

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011651

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA ATRAVÉS DE
DADOS GEOLÓGICOS-GEOFÍSICOS DAS ROCHAS
CRISTALINAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS**

Marisa Chieme Kakazu



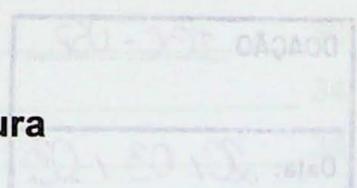
Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Co-Orientadores: Dr. José Luiz Albuquerque

Carlos Alberto Birelli

Monografia de Trabalho de Formatura

TF/2002-24



SÃO PAULO

2002

+P

K13

MC. c

UNIVERSIDADE FEDERACAO
ESTADUAL DO SANTANA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
ECONOMICA E EMPRESARIAL - DINE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRASILIA - CAMPUS SANTANA

ONLINE LIBRARY
C-0-ONLINE LIBRARY
C-0-ONLINE LIBRARY
C-0-ONLINE LIBRARY

DOAÇÃO IGC-USP
Data: 20/03/03

2003
SANTANA

ÍNDICE GERAL

RESUMO	<hr/> 4
ABSTRACT	<hr/> 5
2. METAS E OBJETIVOS	<hr/> 6
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	<hr/> 8
3.1 Geologia Regional e Local	<hr/> 8
a) Rochas do embasamento	<hr/> 8
b) Rochas sedimentares	<hr/> 9
c) Rochas efusivas e os corpos intrusivos básicos	<hr/> 10
d) Formações e Depósitos Cenozóicos	<hr/> 10
3.2 Estrutural	<hr/> 10
3.3 Trabalhos Prévios	<hr/> 11
4. MATERIAIS E MÉTODOS	<hr/> 15
5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	<hr/> 16
6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	<hr/> 18
6.1 Banco de dados de poços	<hr/> 18
6.2 Mapa de interseção de lineamentos	<hr/> 22
6.3 Gamaespectrometria	<hr/> 25
6.4 Magnetometria	<hr/> 28
6.5 Eletrorresistividade	<hr/> 30
6.5.1 As Medidas de Eletrorresistividade	<hr/> 30
6.5.2 Resistividade Aparente (Ra)	<hr/> 34
6.5.3 Caminhamento Resistividade	<hr/> 34
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	<hr/> 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	<hr/> 40

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.</i>	7
<i>Figura 2: Mapa geológico da área de estudo</i>	12
<i>Figura 3: Mapa de poços classificados segundo sua produtividade</i>	19
<i>Figura 4: Mapa geológico com localização dos poços classificados.</i>	21
<i>Figura 5: Mapa de densidade de lineamentos com poços de produção ruim</i>	23
<i>Figura 6: Mapa de densidade lineamentos com poços de produção ótima</i>	24
<i>Figura 7: Mapa de gamaespectrometria com indicação dos contatos litológicos</i>	26
<i>Figura 8: Mapa de aerogamaespectrometria com poços locados</i>	27
<i>Figura 9: Mapa de magnetometria com indicação dos contatos litológicos</i>	29
<i>Figura 10: Mapa de magnetometria com poços locados</i>	31
<i>Figura 11: Mapa magnetometria com lineamentos magnéticos.</i>	32
<i>Figura 12: Mapa lineamentos magnéticos com poços</i>	33
<i>Figura 13 - Princípio do método da eletrorresistividade.</i>	34
<i>Figura 14 - Caminhamento Resistividade/Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo.</i>	35
<i>Figura 15: Perfis geofísicos</i>	37
<i>Figura 16: Mapa de caminhamento</i>	38

ANEXOS

Planilhas de dados de poços

RESUMO

Este trabalho buscou caracterizar os aquíferos subterrâneos em rochas do embasamento cristalino no município de Campinas, através de estudos e correlações estruturais, geológico-geofísicas, bem como a compilação de descrições de perfurações existentes. Estes dados e informações integrados e interpretados, visaram o aumento na oferta de água para a região por meio da otimização da locação de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea.

Desta forma, sintetizou-se em um único trabalho os dados de geologia, descrições litológicas e de produtividade de poços tubulares existentes na área do projeto. Integraram-se a estes, dados geofísicos, particularmente os de aerolevantamentos (magnetometria e radiometria) e levantamentos terrestres de eletrorresistividade. Como constatado, tais dados constituem-se em ferramentas de grande valor na prospecção de águas subterrâneas.

Através destas correlações, tentou-se estabelecer critérios para futuras prospecções de aquíferos com estas características, de forma a minimizar a perfuração de poços improdutivos. Para tanto, são apresentados neste trabalho mapas onde podem ser visualizadas tais relações.

ABSTRACT

Geophysical and geological data was analised and correlated to several deep wells in order to characterize aquifers in cristaline rocks surround Campinas area. The main target of this work was to optmize the well location avoiding to loose money on dry wells.

Geological maps, lithologic information and general wells data like depth and productivity, was integrated to geophysical data from aeromagnetic and resistivity surveys in order to optimize the well location for aquifer research.

The first conclusion from this work is that geophysics is a very useful tool for aquifer prospection.

The maps presented here show geologic and geophysical data which allow to choose the best points to perform wells.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a água é o mais precioso bem mineral, indispensável à existência da vida. Sua busca é cada vez mais intensa e o abastecimento através de rios e reservatórios de superfície toma-se cada vez mais difícil, devido à poluição ou quantidades que vão se tornando insuficientes à medida que aumenta o consumo (Gallas, 2000).

Existem no Estado regiões onde a oferta de água é inferior às necessidades. O estudo aqui proposto, busca avaliar os potenciais dos aquíferos subterrâneos da região de estudo, o município de Campinas, especificamente em rochas cristalinas.

De acordo com o Relatório de Situação dos recursos Hídricos das Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI 5 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5), onde se localiza a área objeto deste estudo, a disponibilidade da água subterrânea é da ordem de 21,5 m³/s, porém a utilização de água subterrânea alcança uma vazão estimada de 3,6 m³/s que corresponde a cerca de 18% da reserva disponível.

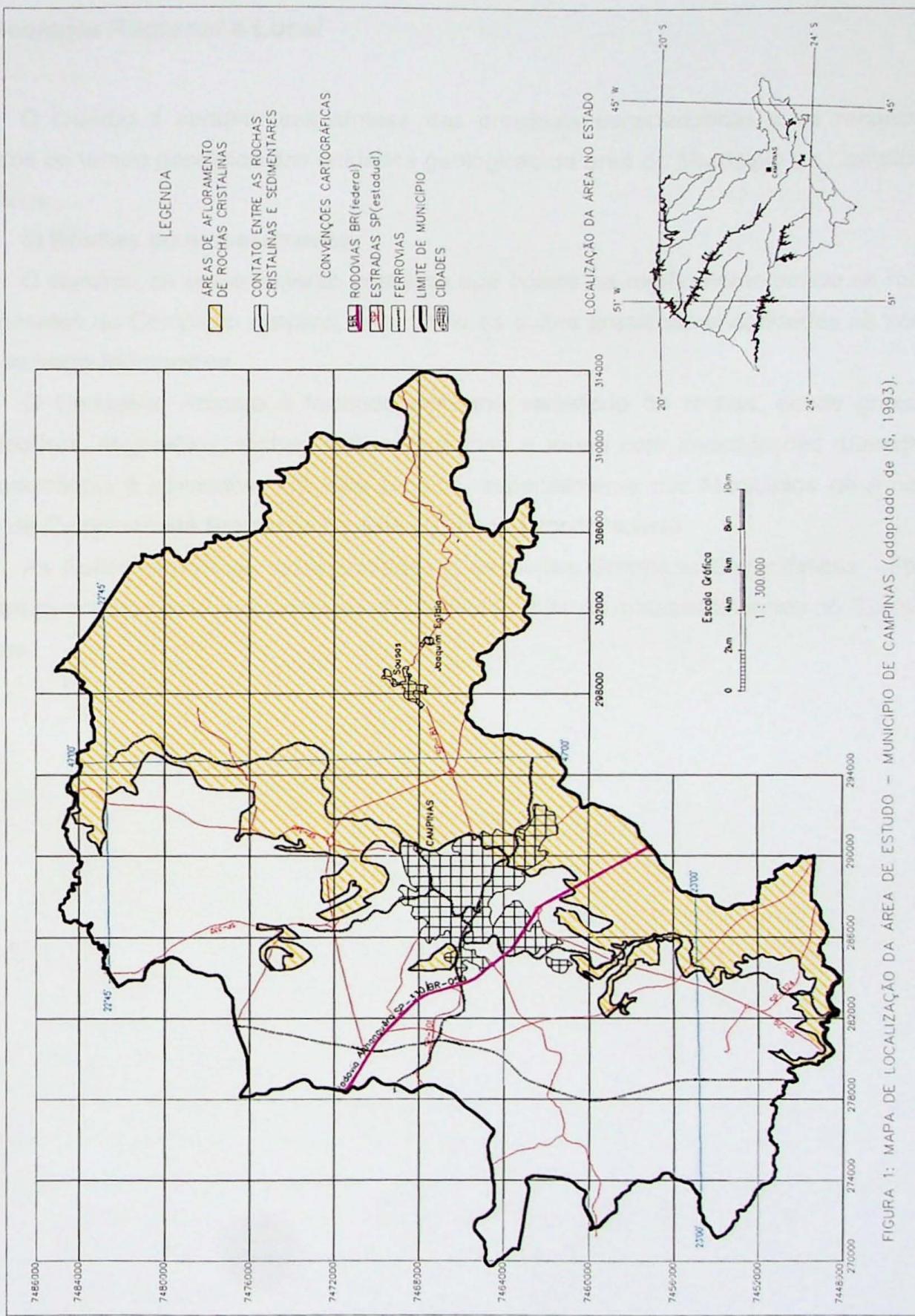
Os usuários correspondem a indústrias que consomem água no processo industrial e a empreendimentos variados, localizados ao longo dos eixos rodoviários e seus segmentos.

A demanda vem crescendo nas periferias não atendidas por redes de abastecimento público e, principalmente, como fonte alternativa e suplementar da água potável para abastecimento em áreas atendidas com água tratada (IPT, 2000).

Esses fatores vêm demonstrar condições favoráveis ao incremento de seu aproveitamento, que deve ser feito da forma mais racional possível.

2. METAS E OBJETIVOS

É objeto deste trabalho a caracterização dos aquíferos subterrâneos em rochas do embasamento cristalino no município de Campinas através de estudos geológico-geofísicos, compilação de descrições de perfurações existentes. Estes dados e informações foram integrados e interpretados, visando o aumento na oferta de água para a região por meio da otimização da locação de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea nesta região. Para tanto, aproveitou-se da oportunidade da realização concomitante de estágio junto ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo da formanda.



3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geologia Regional e Local

O Quadro 1 contém uma síntese das principais características e os respectivos períodos de tempo geológico das unidades geológicas da área do Município de Campinas e arredores.

a) Rochas do embasamento

O domínio do embasamento cristalino que ocorre na região compreende as rochas pertencentes ao Complexo Amparo, bem como as suítes graníticas encontradas na porção leste da bacia hidrográfica.

O Complexo Amparo é formado por uma variedade de rochas, desde gnaisses, charnockitos, migmatitos, rochas calcossilicatadas e xistos com intercalações quartzíticas cuja ocorrência é dominante em toda a bacia, especialmente nos Municípios de Amparo, Leste de Campinas até Bragança Paulista e Campo Limpo Paulista.

As Suítes Graníticas indiferenciadas e as Suítes Graníticas Sintectônicas - Fácies Cantareira ocupam extensas áreas da região leste, entre os metassedimentos do Complexo Amparo.

Quadro 1 - Síntese das principais características e os respectivos períodos de tempo geológico das unidades geológicas na Região de Campinas. (Adaptado de IPT, 2000)

PERÍODO (IDADE)	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	LITOLOGIAS
Cenozóico	Aluviões em geral	Areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais, em depósitos de calha e/ou terraços.
	Coberturas cenozóicas indiferenciadas correlatas à Formação Rio Claro.	Arenitos finos a médios, argilosos com níveis subordinados de argilitos e arenitos conglomeráticos.
Mesozóico	5.1 Grupo São Bento Intrusivas básicas tabulares	Soleiras diabásicas, diques básicos em geral.
	5.2 Grupo Tubarão Formação Itararé	Arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcóseos, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos, raras camadas de carvão. Filitos, quartzo filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quartzo xistos.
Paleozóico	Granitos e granitóides com granulação variada.	Granitos e granitóides com granulação variada.
	5.3 Complexo Amparo	
	Gnaisses	Biotita-gnaisses, gnaisses migmatizados, migmatitos de estruturas diversas, subordinadamente biotita-xistos, quartzitos anfibolitos e metaultrabasitos.
Pré-Cambriano		

b) Rochas sedimentares

As rochas sedimentares Mesozóicas e Paleozóicas incluem as rochas da Bacia do Paraná, representadas pelo Grupo Tubarão (Formação Itararé).

GRUPO TUBARÃO

Formação Itararé

As rochas da Formação Itararé são formadas por arenitos de granulação variada, imaturos passando a arcóseos, além de conglomerados e sedimentos mais finos representados por siltitos, folhelhos, ritmitos e tilitos que repousam sobre as superfícies erosivas entalhadas em rochas cristalinas eopaleozóicas e pré-cambrianas. Pertencem também a esta formação os sedimentos rítmicos, especialmente os varvitos, arenitos finos, siltitos cinza claro e folhelhos cinza escuro.

Na região a formação Itararé recobre grandes extensões, ao longo de uma faixa Norte-Sul que acompanha as rochas do embasamento. Além da sua apreciável continuidade em área suas espessuras atingem dezenas de metros.

GRUPO SÃO BENTO

O Grupo São Bento na região é representado pelas intrusivas básicas tabulares.

c) Rochas efusivas e os corpos intrusivos básicos

Compreendem as rochas intrusivas básicas Tabulares e as rochas vulcânicas da formação Serra Geral.

As rochas efusivas básicas possuem composição toleítica e coloração cinza a negra, ocorrendo em forma de derrames basálticos. Associados a estas rochas são encontrados arenitos intertrapeanos típicos da Formação Botucatu, além de rochas intrusivas básicas tabulares, tanto na forma de "sills" corno de "diques". Os corpos básicos (principalmente de diabásio), presentes em grande parte dos municípios, destacando-se particularmente Paulínia e Hortolândia, tendem a formar corpos pequenos e alongados orientados segundo a direção preferencial NE.

d) Formações e Depósitos Cenozóicos

O domínio das formações Cenozóicas compreende as Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas Correlatas à Formação Rio Claro, cujas principais características são apresentadas no Quadro 1.

Estão incluídos também nesta designação genérica, os *Depósitos Continentais Indiferenciados* e os *Aluviões*, ou seja, os sedimentos encontrados em terraços suspensos (cascalheiras e aluviões) pré-atuais, os depósitos recentes de encostas e associados às calhas atuais (coberturas coluvionares e aluvionares). Compreendem essencialmente os depósitos aluvionares e coluvionares com distribuição governada pelos grandes cursos d'água e, os materiais de cobertura "*in situ*" (solos residuais), resultantes da desintegração das rochas encontradas na região (IPT, 2000).

