

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6892-TDI/653

CARACTERIZAÇÃO DA REDE AQUÍFERA DA REGIÃO DE CAÇAPAVA-  
PARAIBUNA COM O EMPREGO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Marco Aurélio Ramalho Rocio

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada  
pelo Dr. Paulo Veneziani, aprovada em maio de 1993.

INPE  
São José dos Campos  
Maio de 1993

XXX.X.XXX.X

ROCIO, M.A.R.

Caracterização da rede aquífera da região de Caçapava-Paraibuna com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto/M.A.R. Rocio.-São José dos Campos: INPE, 1993. 107 p.-(INPE-6892-TDI/653).

Aprovada pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Dr. Célio Eustáquio dos Anjos

---

Presidente

Dr. Paulo Veneziani

---

Orientador

Dr. Aldo da Cunha Rebouças

---

Membro da Banca  
-convidado-

Dr. Juércio Tavares de Mattos

---

Membro da Banca

Candidato: Marco Aurélio Ramalho Rocio

São José dos Campos, 09 de março de 1993.



"Nestas rochas mais velhas da crosta terrestre, quase sempre o seu estudo se complica devido a orogenismos sucessivos, acompanhados de repetidos metamorfismos que obliteram os fenômenos essenciais relativos à origem e às transformações sofridas no transcurso dos tempos geológicos."

(A. R. Lamago)



Aos meus pais e à minha avó.



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de manifestar meus sinceros agradecimentos ao Dr. Paulo Veneziani, por sua orientação e sua dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos doutores Athos Ribeiro dos Santos e Célio Eustáquio dos Anjos, pelas valiosas sugestões apresentadas no decurso deste trabalho.

Ao engenheiro Carlos Alberto Felgueiras, M.Sc., por sua dedicação em resolver problemas, dar sugestões e tornar possível a execução de tarefas fundamentais na etapa de informatização dos dados.

Ao desenhista Joaquim Godoi Filho, por seu esmero na confecção dos mapas e das figuras e por sua inestimável ajuda na finalização desta dissertação.

Aos técnicos René Novaes Júnior e José Carlos Moreira, pelas reanimadoras sugestões e ajuda na operação do SGI.

À estagiária Fernanda Aparecida Leite Rodrigues Lobo, pela ajuda na digitalização de alguns mapas.

Ao Dr. Flávio Jorge Ponzoni, por permitir o acesso à sua sala para que fosse feita a digitação desta dissertação.

À secretária Terezinha dos Santos Botelho e ao geólogo Tomoyuki Ohara, M.Sc., pela providencial ajuda na edição e composição desta dissertação.

À geógrafa Tereza Florenzano, por sua expressão de simpatia e preocupação.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por tornar possível a realização deste trabalho, numa fase especialmente difícil para o desenvolvimento de trabalhos científicos.

À Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais /Superintendência Regional de São Paulo, pela cessão das fotografias aéreas.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica e à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e às empresas Hidrogesp Hidrogeologia, Sondagens e Perfurações Ltda. e Hidro-Solo Comercial Ltda., por terem permitido a consulta aos cadastros e aos relatórios de poços tubulares.



## RESUMO

Este trabalho teve como objetivos a definição, do ponto de vista lito-estrutural, de áreas favoráveis à descarga das águas subterrâneas em rochas do embasamento, na escala de 1:50.000 e, nessas áreas, a localização de pontos para perfuração de poços tubulares. Foram empregados dados plani-altimétricos, lito-estruturais fotointerpretados e de campo. Foram discriminados altos e baixos topográficos, altos e baixos estruturais e áreas de diferentes densidades de zona de junta e hierarquizadas as unidades geológicas em função das freqüências de junta associadas. A integração dos dados levou à discriminação de áreas pouco a muito favoráveis à descarga relativas a cada unidade litológica. Os dados de capacidade específica de poços existentes apontam uma correlação satisfatória com a classificação feita para as áreas favoráveis à descarga das águas subterrâneas no embasamento.



CHARACTERIZATION OF THE AQUIFER NET OF CAÇAPAVA-  
PARAIBUNA REGION THROUGH THE APPLICATION OF  
REMOTE SENSING TECHNIQUES

ABSTRACT

The integration of topographic, remote sensing and field data was carried out in order to define favourable groundwater discharge sites on a basement area, in the scale of 1:50.000, and also to locate water boreholes. There were defined topographic high and low areas, structural highs and lows, areas with different joint zone densities and the lithological units were ordered in relation to their associated joint frequencies. Less to more favourable discharge areas were defined. Specific output data show fair correlation with the areas classified as favourable to groundwater discharge.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xix
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1 - Conceção e objetivos.....	1
1.2 - Localização e características gerais da área de estudo.....	2
<u>CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA DA ÁREA</u> .....	5
2.1 - Situação regional.....	5
2.2 - Unidades litológicas.....	7
2.3 - Estruturas.....	8
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS</u> .....	27
3.1 - Fontes de dados.....	27
3.2 - Instrumentos.....	27
<u>CAPÍTULO 4 - MÉTODOS</u> .....	29
4.1 - Descrição geral.....	29
4.2 - Definição plani-altimétrica das áreas favoráveis e desfavoráveis à descarga das águas subterrâneas.....	29
4.3 - Composição do mapa de condicionantes hidrogeológicas de carácter estrutural .....	30
4.4 - Composição dos mapas de traços de zona de junta e de lineamentos estruturais.....	32
4.4.1 - Composição do mapa de traços de zona de junta	33
4.4.2 - Composição do mapa de lineamentos estruturais	33
4.5 - Trabalho de campo.....	34
4.6 - Composição do mapa geológico .....	34
4.7 - Geração do mapa de densidade de traços de zona de junta .....	35
4.8 - Análise das características das zonas de junta...	37
4.9 - Composição do mapa das condições de ocorrência das águas subterrâneas .....	38
4.10 - Definição dos pontos para perfuração de poços tubulares.....	39

<u>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</u>	41
5.1 - Sobre os dados plani-altimétricos.....	41
5.2 - Sobre as condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural.....	41
5.3 - Sobre os dados de densidade de zona de junta...	41
5.4 - Sobre as características das zonas de junta....	42
5.5 - Sobre as condições de ocorrência das águas subterrâneas.....	42
	48
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....</u>	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
APÊNDICE A - SUB-ROTINA PARA O CÁLCULO DA DENSIDADE DE SEGMENTO DE RETA.....	57
APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE JUNTA.....	69
APÊNDICE C - PERFIS TOPOGRÁFICOS.....	75
APÊNDICE D - MAPA DAS CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICAS DE CARÁTER ESTRUTURAL.....	77
APÊNDICE E - MAPA DE TRAÇOS DE ZONA DE JUNTA.....	79
APÊNDICE F - MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.....	81
APÊNDICE G - MAPA GEOLÓGICO.....	83
APÊNDICE H - MAPA DE DENSIDADE DE ZONA DE JUNTA.....	85
APÊNDICE I - MAPA DAS CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO EMBASAMENTO.....	87

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Mapa simplificado da área de estudo e sua localização no estado de São Paulo.....	3
2.1 - Planos de falha inversa com atitude N50E/50NW, em quartzo-xisto milonitizado.....	8
2.2 - Vista em planta de uma dobra intrafolial, com eixo verticalizado, gerada pelo cisalhamento de alto ângulo, em biotita-xisto milonitizado.....	9
2.3 - Foliação milonítica deformada por dobras de arrasto verticalizadas, geradas por transcorrência dextral na direção N65E, em xisto.....	10
2.4 - Vista em planta de um porfiroblasto de quartzo rotacionado por movimentação dextral associada ao cisalhamento de alto ângulo, na direção N60E, e granito sintectônico.....	11
2.5 - Vista em planta de um pórfiro sigmóide configurado por concentração de máficos, indicando movimentação dextral associada ao cisalhamento de alto ângulo, na direção N60E, em quartzo-xisto.	12
2.6 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo, indicando movimentação dextral ao longo das direções N50E e N65E, em granito-gnaissé.....	13
2.7 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo ao longo das direções N50E e N80E, em quartzo-biotita-xisto milonitizado.....	14
2.8 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo ao longo das direções N50E e N80E, em granito sintectônico.....	15
2.9 - Estrias subhorizontais na direção NS, em quartzo-biotita xisto.....	16
2.10 - Estrias subhorizontais na direção N70E e juntas subverticais nas direções N20W e N05W, em granito sintectônico.....	17
2.11 - Esquema do espelho de falha normal com atitude N40W/70SW, em quartzo-xisto.....	18
2.12 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo N50W, N60E e N80E e à direção de distensão N60W, no granito pós-tectônico.....	19
2.13 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo N60W, N50E e N80E, em granito sintectônico.....	20

2.14 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo em torno de N40E, em quartzo-xisto milonitizado.....	21
2.15 - Junta subvertical na direção N70E truncando o bandamento com atitude N70E/60SE, em granito-gnaisse.....	21
2.16 - Juntas subverticais nas direções N40W; N20E; e N60E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica, em granito sintectônico.....	22
2.17 - Juntas subverticais nas direções N50W; N50E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica; e N80E, em granito-gnaisse.....	23
2.18 - Juntas subverticais nas direções N50W; N20W; e N40E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica, em quartzo-xisto milonitizado.....	24
4.1 - Esquema de interpretação de assimetria de drenagem.	31
5.1 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de junta levantadas.....	43
5.2 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d), na área de estudo.....	44
5.3 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas frequências de junta (f), no granito pós-tectônico	45
5.4 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas frequências de junta (f), nos milonitos/cataclasitos.	46
5.5 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas frequências de junta (f), no granito sintectônico.....	46
5.6 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas frequências de junta (f), nos xistos.....	47
5.7 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas frequências de junta (f), nos granito-gnaisses....	47

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Referências das fotografias aéreas utilizadas..	27
4.1 - Combinação dos dados classificados relativos às condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural e à densidade de traços de zona de junta para a subdivisão de áreas favoráveis à descarga.....	39
5.1 - Freqüências de juntas não-preenchidas, com aberturas iguais a ou menores que 1 mm, correspondentes às direções preferenciais das zonas de junta, em cada unidade litológica.....	44
5.2 - Cadastro dos poços tubulares perfurados em rochas do embasamento.....	48



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - CONCEPÇÃO E OBJETIVOS

A concepção do presente estudo originou-se, de um lado, da experiência adquirida pelos geólogos Juércio T. de Mattos e Paulo Veneziani no emprego de técnicas de sensoriamento remoto à prospecção de águas subterrâneas, quando da realização do Projeto Sergipe (Sergipe/INPE, 1985) e da elaboração da dissertação de mestrado de Sampaio (1987) e, de outro, da possibilidade de aplicação dos métodos desenvolvidos nos trabalhos citados acima a uma área-teste na região do Vale do Paraíba do Sul, a qual, na ocasião da escolha da área deste estudo, era objeto de macrozoneamento, na escala de 1:250.000, executado em função do Projeto MAVALE (Kurkdjian, 1992).

Este estudo teve como objetivos a definição, do ponto de vista lito-estrutural, de áreas favoráveis à descarga das águas subterrâneas em rochas do embasamento, na escala de 1:50.000, e, nessas áreas, a localização de pontos para perfuração de poços tubulares.

Para tanto, além dos dados lito-estruturais interpretados de produtos de sensoriamento remoto, foram empregados dados de campo e plani-altimétricos na caracterização das condições geológicas e topográficas de ocorrência das águas subterrâneas.

Das estruturas de ruptura, de diversas origens, capazes de servir à adução e à acumulação das águas subterrâneas em rochas cristalinas, este estudo limitou-se a caracterizar a ocorrência sistemática de juntas tal como a definiu Plicka (1974), na forma de zonas de junta, por meio da utilização tanto de dados fotointerpretados como de dados de campo.

Na grande maioria dos pontos de observação, distribuídos regularmente na área de estudo, tanto nos fundos de vale como nas áreas elevadas, o manto de intemperismo apresentou-se surpreendentemente pouco espesso, apesar do intenso regime de chuvas que predomina na região. Por este motivo, optou-se por um ponto de vista predominantemente tectônico na abordagem do problema e, pelo mesmo motivo, esta abordagem foi facilitada pela

utilização de técnicas de sensoriamento remoto.

## 1.2 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é limitada pelos paralelos  $23^{\circ}05'$  e  $23^{\circ}27'$  de latitude sul e pelos meridianos  $45^{\circ}35'$  e  $45^{\circ}45'$  de longitude oeste e compreende, em uma superfície de cerca de  $832 \text{ km}^2$ , partes dos municípios de Caçapava, na planície do vale do rio Paraíba do Sul, de Jambeiro e de Paraibuna, na região serrana adjacente ao flanco meridional desse vale, no estado de São Paulo (Figura 1.1).

A amplitude altimétrica de cerca de 670 m e determinada pela elevação de aproximadamente 550 m da planície de inundação do rio Paraíba do Sul e pelos cerca de 1200 m de altitude observada na serra do Jambeiro.

Os principais rios são o Paraíba do Sul; seus principais afluentes, o Paraitinga e o Paraibuna, atualmente represados a oeste da cidade com este topônimo; o Capivari e o Piraí. Ao recortarem a faixa serrana, essas linhas de drenagem têm declives voltados, preferencialmente, nos sentidos WSW e NW, enquanto, na planície sobrelevada, ainda que percorrendo um trajeto sinuoso típico de canais meandantes, as águas do Paraíba do Sul fluem no sentido ENE.

As principais vias de acesso compreendem as rodovias Presidente Dutra (BR-116), dos Tamoios (SP-99) e Caçapava-Jambeiro-Rodovia dos Tamoios (SP-103).

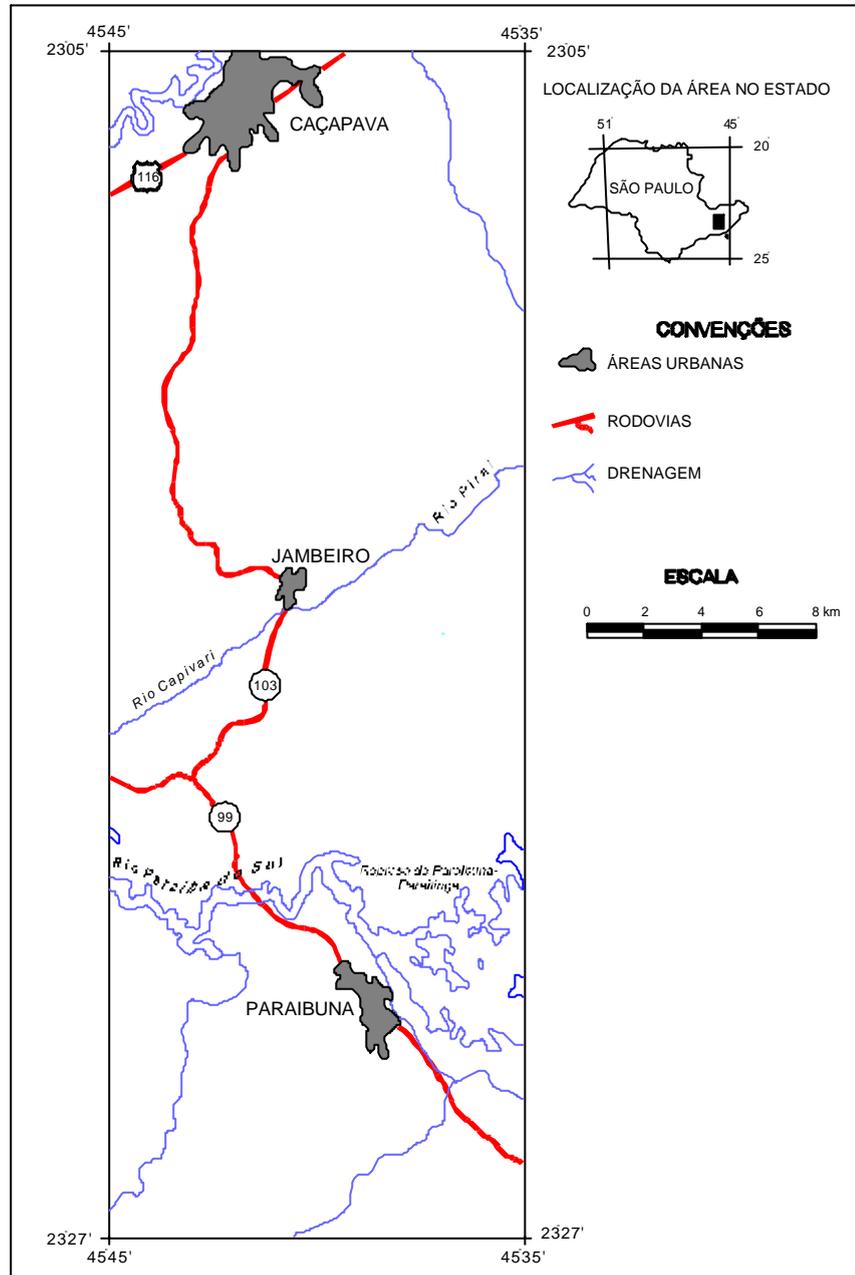


Fig. 1.1 - Mapa simplificado da área de estudo e sua localização no estado de São Paulo.



