

**Governo do Estado
de São Paulo**

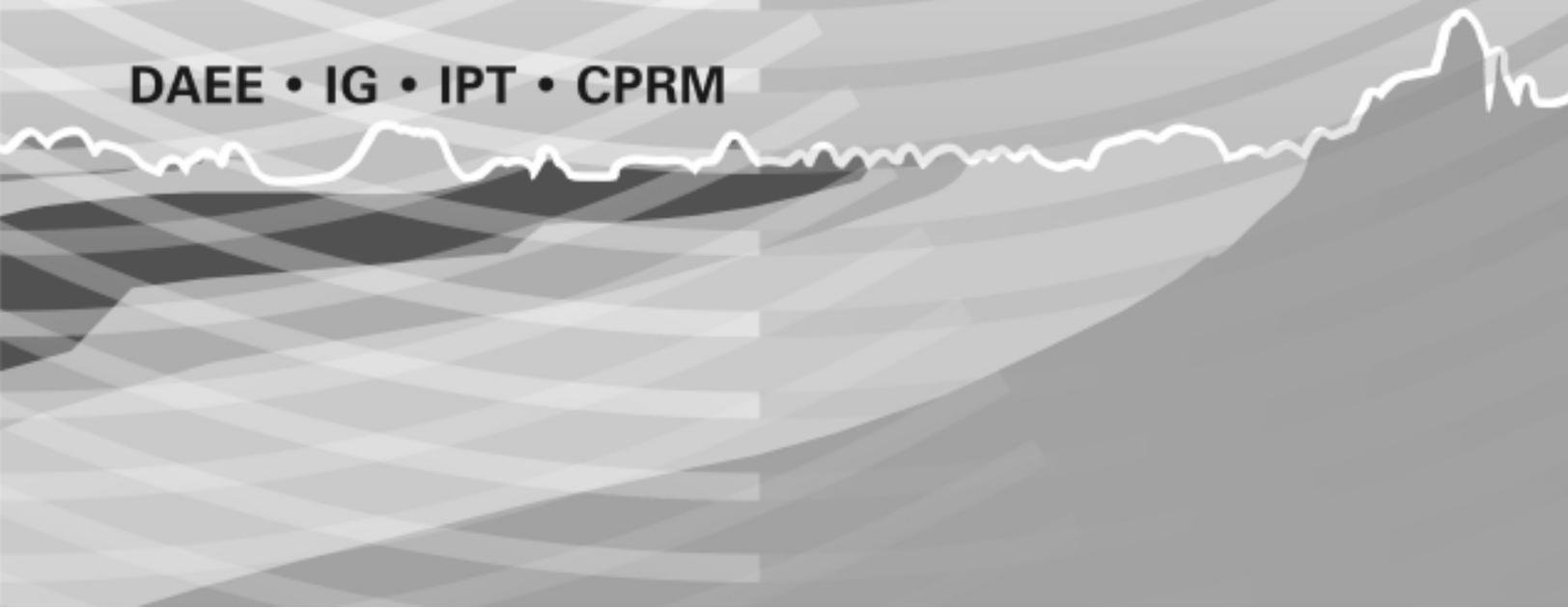
Conselho Estadual
de Recursos Hídricos

**Mapa de Águas
Subterrâneas
do Estado de São Paulo
Escala 1:1.000.000**

Nota Explicativa

2005

DAEE • IG • IPT • CPRM



Ficha Catalográfica elaborada por:
Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo : escala 1:1.000.000 :
nota explicativa / [coordenação geral Gerônimo Rocha]. - São Paulo : DAAE-
Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG-Instituto Geológico : IPT-
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : CPRM-
Serviço Geológico do Brasil, 2005.

Vários colaboradores.
Obra em 3 v.
Inclui CD-ROM e mapa escala.
Bibliografia.

1. Águas subterrâneas – Proteção – São Paulo (Estado)
2. Águas subterrâneas – São Paulo (Estado) – Mapas 3. Aqüíferos – São Paulo
(Estado) 4. Recursos hídricos – São Paulo (Estado)
I. Rocha, Gerônimo.

05-8753

CDD-551.490981610223

Índices para catálogo sistemático:

1. Águas subterrâneas : São Paulo : Estado : Mapas :
Geologia 551.490981610223
2. Mapas : Águas subterrâneas : São Paulo : Estado :
Geologia 551.490981610223

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Geraldo Alckmin

Governador

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Mauro Guilherme Jardim Arce

Presidente

SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

Mauro Guilherme Jardim Arce

Secretário

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE

Ricardo Daruiz Borsari

Superintendente

Diretoria de Recursos Hídricos

Luiz Fernando Carneseca

Diretor

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

José Goldemberg

Secretário

INSTITUTO GEOLÓGICO – IG

Sônia Aparecida Abissi Nogueira

Diretora Geral

Seção de Hidrogeologia

Mara Akie Iritani

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

João Carlos de Souza Meirelles

Secretário

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT

Guilherme Ary Plonski

Diretor Superintendente

Diretoria Técnica

Marcos Tadeu Pereira

Diretor

Divisão de Geologia

José Luiz Albuquerque Filho

Diretor

GOVERNO FEDERAL

Luis Inácio Lula da Silva

Presidente

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Silas Roundeau Cavalcante Silva

Ministro

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Claudio Scliar

Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Agamenon Sérgio Lucas Dantas

Diretor Presidente

Diretoria de Hidrologia e Gestão Ambiental

José Ribeiro Mendes

Diretor

Superintendência Regional de São Paulo

José Carlos Garcia Ferreira

Superintendente

EXECUÇÃO

Coordenação Geral

Gerônimo Rocha – DAEE

Coordenação Temática

Amélia João Fernandes – IG (Aqüíferos Fraturados)**Malva Andrea Mancuso – IPT (Aqüíferos Sedimentares)**

Equipe Técnica

Amélia João Fernandes – IG**Antonio Gimenez Filho – IPT****Armando Teruo Takahashi – CPRM****Elizete Domingos Salvador – CPRM****Fausto Luis Stefani – IPT****Geraldo Hideo Oda – IG****Gerônimo Rocha – DAEE****José Eduardo Campos – DAEE****José Luiz Albuquerque Filho – IPT****Malva Andrea Mancuso – IPT****Marcelo Denser Monteiro – IPT****Marcos Dutra da Silva – CPRM****Mônica Mazzini Perrotta – CPRM****Sérgio Gouveia de Azevedo – IPT**

Cartografia Digital

Lauro Gracindo Pizzatto – CPRM**Nivaldo Paulon – IPT**

CONTRIBUIÇÃO ESPECIAL

Capítulo 4

Ricardo Hirata – IGc/USP**Alexandra Vieira Suhogusoff – IGc/USP**

COLABORAÇÃO

DAEE

Alexandre Liazi, Armando Narumiya, Maria Dulce de Souza

IG

Anna Artemísia Barracco de Azevedo, Luciana Martin Rodrigues Ferreira, Mara Akie Iritani, Alexandre Henrique da Silva

IPT

Omar Yazbek Bitar, Mário Otávio Costa, Ana Maria de Azevedo Dantas Marins, Waldyr Dantas Cortez

CPRM

Ruy Edy Iglesias da Silveira, Maria Kazue Urukawa, Rafael de Barros Barbim, Marina Graças Perin

PROJETO GRÁFICO

DuoDesign

Deodato de Mello Freire Júnior

Antonio Carlos Felix

PROGRAMAÇÃO VISUAL DO MAPA

Esperanza Sobral

PRODUÇÃO DO CD-ROM

Geojá Mapas Digitais

AGRADECIMENTOS

- Wilson Teixeira - ESTAÇÃO CIÊNCIA DA USP
- No dia 14 de dezembro de 2004 uma versão preliminar do Mapa de Águas Subterrâneas foi objeto de exposição na Estação Ciência, ocasião em que os participantes fizeram importantes observações e correções, incorporadas à versão final. Agradecimentos são devidos a Ademar Tóquio Ogawa; Alex Capuano; Ana Cláudia Neri; Andrea Crispim; Carlos Eduardo Quaglia Giampá; Carlos Hindenburg da S. Marques; Chang H. Kiang; Cláudio Luiz Dias; Cláudio Riccomini; Dorothy Casarini; Edilson de Paula Andrade; Edmilson Vieira; Elzira Dea Barbour; Flávio de Paula e Silva; Gildo Mistretta; Heraldo Campos; Humberto Albuquerque; Ivanir Borella Mariano; José Luiz Galvão de Mendonça; Júlio César Narsdaquione; Luciana Martin R. Ferreira; Marcelo Assumpção; Marco Aurélio Rodrigues; Mariano da Franca Alencar Neto; Marli Aparecida Reis Maciel Leite; Osmar José Gualdi; Paulo Milton Barbosa Landim; Paulo Romera; Roberto Antonio Monforte; Rodrigo Gustavo Nogueira; Rosana Nunes dos Santos; Sandro M. G. da Silva; Solange Papp; Sonia Aparecida Abissi Nogueira; Valdeneide Regina da Silva; Veronica S. Pequeno.

APOIO

Esta publicação foi editada com recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FEHIDRO.

APRESENTAÇÃO

Esta publicação resulta de sistematização e síntese do conhecimento sobre as condições de ocorrência e as potencialidades de águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

A elaboração do Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo é uma iniciativa de quatro instituições: o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE); o Instituto Geológico (IG); o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O Mapa representa o panorama geral de localização, distribuição geográfica, características e potencialidades dos aquíferos no território estadual.

A utilização da água subterrânea no Estado de São Paulo vem se processando de forma crescente, principalmente na última década, sendo previsível um aumento ainda mais acentuado nos próximos anos, em razão do avanço tecnológico do setor e das conhecidas vantagens da água subterrânea em relação aos recursos hídricos de superfície. O Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) passa a contar com mais um subsídio técnico voltado ao planejamento e à gestão. Órgãos gestores, comitês de bacias hidrográficas, empresas e profissionais atuantes na área de recursos hídricos, saneamento e meio ambiente, com esta publicação, dispõem de um instrumento de referência para o desenvolvimento de programas e projetos nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (UGRHs).

Mauro Guilherme Jardim Arce

Presidente do Conselho Estadual de
Recursos Hídricos

SUMÁRIO	
Introdução	09
1. O Território	11
Relevo e hidrografia	12
Clima	14
Geologia	16
Ocupação	17
Água	19
2. O Mapa	23
Introdução	24
Composição	24
Potencialidade	25
3. Os Aqüíferos	29
Aqüífero Bauru	32
Aqüífero Guarani	39
Aqüífero Tubarão	46
Aqüífero Furnas	50
Aqüífero São Paulo	52
Aqüífero Taubaté	57
Aqüífero Litorâneo	62
Aqüíferos Fraturados	66
4. Utilização e Proteção das Águas Subterrâneas	85
Indicadores de situação das águas subterrâneas	86
Linhas básicas de gestão	90
Bibliografia	95
Anexo 1	101
Lista de poços representativos	102
Anexo 2	107
Legislação estadual específica de águas subterrâneas	108

INTRODUÇÃO

Entre 1973 e 1982, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) desenvolveu o projeto “Estudo de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” – um trabalho sistemático de reconhecimento, em campo, das unidades aquíferas, das condições de exploração de águas subterrâneas e de sua utilização para diversos fins. Os levantamentos regionais, efetuados segundo as regiões administrativas, tiveram duração média de 18 meses cada um, e foram publicados segundo cronologia ilustrada no Quadro 1.

Ano	Regiões Administrativas	Área (km ²)	Dados Cadastrados	
			Nº poços	Análises Químicas
1974	6 Ribeirão Preto	35.200	630	350
1975	1 Grande São Paulo	8.000	3.000	100
1976	7 Bauru 8 São José do Rio Preto 9 Araçatuba	63.000	1.750	450
1977	3 São José dos Campos	15.000	392	105
1979	10 Presidente Prudente 11 Marília	44.000	1.235	163
	2 Santos	15.500	129	27
1981	5 Campinas	27.000	1.918	125
1982	4 Sorocaba	40.300	910	91
Total		248.000	9.964	1411

Quadro 1. Cronologia dos estudos regionais.

O projeto contou com o suporte técnico científico do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP), do Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) que, por meio de convênios, realizaram os levantamentos geológicos básicos de acordo com a cronologia apresentada no Quadro 2.

Ano	Entidade	Escala do mapeamento	Região Administrativa
1973	USP Ribeirão Preto	1:50.000	6
1976	USP São Paulo	1:100.000	7, 8, 9
1977	IPT	1:100.000	3
1978	USP São Paulo	1:100.000	2
1978	UNESP Rio Claro	1:250.000	10, 11
1979	UNESP Rio Claro	1:50.000	4, 5
1980	UNESP Rio Claro	1:250.000	Todas

Quadro 2. Levantamentos geológicos básicos

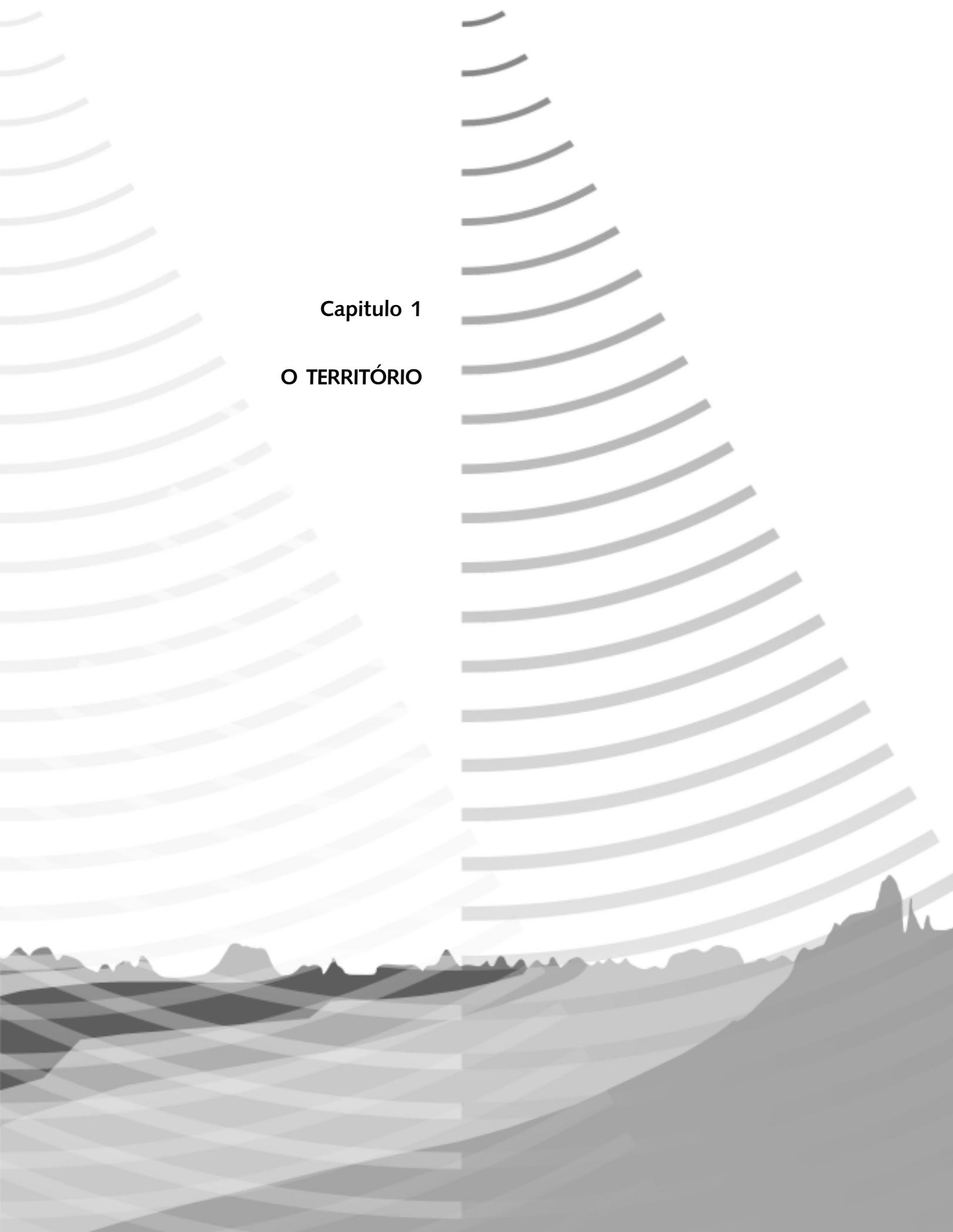
Dispõe-se, assim, de um grande acervo de dados e informações hidrogeológicas e hidroquímicas, mas faltava um instrumento que possibilitasse uma visão ampla da ocorrência e das potencialidades de água subterrânea no território estadual. Tal é o propósito desta publicação.

O Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, na escala 1:1.000.000, ora publicado, representa um panorama das características e potencialidades dos aquíferos, a partir da sistematização e síntese de informações compiladas de 3539 poços selecionados. Elaborado por uma equipe técnica de 15 profissionais de quatro instituições em parceria - DAEE, IG, IPT e CPRM, o Mapa é uma ferramenta útil para os que se dedicam ao planejamento e gestão dos recursos hídricos e do uso do solo em âmbito regional. O público-alvo são administradores públicos, profissionais da área tecnológica, especializados ou não, tais como geólogos, engenheiros, geógrafos, agrônomos, arquitetos, bem como docentes e alunos de instituições de pesquisa e ensino.

Esta nota explicativa destina-se a esclarecer e a reforçar a leitura do Mapa mediante descrições sucintas e ilustrações em cartogramas. A redação é propositadamente simples, buscando o entendimento de um público mais amplo do que o de especialistas no assunto.

O primeiro capítulo, como um “pano de fundo”, descreve as principais características do território. O capítulo 2 tem o Mapa como foco: descreve seus componentes e o cenário resultante da cartografia. O terceiro capítulo descreve cada um dos aquíferos e traz importantes informações complementares ao Mapa principal. Por fim, no capítulo 4 apresenta-se um “retrato 3x4” da situação das águas subterrâneas, segundo as bacias hidrográficas, junto com algumas recomendações gerais voltadas para sua gestão.

A publicação tem como encarte um exemplar do Mapa impresso e um CD-ROM que pode facilitar a consulta pelo usuário. Nele estão os arquivos do Mapa com a base de dados associada, permitindo a consulta por áreas, aquíferos ou bacias hidrográficas de interesse, e, também, a presente nota explicativa.

The background features a series of curved, overlapping lines in various shades of gray that create a sense of depth and movement. At the bottom of the page, there is a dark silhouette of a landscape with rolling hills and a prominent, jagged mountain peak on the right side.

Capítulo 1

O TERRITÓRIO

O TERRITÓRIO

Gerônimo Rocha (DAEE)

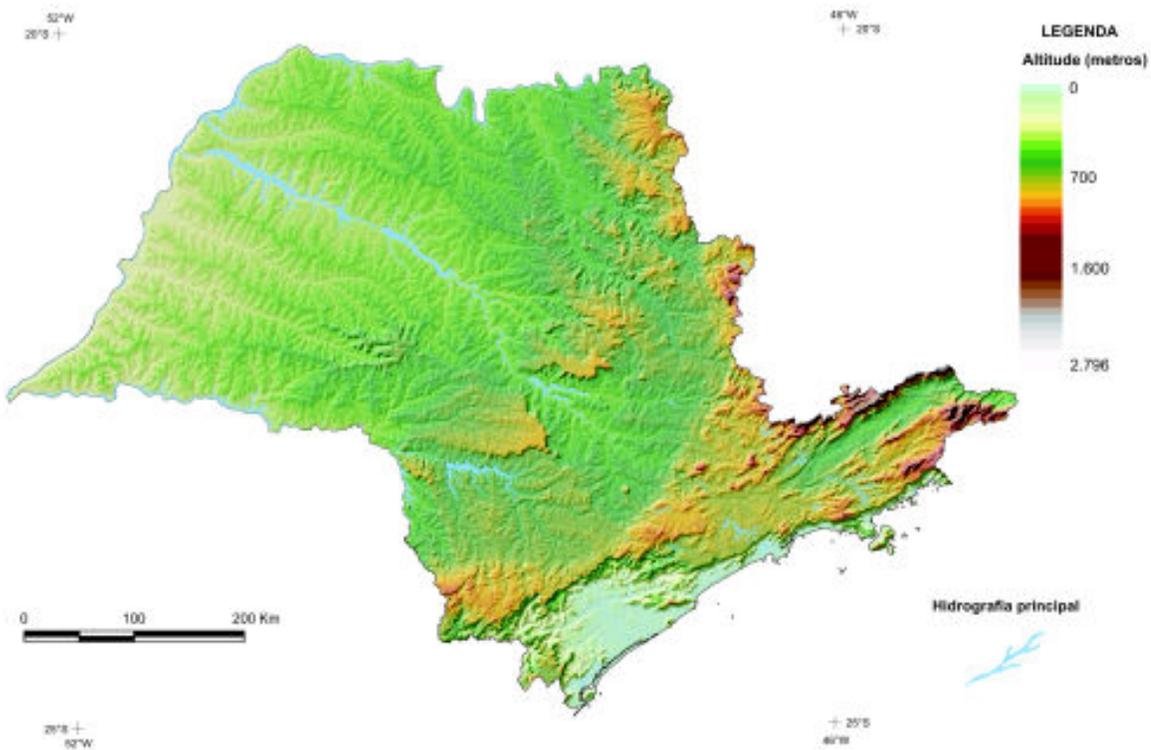
O Estado de São Paulo tem cerca de 248.000 km² de extensão e está localizado entre os paralelos 20° - 25° S e os meridianos 44° 30' - 53° W, na Região Sudeste do Brasil. O Trópico de Capricórnio (23°30' S) passa a Sul do território.

Relevo e hidrografia

A modelagem do relevo do território paulista foi fortemente influenciada pela geologia e pelo clima. As províncias fisiográficas maiores foram delineadas por MONBEIG (1949), AB'SABER (1956) e ALMEIDA (1964): a Planície Costeira, o Planalto Atlântico, a Depressão Periférica, as Cuestas Basálticas e o Planalto Ocidental. Posteriormente, o IPT (1981b) elaborou o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, no qual delimita zonas e sub-zonas geomorfológicas em cada uma das cinco províncias, com base em sistemas de relevo.