3.2 Estrutural

As estruturas geológicas, em função do padrão e freqüência de lineamentos, podem ser agrupadas regionalmente, em dois grandes domínios: predomínio de falhas NE, geradas em pelo menos dois eventos de deformação (um mais antigo transcorrente, de direção predominante NE e subvertical e, este superposto provavelmente a falhas inversas com mesma direção, porém com mergulhos baixos predominantemente para SE) e o segundo

domínio corresponde, em geral, a falhas normais de direção NW com mergulhos para SW (IPT, 2000).

A área investigada neste estudo comprehende somente as rochas cristalinas do embasamento que afloram na região. Incluem-se os granitóides (Morungaba, Jaguariúna e indiferenciados), milonitos e gnaisses (figura 2: Mapa geológico da área).

3.3 Trabalhos Prévios

Bertachini (1987), fez um estudo hidrogeológico dos terrenos cristalinos na região de Jundiaí. Verificou que, num aquífero com coeficiente de armazenamento entre 0,03 e 0,005, sob clima úmido e com a presença de um espesso manto de alteração, este último chega a ter uma capacidade de armazenamento bem superior à encontrada no meio fissurado, possibilitando uma acumulação de reservas renováveis da ordem de 200 mm/ano. Notou ainda que o clima úmido influí também na composição química das águas subterrâneas.

Cavalcante (1990) fez um estudo hidrogeológico em terreno cristalino com manto de intemperismo, escolheu como área piloto o município de Atibaia, caracterizando as condições de ocorrência das águas subterrâneas, avaliando as obras de captação e propondo uma metodologia de estudo geológico para este meio. Esta metodologia obedece à seguinte seqüência:

- **Cadastro de informações** buscando integrar as informações existentes sobre a área de estudo, realizando o levantamento do acervo bibliográfico para compreender os aspectos físioclimáticos, geológicos, estruturais e hidrogeológicos;
- **Interpretação Fotogeológica** visando mapear falhas e/ou fraturas, além das etapas de campo, que devem contar com:
- **Geologia de campo**, verificando as informações geológicas contidas no mapa elaborado em escritório (a partir de mapas cadastrados e da interpretação fotogeológica).
- **Cadastro de pontos d'água**, a partir do levantamento das fichas técnicas dos poços tubulares, esta fase servirá para verificar a acuracidade das informações obtidas e/ou a necessidade de novos dados.
- **Coleta de amostras de águas subterrâneas para análises físico- químicas**, onde os pontos amostrados devem ser criteriosamente escolhidos em relação ao meio amostrado (manto de intemperismo ou fraturado).
- **Sondagens**, para que os parâmetros químicos ou hidrodinâmicos não sejam interpretados de maneira errônea: normalmente adotado como pertencentes ao meio fissurado.

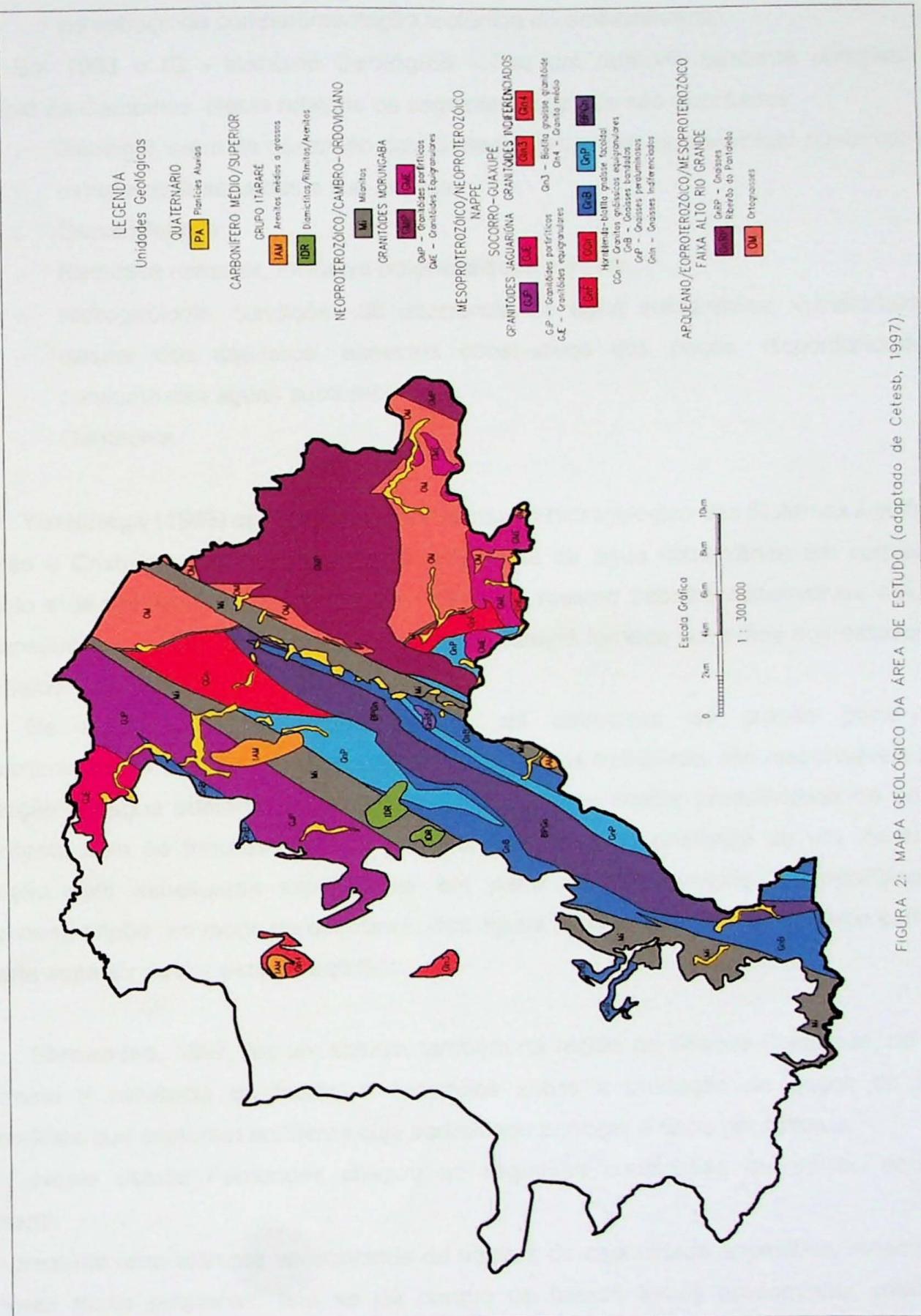


FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO (adaptado de Cetesb, 1997)

Ferreira (1991) confeccionou mapas geofísicos temáticos regionais através dados de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria. Além disso verificou que a aerogeofísica é eficaz na caracterização de vários maciços granítoides e também no esboço da compartimentação tectônica do embasamento.

Em 1993 o IG - Instituto Geológico - Fez um relatório bastante completo no município de Campinas. Neste relatório os seguintes aspectos são abordados:

- Geologia, além da descrição das unidades presentes no município conta com as estruturas observadas e sua análise;
- Geomorfologia;
- Recursos minerais, inclusive potencialidade mineral;
- Hidrogeologia: condições de ocorrência de água subterrânea, vulnerabilidade natural dos aquíferos, aspectos construtivos dos poços, disponibilidade e consumo das águas subterrâneas;
- Geotecnia.

Yoshinaga (1996) aprofundou o conhecimento hidrogeológico dos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino e das condições de ocorrência da água subterrânea em corpos de diabásio e de depósitos cenozóicos. Além disso, no mesmo trabalho desenvolveu estudos de planejamento e meio ambiente, onde a hidrogeologia fornece subsídios aos estudos do meio físico.

De acordo com Yoshinaga (1996), as estruturas de grande porte que compartimentam o Sistema Aquífero Cristalino em blocos estruturais são responsáveis pela circulação de água subterrânea e também pela maior ou menor produtividade de poços, juntamente com as fraturas e falhas normais existentes. A presença de um manto de alteração com espessuras significativas em parte da área (região metropolitana de Campinas), impõe um modo de ocorrência das águas subterrâneas por porosidade primária na parte superior desse sistema aquífero.

Fernandes, 1997, fez um estudo, também na região da Grande Campinas, no qual determina a influência da tectônica cenozoica sobre a produção de poços de água subterrânea que exploram aquíferos cuja porosidade principal é dada por fraturas.

Neste estudo Fernandes chegou às seguintes conclusões quanto ao aquífero fissurado:

1. Apresenta uma extrema variabilidade de valores de capacidade específica, mesmo em áreas muito pequenas. Isto se dá porque os fatores locais predominam sobre os regionais;
2. A correspondência entre lineamentos e faixas mais intensamente fraturadas é indicada pelos seguintes fatores: a) poços associados a lineamentos são mais produtivos, salvo

raras exceções, b) a produção aumenta significativamente quando o poço se encontra junto a 3 lineamentos, sugerindo que eles refletem a interseção (conectividade) de maior quantidade de fraturas.

3. As produções ligeiramente maiores associadas aos vales, parecem ser devidas ao fato destes serem altamente correlacionáveis à presença de lineamentos e, por conseguinte, a fraturas e outras descontinuidades. Além disto, no compartimento vale os níveis estáticos são mais elevados e as fraturas, porventura presentes, encontram-se completamente saturadas;
4. Os contatos litológicos entre rochas reologicamente bastante distintas parecem não ser um fator importante para o aumento de Q/s¹, pois os poços mistos comportam-se de forma muito semelhante aos gnaisse e granitos, em termos de variação de produção;
5. A associação a lineamentos não é garantia de produções elevadas (em 40% dos casos Q/s é menor que 0,1 m³/h/m). Dentre as características geométrica dos fraturamentos, a abertura parece ser a mais definitiva para maiores incrementos na produção.
6. As maiores produções são as associadas às estruturas de orientação NW (evento de "atividade mais intensa na região), NNE (o mais recente, portanto, tende a controlar quais fraturas estão abertas atualmente) e, subordinadamente, EW (ao qual as falhas normais parecem se associar com mais freqüência);
7. A relação aparentemente caótica de Q/s com diferentes direções de lineamentos, resultante da análise regional, deve-se ao fato desta não ser suficiente para associá-las a fraturas geradas por mecanismos distintos, ou seja, de cisalhamento ou de tração. Com o objetivo de definir direções de lineamentos que mais provavelmente estariam associados a fraturas abertas, foi desenvolvido o método de análise de domínios tectônicos homogêneos aplicados a pequenas áreas selecionadas.
8. A determinação de um padrão bem definido de lineamentos e sua correlação com um dado evento tectônico, constitui ferramenta fundamental do método dos domínios tectônicos homogêneos. Ela foi bem sucedida em quatro das seis áreas selecionadas. A importância da partição da deformação foi demonstrada pela constatação da existência da áreas adjacentes e de pequeno tamanho com padrões de lineamentos nitidamente distintos, mostrando a heterogênea distribuição das estruturas;
9. Nos locais onde foi possível delimitar domínios tectônicos homogêneos, observou-se uma forte correlação entre os poços mais produtivos e os lineamentos paralelos a σ_1^2 e perpendiculares a σ_3^3 do evento preponderante. Isto sugere que estes poços exploram fraturas de tração, cuja abertura é provavelmente superior às demais.

¹ Q/s: capacidade específica: parâmetro produtivo, obtido através da divisão dos valores de vazão de exploração Q pelo rebaixamento do nível d'água s.

² σ_1 : esforço uniaxial compressivo.

³ σ_3 : esforço uniaxial distensional.

10. Nas duas áreas onde não foi possível identificar o evento tectônico preponderante verificou-se que não existe correlação entre uma dada direção de lineamentos e valores mais alto de Q/s, mostrando que existem heterogeneidades localizadas de atuação dos eventos tectônicos;
11. A exploração de fraturas abertas e a interseção de lineamentos são, provavelmente, os principais fatores controladores de produções elevadas;
12. A análise em escala local, procurando determinar o evento mais atuante é de importância fundamental para o controle das características hidráulicas de um meio fraturado.

Em 1992, o IPT fez um estudo para locação de poços no terreno da Macsol – Manufatura de Café Solúvel, no município de Campinas. Este estudo constituiu-se no levantamento de dados relativos a poços perfurados nas proximidades da área, elaboração de mapa geológico simplificado, fotointerpretação das principais feições estruturais da região, além de um breve trabalho de campo.

Após esta etapa foi iniciado o caminhamento elétrico através de 5 linhas que cortavam os fotolineamentos que se encontravam sobre o terreno. As anomalias condutoras detectadas na subsuperfície destas linhas são ocasionadas pela presença de fraturamentos. Com a distribuição em mapa destas anomalias pode-se traçar os alinhamentos condutivos, neste caso, sete. A partir de um mapa com a locação destes alinhamentos, pode-se determinar quais os locais mais favoráveis à perfuração de poços. Este trabalho será melhor detalhado no item 6.5.

O presente trabalho de formatura teve como base inicial os trabalhos existentes, adotando as metodologias pertinentes que constam dos mesmos, além de outros que se julgaram adequados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu em levantamentos bibliográficos sobre os dados geológicas já existentes, estudo e cadastramento de poços e mapas de lineamentos estruturais; correlacionando estes com levantamentos geofísicos (aéreos e terrestres),

Primeiramente, foi feito um levantamento bibliográfico dos estudos realizados na área de estudo e em outras áreas análogas. Esta atividade foi de extrema importância no trabalho, que se baseou na compilação de dados provenientes de trabalhos anteriores. Derivam desta pesquisa: mapa geológico, de densidade de lineamentos, imagens de dados de aerogeofísica e perfis geofísicos terrestres, que foram essenciais elaboração deste estudo.

A busca por dados de poços existentes nos órgãos competentes na região gerou um banco de dados com 193 poços selecionados, com dados provenientes do DAEE e da

CPRM. Fez-se uma breve análise estatística para caracterizar estes poços, priorizando suas produtividades.

De posse da produtividade tentou-se correlacionar esta a parâmetros/condições que pudessem garantir a locação de poços que apresentassem boa produtividade. Com esse objetivo utilizou-se de mapas de densidade de lineamentos, imagens aerolevantamentos de gama e magnetometria, bem como geofísica terrestre de detalhe (caminhamento elétrico - eletrorresisividade). Estes dados foram confrontados com a distribuição dos poços que apresentavam as melhores vazões por meio de um mapa.

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho teve início em março, com a pesquisa bibliográfica, que se estendeu até outubro quando foram analisados relatórios e mapas atualizados.

A coleta dos dados de poços se iniciou também no primeiro semestre, com a busca pelos arquivos da CPRM e em seguida, do DAEE. O tratamento destes dados foi iniciado logo em seguida com a seleção dos poços, buscando excluir dados não confiáveis. Fez-se uma abordagem estatística e finalmente a digitalização e plotagem em mapa.