## CAPÍTULO 2

### GEOLOGIA DA ÁREA

#### 2.1 - SITUAÇÃO REGIONAL

Foram observadas, na área de estudo, unidades lito-estruturais correlacionáveis ao Complexo Embu (Hasui, 1975) e aos granitóides sintectônicos e pós-tectônicos (Hasui et al., 1978) e da bacia de Taubaté, considerando-se o mapeamento proposto Hasui et al. (1981).

Os sedimentos dessa bacia terciária não foram objeto de estudo do presente trabalho, tendo seu contato com as rochas do embasamento sido traçado de acordo com o trabalho de Bistrichi et al. (1990).

Uma ampla estrutura sinclinal, cujo eixo situar-se-ia ao longo do vale do rio Paraíba do Sul, foi sugerida tanto por Rego (1933) como por Ebert (1968). Hasui et al. (1981) consideraram sua existência verossímil, entre as regiões de Monteiro Lobato e de Paraibuna, situando-a entre as falhas transcorrentes de Jundiuvira e de Cubatão, e que tenha sido gerada pela segunda fase de dobramento do Complexo Embu, proposta por Hasui e Sadowski (1976). Consideraram também possível a existência de estrutura semelhante entre Paraibuna e Caraguatatuba, cujo eixo passaria próximo à borda do planalto.

A área de estudo está inserida na Faixa de Cisalhamento São Paulo (Hasui et al., 1984) e cortada pelas grandes falhas transcorrentes de Jambeiro, do Alto da Fartura (Cavalcante e Kaefer, 1974), de Taxaquara (Hennies et al., 1967) e de Cubatão (Sadowski, 1974). As faixas cataclásticas que lhes são associadas apresentam, geralmente, foliações verticalizadas e lineações de baixo ângulo de mergulho.

Ao propor um modelo de evolução tectônica da região costeira ao longo da bacia de Santos, a partir do Cretáceo Superior, em que procura explicar a formação do sistema de "rift" da Serra do Mar, Almeida (1976) ressaltou que os lineamentos pré-brasilianos, constituídos por grandes falhas transcorrentes dextrais com rumo ENE, foram possivelmente reativados no ciclo Brasileiro e na reativação Wealdeniana e parecem ter influenciado tanto o limite norte da bacia de Santos e o contorno da costa que

lhe é adjacente, como o sistema de "rift" continental. Na reativação brasileira, repetiram-se os movimentos dextrais já ocorridos ao longo dos lineamentos antigos; na reativação Wealdeniana, entretanto, alguns falhamentos antigos submeteram-se a movimentos verticais localizados.

Hasui e Ponçano (1978) constataram a existência de dois tipos de falha na região do Vale do Paraíba do Sul. Um deles é constituído por falhas transcorrentes antigas e reativadas por gravidade. A natureza do movimento de transcorrência foi deduzida pela presença generalizada de estrias nos planos verticalizados da foliação cataclástica paralela aos traços de falha. Os mergulhos apresentados por esta lineação são, predominantemente, subhorizontais, mas chegam a apresentar valores de até  $30^\circ$ , em ambos os sentidos possíveis. Por outro lado, estrias foram igualmente responsáveis pela dedução da incidência de movimentos normais, mas sua distribuição não se fez com a mesma frequência daquelas causadas pelos movimentos de transcorrência, indicando que o processo de reativação normal não teria sido generalizado. O outro tipo consiste em falhas normais caracterizadas por superfícies revestidas por película de milonitos, nas quais se observaram estrias cuja direção de mergulho coincide com a direção dos planos de falha ou desta se aproxima.

A interpretação de imagens TM-LANDSAT, banda 4, da região do Vale do Paraíba do Sul, na escala de 1:100.000, executada por Veneziani et al. (1992), indicou uma movimentação dextral ao longo de lineamentos estruturais nas direções N50-60E e N80W a EW, sendo alguns destes correspondentes às falhas transcorrentes citadas acima. Além destes, foram identificados lineamentos estruturais menos expressivos em torno das direções NS e N45W.

A correlação das direções desses lineamentos estruturais com as direções das fraturas de cisalhamento produzidas nos modelos empíricos de Riedel e de Vialon (1976) permitiu que fossem atribuídas, a essas fraturas, as seguintes orientações: as fraturas dextrais Y corresponderiam aos lineamentos estruturais nas direções N50-60E; as fraturas sintéticas R, aos nas direções N80W a EW; as fraturas antitéticas R', aos na direção N20W; as fraturas de extensão T, aos na direção N50W; e as fraturas sintéticas secundárias P, aos na direção N30E.

Os lineamentos estruturais NS não puderam ser correlacionados com as estruturas de ruptura dos modelos acima referidos.

Veneziani et al. (1992) identificaram, ainda, quatro conjuntos de zona de junta principais ("trends" de fraturamento) nas direções N50-60E, N80W a EW, N40-50W e N10W a NS.

Utilizando as mesmas imagens mencionadas acima, e também apoiando-se em dados de campo, Veneziani et al. (1993) verificaram evidências de movimentos gravitacionais ao longo das direções dos lineamentos estruturais ENE a EW e NNW a NS. Além disso, identificaram feições "circulares" que refletiam altos e baixos estruturais com eixos orientados nas mesmas direções daqueles lineamentos estruturais e interpretaram-nas como resultantes de dobramentos flexurais em torno de eixos subhorizontais. Atribuíram como prováveis causas principais desses dobramentos flexurais, movimentos gravitacionais devidos à reativação de antigas linhas de fraqueza crustal orientadas nas mesmas direções de seus eixos e, conseqüentemente, dos lineamentos estruturais acima mencionados.

## 2.2 - UNIDADES LITOLÓGICAS

Foram reconhecidas, na área de estudo, cinco unidades lito-estruturais predominantes no embasamento: xistos (quartzo-biotita xistos, quartzo-xistos, biotita-xistos e biotita-quartzo xistos), granito-gnaisses, milonitos/cataclasitos, e granitos foliados e não-foliados.

Os xistos e os granito-gnaisses, por analogia com o trabalho de Hasui (1975), podem ser incluídos no Complexo Embu.

Os milonitos/cataclasitos resultaram do cisalhamento de alto ângulo ao longo das falhas de Jambeiro, do Alto da Fartura, de Taxaquara e de Cubatão.

Os granitos foliados podem ser correlacionados aos granitos sintectônicos e os não-foliados, aos granitos pós-tectônicos descritos por Hasui et al. (1978).

### 2.3 - ESTRUTURAS

Observou-se, em afloramentos nos xistos e no granito sintectônico, uma xistosidade  $S_n$  nas direções N30-60E, com mergulhos entre 20° e 40° para NW. Nos xistos, em particular, foram observadas falhas inversas e empurrões orientados nas direções N30-40E, também com mergulhos para NW (Figura 2.1).

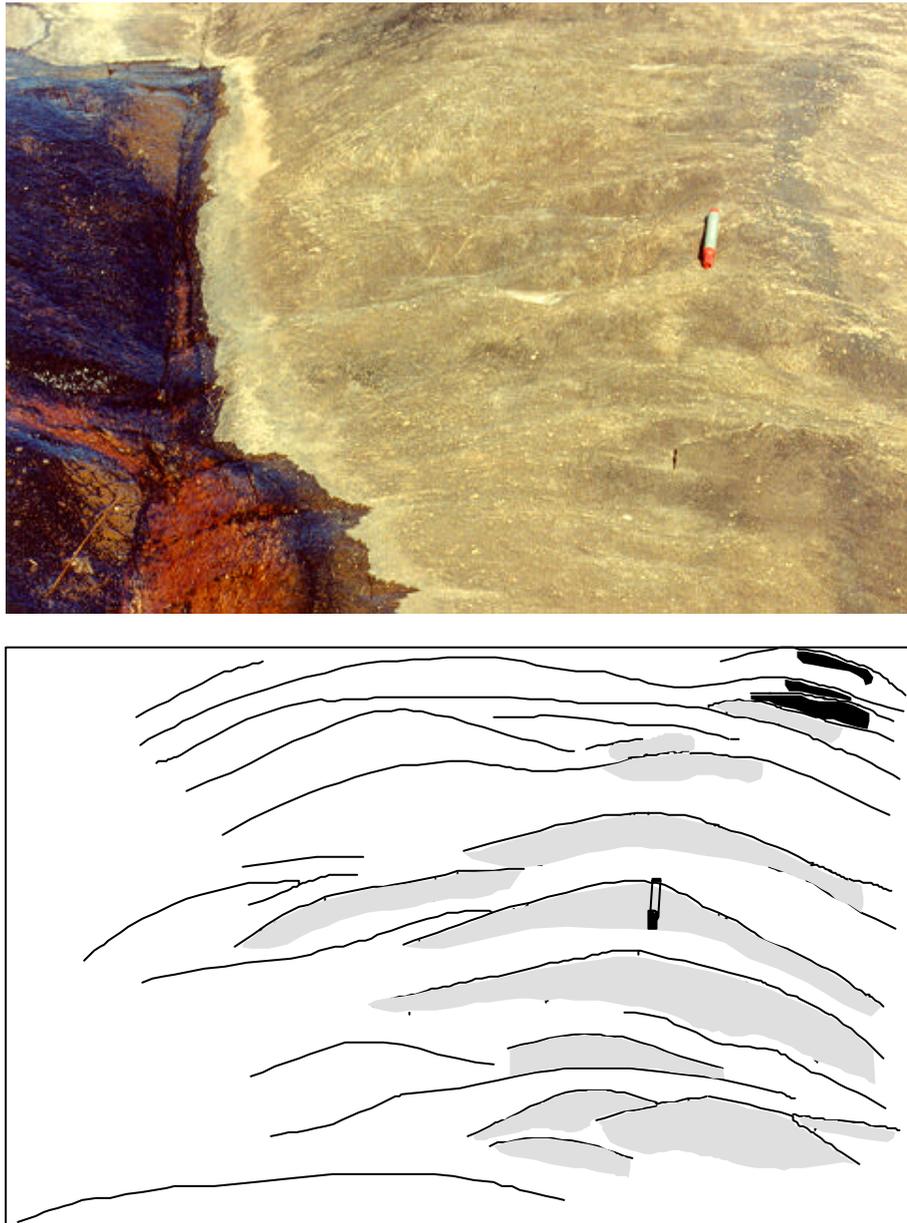


Fig. 2.1 - Planos de falha inversa com atitude N50E/50NW, em quartzo-xisto milonitizado.

A tampa da caneta sobre o leito da drenagem aponta o sentido de mergulho dos planos de falha. As linhas cheias indicam os traços dos planos de falha; as áreas pontilhadas, os espelhos de falha. Ponto 26 no Apêndice G: Fazenda Morro Azul, Paraibuna. Afluente da margem direita do rio do Salto; a 7,7 km da entrada da rod. SP-99 para a cidade de Paraibuna.

Foram reconhecidas feições de cisalhamento dúctil de alto ângulo, tais como foliações miloníticas verticalizadas, que orientam-se, predominantemente, em torno das direções N80W e N60E. Estas foliações encontram-se, por vezes, deformadas por dobras intrafoliais disruptas (Figura 2.2) e por dobras de arrasto (Figura 2.3), que apresentam, em ambos os casos, eixos subverticais.



Fig. 2.2 - Vista em planta de uma dobra intrafolial, com eixo verticalizado, gerada pelo cisalhamento de alto ângulo, em biotita-xisto milonitizado.

Lapiseira na direção N60E. Ponto 36 no Apêndice G: Fazenda São José, Paraibuna. Afluente da margem esquerda do córrego Campo Redondo; a 9,5 km da entrada norte da rod. SP-99, junto à margem direita da ponte sobre o rio Paraíba do Sul.

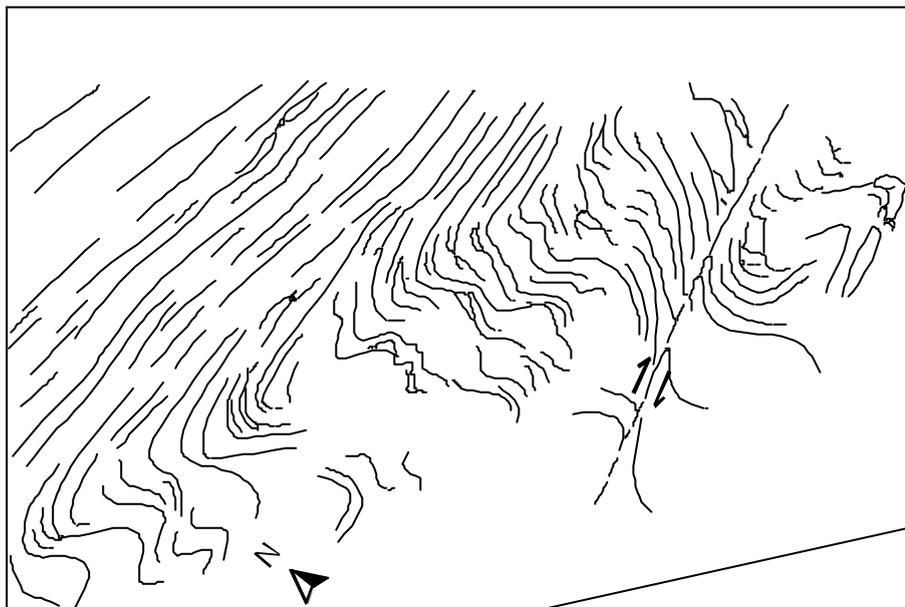


Fig. 2.3 - Foliação milonítica deformada por dobras de arrasto verticalizadas, geradas por transcorrência dextral na direção N65E, em xisto.

A linha tracejada indica o plano de transcorrência. Ponto 23 no Apêndice G: corte no km 43 da rod. SP-99, lado sul.

Identificaram-se, ainda, como feições do cisalhamento dúctil de alto ângulo, cristais de quartzo e de feldspato rotacionados (Figura 2.4) e pórfiros sigmóides (Figura 2.5).



Fig. 2.4 - Vista em planta de um porfiroblasto de quartzo rotacionado por movimentação dextral associada ao cisalhamento de alto ângulo, na direção N60E, em granito sintectônico.

As fraturas escalonadas no porfiroblasto indicam o sentido da movimentação. A tampa de caneta indica a direção N60E. Ponto 44 no Apêndice G: córrego Santo Antônio, 500 m a montante da confluência com o córrego da Roseira.



Fig. 2.5 - Vista em planta de um pórfiro sigmóide configurado por concentração de máficos, indicando movimentação dextral associada ao cisalhamento de alto ângulo, na direção N60E, em quartzo-xisto.

A caneta indica a direção N60E. Ponto 32 no Apêndice G: Fazenda Santo Antônio, Paraibuna. Afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul; a 5,5 km da entrada sul, no km 29 de rod. SP-99.

Lentes de cisalhamento, configuradas pelas direções em torno de N80E e de N60E (Figuras 2.6 a 2.8) evidenciam o cisalhamento rúptil-dúctil de alto ângulo, enquanto estrias subhorizontais (Figuras 2.9 e 2.10), observadas nos planos NS e N70-75E da foliação milonítico-cataclástica verticalizada, caracterizam o cisalhamento rúptil que afetou a área de estudo.

