metaconglomerados ocorrem sob a forma de lentes alongadas segundo a foliação regional, constituídos de seixos de natureza variada com dimensões de 2 a 30 cm de diâmetro, imersos numa matriz xistosa.

A NW da área, junto à cidade de Cajamar, ocorrem metarenitos médios com intercalações de filitos, orientados segundo a direção ENE. Nestes são comuns intercalações métricas a centimétricas de metarenitos conglomeráticos médios, com seixos de quartzo e algum feldspato (SANTORO et al. 1988).

Quartzitos (PSsq)

Os quartzitos formam corpos lenticulares encaixados dentro das unidades metapsamítica e metapelítica, geralmente configurando cristas alongadas que sustentam os morros mais altos, destacando-se o Morro do Rosário, a SE de Jordanésia, Morro do Ponunduva, no extremo oeste da área e Morro de Polvilho, a sul do distrito homônimo.

~Estas rochas geralmente são maciças a fracamente foliadas, e localmente possuem forte foliação. A granulação varia de fina a grossa e muitas vezes possuem aspecto sacaróide quando parcialmente alteradas. Os minerais essenciais são quartzo (80%) e secundariamente moscovita.

As intercalações subordinadas são metarenitos finos arcoseanos, filitos e xistos.

3 - METASSEDIMENTOS QUÍMICOS E QUÍMICO-DETRÍTICOS

Rochas Carbonáticas (PSsc)

Esta unidade ocorre predominantemente na região de Cajamar-Jordanésia, Polvilho e Fazendinha.

Constituem lentes e camadas alongadas segundo a estruturação regional, em variadas dimensões e espessuras desde submétricas até muitas dezenas de metros.

A unidade PSsc é composta de metacalcários, mármore e metadolomitos, cortados por veios de calcita e/ou quartzo, encaixados dentro da sequência de filitos, com os quais mantêm contatos de forma predominantemente brusca e também transicional. Quando o contato é transicional, este faz-se com presença de filitos calcíticos (cálcio-filitos) que ocorrem intercalados nas bordas das lentes das rochas carbonáticas.

Corpos de metacalcário foram intersectados em vários poços profundos nas localidades de Fazendinha (Município de Santana de Parnaíba) e Distritos de Polvilho e Jordanésia, sob sedimentos inconsolidados quaternários de 15 a 40m de espessura. Lentes da ordem de 2 a 3 metros de espessura também são encontradas em diversos pontos da área.

Rochas Cálcio-silicáticas (PSss)

A unidade de rochas cálcio-silicáticas está exposta na porção SE da área, encontrando-se alongada na direção NW com inflexão para EW.

As rochas cálcio-silicáticas ocorrem também frequentemente intercaladas nos pacotes metapelíticos, porém não representáveis na escala do mapa geológico-estrutural (Anexo 4).

As intercalações subordinadas são os sericita-xistos e muscovita-quartzo-xistos, além de raros níveis metareníticos e quartzíticos.

Os contatos com as unidades adjacentes, metapsamitos e metarenitos, são transicionais, sendo de difícil delimitação quando em contato com os corpos de anfibolito.

A mineralogia é composta de anfibólios, piroxênios, plagioclásios, epidoto e quartzo.

4 - ROCHAS DE NATUREZA ÍGNEA

Neste conjunto estão incluídas as rochas de natureza ígnea, compreendendo três diferentes unidades: granitos (PS γ), anfibolitos (PSsa) e metasubvulcânicas ácidas (PSsv).

Granitos (PS γ)

Dois corpos graníticos intrusivos ocorrem nesta unidade: o de maior expressão é representado pelo granito do Morro do Tico-Tico, situado ao centro-leste da área, e o outro, de menor dimensão, a SE. Ambos corpos foram classificados por HASUI et al. (1978), in: CARNEIRO (1983), como pertencentes à fácies Cantareira.

O granito do Tico-Tico possui forma elíptica alongada na direção aproximadamente EW, concordante com a estruturação regional. É de granulação média a grossa, e exibe estrutura planar desenvolvida pelas micas e feldspatos. Uma tênue foliação mergulha fortemente para fora do corpo, da mesma forma que as encaixantes, as quais configuram uma estrutura de caráter anticlinal contornada à intrusão, conforme mencionado nos estudos de PENALVA & HASUI (1970).

A mineralogia é composta de quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita, tendo como acessórios granada, moscovita, turmalina e zircão.

Numerosos veios de pegmatitos dobrados ocorrem nas vizinhanças deste corpo granítico.

Em Polvilho, no Bairro Jardim Bela Vista, a oeste da Via Anhanguera, foram encontrados corpos granitóides aflorantes. Dois poços profundos aí existentes intersectaram rocha granítica por um trecho de até 130m. Tal rocha pode representar uma apófise do corpo granítico Tico-Tico, ou mesmo ser uma continuidade do mesmo.

O outro corpo granítico presente na área é representado pelo Batólito do Itaim (COUTINHO, 1972), de formato ovalado, com eixo maior na direção N-S. Os fenocristais são de feldspato potássico róseos a brancos imersos em matriz inequigranular média a grossa, tendo como constituintes principais, quartzo, plagioclásio e biotita, e como acessórios, epidoto, titanita, sericita e opacos.

Anfibolitos (PSsa)

Os corpos de anfibolito ocorrem em numerosas intercalações dentro das unidades metapelíticas, normalmente seguindo a orientação da estrutura geral, em variadas espessuras, que, nem sempre, são representáveis na escala do mapa geológico. As maiores exposições desta rocha são encontradas em Fazendinha, onde aflora um corpo de direção EW, ao longo de um extenso falhamento, e na região do Parque Anhanguera, em contato gradacional com as rochas cálcio-silicáticas.

Dois tipos texturais foram identificados por (CARNEIRO, 1983) e podem ser facilmente reconhecidos: maciços e bandados. Os anfibolitos maciços são principalmente isótropos, normalmente alterados, compostos de horblenda e plagioclásio. A granulação é média a grossa e localmente fina, com desenvolvimento de uma tênue foliação e fraturamento em várias direções. Os anfibolitos bandados são finos a médios, constituídos por tremolita-actinolita, oligoclásio e alguma biotita. A foliação é dada por uma rara laminação e clivagem de fratura, sendo frequentes sistemas de juntas. O bandamento e a laminação correspondem a diferenças texturais e mineralógicas. O contato com os filitos e cálcio-silicáticas é transicional, já com os xistos, a passagem é relativamente brusca.

Rochas Metasubvulcânicas Ácidas (PSsv)

Esta unidade é de ocorrência restrita, limitando-se a um pequeno corpo de direção EW, encaixando nos metapsamitos, sustentando o Morro do Polvilho, na porção sul da área.

A rocha possui fenocristais de plagioclásio e feldspato potássico imersos numa matriz afanítica fina e de aspecto bandado, com intercalações de metarenitos finos cinza claros.

5 - SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS (Qa,Qc)

Os sedimentos Quaternários correspondem a depósitos aluvionares dos principais cursos d'água (Q_a) e a depósitos colúvio-eluvionares locais (Q_c).

Os depósitos aluvionares (Q_a) são mais expressivos ao longo do Ribeirão dos Cristais, Ribeirão das Lavras e Rio Juqueri. São constituídos por material argilo-siltoso avermelhado a esbranquiçado e areno-siltosos esbranquiçados a amarelados, incluindo blocos e seixos.

Os depósitos colúvio-eluvionares (Qc) são de expressão mais restrita e configuram exposições de formatos irregulares, destacando-se os existentes a oeste da Via Anhanguera, SE da área. Este material é de composição bastante variável, areno-silto-argiloso, mal selecionado, granulação fina a grossa e coloração avermelhada a amarelada. De acordo com CARNEIRO (1983) estes depósitos seriam transportados principalmente pela ação da gravidade e estariam associados às fases de dissecação das encostas e acúmulo nos sopés das vertentes, com elevado suprimento de clastos. Constituem relevos planos no topo de colinas, com encostas relativamente irregulares.

Em Polvilho, CARNEIRO (1983) identificou os sedimentos colúvio-eluvionares ali existentes como correlados à Fm São Paulo, caracterizando-os como um pacote de sedimentos Tércio-quaternários, constituídos de depósitos areno-argilosos, mal selecionados, de coloração variegada (amarelada, esbranquiçada, bege, arroxeadada e avermelhada). Acrescenta-se que dados de perfis geológicos de poços profundos nesta área, e também em Fazendinha, revelaram a presença de rochas metacalcárias sob estes sedimentos, algumas possuindo feições cársticas (canais de dissolução). Neste estudo, entretanto, estes sedimentos foram identificados como material colúvio-eluvionar (Qc), que teria sido depositado em depressões típicas de terrenos calcários, as dolinas. Feições que denotam a presença de paleodolinas podem ser visualizadas em fotos aéreas nas localidades de Polvilho e Cajamar.

3.3.2 ESTRUTURAS

3.3.2.1 Estruturas Dúcteis

As estruturas metamórficas desenvolvidas na área de estudo apresentam padrões distintos, em função da grande variação dos pacotes litológicos afetados por sucessivos eventos deformacionais e intrusões graníticas, conforme citado nos estudos de CARNEIRO (1983) e PRÓ-MINÉRIO/IPT (1984). Estes autores propuseram um modelo deformacional para as rochas da região, cujas principais feições metamórficas, baseadas neste modelo, encontram-se assinaladas no mapa geológico-estrutural (Anexo 4).

De acordo com CARNEIRO (1983), as foliações mais comuns na área são a clivagem ardósiana ou xistosidade, clivagem de crenulação e clivagem de fratura.

A clivagem ardósiana (S_1) ou xistosidade (X), definidas pela orientação planar dos filossilicatos ou mesmo de minerais prismáticos, encontrar-se-iam geralmente subverticalizadas e paralelas à estratificação reliquiar (S_0). Foram consideradas plano-axiais dos dobramentos fechados e cerrados da primeira fase (D_1). A foliação S_1 ou xistosidade (X) seria marcada pelas constantes dispersões em consequência dos redobramentos posteriores.

A superfície S_2 teria sido definida por uma clivagem de crenulação plano-axial dos dobramentos da segunda fase (D_2). É uma foliação de ocorrência generalizada, identificada nos afloramentos pela sua frequente associação com um bandamento diferenciado, principalmente nos filitos laminados. Já nos quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e micaxistos, S_2 se manifesta como clivagem de fratura. O conjunto de dobras D_2 é o mais facilmente visível nos afloramentos, encontrando-se afetando geralmente a xistosidade S_1 e o bandamento composicional (S_0). São dobras abertas a fechadas, com predomínio do tipo normal, subverticais, facilmente identificadas pela macroestruturação regional, dispendo-se segundo direções NE a EW na metade norte, e NW na metade sul da área.

HASUI (1973) verificou que existe uma coaxialidade entre estas duas primeiras fases de dobramentos D_1 e D_2 , em estudo geológico da Folha de São Roque, a oeste da área.

A Superfície S_3 teria sido gerada na terceira fase de dobramentos (D_3), tendo sido identificada por CARNEIRO (op.cit.) como clivagem de crenulação em sequências mais finas e como clivagem de fratura, nas sequências de metapsamitos ou anfibolitos. As dobras associadas são abertas a suaves, de dimensões, em geral, hectométricas, afetando normalmente os eixos ou superfície-axial de dobras D_2 , como observado a sul da área. Neste local a orientação de S_3 é NNE, com uma forte inflexão para a direção EW e WNW na área da Fazenda Itayê (sul de Polvilho).

Uma quarta fase de dobramentos de pequena expressão foi também identificada por CARNEIRO (op. cit.), porém teria afetado apenas os anfibolitos.

3.3.2.2. Estruturas Rúpteis

As estruturas rúpteis de maior interesse hidrogeológico, as fraturas, estão associados às fases de dobramentos, e ao evento de transcorrência regional (Item 3.2).

Acrescenta-se que o termo *fratura*, é aqui utilizado, genericamente, para designar as juntas (ou diáclases) e falhas, segundo definição de LOCZY & LADEIRA (1980).

Os lineamentos identificados nas fotografias aéreas, marcam, na maior parte das vezes, os fraturamentos existentes. Diversos conjuntos de lineamentos podem ser identificados na área deste estudo, como será discutido mais adiante (Item 3.4).

As rochas se encontram frequentemente truncadas por pequenos falhamentos, destacando-se os existentes a NW da área, nas proximidades de Cajamar-

Jordanésia, de direção ENE, cortando as rochas carbonáticas. Outro conjunto de falhas, este de direção NW-SE, incide sobre esta mesma região, destacando-se as Falhas transcorrentes dextrais Gato Preto, a sul de Jordanésia e outra a SW de Cajamar (SANTORO et al., 1988) Outro falhamento de destaque é o situado na região de Fazendinha, de direção EW (BERGMAN, 1988) ao longo do qual está alojado um corpo de anfibólito.

Em razão das estruturas rúpteis serem de grande interesse hidrogeológico, o estudo de suas características geométricas, isto é, a identificação e formas de ocorrência dos sistemas principais, será apresentado à parte, no item seguinte.

3.4 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS

3.4.1 Considerações Iniciais

Como já visto no Item 3.3.2, as rochas da área foram afetadas por pelo menos três gerações sucessivas de dobramentos; os extensos falhamentos de transcorrência, Taxaquara e Jundiuvira, resultantes de um regime de esforços tangenciais, ocorreram em escala regional, posteriormente a estas três primeiras fases de dobramento.

Verifica-se, portanto, a complexidade da estruturação tectônica da área, de tal maneira que, os fraturamentos devem ter se desenvolvido de forma também bastante complexa, associados a estruturas de diferentes eventos tectônicos. Os fenômenos de transcorrência afetaram as rochas já com elevado grau de anisotropia, o que certamente teria causado desvios locais nas direções preferenciais dos planos de ruptura em formação durante este último evento (de transcorrência), e também dos planos pré-existentes. Além disso, intrusões graníticas perturbaram as estruturas previamente formadas e condicionaram parcialmente as direções das que foram geradas posteriormente.

Diante deste quadro, além da própria problemática em se estabelecer os padrões rupturais predominantes, é extremamente difícil correlacionar precisamente cada um dos padrões de ruptura aos seus respectivos eventos deformacionais geradores. Julgou-se conveniente, então, fazer-se uma análise geométrica destes padrões rupturais, admitindo-se a influência de ambos os mecanismos de deformação, por dobramento e por cisalhamento. Isto porque os últimos eventos além de terem provocado a geração de novas estruturas, naturalmente também reativaram e alteraram parcialmente as previamente formadas.

Dados os estilos dos dobramentos D_1 , verifica-se que os mesmos apresentam características de um estado extremamente dúctil das rochas à época da deformação,

dificultando a geração de rupturas nesta fase. A segunda fase de dobramentos (D_2), será considerada aqui, como principal evento condicionador de rupturas, antes dos fenômenos de transcorrência, uma vez que as dobras apresentam características de um estado menos dúctil das rochas em comparação aos dobramentos D_1 , além de ocorrerem de forma bastante generalizada na área.

3.4.2 Distribuição e Geometria dos Lineamentos

O Anexo 5 apresenta os lineamentos fotointerpretados a partir de fotos aéreas nas escalas 1:40.000 e 1:25.000.

Ressalta-se que o termo *lineamento* será aqui utilizado, informalmente, para designar qualquer traço linear fotointerpretado, sem distinção entre falhas e juntas (ou diáclases). Tal método possui a vantagem de permitir um estudo mais abrangente de toda a área.

A observação dos *trends* estruturais da área (xistosidade, eixos de dobras) permitiu o reconhecimento de pelo menos três diferentes domínios: Domínio Norte, Domínio Central e Domínio Sul. Os limites entre eles estão indicados no Anexo 5.

No domínio Norte é onde se encontra o *trend* estrutural que mais se assemelha ao padrão regional dos metamorfitos do Grupo São Roque, cuja orientação geral é NE-SW. No Domínio Central esta estruturação apresenta direção EW, e no Domínio Sul, NW-SE. As variações nos Domínios Central e Sul, em relação ao padrão regional, devem ser consequência de perturbações originadas pelas seguintes intrusões graníticas: Batólitos do Tico-Tico e do Itaquí, este além do limite da área de estudo, no Município de Barueri.

Foram elaborados diagramas de roseta das direções dos fraturamentos para cada um destes domínios, os quais estão representados na Figura 8. De forma geral, os diagramas não apresentam sistemas fortemente predominantes (com exceção do Domínio Central), mas sim, uma distribuição com tendências em setores relativamente amplos, o que já seria esperado em regiões com sucessivas movimentações tectônicas e de intensa atividade ígnea, como no caso presente.

A análise geométrica dos lineamentos foi feita para cada domínio separadamente, como será descrita a seguir.

FIGURA 8 - DIAGRAMAS DE ROSETA DAS DIREÇÕES DOS LINEAMENTOS NOS DOMÍNIOS NORTE, CENTRAL E SUL

3.4.2.1 Domínio Norte

Neste domínio podem ser identificados pelo menos três sistemas principais de lineamentos (Fig.8A).

1 - N80-90E

2 - N60-70E

3 - N10-50W

O sistema N80-90E parece estar relacionado às fraturas desenvolvidas paralelamente à direção do deslocamento principal das grandes Falhas transcorrentes (Taxaquara e Jundiuvira). Neste caso as fraturas seriam correspondentes às *fraturas Y*, definidas por SADOWSKI (1984).

O sistema N60-70E corresponde ao conjunto de fraturamentos desenvolvidos paralelamente à direção dos eixos das dobras D_2 e à direção da foliação plano-axial, sendo denominadas, portanto, de *fraturas longitudinais* (sob classificação de Costa, 1980), que, de acordo com este autor, são devidas a esforços de tração.