Essas atividades se estenderam por todo o período de confecção do trabalho, ao longo do qual foram excluídos mais de 50 poços. Paralelamente, foram adquiridos alguns produtos necessários para a confecção das figuras: mapa geológico, de lineamentos, mapas geofísicos e relatórios. Alguns destes itens já se apresentavam na forma de arquivo digital, para os outros foi necessária a digitalização.

Desta forma, as atividades realizadas obedeceram ao seguinte cronograma:

- 1) levantamento bibliográfico da geologia, hidrogeologia e geofísica da região;
- 2) levantamento de dados de poços perfurados na região disponíveis nos órgãos competentes;
- 3) seleção dos poços;
- 4) análise estatística dos dados de poços;
- 5) digitalização de dados;
- 6) elaboração do relatório de progresso;
- 7) integração dos dados geológicos, geofísicos e de poços;
- 8) elaboração da Monografia;

Cronograma de atividades:

MESES								
ETAPAS	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMB	OUTUBR	
1	XXXXXX	XXXXXX			XXXXXX			
2		XXXXXX						
3		XXXXXX						XXXXXX
4			XXXXXX					
5			XXXXXX				XXXXXX	
6				XXXXXX				
7			XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX		
8								XXXXXX

Durante a pesquisa bibliográfica, que, se estendeu por todo o período de realização do trabalho, houve dificuldade em encontrar exemplares da biblioteca com permissão para circular, muitas vezes, os exemplares circulantes se encontravam emprestados, além da dificuldade em obter exemplares de teses de outras universidades. Em contrapartida, alguns trabalhos foram conseguidos pessoalmente e em formato digital com os autores.

A indisponibilidade de dados de poços nas porções norte e leste da área representou um obstáculo para a correlação entre os dados. A falta de dados de poços cadastrados nos órgãos competentes constitui uma grande dificuldade no estudo das águas subterrâneas, além disso, os dados disponíveis nem sempre se apresentavam confiáveis. A seleção dos poços foi feita em duas etapas, na primeira compreendeu 225 poços, mas na análise mais detalhada, foram eliminados 32 destes, abrangendo 193 poços selecionados.

A análise da produtividade também teve de ser feita em duas etapas. Na primeira a classificação da produtividade dos poços não era representativa, pois grande parte apresentavam capacidade específica muito pequena se comparada aos valores obtidos em aquíferos sedimentares, dando a impressão que na área só havia poços ruins. Esta idéia era fortalecida pelo fato de que alguns poços apresentavam valores extremamente elevados em relação ao restante. Após a avaliação de outros dados e bibliografias, concluiu-se que a classificação deveria considerar somente os dados obtidos na área, ou seja os presentes na região e que exploram o mesmo aquífero em questão; sem considerar valores de produtividade conhecidos provenientes estudos fora deste mesmo contexto. A classificação deve considerar os valores obtidos na região e classificar sua produção de modo que haja uma distribuição uniforme do números de poços nas classes. A segunda classificação foi feita respeitando estes critérios.

Não foi possível executar atividades de campo, para complementar com mapeamentos de detalhe e obtenção de dados de geofísica terrestre. Sua realização ficou a cargo do IPT, que ainda não concluiu o *Projeto de desenvolvimento metodológico para a locação de poços de abastecimento de água a partir de subsídios geológico-geofísicos*, no qual este trabalho se insere.

No que se refere ao mapa de lineamentos optou-se por utilizá-lo na forma de mapa de densidade de lineamentos.

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

6.1 Banco de dados de poços

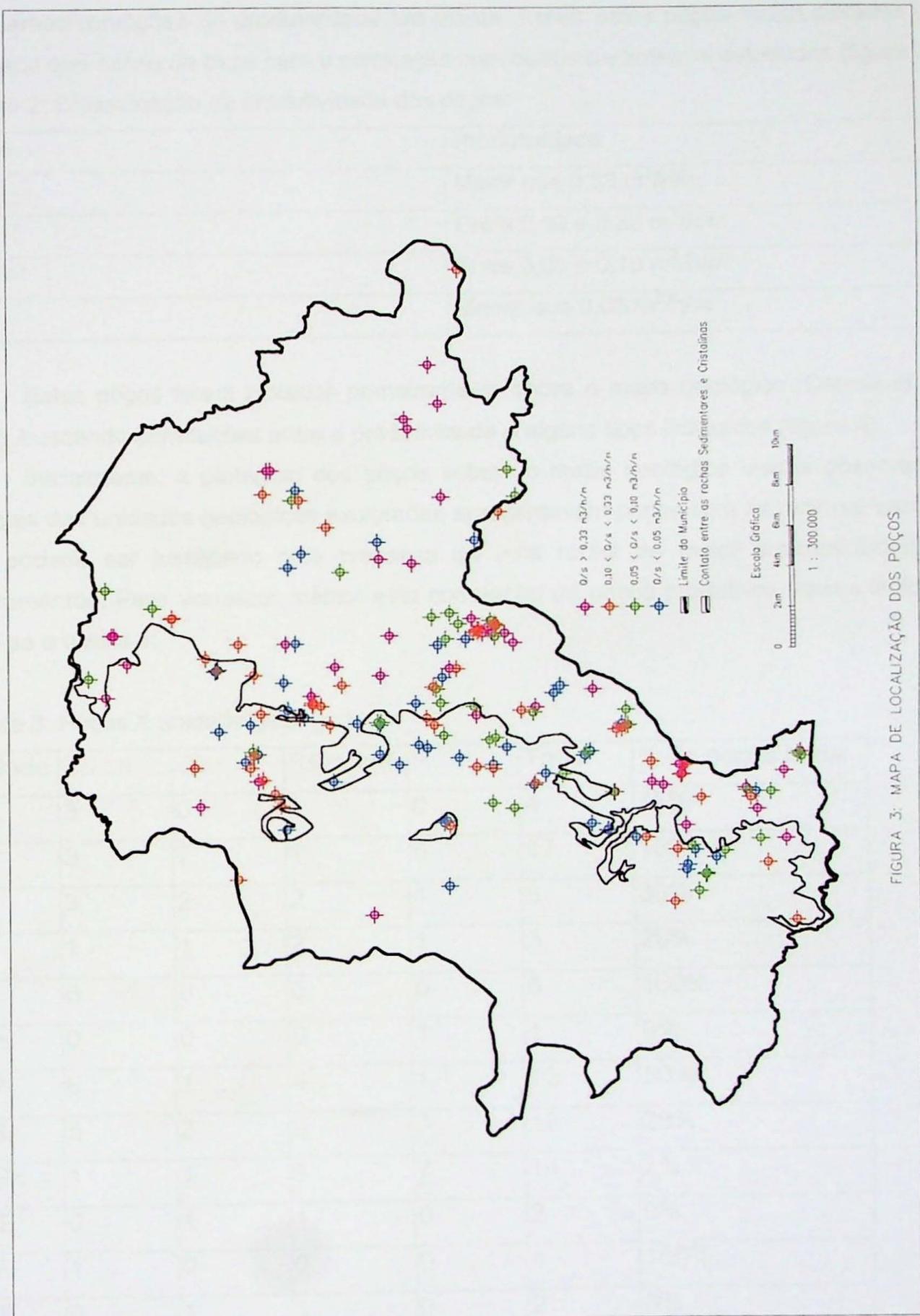
Foi compilado um banco de dados em que foram selecionados dados de 193 poços (anexo 1) no município de Campinas que exploram o aquífero cristalino. Estes poços derivam da fusão de dois arquivos: um da CPRM (SIAGAS - Sistema Integrado de Gerenciamento da Águas Subterrâneas) e outro do DAEE (SIDAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Inicialmente, esta compilação gerou um banco de dados com cerca de 250 poços. Destes foram sendo eliminados os poços que apresentavam dados incoerentes (erros na localização dos poços, vazões nulas em poços que apresentavam consideráveis níveis de rebaixamento, níveis dinâmicos superiores a níveis estáticos, etc.).

Estes poços foram plotados e estão distribuídos na área conforme a figura 3. Há poços localizados em áreas onde afloram rochas sedimentares, porém, todos eles extraem água do aquífero cristalino, sendo, portanto, incluídos no trabalho. Não foi possível realizar o cadastramento de poços junto às companhias perfuradoras, devido às dificuldades de acesso aos dados. Sendo assim, não foi possível evitar a ausência de dados nas porções norte e leste da área.

Deste banco de dados fez-se uma análise estatística com a finalidade de caracterizar a distribuição do número de poços em função de sua profundidade, vazão e Q/s. Nenhuma correlação entre profundidade e produtividade foi observada, como ocorre nos aquíferos sedimentares. Resumidamente, os poços se caracterizam segundo a tabela 2.

Tabela 2: Caracterização dos poços utilizados.

Valor	Profundidade (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade específica (m ³ /h/m)
Mínimo	40,0	0,10	0,00
Médio	134,7	7,3	0,31
Máximo	473,0	43,0	8,00
Mediana	130,0	5,4	0,10



De acordo com esta distribuição de valores para a capacidade específica, os poços foram divididos em quatro classes de produtividade (quadro 2), sendo que cada uma das classes representa cerca de 25% do total dos poços. Esta classificação foi feita objetivando situar áreas/condições de produtividade em planta. Assim estes poços foram plotados em um mapa que serviu de base para a correlação com outros parâmetros estudados (figura 3).

Quadro 2: Classificação da produtividade dos poços.

Classe	Produtividade
Ótima	Maior que 0,33 m ³ /h/m
Boa	Entre 0,10 e 0,33 m ³ /h/m
Regular	Entre 0,05 e 0,10 m ³ /h/m
Ruim	Menor que 0,05 m ³ /h/m

Estes poços foram plotados primeiramente sobre o mapa geológico (Cetesb et al., 1997), buscando correlações entre a produtividade e alguns tipos litológicos (figura 4).

Inicialmente, a plotagem dos poços sobre o mapa geológico visava observar se algumas das unidades geológicas exploradas apresentavam poços com as maiores vazões. Isso poderia ser justificado pela presença de uma rocha de maior susceptibilidade a fraturamentos. Para visualizar melhor esta correlação de poços produtivos versus litologia, criou-se a tabela 3:

Tabela 3: Poços X unidade geológica.

Unidade	Ótima	Boa	Razoável	Ruim	Total	% de poços bons
GJE	3	0	1	0	4	75%
GJP	3	7	1	6	17	18%
MI	3	2	2	1	8	38%
IDR	1	1	2	1	5	20%
OM	6	0	0	0	6	100%
GGn	0	0	0	1	1	0%
GnP	6	1	4	1	12	50%
GnB	5	3	3	7	18	28%
BPGn	1	1	5	7	14	7%
GME	0	1	1	0	2	0%
GnF	1	0	0	0	1	100%
GMP	0	1	1	0	2	0%
Total					90	
Média de poços por unidade geológica					7,5	

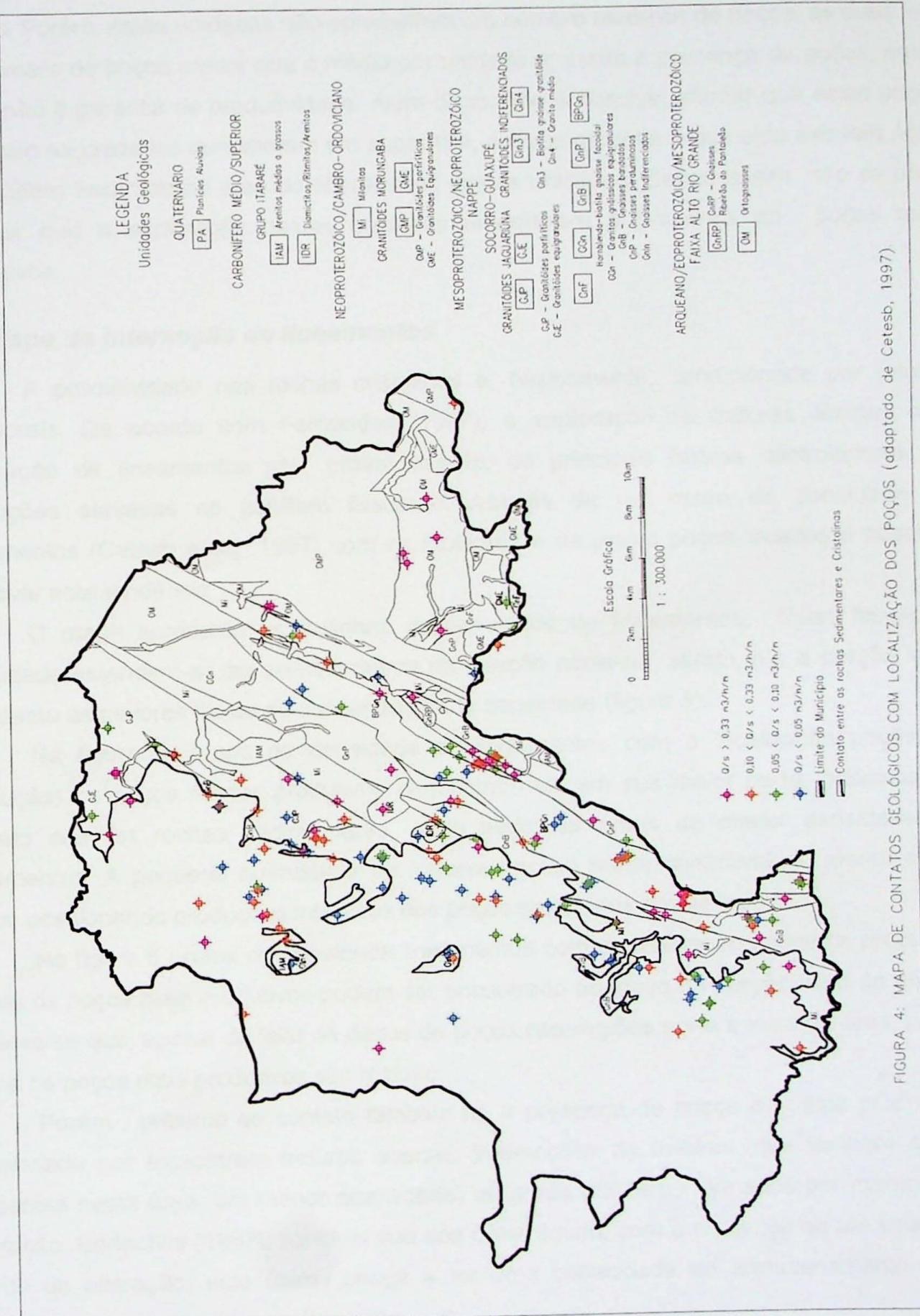


FIGURA 4: MAPA DE CONTATOS GEOLÓGICOS COM LOCALIZAÇÃO DOS FOÇOS (adaptado de Cetesb, 1997)

Apenas duas unidades apresentam percentual significativo de poços de produtividade ótima: os granitóides equigranulares da Nappe Socorro-Guaxupé (GJE), com 3 poços ótimos e 1 razoável e os ortognaisses da faixa Alto Ribeira (OM), com 6 poços ótimos. Porém, estas unidades não apresentam um número razoável de poços, as duas tem um número de poços menor que a média por unidade e; assim a presença de poços, neste caso, não é garantia de produtividade. Além disso, não é possível afirmar que estes poços exploram as unidades que afloram em superfície, a única garantia é que eles extraem água do aquífero fissurado na área de afloramento destas unidades. Sendo assim, não se pode concluir que a exploração destas unidades determinem a presença de poços mais produtivos.