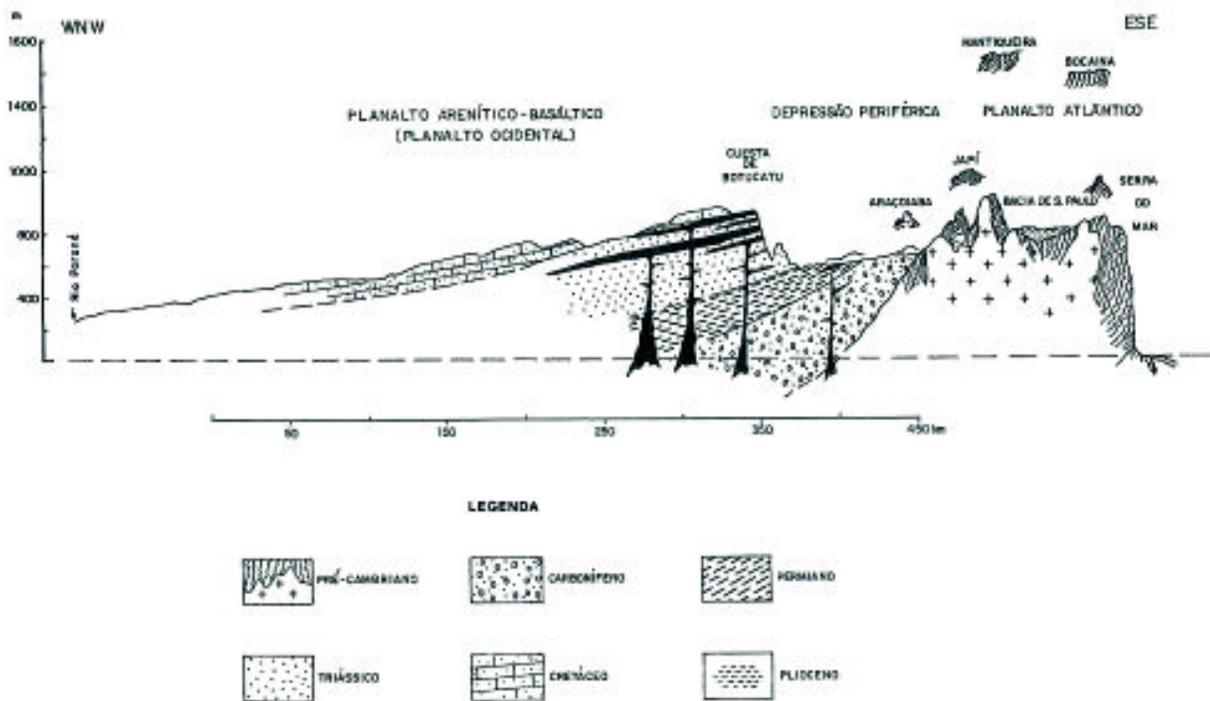
A **Figura 1.1** mostra o aspecto fisiográfico geral do território, ressaltando as regiões montanhosas a leste e a suavização do relevo a oeste. Na seção geomorfológica sudeste - noroeste, traçada por AB'SABER (1956), podem ser visualizados os compartimentos geomorfológicos maiores (**Figura 1.2**). A *Planície Costeira* é constituída de terrenos sedimentares com elevação de algumas dezenas de metros sobre o nível do mar. Logo sucede um relevo abrupto, marcado pelas escarpas da Serra do Mar, com desníveis totais de 700 m até chegar ao Planalto Paulistano com altitudes de 700 a 900 m. Esta unidade de relevo faz parte de um compartimento maior, denominado *Planalto Atlântico*, constituído por gnaisses e granitos muito antigos, do pré-Cambriano (mais antigos que 542 Ma). São terras altas de montanhas e planaltos em patamares com altitudes que podem atingir até 2000 m. Tanto no Mapa principal quanto na **Figura 1.1**, este compartimento de relevo aparece de modo saliente, a leste e a sul, com terrenos enrugados, refletindo as falhas e demais deformações das rochas ao longo do tempo geológico.

Seguindo para oeste, a partir do limite do Planalto Atlântico, há uma queda brusca do relevo ao longo de uma faixa de 80 a 100 km de largura. É a chamada *Depressão Periférica*, com altitudes médias de 600 a 650 m, correspondente à área de ocorrência de rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. É um relevo de



Fonte: Perrotta *et al.* (2005) (dados do SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission).

Figura 1.1. Aspecto geral do relevo paulista.



Fonte: AB'SABER (1956).

Figura 1.2. Seção geomorfológica esquemática sudeste – noroeste do Estado de São Paulo.

terras baixas, colinosas, cujas paisagens podem ser vistas no trecho do Médio Tietê, entre Itu e Botucatu; entre Campinas, Piracicaba e Santa Maria da Serra; e, mais a nordeste, nos vales do Pardo e do Mogi-Guaçu. Este relevo suave é interrompido por uma faixa descontínua de escarpas que se estende de norte para sudeste, na porção central do Estado; são as *Cuestas Basálticas*, com as frentes de escarpas voltadas para leste e seu reverso para noroeste, formando planaltos isolados com altitudes médias de 800 a 900 m (Franca, Altinópolis, Cravinhos, São Simão, São Carlos, Botucatu e outros). A partir da linha sinuosa de cuestas, em direção à calha do Paraná, estende-se o *Planalto Ocidental* que ocupa quase a metade do território. É um relevo ondulado, com predomínio de colinas e morrotes, esculpidos nos arenitos do grupo Bauru. Destacam-se na paisagem os planaltos de Marília - Garça - Echaporã, de Monte Alto e de Catanduva, com desníveis de 150 m em relação às altitudes médias de 500 m dos relevos vizinhos. No conjunto, o Planalto Ocidental é uma extensa plataforma com mergulho suave até a calha do rio Paraná, onde as altitudes estão na faixa de 250 a 300 m.

No Planalto Atlântico os rios ora seguem o padrão dendrítico, ora se dispõem em treliça, refletindo as estruturas das rochas cristalinas pré-cambrianas, paralelamente orientadas segundo a direção nordeste - sudoeste. A partir da Depressão Periférica, os rios principais (Grande, Tietê, Aguapeí, Peixe e Paranapanema) entalham o relevo em caminhos subparalelos no sentido do rio Paraná. Neste caminho para oeste, o Tietê é o “rio bandeirante”, atravessando quase todo o território numa extensão de 1080 km.

Clima

SETZER (1966), adotando o sistema internacional de W. Köppen, fez o zoneamento climático do território paulista (**Figura 1.3**). Na região do Planalto Atlântico predominam os climas úmidos de temperaturas brandas. Os climas quentes de inverno seco dominam toda a Depressão Periférica e parte do Planalto Ocidental. Climas quentes e úmidos são predominantes a sudoeste, no Vale do Ribeira e no Alto Paranapanema. A bacia do rio Grande, a norte, destaca-se como uma região de climas tropicais de verão úmido e inverno seco.

As chuvas são naturalmente abundantes no Estado de São Paulo, com índices anuais médios entre 1100 e 2000 mm predominantes em área (**Figura 1.4**). Nas escarpas da Serra do Mar e no Litoral, os índices pluviométricos situam-se entre 2500 e 3500 mm. De acordo com MONTEIRO (1973), tamanha quantidade de chuva é consequência da atuação das principais correntes de circulação atmosférica da vertente atlântica, com influência maior da Frente Polar.

SANT'ANNA NETO (1995) fez uma análise geográfica da distribuição de chuvas no período de 1971 – 1993, chegando às seguintes conclusões que, segundo o autor, são indícios de alteração climática:

- comparando os totais anuais de chuvas e a média do período 1971 – 1993 com o período anterior 1941-1970 verifica-se um aumento da pluviosidade da ordem de 10%;
- há, também, alteração na sazonalidade das chuvas. Tanto o trimestre mais chuvoso quanto o mais seco passaram a ter atraso de um mês. No período 1941 – 1970 o trimestre chuvoso era iniciado em novembro ou dezembro e terminava em janeiro ou fevereiro; agora ele ocorre entre dezembro ou janeiro a fevereiro ou março. Por sua vez o período seco, que antes ia de maio ou junho a julho ou agosto, agora vai de junho ou julho a agosto ou setembro.

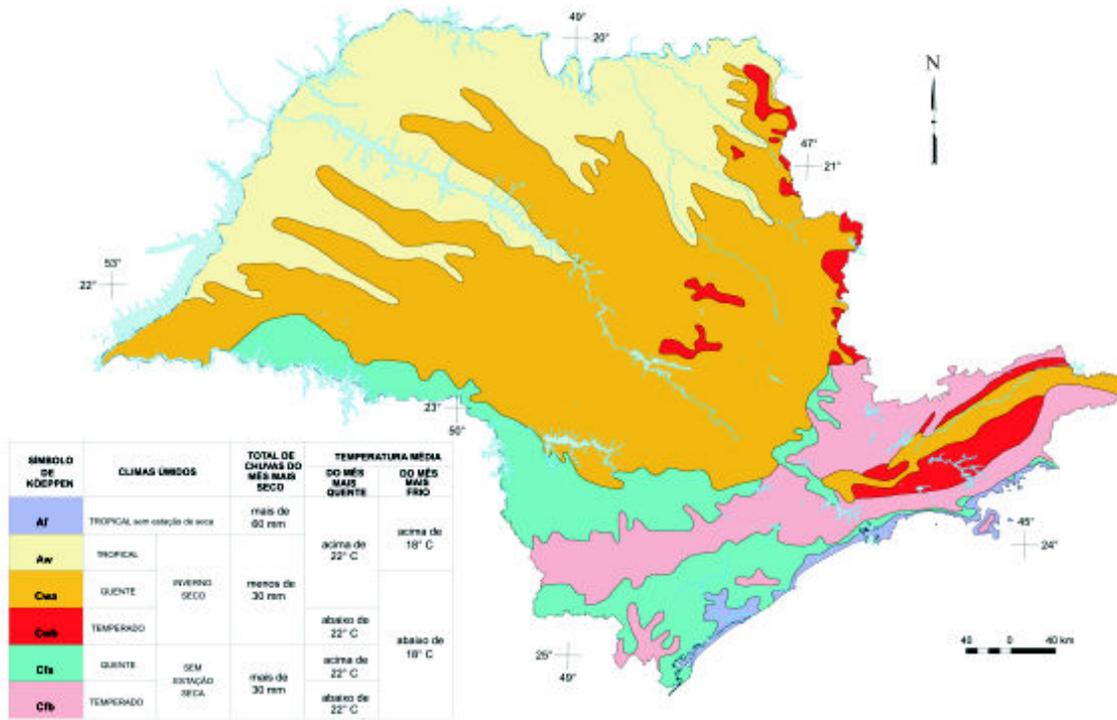


Figura 1.3. Divisão climática do Estado de São Paulo.

Fonte: SETZER (1966).

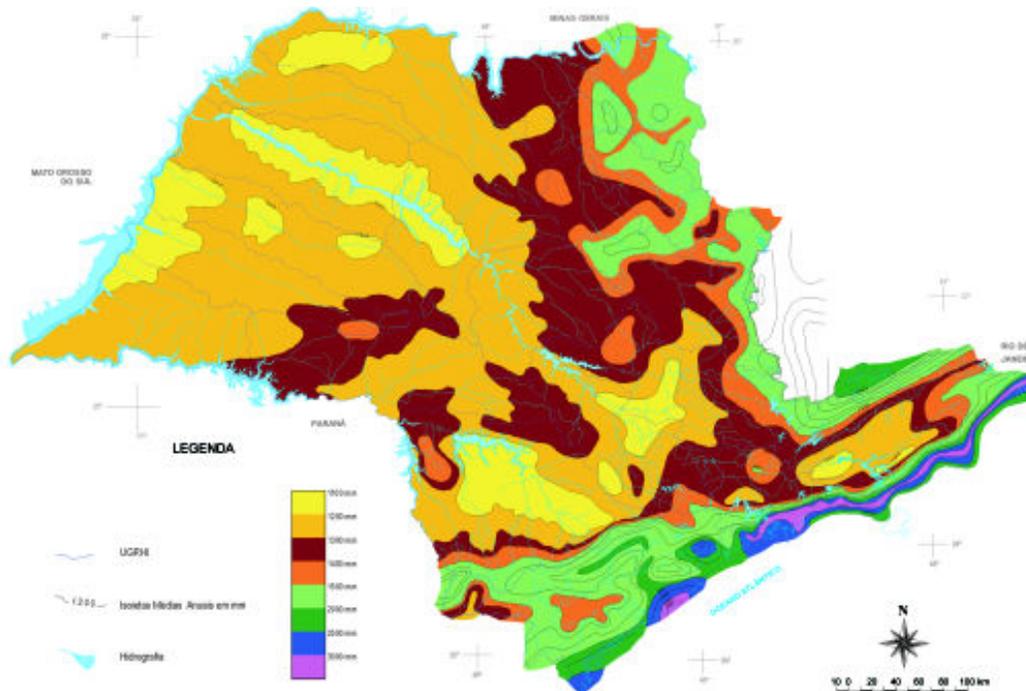


Figura 1.4. Chuva média pluri-anual (período 1941-1970).

Fonte: DAEE (1999).

Geologia

Um terço do território paulista, situado a leste (**Figura 1.5**), é constituído por granitos e rochas metamórficas (migmatitos, gnaisses e xistos) que constituem o *embasamento pré-Cambriano*. São rochas marcadas por fortes deformações tectônicas que ocorreram ao longo do vasto período geológico denominado pré-Cambriano, produzindo dobras e falhas, com deslocamentos de blocos, refletidos no atual relevo montanhoso.

A maior parte (os outros dois terços) da área estadual pertence à Bacia do Paraná sendo constituída por rochas sedimentares variadas e por basaltos. Na era paleozóica, desde o período Devoniano, depositaram-se extensos pacotes sedimentares em ambiente preponderantemente marinho: Formação Furnas, Grupo Itararé, Formação Aquidauana, Grupo Guatá e Grupo Passa Dois. No Triássico o mar regrediu e não mais retornou. Em ambiente continental, rios e lagos se formaram e o clima foi se transformando até se tornar inteiramente desértico. É neste tempo que ocorre um novo ciclo de sedimentação com a deposição de arenitos eólicos em sucessivos campos de dunas (formações Pirambóia, durante o Eo-Triássico, e Botucatu, do Neo-Jurássico ao Eo-Cretáceo).

No início do Cretáceo, quando ainda prevaleciam condições desérticas, a Bacia do Paraná foi afetada por intenso vulcanismo da Formação Serra Geral: sucessivos derrames de lavas basálticas recobriram quase todo o deserto Botucatu, chegando a atingir cerca de 2000 m de espessura em Cuiabá Paulista (MILANI 2004).

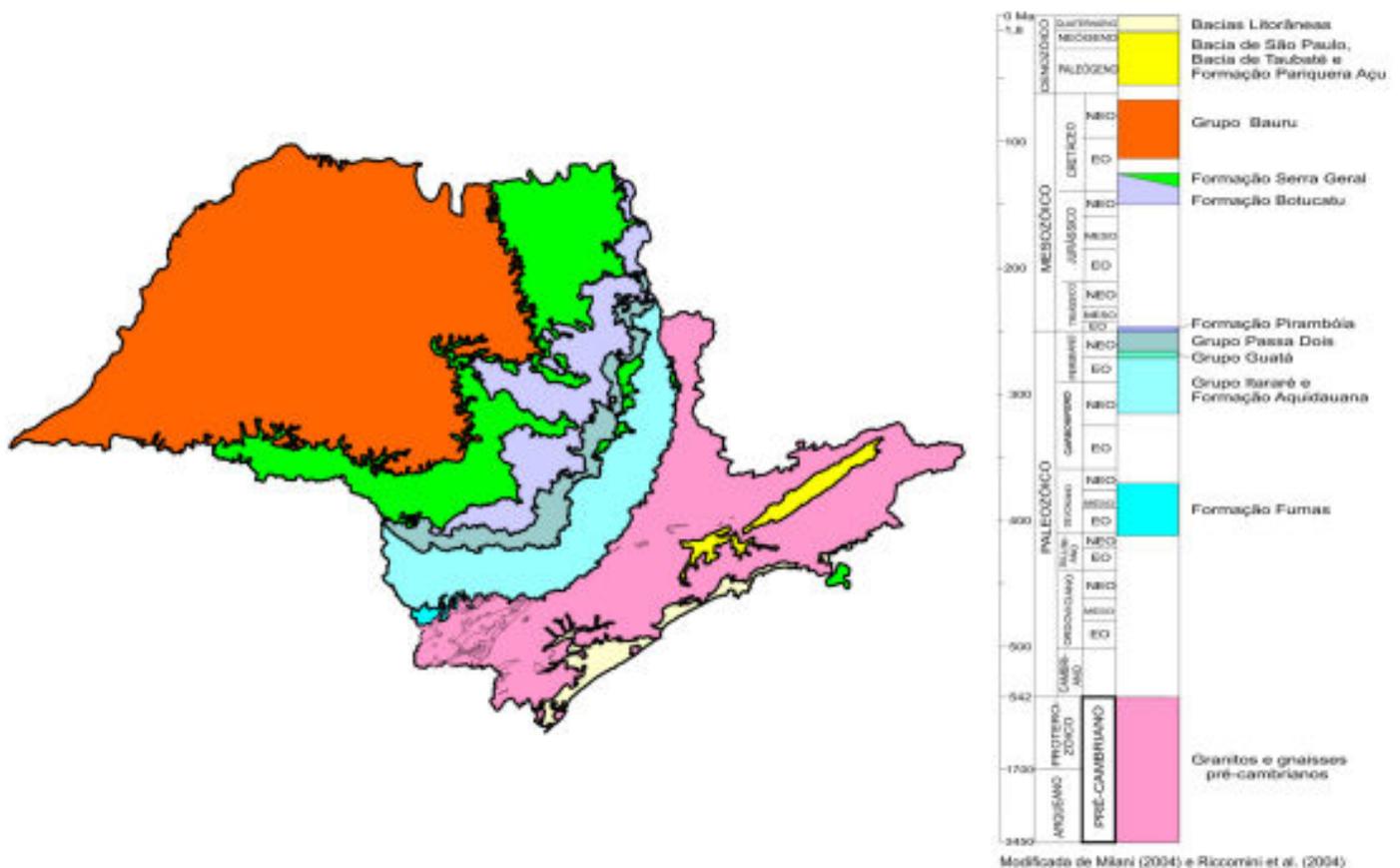


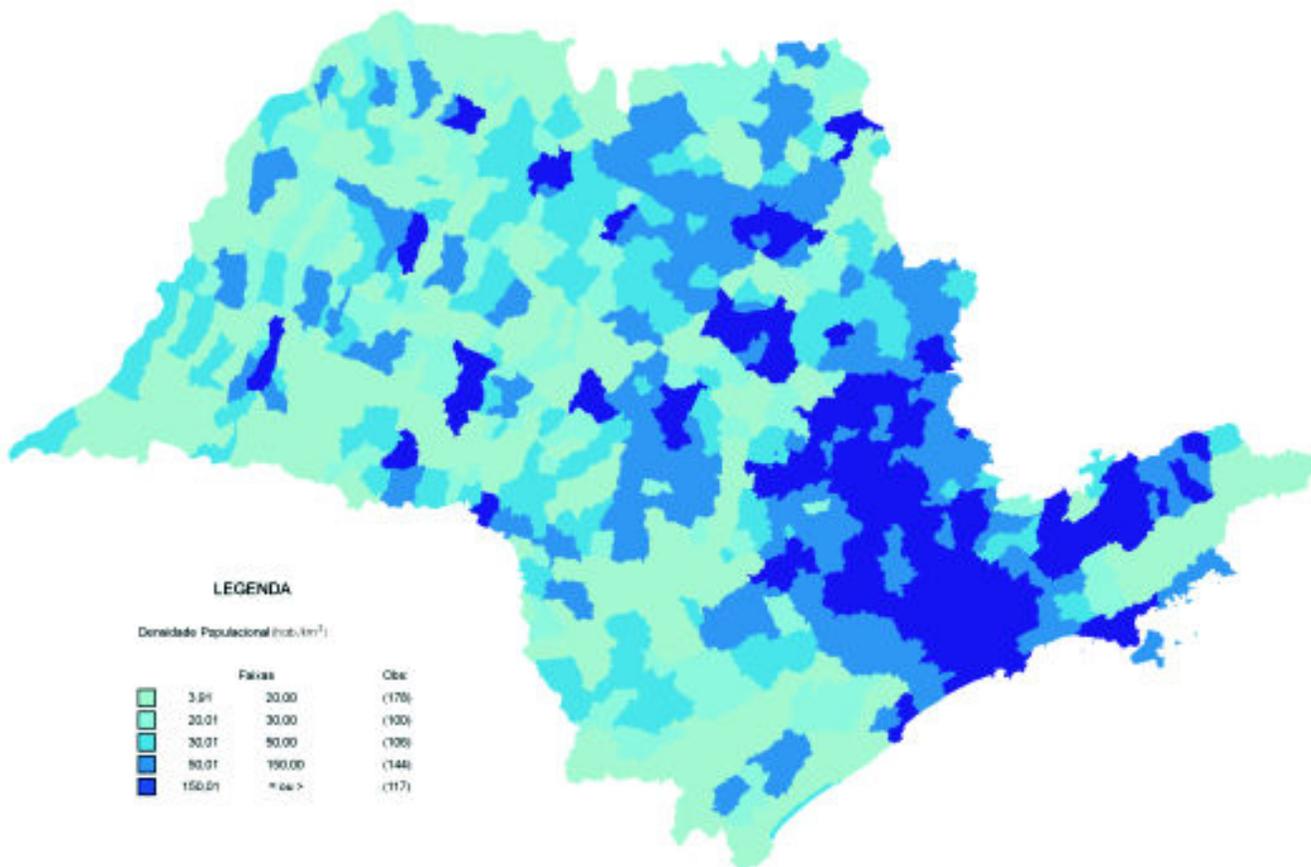
Figura 1.5. Unidades geológicas maiores no Estado de São Paulo.

Depois, durante o Neo-Cretáceo, já em clima semi-árido, depositaram-se sobre os basaltos seqüências de arenitos calcíferos (Grupo Bauru), com espessura média de 150 m.

No Terciário o território foi novamente afetado por tectonismo relacionado à separação dos continentes da América do Sul e África: houve soerguimento do embasamento pré-cambriano e, em duas áreas, formaram-se bacias alongadas e delimitadas por falhas onde se depositaram rochas sedimentares. São as bacias sedimentares de São Paulo e de Taubaté. Coberturas sedimentares mais jovens (período Quaternário) formam aluviões ou camadas dispersas e de pouca espessura, das quais as únicas representáveis na escala do presente Mapa são as planícies litorâneas.

Ocupação

O Estado de São Paulo abriga cerca de 40 milhões de pessoas, a quinta parte da população brasileira (SEADE 2005). A **Figura 1.6** mostra a distribuição da densidade populacional. Quase dois terços da população estão concentrados a leste, ao longo de dois eixos principais: São Paulo - Campinas - Ribeirão Preto e São Paulo - São José dos Campos (Vale do Paraíba). A Região Metropolitana de São Paulo concentra a metade da população, com uma densidade em torno de 3000 hab/km² – uma das mais altas do mundo.