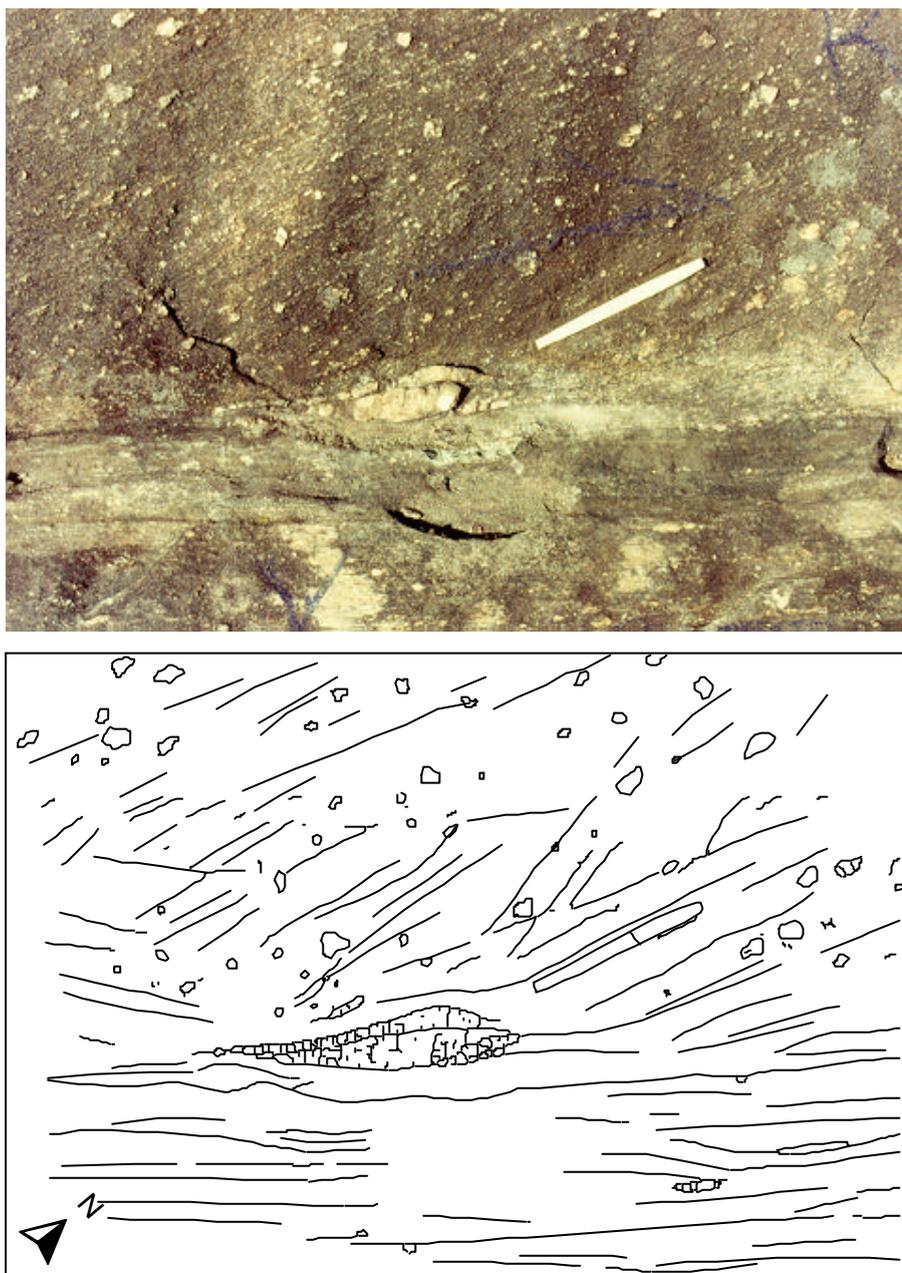


Fig. 2.6 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo, indicando movimentação dextral ao longo das direções N50E e N65E, em granito-gnaiss.

As fraturas escalonadas no porfiroblasto de quartzo indicam o sentido da movimentação. A caneta indica a direção N50E. As linhas indicam as direções da foliação milonítica e, entre elas, porfiroblastos de quartzo. Ponto 24 no Apêndice G: Fazenda São Geraldo,

Paraibuna. Afluente da margem direita do ribeirão Fartura; a 3 km da entrada sul no km 38 da rod. SP-99.

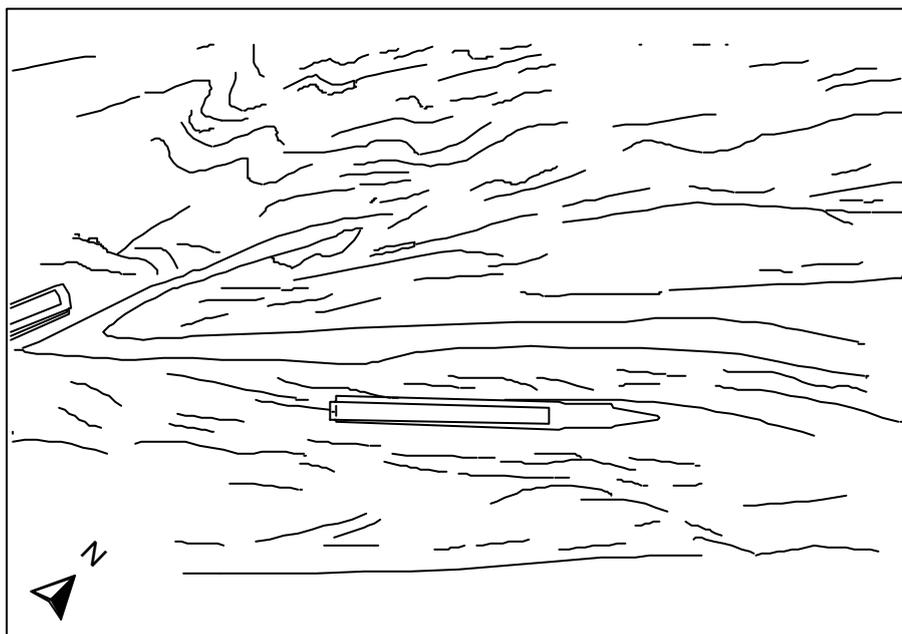
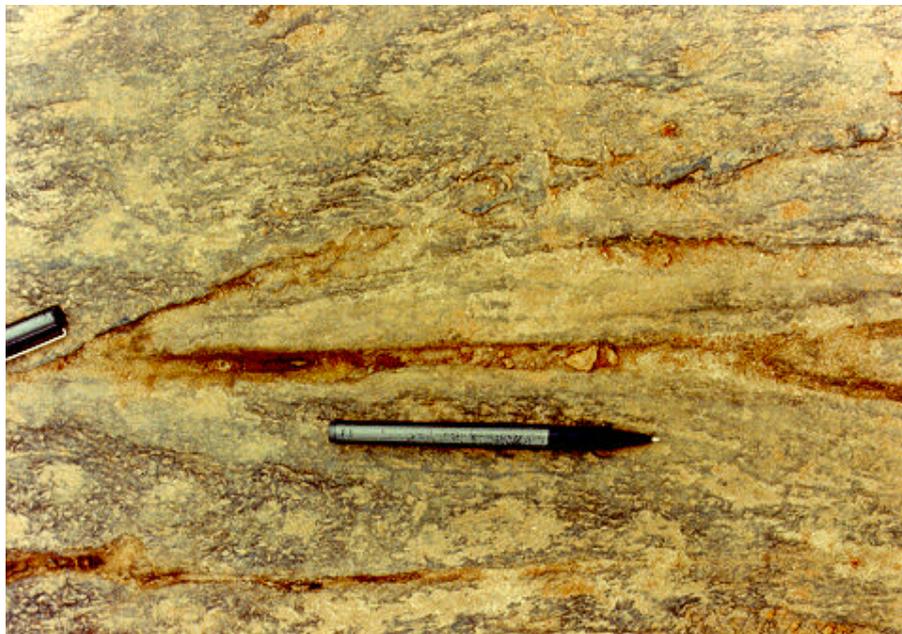


Fig. 2.7 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo ao longo das direções N50E e N80E, em quartzo-biotita-xisto milonitizado.

A tampa da caneta indica a direção N50E e a caneta, a direção N80E. As linhas indicam as direções da foliação milonítica. Ponto 35 no Apêndice G: A jusante da ponte sobre o córrego de Bragança, próximo à confluência com o rio Paraíba do Sul (margem direita); a 4 km da entrada norte da rod. SP-99, junto à margem direita da ponte sobre este rio.

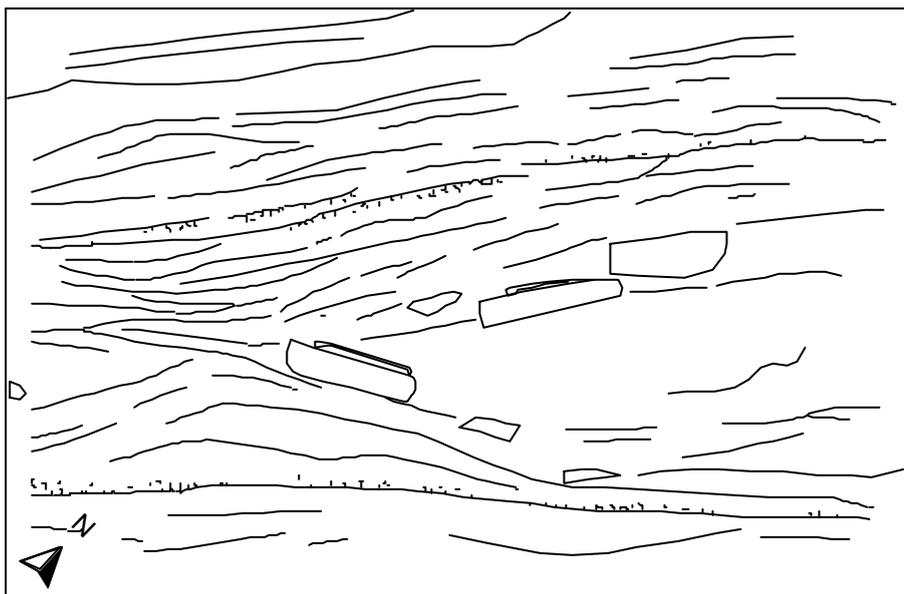


Fig. 2.8 - Vista em planta de uma lente gerada pelo cisalhamento de alto ângulo ao longo das direções N50E e N80E, em granito sintectônico.

A tampa branca indica a direção N50E e a tampa preta, a direção N80E. Ponto 46 no Apêndice G: Fazenda Piraí, Jambeiro. Córrego Capim Seco, a 1 km a montante da confluência com o rio Piraí.

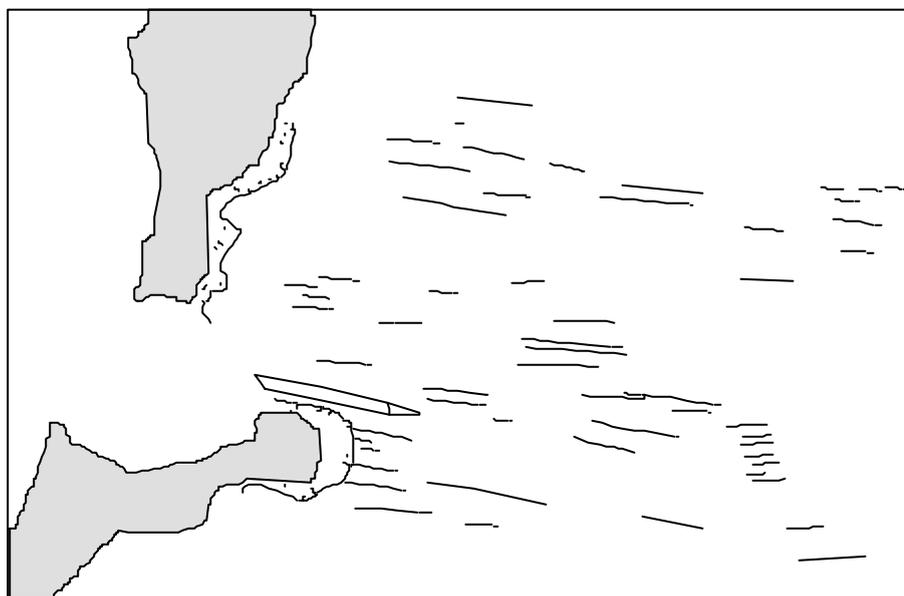


Fig. 2.9 - Estrias subhorizontais na direção NS, em quartzo-biotita xisto.

Estrias indicadas pelas linhas retas. Ponto ao sul da área de estudo: corte no km 26,5 da rod. SP-99, lado sul.

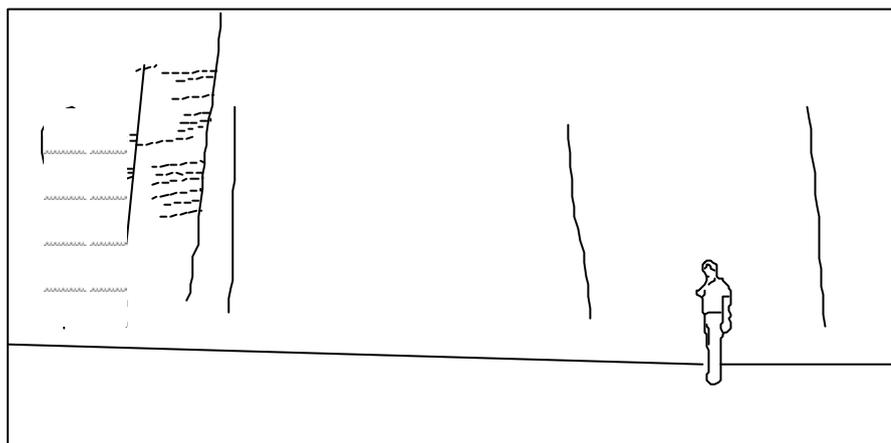
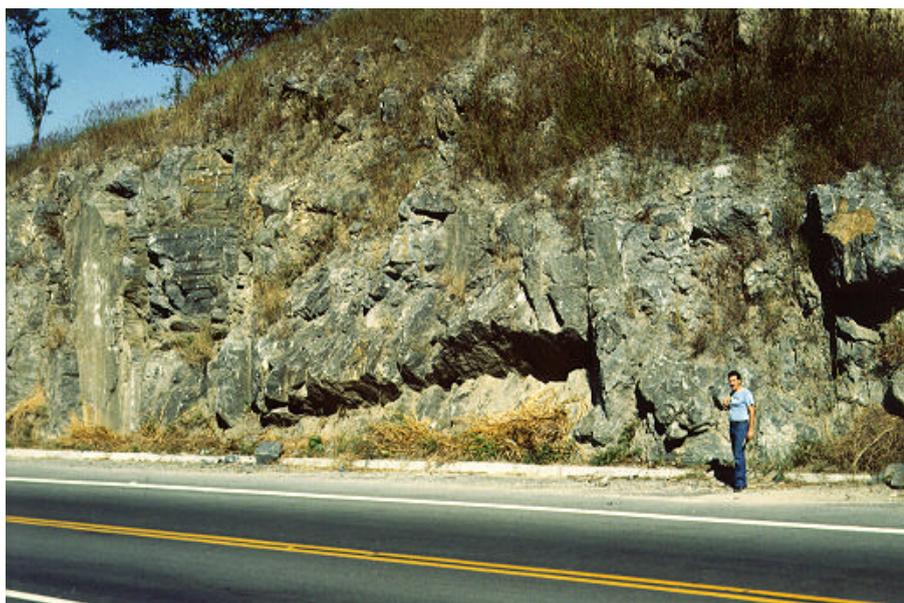


Fig. 2.10 - Estrias subhorizontais na direção N70E e juntas subverticais nas direções N20W e N05W, em granito sintectônico.

As linhas tracejadas indicam as estrias; a área pontilhada, o plano de junta N20W; e as linhas cheias, as juntas N05W. Ponto ao sul da área de estudo: corte no km 14,5 da rod. SP-99, lado sul.

Os indicadores de rotação (dobras de arrasto, cristais rotacionados, pórfiros sigmóides e lentes de cisalhamento) sugerem a ocorrência de movimentos dextrais ao longo das direções em torno de N80W e de N60E. Estas evidências, portanto, corroboram, por um lado, as sugestões de movimentos no mesmo sentido ao longo dos

lineamentos estruturais nas direções N80W a EW e N50-60E interpretados, por Veneziani et al. (1992) e, por outro, a correlação entre os modelos empíricos de cisalhamento de Riedel e de Vialon (1976) e as estruturas de cisalhamento de alto ângulo geradas durante a fase de transcorrência que afetou a região do Vale do Paraíba do Sul.

Estrias e degraus em fraturas subverticais, em afloramento de quartzo-xisto, semelhantes às estruturas apresentadas na Figura 2.11, indicam a ocorrência de falhamento normal na direção N60W.