Observa-se um conjunto de lineamentos de grande frequência, porém, largamente distribuído entre os azimutes N10-50W, disposto transversalmente ao sistema N60-70E, portanto, à foliação plano-axial. Este sistema é facilmente observado nas fotografias aéreas, podendo estar relacionado, devido às características supracitadas, às *fraturas transversais*, as quais são associadas a esforços tracionais.

Embora sejam menos frequentes, observa-se a existência de dois conjuntos de lineamentos que perfazem um ângulo de aproximadamente 50° entre si (N50-60W e N-10W). Estes conjuntos poderiam estar relacionados a um sistema de par conjugado de fraturas de cisalhamento do tipo *Riedel* (GREENBAUN, 1987), isto é, às *fraturas angulares*. Um destes componentes (N50-60W) teria sido identificado na região de Cajamar-Jordanésia. Nesta região ocorrem dois falhamentos de rejeito direcional e caráter dextral (SANTORO et al., 1988), sendo que um deles situa-se a SW de Cajamar e o outro ao sul de Jordanésia (Falha do Gato Preto).

3.4.2.2 Domínio Central

Verifica-se neste domínio um conjunto de lineamentos fortemente predominante, de direção N80-90E (Fig. 8B), com pequenas variações para N80-90W, subparalelo à direção da foliação plano-axial e ao eixo de dobramentos D_2 , o que permite

associá-lo a *fraturas longitudinais*, as quais teriam sofrido reativação na fase de transcorrência.

Outros três conjuntos de lineamentos secundários podem também ser observados:

- N-20W a N-10E
- N20-30W
- N30-40E

O primeiro (N-20W a N-10E) é quase perpendicular à xistosidade, e é bastante perceptível nas fotos aéreas, podendo estar associado ao conjunto de *fraturas transversais*, originadas por esforços de tração.

Os demais conjuntos (N20-30W e N30-40E) ocorrem deslocados de 60° entre si, e poderiam corresponder a um par conjugado de *fraturas angulares* ou de cisalhamento, segundo o modelo de Riedel (in: GREENBAUM, op. cit.).

3.4.2.3 Domínio Sul

Observa-se neste domínio uma grande variação na direção do *trend* estrutural, em relação ao *trend* regional, em virtude da maior proximidade com os corpos graníticos mais expressivos (item 3.4.2.2). Além disso, como mencionado por CARNEIRO (1983), as rochas deste domínio foram mais intensamente afetadas pelos dobramentos D_3 .

São identificados neste domínio pelo menos cinco conjuntos principais de lineamentos (Fig. 8C):

- 1 - N80-90E
- 2 - N20-30E
- 3 - N-10W
- 4 - N20-30W
- 5 - N40-50W

O conjunto N80-90E, à semelhança do que ocorre no Domínio Norte, deve corresponder aos fraturamentos desenvolvidos paralelamente à direção dos falhamentos transcorrentes regionais (fraturas Y, in: SADOWSKI, 1984). Os conjuntos N40-50W e N20-30E relacionam-se às fraturas paralelas à foliação e ao eixo de dobramentos D_2 (fraturas longitudinais).

Os demais conjuntos são de difícil definição, porém, o N20-30E é bastante evidente nas fotos aéreas e mapas topográficos, sendo manifestado no relevo, por extensos

vales. Este conjunto corta a direção da foliação com um ângulo de aproximadamente 70°, com possibilidade de tratar-se de fraturas transversais.

3.4.2.4 Integração dos Domínios Norte, Central e Sul

O diagrama integrado de lineamentos dos três domínios mostra uma grande dispersão de direções (Fig. 9), refletindo a complexa estruturação tectônica da área.

Observa-se que o sistema melhor definido e comum aos três domínios é o N80-90E, o qual provavelmente está relacionado ao evento regional de transcorrência, desenvolvido paralelamente à direção do movimento geral dos grandes falhamentos.

É notória ainda uma clara tendência de os sistemas secundários se distribuírem para NW, atingindo aí dois máximos (N20-30W e N40-50W).

O sistema N20-30W é bem marcante no diagrama integrado, tendo sido interpretado diferentemente em cada um dos domínios.

O sistema N40-50W está presente apenas nos Domínios Norte e Sul, sendo que no Domínio Norte estaria relacionado às fraturas transversais e no Domínio Sul às fraturas longitudinais.

Verifica-se assim que o diagrama integrado mostra uma grande diversidade de direcionamentos das feições rúpteis, denotando a característica polideformacional da área.

Resumidamente, pode-se definir pelo menos quatro sistemas principais de lineamentos, mais marcantes, e mais facilmente identificados em fotografias aéreas:

FIGURA 9 - DIAGRAMA DE ROSETA DAS DIREÇÕES DOS LINEAMENTOS DOS DOMÍNIOS NORTE, CENTRAL E SUL INTEGRADOS

1. SISTEMA LONGITUDINAL:

(Fraturas de tração)

N60-70E	- Domínio Norte
N80-90E	- Domínio Central
N40-50W	- Domínio Sul
N20-30W	- Domínio Sul

2. SISTEMA TRANSVERSAL:

(Fraturas de tração)

N10-50W	- Domínio Norte
N-20W a N-10E	- Domínio Central

3. SISTEMA ANGULAR:

(Pares conjugados - Fraturas de cisalhamento)

N20-30W/N30-40E	- Domínio Central
N50-60W/N-10W	- Domínio Norte

4. SISTEMA PARALELO À DIREÇÃO DO CISALHAMENTO REGIONAL:

N80-90E	- Domínios Norte, Central e sul
---------	---------------------------------

3.4.3 Distribuição das Extensões dos Lineamentos

Para mostrar a distribuição das dimensões dos lineamentos na área, os mesmos foram divididos em cinco classes de comprimentos em cada um dos três domínios estabelecidos no ítem anterior, conforme indicado abaixo:

Classe 1 - até 500m;

Classe 2 - 500 a 1.000m;

Classe 3 - 1.000 a 1.500m;

Classe 4 - 1.500 a 2.000m;

Classe 5 - maior que 2.000m.

A Figura 10 apresenta as frequências relativas do comprimento dos lineamentos de cada classe, em cada domínio. Observa-se que a classe 2 (500 - 1.000m) predomina nos Domínios Norte e Central e a classe 1 (menor que 500m) no Domínio Sul. O Domínio Central apresenta ainda a maior proporção de lineamentos mais extensos na área, acima de 1500m.

DOMINIO NORTE

Nº. DE DADOS: 251

DOMINIO CENTRAL

Nº. DE DADOS: 76

DOMINIO SUL

Nº. DE DADOS: 118

FIG. 10 - FREQUENCIA DOS COMPRIMENTOS
DOS LINEAMENTOS

3.5 HIDROGEOLOGIA

3.5.1 Estudos Hidrogeológicos Regionais

No Brasil, os primeiros estudos hidrogeológicos em terrenos fraturados pré-cambrianos surgiram na década de 60, na Região Nordeste, no domínio semi-árido, desenvolvidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), tendo em vista suprir as necessidades de água daquela região.

Mais recentemente, COSTA (1986) executou um estudo sobre os fatores que atuam nos aquíferos fraturados, em área piloto nos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

As vazões normalmente encontradas nestes terrenos são extremamente baixas, em média $3\text{m}^3/\text{h}$, e raras vezes alcançam $10\text{m}^3/\text{h}$.

A característica fundamental que difere estes terrenos das demais regiões pré-cambrianas do país, onde o clima é mais úmido, é a presença nestas últimas, de um espesso manto de intemperismo, normalmente acima de 10m, resultante da alteração química dos minerais. Este manto proporciona condições de armazenamento e transmissão da água infiltrada às zonas aquíferas fraturadas.

Dentre os estudos mais importantes realizados na região, estão aqueles desenvolvidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, Região Administrativa 1 - São Paulo (1975), e Região Administrativa 5 - Campinas (1981). Dentre os estudos mais detalhados, tem-se BERTACHINI (1987), na Folha de Jundiaí e CAVALCANTE (1990), na Folha de Atibaia. As áreas abrangidas por estes estudos e os respectivos valores das medianas das vazões e *capacidades específicas* dos poços profundos cadastrados por estes autores estão relacionados abaixo, onde observa-se nítida superioridade de produção dos poços situados na área de abrangência do presente estudo.

Acrescenta-se que o levantamento dos poços nas respectivas áreas não levou em consideração se os mesmos foram locados ou não, de acordo com estudos hidrogeológicos.

LOCAL	REGIÃO ADM. S.PAULO	REGIÃO ADM. CAMPINAS	FOLHA DE JUNDIAÍ	FOLHA DE ATIBAIA	ÁREA DESTE ESTUDO
Q (m ³ /h)	3,8	-	-	5,0	15,0
Q/s (m ³ /h.m)	0,06	0,06	0,1	0,06	0,34

É importante salientar que o clima atuante, subtropical úmido, é comum a todas as áreas supracitadas. Entretanto, os litotipos predominantes na área objeto deste estudo são rochas metassedimentares pelíticas e psamíticas, enquanto nas demais localidades predominam rochas graníticas e granito-gnáissicas. Isto sugere a influência dos litotipos atuando como fatores determinantes das características hidráulicas do manto intemperizado, bem como do meio fraturado.

3.5.2 O Cadastramento dos Poços

Foram cadastrados 51 poços, sendo que 22 são de propriedade da SABESP, para abastecimento público, e a maioria dos 29 restantes são destinados ao abastecimento de indústrias. Estes poços encontram-se plotados em mapa no Anexo 5. A Tabela 2, a seguir, mostra a distribuição dos mesmos na área:

LOCALIDADE	Nº. POÇOS	% DO TOTAL
Parque Anhanguera	08	15,6
Polvilho	17	33,3
Fazendinha	10	19,6
Cajamar	02	3,9
Jordanésia	14	27,4
total	51	100,0

TABELA 2 - NÚMERO DE POÇOS, POR LOCALIDADE.

Os parâmetros hidráulicos inventariados foram o nível estático, o nível dinâmico, vazão ótima de exploração e *capacidade específica*. Os valores de vazão ótima

encontrados nos boletins técnicos, são, normalmente, definidos como o ponto de inflexão da curva vazão x rebaixamento, obtida dos ensaios de bombeamento dos poços.

Destaca-se que foram considerados prioritariamente os parâmetros medidos no primeiro teste de produção efetuado, e quando da falta destes dados, considerou-se o teste realizado posteriormente.

As informações hidrogeológicas inventariadas são o perfil litológico, perfil de alteração e profundidades de entradas d'água. A profundidade total e revestimento assinalam as características técnicas construtivas dos poços, apresentadas no Anexo 1.

Deve-se ressaltar que, em alguns casos, o litotipo apresentado no Anexo 1 não corresponde àquele registrado no boletim técnico do poço, mas sim ao que foi interpretado a partir da aferição em campo. Cita-se como exemplo, os poços SP.01 e SP.02, descritos como gnaisses e filitos, respectivamente, mas que foram aqui interpretados como rochas cálcio-silicáticas.

Somente os poços perfurados em litologias que puderam, em campo, serem aferidas ou interpretadas, participaram de correlações que envolveram o tipo litológico.

Foi constatado que existe uma grande deficiência de informações de alguns dos parâmetros mencionados, importantes neste contexto, dentre os quais se destacam as profundidades de entradas d'água e as características do perfil litológico, como pode ser observado no Anexo 1. Pode-se dizer que esta deficiência se constitui no principal obstáculo à compreensão das características físicas do sistema aquífero.

3.5.2.1 Características dos Poços

Os poços cadastrados estão localizados geralmente nas cotas mais baixas, normalmente entre 700 e 730m (77,5%). Estes locais são correspondentes aos terraços dos vales, onde se expandiu a urbanização. A maior parte dos poços situados acima da cota 730 (66,7%) está localizada no Parque Anhanguera, cuja região é a mais elevada dentro da área deste estudo, com altitude mínima de 740m.

Os dados de profundidade e revestimento dos poços construídos, quando confrontados com as características físicas do meio aquífero local, principalmente o perfil de intemperismo, profundidades de entradas d'água e litotipos, podem indicar possíveis deficiências de construção dos poços. Consequentemente, estes dados podem fornecer critérios para o melhor dimensionamento dos componentes das futuras obras de captação, sobretudo, mais adequados às peculiaridades hidrogeológicas locais.

Os parágrafos seguintes apresentam uma caracterização dos aspectos construtivos, profundidade e revestimento dos poços.

A) PROFUNDIDADE

A Figura 11 mostra que 34,7% dos poços têm menos de 100m; 40,8% entre 100 e 150m e os 24,5% restantes acima de 150m. A distribuição das faixas de profundidade dos poços em cada localidade é mostrada na Tabela 3, a seguir:

LOCALIDADE	(No. DE POÇOS)	FAIXA DE PROFUNDIDADE (m)	VALORES MAIS FREQUENTES (m)	(%)
P. Anhanguera	08	50 a 150	100 a 150	62,5
Polvilho	17	< 50 a 250	50 a 100 150 a 200	29,5 35,0
Fazendinha	19	50 a 250	50 a 150	66,7
Cajamar	02	< 150	150	100,0
Jordanésia	14	50 a 150	100 a 150	76,9

TABELA 3 - PROFUNDIDADE DOS POÇOS, POR LOCALIDADE

Verifica-se que os poços têm maiores profundidades e maiores variações destes valores em Polvilho e Fazendinha. Isto deve refletir, em Fazendinha, a relativamente elevada espessura do manto intemperizado (Item 3.5.3.1), e, em Polvilho, a grande variação das profundidades de entradas d'água, oscilando entre 15 e 150m.

Dos poços em que constam dados de entradas d'água, 76% ultrapassam a entrada mais profunda em mais de 20m chegando até 184m. O local em que esta deficiência se mostra mais evidente é no Parque Anhanguera, onde, apesar de 100% das entradas d'água estarem limitadas a até 100m, a maior frequência de poços (62,5%) possui de 100 a 150m de profundidade.

FIG. 11 - FREQÜÊNCIA DAS PROFUNDIDADES
DOS POÇOS

B) REVESTIMENTO

Dados de 38 poços revelam que 31,6% (12 poços) possuem revestimento com extensão correspondente à profundidade atingida pelo manto intemperizado. Os demais apresentam o revestimento ultrapassando a espessura do manto intemperizado em 6 a 67 metros, com 60% destes valores acima de 10 metros. Se por um lado este excesso de revestimento garante uma boa proteção sanitária e estabilização das paredes do poço, por outro, pode estar provocando isolamento das zonas de transição manto intemperizado-rocha alterada, considerada como de elevada condutividade hidráulica, conforme mencionado por Mc FARLANE (1987) e REBOUÇAS & CAVALCANTE (1987).

3.5.3 Características do Sistema Aquífero

O manto de intemperismo ou regolito, constituído do solo e saparolito (Item 3.5.3.1), na maior parte das vezes, está hidráulicamente interconectado à zona de rocha fraturada (Item 3.5.3.2), subjacente, contribuindo para a alimentação das suas *zonas aquíferas* ou fraturas.

Ressalta-se que, neste estudo, estas *zonas aquíferas* estendem-se também aos canais de dissolução (estruturas cársticas) das rochas carbonáticas, que, embora ocorram sob a forma de lentes muito limitadas dentro do pacote metapelítico, os canais se desenvolveram normalmente ao longo dos sistemas de fraturamentos principais.

As propriedades hidráulicas do manto de alteração e do meio fraturado estão intrinsecamente relacionadas aos termos litológicos, pois eles determinam indiretamente a permeabilidade destes meios, como será abordado no Item 3.5.3.1. Antes, porém, serão apresentadas na Tabela 4 as litologias frequentemente encontradas em cada uma das localidades estudadas, a partir dos perfis dos poços e em observância ao contexto geológico local.

LOCALIDADE	LITOTIPOS
Parque Anhanguera	xistos, rochas cálcio-silicáticas anfíbolitos e metarenitos
Polvilho	filitos, rochas carbonáticas, granitos, quartzitos e xistos
Fazendinha	filitos, rochas carbonáticas, xistos
Cajamar	filitos, rochas carbonáticas e metarenitos
Jordanésia	filitos, rochas carbonáticas e quartzitos

TABELA 4 - LITOLOGIAS PREDOMINANTES, POR LOCALIDADE

Para uma melhor compreensão da distribuição e formas de ocorrência dos litotipos na área, é importante destacar as seguintes observações:

- Os micaxistos ocorrem principalmente nas proximidades da intrusão granítica do Tico-Tico (Anexo 4), o qual provocou o metamorfismo de contato, comprovado pelo crescimento de porfiroblastos de granada e sillimanita nas encaixantes.

- Os corpos de anfibolito e cálcio-silicáticas, apesar de predominarem no Parque Anhanguera, ocorrem também, como finas lentes dentro dos metapelitos em várias partes da região estudada.

- São comuns variações de composição dentro do pacote metapelítico, com frequentes intercalações de termos mais arenosos, geralmente gradando para metarenitos ou quartzitos.

- Apesar de se encontrar registrada a presença de granitos em boletins técnicos de 13 poços da área, acredita-se que este número não corresponda à realidade. Apenas em Polvilho foi constatada a presença de granito, mais precisamente próximo ao Rio Juqueri. Provavelmente este deve corresponder a uma extensão do Batólito do Tico-Tico.

- As rochas carbonáticas intersectadas por poços na área de Polvilho e Fazendinha não afloram nestes locais, pois se encontram sob uma cobertura relativamente espessa, com 15 a 40m de material detrítico argiloso.