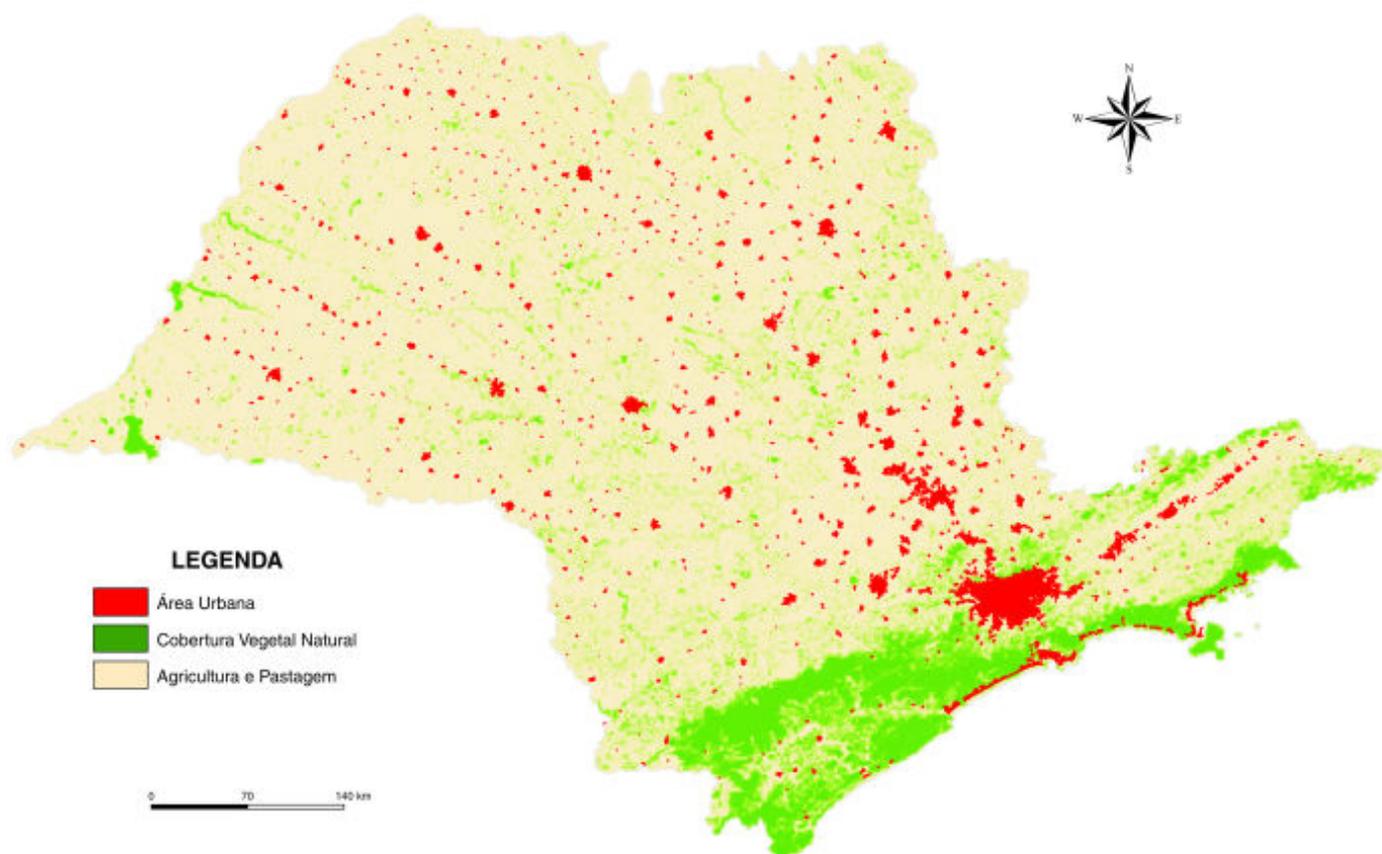
Fonte: Censo demográfico IBGE 2001.

Figura 1.6. Distribuição da densidade populacional no Estado de São Paulo.

A atividade industrial segue, aproximadamente, a mesma distribuição geográfica da concentração populacional, com destaque para os pólos de São Paulo, Baixada Santista, Campinas e São José dos Campos.

A **Figura 1.7** mostra o aspecto geral da ocupação do território: as áreas urbanizadas, as áreas com cobertura vegetal natural e as áreas de uso do solo rural (estas compreendendo áreas de pastagem e de agricultura). As áreas cultivadas abrangem 6,9 Mha, com destaque para cana-de-açúcar, laranja, milho, soja e café (IEA 2005). As áreas de pastagem abrangem 10 Mha (IEA 2005) e a cobertura vegetal natural estende-se por 3,5 Mha (IF 2005).

Irrigação, abastecimento urbano e uso industrial: eis as principais atividades que demandam água.



Fonte: IF (2005), cobertura vegetal natural. DER (2004), área urbana.

Figura 1.7. Aspecto geral da ocupação do território paulista.

Água

Graças à localização intertropical, ao clima e à geologia, o Estado de São Paulo tem abundância de água superficial e subterrânea.

A base territorial para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica. O território estadual está dividido em 22 *Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos* – UGRHs (Figura 1.8).



Fonte: DAEE/IGC (2003).

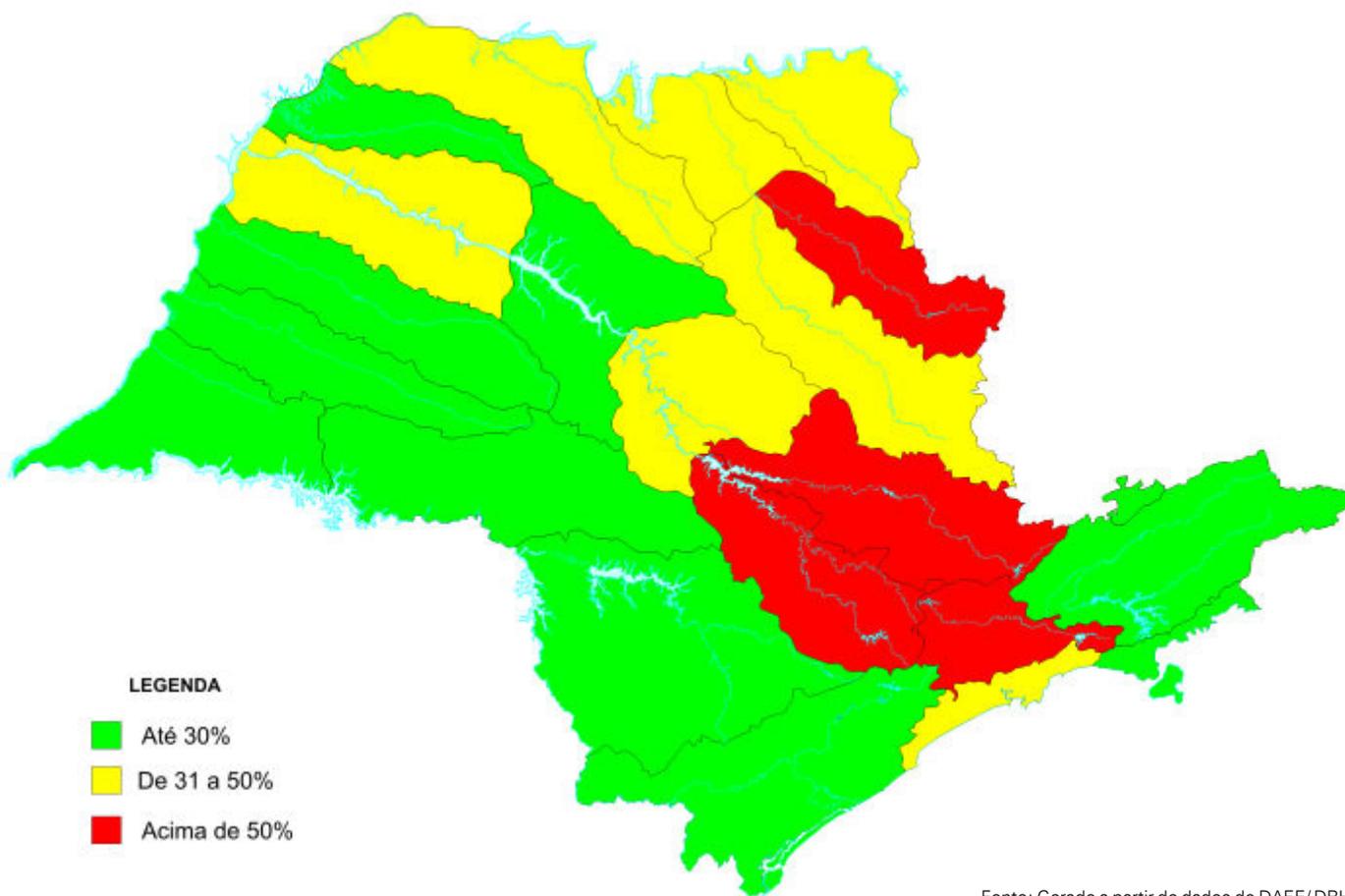
Figura 1.8. Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo.

A chuva média pluri-anual que ocorre no território é da ordem de 1380 mm/ano ou 10.800 m³/s. Deste total, apenas 30% (3120 m³/s) constituem a vazão média que escoam pelos rios. Uma parcela desta vazão média constitui o chamado *escoamento básico*, isto é, o volume de águas subterrâneas que, na fase terrestre do ciclo hidrológico, mantém o nível de base dos rios durante o período seco; corresponde a 40% (1280 m³/s) do escoamento total.

A demanda atual por água superficial é da ordem de 350 m³/s, assim repartida:

- abastecimento público: 110 m³/s
- uso industrial: 93 m³/s
- irrigação: 143 m³/s
- uso doméstico rural: 4 m³/s

Estes números globais indicam que a disponibilidade de recursos hídricos é bem maior do que a demanda. Quando, porém, a relação demanda/disponibilidade é distribuída segundo as unidades de gerenciamento (**Figura 1.9**) as diferenças regionais se destacam. Os maiores índices de utilização das águas ocorrem nas bacias do leste, onde se concentram a população e a atividade industrial. A região metropolitana da bacia do Alto Tietê já apresenta *déficit* hídrico, tendo que importar cerca de 30 m³/s de água da vizinha bacia do Piracicaba, para abastecimento público. Seguem, com índices elevados de utilização da água, as bacias do Piracicaba – Capivari – Jundiáí, Tietê – Sorocaba e Pardo.



Fonte: Gerado a partir de dados do DAEE/DRH.

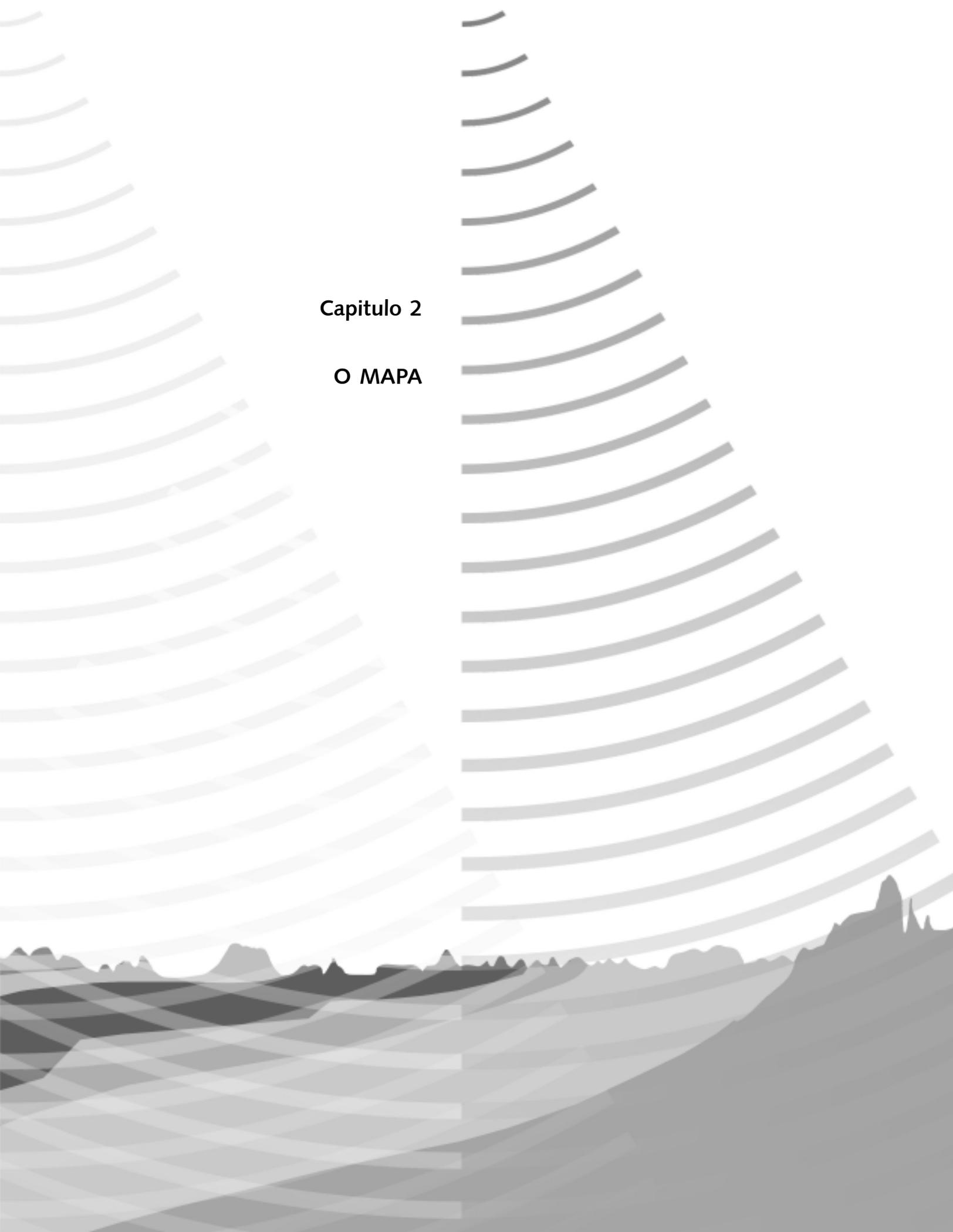
Figura 1.9. Índice de utilização de água nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Demandas totais em relação ao escoamento básico.

Nestas bacias do leste, as águas superficiais são duplamente afetadas: há exploração intensiva e, ao mesmo tempo, o comprometimento da qualidade das águas pela poluição. A **Figura 1.10** mostra a extensão da poluição ao longo do rio Tietê e seus afluentes - cerca de 300 km desde as cabeceiras até a barragem de Barra Bonita.

As águas subterrâneas apresentam uma vazão total explorável da ordem de 330 m³/s, sendo a demanda atual de 60 m³/s. Embora o volume disponível seja menor do que o de águas superficiais, sua importância se deve a duas características básicas: a) as reservas de água subterrânea regulam o fluxo de base dos rios, garantindo-lhes a perenidade no período seco; e b) a parcela explorável é largamente utilizada no abastecimento público. Atualmente, 462 municípios paulistas, ou seja, cerca de 72% são, total ou parcialmente, abastecidos por água subterrânea, atendendo a uma população de cerca de 5,5 milhões de pessoas.

Capítulo 2

O MAPA



O MAPA

Gerônimo Rocha (DAEE)
Amélia J. Fernandes (IG)

Introdução

O Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo é uma síntese de informações hidrogeológicas com a finalidade de oferecer um panorama da localização, distribuição e potencialidades dos aquíferos no território.

A escala adotada é a de 1:1.000.000 (cada cm equivale a 10 km no terreno). Não se pode esperar que esta escala ofereça precisão no detalhe; o que está representado, mediante dados consistentes e selecionados, são sínteses regionais que propiciam uma visualização geral do potencial de águas subterrâneas no Estado e comparação entre seus distintos aquíferos. Cabe, portanto, uma advertência preliminar: o Mapa não se destina a fins de prospecção em áreas específicas ou pontuais e, sim, uma referência inicial para a realização de trabalhos de maior detalhe. O Mapa é uma das bases técnicas para o planejamento e gestão das bacias hidrográficas.

A confecção do Mapa segue a Legenda Internacional para Mapas Hidrogeológicos, da UNESCO (1970) e a legenda proposta por STRUCKMEIER & MARGAT (1995), com simplificações e adaptações adequadas à escala adotada.

Composição

O Mapa é constituído por quatro bases temáticas, a saber:

a. Base Topográfica, compreendendo relevo, hidrografia, cidades e rodovias. A representação do relevo resulta da aplicação do modelo digital do terreno (MDE), produzido na Missão Topográfica por Radar Interferométrico (Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM; US Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD); os demais elementos foram extraídos do Mapa Geológico do Estado em 1:750.000 da CPRM (PERROTTA *et al.* 2005).

b. Base Aquíferos, na qual os limites dos aquíferos correspondem aos das unidades geológicas maiores, extraídas do mapa geológico mencionado acima. Os aquíferos foram classificados em duas categorias: granulares ou sedimentares, onde a água circula entre os poros da rocha; e fraturados (geralmente rochas cristalinas), onde a água percola ao longo de fraturas e outros tipos de cavidades. No Mapa, segundo a convenção internacional, os aquíferos granulares são apresentados em tons de azul e os aquíferos fraturados, em tons de verde.

c. Base Poços, constituída de poços selecionados e poços representativos, pertencentes ao cadastro de poços do DAEE e, subordinadamente, ao do IG. A base dos selecionados abrange 3539 poços com informação hidrogeológica confiável e distribuídos o mais homoganeamente possível, segundo os aquíferos; a base dos representativos compreende 195 poços com as informações mais completas e com testes de bombeamento (**Quadro 2.1**). Estes últimos estão representados no Mapa com um símbolo em forma de alfinete, cujo comprimento representa a profundidade.

d. Base Potenciométrica, abrangendo as equipotenciais da água subterrânea e direções de fluxo na porção aflorante dos aquíferos sedimentares. No caso do Aquífero Guarani confinado, as equipotenciais estão representadas no mapa lateral, específico.

Aquífero	Poços selecionados	Poços Representativos
Bauru	676	69
Guarani	111	34
Tubarão	853	09
São Paulo	172	06
Taubaté	130	04
Litorâneo	60	04
Furnas	01	01
Serra Geral (basalto)	285	24
Serra Geral (diabásio)	49	-
Pré-Cambriano	1202	44
Total	3539	195

Quadro 2.1. Quantidade de poços utilizados na elaboração do Mapa.

Potencialidade

A potencialidade de água subterrânea dos aquíferos sedimentares está representada no Mapa por faixas de vazão explorável, em m³/h. Define-se como vazão explorável, ou recomendada, aquela que pode ser extraída de forma sustentável por longos períodos e com rebaixamentos moderados da espessura saturada. Para os aquíferos fraturados, no entanto, são indicadas vazões prováveis, pois, apesar de resultarem de cálculos realizados com capacidade específica de poços que contaram com a realização de testes de bombeamento de, pelo menos, 20 horas, não se relacionam a rebaixamentos em um período de tempo prolongado. Este é um fator que deve ser analisado para cada poço existente ou a ser construído devido à heterogeneidade destes aquíferos.

O cálculo da vazão (Q) explorável para os aquíferos sedimentares foi realizado adaptando a equação de THEIS (1935), para cálculo de rebaixamento, com a aproximação proposta por COOPER & JACOB (1946). Neste cálculo considerou-se um período de 20 anos de bombeamento contínuo.

O rebaixamento máximo do nível d'água subterrânea foi definido para cada aquífero de acordo com as suas características e disponibilidade de dados (ver descrição dos aquíferos sedimentares no capítulo 3). Este método foi inicialmente aplicado por ROCHA *et al.* (1982), para avaliação da potencialidade do Aquífero Bauru, em São Paulo. A equação utilizada para o cálculo foi a seguinte:

$$Q = \frac{s_c H_0 4\pi T}{\ln(2,25 \cdot Tt/r^2 S)}$$

onde,

Q = vazão explorável (m³/h)

s_c = rebaixamento corrigido conforme a aproximação de JACOB (1969 *apud* CUSTÓDIO & LLAMAS 1976) para as condições de aquífero livre (m): $s_c = s - s^2/2 H_0$

H_0 = espessura saturada do aquífero (m)

T = transmissividade (m²/h)

S = coeficiente de armazenamento (adimensional)

r = raio do poço (m)

t = tempo de bombeamento, fixado em 20 anos (175.200 h).

Para a aplicação da equação foi adotada a hipótese simplificadora de que o aquífero é predominantemente livre e a circulação da água subterrânea obedece aos requisitos da Lei de Darcy.

No caso do Aquífero Guarani confinado, H_0 corresponde à diferença entre a cota do nível potenciométrico e a cota do topo do aquífero; as faixas de vazão explorável encontram-se traçadas em mapa lateral.

Este método de cálculo foi utilizado para os aquíferos Bauru, Guarani e Taubaté; no entanto, para os aquíferos Tubarão, São Paulo e Litorâneo, devido à insuficiência de informações, as vazões foram calculadas utilizando-se a capacidade específica de poços e considerando-se um rebaixamento máximo definido em função das características de cada aquífero (ver descrição de aquíferos no capítulo 3). Para o Aquífero Furnas havia dados de apenas um poço e, por este motivo, a sua única faixa de vazão foi estimada com base na informação disponível e nas características das rochas que constituem a Formação Furnas.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da equação foi realizado o zoneamento das vazões exploráveis, utilizando como pontos de controle as vazões resultantes de testes de bombeamento de longa duração. As faixas de vazão para cada aquífero encontram-se apresentadas no Quadro 2.2.

Aquífero	< 10	20	40	80	120	250	360
Bauru							
Tubarão							
Guarani	Aflorante						
	Confinado						
Taubaté							
São Paulo							
Litorâneo							

Quadro 2.2. Faixas de vazão explorável indicadas para os aquíferos sedimentares, em m³/h.

O zoneamento de vazões prováveis nos aquíferos fraturados exigiu um procedimento distinto, devido às condições estruturais que regem a ocorrência e circulação da água nestes terrenos. Como parâmetro de avaliação da produção dos poços, considerou-se adequado utilizar a capacidade específica (vazão retirada por metro rebaixado do nível d'água no poço, em m³/h/m), pois esta, quando comparada à vazão, é mais diretamente relacionada ao potencial do aquífero. Nos estudos do DAEE (1981 e 1982), verifica-se boa correlação entre capacidade específica e transmissividade (obtida em testes de bombeamento) do aquífero fraturado local.

O método utilizado consistiu em verificar a variação da produtividade dos poços em relação a alguns fatores que, a princípio, exerceriam influência sobre a circulação e o armazenamento de água subterrânea em aquíferos fraturados. Devido à escala de trabalho e aos dados disponíveis, considerou-se adequado analisar a variação da produção dos poços em relação aos seguintes fatores: tipos de rocha, blocos geológicos, espessura de manto inconsolidado e fraturas. Para tal, utilizou-se o seguinte procedimento:

- divisão da área dos aquíferos fraturados em classes, segundo as subdivisões de cada fator considerado,
- agrupamento dos poços conforme as classes mencionadas no item a,
- avaliação do comportamento da produtividade de cada conjunto de poços por meio da construção de curvas de distribuição acumulada das capacidades específicas e do cálculo da mediana (valor central) da capacidade específica, e
- comparação das curvas de distribuição acumulada para verificação da existência de diferenças significativas entre as classes.