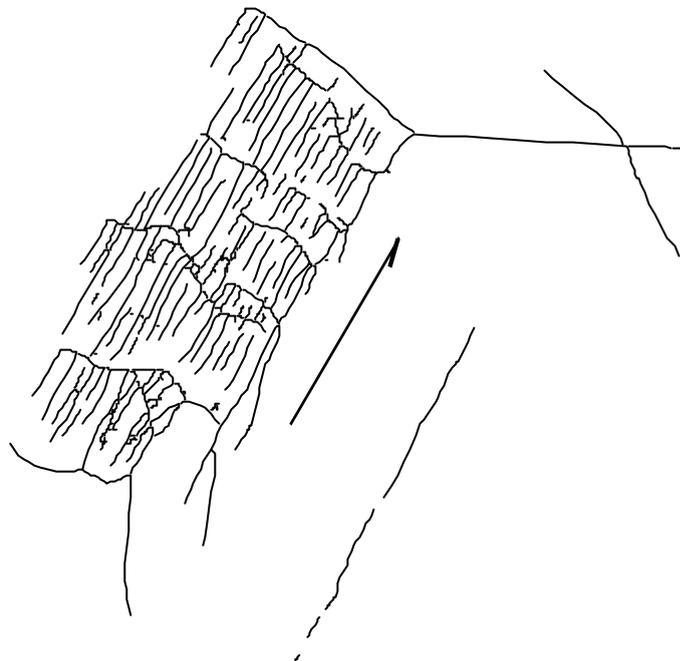


Fig. 2.11 - Esquema do espelho de falha normal com atitude N60W/70SW, em quartzo-xisto.

FONTE: Hobbs et al. (1976), p.305.

Estrias com atitude 210/60. Ponto 33 no Apêndice G: corte no km 31 da rod. SP-99, lado norte.

Foram encontrados sistemas de juntas subverticais a verticais desenvolvidas subparalelamente aos planos da foliação milonítico-cataclástica (Figuras 2.12 a 2.14). Estes sistemas encontram-se distribuídos generalizadamente por toda a área de estudo e apresentam, preferencialmente, as direções em torno de N80W, N50W, N20W, N30E, N60E (Figuras 2.10 e 2.15 a 2.18).

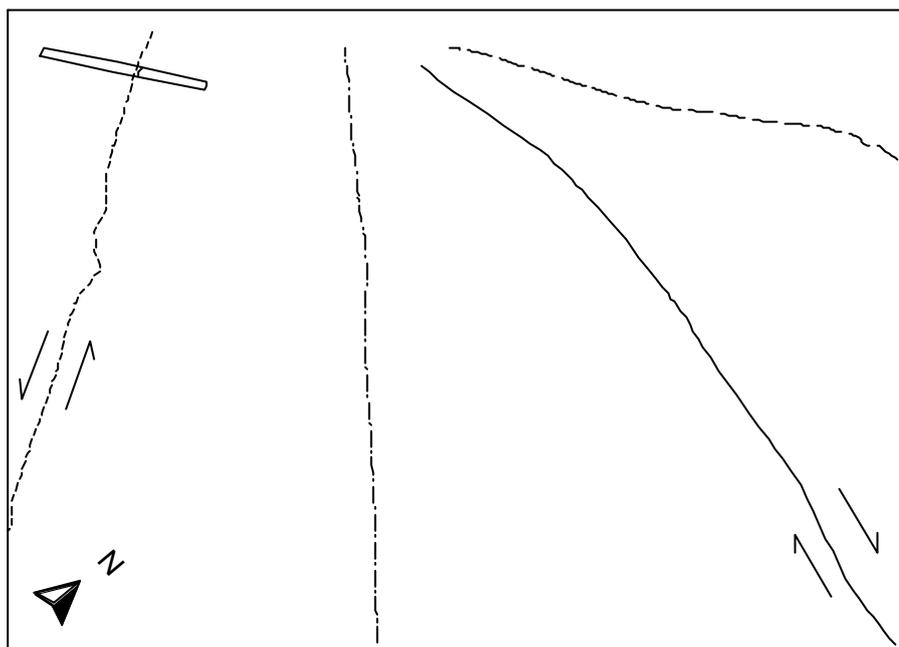
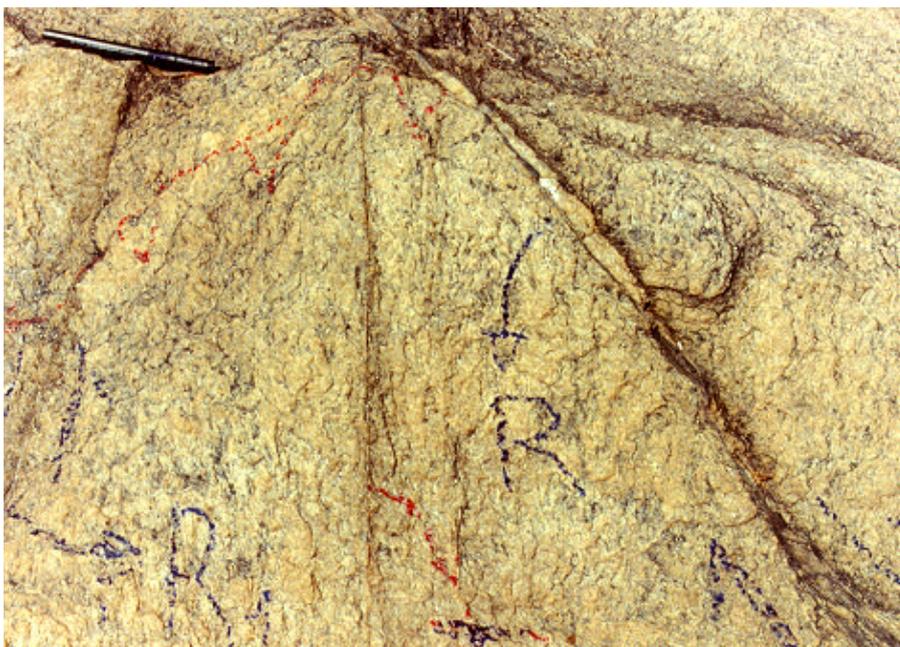


Fig. 2.12 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo N50W, N60E e N80E e à direção de distensão N60W, no granito pós-tectônico.

Aquelas direções estão indicadas pelas linhas pontilhada, cheia, tracejada e traço-pontilhada, respectivamente. Ponto 32 no Apêndice G: fazenda Santo Antônio,

Paraibuna. Afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul; a 5,5 km da entrada sul no km 29 de rod. SP-99.



Fig. 2.13 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo N60W, N50E e N80E, em granito sintectônico.

Aquelas direções estão indicadas pela caneta preta, pela tampa de caneta e pela caneta branca, respectivamente. Ponto 46 no Apêndice G: fazenda Piraí, Jambeiro. Córrego Capim Seco, 1 km a montante da confluência com o rio Piraí.



Fig. 2.14 - Vista em planta de juntas associadas às direções de cisalhamento de alto ângulo em torno de N40E, em quartzo-xisto milonitizado.

A caneta indica a direção N40E. Ponto 57 no Apêndice G: Clicínio, Caçapava. Cabeceira do ribeirão Itaim.



Fig. 2.15 - Junta subvertical na direção N70E truncando o bandamento com atitude N70E/60SE, em granito-gnaisse.

O cabo do martelo indica o plano de junta e a caneta, a direção aparente do bandamento gnáissico. Ponto ao sul da área de estudo: corte no km 48 da rod. SP-99, lado sul.

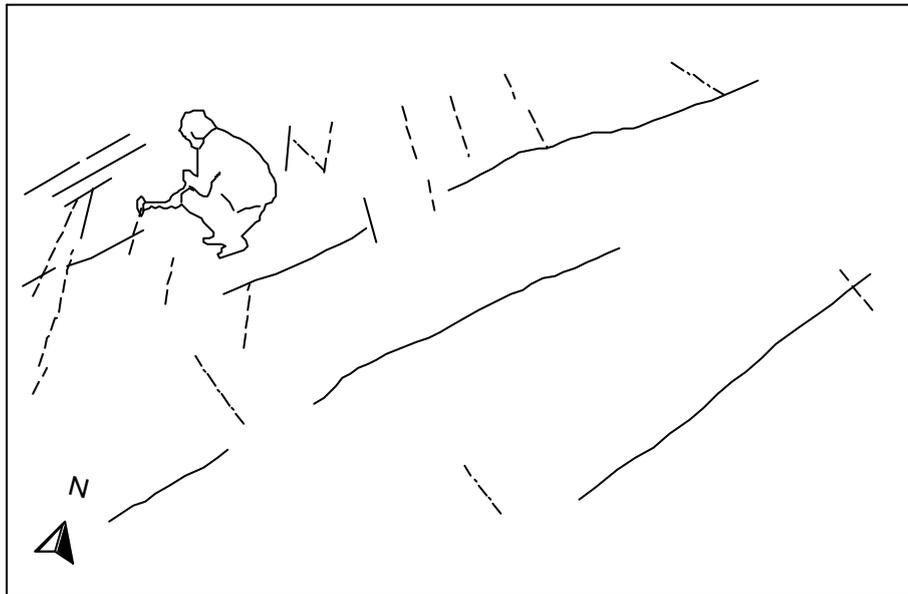


Fig. 2.16 - Juntas subverticais nas direções N40W, N20E e N60E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica, em granito sintectônico.

Aquelas direções estão indicadas por linhas cheias, por linhas tracejadas e por linhas traço-pontilhadas, respectivamente. Ponto ao

sul da área de estudo: fazenda da Grama, Paraibuna. Afluente da margem direita do ribeirão Claro; a 4,5 km da entrada sul no km 43,5 da rod. SP-99.

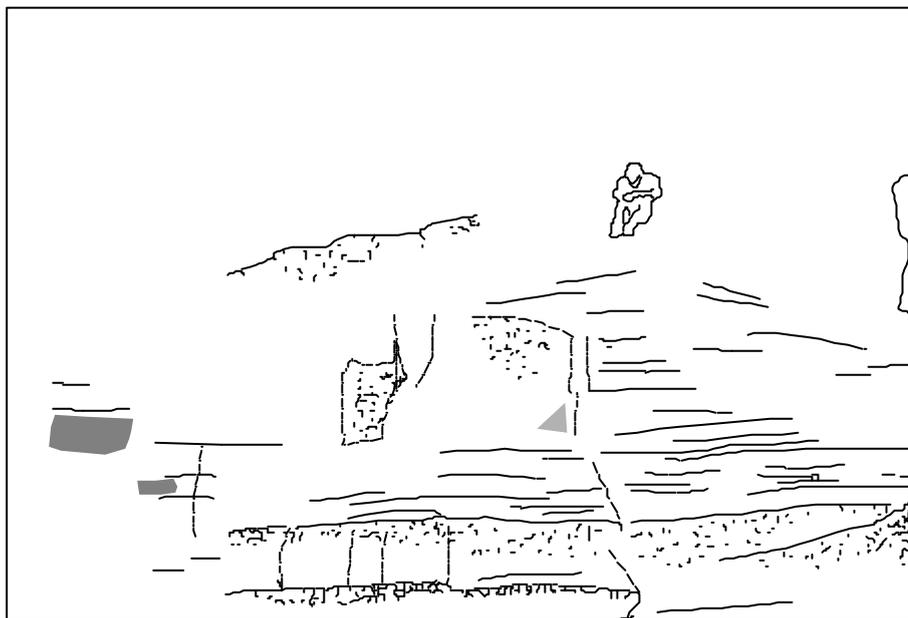


Fig. 2.17 - Juntas subverticais nas direções N50W e N50E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica; e N80E, em granito-gnaisse.

Aquelas direções estão indicadas por linhas traço-pontilhadas, por linhas cheias e por

linhas tracejadas, respectivamente. As áreas pontilhadas indicam planos de junta. Ponto 44 no Apêndice G: córrego Santo Antônio, 500 m a montante da confluência com o córrego da Roseira.



Fig. 2.18 - Juntas subverticais nas direções N50W, N20W e N40E, paralelas à foliação milonítico-cataclástica, em quartzo-xisto milonitizado.

Aquelas direções estão indicadas por linhas tracejadas, por linhas traço-pontilhadas e por linhas cheias, respectivamente. As áreas pontilhadas indicam planos de junta. Ponto 57 no Apêndice G: Clicínio, Caçapava. Cabeceira do ribeirão Itaim.



CAPÍTULO 3MATERIAIS3.1 - FONTES DE DADOS

O processo de investigação iniciou-se a partir da utilização das seguintes fontes de dados:

- 1) Folhas topográficas Taubaté (SF-23-Y-D-II-2) e Paraibuna (SF-23-Y-D-II-4), na escala de 1:50.000, projeção UTM, editadas pela Fundação IBGE;
- 2) Mapa geológico da folha Taubaté (SF-23-Y-D-II-2), na escala de 1:50.000 (Bistrichi et al., 1990);
- 3) Fotografias verticais obtidas por câmera métrica aerotransportada, em vôos executados pela USAF, na escala de 1:60.000, com as referências indicadas na Tabela 3.1; e

TABELA 3.1 - REFERÊNCIAS DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS UTILIZADAS

MISSÃO	ROLO	LINHA	FOTOGRAFIAS	DATA
349	543A	82D	67803-67810	20/05/66
349	544A	82E	68023-68024	20/05/66
375	586	83F	73785-73777	13/06/66
375	586	84K	73816-73824	13/06/66

- 4) Imagem obtida pelo sensor eletro-óptico Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite LANDSAT 5, órbita/ponto 218/76C, banda 4, na escala de 1:100.000.

3.2 - INSTRUMENTOS

São relacionados, sob este título, os meios materiais empregados na aquisição, no tratamento e na produção de dados para a consecução dos objetivos do presente estudo, não obstante sua natureza, sua necessidade ou sua finalidade:

- 1) Estereoscópio de espelhos Wild Heerbrugg;
- 2) Sistema de informações geográficas SGI 2.0; e
- 3) Traçadora ("plotter") eletrostática VERSATEC, modelo 8900.



## CAPÍTULO 4

### MÉTODOS

#### 4.1 - DESCRIÇÃO GERAL

Os métodos empregados constituíram-se nos seguintes:

- 1) Definição plani-altimétrica das áreas favoráveis e desfavoráveis à descarga das águas subterrâneas;
- 2) Composição do mapa de condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural;
- 3) Composição dos mapas de traços de zona de junta e de lineamentos estruturais;
- 4) Trabalho de campo;
- 5) Composição do mapa geológico;
- 6) Cálculo da densidade de traço de zona de junta;
- 7) Análise estatística das características das zonas de junta;
- 8) Composição do mapa de condições de ocorrência das águas subterrâneas; e
- 9) Definição dos pontos para perfuração de poços tubulares.

#### 4.2 - DEFINIÇÃO PLANI-ALTIMÉTRICA DAS ÁREAS FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS À DESCARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para a definição de áreas favoráveis e desfavoráveis à descarga das águas subterrâneas, foram confeccionados perfis topográficos que pudessem configurar as mais significativas variações altimétricas da área de estudo. Neste sentido, cinco perfis foram traçados nas direções NW-NNW, aproximadamente perpendiculares às direções ao longo das quais foram esculpidas as principais feições do relevo, tais como os vales do córrego Bragança, do ribeirão Fartura e dos rios Paraíba do Sul, Capivari, Piraí, Paraitinga e Paraibuna e as serras do Jambeiro, da Samambaia e do Pati.

Os perfis topográficos encontram-se no Apêndice C e as indicações de seus planos, no mapa geológico (Apêndice G).

Definiu-se, em cada perfil, uma cota-limite que pudesse encimar o maior numero de áreas rebaixadas, consideradas áreas favoráveis à descarga, e, simultaneamente, o menor número de áreas elevadas, consideradas áreas desfavoráveis à descarga.

A cota-limite escolhida para distinguir as áreas favoráveis e desfavoráveis à descarga foi a de maior valor entre aquelas definidas em cada perfil, de modo a encimar, para toda a área de estudo, o maior número possível de áreas de descarga.

#### 4.3 - COMPOSIÇÃO DO MAPA DE CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICAS DE CARÁTER ESTRUTURAL

São aqui consideradas condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural as imposições, sobre a ocorrência das águas subterrâneas, determinadas pela existência de altos e baixos estruturais.

Para a definição de tais condicionantes hidrogeológicas, aplicou-se a propriedade de assimetria à rede de drenagem, na escala de 1:100.000, extraída das folhas topográficas reduzidas e da imagem TM-LANDSAT.

Soares e Fiori (1976) definem a assimetria da rede de drenagem como a presença de elementos texturais de drenagem de tamanho ou estrutura sistematicamente diferentes em ambos os lados de um elemento de drenagem maior.