3.5.3.1 O Manto Intemperizado

O manto intemperizado ou regolito é constituído de solo de alteração ou pedogenético e do saprolito. O termo *saprolito* será aqui utilizado para designar o solo residual, que mantém ainda preservada a estruturação da rocha original, e cujos minerais encontram-se profundamente alterados para argilo-minerais. Incipientemente, podem ocorrer minerais ainda inalterados.

O desenvolvimento do espesso manto de intemperismo sobre as rochas da área foi favorecido principalmente pelo clima quente e úmido atuante na região e também pelo tipo de rocha, predominantemente metapelítica. A constituição mineralógica é composta de alumino-silicatos (muscovita e feldspatos, e secundariamente biotita), minerais bastante susceptíveis à alteração inicial pelo processo de hidratação e hidrólise, que resulta na formação de argilo-minerais. Acrescenta-se ainda outro fator, que é a presença intensa de rupturas e contatos litológicos, que facilitam a maior interação água-rocha.

A caracterização do perfil de intemperismo na área foi estabelecida a partir de análises das descrições litológicas obtidas dos boletins técnicos dos poços, e observância do contexto geológico local.

A Figura 12 mostra a frequência relativa da espessura do manto intemperizado, analisado em todos os poços cadastrados, em cujos boletins técnicos constam estes dados. As profundidades atingidas pela intemperização são bastante diferenciadas, variando desde poucos metros até 80m, sendo que, 79% possuem mais de 10m e 27% entre 20 e 30m.

A espessura média do manto intemperizado, de acordo com os tipos litológicos mais expressivos para a área, pode ser verificada na Tabela 5, a seguir.

LITOTIPOS	Nº DE POÇOS	ESPESSURA MÉDIA (m)	VARIAÇÃO (m)
metapelitos	08	18,0	9,0 a 40,0
cálcio-silicáticas	03	10,3	8,0 a 15,0
carbonáticas	12	34,0	15,0 a 74,0
granitos	04	23,3	7,0 a 48,0
quartzitos	02	15,0	7,0 a 23,0

TABELA 5 - ESPESSURA MÉDIA DO MANTO INTemperizado, DE ACORDO COM A LITOLOGIA

A maior espessura do manto intemperizado, observada nas rochas carbonáticas, pode ser explicada, em parte, pela presença de constituintes minerais mais susceptíveis à alteração (carbonatos de Ca e Mg), em relação aos das demais rochas.

No. DE POÇOS: 38

FIG. 12 - FREQUÊNCIA DAS ESPESSURAS DO MANTO INTemperizado

No. DE ENTRADAS D'AGUA: 49

FIG. 13 - FREQUÊNCIA DAS PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS D'AGUA

As espessuras médias do manto intemperizado encontradas em cada localidade estão dispostas em ordem decrescente na Tabela 6, a seguir.

LOCALIDADE	No.DE POÇOS	ESPESSURA MÉDIA (m)	VARIAÇÃO (m)
FAZENDINHA	08	34,3	6,0 a 74,0
JORDANÉSIA	06	43,0	20,0 a 70,0
POLVILHO	15	27,0	8,0 a 54,0
CAJAMAR	02	21,0	15,0 a 26,0
P. ANHANGUERA	06	10,0	7,0 a 19,0

TABELA 6 - ESPESSURA MÉDIA DO MANTO INTEMPERIZADO, POR LOCALIDADE.

Estes resultados revelam a influência dos fraturamentos sobre o desenvolvimento do manto intemperizado, pois, com exceção do Parque Anhanguera, todos os demais locais situam-se em planícies alúvio-coluvionares desenvolvidas sobre extensos lineamentos. Tais lineamentos condicionaram também as drenagens mais importantes na área, tais como o Ribeirão das Lavras, em Cajamar, Ribeirão dos Cristais, em Jordanésia, e até mesmo trechos do Rio Juqueri em Fazendinha e Polvilho.

Em Polvilho os lineamentos são bastante evidentes em fotos aéreas, em virtude da espessura da cobertura intemperizada apresentar-se, aí, mais modesta (27,0m em média). Porém, em Fazendinha e Jordanésia, são praticamente imperceptíveis devido ao espesso regolito ali existente.

As Figuras 1 a 5 do Anexo 2 ilustram os perfis litológicos dos poços assinalados no Anexo 5 e apresentam as espessuras dos horizontes intemperizados. Estes perfis tipificam as cinco localidades estudadas, com exceção de Cajamar, onde o pequeno número de poços(02) deve dissimular a espessura real do manto intemperizado neste local. As seguintes conclusões podem ser obtidas a partir destes perfis.

- O desenvolvimento do regolito ocorre de forma bastante diferenciada, de local para local, mesmo em áreas que apresentam características fisiográficas e geológicas semelhantes. A título de exemplo, pode-se comparar a maior espessura do regolito na área de Fazendinha (Perfil E-F, Fig.3, Anexo 2), em relação a Polvilho (Perfil C-D, Fig.2, Anexo 2).

- Ao longo dos lineamentos, considerando-se o mesmo tipo litológico, a espessura do manto intemperizado é mais ou menos uniforme e tende a acompanhar as formas do relevo. Isto pode ser constatado na região de Polvilho (Perfil C-D, Fig.2, Anexo 2), onde foram locados três poços na direção do mesmo lineamento EW (PV.16, PV.14 e PV.10).

- Na área do Parque Anhanguera a espessura do manto intemperizado é bastante limitada (Perfil A-B, Fig.1, Anexo 2).

- Os limites entre o regolito e a rocha fraturada são às vezes muito imprecisos, de forma semelhante ao que ocorre entre esta e rocha sã.

O material que constitui o regolito é predominantemente argiloso a areno-argiloso, com exceção das áreas com predomínio de metarenitos ou quartzitos. Tal constituição deveria proporcionar ao regolito uma condutividade hidráulica muito baixa. Entretanto, verifica-se que as frequentes intercalações de rochas com significantes teores em quartzo (metarenitos, quartzitos, quartzo-filitos e quartzo-xistos) dentro do pacote metapelítico favorecem o desenvolvimento de um regolito mais arenoso em diversas partes da área. Presume-se então que a condutividade hidráulica do regolito deve ser bastante diversificada, atingindo valores relativamente mais elevados nas unidades essencialmente metareníticas e quartzíticas, valores intermediários nos locais com intercalações de porções mais arenosas dentro do pacote metapelítico e, valores mais baixos nos locais de predomínio de rochas carbonáticas.

BOTTURA et al. (1990) citam resultados dos testes de infiltração realizados no regolito, até a uma profundidade de 20m, na cidade de Cajamar. Estes testes objetivaram a caracterização da permeabilidade do aquífero superior constituído pelo regolito argiloso, em terreno carbonático. Os valores de condutividade hidráulica encontrados variaram de $1,3 \times 10^{-10}$ m/s a $2,4 \times 10^{-8}$ m/s, o que permitiu aos autores relacionar o regolito, no contexto geológico local, a um aquitarde.

3.5.3.2 O Meio Fraturado

A *zona de rocha fraturada* é, aqui definida, pela presença de rochas cujos minerais ainda não foram totalmente atingidos pela alteração, ou que a possui, preferencialmente, ao longo das discontinuidades estruturais. Pode ocorrer nesta zona,

desagregação de minerais e de blocos devido ao fraturamento mais intenso, principalmente, na sua parte superior. De acordo com Mc FARLANE (1987), esta ocorrência é mais comum em granitos. Nos filitos e xistos a alteração mineral ao longo dos planos de clivagem e de xistosidade, respectivamente, provoca o deslocamento laminar da rochas, proporcionando, assim, excelentes zonas de percolação de água.

A parte superior desta zona é denominada, por diversos autores, de *zona de rocha alterada*. Entretanto, este termo não será aqui adotado, para uma melhor distinção desta com o *saprolito* (definido como solo residual no Item 3.5.3.1)), o qual, encontra-se profundamente alterado e possui aparência de rocha devido à presença da estruturação reliquiar.

O avançado grau de intemperismo das rochas da área, muitas vezes, dificulta o estudo da caracterização do fraturamento a nível de afloramento. Entretanto, a análise das estruturas de descontinuidades detectadas por fotointerpretação (Item 3.4) apresenta resultados bastante satisfatórios nesta área.

As características da rocha fraturada foram obtidas a partir das descrições dos perfis dos poços, sendo que, as de maior importância em termos hidrogeológicos são as profundidades das descontinuidades estruturais (fraturas e condutos cársticos) ou litológicas (contatos litológicos), que assinalam as profundidades de entradas d'água.

3.5.3.3 As Profundidades das Entradas D'água

Foram analisadas 49 medidas de profundidades de entradas d'água em 18 poços cadastrados. Verifica-se na Figura 13 (p.52) uma predominância destas (71,4%) nos intervalos de 25 a 100m, sendo que, apenas 12,2% ultrapassam este limite, indicando que, na área, são pequenas as chances de se encontrar fraturas abertas além desta profundidade.

Cada local, porém, possui uma distribuição própria das entradas d'água, variando em função da intensidade dos fraturamentos e das variações litológicas, cujas zonas de contato associadas ao sistema de fraturas podem consistir em importantes descontinuidades condutoras de fluxo.

Na Figura 14 estão representadas as profundidades das entradas d'água em cada poço, nas respectivas localidades. As seguintes observações podem ser extraídas a partir desta figura:

- O predomínio de entradas d'água com até 50m de profundidade ocorre preferencialmente nos poços da região do Parque Anhanguera e Polvilho. No Parque Anhanguera, onde o manto de intemperismo é relativamente pouco espesso (10m em média), nenhum fraturamento ultrapassou 100m de profundidade. Em Polvilho, as

FIGURA 14 - Profundidades das entradas d'água nos poços, segundo a localidade.

entradas d'água encontradas a menos de 50m de profundidade estão presentes em granitos (fraturas com menos de 20m de profundidade) e em rochas carbonáticas (canais de dissolução na faixa de 20 a 40 metros de profundidade). Já em Cajamar, estes canais que constituem as entradas d'água, situam-se na faixa de 60 a 146 metros, demonstrando que o desenvolvimento destas ocorrem a distintas profundidades, e varia de local para local.

- O número de entradas d'água com profundidades entre 100 e 150 metros é relativamente limitado (12,2%), e são encontradas em 05 poços, os quais encontram-se assim distribuídos: Cajamar (01), Jordanésia (02) e Polvilho (02). Nestes locais, a presença de grandes lineamentos pode indicar também uma maior profundidade atingida pelas rupturas.

As entradas d'água nos 18 poços encontram-se assim distribuídas: 88,2% possuem a primeira entrada d'água dentro da zona de rocha fraturada, ou seja, abaixo do contato com o saprolito, contra 11,8% que a possui dentro da zona de saprolito. As Figuras 1 a 5 (Anexo 2) ilustram bem esta situação, onde podem ser verificadas as posições das entradas d'água no perfil litológico de alguns poços da área.

Dados estes resultados e visto que as aberturas das fraturas tendem a se reduzir com o aumento da profundidade, constata-se que o maior número de entradas d'água devam ocorrer dentro da zona de rocha fraturada. Esta zona pode ser considerada, pelas suas expressivas extensão, espessura e permeabilidade, como a mais importante zona de produção na área de estudo.

Ressalta-se que nestes resultados estão contidas as entradas d'água associadas aos contatos litológicos. Do levantamento dos perfis litológicos dos poços, apenas cinco (05) possuem clara evidência desta associação. Porém, este número deve ser bem superior, levando-se em consideração a grande deficiência deste tipo de informação e a grande variação dos termos litológicos. Os contatos litológicos que constam nos perfis analisados são: granito/filito, granito/carbonática, filito/carbonática e anfibolito/cálcio-silicáticas/mica-xistos.

As espessuras das zonas aquíferas, isto é, a diferença entre a primeira e última entrada d'água em cada poço é extremamente variável para o conjunto de 18 poços, encontrando-se de 1 a 77 metros, sendo que 29% estão entre 1 e 10 metros e 51% entre 40 e 70 metros.

3.5.3.4 Interação Hidráulica do Manto Intemperizado com o Meio Fraturado

A conexão hidráulica do manto intemperizado com o meio fraturado foi investigada por meio de teste de bombeamento efetuado no Poço SP.04, na localidade do Parque Anhanguera (Anexo 5), cuja vazão atingiu 142m³/h. Acrescenta-se que este poço

encontra-se revestido até 20m de profundidade; o manto intemperizado atinge 8,0m e a rocha fraturada, 20m.

Para o acompanhamento das possíveis interferências entre os meios intemperizado e fraturado foram perfurados 4 poços de observação, com 3" de diâmetro, a distintas distâncias do poço de bombeamento, com profundidades entre 2,8 e 3,0m. Foram também aproveitados dois poços tipo cacimba existentes nas imediações, ambos com 4,0m de profundidade. A locação destes poços encontra-se na Figura 1 (Anexo 3).

Ressalta-se que as distâncias dos poços de observação que foram escavados (Fig.1, Anexo3), foram estabelecidas em função do propósito do teste realizado, que foi verificar o efeito do bombeamento sobre recalques ocorridos no solo, o qual provocou o aparecimento de rachaduras no solo e fendas em várias casas próximas ao poço durante teste de produção efetuado em 1988. Os poços de observação foram, então, perfurados o mais próximo possível das construções atingidas pelo fenômeno.

O teste foi executado a vazões escalonadas de 80, 90 e 142m³/h, mantidas constantes, de modo a caracterizar qualitativamente o regime hidráulico do aquífero. A duração dos estágios de bombeamento correspondeu ao tempo gasto para a estabilização do nível dinâmico (Fig. 4, Anexo 3).

Observa-se na Figura 2 (Anexo 3), que, nos três estágios de bombeamento, o rebaixamento no poço teste responde diretamente ao aumento da vazão. O nível dinâmico se estabilizou aos 15,7m de profundidade a uma vazão de 142m³/h, acima da primeira entrada d'água, aos 23m. Verifica-se ainda que esta grande vazão no terceiro estágio de bombeamento não atingiu o ponto de vazão ótima teórico, ou seja, o ponto de inflexão da curva de rebaixamento, como verificado na Figura 3 (Anexo 3), demonstrando que a vazão potencialmente explorável poderia ser ainda superior a 142m³/h.

As quedas dos níveis d'água nos poços de observação ocorreram já aos primeiros 60 minutos de bombeamento (Fig.4, Anexo 3). Ao fim do terceiro estágio mediu-se os níveis d'água, em que se verificou o início da recuperação nos poços de observação 5, 6 e poço de bombeamento, já aos 70 minutos após cessado o bombeamento.

A rápida resposta dos poços de observação ao bombeamento efetuado, mostra que, neste local, é grande a intercomunicação entre os meios intemperizado e fraturado e indica também as boas características hidráulicas do primeiro, contribuindo efetivamente para a recarga do meio fraturado.

3.5.3.5 Características de Recarga

Nos aquíferos fraturados em que o manto intemperizado é pouco espesso ou mesmo ausente, tal como ocorre nas áreas de clima semi-árido do nordeste brasileiro, a

recarga dependerá principalmente da abertura e grau de fraturamento das rochas na superfície.

Em regiões de clima úmido, em que a espessura do manto intemperizado é maior, como no caso da região deste estudo, as áreas de recarga e descarga são fortemente vinculadas à topografia. A recarga ocorre principalmente em locais topograficamente mais elevados e a descarga nos vales, do que resulta em fluxos de caráter local.

Pode-se apontar como principais fatores que regem a recarga deste último tipo de aquífero, aqueles relacionados às condições de superfície do solo, isto é, à permeabilidade nos primeiros horizontes e às características de cobertura.

Destaca-se, na área de estudo, a presença de grandes extensões cobertas por densa vegetação natural ou de reflorestamentos. Geralmente ocupam as porções topograficamente mais elevadas, encontrando-se, ainda, livres da ocupação antrópica. Estas áreas constituem, portanto, locais extremamente favoráveis à recarga dos aquíferos locais.

Algumas destas áreas estão protegidas por lei federal de preservação, tais como aquelas reflorestadas que envolvem as adjacências de Cajamar e Jordanésia. Outras pertencem a particulares, tendo-se como exemplo as situadas entre os Kms 30 e 36 da Rodovia Anhanguera (sentido São Paulo-Jundiaí), que são de propriedade da *Edições Melhoramentos SA*. No Anexo 5 estão delimitadas todas as áreas ocupadas pela densa vegetação.

CUSTÓDIO e LLAMAS (1976), citam alguns mecanismos pelos quais áreas cobertas pela vegetação favorecem a infiltração da água no solo: a proteção contra a compactação por impacto da chuva, diminuição do escoamento superficial e a abertura de gretas pelas raízes.

Sem dúvida, as elevadas vazões dos poços profundos na área refletem não só as boas condições de recarga dos aquíferos locais, como também boas condições de armazenamento e circulação da água infiltrada. Cita-se como exemplo, os poços com elevadas vazões localizados nas localidades de Cajamar, Polvilho e Jordanésia, ao longo de vales extensos, os quais encontram-se rodeados por elevações cobertas de densa vegetação, com exceção apenas da parte sul de Polvilho, que encontra-se em franca expansão urbana.

3.5.4 Parâmetros Hidráulicos

Visto que o potencial hídrico do meio fraturado depende do número, profundidade, abertura, comprimento e grau de intercomunicação das fraturas penetradas pelo poço, os parâmetros vazão e *capacidade específica* se apresentam extremamente variáveis, mesmo entre poços distantes de poucas dezenas de metros. Estas características tipificam o meio aquífero e os poços da área de estudo, como será visto adiante, através destes parâmetros.