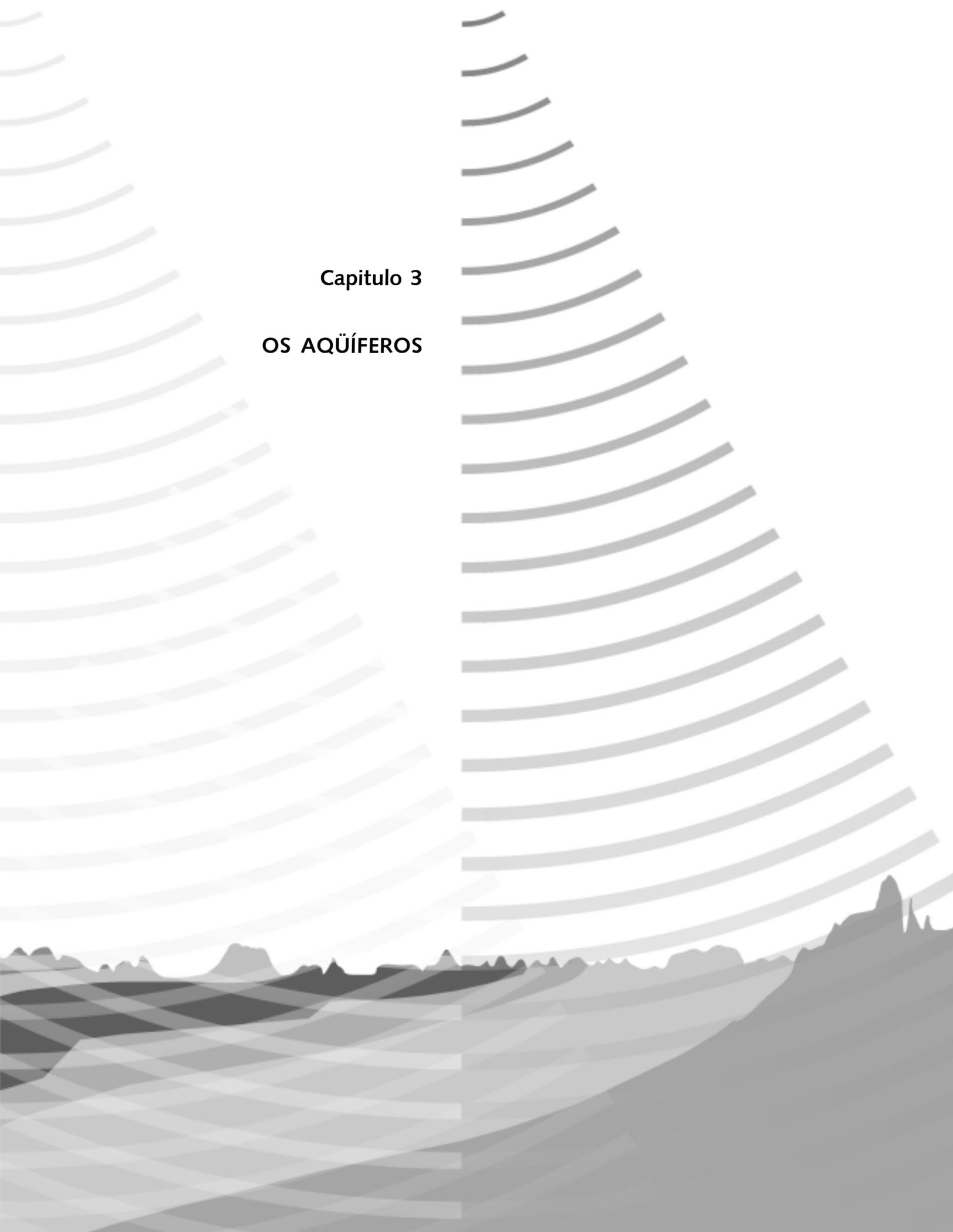
Para a análise do fator "fraturas" foram elaborados mapas de lineamentos, cujo tratamento resultou em mapas de densidade de lineamentos e de intersecções de lineamentos, os quais, em geral, são correlacionáveis à densidade e à conectividade de fraturas, respectivamente. Após a identificação de 4 classes de potencialidade, às quais correspondem 4 curvas distintas de distribuição acumulada, procedeu-se à conversão dos valores de capacidade específica de 20% e 80% de cada distribuição para valores de vazão. Isto foi feito por meio de análise de correlação, com grau de confiança de 95%, entre capacidade específica e vazão, utilizando dados de poços nos quais consta a realização de testes de bombeamento com duração maior ou igual a 20 horas. Desta forma foram obtidas as faixas de vazão especificadas no Quadro 2.3.

Aqüífero		Classe de Potencialidade	Vazão (Q) calculada por correlação (m ³ /h)			Nº Poços
Sigla	Tipo de Rocha		20%	50%	80%	
p∈	Rochas metamórficas e granitos	1	1	2	6	199
		2	1	4	12	544
		3	3	7	23	236
Ksgd	Diabásios	2	Não Calculada *			49
Ksg	Basaltos	4	7	23	100	285
p∈ c	Rochas Carbonáticas	4	Não Calculada *			12
Poços a até 3 km de distância da Bacia do Paraná			Não Calculada *			136
Poços a até 1 km de distância da Bacia de São Paulo			Não Calculada *			74

* Valores não calculados devido à insuficiência de dados.

Quadro 2.3. Faixas de vazões prováveis indicadas no Mapa para os aqüíferos fraturados, em m³/h.

A distribuição espacial das faixas de produtividade de poços segundo os aqüíferos proporciona uma visualização geral das áreas de maior ou menor potencialidade, conforme os tons de cor. Os intervalos de vazão, embora guardem coerência com valores pontuais dos poços selecionados, têm limites aproximados no Mapa.

The background features a series of curved, overlapping lines in various shades of gray that create a sense of depth and movement. At the bottom, there is a dark silhouette of a landscape with hills and mountains.

Capitulo 3
OS AQÜÍFEROS

OS AQUÍFEROS

A **Figura 3.1**, também apresentada no Mapa de Águas Subterrâneas (denominado brevemente de Mapa ao longo desta Nota), ilustra uma seção dos aquíferos do Estado, que é iniciada no litoral, a sudeste (próximo a Bertioga), passa por São Paulo e bordeja o rio Tietê pela margem direita, até aproximadamente Botucatu, a partir de onde segue pela margem esquerda, até atingir os limites do Estado, a noroeste, no rio Paraná. Para elaboração desta seção foram consultados LEITE *et al.* (2004), LOPES *et al.* (2004), PERROTTA *et al.* (2004) e SALVADOR *et al.* 2004. A linha de superfície nela traçada foi baseada nas folhas planialtimétricas de escala 1:250.000, publicadas pelo IBGE.

O Aquífero Pré-Cambriano ocorre desde as escarpas da Serra do Mar até a região limítrofe com a Depressão Periférica. Nele encravam-se duas bacias sedimentares de idade terciária, a de São Paulo (representada na seção) e a de Taubaté.

Na Depressão Periférica ocorrem em superfície os aquíferos Tubarão e Guarani, além das rochas sedimentares finas do Grupo Passa Dois, que constituem um aquíclode, ou seja, contém água mas são de permeabilidade extremamente baixa.

O Aquífero Guarani aflora em faixa estreita e irregular sobre o Aquíclode Passa Dois e, mais para oeste é confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral, ocorrendo em profundidades que variam desde algumas dezenas de metros, junto à área de afloramento, a até mais de 1900 m, no extremo oeste do Estado.

O Aquífero Serra Geral ocorre em superfície na região das Cuestas Basálticas, na porção intermediária do Estado e regiões mais rebaixadas junto às margens dos rios Grande, a norte, e Paranapanema, a sul. Encontra-se, em sua maior parte, recoberto pelos sedimentos que constituem o Aquífero Bauru, importante fonte de abastecimento para toda a porção oeste do Estado.

O único aquífero do Quaternário que aparece na escala do Mapa é o litorâneo, representado pelos sedimentos das planícies costeiras, existentes principalmente no litoral Sul do Estado.

Neste capítulo os aquíferos serão descritos, de oeste para leste, de acordo com os dois tipos de terrenos: sedimentares (Bauru, Guarani, Tubarão, Furnas, São Paulo, Taubaté e Litorâneo, nesta ordem) e fraturados (Serra Geral e Pré-Cambriano).

AQÜÍFERO BAURU

Malva A. Mancuso (IPT)
José Eduardo Campos (DAEE)

Caracterização Geral

O Aqüífero Bauru ocupa aproximadamente a metade oeste do território do Estado de São Paulo (**Figura 3.2**), possuindo uma área aproximada de 96.880 km². Os limites do Aqüífero Bauru no Estado compreendem a oeste e noroeste o rio Paraná, a norte o rio Grande, a sul o rio Paranapanema e áreas de afloramento da Formação Serra Geral, que delimitam também o aqüífero na região leste.

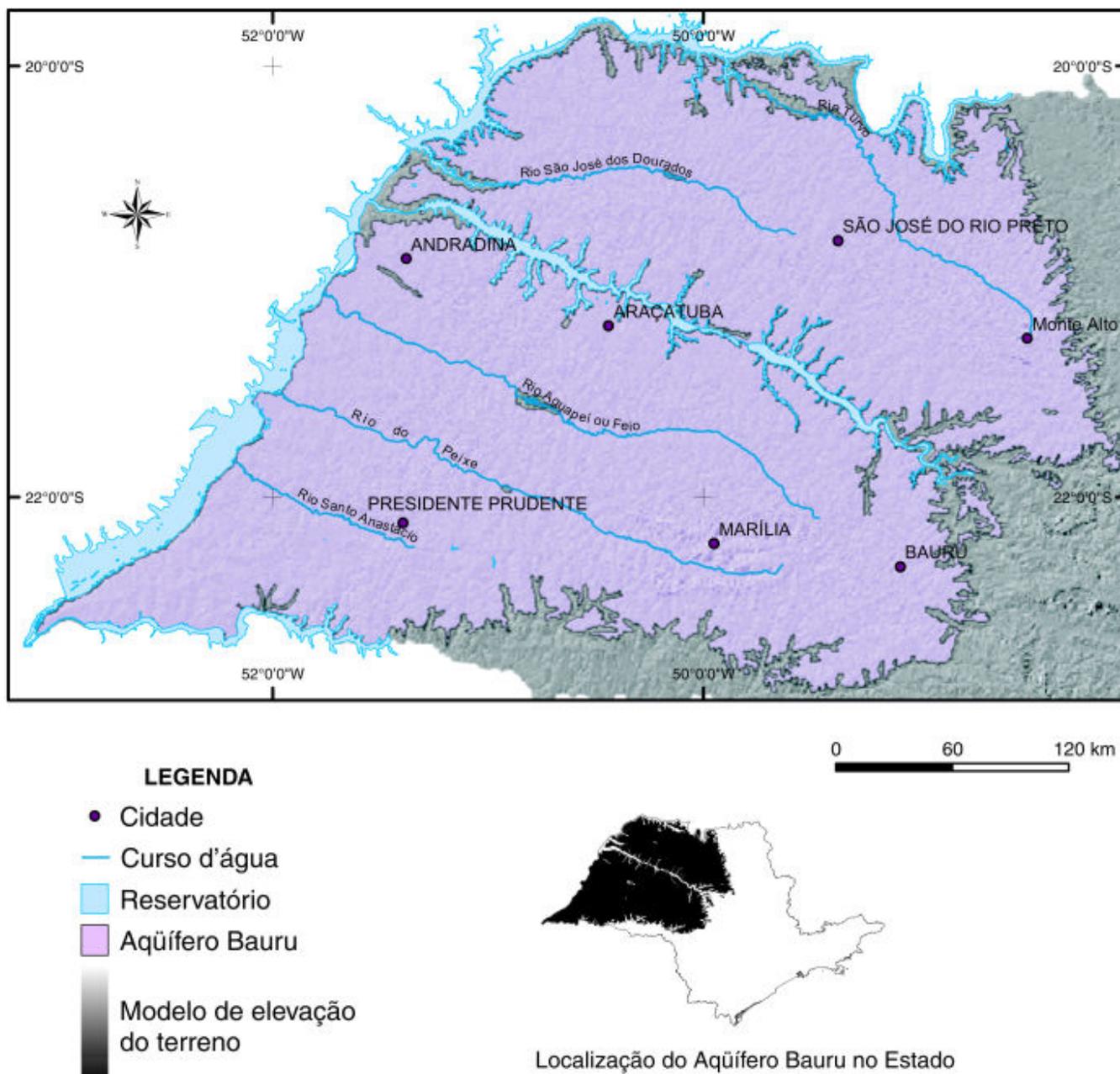
O Aqüífero Bauru é constituído pelas rochas sedimentares dos Grupos Bauru e Caiuá (FERNANDES & COIMBRA 1992), depositados na Bacia Bauru, designação efetuada por FERNANDES (1992).

A sedimentação na Bacia Bauru ocorreu em duas fases principais, a primeira em condições essencialmente desérticas e, a segunda, em clima semi-árido, com maior presença de água. Estas fases compreendem, respectivamente, depósitos de lençóis secos de areias com dunas eólicas e com interdunas úmidas, e depósitos de sistemas fluviais e leques aluviais com pantanal interior bem definido (FERNANDES 1998).

Considerando as condições de armazenamento e circulação das águas, essas formações geológicas foram classificadas nas seguintes unidades hidroestratigráficas: Bauru Médio/Superior (Grupo Bauru) e Bauru Inferior/Caiuá (Grupo Caiuá) (DAEE (1979b) (**Quadro 3.1**). Ambas as unidades ocorrem de forma livre a localmente confinada e apresentam porosidade granular e contínua, sendo esta porosidade não uniforme, para a primeira unidade, e uniforme, para a segunda.

Unidade Hidroestratigráfica	Rochas	Tipo de ocorrência	Permeabilidade (m/d)	Transmissividade (m ² /d)
Bauru Médio/Superior	Arenitos grosseiros imaturos; com abundantes nódulos e cimento calcíferos; bancos de arenitos finos intercalados com lamitos e siltitos	Livre a localmente confinado; porosidade granular; contínuo e não uniforme	0,1 a 0,4	10 a 50
Bauru Inferior/Caiuá	Arenitos finos, maciços, baixo teor de matriz; arenitos finos a médios com boa seleção	Livre a localmente semiconfinado; granular; contínuo e uniforme	1 a 3	100 a 300

Quadro 3.1. Características gerais do Aqüífero Bauru.



Fonte: Delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.2. O Aqüífero Bauru.

O estudo dos vários aspectos do aqüífero, tais como superfície de contato com os basaltos da Formação Serra Geral, espessura saturada, potenciometria e potencialidade, baseou-se nos dados de 1099 poços extraídos de cadastro do DAEE, com parte deles atingindo os basaltos. Estes foram selecionados de acordo com a distribuição e confiabilidade da informação hidrogeológica requerida.

As rochas sedimentares que compõem o Aqüífero Bauru acham-se dispostas sobre os basaltos da Formação Serra Geral. A superfície de contato com o basalto foi obtida a partir da análise de 827 poços, que apresentaram penetração total no Aqüífero Bauru, atingindo a Formação Serra Geral; o resultado está em concordância com trabalhos desenvolvidos

por CAMPOS *et al.* (2000). As cotas topográficas da base do aqüífero são de aproximadamente 600 m de altitude nas áreas próximas às Cuestas Basálticas, com tendência de diminuição no sentido oeste da área de ocorrência, atingindo até 100 m acima do nível do mar, na região de Presidente Epitácio (**Figura 3.3**).

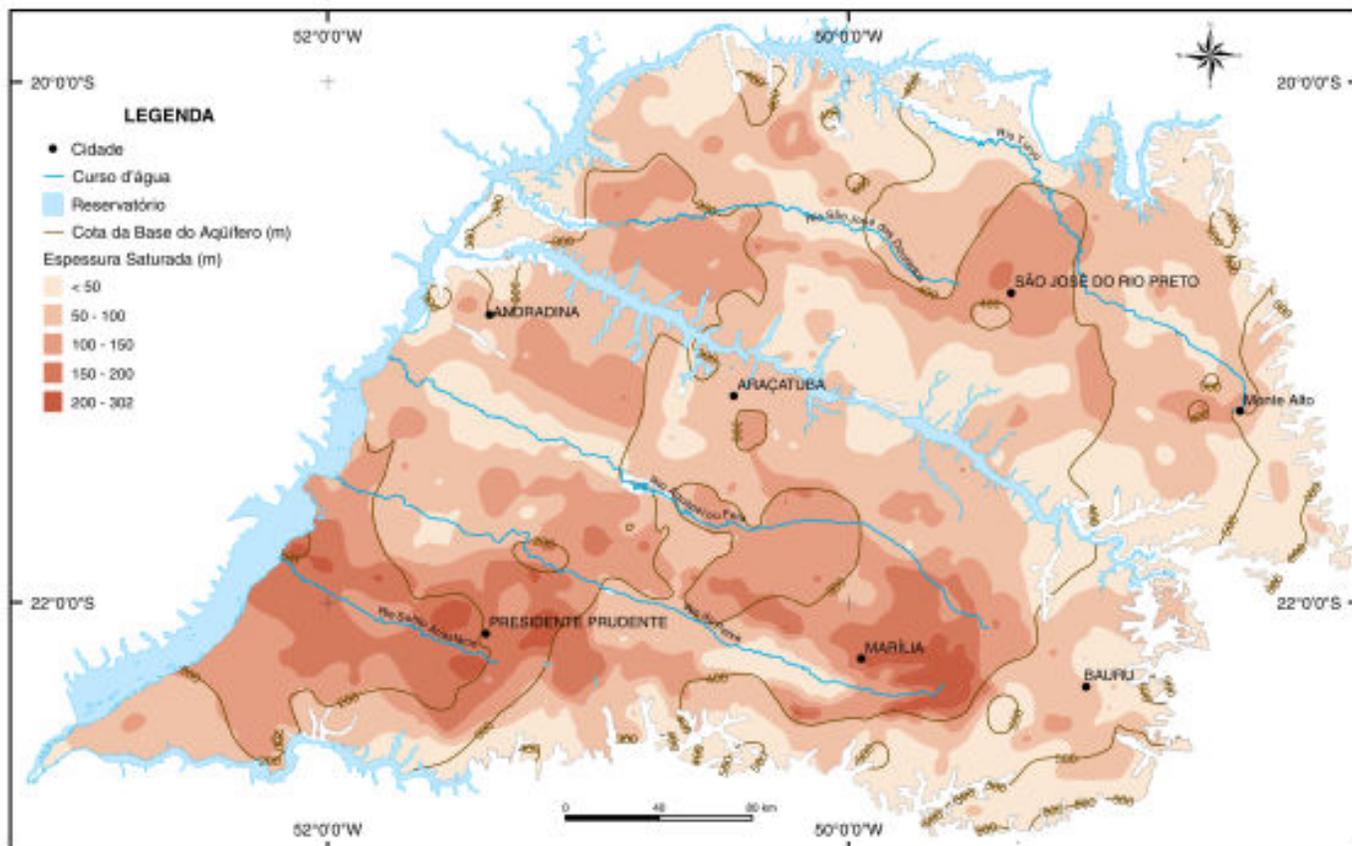


Figura 3.3. Base e espessura saturada do Aqüífero Bauru.

A espessura saturada média do aqüífero é da ordem de 75 m. Observam-se espessuras máximas que chegam a 300 m no Planalto Residual de Marília, enquanto nas regiões de São José do Rio Preto e Presidente Prudente ocorrem espessuras máximas de 150 e 200 m (**Figura 3.3**). A forma irregular do topo dos basaltos também favorece a presença de maiores espessuras ao longo do rio Santo Anastácio, até o rio Paraná, com valores máximos entre 150 e 230 m; já nos divisores dos rios Aguapeí e Peixe ocorrem espessuras médias de 100 m. As menores espessuras são observadas nas proximidades dos afloramentos dos basaltos da Formação Serra Geral nos limites sul, leste e norte do Aqüífero Bauru.

As águas do Aqüífero Bauru ocorrem regionalmente de forma livre podendo, localmente, se apresentar de forma semi-confinada ou confinada. O traçado das curvas potenciométricas, de 100 em 100 m, baseou-se no mapa potenciométrico de CAMPOS *et al.* (2000), em dados de profundidade do nível estático de 599 poços, e na base planialtimétrica do Estado (IBGE 2001). As cotas potenciométricas variam de 600 m, no contato com o Aqüífero Serra Geral, a leste, até 300 m nas proximidades dos rios Paraná e Paranapanema, nas porções oeste e sudoeste do Aqüífero. O sentido do escoamento regional das águas subterrâneas se dá em direção às drenagens principais, como os rios Turvo, Preto, São José dos Dourados, Tietê, Aguapeí, Peixe e Santo Anastácio, além dos já citados Paraná e Paranapanema, principais exutórios de água do sistema.

Potencialidade

O estudo da potencialidade do Aqüífero Bauru baseou-se em 676 poços selecionados. Destes, 69 foram considerados representativos das características do aqüífero, de acordo com os seguintes critérios: confiabilidade da informação, máxima penetração no aqüífero, existência de ensaio de bombeamento com duração igual ou superior a 20 horas e distribuição homogênea na área.

As propriedades hidráulicas do aqüífero consideradas neste estudo são: capacidade específica (Q/s), condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (S) que é representado pela porosidade efetiva.

A capacidade específica, obtida a partir da análise de 173 poços com tempo de bombeamento igual ou superior a 15 h, apresenta valores médios de $0,57 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, com mínimo de $0,022 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e máximo de $4,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Predominam capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (Figura 3.4), entretanto, valores superiores a $1,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ocorrem a oeste, nas áreas de domínio do Bauru Inferior/Caiuá.