A interpretação da assimetria, tal como está apresentada na Figura 4.1, possibilitou o traçado das curvas de condicionantes hidrogeológicas relativas aos altos e aos baixos estruturais, apresentadas no Apêndice D.

As áreas localizadas sobre altos estruturais foram consideradas pouco favoráveis à descarga e as áreas localizadas sobre baixos estruturais, muito favoráveis à descarga das águas subterrâneas. As áreas em que não se observou a alternância de altos e baixos estruturais ou amplas áreas foram consideradas moderadamente favoráveis à descarga.

Nas faixas milonítico-cataclásticas, no entanto, a foliação verticalizada torna simétrica a rede de drenagem sobre elas desenvolvida, dissimulando a assimetria causada pela alternância de altos e baixos estruturais. Por este motivo, não foi possível estender o traçado das curvas de condicionantes hidrogeológicas a essas faixas.

O mapa obtido na escala de 1:100.000 foi ampliado à escala de 1:50.000.

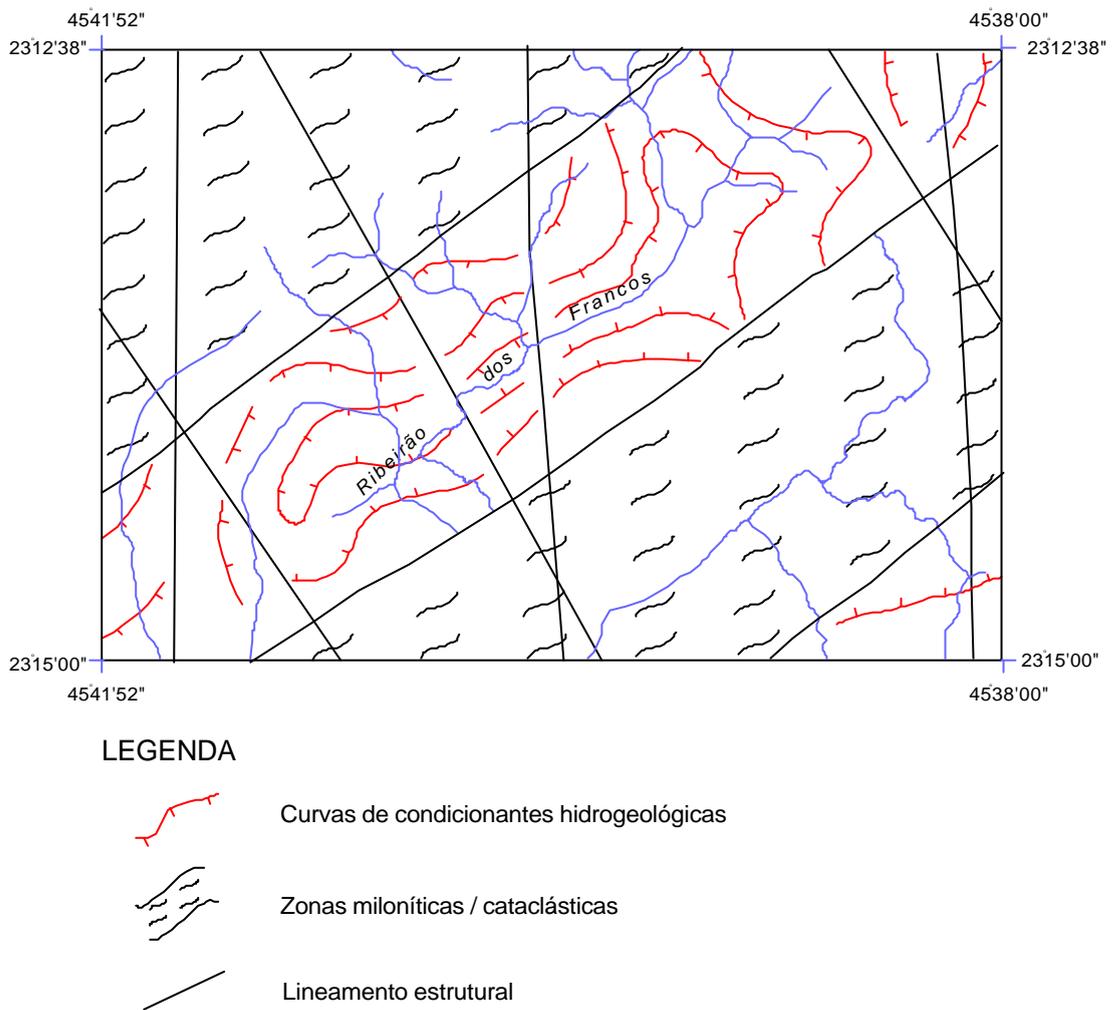


Fig. 4.1 - Esquema de interpretação da assimetria de drenagem.

#### 4.4 - COMPOSIÇÃO DOS MAPAS DE TRAÇOS DE ZONA DE JUNTA E DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Foram identificados, por exame estereoscópico das fotografias aéreas, os elementos texturais de drenagem, tais como foram definidos por Soares e Fiori (1976), para a extração das feições correspondentes a traços de zona de junta.

O termo "zona de junta", na definição de Plicka (1974), aplica-se aos feixes de junta com as seguintes características:

- 1) São constituídos por juntas verticais a subverticais, aproximadamente paralelas entre si e afastadas de 10 a 30 cm;
- 2) Apresentam largura entre 0,5 a 6 m;
- 3) Espalham-se por grandes áreas;
- 4) Encontram-se afastados de poucos a dezenas de metros e, quando alinhados longitudinalmente numa dada direção, constituem um conjunto de zona de junta; e
- 5) Aqueles compreendidos por um conjunto afetam todos os tipos de rochas de uma dada região e apresentam origem comum.

Pelo fato de as zonas de junta serem verticais a sub-verticais, os elementos texturais de drenagem extraídos foram os predominantemente retilíneos.

Os alinhamentos, na definição de Soares e Fiori (1976), dos elementos texturais de drenagem correspondentes a traços de zona de junta foram interpretados como lineamentos estruturais correspondentes a conjuntos de zona de junta.

Os conjuntos de zona de junta são apresentados por Plicka (1974) com as seguintes características:

- 1) São indicados diretamente pelas linhas de drenagem;
- 2) Tornam-se mais densos na medida em que aproximam-se

de falhas; e

3) Podem indicar tectonismo profundo.

#### 4.4.1 - COMPOSIÇÃO DO MAPA DE TRAÇO DE ZONA DE JUNTA

Após a extração dos traços de zona de junta de cada par estereoscópico, procedeu-se a composição do mosaico não-controlado dos "overlays", tomando-se as confluências dos rios principais como pontos de ajuste.

Os traços de zona de junta do mosaico foram digitalizados no sistema de informações geográficas (SIG) para que fossem ampliados e redesenhados, na escala de 1:50.000, pela traçadora automática.

Para que os deslocamentos dos traços de zona de junta fotointerpretados fossem atenuados, o mosaico, já na escala de 1:50.000, foi recortado em sessenta quadrículas de 6,5 cm de lado, a fim de que os traços de zona de junta de cada quadrícula fossem ajustados às linhas de drenagem da carta topográfica.

Após este ajuste, foi possível confeccionar o mapa de traços de zona de junta (Apêndice D) e digitalizá-lo.

#### 4.4.2 - COMPOSIÇÃO DO MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

Devido à elevada densidade de traços de zona de junta na maior parte do respectivo mapa, os lineamentos estruturais foram traçados da seguinte maneira:

- 1) Os traços de zona de junta foram selecionados em função de suas direções, em intervalos angulares de 10° como, por exemplo, traços de zona de junta cujas direções variavam de NS a N10E, de N10E a N20E e assim sucessivamente;
- 2) Para cada intervalo angular, confeccionou-se um mapa dos traços de zona de junta assim selecionados; e
- 3) Em cada um desses mapas, foram considerados lineamentos estruturais os alinhamentos dos elementos texturais de drenagem correspondentes a traços de zona de junta.

O mapa de lineamentos estruturais (Apêndice F) foi composto pelos lineamentos traçados nos mapas dos traços de zona de junta selecionados segundo intervalos de direção.

As informações sobre movimentos transcorrentes foram obtidas da análise dos indicadores de rotação observados no campo.

Os lineamentos estruturais que foram representados devem ser interpretados como segmentos de lineamentos estruturais de amplitude regional, de pequena curvatura, razão pela qual apresentam traçado retilíneo na escala deste trabalho.

#### 4.5 - TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo teve como propósitos a identificação das unidades litológicas fotointerpretadas, a identificação de estruturas típicas de zona de cisalhamento de alto ângulo e a determinação das seguintes características das zonas de junta: 1. direção; 2. abertura de junta; 3. ocorrência de preenchimento; e 4. distância média entre juntas consecutivas.

O levantamento foi feito segundo uma malha de amostragem regular sobre a área de estudo, procurando-se manter um intervalo de 2 km entre os pontos de observação. Entretanto, a dificuldade de acesso a um ponto planejado ou a ausência de afloramentos significativos tornou obrigatória, por vezes, a escolha de um ponto nas vizinhanças daquele previsto.

#### 4.6 - COMPOSIÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO

O mapa geológico (Apêndice G) resultou da integração, sobre a imagem TM-LANDSAT, dos dados de traços de zona de junta, reduzidos à escala de 1:100.000, e dos dados lito-estruturais obtidos no campo.

A delimitação das unidades litológicas, por fotointerpretação, baseou-se na aplicação das propriedades de densidade de textura e de tropia aos elementos texturais de drenagem correspondentes aos traços de zona de junta.

Soares e Fiori (1976) definem densidade de textura como o número de elementos texturais por unidade de

área e tropia como a propriedade dos elementos de drenagem se desenvolverem segundo uma direção preferencial.

Às unidades litológicas fotointerpretadas foram associados os litotipos identificados no campo.

Após a integração dos dados fotointerpretados e de campo, o mapa foi ampliado a escala de 1:50.000, sobre o qual foram traçados os principais lineamentos estruturais, extraídos do respectivo mapa.

O contato dos sedimentos da bacia de Taubaté com as rochas do embasamento foi reproduzido do mapa de Bistrichi et al. (1990).

#### 4.7 - GERAÇÃO DO MAPA DE DENSIDADE DE TRAÇO DE ZONA DE JUNTA

A geração do mapa de densidade de traço de zona de junta (Apêndice H) teve um duplo propósito: visou ao zoneamento da área de estudo quanto ao seu potencial de recarga/ descarga e a possibilitar a determinação das direções de antigas linhas de fraqueza crustal, baseando-se no método proposto por Aliyev (1982), segundo os alinhamentos e os alongamentos de áreas de máximo de densidade.

O valor da densidade foi calculado pela soma dos comprimentos dos traços de zona de junta compreendidos por uma célula de amostragem quadrada. Antes, porém, verificou-se a posição de cada traço de zona de junta em relação aos limites da célula de amostragem. Caso o traço interceptasse algum dos seus lados ou dos seus vértices, considerava-se o ponto de interseção entre ambos o novo extremo a partir do qual a extensão do traço de zona de junta era medida. Caso fosse colinear ao lado direito ou ao lado inferior da célula de amostragem, sua extensão não participava da soma.

O valor de densidade calculado foi, então, atribuído ao ponto central da célula de amostragem.

As operações de cálculo da densidade e de atribuição do seu valor ao ponto central da respectiva célula de amostragem fizeram-se repetir segundo uma malha de células quadradas de amostragem cobrindo todo o mapa de traços de zona de junta.

Assim, os pontos centrais das células de amostragem constituíram os nós de uma malha quadriculada de valores de densidade de traços de zona de junta, a partir da qual, por interpolação, foram traçadas linhas de isodensidade.

Em face da grande quantidade de traços de zona de junta, foi desenvolvida uma sub-rotina para a automatização do cálculo da densidade por célula quadrada de amostragem, cujo código é apresentado no Apêndice A. Esta sub-rotina faz parte do programa ANALIN (Rocio, 1992), o qual possibilita tanto a importação dos dados digitalizados dos traços de zona de junta, quanto a geração da malha quadriculada de valores de densidade.

As operações de interpolação de valores de densidade entre aqueles correspondentes aos pontos centrais das células de amostragem e de traçado das linhas de isodensidade foram realizadas pelo SIG.

O mapa de densidade de traço de zona de junta foi gerado, na escala de 1:50.000, a partir de uma célula de amostragem com 20 cm de lado, correspondente a 1 km<sup>2</sup> no terreno, enquanto os 8770 traços de zona de junta apresentaram um comprimento médio de 7 mm, correspondentes a 350 m no terreno.

Células de amostragem menores que a adotada produziram mapas saturados de áreas de máximo e de mínimo de densidade, enquanto células de amostragem maiores que a adotada, por outro lado, não produziram os máximos e os mínimos que eram esperados, tendo-se analisado visualmente o mapa de traços de zona de junta.

Foram traçadas linhas de isodensidade que correspondiam a valores entre 1000 e 11000 m/km<sup>2</sup>, em intervalos de 1000 m/km<sup>2</sup>.

As áreas correspondentes aos valores de densidade inferiores a 4000 m/km<sup>2</sup> foram consideradas de baixa densidade ou de baixo potencial de recarga/descarga; aquelas correspondentes aos valores de densidade entre 4000 e 8000 m/km<sup>2</sup>, de densidade moderada ou de potencial moderado; e aquelas correspondentes aos valores de densidade superiores a 8000 m/km<sup>2</sup>, de elevada densidade ou de elevado potencial.

#### 4.8 - ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE JUNTA

Os dados de direção, de abertura de junta, de ocorrência de preenchimento e de distância média entre juntas consecutivas de uma zona de junta, listados no Apêndice B, possibilitaram:

- 1) Determinar o perfil das aberturas das zonas de juntas não-preenchidas;
- 2) Determinar a freqüência de juntas não-preenchidas, calculada pelo inverso da distância média, em metros, entre juntas consecutivas. O valor da freqüência de junta expressa o número de juntas ao longo de um metro de uma seção perpendicular a uma determinada zona de junta;
- 3) Elaborar um diagrama de distribuição direcional de todas as zonas de junta levantadas;
- 4) Elaborar diagramas de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas, relativos tanto à área de estudo como a cada unidade litológica; e
- 5) Relacionar os valores de freqüência de juntas não-preenchidas às respectivas direções nos diagramas de distribuição direcional de zonas de junta relativos a cada unidade litológica.

Os dados de freqüência de juntas não-preenchidas complementam aqueles relativos à densidade de traço de zona de junta no zoneamento da área de estudo quanto ao potencial de recarga/descarga, particularizando este zoneamento em relação a cada unidade litológica.

A condição de possibilidade para a utilização das freqüências de junta como mais um parâmetro nesse zoneamento consiste no pressuposto de que diferentes classes de valores de freqüência de junta expressem respostas específicas dos diferentes litotipos, em face de suas anisotropias e de seus variados graus de plasticidade, a processos de deformação que lhes sejam comuns, isto é, de que a cada litotipo, em uma dada direção, esteja associado um intervalo particular de valores de freqüência de junta.

Considerando que os conjuntos de zona de junta resultam ou da continuidade do movimento de

transcorrência ou de reativações, por gravidade, de planos de transcorrência preexistentes e que esses conjuntos orientam-se preferencialmente segundo as direções de fraturamento produzidas nos modelos de Riedel e de Vialon (1976) e que essas direções reproduzem-se seletivamente em relação a cada litotipo, é possível admitir que os valores de frequência de junta relativas a uma dada direção de fraturamento associada a esses modelos, em um dado litotipo, lhes sejam específicos.

Desta forma, torna-se possível extrapolar valores pontuais de frequência de junta relativos a uma dada direção, em uma dada unidade litológica, a toda esta unidade, desde que esta direção tenha correspondência nos modelos citados acima.

Assim, a hierarquização das unidades litológicas quanto ao potencial de recarga/descarga foi feita de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Comparação do diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas relativo à área de estudo com aquele referente a todas as zonas de junta levantadas;
- 2) Identificação das direções preferenciais no diagrama de distribuição das zonas de juntas não-preenchidas relativo à área de estudo;
- 3) Relacionamento, para cada unidade litológica, dos valores de frequência de juntas não-preenchidas correspondentes às direções preferenciais identificadas na etapa anterior; e
- 4) Comparação entre os valores de frequência de juntas não-preenchidas correspondentes a uma dada direção preferencial, relativos a unidades geológicas distintas.