O termo *capacidade específica* apresenta-se aqui destacado em *itálico* para distinção daquele, cuja definição foi originalmente reportada aos aquíferos granulares, homogêneos e isotrópicos para indicar a capacidade de produção deste meio em função do rebaixamento.

No meio fraturado, entretanto, este parâmetro apresenta deficiências tanto como indicador de produtividade do próprio poço, quanto como indicador de variação regional. No primeiro caso, o problema se deve ao fato da relação vazão/rebaixamento se comportar diferentemente acima e abaixo das zonas de entradas d'água principais, ou seja, durante o teste de vazão, o aumento desta só responde diretamente ao aumento do rebaixamento até a altura próxima e anterior à entrada d'água principal. A partir daí a vazão pouco se eleva em função do rebaixamento. No segundo caso, o problema está relacionado à extrema variação de valores, refletindo apenas as características intrínsecas da zona aquífera intersectada pelo poço.

Apesar destes aspectos contrários, a *capacidade específica* é o parâmetro mais indicado para o correlacionamento com os condicionantes do potencial aquífero em terrenos fraturados, pois guardam uma relação com uma variável comum a todos os poços, o rebaixamento, o qual é função da pressão hidráulica exercida nas zonas de descontinuidade.

Para investigação da influência dos condicionantes do potencial aquífero e das variações de comportamento deste na área, a *capacidade específica* foi correlacionada aos tipos litológicos, profundidades de entradas d'água, lineamentos fotogeológicos e espessura do manto intemperizado. Para fins de comparação o parâmetro vazão também foi correlacionado a estas variáveis. Antes, porém, serão apresentadas as características gerais destes parâmetros vazão e *capacidade específica* encontradas.

De acordo com dados disponíveis, os valores de transmissividade obtidos em boletins técnicos de quatro poços (Poços JD.01 a JD.04), variam de 0,18 a 2,5m²/h. Porém, este parâmetro não reflete as características hidrodinâmicas reais do aquífero, uma vez que as espessuras saturadas distribuem-se de forma heterogênea, em zonas descontínuas.

3.5.4.1 Capacidade Específica

A Figura 15 representa a frequência acumulada das *capacidades específicas* dos 40 poços em que constam destes dados. Os valores são extremamente diversificados, apresentando um alto coeficiente de variação (254%), com mínimo de 0,02 e máximo de $66,7\text{m}^3/\text{h.m.}$

Apesar do alto valor médio, $4,74\text{m}^3/\text{h.m.}$, o mesmo não é bem representativo para toda a amostragem na área, pois 75% dos poços apresentam menos de $1,0\text{m}^3/\text{h.m.}$ (Fig.16). O parâmetro estatístico mais representativo, neste caso, é a mediana, cujo valor é de $0,35\text{m}^3/\text{h.m.}$ (Fig. 15).

Destaca-se que é relativamente elevada a porcentagem de poços com altos valores de *capacidade específica* (acima de $1,0\text{m}^3/\text{h.m.}$), perfazendo 25% dos poços (Fig.16).

Os rebaixamentos são normalmente acentuados, apresentando valores acima de 20m em 68% dos poços e entre 80 e 120m em 20,9% dos poços.

3.5.4.2 Vazão

Foram considerados poços produtivos e poços secos aqueles que apresentaram, respectivamente, vazão ótima, acima e abaixo de $1,0\text{m}^3/\text{h}$ no teste de produção.

Dos 51 poços cadastrados, 04 são secos e as vazões dos 47 restantes estão representadas em diagrama de frequência relativa na Figura 17. Os dados desta distribuição retratam a boa potencialidade aquífera da área, pois, apesar de um grande número de poços (39%) estarem dentro da produção média dos terrenos fraturados da Grande São Paulo - $7,7\text{m}^3/\text{h}$ (DAEE, 1975); $4,0\text{m}^3/\text{h}$ (FRANGIPANI, 1982) - a maior parte dos poços (61%) possui vazões acima de $10,0\text{m}^3/\text{h}$. Além disso, vazões consideradas excepcionais, dentro do contexto de aquíferos fraturados, acima de $50\text{m}^3/\text{h}$, perfazem 13,1% do total de poços, variando de 80 a $150\text{m}^3/\text{h}$.

A vazão média, considerando-se todos os poços da área é de $28,3\text{m}^3/\text{h}$, apresentando mínimo e máximo de 1,7 e $150\text{m}^3/\text{h}$, respectivamente, e Coeficiente de Variação (CV) de 130%. Este valor médio cai para $15,7\text{m}^3/\text{h}$ (CV: 79,8%), quando excluídos os poços com vazões excepcionais ($> 50,0\text{m}^3/\text{h}$).

A Figura 18 representa a frequência acumulada dos valores de vazão, onde se obtém uma mediana de $15\text{m}^3/\text{h}$ para os poços da área, valor muito próximo portanto da média encontrada em 86,9% dos poços. As vazões mínima, máxima e média, são apresentadas para cada localidade na Tabela 7, a seguir.

FIG.15 – PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA "CAPACIDADE ESPECÍFICA" DOS POÇOS

No. poços: 40
Mediana: 0,35 $\text{m}^3/\text{h.m}$

No. DE POÇOS: 40

FIG. 16 - FREQUENCIA DAS "CAPACIDADES ESPECIFICAS" DOS POCOS

No. DE POÇOS: 47

FIG. 17 - FREQUENCIA DAS VAZÕES DOS POCOS

FIG.18 PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA VAZÃO DOS POÇOS

No. Poços:47
Mediana: 15 m³/h

LOCALIDADE	POÇOS PRODUT.	POÇOS SECOS	$Q_{\min}$ (m ³ /h)	$Q_{\max}$ (m ³ /h)	Q_{med} (m ³ /h)	COEF.DE VAR.(%)
P.Anhanguera	08	00	4,6	142,0	34,2	131,0
Polvilho	15	02	1,7	120,0	34,7	123,0
Fazendinha	08	02	3,4	40,0	15,2	85,2
Cajamar	02	00	30,0	150,0	90,0	94,0
Jordanésia	14	00	6,0	50,0	17,5	78,5

TABELA 7 - VAZÕES MÍNIMA, MÁXIMA E MÉDIA, POR LOCALIDADE.

Ressalta-se que alguns valores apresentados nesta tabela, estão, na realidade, acima dos encontrados atualmente nos poços da área, mais precisamente em Cajamar e Jordanésia, onde quedas de vazão ocorreram nos últimos cinco anos (os registros destas quedas de produção foram mencionadas no Item 1.4). Apesar disso, serão mantidos estes valores, a fim de se obter uma maior uniformidade dos dados, visto que não se dispõe dos históricos de produção dos demais poços da área.

3.5.5 Relações entre os Parâmetros Hidráulicos e os Condicionantes Hidrogeológicos

A investigação da influência dos condicionantes da potencialidade aquífera será efetuada através da relação entre o parâmetro hidráulico *capacidade específica* e vazão com as seguintes variáveis: tipos litológicos, profundidades de entradas d'água, lineamentos fotogeológicos e espessura do manto intemperizado.

3.5.5.1 Litotipos

As tabelas 8 e 9, a seguir, apresentam, respectivamente, os valores de *capacidade específica* e Vazão dos poços perfurados em cada tipo litológico.

Com exceção dos filitos, que constituem a litologia predominante na área, as demais rochas, de forma geral, são proporcionalmente bastante limitadas dentro do pacote metapelítico, favorecendo o prolongamento das zonas aquíferas em diferentes litologias. Assim, embora em muitos locais, a produtividade dos poços reflita as condições das zonas aquíferas abrangendo mais de um tipo litológico, cada um dos poços foi associado à rocha predominante no perfil do poço, ou à de maior número de entradas d'água.

LITOTIPOS	Nº.DE POÇOS	Q/s_{min} (m ³ /h.m)	Q/s_{max} (m ³ /h.m)	Q/s_{med} (m ³ /h.m)	COEF.DE VAR.(%)
Filitos	07	0,18	1,52	0,62	73,0
Carbonáticas	09	0,03	66,70	17,50	119,0
Granitos	04	0,06	0,40	0,17	91,3
Quartzitos	02	0,38	1,00	0,69	63,5
Xistos	01	0,23	0,23	-	-
Cálcio-silic.	03	0,4	10,00	4,2	121,0

TABELA 8 - CAPACIDADE ESPECÍFICA MÍNIMA, MÁXIMA E MÉDIA DOS POÇOS, POR LITOTIPO

LITOTIPOS	POÇOS PRODUT.	POÇOS SECOS	Q_{min} (m ³ /h)	Q_{max} (m ³ /h)	Q_{med} (m ³ /h)	COEF. DE VAR.(%)
Filitos	07	00	7,0	44,0	23,9	56,9
Carbonáticas	14	03	3,4	150,0	51,9	99,7
Granitos	04	-	6,0	9,0	7,7	20,2
Quartzitos	02	00	11,0	18,1	14,5	24,1
Xistos	01	00	20,0	20,0	20,0	0,0
Cálcio-silic.	03	00	20,0	142,0	67,3	97,2

TABELA 9 - VAZÃO MÍNIMA MÁXIMA E MÉDIA DOS POÇOS, POR LITOTIPO

Com exceção dos quartzitos, que possuem pouca representatividade em proporção litológica na área e em número de poços, os filitos são os que apresentam maior homogeneidade de valores de *capacidade específica* (Coeficiente de Variação - CV: 73%) e vazão (CV: 56,9%) e nenhum registro de poço seco.

Nos granitos os poços apresentam as menores *capacidades específicas*, com média de 0,17m³/h.m, e também um relativamente elevado coeficiente de variação (91,3%). O mesmo ocorre com os valores de vazão, que apresentam uma média de 7,7m³/h, porém, o mais baixo coeficiente de variação (20,2%).

Sabe-se que os filitos são rochas com menor resistência à tensão (menor Módulo de Elasticidade - E), o que resulta em rupturas de grande frequência, embora, geralmente, com pequena abertura entre as paredes. Provavelmente, a uniformidade dos

fraturamentos neste litotipo, quanto à frequência e abertura, justifiquem a maior homogeneidade dos dados *capacidade específica* e *vazão*.

Já as rochas graníticas possuem maior resistência à tensão (maior E), no que resulta em fraturamentos de menor frequência, porém com maior abertura entre suas paredes. A menor probabilidade de se intersectar as fraturas mais abertas explicam os altos coeficientes de variação e baixos valores de *vazão* e *capacidade específica*.

A baixa representatividade de poços perfurados nos quartzitos e xistos não permite um tratamento estatístico dos seus parâmetros de produtividade, porém, observam-se aí três poços com valores relativamente elevados de *vazão* e *capacidade específica*.

Os poços perfurados em rochas cálcio-silicáticas com intercalações de anfibolitos apresentam elevada produtividade, com altos valores de *capacidade específica* (0,4, 2,3 e 10m³/h.m) e *vazão* (20, 40 e 142m³/h). Estes resultados revelam que tais rochas são excelentes produtoras de água subterrânea, em parte, devido ao tipo de fraturamento nelas existentes. Sendo rochas de maior competência relativa na área, devem produzir grandes aberturas das fraturas e, além disso, os anfibolitos normalmente possuem grande densidade de fraturas em várias direções. Os coeficientes de variação são elevados refletindo a heterogeneidade dos fraturamentos neste tipo litológico.

O maior valor médio de *capacidade específica* é encontrado nos poços perfurados em rochas carbonáticas (17,5m³/h.m), o que é justificado pela presença de estruturas cársticas (condutos de dissolução), com grande capacidade de produção aquífera. Tais estruturas foram intersectadas pelos Poços CJ.01, CJ.02, PV.05, PV.10 e PV.14, cujos valores deste parâmetro variam de 8,4 a 27,2m³/h.m e média de 17,8m³/h.m. Dentre os demais poços que penetraram tais litologias, alguns intersectaram fraturas (Poços PV.11, PV.15, ST.02, ST.04, ST.09, JD.03), com *capacidade específica* oscilando entre 0,03 e 4,7 m³/h.m.

Ainda com relação às rochas carbonáticas, de 14 poços produtivos, 71,4% (10 poços) possuem vazões acima de 16m³/h, sendo que, destes, 70% (7 poços) produzem mais de 40m³/h, atingindo vazões excepcionais superiores a 80m³/h em 6 poços.

Os elevados valores dos coeficientes de variação destes parâmetros são indicativos dos diferentes tipos de discontinuidades da rocha carbonática. É nesta rocha, inclusive, onde se verifica o maior número de poços secos, totalizando 3 entre os 4 cadastrados na área.

3.5.5.2 Profundidades de Entradas D'água

Como visto no ítem 3.5.2.1 as profundidades dos poços na área não refletem satisfatoriamente as profundidades máximas de entradas d'água, pois, na maioria dos poços analisados a perfuração ultrapassa em muito estas zonas aquíferas, em proporções bastante diferentes.

Por este motivo, embora o número de poços com dados de entradas d'água seja reduzido (17) em relação àqueles com dados de Profundidade (49), será verificada a relação da produtividade diretamente com as profundidades de entrada d'água, com vistas a assegurar resultados o mais realista possível.

Nas Figuras 19 e 20 estão representadas as frequências das entradas d'água distribuídas em 3 faixas de profundidade, <50m; 50 a 100m e >100m, segundo os intervalos de *capacidade específica* e *vazão*, respectivamente. É nítida a semelhança entre as proporções destas frequências nos dois diagramas.

Observa-se que nos poços com intervalos de baixas *capacidades específicas* ($<0,1\text{m}^3/\text{h.m}$) e *vazão* ($<10\text{m}^3/\text{h}$), as entradas d'água predominam na faixa de 0-50m. Deduz-se que as baixas capacidades de produção destas descontinuidades nos respectivos poços, pode ser atribuída, parcialmente, à colmatagem das mesmas por argilo-minerais, provenientes da alteração das rochas logo abaixo do manto intemperizado.

Entre os poços com valores médios de *capacidade específica* (0,1 a $1,0\text{m}^3/\text{h.m}$) e *vazão* (10 a $50\text{m}^3/\text{h}$) ocorrem entradas d'água distribuídas em todas as faixas de profundidade, mas, com marcante predomínio das situadas entre 50 e 100m, confirmando ser esta a principal zona aquífera na área.

Nos poços com elevados valores de *capacidade específica* ($>1,0\text{m}^3/\text{h.m}$) e *Vazão* ($>50\text{m}^3/\text{h}$) predominam as entradas d'água com profundidades de até 50m e de 50 a 100m, em proporções semelhantes nestas duas faixas, em ambos os parâmetros, mas com predomínio da segunda. Isto indica que as descontinuidades situadas a menos de 50m podem também proporcionar excelentes zonas aquíferas, desde que não afetadas pela colmatagem por argilo-minerais, tal como é o caso dos condutos de dissolução a menos de 40m de profundidade, intersectados pelos poços de Polvilho.

Embora o número de dados de entradas d'água e de poços seja muito reduzido para se precisar qual a faixa mais promissora, é possível se constatar um predomínio de entradas d'água na faixa de 50 a 100m nos poços de maiores e médios valores de *capacidade específica* e *vazão*, o que significa ser esta a faixa mais importante sob o ponto de vista de produção.

FIG. 19 - RELAÇÃO DA "CAPACIDADE ESPECIFICA" COM AS PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS D'ÁGUA

FIG. 20 - RELAÇÃO DA VAZÃO COM AS PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS D'ÁGUA

3.5.5.3 Lineamentos

Dentre os poços cadastrados e devidamente localizados (45), 27 estão locados sobre ou muito próximos a lineamentos fotointerpretados, sendo que, destes, 7 constaram de estudos hidrológicos para locação. Os demais poços (37), além de não serem providos destes estudos, na maioria das vezes, a locação foi imposta pelos limites da área disponível. No caso das locações efetuadas com estudos, as mesmas foram feitas ao longo de lineamentos tectônicos. Quanto aos demais poços, locados sem estudo, esta associação foi verificada após análise fotointerpretativa dos lineamentos seguida da localização dos poços.

A Figura 21 mostra as frequências acumuladas dos valores de *capacidade específica* para os poços associados e não associados a lineamentos, os quais apresentam medianas de 0,45 e 0,15m³/h.m, respectivamente, mostrando a superioridade dos primeiros. Esta mesma representação para os valores de vazão encontra-se na Figura 22. Como pode ser observado, a mediana das vazões dos poços associados aos lineamentos (19,0m³/h) é bastante superior àquela correspondente aos poços não associados (6,0 m³/h).

Os parâmetros de produtividade, *capacidade específica* e vazão, foram também relacionados ao número, sistemas e extensão dos lineamentos de fraturas conforme exposto a seguir.

A) NÚMERO DE LINEAMENTOS

Foi verificado que os poços locados sobre ou muito próximos ao cruzamento de dois ou mais lineamentos são mais produtivos do que aqueles sob influência de um único lineamento. Isto pode ser constatado na Figura 23, em que são mostradas as frequências das *capacidades específicas* dos poços associados, respectivamente, a um (01) lineamento (mediana:0,39m³/h.m), e a mais de um lineamento (mediana:0,50m³/h.m); na Figura 24, esta mesma relação é apresentada para os valores de vazão, cujas medianas são 16,5 e 24,0m³/h, respectivamente.

B) SISTEMAS DE LINEAMENTOS

Com o propósito de se investigar quais os conjuntos de lineamentos potencialmente mais promissores, o azimuth e comprimento dos mesmos foram também relacionados à produtividade dos poços. Idealmente isto deveria ser feito para cada um dos três domínios estruturais, individualmente, tomando-se os poços que se associam a apenas um lineamento. Constatou-se, porém, que apenas 17 poços atendiam a esta condição, sendo que, dois (02) estão associados a lineamentos não identificados a nenhum sistema.