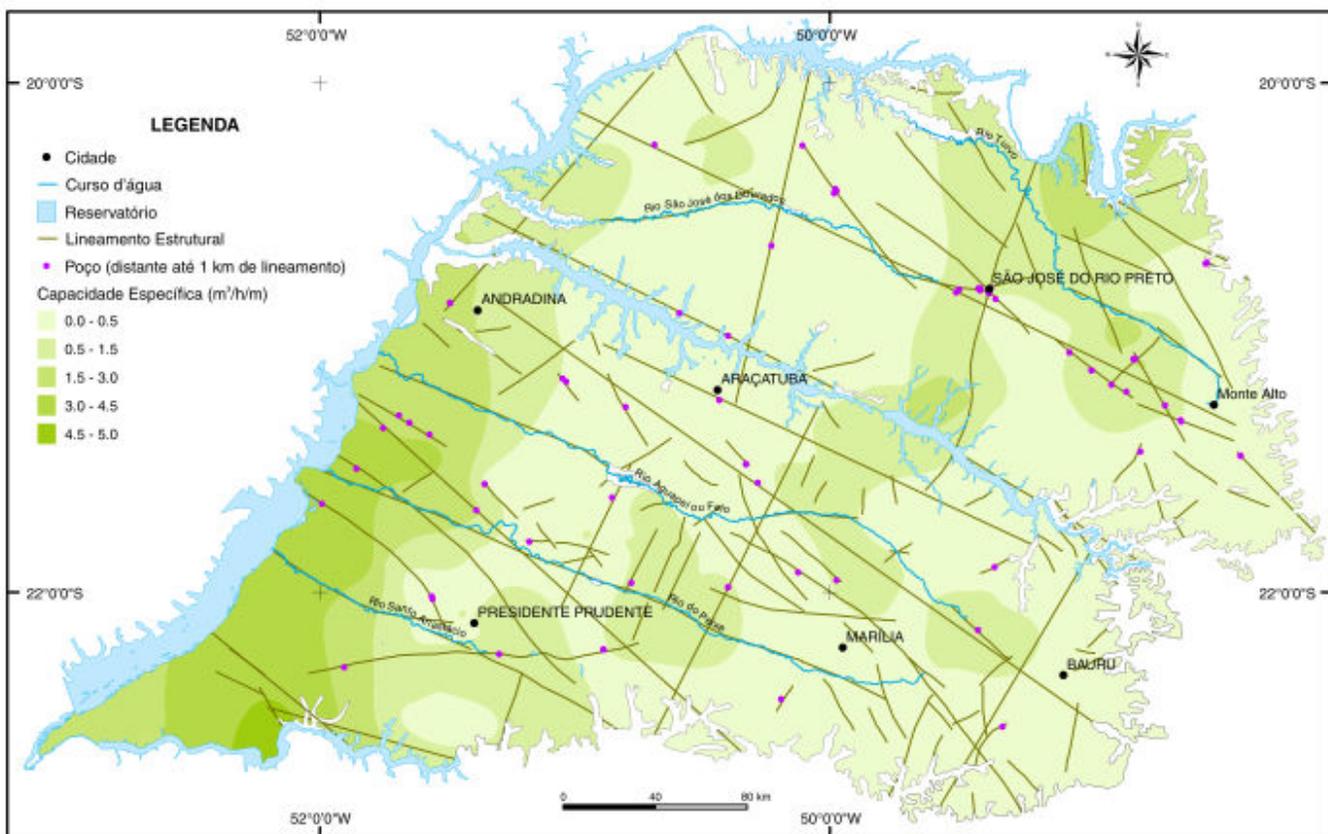
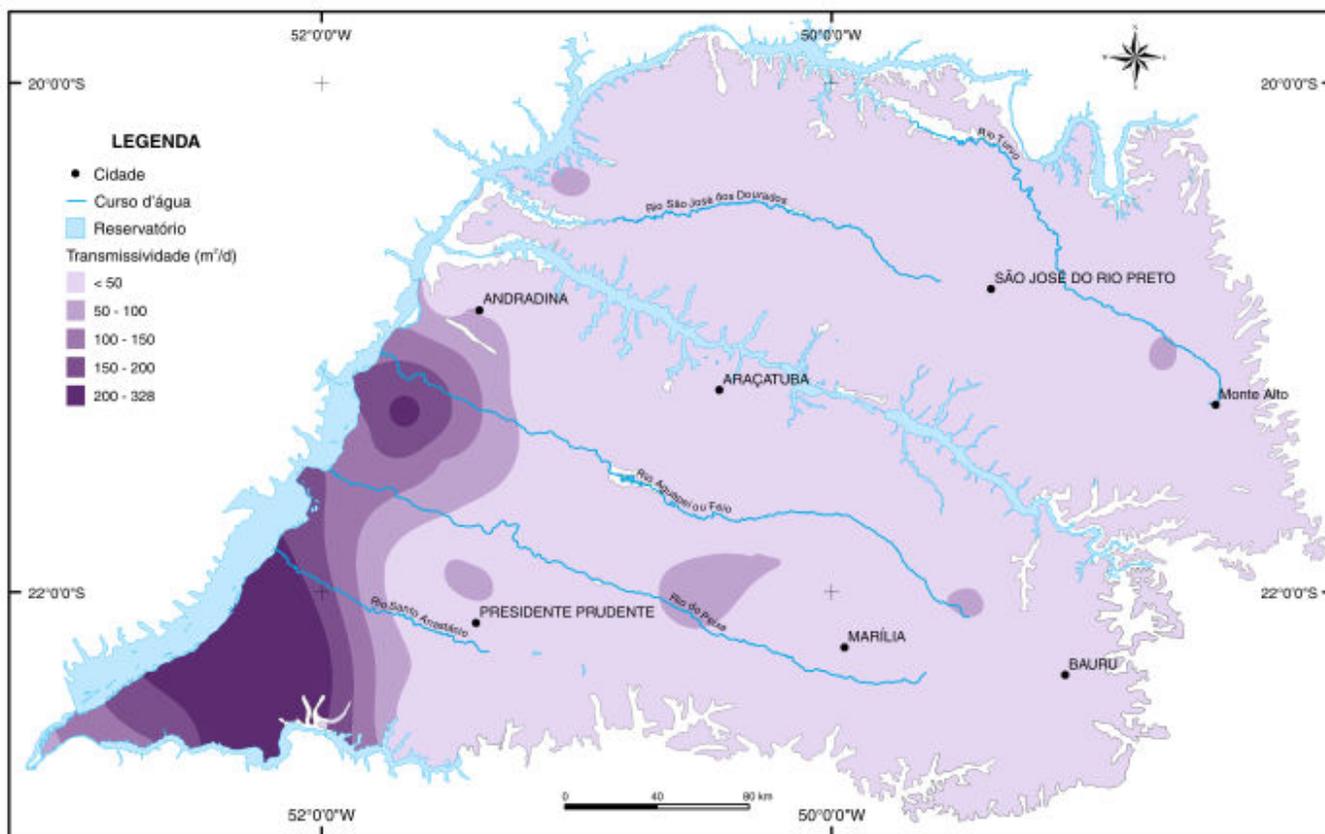


Figura 3.4. Capacidade Específica de poços no Aqüífero Bauru.

A condutividade hidráulica do Aqüífero Bauru varia de 0,002 m/d a 3,66 m/d, segundo dados de ensaios de recuperação realizados em 103 poços. Com base na análise dos mesmos ensaios, concluiu-se que a transmissividade do sistema varia de 0,14 a 328 m²/dia, ocorrendo predominância de valores inferiores a 50 m²/dia (**Figura 3.5**). No extremo oeste da área, nas regiões de afloramento do Bauru Inferior/Caiuá, atinge valores superiores a 200 m²/dia, também observados por IRITANI *et al.* (2000).



Fonte: Gerada a partir da interpretação de ensaios realizados em poços constantes no cadastro do DAEE.

Figura 3.5. Transmissividade do Aqüífero Bauru.

A porosidade efetiva situa-se em torno de 5% no Bauru Médio/Superior, variando de 10 a 15% no Bauru Inferior/Caiuá (DAEE 1979b).

Com o intuito de avaliar a existência de influência de estruturas tectônicas sobre a capacidade específica dos poços localizados no Aqüífero Bauru, lineamentos e estruturas foram compilados do mapa de contorno estrutural da Formação Serra Geral (CAMPOS *et al.* 2000) e do Mapa Geológico do Estado (PERROTTA *et al.* 2005), e lineamentos interpretados sobre o modelo digital de elevação (MDE) (dados de domínio público, disponíveis em US Geological Survey, EROS Data Center, Sioux Falls, SD) (**Figura 3.4**). Curvas de distribuição acumulada foram construídas para poços localizados a uma distância inferior a 1000 m dos lineamentos estruturais (70 poços) e poços com distância superior a 1000 m dos lineamentos (452 poços). A curva dos poços próximos aos lineamentos, com mediana da capacidade específica de 0,53 m³/h/m, situa-se acima daquela referente aos poços localizados a distâncias maiores, com mediana de 0,37 m³/h/m, evidenciando influência positiva das estruturas tectônicas sobre a produção do aqüífero (**Figura 3.6**).

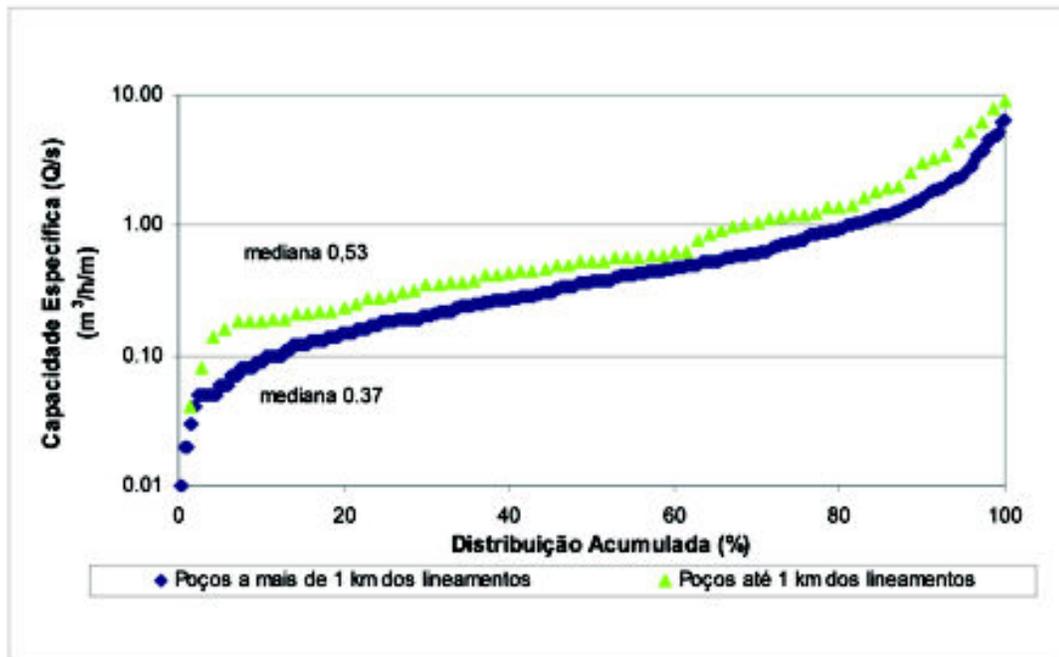


Figura 3.6. Curvas de distribuição acumulada da capacidade específica de poços no Aqüífero Bauru. Poços distantes de até 1 km dos lineamentos estruturais da Formação Serra Geral, e a distâncias superiores a 1 km.

A vazão (Q) explorável, ou recomendada, foi calculada conforme descrição encontrada no capítulo 2. No cálculo admitiu-se um rebaixamento de 50% da espessura saturada, sendo este valor corrigido segundo a proposta de JACOB (1969 *apud* CUSTÓDIO & LLAMAS 1976).

Os parâmetros utilizados no cálculo da vazão explorável foram primeiramente espacializados em mapas temáticos vetoriais, para posteriormente serem discretizados em raster. Foram inicialmente elaborados os seguintes mapas temáticos: transmissividade (dados pontuais), potenciometria (dados pontuais e curvas), base do aqüífero (dados pontuais) e coeficiente de armazenamento (valor por área). Estes dados vetoriais foram então reproduzidos em raster e, mediante a utilização do método de interpolação TOPOGRID (WAHBA 1990) do software ArcInfo (ESRI 1997), discretizados em células com espaçamento de 1 km. O procedimento permitiu a utilização do módulo de "Função da Análise Espacial" do software ArcView (ESRI 2002) para a aplicação da equação utilizada no cálculo da vazão, que resultou no zoneamento das vazões exploráveis do Aqüífero Bauru.

Para fins de cálculo, o coeficiente de armazenamento (S) foi definido com base na geometria e distribuição espacial das formações presentes no Mapa Geológico do Estado de São Paulo (PERROTTA *et al.* 2005). Assim, foram adotados os seguintes valores para o parâmetro: 10^{-1} para a área de domínio do Bauru Inferior/Caiuá e de 10^{-3} para o Bauru Médio/Superior (DAEE 1979b, ROCHA 1982).

A **Figura 3.7** mostra mapa com cinco zonas diferenciadas de vazão explorável, com intervalos que variam de 10 até 120 m^3/h , no entanto, recomenda-se que, nesta última faixa, as vazões praticadas não excedam os 80 m^3/h . A consistência dos intervalos de vazão explorável, resultante da equação, foi realizada considerando-se vazões reais observadas em poços existentes. No domínio do Bauru Médio/Superior predominam vazões

AQÜÍFERO GUARANI

Armando Takahashi (CPRM)

Caracterização geral

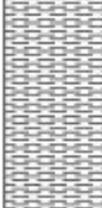
O Aqüífero Guarani ocorre na porção oeste do Estado de São Paulo, ocupando cerca de 76% do seu território. A leste está localizada a faixa aflorante (**Figura 3.8**), que se estende desde o município de Rifaina, a norte, até Fartura, ao sul. Esta faixa, com área de 16.000 km², está inserida na Depressão Periférica e apresenta largura irregular que se amplia ao longo das grandes drenagens, como é o caso do rio Jacaré-Pepira, quando atinge o máximo de 175 km. Para oeste daquela faixa, o aqüífero encontra-se confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral, numa extensão de cerca de 174.000 km². Nesta região, as águas do Guarani abastecem cidades importantes como São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Araçatuba (**Figura 3.8**).



Fonte: Delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.8. Localização do Aqüífero Guarani.

Este aqüífero é composto por arenitos das formações Pirambóia, na base, e Botucatu, no topo (**Figura 3.9**). A Formação Pirambóia, de idade triássica (MILANI 2004), é constituída por arenitos de granulação média a fina, localmente grossos e conglomeráticos, depositados em ambiente fluvio-lacustrino e eólico (CAETANO-CHANG & WU 1992, MILANI *et al.* 1994). Apresenta estratificação de médio porte, cruzada planar ou acanalada e estratificação plano-paralela, com lâminas ricas em argila ou silte. No Jurássico-Cretáceo, seguiu-se a deposição eólica da Formação Botucatu, constituída predominantemente por arenitos de granulação média a fina, avermelhados, com grãos de alta esfericidade e bem selecionados, exibindo estratificação cruzada de grande porte. Todo o pacote está assentado, em discordância angular, sobre o Grupo Passa Dois e parte dele, a porção confinada, está recoberto pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que apresenta *intertraps* de arenito (IPT 1981a).

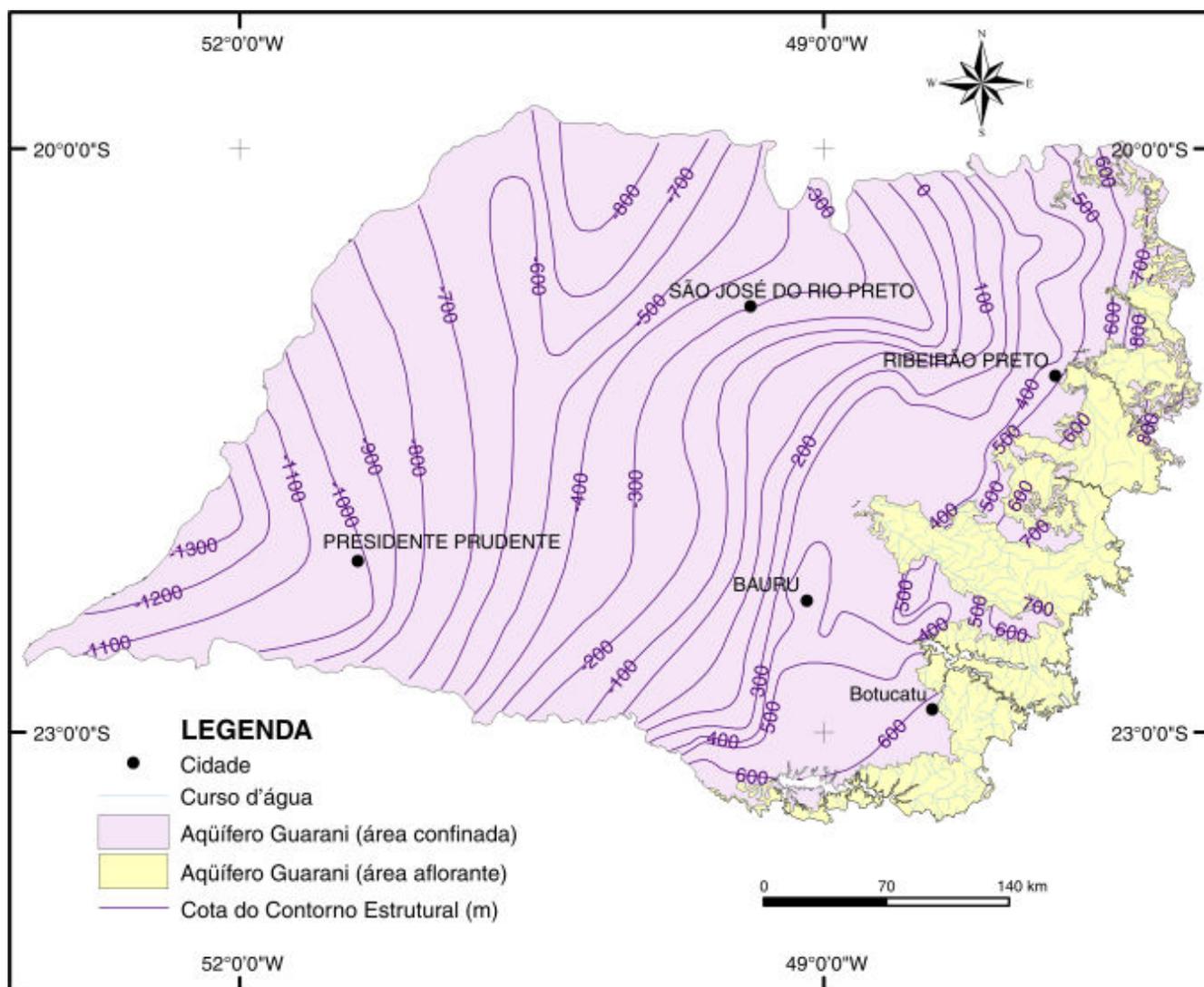
PERFIL	ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA
	GRUPO BAURU	Arenito avermelhado, gran. fina, calcífero, friável silteoso, bandado para silte argiloso na base.
	FORMAÇÃO SERRA GERAL	Basalto cinza, vesicular, amigdaloidal
	FORMAÇÃO BOTUCATU	Arenito castanho claro, granulação média a muito fina, grãos arredondados a bem selecionados, localmente calcífero e com intrusões de diabásio
	FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	Arenito cinza esverdeado, muito fino, silteoso, calcífero
	FORMAÇÃO SERRA GERAL	Diabásio
	FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	Arenito acinzentado muito fino a grosseiro, calcífero
	GRUPO PASSA DOIS	Folhelhos com intercalações de diamictitos e arenitos

Fonte: Petrobrás. Poço no município de Lins (LI-ST-1-SP 1960)

Figura 3.9. Posição estratigráfica do Aqüífero Guarani (Formações Botucatu e Pirambóia).

O Aqüífero Guarani é granular, homogêneo e regionalmente livre na sua porção aflorante, a predominantemente confinado, constituindo um pacote contínuo desde sua área de afloramento, a leste, até o extremo oeste de São Paulo, onde extrapola os limites do Estado.

A superfície do topo, definida pelo contato com a Formação Serra Geral, mergulha para sudoeste, apresentando altitudes de 800 m no limite da parte aflorante, até 1300 m abaixo do nível do mar na região de Presidente Prudente, junto ao rio Paraná (Figura 3.10). Os gradientes desta superfície são de 1,8 m/km ao longo do vale do rio Tietê, e de 3,8 m/km, pelo eixo próximo ao rio do Peixe até as imediações da cidade de Avaré.



Fonte: SILVA (1983).

Figura 3.10. Contorno estrutural do topo do Aqüífero Guarani.

A espessura do aqüífero varia de aproximadamente 100 m na área aflorante, até mais de 400 m, a oeste, ao longo da calha do rio Tietê (**Figura 3.11**).

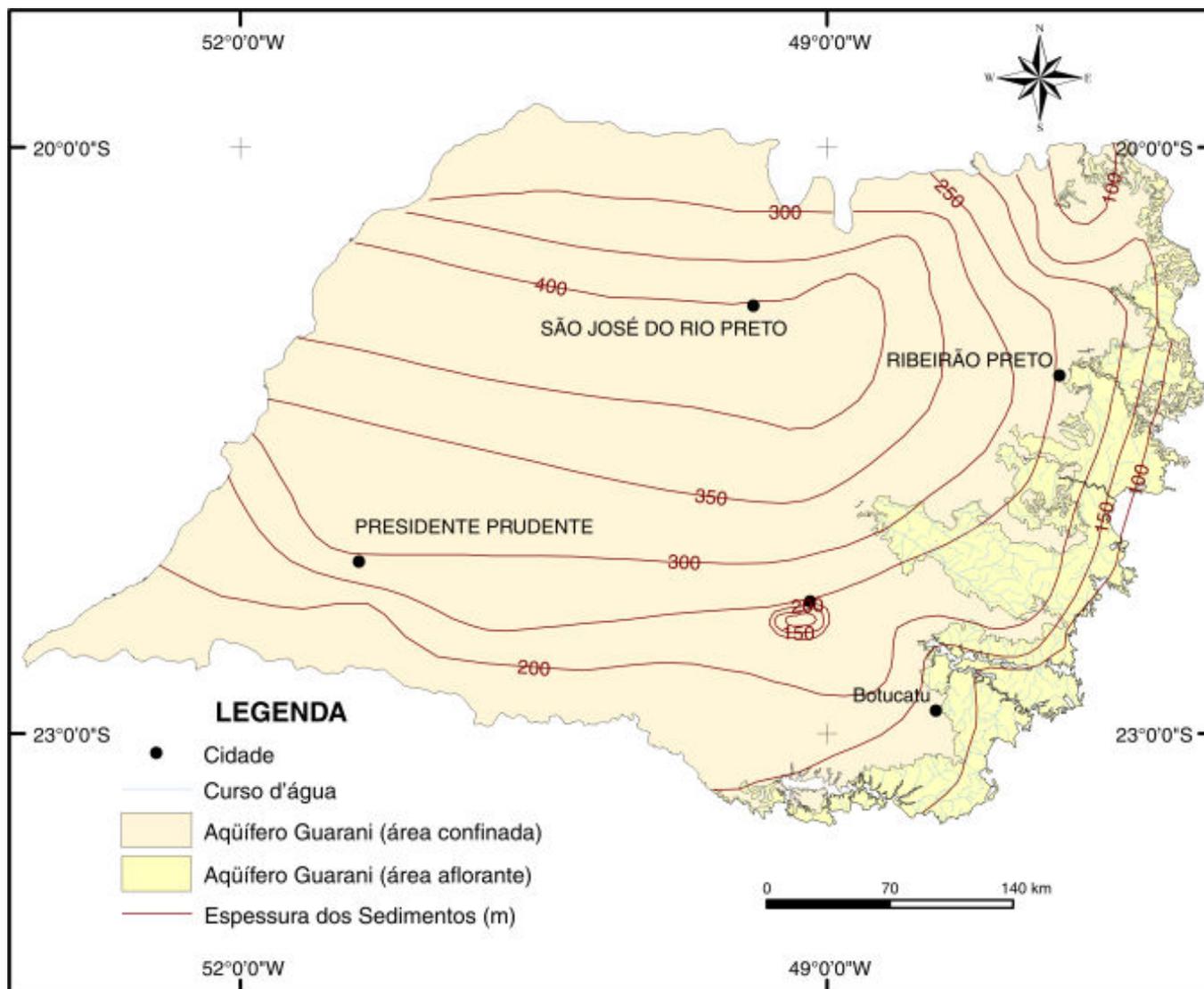


Figura 3.11. Espessuras dos sedimentos do Aqüífero Guarani.