6.2 Mapa de interseção de lineamentos

A produtividade nas rochas cristalinas é, basicamente, condicionada por fatores estruturais. De acordo com Fernandes (1997), a exploração de fraturas abertas e a interseção de lineamentos são, provavelmente, os principais fatores controladores de produções elevadas no aquífero fissurado. Através de um mapa de densidade de lineamentos (Cetesb *et al.*, 1997) com os melhores e os piores poços locados é possível observar esta tendência.

O mapa apresenta as isolinhas de densidade de lineamentos. Estas faixas de densidade estendem-se aproximadamente na direção norte-sul, sendo que a porção leste apresenta as maiores faixas de concentração de densidade (figura 5).

Na figura 5 (mapa de densidade de lineamentos com a localização poços de produção) os poços menos produtivos concentram-se, em sua maior parte, próximos ao contato com as rochas sedimentares, onde estão as áreas de menor densidade de lineamentos. A pequena quantidade de fraturas implica numa conectividade menor entre estas, ocasionando produções inferiores dos poços perfurados nestes locais.

Na figura 6 (mapa de densidade lineamentos com a localização poços de produção ótima) os poços mais produtivos podem ser encontrado ao longo da porção leste da área e observa-se que, apesar da falta de dados de poços nas regiões norte e leste da área, nesta última os poços mais produtivos são maioria.

Porém, próximo ao contato também há a presença de poços de ótima produção, ocasionada por explorarem fraturas abertas, interseções de fraturas (que também estão presentes nesta área, em menor quantidade) ou ainda aquíferos formados por mantos de alteração. Bertachini (1987), concluiu que sob clima úmido, com a presença de um espesso manto de alteração, este último chega a ter uma capacidade de armazenamento bem superior à encontrada no meio fissurado.

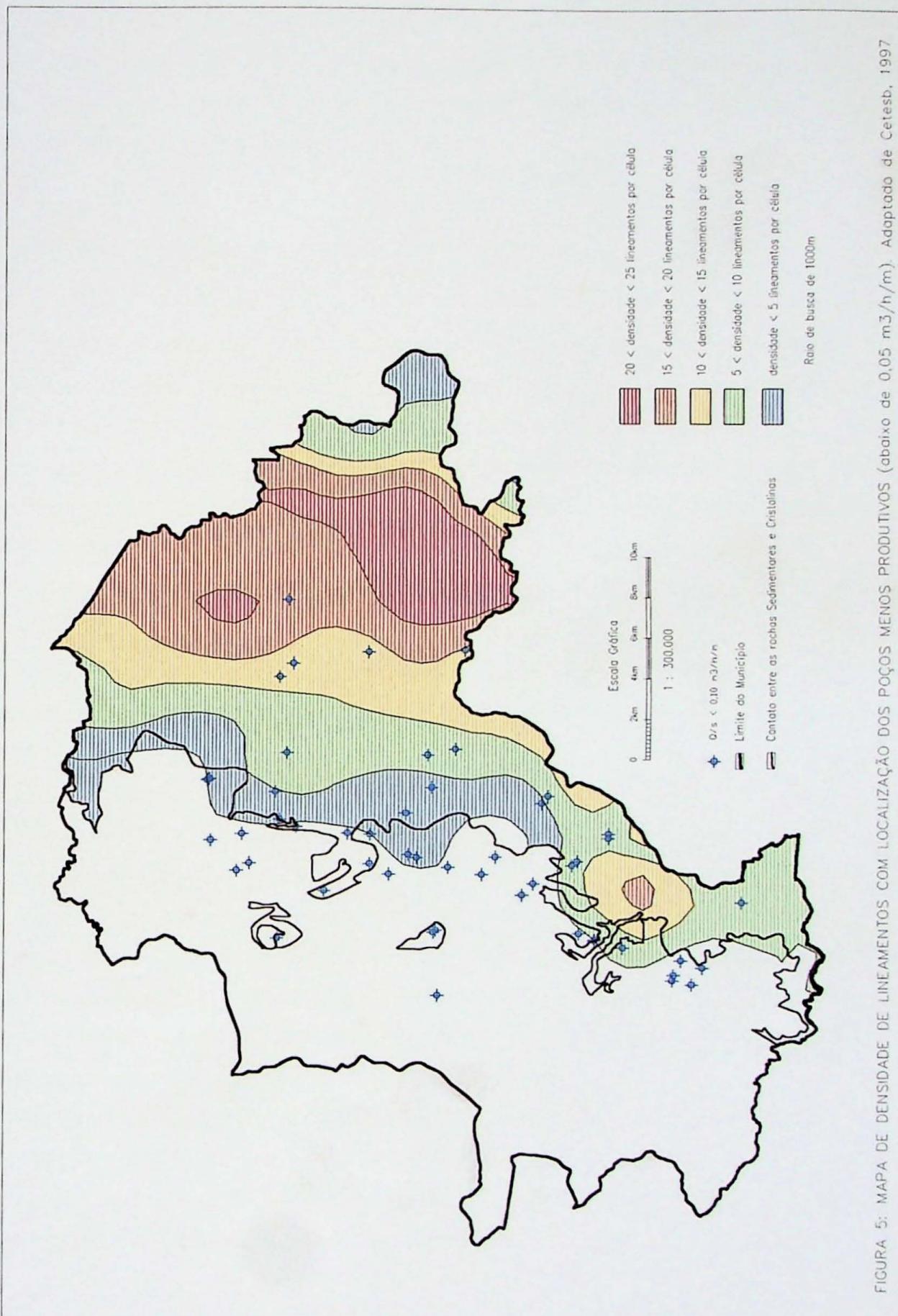


FIGURA 5: MAPA DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS COM LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS MENOS PRODUTIVOS (abaixo de 0,05 m³/h/m). Adaptado de Cetesb, 1997

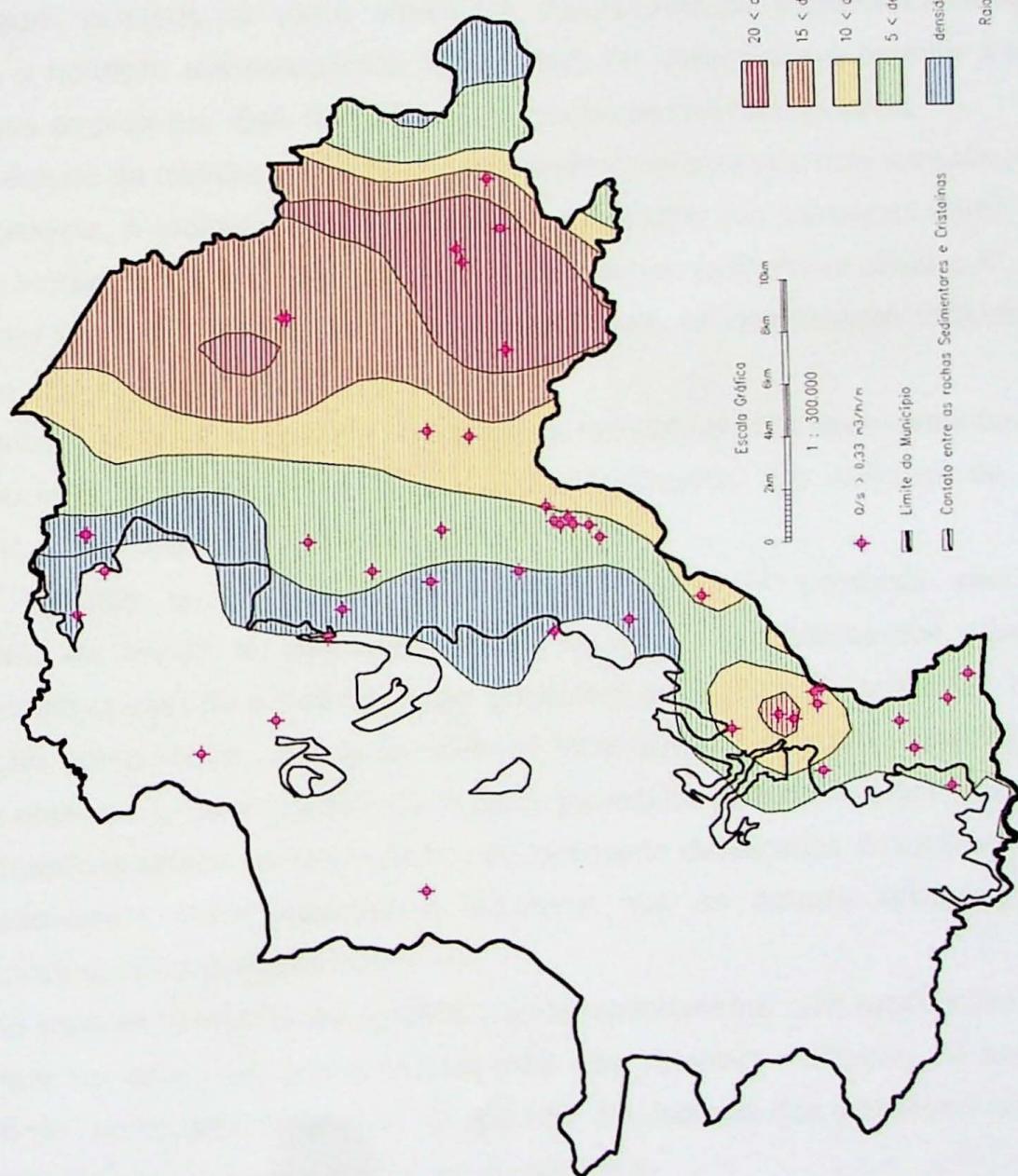


FIGURA 6: MAPA DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS COM LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS MAIS PRODUTIVOS (acima de 0,33 m³/m³). Adaptado de Cetesb, 1997.

Deve-se notar, ainda, que há um número bem maior de dados de poços na faixa próxima ao contato com as rochas sedimentares.

Isto tudo leva a crer que a probabilidade de se obter boas vazões é maior nas faixas de densidade mais elevada. A faixa da área próxima ao contato apresenta um número bem maior de poços, mas a incidência de baixas produções é mais freqüente que nas áreas de maior densidade de lineamentos. Isto ocorre através da alta conectividade que se apresenta devido à abundância de estruturas.

6.3 Gamaespectrometria

Alguns isótopos de vários elementos desintegram-se espontaneamente emitindo partículas e radiação eletromagnética, que podem ser detectadas e permitir a locação do material que as produziu. Este fenômeno é conhecido como radioatividade.

O estudo da distribuição de material radioativo na subsuperfície terrestre é realizado pela radiometria. A radiometria pode utilizar a cintilometria (ou contagem gama total) para identificar indiscriminadamente a presença de elementos radioativos como o K, U e Th ou estimar, por meio de espectrômetros de vários canais, as quantidades individuais destes elementos, na chamada espectrometria gama.

Embora existam muitos outros elementos radioativos, nos levantamentos geofísicos aéreos ou terrestres, apenas U, Th e K são considerados. Em datações de rochas em laboratório, são analisados outros elementos.

A unidade de medida da atividade radioativa em geofísica são contagens (cintilações) por minuto ou por segundo (cpm ou cps). Os sensores dos espectrômetros gama utilizam cristais de substâncias que produzem cintilações ao receberem a incidência da radiação, como por ex., cristais de iodeto de sódio ativados com tálio – NaI(Tl).

A observação do mapa com os contatos geológicos plotados mostra que as unidades mais feldspáticas (maior conteúdo de K) são facilmente destacadas do restante da imagem por apresentarem maior *background* radioativo que as demais litologias. (Figura 7-Gamaespectrometria e contatos litológicos).

No entanto, a análise da figura 8 (Gamaespectrometria com localização dos poços) mostra que os dados de gamaespectrometria não mostram indicação de áreas onde a produção dos poços seja satisfatória, já que não dão indícios das estruturas presentes nas rochas responsáveis por um aumento de produtividade.

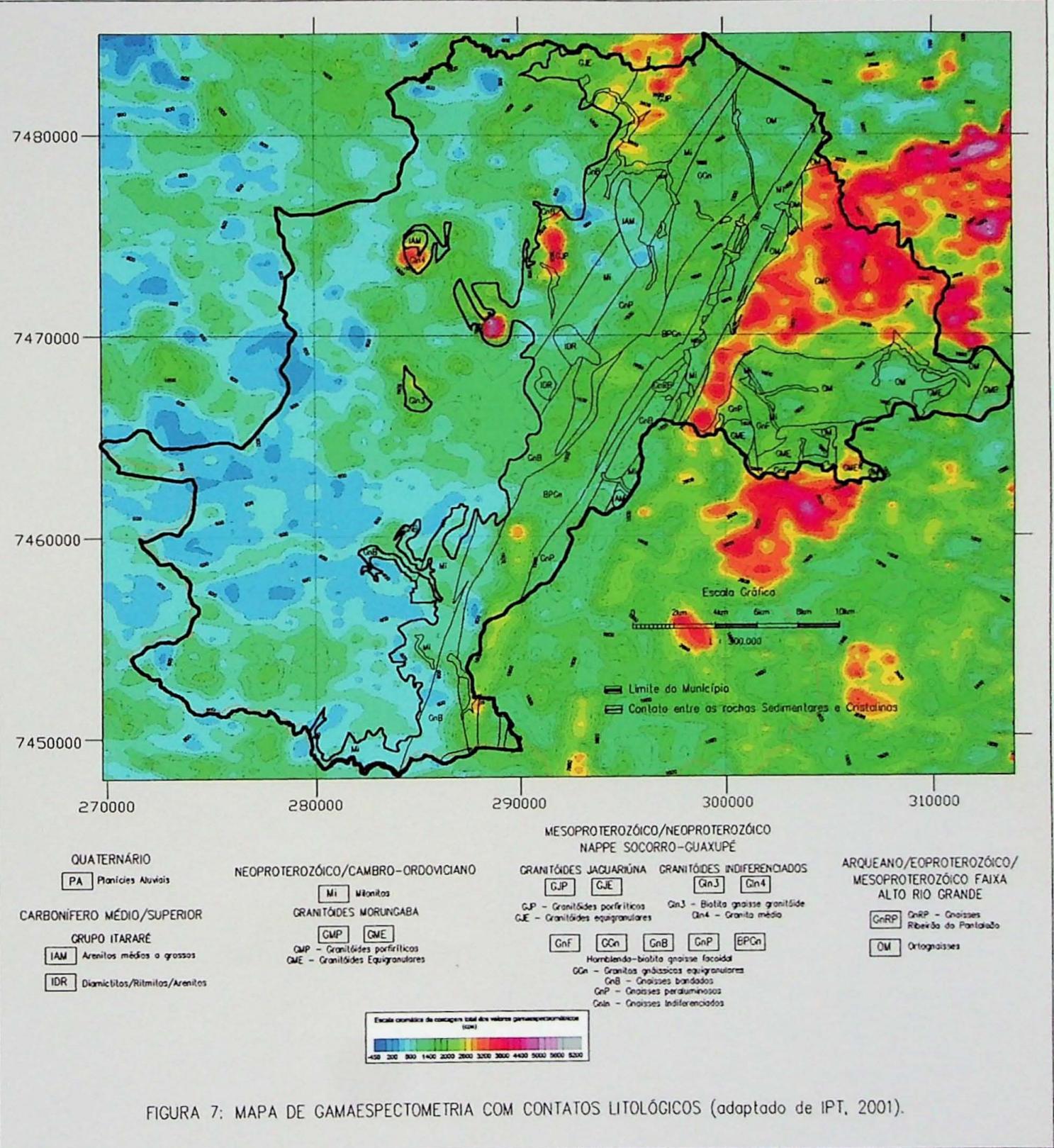


FIGURA 7: MAPA DE GAMMAESPECTOMETRIA COM CONTATOS LITOLOGICOS (adaptado de IPT, 2001).