FIG.21 – PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA "CAPACIDADE ESPECÍFICA" DOS POÇOS:

(+) Associados a Lineamentos	(•) Não Associados a Lineamentos
No. poços: 25	No. Poços: 09
Mediana: 0,45 $\text{m}^3/\text{h.m}$	Mediana: 0,15 $\text{m}^3/\text{h.m}$

FIG.22 – PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA VAZÃO DOS POÇOS:

(+) Associados a Lineamentos	(•) Não Associados a Lineamentos
No. Poços: 27	No. Poços: 17
Mediana: 19 m³/h	Mediana: 6,5 m³/h

FIG.23 – PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA "CAPACIDADE ESPECÍFICA" DOS POÇOS ASSOCIADOS A:

FIG.24 – PROBABILIDADE LOGARITMO NORMAL DA VAZÃO DOS POÇOS ASSOCIADOS A:

(+) 01 Lineamento
No. Poços: 16
Mediana: 16,5 m³/h

(•) Mais de 01 Lineamento
No. Poços: 11
Mediana: 24,0 m³/h

Dentre os 15 poços restantes, 66,7% (10) estão locados sobre lineamentos longitudinais, predominantes nos três domínios estruturais (Item 3.4.2.4), 13,3% (02) sobre lineamentos transversais (ou de tração) e 20% (03) sobre lineamentos angulares (ou de cisalhamento).

Um dos poços perfurados no conjunto de lineamentos transversais obteve uma vazão de $16\text{m}^3/\text{h}$ (PV.01), e outro apresentou-se seco.

Dos poços associados a lineamentos angulares, dois obtiveram êxito de produção, com vazões de 18 e $23\text{m}^3/\text{h}$, Poços SP.03 e SP.06, respectivamente; o terceiro, Poço JD.14, apresentou vazão relativamente baixa, de $6\text{m}^3/\text{h}$. Este foi locado recentemente, em rocha metacarbonática, estando associado à Falha Transcorrente do Gato Preto. Durante sua execução, o poço apresentou problemas de desestabilização das paredes a aproximadamente 45m de profundidade. Até que se confirme *possíveis* erros técnicos de construção, tal como o revestimento da principal zona de entrada d'água, devido ao desmoronamento ocorrido, esta locação pode ser considerada o exemplo das baixas vazões, em termos relativos, que se espera obter em poços associados a falhas de cisalhamento, principalmente em rochas carbonáticas, onde há grande produção de material argiloso. O sucesso de produção dos poços associados a lineamentos angulares, (SP.03 e SP.06), possivelmente se deve ao fato de estes conjuntos de fraturas não terem sofrido o processo de milonitização.

Verifica-se, portanto, que existe uma grande concentração de poços associados a lineamentos longitudinais e um limitado número de poços distribuídos nos demais sistemas.

Quanto aos poços locados sobre os lineamentos longitudinais (10), sua distribuição, segundo os valores de *capacidade específica* e vazão, é a seguinte: 70% dos poços apresentam valores de *capacidade específica* intermediários ($0,1$ a $1,0\text{m}^3/\text{h.m}$) a altos (maior que $1,0\text{m}^3/\text{h.m}$), e 60% altos valores de vazão (acima de $10\text{m}^3/\text{h}$). Acrescenta-se, ainda, que nenhum poço seco foi encontrado associado a este sistema de lineamento.

Estes resultados indicam que os sistemas de lineamentos longitudinais são bons indicadores de zonas aquíferas, embora apresentem um elevado grau de variação dos parâmetros *capacidade específica* (CV: 232%) e vazão (CV: 122%).

Dentre os valores de *capacidade específica* em poços associados aos lineamentos longitudinais, dois (02) são excepcionais ($66,7$ e $20,0\text{m}^3/\text{h.m}$), apresentando um mínimo de $0,03\text{m}^3/\text{h.m}$ e média de $9,1\text{m}^3/\text{h.m}$. Desconsiderando-se os valores excepcionais, a média cai para $0,55\text{m}^3/\text{h.m}$, retratando um quadro mais representativo da produtividade dos poços neste sistema de lineamentos, estando acima da mediana encontrada para todos os poços da área, $0,35\text{m}^3/\text{h.m}$. Dentre os valores de vazão de poços

associados a este sistema, existe um, excepcional, de $120\text{m}^3/\text{h}$, e um mínimo de $3,4\text{m}^3/\text{h}$, com média de $28,4\text{m}^3/\text{h}$ e coeficiente de variação de 122%. Considerando-se este valor excepcional à parte, a média passa a $18\text{m}^3/\text{h}$.

Acrescenta-se que existem mais nove (09) poços que estão associados a este sistema de lineamento longitudinal (mínima e máxima *capacidade específica*: 0,26 e $27,2\text{m}^3/\text{h.m}$, respectivamente; mínima e máxima vazão: 7,1 e $150\text{m}^3/\text{h}$, respectivamente), porém, associam-se também a um dos sistemas, angular ou transversal, o que resulta numa elevação dos valores destes parâmetros.

C) EXTENSÃO DOS LINEAMENTOS

Os parâmetros *capacidade específica* e vazão foram relacionados ao comprimento dos lineamentos, cujos resultados encontram-se apresentados nas Figuras 25 e 26, respectivamente, tendo sido registrados os poços que se associam a um lineamento apenas.

Pode-se constatar, a partir destes resultados, que os valores intermediários a altos de *capacidade específica* e vazão predominam em poços locados sobre lineamentos que vão de 500 a 1.500m e que os baixos valores destes parâmetros estão relacionados a lineamentos acima de 1.500m.

3.5.5.4 Manto Intemperizado

Os valores de *capacidade específica* e vazão foram relacionados à espessura do manto intemperizado para investigação da contribuição aquífera desta zona na produção dos poços.

Foi constatado baixos índices de correlação entre estes parâmetros e a espessura do manto intemperizado: 0,1 para a *capacidade específica* e 0,02 para a vazão.

É certa, porém, a contribuição da água deste meio, como pode ser visto no Item 3.5.3.4, por intermédio do teste de vazão realizado no Poço SP.04. O baixo índice de correlação, citado no parágrafo anterior, indica que o grau desta contribuição não deve depender somente da espessura do manto intemperizado, como também das características hidráulicas deste meio, permeabilidade e porosidade eficaz, conforme mencionado por LARSON (1984).

3.5.6 Características dos Poços Locados com base em estudos hidrogeológicos

Do total de 51 poços cadastrados, oito (08) seguramente constam de estudos hidrogeológicos como método de locação (PV.10, PV.11, PV.14, ST.01, ST.02, SP.04, ST.08

FIG. 25 - RELACAO DA "CAPACIDADE ESPECIFICA" COM O COMPRIMENTO DO LINEAMENTO

FIG. 26 - RELACAO DA VAZAO COM O COMPRIMENTO DO LINEAMENTO

e JD.14), realizados pelo Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do Instituto de Geociências-USP (CEPAS), para poços de abastecimento público.

Estes estudos se apoiaram basicamente em três níveis de investigação: controle litológico e estrutural em campo, análise fotointerpretativa dos lineamentos de fratura e geofísica, pelo método da sondagem elétrica, sendo que esta sondagem foi realizada apenas em Polvilho e Fazendinha, onde o manto intemperizado é relativamente mais espesso.

Os parâmetros hidráulicos destes poços e os aspectos lito-estruturais encontram-se na Tabela 10.

POÇOS	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h.m)	LITOLOGIA	SISTEMA(S) ASSOCIADO(S)
PV.10	120,0	20,00	Carbonática	(longitudinal)
PV.11	seco	-	Carbonática	(transversal)
PV.14	100,0	8,40	Carbonática	(longitudinal/?)
ST.01	seco	-	Carbonática	(ausente)
ST.02	3,4	0,03	Carbonática	(longitudinal)
ST.08	25,0	1,50	Filito	(long./transversal)
SP.04	142,0	10,00	Cálcio-silic.	(longitudinal/?)
JD.14	6,0	0,07	Filito/Carb.	(angular)

TABELA 10: PRODUÇÃO DOS POÇOS QUE CONSTAM DE ESTUDOS DE
LOCAÇÃO

Dentre os seis (06) poços com vazões excepcionais cadastrados para toda a área (acima de 50m³/h), três (03) foram locados a partir de estudos hidrogeológicos (Poços PV.10, PV.14 e SP.04). Dos cinco (05) poços restantes, locados com base nestes estudos, dois (02) são secos (PV.11 e ST.01), dois (02) possuem vazões abaixo de 10 m³/h (ST.02 e JD.14) e um (01) possui uma vazão intermediária de 25 m³/h (ST.08).

Resumindo, tem-se que, dos poços que constaram de estudos hidrogeológicos de locação, 50% obtiveram sucesso de produção e 50% obtiveram nenhum ou pouco êxito. A *capacidade específica* destes poços com sucesso de produção, também alcançaram valores bastante elevados em relação aos normalmente encontrados na área, como pode ser observado na Figura 16.

Verifica-se ainda, que, em 62,5% dos poços, as rochas que constituem os aquíferos locais são carbonáticas, enquanto 37,5% estão entre os poços perfurados em filitos e cálcio-silicáticas/anfibolitos.

Deve-se ressaltar que os poços associados a rochas carbonáticas encontram-se desde secos até com vazões excepcionais, sendo que, apenas os poços com produção excepcional atravessaram estruturas cársticas, evidenciando a importância destes condicionantes neste litotipo. Observa-se ainda, que os poços secos são os únicos locados, ou sobre lineamentos não longitudinais (PV.11), ou não se associam a nenhum tipo de sistema (ST.01). Isto indica também que a carstificação se deu preferencialmente ao longo do sistema de lineamento longitudinal.

Feitas estas observações, chegou-se às seguintes conclusões:

a) As rochas carbonáticas são indicadoras da presença de bons reservatórios, desde que associados a lineamentos evidentes, preferencialmente longitudinais, os quais são coincidentes com a direção da foliação regional S_1 , dos contatos litológicos e, principalmente, condicionantes dos canais de dissolução.

b) A presença de lineamentos constitui um indicador mais importante de boas condições de circulação do que o tipo litológico em si, resguardadas as zonas de cisalhamento dúctil/rúptil com zonas de milonito/cataclasito, respectivamente relacionadas.

c) Estudos hidrogeológicos prévios para locação aumentam consideravelmente o êxito na produção dos poços.

3.6 HIDROQUÍMICA

3.6.1 Considerações Iniciais

O estudo hidroquímico aqui proposto visa apresentar um quadro das características químicas e físico-químicas das águas subterrâneas locais, relativas à sua composição e evolução química, e à qualidade para fins de uso humano e industrial, que são os principais tipos de demanda na região.

Esta caracterização fornece indicadores importantes a respeito das fontes dos íons e do grau de mineralização das águas, condições de circulação e efeito da poluição provocada por atividades antrópicas.

Dentre os poços cadastrados, 17 dispõem de dados de análises químicas, porém, são na maioria incompletos, apresentando resultados de apenas alguns íons maiores, inviabilizando a utilização destes resultados no estudo aqui proposto.

3.6.2 Resultados

A Tabela 11 apresenta os valores das concentrações dos íons principais contidos nas águas amostradas (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^-), dos parâmetros obtidos no campo (pH, condutividade elétrica e CO_2 livre), Dureza e SiO_2 ; a Tabela 12, apresenta os íons maiores, em meq/l, e, a Tabela 13, os elementos traços.

3.6.3 Composição Química das Águas

O processo de decomposição mineral mais importante atuante no intemperismo químico das rochas em regiões de clima tropical úmido é a hidratação e hidrólise dos silicatos (PEDRO, 1964, in PARISOT, 1983). Este processo resulta num enriquecimento da água de percolação em Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ . Como estes elementos são facilmente disponíveis para serem incorporados à água de circulação, pois são abundantes nas rochas, o aumento da concentração de sais na água depende, portanto, da disponibilidade dos íons HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} , como enfatizado por CRUZ (1985). O NO_3^- está presente geralmente em muito baixa concentração.

Esses são os íons maiores ou fundamentais representantes da quase totalidade dos componentes em solução, sendo que os elementos restantes compoem menos de 1% do total (CRUZ, op. cit.).

Os resultados das análises químicas dos íons maiores apresentados na Tabela 12, permitem classificar as águas subterrâneas da área como bicarbonatadas cálcicas, de acordo com o diagrama de Piper (Fig.27).

No.POÇO	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4=	HCO3- *	NO3-	STD	* CO2 livre	pH *	C.E. *	DUREZA	SiO2
SP.01	16.70	6.36	3.00	1.50	8.00	ND	128.10	0.28	29.80	40.70	6.36	142.00	68.50	28.00
SP.03	24.70	6.59	2.50	3.60	6.00	3.00	138.30	0.14	44.50	0.27	6.80	250.00	89.00	37.00
PV.01	16.00	3.87	5.80	2.50	20.00	10.00	85.40	0.40	50.57	2.40	6.65	157.00	56.00	15.40
PV.03	44.10	9.34	4.10	2.50	20.00	3.00	183.00	0.16	80.20	0.60	7.44	310.00	149.00	30.00
PV.10	34.20	5.14	1.80	1.40	15.00	ND	207.40	0.10	55.64	0.28	7.88	199.00	107.00	17.70
CJ.01	48.70	6.62	3.80	1.10	4.00	ND	207.40	1.12	64.20	1.20	7.20	220.00	149.50	12.40
JD.01	57.80	8.05	11.00	0.60	13.00	2.00	250.10	3.20	91.65	4.20	6.26	280.00	178.00	45.00
JD.02	60.10	8.24	18.00	0.80	15.00	19.00	195.20	0.14	118.28	0.70	6.96	370.00	184.50	41.00
JD.03	5.30	4.48	7.00	0.80	8.00	2.00	85.40	0.14	28.07	0.35	5.56	88.00	33.50	20.00
JD.04	46.10	7.01	16.00	1.00	8.00	9.00	195.20	1.80	89.21	2.50	6.60	270.00	145.00	41.00

TABELA 11 : CONCENTRAÇÃO DOS IONS PRINCIPAIS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DOS POÇOS

SP - Parque Anhanguera (Sao Paulo)
PV - Polvilho
CJ - Cajamar
JD - Jordanesia
ST - Fazendinha (Santana do Parnaíba)

Valores dos Ions principais: em mg/l

C.E.: Condutividade Elétrica (μS/cm)
STD: Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)
ND: Não detectado

*: Medido no Campo

No.POÇO	Ca++	Mg++	Na+	K+	Cl-	SO4=	HCO3-	NO3-
SP.01	0.84	0.53	0.13	0.04	0.22	ND	2.10	0.00
SP.03	1.24	0.54	0.11	0.09	0.16	0.06	2.26	0.00
PV.01	0.80	0.32	0.25	0.06	0.56	0.21	1.40	0.00
PV.03	2.20	0.78	0.18	0.06	0.56	0.06	3.00	0.00
PV.10	1.71	0.43	0.08	0.04	0.42	ND	3.40	0.00
CJ.01	2.44	0.55	0.17	0.03	0.11	ND	3.40	0.02
JD.01	2.89	0.67	0.48	0.02	0.37	0.04	4.10	0.05
JD.02	3.00	0.69	0.78	0.02	0.42	0.40	3.20	0.00
JD.03	0.27	0.40	0.30	0.02	0.22	0.04	1.40	0.00
JD.04	2.32	0.58	0.70	0.03	0.22	0.19	3.20	0.03

TABELA 12 : CONCENTRAÇÃO DOS IONS PRINCIPAIS

(Valores em meq/l)

ND: Não Detectado

No. POÇO	CONCENTRAÇÃO (mg/l)									
	Al*	Fe	Mn	As	Cd	Cr	Ni*	Pb*	Zn	Cu
SP.01	0.128	0.032	0.024	0.018	0.014	0.025	0.085	0.350	1.080	0.543
SP.02	0.423	0.047	0.013	0.017	0.017	0.022	0.090	0.416	1.100	0.564
SP.03	0.631	0.078	0.015	0.015	0.013	0.023	0.066	0.289	1.050	0.540
SP.04	0.258	0.159	0.023	0.018	0.017	0.024	0.083	0.362	1.170	0.558
PV.01	0.241	0.135	0.078	0.017	0.012	0.022	0.085	0.244	0.950	0.513
PV.02	0.276	0.026	0.011	0.020	0.016	0.023	0.102	0.274	1.030	0.593
PV.03	0.319	0.984	0.097	0.016	0.016	0.025	0.083	0.371	2.340	0.630
PV.04	0.292	0.079	0.020	0.018	0.015	0.024	0.090	0.407	1.080	0.590
PV.10	0.241	0.025	0.010	0.016	0.017	0.025	0.090	0.398	1.180	0.597
CJ.01	0.258	0.089	0.016	0.018	0.017	0.025	0.090	0.407	1.040	0.569
JD.01	0.319	0.035	0.048	0.020	0.019	0.027	0.090	0.420	1.090	0.544
JD.02	0.310	0.061	0.010	0.018	0.017	0.026	0.095	0.334	1.070	0.536
JD.03	0.276	0.062	0.046	0.018	0.013	0.020	0.064	0.298	1.060	0.542
JD.04	0.278	0.033	0.013	0.021	0.017	0.026	0.095	0.438	1.250	0.588
JD.05	0.267	0.030	0.010	0.019	0.016	0.021	0.102	0.377	1.050	0.561
ST.09	0.310	0.044	0.100	0.016	0.016	0.023	0.083	0.450	1.010	0.528

TABELA 13: CONCENTRAÇÃO DOS IONS MENORES

* Concentrações acima do limite de potabilidade para consumo humano, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS)

FIGURA 27 - Diagrama de Piper das águas dos poços tubulares

3.6.3.1 Elementos Maiores

A) ÂNIONS

BICARBONATO

Verifica-se que as águas são fortemente bicarbonatadas, apresentando concentrações de 61 a 195mg/l, com valores mais frequentes entre 116 e 195mg/l (80%), constituindo, em média, 50% do total iônico, em meq/l.