#### 4.9 - COMPOSIÇÃO DO MAPA DAS CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O mapa das condições de ocorrência das águas subterrâneas (Apêndice I) consiste na representação da divisão da área de estudo em áreas desfavoráveis e em áreas favoráveis à descarga das águas subterrâneas e da subdivisão destas em áreas muito pouco, pouco,

moderadamente e muito favoráveis à descarga, particularizadas a cada unidade litológica do embasamento.

As áreas situadas acima da cota-limite definida em função dos dados plani-altimétricos (seção 4.2) foram consideradas desfavoráveis à descarga; abaixo dessa cota-limite, definiram-se áreas favoráveis à descarga.

As áreas favoráveis à descarga foram subdivididas de acordo com a combinação dos dados classificados relativos às condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural e à densidade de traço de zona de junta, apresentada na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - COMBINAÇÃO DOS DADOS CLASSIFICADOS RELATIVOS À CONDICIONANTE HIDROGEOLÓGICA DE CARÁTER ESTRUTURAL E À DENSIDADE DE TRAÇO DE ZONA DE JUNTA PARA A SUBDIVISÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À DESCARGA

DENSIDADE DE TRAÇO DE ZONA DE JUNTA	CONDICIONANTE HIDROGEOLÓGICA DE CARÁTER ESTRUTURAL		
	POUCO FAVORÁVEL	MODERADAMENTE FAVORÁVEL	MUITO FAVORÁVEL
BAIXA	MUITO POUCO FAVORÁVEL	MUITO POUCO FAVORÁVEL	POUCO FAVORÁVEL
MODERADA	MUITO POUCO FAVORÁVEL	POUCO FAVORÁVEL	MODERADAMENTE FAVORÁVEL
ELEVADA	MUITO POUCO FAVORÁVEL	MODERADAMENTE FAVORÁVEL	MUITO FAVORÁVEL

As áreas sobre as faixas miloníticas/cataclásticas, nas quais não se dispõem de dados relativos às condicionantes hidrogeológicas de caráter estrutural, foram subdivididas somente quanto à densidade de traço de zona de junta, em áreas pouco favoráveis, moderadamente favoráveis e muito favoráveis à descarga das águas subterrâneas.

#### 4.10 - DEFINIÇÃO DOS PONTOS PARA PERFURAÇÃO DE POÇOS TUBULARES

Os pontos para perfuração de poços tubulares foram selecionados, em cada unidade geológica, nas áreas classificadas como moderadamente e muito favoráveis à descarga das águas subterrâneas e, nestas áreas, fazendo-os

coincidir com os pontos de interseção entre lineamentos estruturais, tendo um dos quais a mesma orientação das antigas linhas de fraqueza crustal ou a mesma direção preferencial de zonas de junta, relativa a uma determinada unidade litológica em que o ponto foi escolhido, que apresentasse a maior frequência de junta.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1 - SOBRE OS DADOS PLANI-ALTIMÉTRICOS

Observando-se os cinco perfis que constam do Apêndice C, verifica-se que a altitude de 800 m constitui o limite superior capaz de encimar a maioria das áreas consideradas rebaixadas, separando-as das áreas consideradas elevadas, não obstante algumas elevações menores tenham seus topos nivelados em torno desse valor de altitude, como, por exemplo, as que se observam nos perfis EE', à direita do ribeirão Itaim; DD', de ambos os lados do córrego Roseira; CC', à direita do rio Piraí; BB', na serra da Samambaia; e AA', à direita do rio do Salto. Entretanto, a escolha de uma cota inferior àquela, como a de 750 ou a de 700 m, causaria a redução ou a exclusão de algumas áreas rebaixadas, como, por exemplo, as das bacias do ribeirão Itaim, no perfil EE'; dos córregos Guaçaira e da Roseira e do ribeirão Piraí, no perfil DD'; e do ribeirão dos Francos, do rio Piraí e do córrego de Bragança, no perfil CC', sem evitar, contudo, a inclusão de outras elevações menores. Por outro lado, verificam-se alguns rebaixamentos menores compreendidos entre valores de altitude superiores a 800 m, como os nivelados abaixo dos 900 m, nos perfis DD', à direita do ribeirão Piraí; e CC', no córrego Santo Antônio. Entretanto, a escolha deste intervalo para a delimitação de áreas de mínimo incluir-lhe-ia algumas áreas reconhecidamente elevadas, como a da serra do Jambeiro, nos perfis EE' e BB'; e as situadas em ambos os lados do ribeirão Piraí, no perfil DD'.

Portanto, optou-se por classificar a área de estudo em dois compartimentos altimétricos, visando à delimitação de áreas favoráveis e desfavoráveis à descarga das águas subterrâneas. Incluem-se, no primeiro caso, as áreas cujas superfícies estão niveladas entre as altitudes de 550 e 800 m e, no segundo caso, aquelas cujas superfícies encontram-se entre as altitudes de 800 e 1200 m.

#### 5.2 - SOBRE AS CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICAS DE CARÁTER ESTRUTURAL

Por analogia ao trabalho de Veneziani et al. (1993), observa-se que as condicionantes hidrogeológicas

estão definidas por dobramentos flexurais, com eixos subhorizontais, resultantes de movimentos gravitacionais devidos à reativação de antigas linhas de fraqueza crustal nas direções em torno de NNW e ENE, coincidentes com os lineamentos estruturais traçados no Apêndice D.

### 5.3 - SOBRE OS DADOS DE DENSIDADE DE TRAÇO DE ZONA DE JUNTA

Os dados de densidade de traço de zona de junta permitiram o traçado de linhas de isodensidade que correspondiam a valores entre 1000 e 11000 m/km<sup>2</sup>, em intervalos de 1000 m/km<sup>2</sup>.

As áreas correspondentes aos valores de densidade inferiores a 4000 m/km<sup>2</sup> foram consideradas de baixa densidade ou de baixo potencial de recarga/descarga; aquelas correspondentes aos valores de densidade entre 4000 e 8000 m/km<sup>2</sup>, de densidade moderada ou de potencial moderado; e aquelas correspondentes aos valores de densidade superiores a 8000 m/km<sup>2</sup>, de elevada densidade ou de elevado potencial.

Além disso, foi possível definir as direções em torno de NNW, NE e ENE como antigas linhas de fraqueza crustal. Essas inferências vêm corroborar as conclusões sobre a continuidade dos movimentos transcorrentes e as reativações, por gravidade, nas direções em torno de NNW e ENE e, conseqüentemente, o condicionamento hidrogeológico por altos e baixos estruturais.

### 5.4 - SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE JUNTA

Das 80 medidas de zonas de juntas não-preenchidas, 76 delas (95% do total) apresentavam aberturas iguais a ou menores que 1 mm. Por este motivo, somente as juntas não-preenchidas com essas aberturas foram consideradas na hierarquização das unidades litológicas quanto ao potencial de recarga/descarga.

O diagrama de distribuição direcional das zonas de junta levantadas (Figura 5.1) aponta as seguintes direções preferenciais: N80W a N80E, N50-60W, N20-30W, N20-40E, N50-70E e N10W a NS. Adotando-se a orientação dos modelos de Riedel e de Vialon (1976) proposta por Veneziani et al. (1992) para a região do Vale do Paraíba do Sul, essas direções preferenciais de zona de junta correspondem às fraturas R, T, R', P e Y, respectivamente. As direções

N10W a NS, entretanto, não são correlacionáveis a esses modelos, sendo, provavelmente, resultantes da continuação dos movimentos transcorrentes ou da reativação por gravidade da direção NNW de antigas linhas de fraqueza crustal.

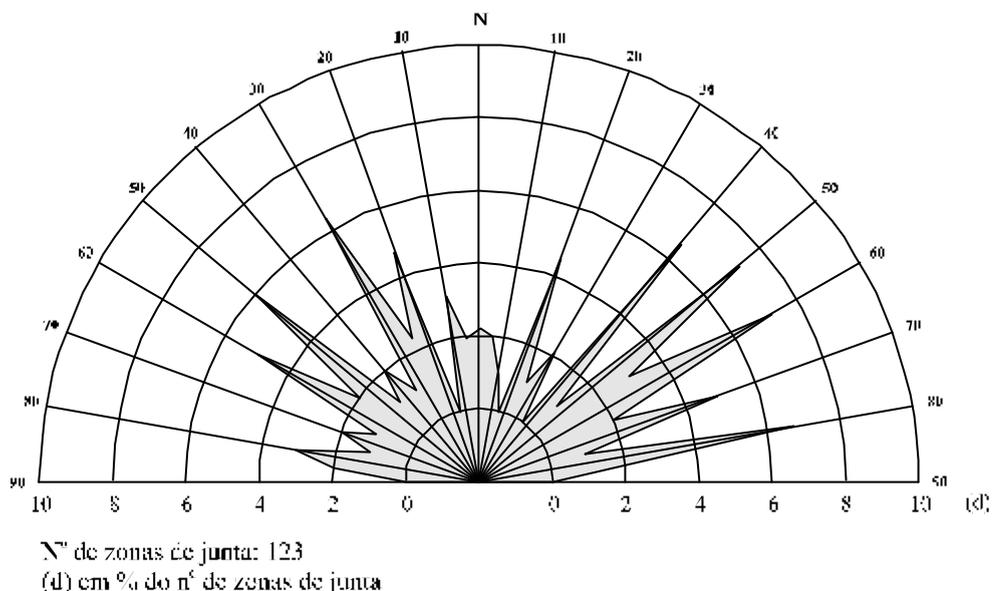


Fig. 5.1 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de junta levantadas.

O diagrama das zonas de juntas não-preenchidas com aberturas iguais a ou menores que 1 mm, na área de estudo (Figura 5.2), reproduz, proporcionalmente, as mesmas direções preferenciais encontradas no diagrama da Figura 5.1, indicando sua concordância com os modelos de Riedel e de Vialon (1976) adequados à região. Assim, é possível a extrapolação dos valores pontuais de frequência de junta, correspondentes a uma dada direção e numa dada unidade litológica, a toda a unidade.

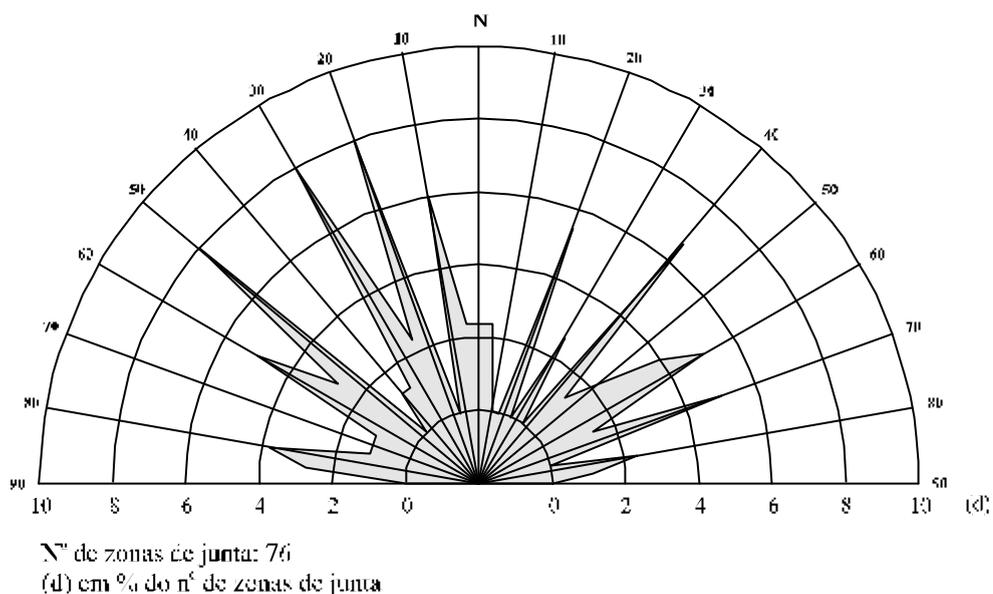


Fig. 5.2 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d), na área de estudo.

A Tabela 5.1 relaciona os valores de frequência de junta correspondentes às direções preferenciais de zonas de juntas não-preenchidas que são reproduzidas seletivamente pelas unidades litológicas (Figuras 5.3 a 5.7).

TABELA 5.1 - FREQUÊNCIAS DE JUNTAS NÃO-PREENCHIDAS, COM ABERTURAS IGUAIS A OU MENORES QUE 1 mm, CORRESPONDENTES ÀS DIREÇÕES PREFERENCIAIS DAS ZONAS DE JUNTA EM CADA UNIDADE LITOLÓGICA

DIREÇÃO	FREQUÊNCIAS DE JUNTA				
	GRAN. PÓS-TEC.	MILON. / CATACLAS.	GRAN. SINTEC	XISTOS	GRAN.-GN.
N80W	-	3,33	6,67	-	6,67
N50-60W	3,33	1,25	0,67	1,33	0,77
		5,00	2,50	14,28	
		20,00	20,00	20,00	
N20-30W	5,00	2,22	6,67	2,50	1,00
		3,33	14,28	3,33	
			20,00	6,67	
				10,00	

(continua)

Tabela 5.1 - Conclusão

DIREÇÃO	FREQÜÊNCIAS DE JUNTA				
	GRAN. PÓS-TEC.	MILON. / CATACLAS.	GRAN. SINTEC	XISTOS	GRAN.-GNAISSE
N10W	6,67	-	-	2,00	10,00
N20E	2,86	1,00 3,33	-	-	1,28
N40E	-	5,00	10,00	-	0,40 10,00
N55-60E	2,86	0,50 1,00	0,77	1,00 4,00 10,00	-
N70E	-	-	6,67	2,50 10,00	14,28

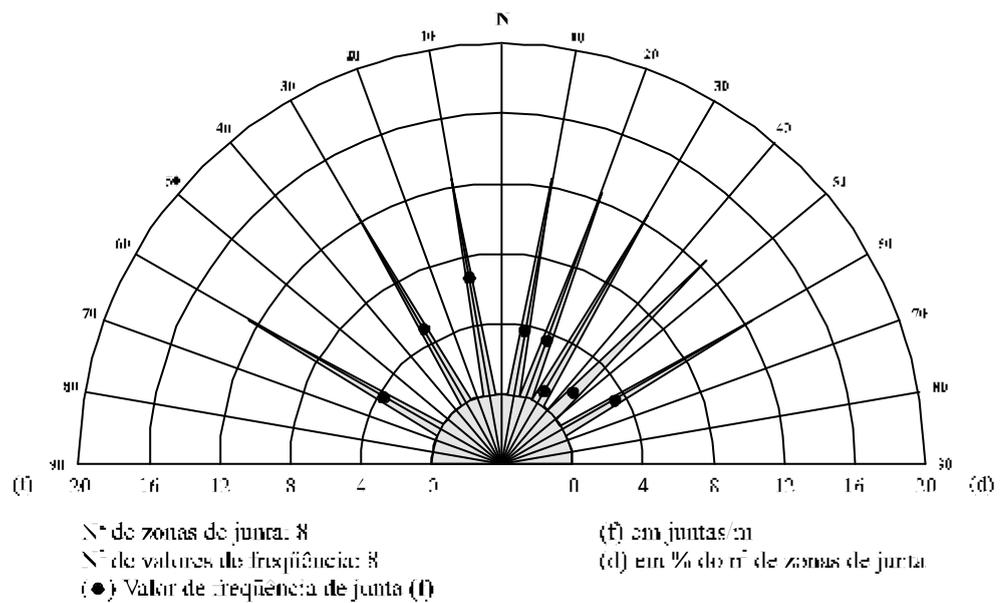


Fig. 5.3 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm ( $d$ ) e das respectivas freqüências de junta ( $f$ ), no granito pós-tectônico.