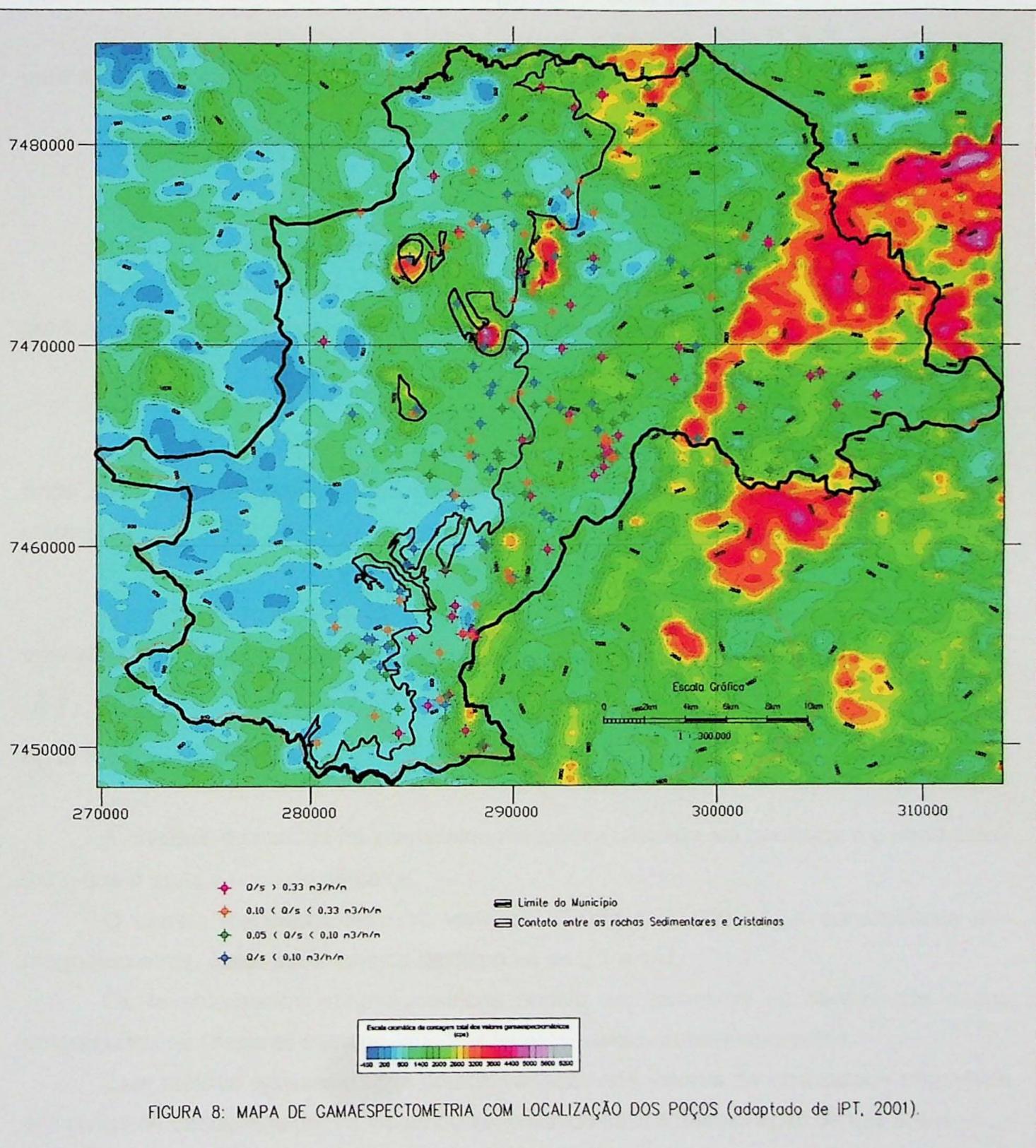


FIGURA 8: MAPA DE GAMAESPECTOMETRIA COM LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS (adaptado de IPT, 2001).

6.4 Magnetometria

A magnetometria é o método geofísico que estuda as propriedades magnéticas dos materiais em subsuperfície.

A prospecção magnetométrica baseia-se nas variações locais do campo magnético terrestre originadas pela presença, no subsolo, de rochas contendo minerais com diferentes susceptibilidades magnéticas, tais como magnetita, ilmenita e pirrotita.

Natureza do magnetismo – a força f atuando entre dois pólos P_1 e P_2 , separados por uma distância r é expressa segundo a Lei de Coulomb

$$f = \frac{1}{\mu} \frac{P_1 P_{21}}{r^2}$$

onde μ é a permeabilidade magnética do meio

Campo Magnético H – define-se o campo magnético H em P_1 como sendo o produzido pela presença de um polo magnético P_2 em P_1 como

$$H = \frac{f}{P_1} = \frac{1}{\mu} \frac{P_2}{r^2}$$

onde P_2 é um polo magnético fictício no espaço onde o sensor P_1 localiza-se a uma distância r

Quando um material qualquer é submetido ao efeito do campo H , ele adquire uma intensidade de magnetização (ou imantação) M , proporcional ao campo

$$M = kH$$

onde k é a susceptibilidade magnética do material.

A unidade de medida da intensidade magnética utilizada em geofísica é o nano Tesla (nT), que é igual à unidade gama (γ).

O campo magnético terrestre varia de 25.000 a 70.000 nT. A sensibilidade dos magnetômetros, usual em trabalhos de campo é de 0,1 a 1nT.

Os levantamentos magnetométricos podem ser terrestres ou aéreos. Os dados empregados no presente trabalho foram de levantamentos aerotransportados.

Este método apresenta uma grande variação nos valores de intensidade magnética em zonas de descontinuidades, podendo ser utilizado para a identificação de tais áreas.

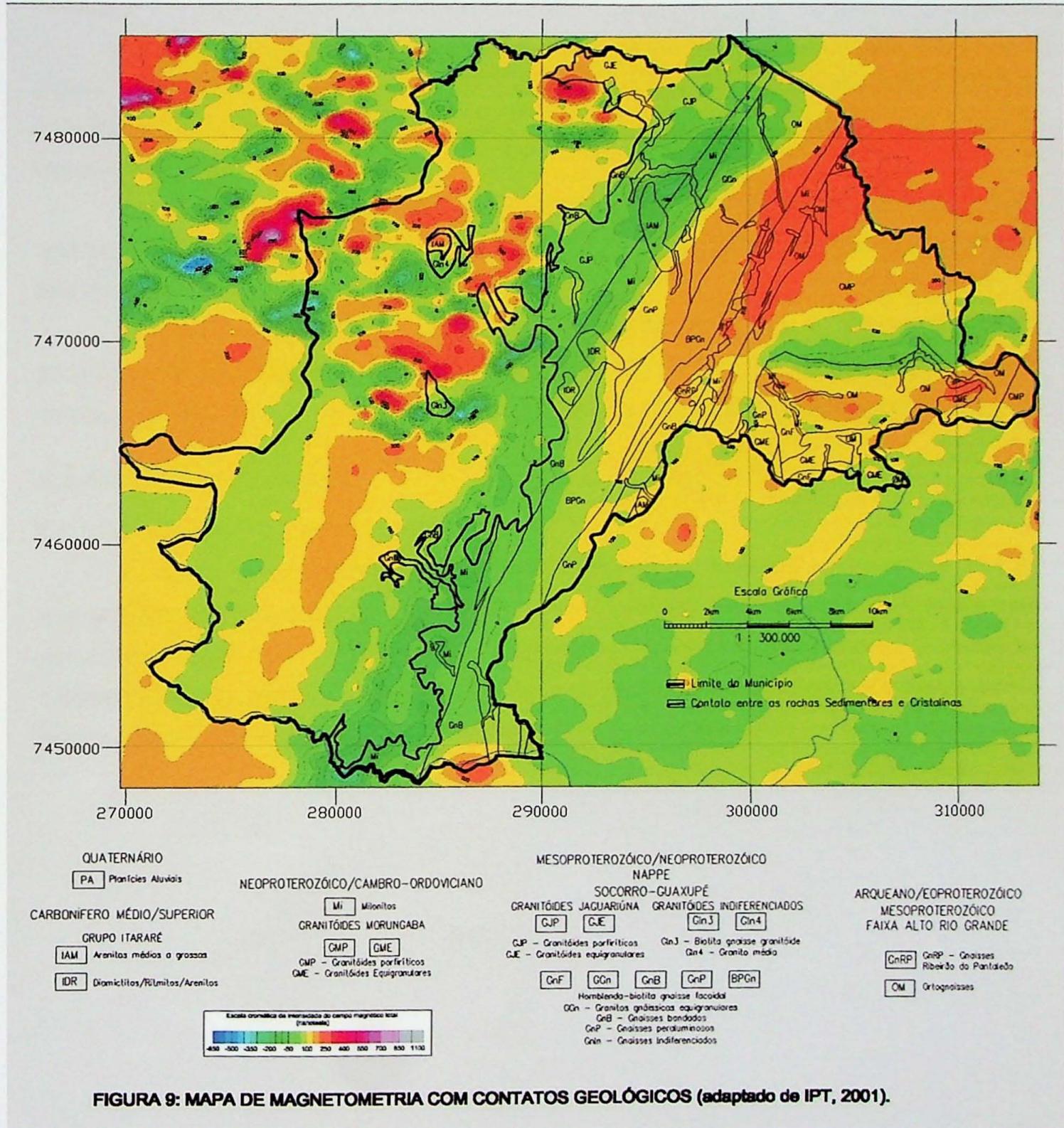


FIGURA 9: MAPA DE MAGNETOMETRIA COM CONTATOS GEOLÓGICOS (adaptado de IPT, 2001).

A figura 9 (magnetometria e contatos geológicos) nos mostra que nas proximidades do contato entre rochas cristalinas e sedimentares a variação nos valores de magnetometria é brusca. A forma alongada da mancha esverdeada e a proximidade entre as linhas de isovalores se destacam próximo ao contato.

Como a presença de feições estruturais é essencial na produtividade dos poços do aquífero cristalino, estes lineamentos podem indicar a presença de descontinuidades que são favoráveis à locação de poços nestas estruturas. Assim, a figura 10 (magnetometria e localização dos poços) visa realizar esta correlação.

Através dos valores de magnetometria pode-se traçar lineamentos magnéticos (figura 11). Com o objetivo de observar se nas proximidades destes lineamentos havia a ocorrência de poços produtivos foi confeccionada a figura 12 (localização dos poços e lineamentos magnéticos).

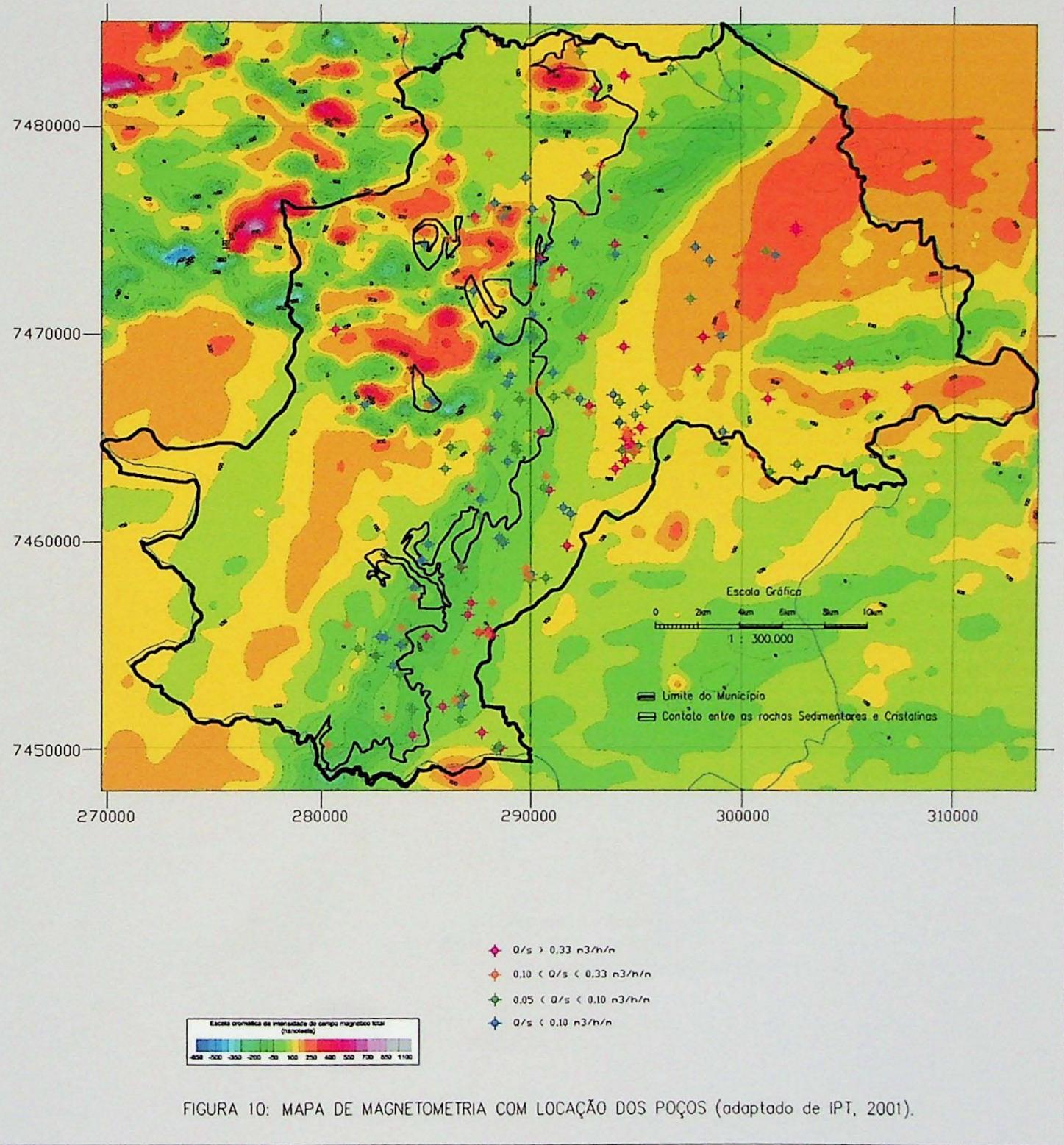
Constata-se que os lineamentos localizam-se, em sua maioria, na área de rochas sedimentares do município; enquanto os lineamentos identificados na área de estudo não dão indicação de poços produtivos.