O alto conteúdo em HCO_3^- nestas águas reside na presença de densa vegetação. A vegetação promove a produção de CO_2 (g) na atmosfera e no solo, que, após sua dissolução na água de circulação, forma o ácido carbônico H_2CO_3 . Este se dissocia produzindo H^+ e HCO_3^- .

O HCO_3^- também é produzido pela hidrólise dos silicatos, e pela dissolução de carbonatos presentes nos metacalcários, metadolomitos e filitos calcíticos, com auxílio do CO_2 e ácidos orgânicos.

CLORETO

O aporte de Cl^- por dissolução química das rochas normalmente é muito pequeno, pois o Cl é um elemento escasso na crosta terrestre (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976), estando presente em maior quantidade nas rochas ígneas alcalinas (SCHOELLER et al., 1979, in: SZIKSZAY, 1981).

A outra fonte de Cl^- nas águas subterrâneas é a poluição causada pelas atividades antrópicas (esgotos, aterros sanitários, etc).

As concentrações de Cl^- encontradas nas amostras apresentam 50% dos valores entre 4 e 8mg/l, e 50% entre 13 e 20mg/l.

Dado que na área inexistem rochas portadoras de minerais com teores significantes em Cl, presume-se que o principal aporte de Cl^- às águas subterrâneas é proveniente das águas meteóricas.

SULFATO

As fontes mais importantes do íon SO_4^{2-} normalmente são a partir de rochas alcalinas, da oxidação de sulfetos e da poluição em áreas industriais (SZIKSZAY, 1981).

Na área, o SO_4^{2-} apresenta baixa concentração e grande variação de valores, apresentando 40% dos dados entre 2 e 3mg/l, 30% entre 9 e 19mg/l, não tendo sido detectado nos 30% restantes.

É reconhecido que o aporte de sulfato pela oxidação dos sulfetos é de caráter localizado (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976), o que permite se presumir que o aporte de sulfato contido na água subterrânea da área deve-se, principalmente, à contribuição da água meteórica, não se descartando também, a possibilidade de poluição antrópica.

Nota-se que, os poços com concentrações mais elevadas de SO_4^- , contendo 9, 10 e 19mg/l deste íon, correspondem, respectivamente, aos poços que também possuem concentrações mais elevadas de Cl^- , com 8, 20 e 15mg/l. Ocorre que dois destes poços estão localizados em terreno adjacente a um exudório de esgotos domésticos (PV.01) e industriais (JD.04) e o outro a menos de 30m de uma indústria de charque (JD.02).

Embora as concentrações de Cl^- e SO_4^- encontradas estejam muito aquém dos limites das normas de potabilidade, admite-se que estes valores de concentração mais elevados, devem-se à infiltração de águas poluídas.

NITRATO

O produto de decomposição da matéria orgânica, NH_4^+ , pode ser oxidado para Nitrito (NO_2^-) e depois para Nitrato (NO_3^-), por ação de bactérias no solo, que é a fase final e estável do Nitrogênio (SZIKSZAY, 1981).

Elevadas concentrações de NO_3^- nas águas subterrâneas normalmente são devidas à poluição antrópica, ou a problemas construtivos dos poços.

As amostras apresentam NO_3^- variando de 0,14 a 3,2mg/l, com 70% dos valores abaixo de 0,4mg/l e 30% entre 1,12 e 3,2mg/l.

B) CÁTIONS

CÁLCIO

O cálcio é um elemento de grande solubilidade e muito abundante nas águas, pois está presente num grande número de minerais.

Na área, as águas analisadas possuem o Ca^{++} como o principal constituinte catiônico, com teores entre 5,3 e 57,8mg/l, sendo que 50% dos valores estão acima de 30mg/l e 50% abaixo deste limite.

No contexto geológico da área, os minerais que mais cedem Ca às águas subterrâneas são os plagioclásios cálcicos, presentes nos metapelitos, e, secundariamente (a nível local), os carbonatos dos metacalcários e metadolomitos, bem como anfibólios e piroxênios, ambos constituintes de anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas.

MAGNÉSIO

O magnésio é um elemento comum em minerais máficos, tais como olivina, piroxênio, anfibólios, biotita e carbonatos.

Nas águas analisadas, o Mg^{++} ocupa o segundo lugar em concentração catiônica, seguido do Na^+ , predominando sobre este em 90% das amostras, em meq/l. Os teores encontrados não variam muito, apresentando valores bem distribuídos entre 3,87 e 9,34mg/l.

A presença de Mg^{++} nas águas analisadas, deve-se principalmente à dissolução química dos minerais de carbonato de magnésio, presentes nas rochas carbonáticas, aos minerais máficos, anfibólios e piroxênios, contidos nos corpos de anfibolito e rochas cálcio-silicáticas, além de uma menor contribuição da biotita presente em pequena proporção nos filitos e xistos.

SÓDIO

Os teores de Na^+ encontrados estão entre 1,8 e 18,0mg/l, sendo que 70% dos valores possuem até 7,0mg/l.

O Na é um elemento de grande solubilidade, estando a sua presença nas águas subterrâneas analisadas, relacionada principalmente à hidrólise dos plagioclásios sódicos presentes nos filitos, xistos e granitos.

POTÁSSIO

Na área, o principal mineral portador de K que contribui para a concentração deste íon é a muscovita, maior constituinte mineralógico nos filitos e xistos da área.

Apesar da abundância e grande solubilidade do K, sua concentração nas águas amostradas é muito baixa, variando de 0,6 a 3,6mg/l.

3.6.3.2 Elementos Menores

Foram analisados os seguintes elementos menores, mais comumente encontrados nas rochas: Al, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, e Cu, cujos respectivos valores de concentração encontram-se na Tabela 13.

Os baixos conteúdos destes elementos devem-se às suas baixas solubilidade e mobilidade nas condições naturais de pH das águas subterrâneas, normalmente entre 6 e 8.

Tais elementos serão abordados quanto à sua influência nos aspectos qualitativos da água, no item 3.6.5.

3.6.4 Características Físico-Químicas

Os valores de condutividade elétrica (CE) encontrados em 15 amostras variam de 88 a 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que 60,6% estão entre 150 e 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.28).

Os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) variam de 28,9 a 118,3mg/l, com 50% abaixo de 65mg/l e 50% acima, mostrando que o grau de mineralização das águas subterrâneas é relativamente baixo.

É verificada uma relação direta entre a condutividade elétrica e os STD, definida pela equação $\text{STD} = 0,13\text{CE} - 6,3$, e coeficiente de correlação de 91%.

Tais resultados revelam que a medida de condutividade elétrica presta-se como ótimo indicador do grau de mineralização relativo das águas na área.

Os valores de STD também se correlacionaram diretamente com o HCO_3^- e Ca^{++} , apresentando coeficientes de correlação de 71% e 92%, respectivamente.

O pH medido em 21 amostras varia entre 5,5 e 8,0, apresentando, respectivamente, 43,8% abaixo e 43,8% acima de 7,0. Os valores mais frequentes situam-se entre 6,5 e 7,0, representando 42,9% dos valores (Fig. 29).

Foi observado em um dos poços (JD.03), perfurado em rocha carbonática, que o pH era extremamente baixo para água circulante neste tipo de rocha ($\text{pH} = 5,5$), pois, normalmente, a dissolução da calcita resulta em uma solução levemente alcalina (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976), como de fato ocorre nos demais poços perfurados neste litotipo. Isto pode ser um indício de forte influência das águas do manto intemperizado, pelo menos a nível local, uma vez que no manto, o pH é normalmente ácido. Esta hipótese é corroborada também pelo baixo teor em STD e pela baixa condutividade elétrica da amostra, característico das águas do manto.

A agressividade de uma água, ou seja, a sua capacidade de dissolver mais CaCO_3 , depende do pH e do conteúdo em CO_2 livre. Tal característica foi verificada pelo método de TILLMANS (1931), in CUSTÓDIO e LLAMAS (1976), chegando-se aos seguintes resultados: 60% das amostras apresentaram caráter agressivo e pH menor que 7; 30% apresentaram caráter incrustante e pH maior que 7; 10% apresentaram caráter neutro.

A dureza é definida como a capacidade da água neutralizar o sabão, por efeito da presença de Ca e Mg (FENZL, 1988). Os valores de dureza variam de 33,5 a 184,5mg/l de CaCO_3 . De acordo com a escala de KASS (1965), in FENZL (1988), 70% das

No. DE POCOS: 15

FIG. 28 - FREQUENCIA DOS VALORES
DE CONDUTIVIDADE ELETRICA DAS
AGUAS DOS POCOS

No. DE POCOS: 21

FIG. 29 - FREQUENCIA DOS VALORES
DE pH DAS AGUAS DOS POCOS

amostras são classificadas como águas moles, isto é, possuem de 50 a 150mg/l de CaCO_3 e 10% como águas muito moles (menor que 50mg/l de CaCO_3).

3.6.5 Qualidade Química das Águas

A qualidade de um água diz respeito à sua potabilidade, específica para os diversos tipos de consumo (humano, industrial, agrícola e outros).

Neste estudo foi verificada a potabilidade para os dois primeiros tipos de consumo (humano e industrial), pois os mesmos possuem maior importância e demanda na área.

O exame de potabilidade das águas foi realizado de acordo com os padrões físico-químicos da Organização Mundial de Saúde para consumo humano.

De acordo com os padrões da OMS, todos os elementos maiores estão dentro dos limites aceitáveis para consumo humano. O mesmo se observa para os parâmetros pH e dureza.

No tocante aos íons metálicos traços (Tabela 13), observa-se que o Al, Ni, e Pb estão um pouco acima dos limites aceitáveis, tanto para uso humano como industrial. Entretanto, duplicatas das mesmas amostras, analisadas em um segundo laboratório (SABESP), apresentaram resultados bastante distintos, com teores em Al e Pb abaixo de 0,02mg/l, conferindo às águas boa potabilidade. Seria necessário a realização de novas análises destes elementos para uma verificação mais criteriosa da potabilidade destes parâmetros, o que não foi possível neste estudo.

Alguns poços apresentaram parâmetros acima dos limites de potabilidade para o uso direto em determinados tipos de indústrias, as quais estão listadas na Tabela 14.

INDÚSTRIA	PARÂMETRO FORA DOS LIMITES	LIMITE RECOMENDADO (mg/l)	POÇOS COM RESTRIÇÃO
ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO	DUREZA	50,0	Todos, exceto JD.03
	Fe	0,5	PV.03
CERVEJARIA	HCO ₃ ⁻	68,0	Todos
	pH	6,5 a 7,0	SP.01, SP.02, PV.02, PV.03, PV.04, PV.10, CJ.01, JD.01, JD.03, e ST.09.
CONSERVAS	pH	7,0	SP.01, SP.02, PV.01, PV.03, PV.04, PV.10, JD.01, JD.03, JD.04 e ST.09.
TEXTIL	Ca	10,0	Todos, exceto JD.03
	Mg	5,0	Todos, exceto PV.01
	HCO ₃ ⁻	200,0	PV.02, PV.10, CJ.01, e JD.01.
BORRACHA E SIDERURGIA	DUREZA	50,0	Todos, exceto JD.03

TABELA 14 - POÇOS COM RESTRIÇÕES AO USO INDUSTRIAL

3.6.6 Qualidade Bacteriológica

Foram realizadas análises bacteriológicas em 16 poços, dos quais três apresentaram contaminação por coliformes não fecais. São eles os poços PV.01, PV.04 e SP.02, com Número Mais Provável (NMP)/100ml acima de 16 (PV.01 e SP.02) e iguais a 2,2 (PV.04).

As normas de potabilidade prevêm a ausência total de coliformes/100ml para fim de consumo humano (Decreto nº 33.047, 1958, São Paulo).

Deve-se acrescentar, apenas a nível de informação, que, os poços que apresentaram contaminação por coliformes, estão situados a menos de 20 metros de rios depositários de esgotos domésticos (PV.01, PV.04 e SP.02).

Normalmente, a origem deste tipo de contaminação em poços tubulares, associa-se aos fatores relacionados abaixo.

- má construção do poço, que possibilita a infiltração de água superficial contaminada;
- infiltração de água superficial através do meio poroso.
- manejo dos equipamentos de operação do poço, como, por exemplo, atividades de manutenção (troca de bomba, limpeza, etc);

Não se deve descartar a possibilidade da contaminação dos poços pela influência conjunta ou em separado de qualquer um destes fatores supracitados. Porém, a identificação e caracterização do mecanismo atuante só é possível por meio de estudos de maior detalhe.

3.6.7 Evolução Química

Como já destacado no início deste capítulo, a hidrólise dos silicatos é o principal mecanismo de intemperismo químico das rochas em regiões de clima tropical úmido, sendo controlada pelo pH e temperatura das águas.

Neste processo, a decomposição dos alumino-silicatos, principais constituintes mineralógicos das rochas silicatadas, resulta na liberação e incorporação à água de percolação dos íons maiores Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ e fixação do Al para formação de argilo-minerais insolúveis. Isto explica o baixo conteúdo em Al normalmente encontrado, conforme verificado nas águas analisadas. O enriquecimento nos íons HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} e NO_3^- depende principalmente de fatores extrínsecos ao sistema aquífero, tais como o clima (temperatura, evaporação, pluviometria), vegetação e composição da água meteórica descendente.

Normalmente, no manto de intemperismo, as águas se apresentam muito pouco mineralizadas devido aos fenômenos de troca iônica, formação de compostos insolúveis e lixiviação de parte dos elementos. Ao atingirem o meio fraturado, as águas se encontram parcialmente mineralizadas, podendo atuar ainda no processo de alteração química das rochas. Por esta razão, a mineralização é mais elevada no meio fraturado.

Os resultados das análises químicas, apresentadas na Tabela 12, mostram que os íons predominam da seguinte forma, em meq/l:

O forte predomínio do HCO_3^- sobre os demais íons evidencia um regime de fluxo de caráter local e pouco profundo. Como já enfatizado anteriormente, o conteúdo em bicarbonato é substancialmente influenciado pela disponibilidade de CO_2 no solo, situação esta bastante favorável na área de estudo, face à densa cobertura vegetal aí existente.

A presença de Cl^- alcançando teores elevados, de 8 a 20mg/l, pode ser explicada por uma concentração por evaporação incipiente da água de chuva durante a estação seca. Na estação úmida ocorre a lixiviação destes sais e carreamento para zonas mais profundas, resultando na sua acumulação. Acrescenta-se que, sendo esta uma região distante do litoral, admite-se que os níveis de concentração na água meteórica local deve ser semelhante aos encontrados por YOSHINAGA (1988) na região de Lindóia, com variação de 0,07 e 2,84mg/l.

Concentrações mais elevadas de Cl^- e SO_4^{2-} (em mg/l), presentes simultaneamente nos Poços JD.04, JD.02 e PV.01, embora em concentrações muito abaixo dos limites de potabilidade, sugerem condições locais de contribuição de águas mais superficiais. Acrescenta-se que estes poços situam-se muito próximos a córregos de águas bastante poluídas por esgotos domésticos e industriais.

Dentro do contexto mineralógico local, os minerais que fornecem Ca^{++} , são os plagioclásios cálcicos, calcita, anfibólios e piroxênios. Apenas os plagioclásios estão bem distribuídos na área, presentes nos filitos, xistos e metarenitos intercalados. Os demais são de presença limitada, restritos aos corpos de rochas carbonáticas (calcita), anfibolitos e cálcio-silicáticas (anfibólios e piroxênios).

Os minerais que fornecem Mg^{++} às águas de percolação, em função da composição mineralógica da área, são o dolomito, biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mal distribuídos nas rochas da área, alguns estando limitados a corpos de rocha isolados, como as carbonáticas e anfibolitos.

Apesar de o Mg ser mais solúvel que o Ca (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976), a razão r Mg/Ca é menor que 1 em 90% das amostras analisadas. Isto se deve, principalmente, em razão da maior escassez geoquímica de Mg nas rochas da área.

Os minerais que fornecem Na à água subterrânea local são os plagioclásios sódicos e alguns tipos de piroxênios.

O K é acrescido graças à muscovita, ao feldspato potássico e à biotita.

Apesar do Na e o K possuírem solubilidades semelhantes, o Na apresenta um teor mais elevado ($rK/Na < 1$). Isto ocorre em razão de dois fatores principais: O K tende a ser absorvido no solo para formação de argilo-minerais e, a estabilidade dos

plagioclásios sódicos é menor que a muscovita e feldspato potássico, segundo a ordem de alterabilidade dos silicatos (GOLDCH, 1938, in: PARISOT, 1983).

A sílica (SiO_2), óxido mais abundante nas rochas, possui pequena solubilidade, 0,6mg/l de SiO_2 a 25° para o quartzo e 26mg/l nas reações de dissolução do silício (FENZL, 1988), aumentando diretamente com o pH. A sílica é liberada principalmente a partir da hidrólise dos silicatos, podendo permanecer dissolvida ou sob forma coloidal. Os teores encontrados entre 15,4 a 45mg/l indicam que a principal forma molecular do silício dissolvido é $\text{Si}(\text{OH})_4$, para pH inferior a 9,0, como no caso presente.