Potencialidade

O estudo da potencialidade do Aqüífero Guarani foi realizado com base em 111 poços selecionados. Destes, 34 foram considerados representativos das principais características do aqüífero, tais como nível potenciométrico, cota da superfície do topo, espessura e faixas de vazão representadas no Mapa.

A superfície potenciométrica do Aqüífero Guarani apresenta a leste, na área aflorante, cotas de nível d'água da ordem de 800 m, que diminuem no sentido oeste e atingem valores de até 400 m na área confinada. A geometria dessas equipotenciais indica que o fluxo regional ocorre de leste para sudoeste (**Figura 3.12**). O gradiente hidráulico médio na porção confinada é de aproximadamente 0,001; enquanto na área aflorante ocorrem os maiores gradientes, como os observados ao longo dos eixos dos rios Pardo e Jacaré-Pepira, com valores de 0,008 e 0,003, respectivamente.

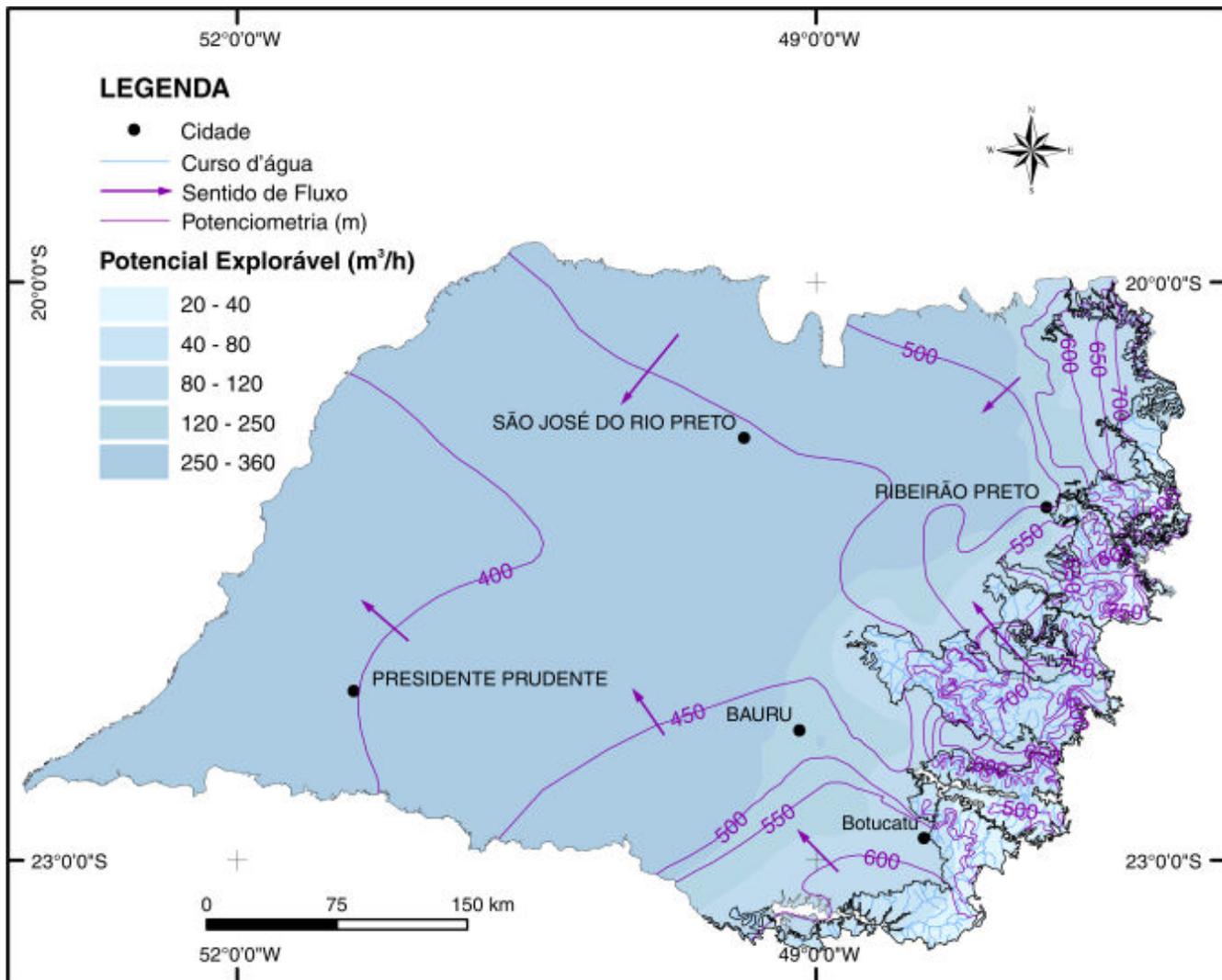


Figura 3.12. Nível piezométrico aparente do Aqüífero Guarani.

No Mapa encontram-se indicadas as linhas que delimitam a área de confinamento e a de surgência das águas subterrâneas, de acordo com SILVA (1983). O limite da área de confinamento é aproximadamente paralelo ao contato entre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu, desde as imediações de Ourinhos, a sul, até Franca, a norte. Na área de confinamento o nível potenciométrico do Aqüífero Guarani localiza-se em cota superior à do contato com a Formação Serra Geral.

No que se refere ao limite da área de surgência do Aqüífero Guarani, este indica o local a partir do qual o nível d'água subterrânea, sob pressão, eleva-se acima da superfície do terreno. A geometria irregular deste limite é concordante com a topografia regional (SILVA 1983).

A condutividade hidráulica (K) do Aqüífero Guarani como um todo foi obtida pelo cálculo da média ponderada dos valores de K das Formações Pirambóia (2,5 m/dia) e Botucatu (3,5 m/dia) (DAEE 1974). O fator de ponderação correspondeu à somatória das espessuras de cada formação, considerando 14 poços localizados na porção confinada do aqüífero e 54 poços na área de afloramento. Os valores médios de K obtidos são 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre.

Adotando o mesmo procedimento, foi calculada a média ponderada do coeficiente de armazenamento (S) para a porção livre do Aqüífero Guarani, considerando um valor médio de 0,15 para a Formação Pirambóia (DAEE 1974) e 0,25 para a Formação Botucatu (SILVA 1983), obtendo-se, nesta área, um valor médio de 0,17. Na porção confinada, a média não foi calculada pela inexistência de valores definidos para cada uma das formações. Por este motivo, dentro do intervalo de 10^{-3} e 10^{-5} fornecido pelo DAEE (1974), optou-se pelo valor de 10^{-3} , pois este possibilitou a obtenção de faixas de vazão mais compatíveis com a maioria dos poços perfurados.

A transmissividade (T), obtida com base no mapa de espessura do aqüífero e nos valores de K, é de aproximadamente 260 m²/dia na área aflorante, aumentando progressivamente para oeste até atingir valores superiores a 1200 m²/dia ao longo do vale do rio Tietê, na área confinada.

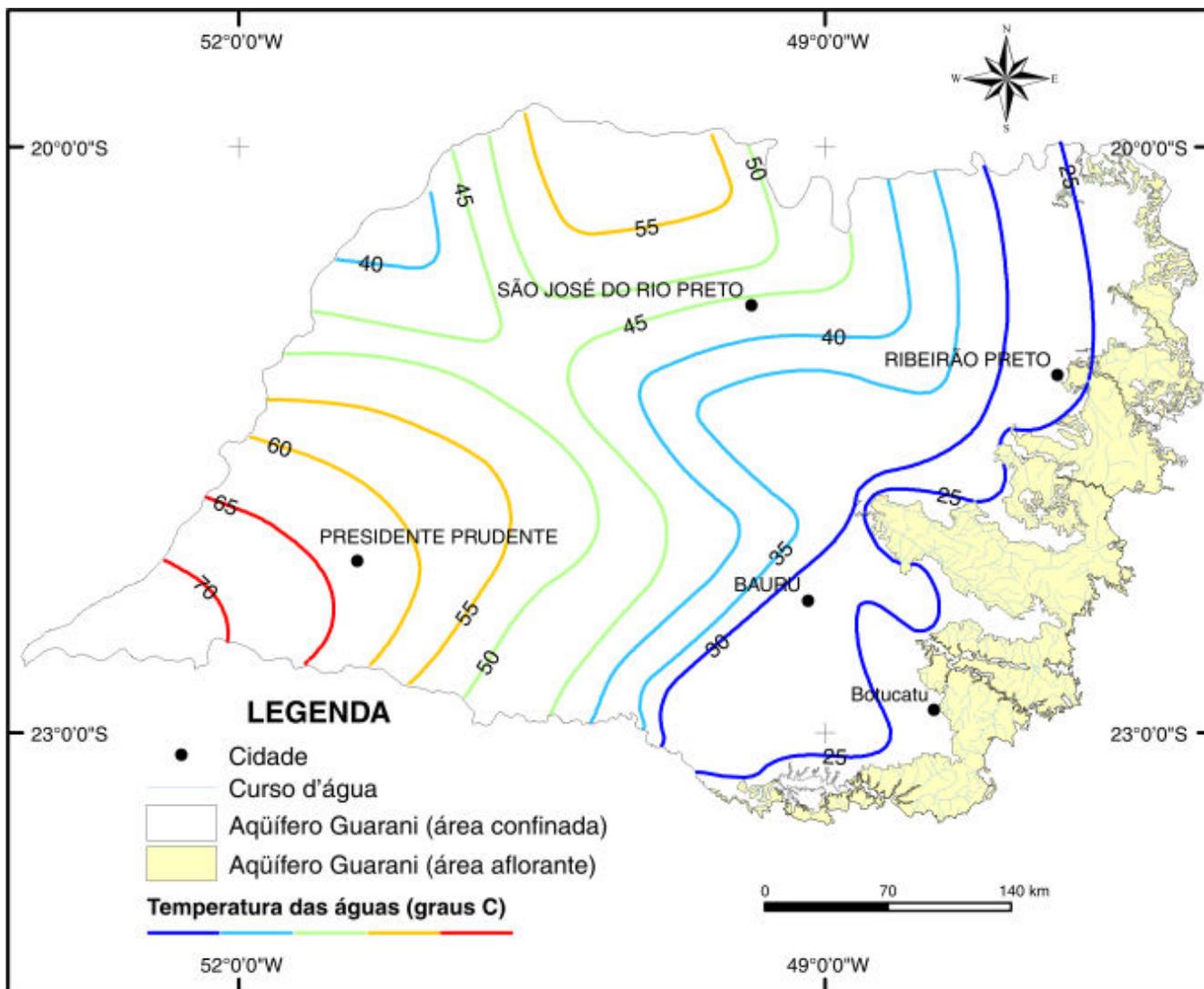
O cálculo da vazão (Q) explorável utilizou o método descrito no capítulo 2, admitindo-se um rebaixamento de 30% da espessura saturada para um período de 50 anos de bombeamento contínuo, como proposto por COSTA (2000). No entanto, o período de exploração considerado neste trabalho foi de 20 anos, o que resultou em um rebaixamento máximo proporcional de 12%, sendo este valor corrigido segundo a proposta de JACOB (1969 *apud* CUSTÓDIO & LLAMAS 1976), para a área de afloramento do aqüífero.

Como resultado foram obtidas as seguintes faixas de vazão recomendada: de 20 a 40 m³/h e de 40 a 80 m³/h, no sistema livre; e de 80 a 120 m³/h, 120 a 250 m³/h e 250 a 360 m³/h, no sistema confinado (**Figura 3.12**).

A menor faixa de vazão explorável (de 20 a 40 m³/h) pode conter vazões inferiores a 20 m³/h nas áreas próximas à Formação Passa Dois, onde o aqüífero apresenta as menores espessuras saturadas. Dentro da área confinada, as vazões aumentam para oeste-noroeste, até se fixarem em valores máximos recomendados de 360 m³/h, a partir da linha que se inicia em Ourinhos, a sudeste, e se estende até as proximidades de Miguelópolis, a nordeste.

Qualidade química natural das águas subterrâneas

De acordo com CAMPOS (1993) as águas deste sistema são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e apresentam temperaturas de 22 a 27°C, pH de 5,4 a 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, a temperatura varia de 22 a 59,7°C, o pH de 6,3 a 9,8 e a salinidade de 50 a 500 mg/L. As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas e, subordinadamente, sulfatadas – cloretadas sódicas. Os valores de temperatura (**Figura 3.13**), pH, salinidade, e de íons cloreto, sulfato e sódio, aumentam no sentido do confinamento.



Fonte: SILVA (1983).

Figura 3.13. Isotermas da área confinada do Aquífero Guarani.

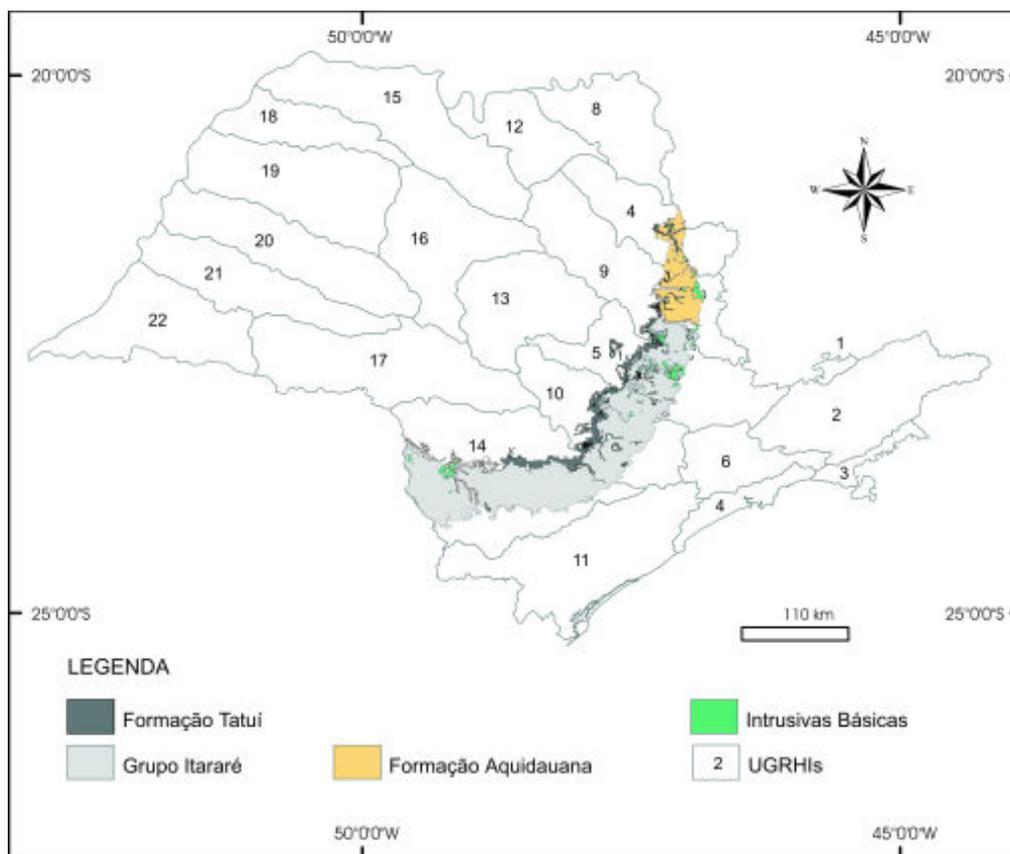
Em termos de potabilidade, o DAEE (1974, 1976, 1979b) recomenda apenas cuidado com a presença de eventuais contaminantes tais como: nitratos, principalmente na área aflorante devido à existência de fossas negras ou à aplicação de insumos agrícolas; ferro, originário da água dos basaltos ou da dissolução da tubulação dos poços; e flúor, originado mais provavelmente da decomposição de minerais presentes nas rochas sedimentares do aquífero (FRAGA 1992).

AQÜÍFERO TUBARÃO

Geraldo Hideo Oda (IG)

Caracterização geral

A faixa aflorante do Aqüífero Tubarão localiza-se no centro-sudeste do Estado entre os meridianos 46°50' e 49°40' W e os paralelos 21° e 24° S, ocupando uma área de 20.700 km² (450 x 45 km). Insere-se na Depressão Periférica Paulista, envolvendo parte das UGRHs 4, 5, 9, 10 e 14 (Figura 3.14).



Fonte: Geologia e delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.14. Localização do Aqüífero Tubarão.

Este aqüífero é constituído pelas seguintes unidades geológicas do Mapa Geológico do Estado de São Paulo (PERROTTA *et al.* 2005): (1) Grupo Itararé e Formação Aquidauna (Permo-Carbonífero), depositados em ambiente glacial continental com ingressões marinhas; e (2) Grupo Guatá (Permiano), que contém as formações Tatuí (predominante), Rio Bonito e Palermo (subordinadas), depositado em ambiente marinho raso (Figura 1.5). O Grupo Guatá situa-se, estratigraficamente, abaixo do Grupo Passa Dois e o Grupo Itararé e Formação Aquidauna, acima do Grupo Paraná. Grande parte das duas últimas unidades (Itararé e Aquidauna) foi depositada diretamente sobre o embasamento pré-Cambriano.

O Grupo Itararé constitui a unidade aqüífera principal e compreende uma complexa associação de diamictitos, ritmitos, siltitos, argilitos, folhelhos, conglomerados e arenitos, de cor cinza claro a escuro, que se sucedem tanto na vertical como na horizontal; as camadas destas rochas sedimentares podem alcançar várias dezenas de metros de espessura e associam-se a diversos subambientes do ambiente glacial, isto é, fluvial, marinho, lacustre, praiano, deltáico, entre outros. De acordo com

DAEE (1982) a espessura do Grupo Itararé, na sua porção aflorante, pode alcançar cerca de 800 m. A Formação Aquidauana, que está presente na porção nordeste do aqüífero, é constituída principalmente por arenitos, conglomerados, siltitos e folhelhos. Depositou-se, sob influência do ambiente glacial, em subambientes fluvial e lacustre. A base desta formação jaz sobre o embasamento pré-Cambriano e seu contato superior é feito, por discordância erosiva, com a Formação Tatuí ou com as unidades superiores. A Formação Aquidauana pode atingir espessuras de cerca de 300 m na região de Mococa.

Nas rochas do Grupo Itararé e Formação Aquidauana intercalam-se soleiras de diabásio da Formação Serra Geral, principalmente ao norte de Campinas.

A Formação Tatuí, com espessuras médias de 30 a 50 m (na porção aflorante), podendo ultrapassar os 70 m, é constituída predominantemente de siltitos e subordinadamente de arenitos, calcários, folhelhos e sílex. No contato superior com a Formação Irati, pode conter arenito conglomerático ou conglomerado com seixos de sílex.

De acordo com DEFFONTAINES (1935 *apud* ALMEIDA 1964), ALMEIDA (1964), IPT (1981b) e ROSS & MOROZ (1997), a Depressão Periférica, onde está inserida a faixa aflorante do Aqüífero Tubarão, foi subdividida em: (1) Zona do Moji-Guaçu, de colinas amplas de topos tabulares e altitudes entre 500 e 650 m; (2) Zona do Paranapanema, de colinas de topos convexos e tabulares e altitudes entre 600 e 700 m; e (3) Zona do Médio Tietê, de colinas amplas de topos tabulares e convexos e altitudes entre 500 e 650 m.

A partir da linha do contato do Aqüífero Tubarão com o embasamento pré-Cambriano, a espessura do aqüífero aumenta em direção a oeste, para o interior da Bacia do Paraná. O contorno estrutural da base do Aqüífero Tubarão mostra porções elevadas e rebaixadas do embasamento (**Figura 3.15**), sendo

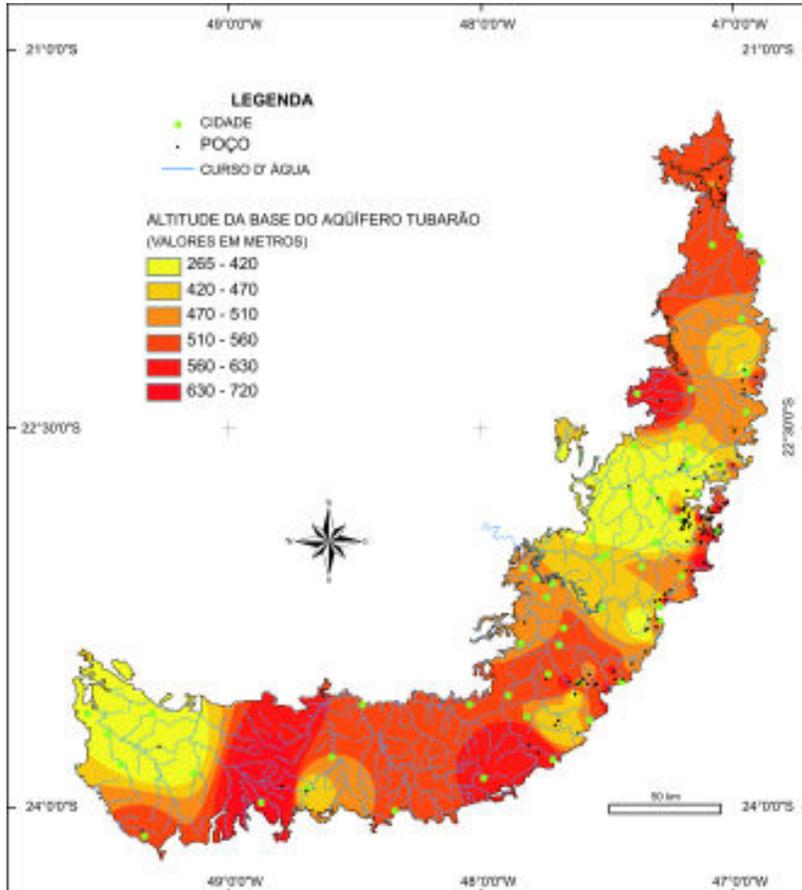


Figura 3.15. Contorno estrutural da base do Aqüífero Tubarão.

parte delas anteriormente descritas para as regiões entre Salto de Pirapora e Itu (ODA 1998), Campinas (IG 1993), porção média da bacia do rio Piracicaba (IG 1995) e das cidades de Tietê, Capivari e Mombuca (VIDAL 2002). Algumas porções rebaixadas do embasamento atingem as seguintes altitudes: 300 m em Campinas, 250 m em Itu, e aproximadamente o nível do mar na região de Mombuca.