Observa-se na figura 12 que na porção norte da área, que é atravessada pelos principais lineamentos magnéticos, não há registro de perfurações, o que prejudica uma correlação mais precisa entre as estruturas magnéticas e a produtividade dos poços.

6.5 Eletrorresistividade

6.5.1 As Medidas de Eletrorresistividade

As técnicas mais utilizadas para medir-se a resistividade em subsuperfície são as que utilizam uma fonte artificial para introduzir uma corrente elétrica no subsolo. Isto é feito por intermédio de dois eletrodos em contato galvânico com o solo. Mede-se o potencial estabelecido pelo fluxo de corrente por meio de outro par de eletrodos posicionados nas proximidades, determinando-se a resistividade efetiva ou aparente.



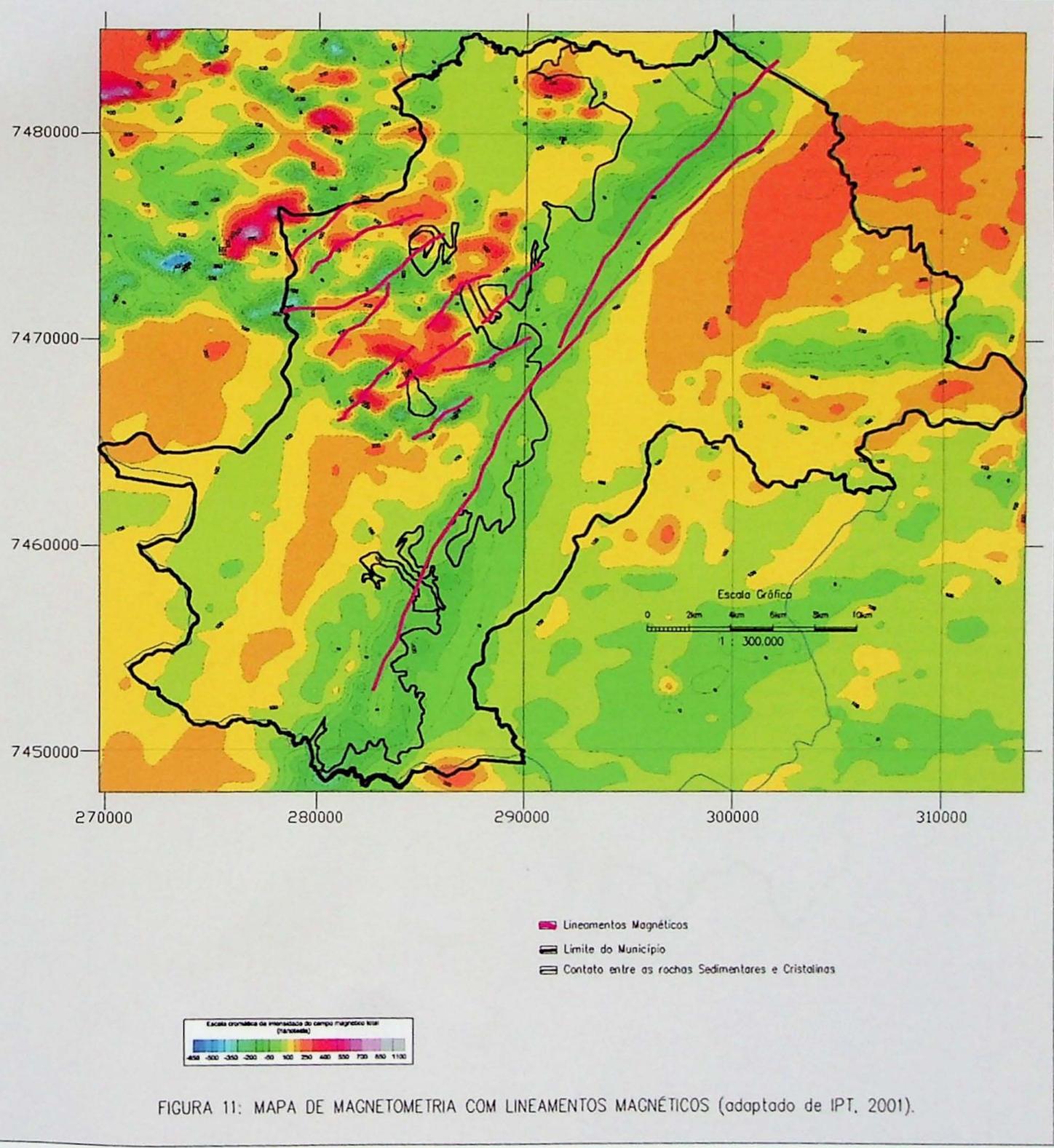


FIGURA 11: MAPA DE MAGNETOMETRIA COM LINEAMENTOS MAGNÉTICOS (adaptado de IPT, 2001).

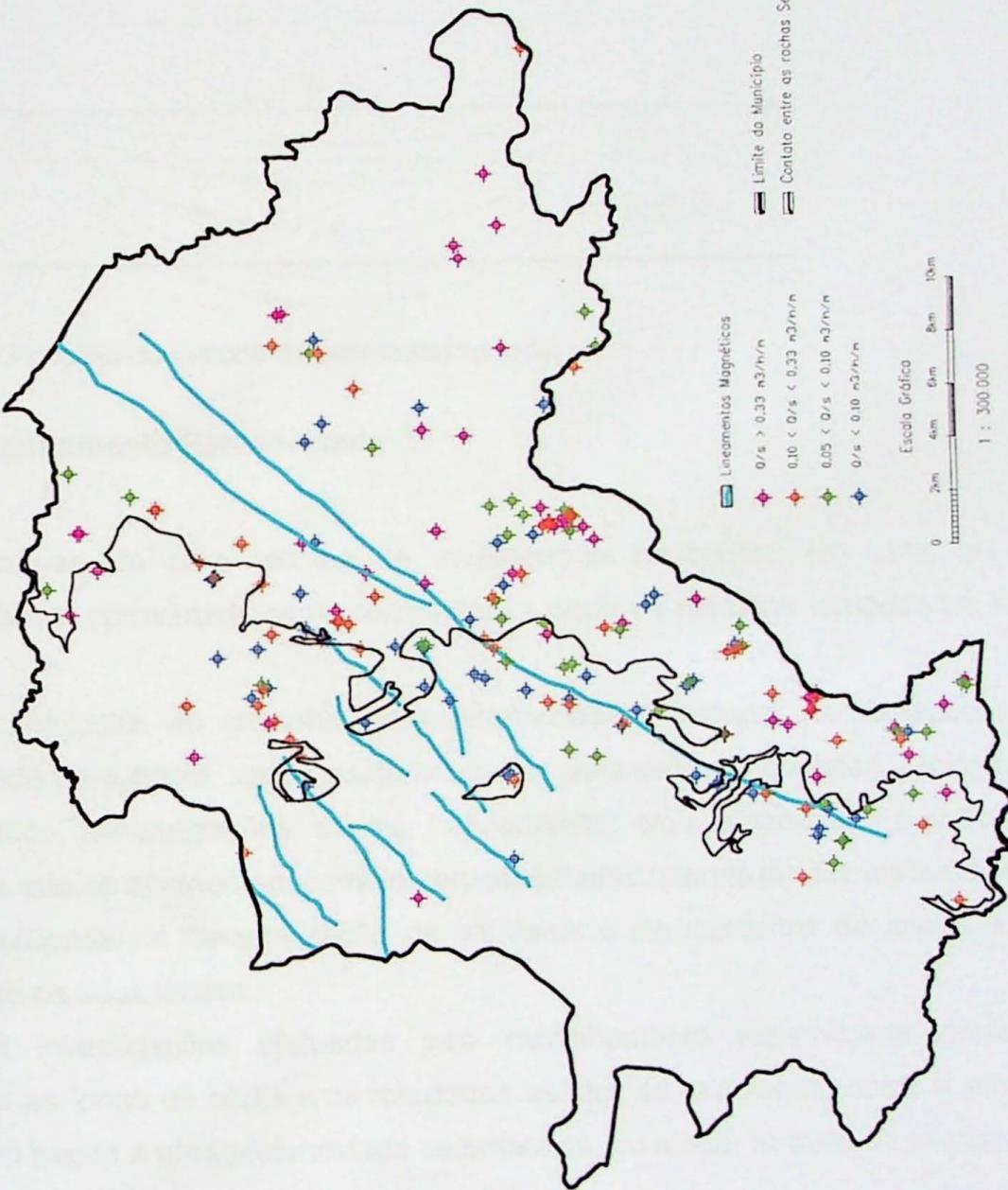


FIGURA 12: MAPA DE LINEAMENTOS GEOLÓGICOS COM LOCALIZAÇÃO DOS PÔCOS (adaptado de IPT, 2001)

6.5.2 Resistividade Aparente (Ra)

A resistividade aparente é o parâmetro fornecido pelo método da eletrorresistividade. Seu princípio é baseado na passagem pelo solo de uma corrente contínua de intensidade I, transmitida por um par de eletrodos A e B, ligado a um emissor E (baterias ou grupo-gerador). Mede-se a diferença de potencial V entre dois eletrodos M e N, conforme mostra a figura 13, e a resistividade aparente (Ra) é dada pela fórmula $R_a = KC/I$, onde K é um coeficiente que depende das dimensões e arranjo do quadripolo AMNB.

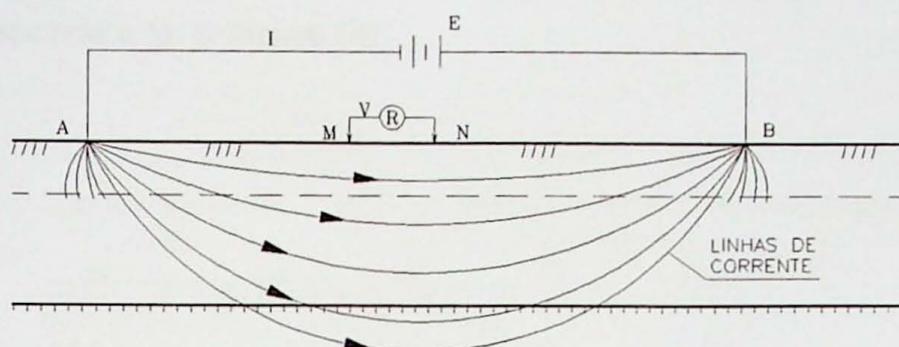


Figura 13 - Princípio do método da eletrorresistividade.

6.5.3 Caminhamento Resistividade

Objetivo

Trata-se de uma técnica de investigação horizontal, em uma ou em várias profundidades, aproximadamente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno.

A finalidade do caminhamento resistividade é estudar as variações laterais da resistividade do subsolo, sendo muito adequado para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos e outros corpos ou estruturas que se apresentem como heterogeneidades laterais destes parâmetros. Pode ser também utilizada na caracterização de aquíferos e de depósitos de areias e cascalhos, delineando os seus limites.

As investigações efetuadas pelo caminhamento resistividade geralmente são efetuadas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada, ou ainda, através de seções com várias profundidades de investigação.

Arranjos

Arranjo Dipolo-Dipolo/Pseudo-seções de Resistividade

As pseudo-seções são assim chamadas porque os dados obtidos de diferentes níveis de investigação não correspondem aos valores reais dos parâmetros de cada camada investigada e referem-se a valores aparentes de resistividade. De forma semelhante, as profundidades na seção vertical são também apenas qualitativas.

Na interpretação dos dados das pseudo-seções obtém-se informações qualitativas sobre a posição espacial dos corpos polarizáveis e, mais raramente, pode-se estimar o seu mergulho. Como decorrência, as informações são tão mais precisas quanto melhor a definição de uma anomalia resistividade.

O arranjo eletródico de pseudo-seções utilizado neste trabalho foi o dipolo-dipolo, e neste arranjo, os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção, são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos $X = AB = MN$. A profundidade de investigação cresce com R e teoricamente corresponde a $\frac{1}{2} R$ (figura 14).

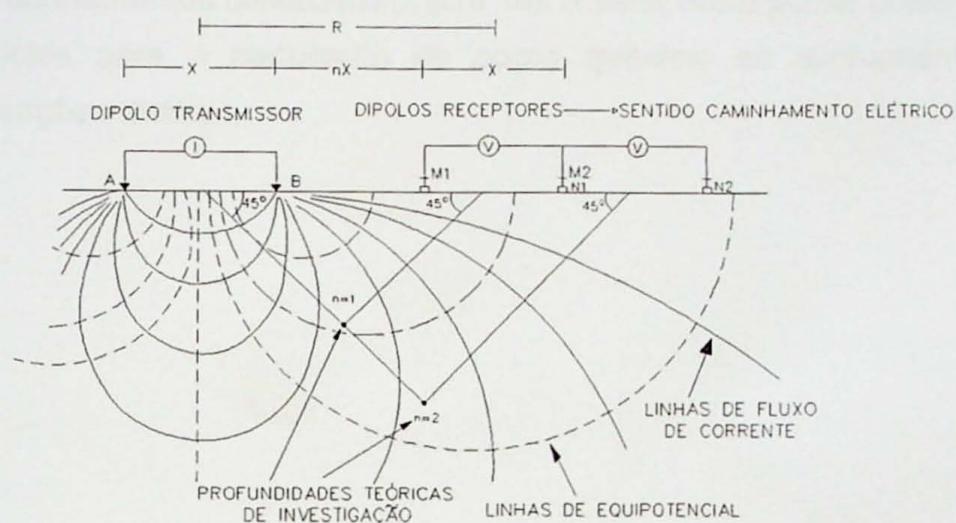


Figura 14 - Caminhamento Resistividade/Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo.

Comumente, as medidas são realizadas em várias profundidades de investigação, isto é, $n = 1, 2, 3, 4$ e 5 , e atribuídas na interseção das linhas que partem a 45° dos centros de AB e MN.

A cada estação, os dois dipolos são deslocados a uma distância igual a X, e os dados obtidos são plotados nas posições $n = 1, 2, 3, \dots$ e interpolados, gerando uma pseudo-seção de resistividade aparente.