3.7 PROPOSTA DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCAÇÃO DE POÇOS NA ÁREA DE ESTUDO

Os resultados obtidos, principalmente no que diz respeito à influência dos fatores litológicos e estruturais sobre a produtividade dos poços cadastrados, permitiu o estabelecimento de uma proposta de zonas favoráveis à locação de poços na área de abrangência deste estudo, as quais encontram-se indicadas no Anexo 5.

Tal zoneamento levou em consideração também a proximidade com os locais de maior demanda e aqueles em início de expansão urbana. Acrescenta-se que, para efeito de locação, estas áreas deverão ser detalhadas quanto aos aspectos lito-estruturais.

O critério principal para a delimitação das áreas promissoras foi a presença de lineamentos estruturais fotointerpretados, preferencialmente aqueles locais de interseção entre sistemas longitudinais e transversais, ambos correspondentes a esforços de tração, com possibilidade de produzirem fraturas mais abertas, sendo, por isso, considerados favoráveis à ocorrência de água subterrânea. Estes sistemas foram apresentados no Item 3.4.

Geomorfologicamente estas áreas correspondem a fundos e baixas encostas de vales retilíneos, constituindo áreas de descarga e próximos a locais com boas condições de recarga aquífera nos seus entornos.

Embora os contatos litológicos constituam um dos fatores importantes no condicionamento da ocorrência de água nos aquíferos da área, eles não foram aqui considerados para efeito deste zoneamento, pois, as variações das litologias são muito frequentes, e, além disso, mostram passagem muitas vezes transicionais.

A seguir, será apresentado, resumidamente, três níveis de investigação hidrogeológica, propostos para a área de estudo e adjacências, estando portanto, sob o mesmo contexto geológico e climático. Os níveis de investigação são os seguintes: Estudos geológicos, Inventário de Pontos D'água e Sondagens Geofísicas.

1. Estudos Geológicos

Estes estudos envolvem desde a caracterização da situação geológico-tectônica da área no contexto regional, até a definição local das unidades litológicas e das feições estruturais.

Quanto à caracterização litológica, é importante a definição das unidades rochosas, contatos litológicos e formas de ocorrência dos corpos individualizados. Tal como verificado na área deste estudo, os contatos litológicos podem favorecer a ocorrência de fluxos d'água, especialmente se a forma de contato é brusca. Dentre os contatos mais relevantes a serem identificados em campo, estão aqueles existentes entre os filitos e metacalcários, entre as rochas cálcio-silicáticas, anfíbolitos e xistos, e entre os xistos e granitos locais.

As estruturas rúpteis devem ser analisadas inicialmente sobre imagem de satélite para situação da área no contexto da estruturação geral e posteriormente sobre fotografias aéreas, para uma caracterização local. O objetivo deste estudo é o estabelecimento dos sistemas de lineamentos tectônicos, indicadores da presença de fraturas (falhas e juntas ou diáclases).

2. Levantamento de Pontos d'água.

O levantamento de fontes, poços rasos e poços profundos permite obter-se as profundidades do nível d'água. Tais profundidades são importantes, sobretudo, para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à poluição. Os informes das características dos poços profundos existentes são relevantes, pois, além de permitirem uma caracterização física do sistema aquífero, as correlações que podem ser feitas entre a produtividade destes poços e os fatores condicionantes hidrogeológicos (litologias, estruturas e geomorfologia), proporcionam critérios de grande auxílio na compreensão das formas de ocorrência da água subterrânea, conforme verificado no presente estudo.

3. Sondagens Geofísicas

A utilização de sondagens geofísicas em áreas de rochas metassedimentares pré-cambrianas, é, na maioria dos casos, dispensável, pois, as estruturas rúpteis podem ser facilmente identificadas por meio de uma boa análise aerofotogeológica, e estudos geológicos de detalhe. Salvo se, o local disponível para a perfuração possuir um manto intemperizado suficientemente espesso, que não permita a identificação das estruturas, podendo, neste caso, ser utilizada a Sondagem ou Caminhamento Elétrico para detecção destas estruturas.

No caso de locação sobre rochas metacalcárias, a utilização de sondagens geofísicas pelo método gravimétrico pode ser útil para a detecção de canais de dissolução ou cavernas. Isto é perfeitamente aplicável na área deste estudo, principalmente nos locais onde os metacalcários encontram-se cobertos por um espesso manto de intemperismo, tais como os encontrados em Polvilho e Jordanésia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados de produtividade aqui apresentados, ratificam as boas condições de recarga e circulação da água introduzida no sistema aquífero local.

As correlações efetuadas entre os parâmetros hidráulicos dos poços, *capacidade específica* e vazão, e os condicionantes hidrogeológicos mostraram claramente a influência destes sobre a potencialidade aquífera, proporcionando critérios para a locação de poços na área de estudo.

Sob o ponto de vista de produção aquífera, as rochas da área se comportam da seguinte maneira:

- rochas carbonáticas (metacalcários e metadolomitos) - apesar da sua ocorrência restrita, podem ser consideradas como as mais promissoras em razão da presença de feições cársticas (ou canais de dissolução). Apesar disso, três dentre os quatro poços secos cadastrados, foram perfurados neste litotipo. Isto sugere que as descontinuidades aquíferas nesta rocha (canais de dissolução) são fortemente controladas pelo sistema longitudinal de lineamento, pois apenas estes poços secos não foram locados em associação a este sistema de lineamentos longitudinais.

- rochas cálcio-silicáticas - são também bastante promissoras, em razão do fraturamento mais aberto que podem proporcionar, devido à maior competência deste litotipo.

- filitos - são os litotipos que proporcionam maior previsibilidade de produção, embora relativamente modesta, pois, possuem as menores variações de valores de vazão e *capacidade específica*, supostamente, em consequência da presença de fraturamentos relativamente pouco abertos, mas de maior densidade.

A grande diversidade de tipos rochosos na área resulta em frequentes contatos litológicos, que associados às descontinuidades rupturais, podem resultar em zonas com condições favoráveis para circulação da água. Para fins de prospecção, as zonas de contato mais promissoras na área que podem ser exploradas, são aqueles existentes entre os metapelitos e as seguintes rochas: metacalcários, anfíbolitos, granitos e quartzitos.

A foto-análise dos lineamentos permitiu a identificação de pelo menos três sistemas principais, importantes sob o ponto de vista hidrogeológico: o longitudinal, o transversal e o angular, devendo este último ser visto com ressalva para efeito de locação, pois, tratando-se de falhas, podem estar presentes os efeitos da milonitização, geralmente desfavoráveis à percolação d'água.

Foi constatada a superioridade dos valores de produção em poços associados a lineamentos estruturais, em relação aos demais não associados. O sistema longitudinal mostrou-se bastante importante, neste contexto, embora sejam poucos os dados para esta mesma avaliação, quanto aos demais sistemas.

Na área existem ótimas condições de recarga aquífera, confirmadas pelas elevadas produtividades dos poços, inclusive, com valores excepcionais. Tais condições são observadas, pela presença de densa cobertura vegetal nos entornos das áreas de descarga, em locais ainda isentos da ocupação urbano-industrial.

É de fundamental importância, portanto, a conservação destas áreas, uma vez que elas garantem não somente a recarga aquífera, como também a qualidade das águas exploradas. Chama atenção o fato da expansão urbana que vem ocorrendo no Morro do Polvilho, situado a Sul do distrito homônimo, o que poderá, no futuro, comprometer os aspectos quantitativos e qualitativos das águas dos poços em exploração deste local.

Os resultados do teste de bombeamento realizado no Parque Anhanguera com o intuito de observar-se a conexão hidráulica entre os meios intemperizado e fraturado, mostrou que existe interação entre estes. Idealmente, testes semelhantes deveriam ser efetuados em cada domínio litológico para obtenção de termos comparativos quanto à permeabilidade relativa do manto intemperizado nos diferentes domínios.

A maior quantidade de entradas d'água situadas dentro da rocha fraturada (entre 50 e 100m de profundidade) nos poços de boa produção (acima de $10\text{m}^3/\text{h}$), revelam ser esta a principal zona produtora nos aquíferos da área. Poucas fraturas ultrapassam o limite de 100m, o que permite admitir-se ser em torno de 150m a profundidade máxima ideal para os poços.

O revestimento não deve ultrapassar a limite inferior do manto intemperizado, deixando livre, na medida do possível, a zona de rocha fraturada, principal meio de escoamento dos aquíferos locais.

Deve-se ressaltar que, na fase de construção do poço, há possibilidade de ocorrência de desmoronamentos das paredes, principalmente nas zonas mais intensamente fraturadas. Tal fato é de ocorrência comum na área, especificamente nas zonas de contato

entre os filitos e metacalcários. Para solucionar este problema, tem-se observado que a tendência geral dos técnicos é revestir estas zonas, eliminando assim, muitas vezes, as principais entradas d'água. Recomenda-se nestes casos, o uso de filtros, que além de permitir o acesso de água limpa para o poço, assegura a estabilidade das rochas perfuradas.

As análises hidroquímicas efetuadas mostraram que as águas subterrâneas amostradas possuem os constituintes iônicos principais dentro dos limites de potabilidade para consumo humano, possuindo algumas ressalvas para uso industrial em determinados poços.

Poços comprovadamente locados a partir do estudo dos condicionantes hidrogeológicos obtiveram melhor produção, alguns com vazões excepcionais, como os de Polvilho e Parque Anhanguera.

Pode-se concluir, portanto, que é viável a construção de poços profundos para abastecimento local, desde que sejam conservadas as zonas de recarga. Ressalta-se ainda que deve ser evitada a locação de poços próximos ou sobre o mesmo lineamento, como medida preventiva das possíveis interferências entre eles e consequentes quedas de vazão, como vem ocorrendo no Distrito de Jordanésia e Polvilho.

Estudos hidrogeológicos para locação, são comprovadamente necessários para obter-se melhor êxito de produção. Importantes medidas governamentais têm sido tomadas relativamente ao uso e proteção da água subterrânea no Estado de São Paulo, tornando obrigatório, inclusive a efetivação destes estudos, bem como de projetos das obras de captação (Decreto Nº 32.955, de 7 de Fevereiro de 1991, regulamentado na Lei Nº 6.134, de 2 de Junho de 1988).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. (1957) Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. *Bol. Fac. Filos. Ciên. Letr. USP*, São Paulo, (219), Geografia (12)
- ACWORTH, R. I. (1987) The development of crystalline basement aquifers in a tropical environment. *Quarterly Journal of Engineering Geology, London*, 20: 265-272.
- BERGMAN, M. (1988) *Caracterização estratigráfica e estrutural da sequência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque na região de Pirapora do Bom Jesus, Estado de São Paulo*. São Paulo. Universidade de São Paulo. 164p. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências)
- BERTACHINI, A.C. (1987) *Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido na região de Jundiaí, em São Paulo*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 105p. (Dissertação de mestrado Instituto de Geociências).
- BLANCHET, P.H. (1957) Development of fracture analysis as exploration method. *Bulletin of the American Association of the Petroleum Geologist*. 41(8): 1746-1759.
- BOTTURA & ALBUQUERQUE, L., FILHO (1990) Condicionantes hidrogeológicos no processo de subsidência em Cajamar, S.P. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 6, Porto Alegre, 1990. *Anais*, RS, pp: 216-225.
- BRIERE, G. & RAZAK, M. (1982) Caracterisation geostatistique de champs de fractures implications pour la reconnaissance des systemes fissures discontinous en hidrogeologie. BRGM, DOC. 45.
- BRIZ-KISHORE, B.H. & BHIMASANKARAM, V.L.S. (1982) Evaluation of aquifer behavior in a typical crystalline basement. *Groundwater* 20(5): 563-568.
- CARNEIRO, C.D.R. (1983) *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e Serra dos Cristais, S.P., São Paulo*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 155p. (Tese de doutorado - Instituto de Geociências)
- CARNEIRO, C.D.R.; HASSUI, Y.; NAGATA, N.; OLIVIERI, M. (1985) Padrões de superposição de estruturas do Grupo São Roque na faixa Jaraguá - Cristais (S.P.). *Revista Brasileira de Geociências* 15(2): 116-130.
- CARNEIRO, C.D.R.; HASSUI, Y.; DANTAS, A.S.L (1984) Contribuição da litoestratigrafia do Grupo São Roque na faixa Jaraguá-Cristais - S.P. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG (7): 3212-3226.

- CAVALCANTE, I. N. (1990) *Estudo Hidrogeológico de Terreno Cristalino com Manto de Intemperismo - Área Piloto de Atibaia (SP)*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 123p. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências)
- CLOSS, E (1955) Experimental analysis of fracture patterns. *Geol. Soc. America Bull.*, 66(3): 256.
- CORDANI, V. G.; CAMPOS, A. C. R.; DAVINO, A.; BJONBERG, A. J. S. (1961) Geologia da região de Jaraguá, S.P. *Bol. SBG.* 10: 71-91.
- COSTA, W. D. (1965) Análise dos fatores que influenciam na hidrogeologia do cristalino. *Rev. Água Subterrânea*, 4: 14-46.
- COSTA, W. D. (1980) A Hidrogeologia do cristalino à luz da mecânica das rochas. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1, Recife, 1980. *Anais*. Pernambuco, ABAS. p.375-383.
- COSTA, W.D. (1986) *Análise dos fatores que atuam no aquífero fissural - Área Piloto dos Estados da Paraíba e R.G. do Norte*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 206p. (Tese de doutorado - Instituto de Geociências).
- COUTINHO, J.M.V. (1972) Petrologia do Pré-cambriano em São Paulo e arredores. *Bol. IG-USP* (3): 5-100.
- CRUZ, W.B. (1985) A qualidade da água subterrânea em rochas fraturadas. In: Simpósio Nacional de Água Subterrânea em rochas fraturadas, 1., Belo Horizonte, 1985. *Atas*. Minas Gerais, ABAS. pp: 40-54.
- CUSTÓDIO, E. E. & LLAMAS, M. R. (1976) *Hidrologia Subterrânea*. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 2 vol.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1975) Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa Nº 1. São Paulo - Vol.1. São Paulo. 220p.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981) Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa No 5. Campinas - vol.1. São Paulo. 607p.
- DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE)/CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (CTH) (1975) *Boletim Pluviométrico* nº4. Primeira zona hidrográfica.
- FENZL, N. (1988) Introdução à hidrogeoquímica. Editora Universitária da UFPA. 189p.

- FLORQUIST,B.A. & FOX,F.M. (1972) Techniques for locating water wells in fractured crystalline rocks. *Groundwater* 11(3):26-28.
- FRANGIPANI,A. (1982) Análises dos critérios para locação de poços em áreas cristalinas. Relatório IPT No 14614, SP. 110p. Circulação restrita.
- FRANGIPANI,A. (1982) Águas Subterrâneas nas rochas cristalinas da Grande São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,2., Salvador, 1982. *Anais*. Bahia, ABAS. pp:122-134.
- GIAMPÁ,C.E.Q. & SOUZA,J.C.S.de (1984) Potencial aquífero do cristalino no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,3., Fortaleza, 1984. *Anais*. Ceará, ABAS. Vol.1. pp: 277-293.
- GREENBAUM,D. (1987) Structural concepts in basement hidrogeology. Ground Water Exploration and Development in Crystalline Basement Aquifers.Harare, Zimbabwe, Africa. Vol. I. Series number CSC (89) WMR-13, Technical Paper 273. pp: 137-159.
- HASUI,Y.; PENALVA,F.; HENNIES,W.T. (1969) Geologia do Grupo São Roque. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 23.,Salvador,1969. *Anais*. Bahia, SBG. pp: 101-134.
- HASUI,Y.; PONÇANO,W.L.; BISTRICHL,L.A.; STEIN,D.P.; GALVÃO,C.A.C.F.; GIMENEZ,A.F.; ALMEIDA,M.A.; MELO,M.S.; PIRES NETO,A.G. (1977) As Grandes falhas do leste paulista. Simpósio Regional de Geologia,1., São Paulo, 1977. *Atas*. São Paulo, SBG. pp: 369-438.
- HASUI, Y. (1973) *Tectônica da área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 190p. (Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências).
- HASUI,Y. & SADOWSKI, G.R. - 1976 - Evolução geológica do Pré-cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências* (6):182-200.
- HAUSMAN, A. (1975) Comportamiento del cristalino como acuífero en el area del Gran Porto Alegre. International Congress of Hidrogeology, Porto Alegre, Brasil.
- HAUSMAN,A. (1982) Circulação em rochas fraturadas. Uma observação. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,2., Salvador, 1982. *Anais*. Bahia, ABAS. pp: 135-145.
- HENNIES,W.T.; HASSUI,Y.; PENALVA, F. (1967) O Falhamento Transcorrente de Taxaquara. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas,20., Curitiba, 1967. *Anais*. Paraná, ABAS. pp: 149-168.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO(IPT)
Análise dos critérios geológicos para locação de poços em zonas cristalinas do Estado de São Paulo. Relatório No 13 863. Div. de Minas e Geologia Aplicada - DMGA. Circulação restrita.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Água Subterrânea em zonas cristalinas - síntese dos métodos de pesquisa. Relatório No 16560. Div. de Minas e Geologia aplicada - DMGA. Circulação restrita.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓLOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT
(1982) Água subterrânea em zonas cristalinas - Síntese dos métodos de pesquisa. DMGA. Relatório Interno nº 16.560.
- KENECHT, T. (1964) Pré-cambriano Inferior. IN: Geologia do Estado de São Paulo - Bol. 41:14-36. Inst. Geogr. Geol. do Estado de São Paulo.
- LARSON, I. (1984) *Ground Water in hard rocks*. In: Studies and reports in hydrogeology. Ed. by UNESCO, Paris. 228p.
- LATTMAN, L. H. & PARIZEK, R. R. (1964) Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. *Journal of Hidrogeology* 2: 73-91.
- LATTMAN, L. H. Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs, *Photogramm. Eng.*, 24, 568.
- LEWIS, M. A. (1987) The analysis of bereholes yields from basement aquifers. Ground Water Exploration and Development in Cristalline Basement Aquifers. Harare, Zimbabwe, Africa. Vol. II. Series number CSC (89) WMR-13, Technical Paper 273. pp: 171-201.
- LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. (1980) Geologia Estrutural e introdução à geotectônica. Ed.Edgard Blucher Ltda./CNPQ. São Paulo. SP. 528p.
- Mc FARLANE, M. J. (1987) A Review of the development of tropical weathering profiles with particular reference to leaching history and with examples from Malawi and Zimbabwe. Ground Water Exploration and Development in Crystalline Basement Aquifers. Harare, Zimbawe, Africa. Vol. II. Series number CSC (89) WMR-13, Technical Paper 273. pp: 95-141.
- PARISOT, E. H. (1983) *As águas subterrâneas no Centro- Oeste do Município de São Paulo* - Características hidrogeológicas e químicas. Universidade de São Paulo. 94p (Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências)