Potencialidade

A base de dados utilizada para a avaliação deste aqüífero contou com 853 poços selecionados, provenientes dos cadastros de poços do DAEE e do IG, dos quais 9 estão ilustrados no Mapa, e representam as características principais do Aqüífero Tubarão. Os poços do DAEE encontram-se uniformemente distribuídos na área de ocorrência do aqüífero, enquanto os poços do IG estão concentrados na porção central, no eixo Sorocaba-Campinas.

A capacidade específica, disponível para 765 poços dos selecionados, oscila entre 0,002 e 4,67 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ (**Figura 3.16**) e apresenta média, mediana e desvio padrão de 0,30 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, 0,11 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e 0,54, respectivamente. Estes valores são concordantes com DAEE (1981, 1982), DIOGO *et al.* (1981), ODA (1998), IG (1993) e IG (1995). O estudo apontou a presença de áreas pontuais ou "ilhas" de elevada produtividade (2,2 a 4,6 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), próximas a áreas de baixa e média produtividade, indicando a compartimentação do sistema em escala local. Exemplos disto são observados em

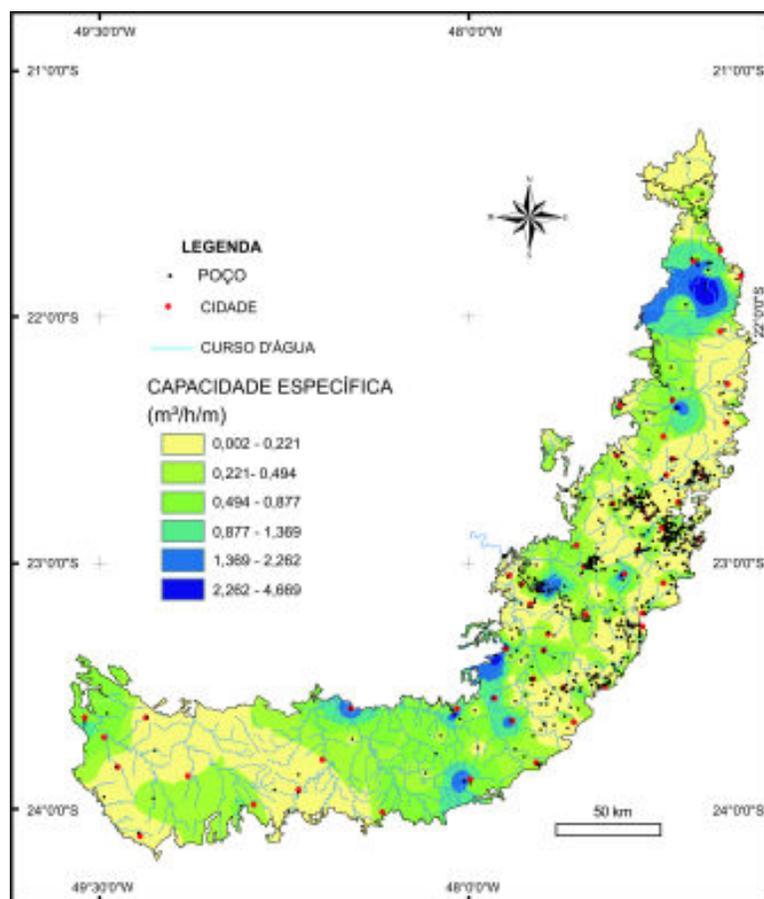


Figura 3.16. Capacidade Específica do Aqüífero Tubarão.

poços perfurados pelo IG nas cidades de Tietê, Rafard e Capivari, com boa produtividade, e Cerquillo, com baixa produtividade. Nas regiões com baixa densidade de poços observa-se a predominância de extensas áreas com valores médios (0,49 a 0,87 m³/h/m) e baixos (0,002 a 0,21 m³/h/m) de capacidade específica. De acordo com DAEE (1981, 1982), a transmissividade está entre 0,3 e 40 m²/dia, podendo alcançar até 150 m²/dia.

Os valores da mediana para o nível estático, espessura saturada e profundidade dos poços são de 18 m, 134 m e 152 m, respectivamente.

Tomando-se como base a análise dos dados dos poços selecionados, recomendam-se uma profundidade máxima de 150 m para a abertura de novos poços, e um rebaixamento máximo da ordem de 30 m (aproximadamente 25% da espessura saturada mediana). É também proposto um espaçamento mínimo de 500 m entre poços (ou 4 poços/km²). Este espaçamento é atualmente utilizado pelo Instituto Geológico nos estudos de viabilidade de captação de água subterrânea no Aqüífero Tubarão.

Com estas recomendações pretende-se evitar a ocorrência de rebaixamentos elevados da superfície potenciométrica, como os já observados nas cidades de Tietê, Capivari, Rafard e Hortolândia, decorrentes da elevada concentração de poços.

Para a obtenção das faixas de vazão recomendada para este aqüífero, foi aplicado um rebaixamento único de 30 m para todos os poços, o qual foi multiplicado pelos valores de capacidade específica de cada poço. Após esta operação, os novos valores de vazão foram interpolados por meio do software ArcGIS– Spatial Analyst da ESRI (2002).

Os resultados obtidos constata a heterogeneidade do Aqüífero Tubarão, ressaltada pelas variações locais da vazão explorável. O aqüífero apresenta faixas de 0 a 40 m³/h, com predominância de 0 a 10 m³/h. Valores superiores a 10 m³/h foram encontrados próximo às cidades de Barão de Antonina, Itapeva, Pilar do Sul, Iperó, Tietê, Capivari e na faixa entre Araras e Casa Branca. Estas áreas de maior vazão podem ser causadas por vários fatores tais como a ocorrência de camadas confinantes ou presença de fraturas mais permeáveis. A influência das fraturas sobre a produção do Aqüífero Tubarão é demonstrada por FERNANDES (1997) e FERNANDES & RUDOLPH (2001) para a região de Campinas. Nesta área a mediana de capacidade específica é de 0,13 m³/h/m, para um universo de 134 poços. Considerando apenas os poços com capacidade específica maior que 0,5 m³/h/m, que totalizam 21 poços, 18 estão próximos a lineamentos e apenas 3 estão longe destas feições. Isto indica a influência positiva das fraturas sobre o potencial de produção do Aqüífero Tubarão.

Qualidade química natural das águas subterrâneas

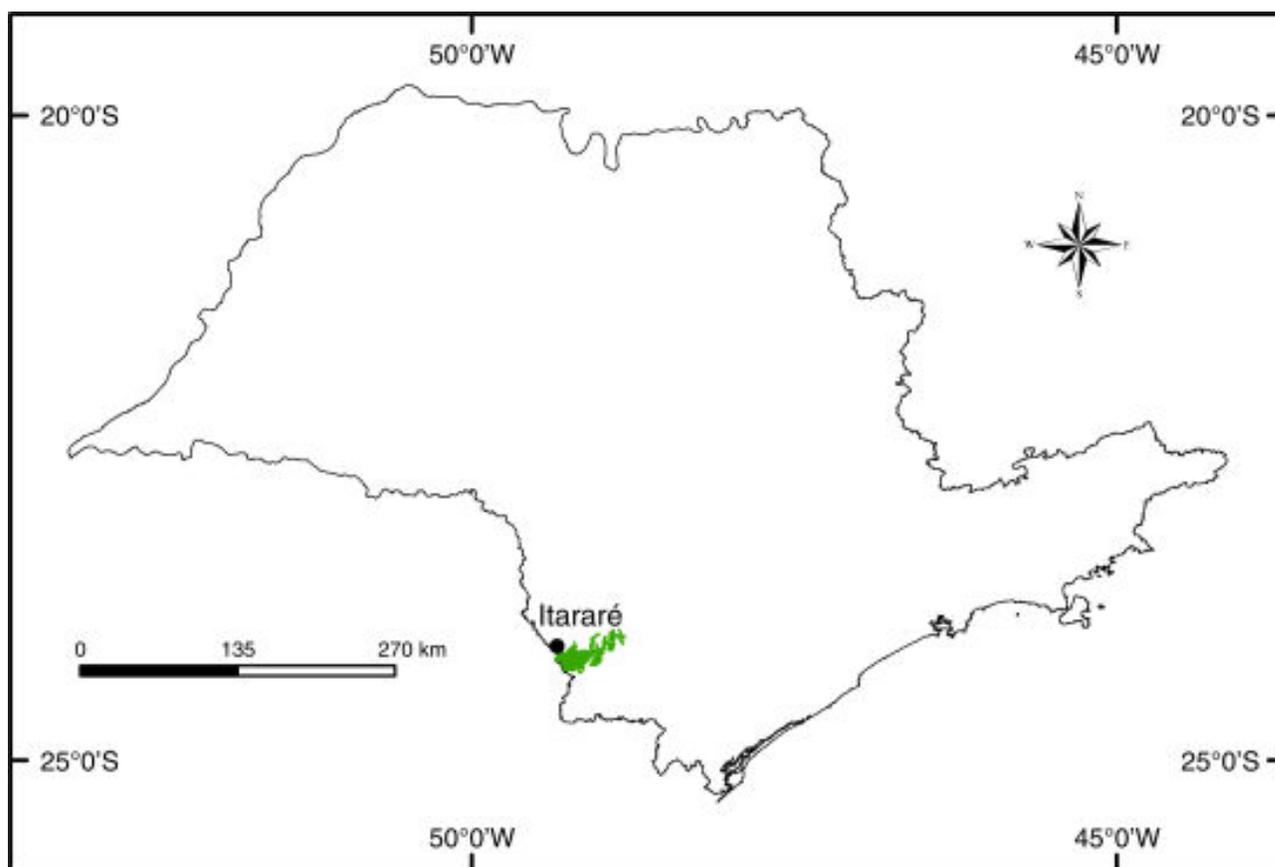
As águas do Aqüífero Tubarão são fracamente salinas, bicarbonatadas sódicas (Grupo Itararé) e secundariamente bicarbonatadas cálcicas (Formação Aquidauana) ou mistas (DAEE 1981, 1982). O pH varia de 4,8 a 8,9 e o resíduo seco de 21 a 421 mg/L, sendo adequadas ao abastecimento público e uso geral.

AQÜÍFERO FURNAS

Armando Takahashi (CPRM)

Caracterização geral

O Aqüífero Furnas tem exposição restrita na porção sudoeste do Estado de São Paulo, ocupando uma área de 530 km², tendo como principais referências geográficas os municípios de Itararé, Itapeva e Nova Campina (DAEE 1982) (**Figura 3.17**).



Fonte: Delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.17. Localização do Aqüífero Furnas.

O aqüífero é constituído pela Formação Furnas, unidade basal do Grupo Paraná, depositada durante transgressão marinha do Devoniano, sobre relevo suave em águas rasas, com interferência de correntes relativamente fortes. Apresenta discordância angular, na base, com o embasamento pré-Cambriano e, no topo, com o Grupo Itararé (IPT 1981a). A Formação Furnas é constituída predominantemente por arenitos quartzosos de granulação média a grossa e esbranquiçados; em sua porção basal ocorrem níveis de conglomerados. A estrutura sedimentar predominante em todo o pacote é a estratificação cruzada planar e acanalada (THEODOROVICZ 1986). As espessuras atingem cerca de 100 m na área aflorante e, na região de Itararé, o único poço disponível em cadastro, com 220 m de profundidade, atravessou 180 m de espessura da formação, depois de perfurar as rochas aflorantes do Grupo Itararé.

Potencialidade e qualidade química natural

O Aqüífero Furnas é de porosidade granular. O poço que explora este aqüífero apresenta capacidade específica de 0,035 m³/h/m e nível estático a 48 m de profundidade.

No Mapa há uma única faixa de vazão explorável, de até 10 m³/h, para toda a área de exposição do Aqüífero Furnas. Isto foi estimado a partir das características litológicas da formação, já que não se dispunha de informações de poços.

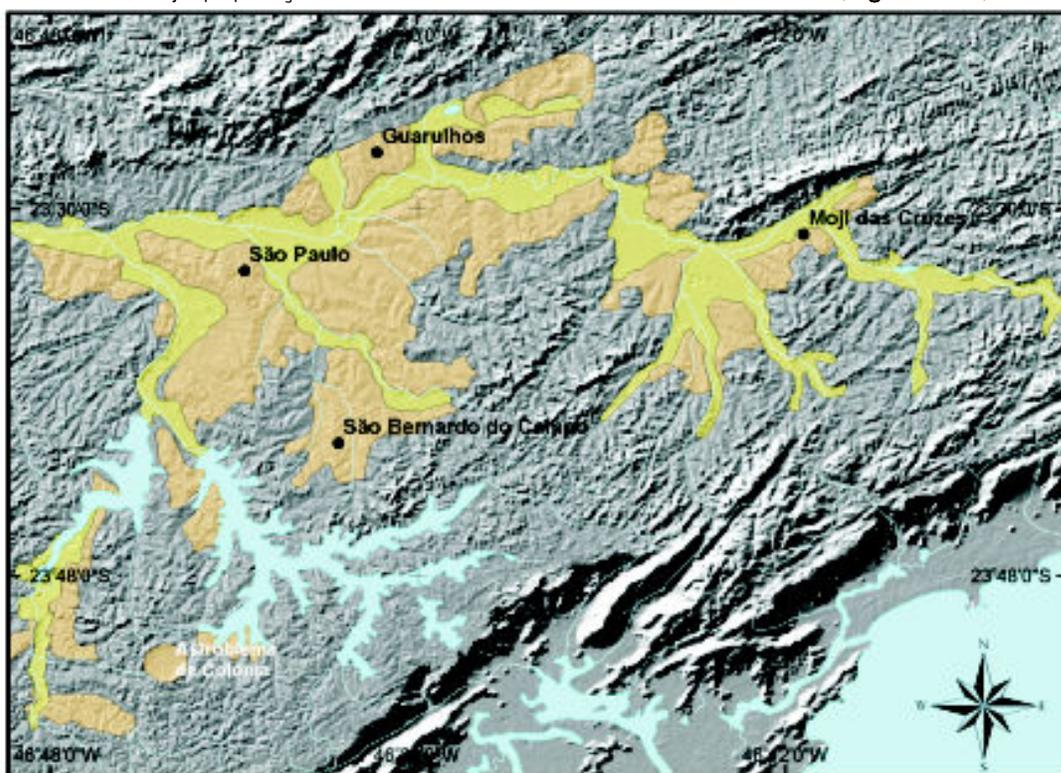
A análise química de uma única amostra de água forneceu os seguintes resultados: pH 6, temperatura 20°C, condutividade elétrica de 19 mS/cm e teor salino de 30 mg/L. A água amostrada é bicarbonatada sódica (DAEE1982).

AQÜÍFERO SÃO PAULO

José Eduardo Campos (DAEE)
José Luiz Albuquerque Filho (IPT)

Caracterização geral

O Aqüífero São Paulo é constituído por rochas sedimentares que preenchem a Bacia de São Paulo. Estes sedimentos ocupam uma área de pouco mais de 1000 km², e estão distribuídos irregularmente na porção central da bacia hidrográfica do alto curso do rio Tietê, coincidindo aproximadamente com a área ocupada pelo município de São Paulo e arredores, cuja população é da ordem de 13 milhões de habitantes (Figura 3.18).



LEGENDA

- Cidade
- Curso d'água
- Reservatório
- Sedimentos Terciários
- Sedimentos Quaternários
- Embasamento Cristalino
(Modelo de elevação do terreno)

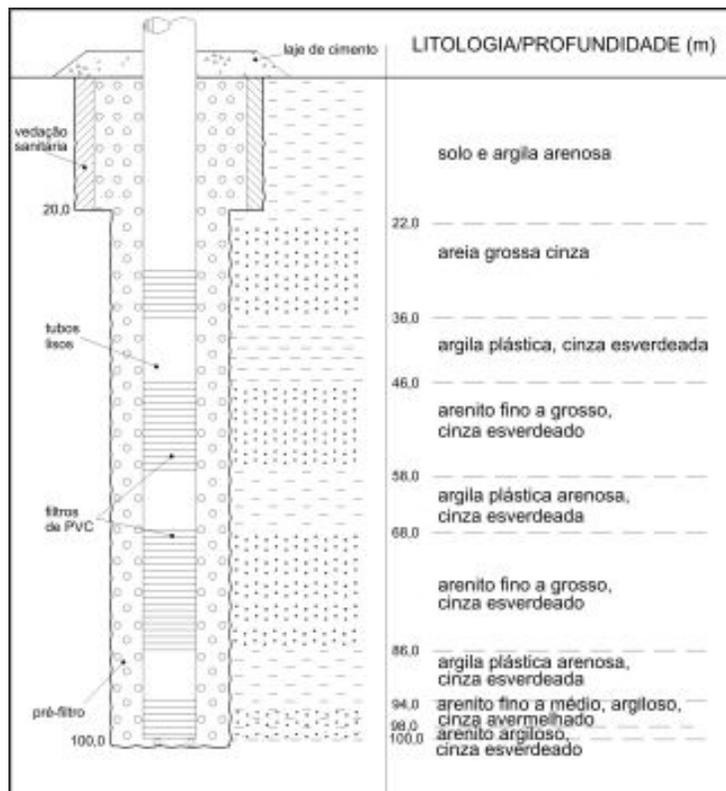
0 10 20 km



Fonte: Geologia e delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.18. Bacia Sedimentar de São Paulo.

As rochas da Bacia de São Paulo pertencem às seguintes unidades: (1) Grupo Taubaté (Paleógeno) constituído, da base para o topo, pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo; (2) Formação Itaquaquetuba (Neógeno); e (3) coberturas aluvionares e coluvionares (Quaternário) (RICCOMINI & COIMBRA 1992). A sedimentação da bacia desenvolveu-se em ambientes de leques aluviais, sistemas fluviais entrelaçados e meandantes e flúvio-lacustres. A espessura média do pacote sedimentar é da ordem de 100 m e, em algumas áreas, as espessuras totais dos sedimentos chegam a atingir mais de 250 m. A variabilidade dos termos litológicos pode ser ilustrada num poço perfurado pelo DAEE no Parque Ecológico do Tietê, Zona Leste (Figura 3.19), cuja seqüência sedimentar é caracterizada pela predominância de camadas argilosas intercaladas por lentes de areia.



Fonte: DAEE (Poço do Parque Ecológico do Tietê).

Figura 3.19. Perfil de poço tubular típico no Aqüífero São Paulo.

A distribuição espacial dessas unidades segundo TAKIYA (1997) mostra que a Formação Resende, constituída por arenitos, conglomerados, diamictitos e lamitos, tem a maior expressão em área, podendo alcançar mais de 200 m de espessura de sedimentos. Por outro lado, a Formação Tremembé, constituída por argilitos, folhelhos, margas e calcários dolomíticos, ocorre apenas em subsuperfície, em áreas restritas, e pode atingir espessuras de até 60 m. Os depósitos da Formação São Paulo, que correspondem a arenitos, argilitos, siltitos e arenitos conglomeráticos, apresentam carapaças ferruginosas, sustentando altas colinas, como no espigão central da Avenida Paulista (RICCOMINI & COIMBRA 1992). Os arenitos grossos arcoseanos da Formação Itaquaquetuba, que também contém lamitos e brechas, situam-se abaixo da cota 710 m, com espessuras variando de 20 a 130 m. Sobre estes sedimentos e ocupando as planícies dos principais rios da bacia hidrográfica do Alto Tietê, estendem-se as coberturas aluvionares e coluvionares quaternárias (RICCOMINI & COIMBRA 1992), compreendendo linhas de seixos, horizontes argilo-arenosos, conglomerados e areias médias (TAKIYA 1997).

A Bacia de São Paulo pertence ao *Planalto Paulistano* e está encaixada entre a Serra do Mar, a sul, e a Serra da Cantareira, a norte. Sobre o pacote sedimentar desenvolveu-se um sistema de drenagem representado principalmente pelos rios Tietê e Pinheiros, e seus afluentes, Tamanduateí, Aricanduva, Pirajussara e outros, resultando em um relevo de colinas com altitudes variando de 710 a 839 m.

A superfície de contato entre a base do aqüífero e o topo do embasamento pré-Cambriano é extremamente irregular em decorrência da atividade tectônica, com presença de falhas que afetaram toda a seqüência estratigráfica sedimentar da bacia. A reativação de antigas falhas resultou em um intrincado traçado, com reflexos na espessura de sedimentos (RICCOMINI & COIMBRA 1992).

No mapa de espessuras saturadas observam-se depressões individualizadas, notadamente na região da Moóca – Belenzinho – Tatuapé, a sudeste, em Santana - Vila Guilherme, centro-norte da região, e no hemi-graben do Aeroporto de Cumbica, município de Guarulhos, a noroeste (**Figura 3.20**), conforme observado por DAEE (1975) e HASUI & CARNEIRO (1980).

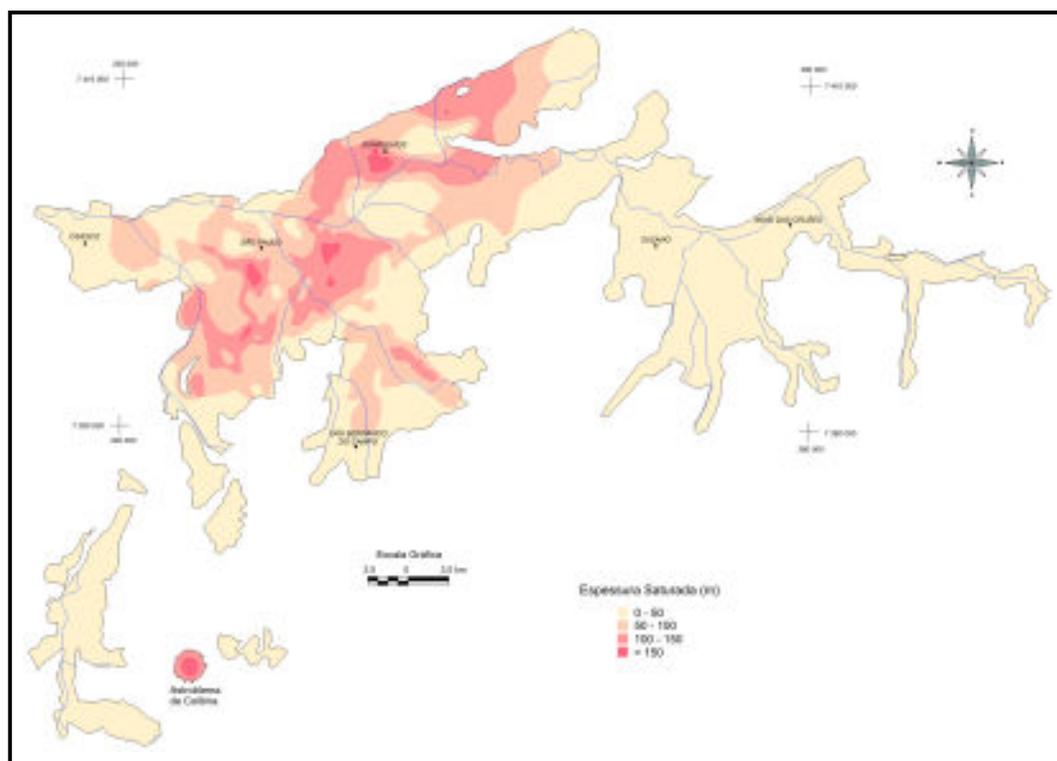


Figura 3.20 - Espessura saturada do Aqüífero São Paulo.