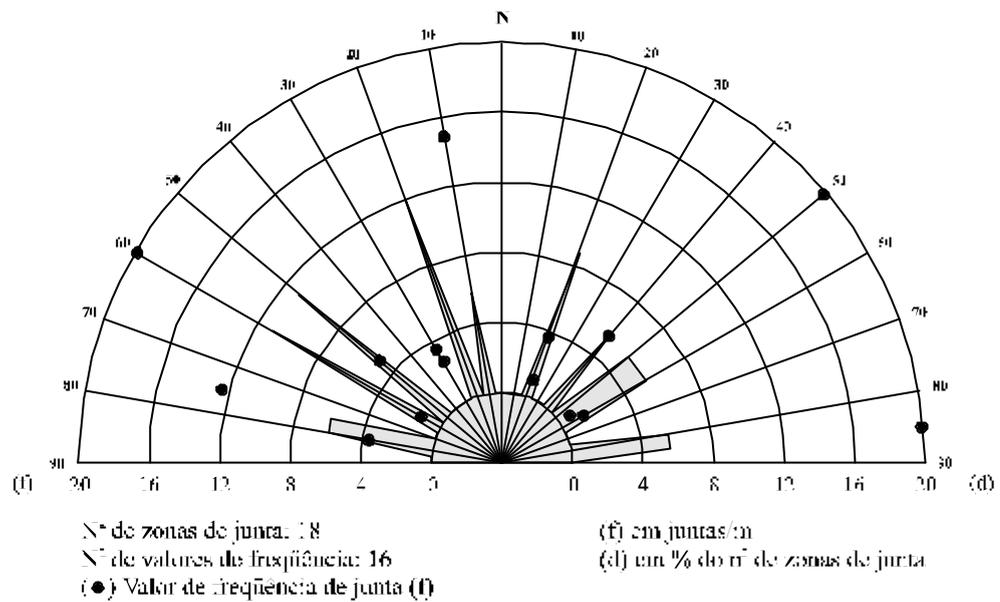


Fig. 5.4 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas freqüências de junta (f), nos milonitos/cataclasitos.

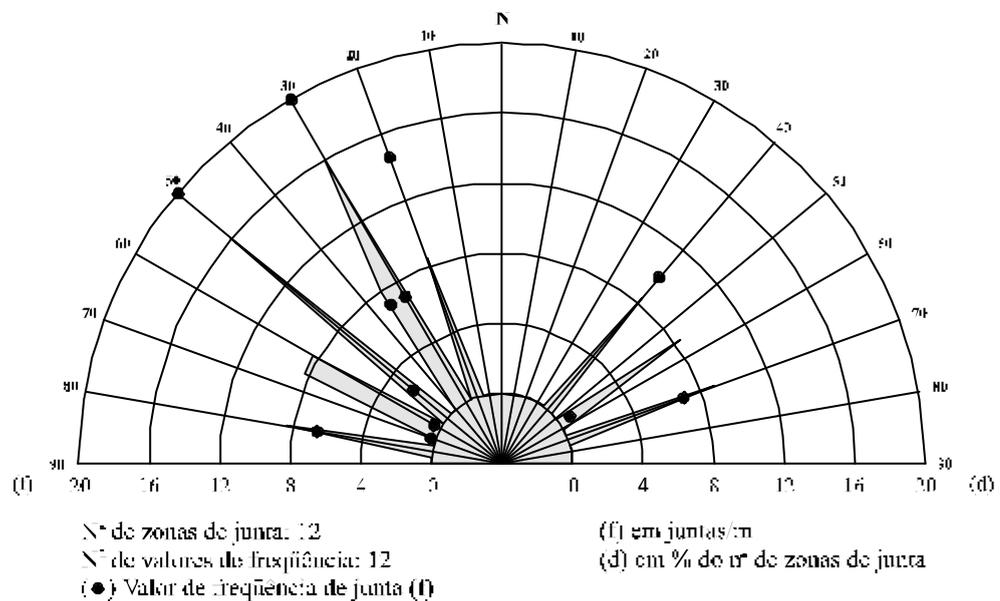


Fig. 5.5 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas freqüências de junta (f), no granito sintectônico.

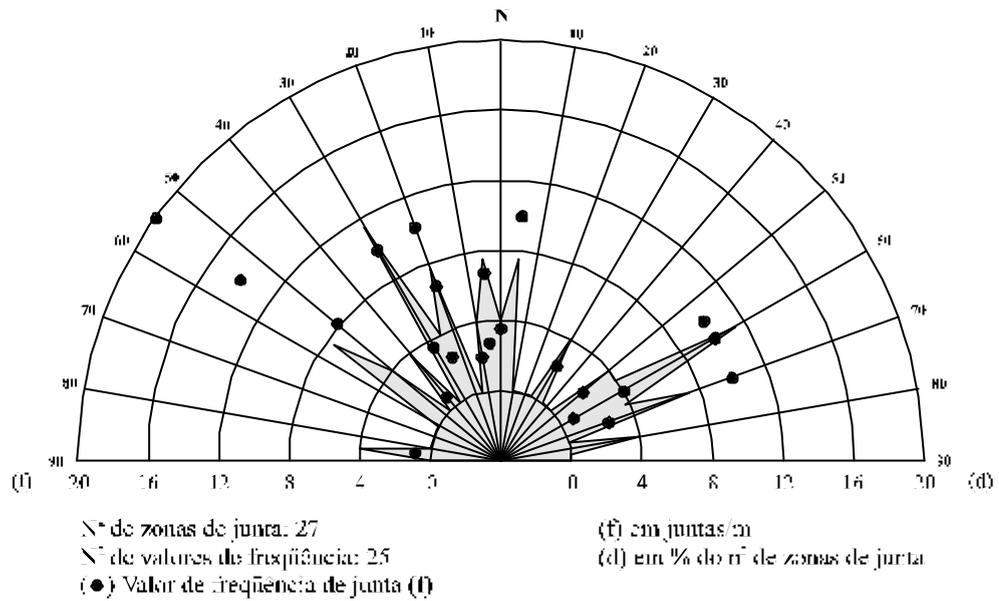


Fig. 5.6 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas freqüências de junta (f), nos xistos.

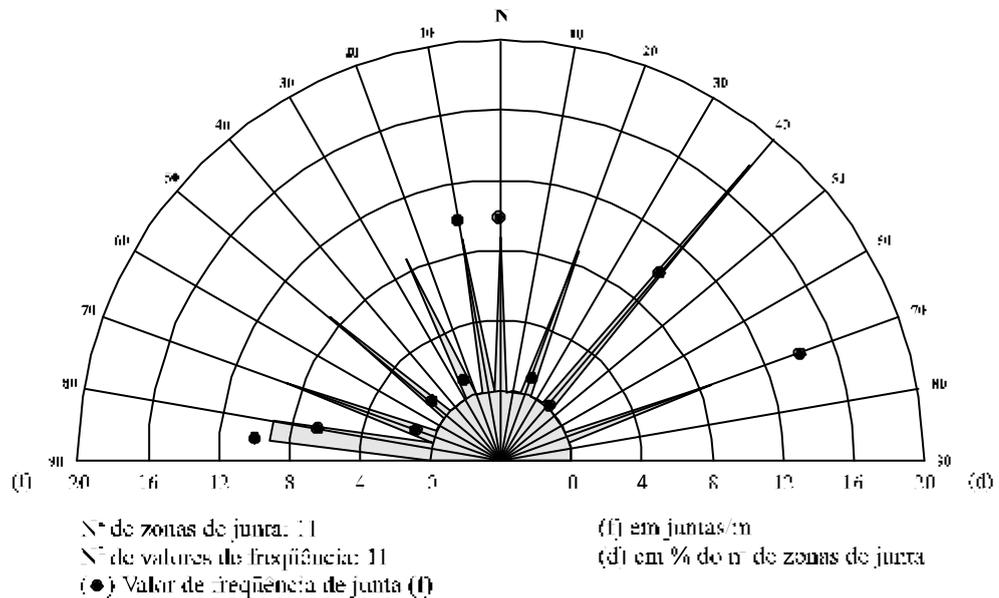


Fig. 5.7 - Diagrama de distribuição direcional das zonas de juntas não-preenchidas e com aberturas iguais a ou menores que 1 mm (d) e das respectivas freqüências de junta (f), nos granito-gnaisses.

Tendo em vista o número de direções preferenciais reproduzidas e as freqüências de junta correspondentes a cada uma, as unidades foram classificadas em muito favoráveis, nos casos do granito sintectônico, dos xistos e dos granito-gnaisses; moderadamente favoráveis, no caso dos milonitos/cataclasitos; e pouco favoráveis à descarga das águas subterrâneas, no caso dos granitos pós-tectônicos.

#### 5.5 - SOBRE AS CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Mesmo não sendo uma amostragem significativa para que se estabeleça uma correlação confiável entre as áreas classificadas como favoráveis à descarga (Apêndice I) e os dados sobre capacidade específica de poços tubulares (Tabela 5.2), a única comparação possível entre essas informações faz-se necessária.

O poço número 1 foi perfurado em xistos, em uma área classificada como pouco favorável à descarga. O de número 4, localizado aproximadamente em função do local descrito na Tabela 5.2, foi perfurado em granito-gnaisses e encontra-se em uma área classificada como muito pouco favorável. Apresentam capacidades específicas de 0,08 e 0,05 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente. Os poços de números 2 e 3 foram perfurados nos milonitos/cataclasitos, em um área classificada como moderadamente favorável à descarga. Apresentam capacidades específicas de 0,58 e 0,62 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente, valores oito vezes superiores, em média, àquelas apresentadas pelos dois primeiros poços.

TABELA 5.2 - CADASTRO DOS POÇOS TUBULARES PERFURADOS EM ROCHAS DO EMBASAMENTO

Nº	LOCAL	UTME	UTMS	COTA (m)
1	Fazenda São Rafael	429900	7416500	640
2	Parque Mun. da Cascata	429350	7426200	660
3	Chácara das Rosas	429300	7427020	660
4	Fazenda Santa Bárbara	...	...	...

(continua)

Tabela 5.2 - Conclusão

N <sup>o</sup>	PROF (m)	NE (m)	ND (m)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	FONTE
1	81,00	3,50	43,00	3,00	HIDROGESP
2	91,80	7,24	37,04	17,20	SABESP
3	150,00	3,98	67,60	39,60	SABESP
4	90,00	8,00	81,00	3,50	HIDRO-SOLO

COTA, em metros

PROF, profundidade (m)

NE, nível estático (m)

ND, nível dinâmico (m)

Q, vazão (m<sup>3</sup>/h)

(...), dado não disponível



CAPÍTULO 6CONCLUSÕES

Apesar de terem sido definidas áreas moderadamente favoráveis à ocorrência das águas subterrâneas em todas as unidades litológicas e muito favoráveis no granito pós-tectônico, nos granito-gnaisses e nos milonitos/cataclasitos, as faixas miloníticas/cataclásticas do Alto da Fartura, ao longo do rio Piraí; de Taxaquara, ao longo do córrego Bragança; e de Cubatão, passando pela cidade de Paraibuna; e os xistos e os granito-gnaisses no extremo sudeste da área de estudo apresentam-se como as unidades que compreendem a maior parte das áreas mais favoráveis à ocorrência das águas subterrâneas no embasamento, nas quais a maioria dos pontos para perfuração foram selecionados.

Os dados de vazão específica de poços existentes apontam uma correlação satisfatória com a classificação feita para as áreas favoráveis à descarga das águas subterrâneas no embasamento.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(supl.):15-26, 1976. Proceedings of the International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, São Paulo, 1975.
- Aliyev, A. Regional fracturing of the Pamirs and its metallogenetic significance. *Doklady Earth Science Sections*, 250(1-6):90-93, May 1982.
- Bistrichi, C.A. et al. Mapa geológico da folha Taubaté. In: Bistrichi, C.A. et al. *Geologia das folhas Jacareí (SF-23-Y-D-II-3), Tremembé (SF-23-Y-B-V-4), Taubaté (SF-23-Y-D-II-2) e Pindamonhangaba (SF-23-Y-B-VI-3), escala 1:50.000, estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. (Relatório Nº 28732)
- Cavalcante, J.C.; Kaefer, L.O. Geologia da folha de Santos (parcial). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais*. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 4, p. 227-245.
- Ebert, H. Ocorrências da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 40(supl.):215-229, 1968. Simpósio sobre o Manto Superior, 1967.
- Hasui, Y. Evolução polifásica do pré-Cambriano a oeste de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 6:95-108, 1975.
- Hasui, Y.; Sadowski, G.R. Evolução geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6(3):180-200, set. 1976.
- Hasui, Y.; Ponçano, W.L. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 1, p. 368-381.

- Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A. Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 6, p. 2594-2608.
- Hasui, Y.; Fonseca, M.J.G.; Ramalho, R. A parte central da Região de Dobramentos Sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E., coord. *Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984, cap. 7, p. 307-328. Escala 1:2.500.000.
- Hasui, Y.; Dantas, A.S.L.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A. O embasamento pré-Cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: Almeida, F.F.M. de et al. *Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981, cap. 3, p. 12-45. Escala 1:500.000. (Monografias, 6; IPT Nº 1184).
- Hennies, W.T.; Hasui, Y.; Penalva, F. O falhamento transcorrente de Taxaquara. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 21., Curitiba, 1967. *Anais*. Curitiba, Sociedade Brasileira de Geologia, 1967, p. 159-168.
- Hobbs, B.E.; Means, W.D.; Williams, P.F. *An outline of structural geology*. New York, John Wiley, 1976. 571 p.
- Kurkdjian, M.L.N.O. et al. *Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo*. São José dos Campos, INPE, 1992, v. 1, 176 p. (INPE-5381-PRP/165).
- Plicka, M. Observations on joint zones in Moravia, Czechoslovakia. In: International Conference on the New Tectonics, 1., Salt Lake City, 1974. *Proceedings*. Salt Lake City, UT, Utah Geological Association, 1976, p. 193-199. (Publication 5).
- Rego, L.F.M. *Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo*. São Paulo, Instituto Agrônômico e Geofísico, 1933.

- Rocio, M.A.R.; Veneziani, P. Geração automática de mapas de densidade de segmentos de reta: aplicação aos traços de fratura e de foliação fotointerpretados. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, v. 1, p. 161-162.
- Sadowski, G.R. *Tectônica da serra de Cubatão*. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974. 159 p.
- Sampaio, O.S.; Mattos, J.T. de; Veneziani, P. Estudos de fraturamentos para pesquisa de água subterrânea no Estado de Sergipe com produtos de sensoriamento remoto. In: Simpósio Latino-americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, 1986. *Anais*. São José dos Campos, SELPER/INPE/SBC, 1986, v. 1, p. 447-452.
- Sergipe. Secretaria de Planejamento (SEPLAN)/ Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). *Projeto Sergipe: relatório preliminar*. Aracajú, s.ed., 1985.
- Soares, P.C.; Fiori, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32):107-121, dez. 1976.
- Veneziani, P. et al. Identificação de estruturas características da Faixa de Cisalhamento São Paulo em imagens TM-LANDSAT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, v. 1, p. 162-163.
- Veneziani, P. et al. Reconhecimento de figuras de interferência geradas pela superposição de dobras flexurais na região do Vale do Paraíba do Sul (SP) com a utilização de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. *Anais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1993, v. 3, p. 368-375.
- Vialon, P.; Ruhland, M.; Grolier, J. *Eléments de tectonique analytique*. Paris, Masson, 1976. 118 p.