Neste trabalho é apresentado, como exemplo, o estudo realizado pelo IPT para a empresa Macsol SA, no município de Campinas no ano de 1992 (IPT, 1992), em que foi empregado o método da eletrorresistividade, caminhamento elétrico com o arranjo eletródico dipolo-dipolo, descrito anteriormente.

A análise das pseudo-seções dipolo-dipolo, mostradas na figura 15 indicaram a presença de anomalias de resistividade (valores baixos), que são correlacionáveis a estruturas em subsuperfície – fraturamentos, possíveis aquíferos.

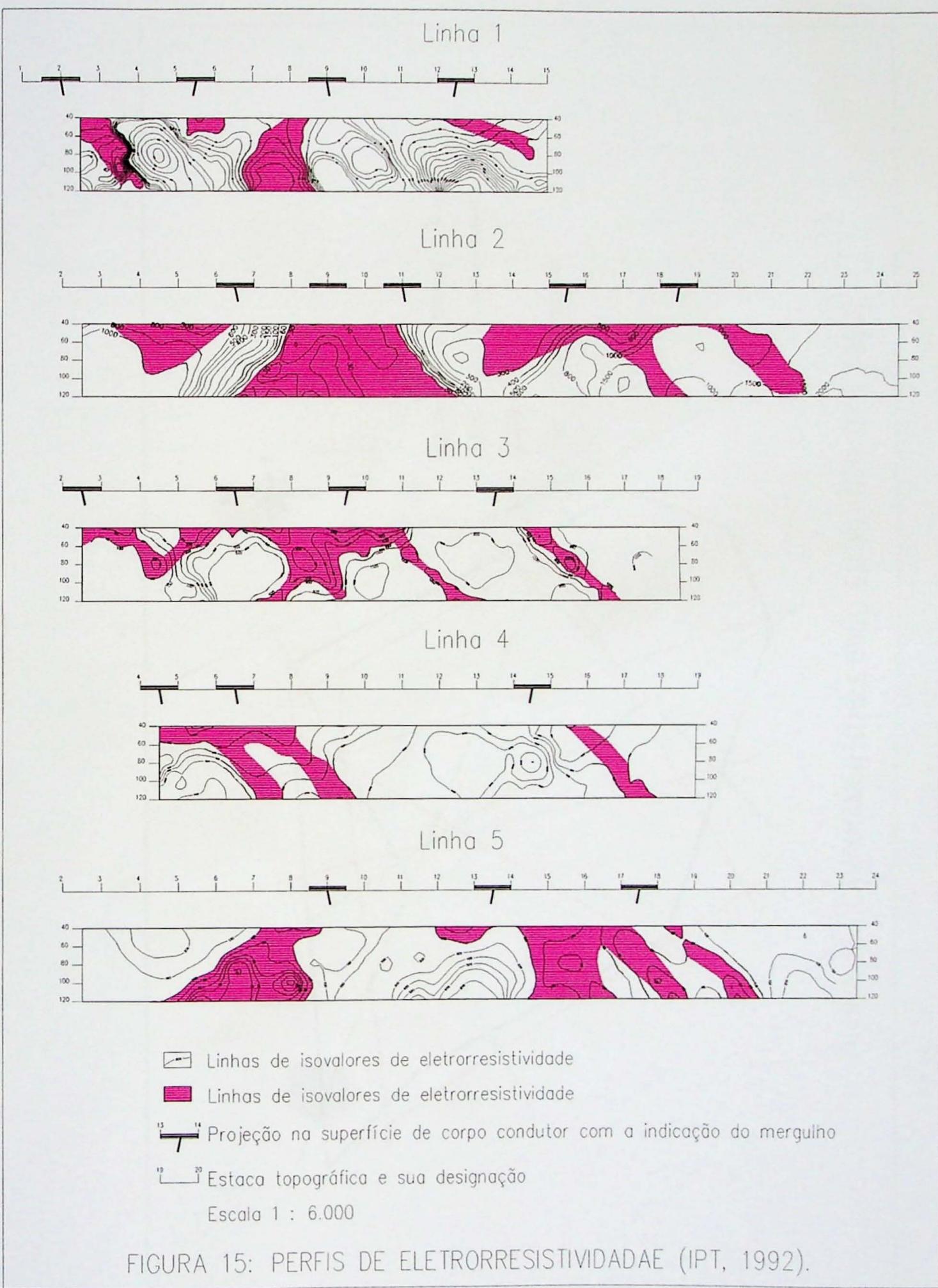
A disposição em planta das anomalias detectadas pelo levantamento de eletrorresistividade permite identificar a presença destas estruturas e sua orientação. A partir

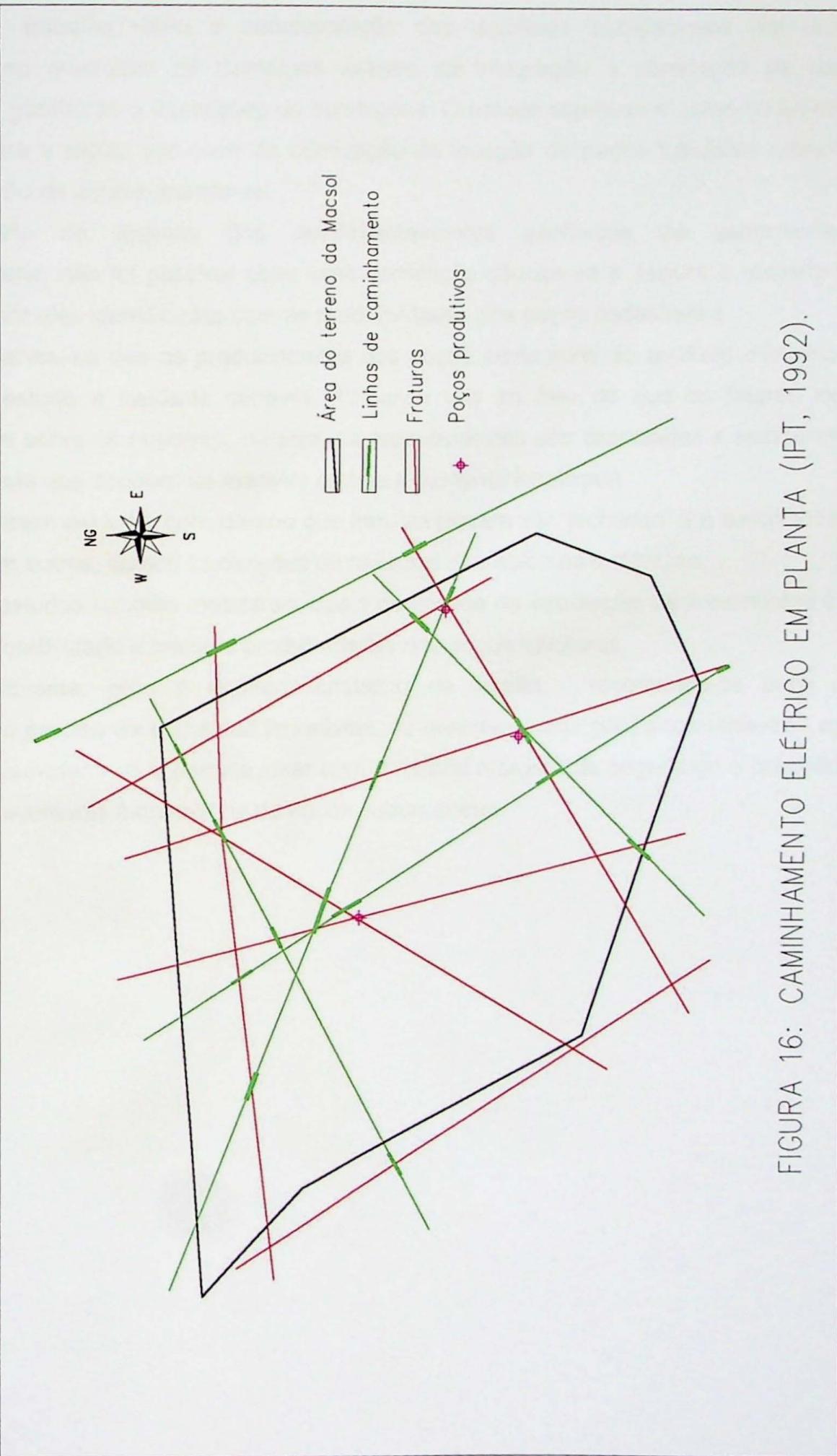
destes dados, torna-se bastante segura a correta locação de um poço, minimizando os riscos de locar-se a sondagem fora da estrutura favorável.

O levantamento permitiu a identificação de seis locais favoráveis à locação de poços tubulares, conforme indicado na figura 16.

Posteriormente, houve a efetivação de três perfurações, todas elas resultando em poços produtivos.

O caminhamento geoelétrico realizado no estudo do IPT gerou 5 perfis de valores de eletrorresistividade (figura 15). As anomalias condutores presentes nos perfis são causadas por zonas de fraturamento. Dispondo destas anomalias em forma de planta chegou-se a sete alinhamentos condutivos (figura 16). A partir desta planta pôde-se indicar os locais mais propícios para a perfuração de poços (próximo ao alinhamento, de preferência, em interseções destes).





7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho visou a caracterização dos aquíferos subterrâneos em rochas cristalinas no município de Campinas através da integração e correlação de dados geológicos, geofísicos e descrições de sondagens. O estudo objetivou o aumento na oferta de água para a região por meio da otimização da locação de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea.

Devido às escalas dos aerolevantamentos geofísicos de radiometria e magnetometria, não foi possível obter uma correlação conclusiva e segura a respeito das estruturas por eles identificadas com as produtividades dos poços cadastrados.

Observou-se que as produtividades dos poços perfurados no aquífero cristalino da região do estudo é bastante variável. Atribui-se isto ao fato de que os fatores locais predominam sobre os regionais, ou seja, as produtividades são associadas a estruturas de pequeno porte que ocorrem de maneira restrita e bastante localizada.

Também deve ser considerado que fraturas podem ser "fechadas" em certos locais e "abertas" em outros, devido às direções ou natureza dos esforços tectônicos.

Os estudos também mostraram que a densidade de interseção de lineamentos é um fator de favorabilidade a maiores produtividades dos poços tubulares.

Finalmente, para o aquífero cristalino da região, recomenda-se para uma identificação precisa de estruturas favoráveis, os levantamentos geofísicos terrestres como a eletrorresistividade, que permite locar com uma boa margem de segurança e precisão as estruturas favoráveis à ocorrência de águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTACHINI, A.C. 1987. Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiaí. São Paulo. 180p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CAVALCANTE, I.N. 1990. Estudo Hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo: área piloto de Atibaia (SP). São Paulo. 123p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CETESB, DAEE, IG. 1997. Mapeamento de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. SMA. 2v.

FERNANDES, A.J. 1997. Tectônica Cenozóica na porção média da bacia do rio Piracicaba e sua aplicação à Hidrogeologia. São Paulo. 239p. Tese (Doutoramento)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

FERNANDES, A.J.; AZEVEDO SOBRINHO, J.M.; TEIXEIRA, A.L.; BOGGIANI, P.C.; GARDA, G.M. 1993. Geologia do Município de Campinas. In: Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas (SP). São Paulo. Instituto Geológico - SMA, São Paulo, Vol. 2, p. 2-51.

FERREIRA, F.J.F. 1991. Aerogamaespectometria e aeromagnetometria de um trato ocidental do Pré-Cambriano paulista. São Paulo. 142p. Tese (Doutoramento)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

GALLAS, J. D. F. 2000-Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Rio Claro, 174pp Tese (Doutoramento) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

HASSUDA, S.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; LOPES, M.C.; BERTOLO, R.; HIRATA, R.C.A.; FERREIRA, L.M.R. 1993. Hidrogeologia do Município de Campinas. In: Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas (SP). São Paulo. Instituto Geológico - SMASP. Vol. 2, p. 139-221.

INSTITUTO GEOLÓGICO. 1993. Mapa Geológico do Município de Campinas. São Paulo. Instituto Geológico - SMASP.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1992. Estudos geológicos e geofísicos para subsidiar a locação de poços para a captação de água subterrânea. São Paulo, IPT. (Relatório nº 30.026)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 2000. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - UGRHI 5 (Unidade de Gerenciamento de recursos Hídricos 5). São Paulo, IPT.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 2001. Primeiro relatório parcial do Projeto de desenvolvimento metodológico para locação de poços para abastecimento de água a partir de subsídios geológico-geofísicos, tendo como área piloto a região de Campinas e arredores. São Paulo, IPT. (Relatório nº 54.128)

MARCONDES, P.E.P. 2001. Análise de correlação entre dados geofísicos e geomecânicos de rochas do embasamento cristalino da Cidade Universitária. Monografia (Trabalho de Formatura-TF-2001/32). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ODA, G.H. 1998. Contribuição à hidrogeologia da região entre Salto de Pirapora e Itu (SP): análise da produtividade, ocorrência e circulação das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

YOSHINAGA-PEREIRA, S. 1996. Proposta de representação cartográfica na avaliação hidrogeológica para estudo de planejamento e meio ambiente, exemplo da região metropolitana de Campinas, S.P. São Paulo. 180p. Tese (Doutoramento)- Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