- PARIZEK, R. R. (1976) On the nature and significance of fracture traces and lineaments in carbonate and other terranes. *Kaist hidrology and water resources vol. I*. Published by Institute of Water Resources Engeneering of the University of Sarajevo, Sarajevo, Yugoslavia. pp.439.
- PENALVA, F. & HASUI, Y (1970) A Intrusão Granítica dos Morros Grande e do Tico-Tico, Município de Caieiras, S.P. *An. Acad. Bras. Cienc.* 42 (4): 725-730.
- PINCUS, H. I. (1951) Statistical methods applied to the study of rock fractures. *Geol. Soc. America Bull.*, 62(2): 81-129.
- PRÓ-MINÉRIO/IPT - PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981a) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Vol.1., Esc. 1:500 000.
- PRÓ-MINÉRIO/IPT - PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981b) Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Vol.1., Esc. 1:500 000.
- PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. CONVÊNIO PRÓ-MINÉRIO/IPT (1984) Geologia da Folha de Santana de Parnaíba, Estado de São Paulo. Escala 1:100.000, vol.1.
- PRÓ-MINÉRIO/UNESP (1987) *Geologia das Folhas de Cajamar e Jordanésia, SP*. Esc. 1:25 000. Circulação restrita.
- REBOUÇAS, A. C. & CAVALCANTE (1987) Hidrogeology of Crystalline Rocks in Brasil. Groundwater Exploration and development in Crystalline Basement Aquifers. Harare, Zimbabwe, Africa. Vol. I. Series number CSC (89) WMR-13, Technical Paper 273. pp: 103-126.
- SADOWSKI, G.R. (1984) *Estado da arte do tema: Geologia estrutural de grandes falhamentos*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., Rio de Janeiro, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, SBG. pp: 1767-1794.
- SANTORO, E.; CARNEIRO, C.D.R. OLIVEIRA, M.C.B.; HACHIRO, J. (1988) Estrutura geológica da região de Cajamar-Jordanésia, SP. *Revista Brasileira de Geociências* 18(3): 353-361.
- SETZER, J. (1964) Fraturas observadas em fotografias aéreas e sua significação hidrogeológica. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia* 13(01):55-60.

- SIDDIQUI, S.H. & PARIZEK, R.R. (1971) Hydrogeologic factors influencing well yields in folded and faulted carbonate rocks in Central Pennsylvania. *Water Resources Research*, 7(5):1295-1312.
- SILVA, A. B. (1984) *Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jabão Norte de Minas Gerais*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 190p. (Tese de Doutorado. Instituto de Geociências).
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. (1976) Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Not. Geomofol*, 16(32):71-104.
- SZISKZAY, M. (1981) *Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo - Origem, Classificação e Caracterização*. Vol I e II, São Paulo, Universidade de São Paulo. (Tese de livre docência. Instituto de Geociências).
- YOSHINAGA, S. (1990) *Estudos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e isotópicos das águas minerais e termais de Águas de Lindóia e Lindóia, S.P.* São Paulo, Universidade de São Paulo, 133p. (Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências)

ANEXO 1
Cadastramento dos Poços

CADASTRAMENTO DOS POÇOS

No POÇO	ABASTE- CIMENTO	COTA (m)	ANO PERF.	PROFUND. (m)	DIAM. UTIL (")	PROFUND. REVEST. (m)	VAZAO (m3/h)	NE (m)	ND (m)	REBAIX. (m)	CAP.ESPEC. (m3/h.m)	PROF.ENTRADA D'ÁGUA (m)	LITOTIPOS	PROF. INTERF. (m)	PROF.ROCHA FRATURADA (m)
SP.01	PUBL.	745.00	1984	93.50	6.00	26.00	40.00	0.30	17.50	17.20	2.30	24/35/71/90	C.SIL.	8.00	20.00
SP.02	PUBL.	753.00	1986	144.00	6.00	20.00	20.00	2.00	52.00	50.00	0.40	-	C.SIL.	15.00	32.00
SP.03	PUBL.	750.00	1984	120.00	6.00	26.00	18.00	1.70	20.20	18.50	1.00	29/79	QZ	7.00	60.00
SP.04	PUBL.	740.00	1988	98.00	8.00	20.00	142.00	1.80	15.70	13.90	10.00	23/28/45	C.SIL.	8.00	20.00
SP.05	PART.	740.00	1989	120.00	6.00	9.00	20.00	2.40	89.50	87.20	0.23	21/51/72/98	XIS/ANF	9.00	24.00
SP.06	PART.	745.00	1984	150.00	6.00	-	23.00	0.50	28.60	28.10	0.82	-	-	-	-
SP.07	PART.	-	1978	85.00	6.00	57.00	6.00	47.00	68.00	21.00	0.02	-	GN (?)	54.00	-
SP.08	PART.	-	-	107.00	6.00	20.00	4.60	3.00	50.00	47.00	0.09	-	CALC (?)	19.00	20.00
PV.01	PUBL.	710.00	1980	170.00	8.00	31.50	16.00	0.90	70.70	69.80	0.23	147 a 150	FIL/GR	22.00	32.00
PV.02	PUBL.	710.00	1981	180.00	8.00	47.00	40.00	4.20	61.20	57.00	0.70	86/87//138	FIL	18.00	26.00
PV.03	PUBL.	705.00	1983	200.00	8.00	10.40	9.00	6.20	28.50	22.30	0.40	15 a 15.8	GR/QZ	8.00	79.00
PV.04	PUBL.	705.00	1983	180.00	8.00	35.40	9.00	5.40	104.40	99.00	0.09	15/25/89	GR	30.00	75.00
PV.05	IND.	705.00	1979	84.00	8.00	46.80	103.00	1.50	5.30	3.80	27.20	-	GR/XIS/CAL	21.00	-
PV.06	IND.	705.00	1981	48.00	-	22.00	80.00	5.00	-	-	-	-	CALC	16.00	36.00
PV.07	IND.	710.00	1981	152.00	8.00	26.40	3.60	4.00	-	3.60	-	35/84	XIS/CALC	18.00	24.00
PV.08	PART.	720.00	1979	150.00	6.00	14.30	6.70	12.00	128.00	116.00	0.06	16/38	GR	-	-
PV.09	PART.	730.00	1977	150.00	8.00	61.40	1.70	35.00	130.00	95.00	0.02	-	(?)GN/GR	51.00	63.00
PV.10	PUBL.	725.00	1988	81.50	6.00	49.00	120.00	21.50	27.50	6.00	20.00	40/62/71/80	CALC	22.00	36.00
PV.11	PUBL.	710.00	1988	180.00	6.00	53.00	Seco	-	-	-	-	-	CALC	54.00	-
PV.12	PART.	-	1979	210.00	6.00	42.00	3.00	28.00	128.00	100.00	0.03	-	GR(?)	37.00	-
PV.13	IND.	-	1975	100.00	8.00	48.00	6.00	17.00	60.00	43.00	0.14	-	GR	48.00	-
PV.14	PUBL.	710.00	1988	32.00	6.00	25.00	100.00	5.00	16.90	11.90	8.40	30 a 32	CALC	22.00	-
PV.15	PUBL.	725.00	-	225.00	-	30.00	Seco	24.00	135.00	111.00	-	-	CALC	30.00	33.00
PV.16	IND.	740.00	-	80.00	-	-	20.00	-	-	0.30	66.70	-	CALC	-	-
PV.17	PART.	-	-	91.00	6.00	18.00	3.00	40.00	44.00	4.00	1.38	-	QZ(?)	2.00	18.00
ST.01	PUBL.	700.00	1989	201.00	6.00	74.00	Seco	-	-	-	-	-	CALC	74.00	-
ST.02	PUBL.	730.00	1988	220.00	6.00	104.00	3.40	6.50	115.00	108.50	0.03	-	CALC	71.00	120.00
ST.03	IND.	730.00	-	100.00	6.00	32.00	6.00	20.00	60.00	40.00	0.15	-	(?)GN	32.00	52.00
ST.04	IND.	715.00	-	120.00	-	-	4.20	15.00	59.90	0.90	0.90	-	XIS/CALC	41.00	42.00
ST.05	PART.	725.00	1981	50.00	6.00	43.00	Seco	14.50	42.00	27.50	-	-	GN(?)	27.00	43.00
ST.06	PART.	730.00	1987	160.00	6.00	20.00	7.5	2.80	85.00	82.30	0.09	-	(?)GR	6.00	20.00
ST.07	PART.	-	1984	100.00	-	-	13.20	2.00	52.00	50.00	0.26	-	(?)GR	28.00	-
ST.08	PUBL.	700.00	1990	150.00	6.00	16.50	25.00	1.20	16.60	15.40	1.52	18/28	FIL	10.00	16.00
ST.09	IND.	715.00	-	-	-	40.00	-	-	-	-	-	-	CALC	-	-
ST.10	PART.	720.00	1983	150.00	6.00	14.00	22.60	1.00	54.00	53.00	0.41	-	-	-	-
CJ.01	PUBL.	725.00	1980	150.00	8.00	74.00	150.00	2.40	12.00	9.60	15.64	60 a 69	CALC/QZ/FIL	26.00	69.00
CJ.02	IND.	775.00	1979	150.00	6.00	82.00	30.00	29.30	30.90	1.60	18.71	85/92/127/145	CALC	15.00	82.00
JD.01	PUBL.	720.00	-	130.00	6.00	-	14.00	3.20	83.00	79.40	0.18	-	-	-	-
JD.02	PUBL.	725.00	1975	150.00	8.00	-	50.00	32.30	80.80	48.40	1.00	-	-	-	-
JD.03	PUBL.	735.00	1973	150.00	6.00	-	16.00	5.00	36.00	31.00	0.50	-	XIS/CALC	-	-
JD.04	PUBL.	725.00	1975	150.00	8.00	24.00	7.00	11.10	20.10	9.00	0.77	-	FIL	-	-
JD.05	PUBL.	725.00	1982	180.00	8.00	75.30	15.00	15.00	97.00	82.00	0.18	-	FIL	33.00	56.00
JD.06	IND.	720.00	-	54.00	-	-	13.00	-	-	-	-	-	-	-	-
JD.07	IND.	720.00	1978	150.00	-	20.00	44.00	8.00	82.00	74.00	0.59	-	FIL	20.00	-
JD.08	IND.	720.00	1980	93.80	8.00	70.00	7.10	5.00	32.00	27.00	0.26	-	-	20.00	70.00
JD.09	IND.	730.00	1983	100.00	-	50.00	19.00	-	25.00	-	-	40 a 100	-	40.00	85.00
JD.10	IND.	720.00	1975	150.00	6.00	39.00	11.10	5.00	34.40	29.40	0.38	73/80/87/117/126	QZ	23.00	30.00
JD.11	IND.	730.00	1982	120.00	6.00	52.30	16.60	8.00	55.00	47.50	0.35	-	-	-	-
JD.12	IND.	725.00	1981	127.00	6.00	85.00	6.00	9.00	74.00	65.00	0.09	-	(?)GR	70.00	-
JD.13	IND.	770.00	-	-	-	9.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JD.14	PUBL.	725.00	1991	100.00	6.00	-	6.00	2.10	84.20	82.1	0.07	45/75/98	FIL	15.00	46.00

SP - Parque Anhanguera (São Paulo)
PV - Polvilho
CJ - Cajamar
JD - Jordânia
ST - Fazendinha (S. de Parnaíba)

C.SIL - Rochas Calcário-silicáticas
ANF - Anfibolito
QZ - Quartzo
GR - Granito
CALC - Rocha carbonática (metacalcário, metadolomito)
XIS - Xisto
FIL - Filito
(?)GN - Litologia não coerente com o contexto geológico local
GN(?) - Litologia não aferida em campo

ANEXO 2

**Perfis Litológicos dos Poços
(Figuras 1 a 5)**

FIGURA 1 - PERFIL AB-PARQUE ANHAGUERA

FIGURA 2 - PERFIL CD-POLVILHO

FIGURA 3-PERFIL EF-FAZENDINHA

FIGURA 4 - PERFIL GH-CAJAMAR

FIGURA 5 - PERFIL IJ-JORDANÉSIA

ANEXO 3

**Teste de vazão no Poço SP.04, Parque Anhanguera
(Figuras 1 a 4)**

LEGENDA

- 344 - Número do imóvel
- 344 - Imóvel com paredes abaladas
- VG - Lote vago
- - Poço de observação perfurado (Ø 3")
- ⊙ - Poço de observação tipo cacimba
- ⊕ - Poço profundo SABESP (SP-04)

0 5 10 15 (m)
ESCALA

FIGURA 1 - Locação dos poços de observação

FIGURA 2 - Rebaixamento em função do tempo de bombeamento nos três estágios.
Obs.: as medidas do rebaixamento iniciam-se a partir do N.E. (1,80 m)

FIGURA 3 - Relação entre as vazões nos três estágios e o rebaixamento.
Obs.: as medidas do rebaixamento iniciam-se a partir do N.E. (1,80 m)

FIGURA 4 - Variação do nível d'água nos poços

46°53'59"

46°46'27"
23°19'42"

46°53'59"

46°46'27"
23°26'46"

CONVENÇÕES

ESTRATIGRÁFICAS

GEOLÓGICAS

TOPOGRÁFICAS

QUATERNÁRIO
Qa=Depósitos aluvionares
Qc=Depósitos colúvio-eluvionares

PROTEROZOICO SUPERIOR
+ PSg + Suítes granitoides
GRUPO SÃO ROQUE
PSsa Anfibolitos PSsv Subvulcânica ácida
PSsc Metacalcários e/ou metadolomitos maciços a foliados
PSss Rochas cálcio-silicáticas
PSsf Filitos, filitos sericíticos e quartzo-filitos
PSsx Micaxistos finos e xistos porfiroblásticos
PSsq Quartzitos granulares a orientados
PSsm Metarenitos, metarcóseos, metagrauvacas e metaconglomerados

Contato litológico
Antiforma com plano axial vertical ou com mergulho indicado da 2ª Fase
Sinforma com plano axial vertical ou com mergulho indicado da 2ª Fase
Antiforma com plano axial vertical ou com mergulho indicado da 3ª Fase
Antiforma com plano axial vertical ou com mergulho indicado da 3ª Fase
Clivagem ardosiária (S1), foliação ou xistosidade(x), vertical ou inclinada da 1ª Fase
Clivagem de crenulação (S2)
Falha provável
Falha definida
Traço de foliação

Auto estrada
Limite municipal
Cursos d'água
Barragem ou lagoa
Áreas de maior concentração urbana
Cota altimétrica (m)
Reservatório

0 500 1000 1500 2000 2500 3000m

ESCALA GRÁFICA

Anexo 4 - Mapa geológico-estrutural da área
(Modificado de Pró-Minério/IPT, 1984)

46°53'59"

46°46'27"
23°19'42"

LEGENDA

- LINEAMENTOS FOTOINTERPRETADOS
- ÁREAS COM DENSE COBERTURA VEGETAL, PROPÍCIAS À RECARGA
- ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCAÇÃO DE POÇOS
- ⊙ POÇO SEM DADO DE "CAPACIDADE ESPECÍFICA"
- ⊙ "CAPACIDADE ESPECÍFICA" < 1,0 m³/h.m
- ⊙ "CAPACIDADE ESPECÍFICA" > 1,0 m³/h.m
- VAZÃO < 10 m³/h
- ⊕ VAZÃO > 10,0 m³/h
- A B
PERFIL AB

DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

A
B
C

- A - NORTE
B - CENTRAL
C - SUL

NOTA: IDENTIFICAÇÃO LOCAL DOS POÇOS

SP-01 SÃO PAULO (PARQUE ANHANGUERA)

PV-01 POLVILHO

ST-01 SANTANA DO PARNAÍBA (FAZENDINHA)

CJ-01 CAJAMAR

JD-01 JORDANÉSIA

ANEXO 5 - Mapa de lineamentos e de áreas favoráveis à locação de poços profundos

LEILA NUNES MENEGASSE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO IG-USP, JULHO 1991

46°53'59"

INTERPRETAÇÃO A PARTIR DE AEROFOTOS EM ESCALAS 1:40.000 E 1:25000
BASE TOPOGRÁFICA: FOLHA DE SANTANA DO PARNAÍBA, IBGE (1984)

0 100m
ESCALA 1:50.000

23°26'46"
46°46'27"