APÊNDICE ASUB-ROTINA PARA O CÁLCULO DA DENSIDADE DE SEGMENTO DE RETA

```

/* Função que calcula o somatório das extensões dos
segmentos limitados pela célula */

double
somalin(float x1,float y1,float x2,float y2,float xa,
        float ya,float xb,float yb)
[

float      modelx,modely,
         iaux,yaux,
          xya,xyb,yxa,yxb;

double delx=0.,dely=0.,declx=0.,decly=0.,ext=0.;

delx = (double)(x2 - x1);          /* distância no eixo-x
*/
dely = (double)(y2 - y1);
modelx = (float)fabs (delx);      /* módulo da distância
*/
modely = (float)fabs (dely);

/* Calcula: 1. abcissas xya e xyb dos pontos de interseção
da reta/segmento com as retas dos lados inferior (ya) e
superior (yb) da célula de amostragem ; 2. ordenadas
yxa e yxb dos pontos de interseção da reta/segmento com
as retas dos lados esquerdo (xa) e direito (xb) da
célula */

/* Para retas no 1º e no 8º octante, incluídas as
horizontais e as + ou - pi/4 */

if (modelx >= modely)
[
    declx = dely / delx;

    /* Para retas horizontais */

    if (declx == 0.)
    [
        yxa = y1;
        yxb = y2;
    ]
]

```

```

/* Retas no primeiro octante */

else
if(declx > 0. && declx <= 1.)
[
    if(x2 > x1 && y2 > y1)
    [
        xya = (declx * x2 - y2 + ya) / declx;
        xyb = (declx * x2 - y2 + yb) / declx;
        yxa = y2 - declx * (x2 - xa);
        yxb = y2 - declx * (x2 - xb);
    ]
    else
    if(x2 < x1 && y2 < y1)
    [
        xya = (declx * x1 - y1 + ya) / declx;
        xyb = (declx * x1 - y1 + yb) / declx;
        yxa = y1 - declx * (x1 - xa);
        yxb = y1 - declx * (x1 - xb);
    ]
]

/* Retas no oitavo octante */

else
if(declx < 0. && declx >= -1.)
[
    if(x2 < x1 && y2 > y1)
    [
        xya = (declx * x2 - y2 + ya) / declx;
        xyb = (declx * x2 - y2 + yb) / declx;
        yxa = y2 - declx * (x2 - xa);
        yxb = y2 - declx * (x2 - xb);
    ]
    else
    if(x2 > x1 && y2 < y1)
    [
        xya = (declx * x1 - y1 + ya) / declx;
        xyb = (declx * x1 - y1 + yb) / declx;
        yxa = y1 - declx * (x1 - xa);
        yxb = y1 - declx * (x1 - xb);
    ]
]
]

```

```

/* Para retas no 2º e no 7º octante, incluídas as verticais */

else
if (modelx < modely)
[
    declx = delx / dely;

    /* Para retas verticais */

    if (declx == 0.)
    [
        xya = x1;
        xyb = x2;
    ]

    /* Retas no segundo octante */

else
if(declx > 0. && declx < 1.)
[
    if(x2 > x1 && y2 > y1)
    [
        xya = x2 - declx * (y2 - ya);
        xyb = x2 - declx * (y2 - yb);
        yxa = (declx * y2 - x2 + xa) / declx;
        yxb = (declx * y2 - x2 + xb) / declx;
    ]
    else
    if(x2 < x1 && y2 < y1)
    [
        xya = x1 - declx * (y1 - ya);
        xyb = x1 - declx * (y1 - yb);
        yxa = (declx * y1 - x1 + xa) / declx;
        yxb = (declx * y1 - x1 + xb) / declx;
    ]
]

/* Retas no sétimo octante */

else
if(declx < 0. && declx > -1.)
[
    if(x2 < x1 && y2 > y1)
    [
        xya = x2 - declx * (y2 - ya);
        xyb = x2 - declx * (y2 - yb);
        yxa = (declx * y2 - x2 + xa) / declx;

```

```

        yxb = (decly * y2 - x2 + xb) / decly;
    ]
    else
    if(x2 > x1 && y2 < y1)
    [
        xya = x1 - decly * (y1 - ya);
        xyb = x1 - decly * (y1 - yb);
        yxa = (decly * y1 - x1 + xa) / decly;
        yxb = (decly * y1 - x1 + xb) / decly;
    ]
    ]
]

/* Arranja em ordem crescente abcissas e ordenadas dos
pontos extremos do segmento */

if (x1 > x2)                /*arranjo das abcissas*/
[
    xaux = x2;
    x2 = x1;
    x1 = xaux;
]
if (y1 > y2)                /*arranjo das ordenadas*/
[
    yaux = y2;
    y2 = y1;
    y1 = yaux;
]

/* Calcula extensão do segmento dentro da célula (menor ou
igual) */

if ((x1 >= xa) && (x1 <= xb) && (x2 >= xa) && (x2 <= xb) &&
    (y1 >= ya) && (y1 <= yb) && (y2 >= ya) && (y2 <= yb))
[
    ext = sqrt (delx * delx + dely * dely);

/* Calcula extensão do segmento colinear ao e menor
que/igual ao lado esquerdo (xa) da célula */

    if ((x1 == xb) && (x2 == xb) && (y1 >= ya) &&
        (y1 <= yb) && (y2 >= ya) && (y2 <= yb))
    [
        return(0.);
    ]
]

```

```

/* Calcula extensão do segmento colinear ao e menor
que/igual ao lado superior (yb) da célula */

else
if ((y1 == ya) && (y2 == ya) && (x1 >= xa) &&
(x1 <=xb) && (x2 >= xa) && (x2 <= xb))
[
return(0.);
]
else
[
ext = sqrt (delx * delx + dely * dely);
]
]

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas são colineares ao lado esquerdo
(xa) da célula */

else
if ((xya == xa) && (xyb == xa))
[
if ((y1 >= ya) && (y1 < yb) && (y2 > yb))
[
y2 = yb;
]
else
if ((y1 < ya) && (y2 > yb))
[
y1 = ya;
y2 = yb;
]
else
if ((y1 < ya) && (y2 > ya) && (y2 <= yb))
[
y1 = ya;
]
else
[
return(0.);
]
]
]

```

```

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas são colineares ao lado superior
(yb) da célula */

else
if ((yxa == yb) && (yxb == yb))
[
    if ((x1 < xa) && (x2 > xa) && (x2 <= xb))
    [
        x1 = xa;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xb))
    [
        x1 = xa;
        x2 = xb;
    ]
    else if ((x1 >= xa) && (x1 < xb) && (x2 > xb))
    [
        x2 = xb;
    ]
    else
    [
        return(0.);
    ]
]

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
inferior (ya) e superior (yb), exceto as diagonais e
as verticais colineares aos lados esquerdo (xa) e
direito (xb) */

else
if ((xya > xa) && (xya < xb) && (xyb > xa) && (xyb < xb))
[
    if ((decly >= 0.) && (decly < 1.))
    [
        /* retas verticais até retas a 45 graus, sentido
horário a partir do norte */

        if ((y1 >= ya) && (y1 < yb) && (y2 > yb))
        [
            x2 = xyb;
            y2 = yb;
        ]
        else

```

```

if ((y1 < ya) && (y2 > yb))
[
    x1 = xya; y1 = ya;
    x2 = xyb; y2 = yb;
]
else
if ((y1 < ya) && (y2 > ya) && (y2 <= yb))
[
    x1 = xya;
    y1 = ya;
]
else
[
    return(0.);
]

]
else
if ((declx > -1.) && (declx < 0.))
[
/* retas verticais até retas a 45 graus, sentido anti-
horário a partir do sul */

    if ((y1 >= ya) && (y1 < yb) && (y2 > yb))
    [
        x1 = xyb;
        y2 = yb;
    ]
    else
if ((y1 < ya) && (y2 > yb))
[
    x1 = xyb; y1 = ya;
    x2 = xya; y2 = yb;
]
else
if ((y1 < ya) && (y2 > ya) && (y2 <= yb))
[
    y1 = ya;
    x2 = xya;
]
else
[
    return(0.);
]

]
]

```

```

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
esquerdo (xa) e direito (xb), exceto as diagonais e as
horizontais colineares aos lados inferior (ya) e
superior (yb) */

else
if ((yxa > ya) && (yxa < yb) && (yxb > ya) && (yxb < yb))
[
  if ((declx >= 0.) && (declx < 1.))
  [
    if ((x1 >= xa) && (x1 < xb) && (x2 > xb))
    [
      x2 = xb;
      y2 = yxb;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xb))
    [
      x1 = xa; y1 = yxa;
      x2 = xb; y2 = yxb;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xa) && (x2 <= xb))
    [
      x1 = xa;
      y1 = yxa;
    ]
    else
    [
      return(0.);
    ]
  ]
  else
  if ((declx > -1.) && (declx < 0.))
  [
    if ((x1 >= xa) && (x1 < xb) && (x2 > xb))
    [
      x2 = xb;
      y1 = yxb;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xb))
    [
      x1 = xa; y1 = yxb;
      x2 = xb; y2 = yxa;
    ]
  ]

```

```

        else
        if ((x1 < xa) && (x2 > xa) && (x2 <= xb))
        [
            x1 = xa;
            y2 = yxa;
        ]
        else
        [
            return(0.);
        ]
    ]
]

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
esquerdo (xa) e superior (yb), inclusive a diagonal a
nordeste */

else
if ((yxa >= ya) && (yxa < yb) && (xyb > xa) && (xyb <= xb))
[
    if ((x1 >= xa) && (x1 < xyb) && (x2 > xyb))
    [
        x2 = xyb;
        y2 = yb;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xyb))
    [
        x1 = xa; y1 = yxa;
        x2 = xyb; y2 = yb;
    ]
    else
    if ((x1 < xa) && (x2 > xa) && (x2 <= xyb))
    [
        x1 = xa;
        y1 = yxa;
    ]
    else
    [
        return(0.);
    ]
]
]

```

```
/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
superior (yb) e direito (xb), inclusive a diagonal a
noroeste */
```

```
else
if ((yxb >= ya) && (yxb < yb) && (xyb >= xa) && (xyb < xb))
[
    if ((x1 >= xyb) && (x1 < xb) && (x2 > xb))
    [
        y1 = yxb;
        x2 = xb;
    ]
    else
    if ((x1 < xyb) && (x2 > xb))
    [
        x1 = xyb; y1 = yxb;
        x2 = xb; y2 = yb;
    ]
    else
    if ((x1 < xyb) && (x2 > xyb) && (x2 <= xb))
    [
        x1 = xyb;
        y2 = yb;
    ]
    else
    [
        return(0.);
    ]
]
]
```

```
/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
direito (xb) e inferior (ya), inclusive a diagonal a
nordeste */
```

```
else
if ((yxb > ya) && (yxb <= yb) && (xya >= xa) && (xya < xb))
[
    if ((x1 >= xya) && (x1 < xb) && (x2 > xb))
    [
        x2 = xb;
        y2 = yxb;
    ]
    else
    if ((x1 < xya) && (x2 > xb))
    [
```

```

        x1 = xya; y1 = ya;
        x2 = xb; y2 = yxb;
    ]
else
if ((x1 < xya) && (x2 > xya) && (x2 <= xb))
[
    x1 = xya;
    y1 = ya;
]
else
[
    return(0.);
]
]

/* Redefine as coordenadas dos pontos extremos dos
segmentos cujas retas interceptam a célula nos lados
inferior (ya) e esquerdo (xa), inclusive a diagonal a
noroeste */

else
if ((yxa > ya) && (yxa <= yb) && (xya > xa) && (xya <= xb))
[
    if ((x1 < xa) && (x2 > xa) && (x2 <= xya))
    [
        x1 = xa;
        y2 = yxa;
    ]
    else
if ((x1 < xa) && (x2 > xya))
[
    x1 = xa; y1 = ya;
    x2 = xya; y2 = yxa;
]
else
if ((x1 >= xa) && (x1 < xya) && (x2 > xya))
[
    y1 = ya;
    x2 = xya;
]
else
[
    return(0.);
]
]

```

```
/* O segmento não interceptou a célula */  
else  
[  
    return(0.);  
]  
  
/* Determina extensão ao longo dos eixos x e y da parte do  
segmento dentro da célula */  
  
    delx = (double)(x2 - x1);  
    dely = (double)(y2 - y1);  
  
/* Determina extensão total */  
  
    ext = sqrt (delx * delx + dely * dely);  
    return(ext);  
]
```

APÊNDICE BCARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE JUNTAB.1 - CONVENÇÃO

(...), dados não-disponíveis  
 (--), sem preenchimento  
 (FELD), preenchimento de feldspato  
 (QTZ), preenchimento de quartzo  
 (MUSC), preenchimento de muscovita

B.2 - NO GRANITO PÓS-TECTÔNICO

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
29	N80W	...	--	...
	N30W	1	--	5,00
	N10W	1	--	6,67
	N10E	1	--	3,33
	N30E	1	--	0,77
	N45E	1	--	1,33
	N70E	10	FELD	20,00
32	N60W	1	--	3,33
	N20E	1	--	2,86
	N60E	1	--	2,86
	N50W	1	QTZ	6,67
	N80E	30	QTZ	1,43

B.3 - NOS MILONITOS/CATACLASITOS

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
27	N60E	15	QTZ	1,00
35	N60W	1	--	20,00
	N85E	1	--	20,00
	N50E	10	QTZ	12,50
	N70E	20	QTZ	20,00
	N80E	10	QTZ	12,50
	N25W	1	...	10,00

(continua)

## B.3 - Continuação

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
36	N60E	1	QTZ	6,67
	N85E	1 a 50	QTZ	20,00
38	N20E	1	--	1,00
	N50W	1	QTZ	...
	N40W	1 a 20	QTZ	0,50
	N15E	1 a 60	QTZ	1,25
	N60E	1 a 40	QTZ	1,18
	N80E	1	QTZ	0,50
39	N80W	1	--	3,33
	N20W	1	--	2,22
	N05W	...	--	...
	N20E	1	--	3,33
	N40E	1	--	5,00
	N60E	...	--	...
41	N20W	1	--	3,33
	N50E	1	--	20,00
	N80E	1	--	...
47	N55E	1	--	0,50
	N20W	...	FELD + QTZ	...
	N40E	10	FELD + QTZ	1,00
48	N10W	...		5,00
	N30E	até 400	FELD + QTZ	6,67
	N40E	1 a 150	FELD + QTZ	2,50
50	N60W	1	--	1,25
	N30W	...	--	...
	N55E	200	--	1,00
	N60E	1	--	1,00
52	N10W	1	--	14,28
	N50E	30 a 350	FELD + QTZ	6,67
54	N80W	50	--	0,50
	N50W	1	--	...
	N60W	1 a 20	QTZ	1,00

(continua)

## B.3 - Conclusão

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
57	N75W	1	--	12,50
	N50W	1	--	5,00
	N20W	1	--	2,22
	N40E	150	QTZ	2,50

B.4 - NO GRANITO SINTECTÔNICO

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
42	N80W	1	--	6,67
	N50W	1	--	2,50
	N35W	1	--	6,67
	N30W	1	--	20,00
	N40E	1	--	10,00
	N55E	1	--	0,77
	N70E	1	--	6,67
	43	N30W	1	--
44	N50W	1	--	20,00
	N50E	10 a 50	FELD + QTZ	20,00
	N80E	1	FELD + QTZ	5,00
45	N70W	...	--	...
	N65W	1	--	0,33
	N40W	...	--	...
	N20W	1	--	14,28
	N50E	5	QTZ	3,33
46	N60W	1	--	0,67
	N50E	10	FELD + QTZ	20,00
	N80E	10	QTZ	12,50

B.5 - NOS XISTOS

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
23	N65E	1	--	...
25	N30E	1	--	2,00
	N50E	1	--	2,00
	N80E	1	QTZ	10,00
	N60E	...	...	...
26	N40W	1	--	0,67
	NS	1	--	3,33
	N40E	5	QTZ	2,50
	N60E	5	QTZ	2,50
28	N30W	1	--	10,00
	N60E	1	--	10,00
31	N15E	...	--	...
	N60E	1	--	4,00
33	N05W	1	--	2,50
	N05E	1	--	10,00
	N70E	1	--	2,50
	N60W	1	QTZ	5,00
	N25E	1	QTZ	1,25
34	N20W	1	--	6,67
	N55E	1	--	10,00
	NS	1	QTZ	5,00
	N60E	1	SÍLEX	10,00
40	N70W	20	--	...
	N30W	1	--	3,33
	N60E	1	--	1,00
49	N10W	1	--	2,00
	N75E	30	QTZ	10,00
51	N55W	1	--	20,00
	N20W	1	--	10,00
	N70E	1	--	10,00

(continua)

## B.5 - Conclusão

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	PREENCHIMENTO	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/m)
53	N85W	1	--	1,00
	N50E	até 150	FELD + QTZ	...
55	N55W	1	--	8,33
	N25W	1	--	2,50
	N05E	1	--	...
	N40E	200	QTZ	2,50

B.6 - NOS GRANITO-GNAISSES

PONTO	DIREÇÃO	ABERTURA (mm)	<u>PREENCHIMENTO</u>	FREQÜÊNCIA DE JUNTA (juntas/mm)
24	N85W	1	--	10,00
	N70W	1	--	1,25
	N50W	1	--	0,77
	N30W	10	QTZ	4,00
	N20E	10	QTZ	7,00
	N50E	3 a 30	QTZ	3,33
	N65E	10	QTZ	10,00
30	N80W	1	--	6,67
	NS	1	--	10,00
	N20E	1	--	1,28
	N40E	1	--	10,00
	N70E	1	--	14,28
56	N45W	30	--	12,50
	N25W	1	--	1,00
	N10W	1	--	10,00
	N30W	100	QTZ	16,67
	N20E	70	QTZ + MUSC	6,67
58	N40E	1	--	0,33
	N15E	30	QTZ	0,40



APÊNDICE C

PERFIS TOPOGRÁFICOS



APÊNDICE D

MAPA DAS CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICAS  
DE CARÁTER ESTRUTURAL



APÊNDICE E

MAPA DE TRAÇOS DE ZONA DE JUNTAS



APÊNDICE F

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS



APÊNDICE G

MAPA GEOLÓGICOS



APÊNDICE H

MAPA DE DENSIDADE DE ZONA DE JUNTA



APÊNDICE I

MAPA DAS CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO EMBASAMENTO