Anexos

CÓD	Coord UTMU	Coord UTMR	Profundidade (m)	Vazao (m³/h)	Nivel Estático(m)	Nivel Dinâmico (m)	Q/s (m³/h/m)	Fonte
1	284990	7455390	40,00	7,20	10,0	30,0	0,36	CPRM
2	291090	7466970	41,00	1,80	14,0	32,0	0,10	CPRM
3	302570	7475040	41,00	24,00	6,0	30,0	1,00	CPRM
4	294340	7464390	42,00	1,40	24,0	40,0	0,09	CPRM
5	283730	7453550	42,50	1,00	23,5	38,9	0,06	CPRM
6	283130	7451500	43,00	2,40	18,0	34,6	0,14	CPRM
7	291470	7473140	49,00	11,00	8,0	40,0	0,34	CPRM
8	280680	7470200	49,50	6,00	8,0	25,0	0,35	CPRM
9	290970	7472690	50,00	2,00	24,0	33,0	0,22	CPRM
10	286650	7458740	50,00	14,00	12,0	38,0	0,54	CPRM
11	286100	7474610	51,00	7,00	4,0	35,0	0,23	CPRM
12	284330	7450630	51,00	31,58	4,0	37,7	0,94	CPRM
13	297950	7468300	52,00	10,70	12,0	40,0	0,38	CPRM
14	291720	7459780	54,00	8,00	20,0	39,0	0,42	CPRM
15	295300	7479780	57,00	5,00	2,0	43,0	0,12	CPRM
16	295350	7479750	57,00	7,80	2,5	48,0	0,17	SIDAS
17	287930	7455480	59,50	4,80	1,0	20,0	0,25	CPRM
18	288390	7466100	60,00	0,50	3,0	40,0	0,01	CPRM
19	301260	7463350	60,00	1,50	2,0	30,0	0,05	CPRM
20	294900	7464300	60,00	3,50	11,0	54,0	0,08	CPRM
21	286810	7452530	60,00	7,00	3,0	24,0	0,33	CPRM
22	288150	7455420	60,00	16,00	13,0	37,0	0,67	CPRM
23	294030	7474360	60,00	20,00	10,0	40,0	0,67	CPRM
24	287990	7478710	61,00	3,00	12,0	40,0	0,11	CPRM
25	295220	7465480	64,00	14,14	24,0	59,0	0,40	CPRM
26	284400	7457280	65,00	7,00	10,0	36,0	0,27	CPRM
27	301400	7475410	66,00	5,00	4,0	48,0	0,11	CPRM
28	287110	7462500	66,00	3,00	20,0	46,0	0,12	CPRM
29	284320	7451860	70,00	2,18	5,0	43,0	0,06	CPRM
30	287550	7461200	70,00	3,00	18,0	63,0	0,07	CPRM
31	292770	7466210	71,50	7,00	4,0	30,0	0,27	CPRM
32	285880	7463490	72,00	4,30	12,0	60,0	0,09	CPRM
33	294030	7463500	72,00	19,80	0,0	50,0	0,40	SIDAS
34	294500	7463900	72,00	20,50	10,0	50,0	0,51	CPRM
35	290870	7462480	74,00	16,00	11,0	41,0	0,53	CPRM
36	283040	7455320	80,00	1,80	20,0	58,0	0,05	CPRM
37	297550	7471720	80,00	4,40	3,0	63,0	0,07	CPRM
38	294880	7464330	80,00	6,00	13,0	52,5	0,15	CPRM
39	301090	7473680	80,00	5,00	10,0	35,0	0,20	CPRM
40	287980	7455690	80,00	15,00	13,0	42,0	0,52	CPRM
41	287520	7455570	80,00	18,00	10,0	42,0	0,56	CPRM
42	293090	7481890	80,00	16,64	1,7	14,0	1,35	CPRM
43	299750	7472400	81,00	6,00	3,0	60,0	0,11	CPRM
44	298180	7469880	84,00	7,00	22,0	42,0	0,35	CPRM
45	288760	7475950	84,70	1,80	19,0	45,0	0,07	CPRM
46	290010	7458410	87,00	0,60	12,0	62,0	0,01	CPRM
47	292760	7477650	90,00	18,00	3,0	70,0	0,27	CPRM
48	292780	7466550	90,00	43,00	1,5	33,0	1,37	CPRM
49	307760	7467470	90,00	8,80	2,5	8,0	1,60	CPRM
50	302560	7475210	90,00	14,90	2,0	8,0	2,48	CPRM
51	294980	7464380	94,00	8,80	27,0	63,0	0,24	CPRM
52	290610	7462580	95,00	2,90	24,0	72,0	0,06	CPRM
53	285190	7466810	96,00	0,10	55,0	90,0	0,00	CPRM
54	294520	7464970	96,00	8,00	11,0	12,0	8,00	CPRM

CÓD	Coord UTMU	Coord UTMR	Profundidade (m)	Vazao (m ³ /h)	Nivel Estático(m)	Nivel Dinamico (m)	Q/s (m ³ /h/m)	Fonte
55	294050	7473880	98,00	3,00	9,0	70,0	0,05	CPRM
56	295310	7467380	100,00	3,20	16,0	75,0	0,05	CPRM
57	290130	7469820	100,00	3,00	11,7	42,0	0,10	CPRM
58	287490	7455630	100,00	7,20	11,5	34,2	0,32	CPRM
59	287140	7457000	100,00	7,00	16,0	24,0	0,88	CPRM
60	294530	7464490	100,00	13,20	20,0	30,0	1,32	CPRM
61	298460	7473580	102,00	2,00	18,0	68,0	0,04	CPRM
62	301100	7474020	102,00	5,00	10,0	75,0	0,08	CPRM
63	294600	7465210	102,00	6,40	24,0	70,0	0,14	CPRM
64	294540	7465400	102,00	12,00	12,0	72,0	0,20	CPRM
65	285770	7452010	102,00	12,80	18,0	48,0	0,43	CPRM
66	289820	7458420	103,00	2,20	10,0	70,0	0,04	CPRM
67	297780	7474230	104,00	0,40	6,0	68,0	0,01	CPRM
68	301590	7473840	104,00	1,20	14,0	85,0	0,02	CPRM
69	291130	7473060	105,00	5,00	14,0	60,0	0,11	CPRM
70	294800	7464690	105,00	15,00	10,0	50,0	0,38	CPRM
71	282070	7466590	108,00	2,40	6,0	90,0	0,03	SIDAS
72	289790	7458420	108,00	6,00	15,0	72,0	0,11	CPRM
73	295120	7464590	110,00	3,50	15,0	70,0	0,06	CPRM
74	288550	7475910	110,00	4,80	15,0	50,8	0,13	CPRM
75	289750	7477560	115,00	3,20	9,8	102,0	0,03	CPRM
76	291460	7482900	115,00	12,80	17,0	43,0	0,49	SIDAS
77	289990	7467270	116,00	6,00	7,5	65,0	0,10	CPRM
78	285040	7466560	118,95	7,20	30,0	90,0	0,12	CPRM
79	288580	7469890	120,00	1,50	17,0	60,0	0,03	CPRM
80	282490	7476680	120,00	5,20	11,0	62,0	0,10	CPRM
81	286360	7452310	120,00	6,00	25,0	80,0	0,11	CPRM
82	290610	7475550	120,00	12,18	12,6	96,0	0,15	CPRM
83	288140	7457030	120,00	9,50	11,0	72,0	0,16	CPRM
84	312460	7466030	120,00	2,30	20,0	27,0	0,33	CPRM
85	294480	7482510	120,00	12,57	12,0	48,0	0,35	CPRM
86	287660	7450750	120,00	6,00	28,0	43,0	0,40	CPRM
87	301230	7466880	120,00	9,50	16,0	30,0	0,68	CPRM
88	288580	7449990	120,00	15,53	1,0	14,0	1,19	CPRM
89	304580	7468450	120,00	7,20	3,0	8,0	1,46	SIDAS
90	294030	7476620	121,00	9,60	6,0	70,0	0,15	CPRM
91	290410	7473690	125,00	12,00	13,0	25,0	1,00	CPRM
92	285280	7466690	126,00	0,72	38,0	102,0	0,01	CPRM
93	294480	7482610	127,00	18,80	11,0	32,0	0,90	CPRM
94	291040	7473080	129,00	14,14	8,5	62,9	0,26	CPRM
95	288630	7475710	130,00	1,00	14,0	45,0	0,03	CPRM
96	289910	7458230	130,00	15,00	17,0	73,0	0,27	CPRM
97	294680	7465200	130,00	3,86	20,0	28,0	0,48	CPRM
98	292750	7477680	132,00	2,20	6,0	120,0	0,02	CPRM
99	290700	7463140	132,00	13,20	11,0	110,0	0,13	CPRM
100	293340	7478180	133,00	9,00	17,0	54,0	0,24	CPRM
101	292890	7472000	134,00	18,00	2,0	15,3	1,35	CPRM
102	285100	7459840	138,00	2,70	28,0	92,0	0,04	CPRM
103	288640	7460080	140,00	6,10	25,0	115,8	0,07	CPRM
104	284000	7455140	140,00	5,00	15,0	85,0	0,07	CPRM
105	305840	7467010	144,00	29,30	20,0	26,5	4,51	CPRM
106	286970	7456450	145,00	22,50	2,8	14,5	1,92	CPRM
107	292140	7474440	147,00	2,57	10,4	70,3	0,04	SIDAS
108	290480	7465270	147,00	28,80	18,0	83,8	0,44	CPRM

CÓD	Coord UTM L	Coord UTM N	Profundidade (m)	Vazao (m ³ /h)	Nivel Estático(m)	Nivel Dinamico (m)	Q/s (m ³ /h/m)	Fonte
109	290430	7473460	148,00	4,00	9,0	90,0	0,05	CPRM
110	286690	7452490	149,00	3,00	27,0	68,0	0,07	CPRM
111	283770	7454970	150,00	0,20	18,0	93,0	0,00	CPRM
112	290070	7476070	150,00	1,09	12,9	81,5	0,02	CPRM
113	292340	7466880	150,00	2,40	30,0	110,0	0,03	CPRM
114	299080	7465290	150,00	3,44	2,0	112,0	0,03	CPRM
115	290910	7465370	150,00	4,47	18,3	105,2	0,05	CPRM
116	289350	7464370	150,00	4,00	16,0	90,0	0,05	CPRM
117	295500	7466530	150,00	5,50	13,0	110,0	0,06	SIDAS
118	289950	7458130	150,00	5,28	24,0	117,0	0,06	CPRM
119	286140	7464520	150,00	6,60	2,0	90,0	0,08	CPRM
120	295830	7480680	150,00	4,80	1,5	60,0	0,08	CPRM
121	290150	7469970	150,00	4,90	17,0	73,0	0,09	CPRM
122	294230	7466710	150,00	3,50	8,0	48,0	0,09	CPRM
123	291780	7467190	150,00	9,00	9,4	108,5	0,09	SIDAS
124	289740	7458670	150,00	8,80	13,0	100,0	0,10	CPRM
125	294670	7465140	150,00	7,40	16,3	88,0	0,10	CPRM
126	291880	7467310	150,00	11,60	11,3	100,2	0,13	SIDAS
127	290050	7472250	150,00	9,40	26,0	98,0	0,13	CPRM
128	287930	7465270	150,00	9,00	27,3	95,6	0,13	CPRM
129	287960	7476080	150,00	7,61	3,7	54,0	0,15	CPRM
130	280310	7450180	150,00	7,92	4,0	44,0	0,20	CPRM
131	286680	7474900	150,00	15,80	5,0	65,0	0,26	CPRM
132	288260	7476320	152,00	3,96	5,0	114,0	0,04	CPRM
133	294410	7469400	152,00	22,50	6,4	17,3	2,07	CPRM
134	287010	7462560	154,00	0,80	12,0	133,0	0,01	CPRM
135	286630	7451370	156,00	4,90	19,0	108,0	0,06	CPRM
136	288370	7449930	158,00	7,00	12,0	120,0	0,06	CPRM
137	292380	7483700	158,00	7,20	14,0	112,0	0,07	CPRM
138	290780	7474250	159,50	0,90	4,0	38,0	0,03	CPRM
139	286640	7458810	162,00	6,30	14,0	138,0	0,05	CPRM
140	284910	7474350	163,00	2,50	17,0	130,0	0,02	CPRM
141	290100	7470950	164,00	4,00	18,5	115,0	0,04	CPRM
142	282620	7454430	168,00	5,55	50,0	120,0	0,08	CPRM
143	292520	7475890	168,00	10,08	100,0	134,0	0,30	CPRM
144	288470	7460160	170,00	3,13	17,0	118,2	0,03	CPRM
145	292450	7469840	170,00	21,40	5,0	45,0	0,53	SIDAS
146	290040	7469870	172,00	3,50	13,7	117,0	0,03	CPRM
147	290130	7469820	172,00	3,50	13,7	75,0	0,06	SIDAS
148	305080	7468640	175,00	7,20	8,0	26,0	0,40	SIDAS
149	287290	7475690	176,00	32,00	0,0	40,0	0,80	CPRM
150	286630	7452070	178,00	4,00	14,5	161,0	0,03	CPRM
151	293940	7467080	180,00	0,60	7,0	144,0	0,00	CPRM
152	291900	7461310	180,00	1,20	20,1	174,0	0,01	CPRM
153	289030	7468010	180,00	2,00	14,0	118,0	0,02	CPRM
154	291070	7468150	180,00	3,20	21,0	143,0	0,03	SIDAS
155	288670	7459920	180,00	2,00	3,0	52,0	0,04	CPRM
156	290710	7458230	180,00	5,28	24,0	117,0	0,06	CPRM
157	289250	7464660	180,00	3,13	15,5	60,9	0,07	SIDAS
158	288890	7463830	182,00	1,00	10,0	130,0	0,01	CPRM
159	287840	7464500	187,50	8,60	14,0	67,0	0,16	CPRM
160	283800	7455800	189,00	10,00	8,2	41,1	0,30	SIDAS
161	288470	7450110	196,00	8,00	14,0	160,0	0,05	CPRM
162	302560	7463720	198,00	5,28	7,0	110,0	0,05	CPRM

CÓD	Coord UTM L	Coord UTM N	Profundidade (m)	Vazão (m³/h)	Nível Estático(m)	Nível Dinâmico (m)	Q/s (m³/h/m)	Fonte
163	286070	7478460	198,00	8,00	35,2	50,8	0,51	SIDAS
164	284760	7459070	200,00	1,20	13,8	93,8	0,02	CPRM
165	299020	7469950	200,00	4,20	1,0	104,1	0,04	SIDAS
166	288040	7464480	200,00	3,08	6,0	80,0	0,04	CPRM
167	299040	7418000	200,00	5,50	2,3	101,8	0,06	SIDAS
168	296710	7482900	200,00	6,09	21,0	82,9	0,10	CPRM
169	290350	7467630	200,00	9,00	6,8	95,1	0,10	SIDAS
170	282550	7454470	202,00	4,95	50,0	120,0	0,07	CPRM
171	281750	7454800	202,00	6,90	50,0	120,0	0,10	SIDAS
172	292710	7477730	206,00	4,06	10,0	114,0	0,04	CPRM
173	291540	7461610	208,00	1,14	25,0	180,0	0,01	CPRM
174	288870	7467610	209,00	0,80	14,0	172,0	0,01	CPRM
175	289490	7466840	210,00	5,50	10,2	80,7	0,08	SIDAS
176	287590	7462010	210,50	1,40	34,0	192,0	0,01	CPRM
177	287360	7475480	210,94	8,60	51,0	128,8	0,11	CPRM
178	282590	7454460	212,00	1,10	50,0	150,0	0,01	CPRM
179	294220	7465750	216,00	2,20	30,0	137,3	0,02	CPRM
180	286360	7454660	220,00	11,00	35,0	120,0	0,13	CPRM
181	300480	7464170	230,00	14,40	10,0	65,0	0,26	CPRM
182	284800	7459050	245,00	1,00	20,0	180,0	0,01	CPRM
183	287260	7472090	245,00	3,13	67,3	140,1	0,04	SIDAS
184	292780	7477610	250,00	0,40	3,0	150,0	0,00	CPRM
185	283410	7453970	250,00	0,56	10,9	199,9	0,00	SIDAS
186	288050	7468950	250,00	1,60	32,0	119,0	0,02	SIDAS
187	281220	7455950	252,00	8,25	23,0	57,0	0,24	SIDAS
188	284780	7459090	253,91	0,16	10,3	179,0	0,00	CPRM
189	294970	7466110	258,00	6,50	3,2	129,3	0,05	SIDAS
190	291990	7471680	300,00	3,27	19,1	30,4	0,29	SIDAS
191	282790	7455370	320,00	0,40	50,0	240,0	0,00	CPRM
192	284400	7457740	473,00	0,80	14,7	283,1	0,00	SIDAS