Potencialidade

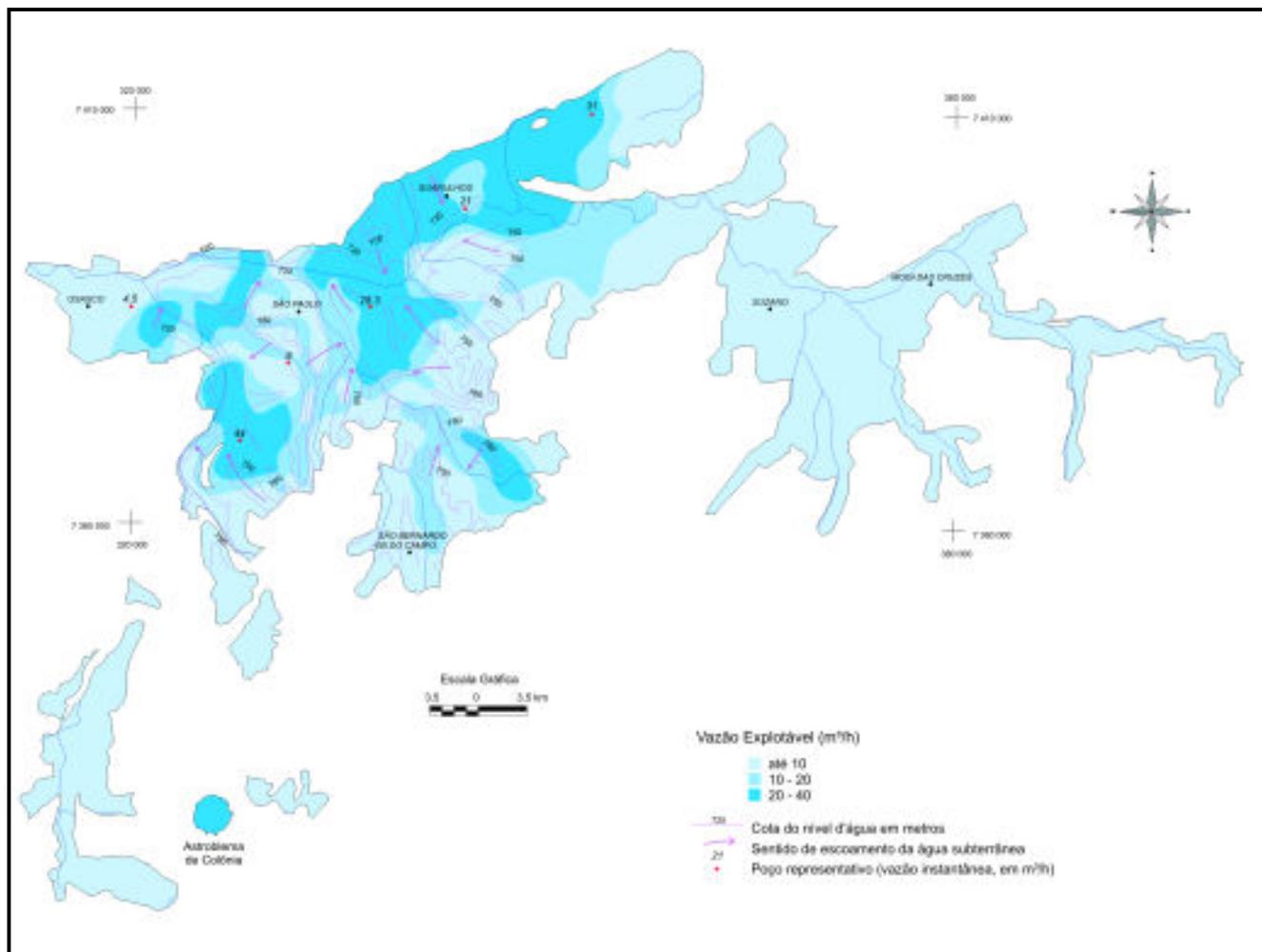
Neste trabalho foi considerado como Aqüífero São Paulo toda a seqüência sedimentar. A avaliação da potencialidade para o aproveitamento das águas subterrâneas foi realizada a partir da análise de um conjunto de poços selecionados do cadastro do DAEE. Este conjunto contém 172 poços com dados confiáveis e distribuição que se concentra, e melhor representa, a porção central do município de São Paulo e parte do município de Guarulhos.

A elaboração do mapa de faixas de vazão explorável, consistiu nos seguintes passos:

- organização da base de poços que captam exclusivamente o aqüífero de interesse;
- confecção do mapa de superfície potenciométrica (modificado de DAEE 1975);

- c. confecção do mapa de contorno estrutural do topo do embasamento pré-Cambriano (modificado de TAKIYA *et al.* 1989);
- d. elaboração do mapa de espessura saturada a partir destes dois últimos mapas;
- e. zoneamento da capacidade específica dos poços selecionados (os dados de transmissividade e coeficiente de armazenamento não foram suficientes para a regionalização); e
- f. zoneamento da vazão explorável do Aqüífero São Paulo, como resultado do produto da capacidade específica ($m^3/h/m$) pela espessura saturada (m). Este número corresponde a 50 % da espessura saturada, corrigido, de acordo com a equação de JACOB (1969 *apud* CUSTÓDIO & LLAMAS 1976), para aqüíferos livres (ver capítulo 2).

A interpretação final dos resultados conta com o apoio de informações bibliográficas e de vazões instantâneas dos poços existentes. Nas áreas com pouca ou nenhuma informação de poços as vazões foram estimadas com base no tipo de rocha e feições estruturais, de modo que, nas porções com predomínio da Formação Resende, foram adotadas vazões entre $10 m^3/h$ e $40 m^3/h$ e, nos locais com predomínio da Formação São Paulo, vazões de até $10 m^3/h$ (**Figura 3.21**). HIRATA & FERREIRA (2001) encontraram vazões médias de $15,2 m^3/h$ e $9,5 m^3/h$, respectivamente, para as formações Resende e São Paulo.



Fonte: Piezometria modificada de DAEE (1975).

Figura 3.21. Vazão explorável do Aqüífero São Paulo.

Avalia-se que o resultado obtido é representativo do potencial efetivo do aqüífero, quando comparado às vazões instantâneas conhecidas dos poços que o exploram. As áreas com maiores potenciais de vazão, como por exemplo, os bairros de Belém-Moóca, Zona Norte do município de São Paulo e a região do aeroporto de Cumbica, geralmente correspondem a locais de embaciamentos restritos, espessura saturada elevada e presença das areias basais pertencentes à Formação Resende, conforme também observado por HIRATA & FERREIRA (2001). Já em áreas com grande espessura saturada, mas com expressiva presença da Formação São Paulo, as vazões apresentam-se, em média, inferiores, como é o caso da região do espigão da Avenida Paulista.

Há outras áreas também importantes em termos de vazão, como a de Brooklin-Santo Amaro e o Astroblema de Colônia, feição circular distante 35 km ao sul do centro da cidade de São Paulo, isolada do principal núcleo sedimentar. Ali, o provável impacto de um corpo celeste, meteorito ou cometa, formou uma cratera, onde se estima uma espessura de mais de 400 m de sedimentos neocenozóicos, de relevo suave e drenagem endorrêica (RICCOMINI *et al.* 1992). Sob o ponto de vista hidrogeológico, apresenta vazões de poços existentes que superam 150 m³/h e níveis piezométricos muito acima da superfície do terreno (CAMPOS *et al.* 2002), denotando confinamento localizado, provavelmente refletindo recarga proveniente de áreas de maior altitude topográfica, já em terrenos cristalinos do entorno da cratera. No Mapa, corresponde à faixa de vazão explorável da ordem de 40 m³/h. Na área dessa estrutura não se recomenda a intensificação da exploração das águas subterrâneas.

Qualidade química natural das águas subterrâneas

Estudos realizados pelo DAEE (1975), com base em análises físico-químicas realizadas em cerca de 50 poços, mostram que as águas subterrâneas do Aqüífero São Paulo têm baixa salinidade. A maioria dos poços analisados apresentou teores de resíduo seco menores que 250 mg/L; dureza total abaixo de 65 mg/L de CaCO₃ e baixa concentração de cloretos (65 mg/L de Cl). Em todos os poços a concentração de sulfato foi menor que 80 mg/L de SO₄, com o pH variando entre 5,5 e 6,5.

As águas bicarbonatadas cálcicas são os tipos químicos predominantes segundo MATOS (2001 *apud* CAMPOS *et al.* 2002).

A qualidade natural das águas subterrâneas do Aqüífero São Paulo é, no geral, adequada ao consumo para os diversos tipos de uso ou atividades. As principais restrições referem-se à presença de fluoreto, ferro e manganês. Um número razoável de poços (25) apresentou fluoreto acima de 0,7 mg/L dos quais seis, no eixo Lapa - Jaguaré - Osasco, superiores a 1,6 mg/L. Cerca de 25 poços também excedem os padrões de 0,3 mg/L de ferro ou 0,05 mg/L de manganês, ou ambos. Já com relação às concentrações de boro, em torno de 0,03 mg/L, e de sódio (expresso pela Relação de Absorção de Sódio – SAR), na faixa de 5 a 15, indicam que estas águas se mostram adequadas para o uso agrícola.

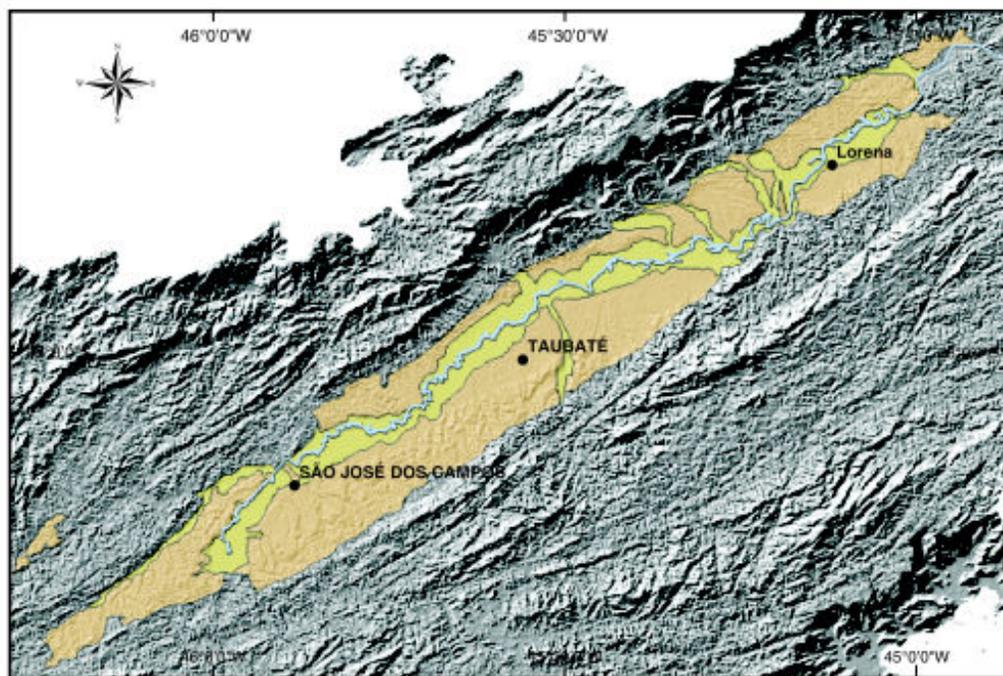
AQÜÍFERO TAUBATÉ

Malva A. Mancuso (IPT)
Marcelo D. Monteiro (IPT)

Caracterização Geral

O Aqüífero Taubaté está localizado no vale do rio Paraíba do Sul, na porção leste do Estado de São Paulo; é constituído por sedimentos da Bacia de Taubaté e apresenta forma alongada na direção ENE, com extensão de 168 km por 20 km de largura, ocupando uma área aproximada de 2340 km². A região é importante eixo econômico entre São Paulo e Rio de Janeiro, abrangendo cidades de médio a grande porte como São José dos Campos, Jacareí, Taubaté e Aparecida, com população urbana de 1,5 milhões de habitantes (IBGE 2002).

A Bacia de Taubaté é uma depressão engastada no embasamento de rochas pré-cambrianas (**Figura 3.22**). Nela ocorrem, predominantemente, colinas de topos convexos com altitudes predominantes de 600 a 700 m (ROSS & MOROZ 1997) e a planície fluvial do rio Paraíba do Sul.



LEGENDA

- Cidade
- Sedimentos terciários
- Sedimentos quaternários
- Embasamento Cristalino (Modelo de elevação do terreno)

0 10 20 km



Localização do Aqüífero Taubaté no Estado

Fonte: Geologia e delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.22. Localização do Aqüífero Taubaté.

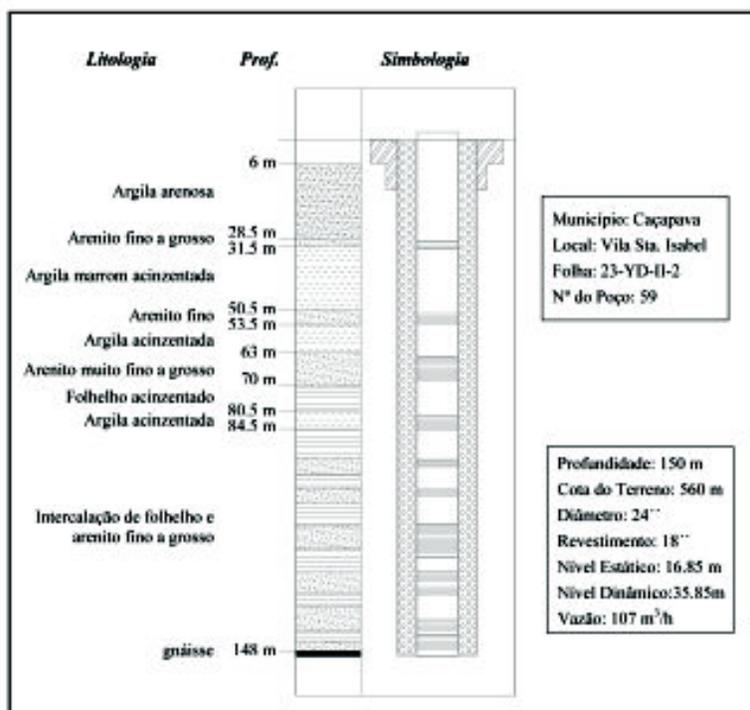
Esta bacia representa uma das porções mais expressivas do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil, que se constitui de diversas depressões, onde se desenvolveram bacias sedimentares distribuídas ao longo de uma faixa alongada de direção ENE, localizada entre as cidades de Curitiba (PR) e Barra de São João (RJ) (RICCOMINI & COIMBRA 1992). Dentre as bacias, a de Taubaté destaca-se como a mais expressiva área de exposição de sedimentos terciários.

O Grupo Taubaté (Paleógeno) é subdividido nas formações Resende, Tremembé e São Paulo (RICCOMINI 1989). A Formação Resende contém arenitos, conglomerados, diamictitos e lamitos, depositados em sistema de leques aluviais associados a planícies aluviais de rios entrelaçados. A Formação Tremembé, situada na parte central da bacia, é constituída por depósitos de sistema lacustre do tipo *playa-lake*, que são argilitos, folhelhos, margas e calcários dolomíticos. A Formação São Paulo, presente na porção sudoeste da bacia, compreende arenitos, argilitos, siltitos e arenitos conglomeráticos, originários de um sistema fluvial meandrante.

Sobrepostos ao Grupo Taubaté ocorrem os sedimentos da Formação Pindamonhangaba (Mioceno), que correspondem a arenitos, conglomerados, argilitos e siltitos, depositados por um sistema fluvial meandrante bem desenvolvido, restrito à porção central da bacia (RICCOMINI 1989, MANCINI 1995). Os depósitos aluviais e coluviais quaternários, localizados nas calhas fluviais, planícies de inundação e terraços dos rios, sobre os sedimentos terciários, constituem os materiais mais jovens da bacia (SALVADOR 1994).

O Aqüífero Taubaté ocorre em duas áreas principais da bacia, uma situada na porção sudoeste e outra, na nordeste. Entre estas duas regiões existe um compartimento preenchido predominantemente por argilitos e folhelhos, pouco permeável e com características de aquíclode (DAEE 1977), onde se localizam as cidades de Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba.

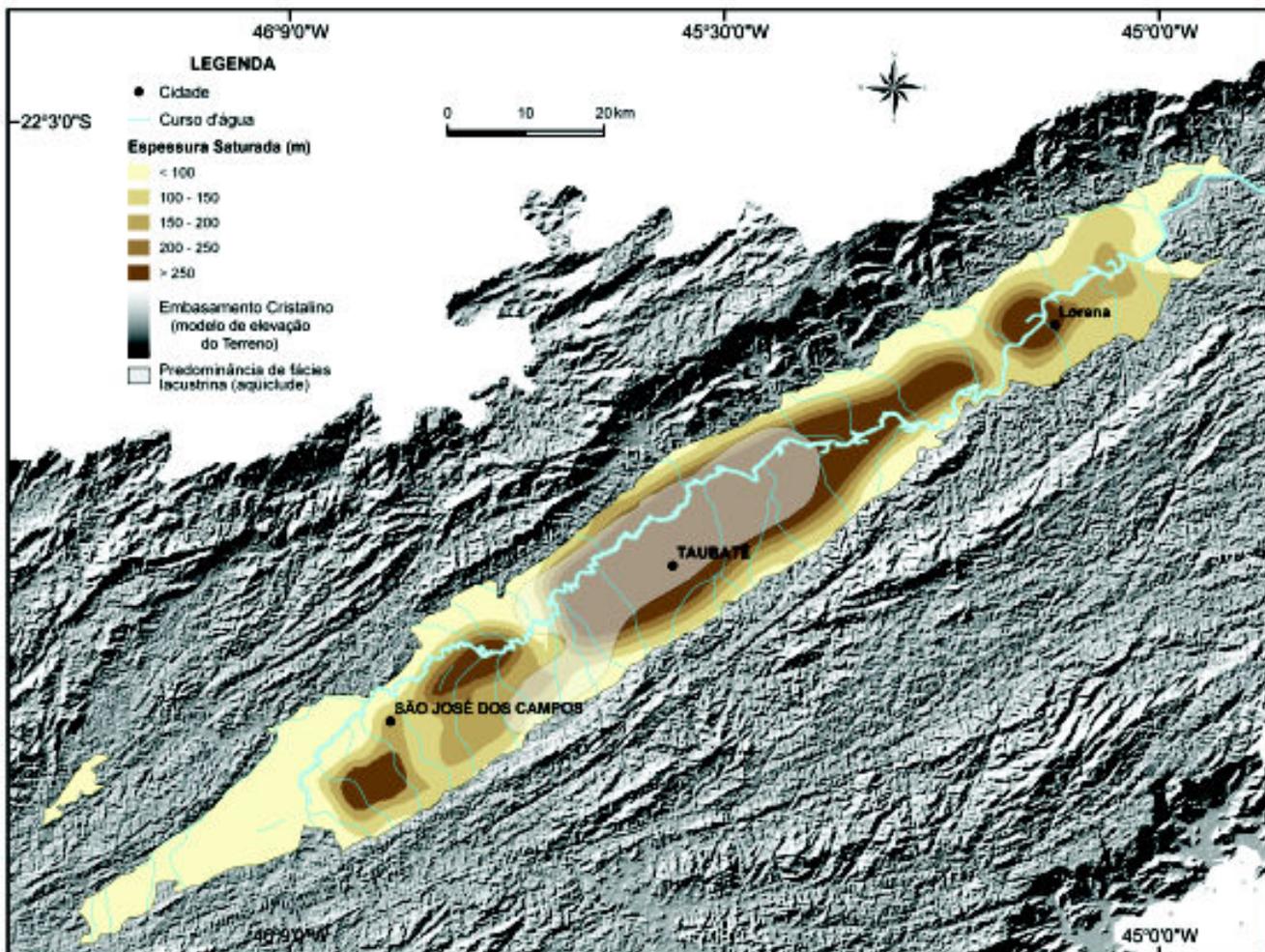
Como resultado de seus ambientes deposicionais, o aqüífero é do tipo multicamadas com alternância de camadas arenosas ou aquíferas, fácies fluvial, e argilosas ou confinantes, fácies lacustre ou planície de inundação (**Figura 3.23**) (DAEE 1977).



Fonte: DAEE (1977).

Figura 3.23. Perfil de poço representativo do Aqüífero Taubaté.

Na área central da bacia, a base do aqüífero encontra-se em cotas topográficas que variam de 100 a 250 m, destacando-se as sub-bacias de Eugênio de Melo, Tremembé e Lorena por apresentarem os menores valores (DAEE 1977). As cotas da base aumentam na direção dos limites da bacia, chegando a elevações de 550 m nas proximidades das áreas de afloramento de rochas pré-cambrianas. Na porção central da bacia ocorrem as maiores espessuras de sedimentos, diminuindo na direção das margens e também a noroeste. A espessura saturada do aqüífero varia de 200 a 300 m na área central da bacia. Nas proximidades de Lorena e ao norte de Potim foram inferidas espessuras superiores a 300 m, e acima de 400 m na região de Taubaté (Figura 3.24).



Fonte: Isolinas da base modificadas de DAEE (1977).

Figura 3.24. Base e espessura saturada do Aqüífero Taubaté.

O aqüífero ocorre, principalmente, de forma livre ou pouco confinada, observando-se poucas áreas sob pressão (DAEE 1977). As cotas potenciométricas variam de 600 m, nos limites da bacia, a 550 m nas proximidades do rio Paraíba do Sul, principal área de descarga natural das águas do aqüífero. Cotas inferiores a 500 m podem ser observadas no extremo nordeste da área, na região de Lorena e Cachoeira Paulista.

Potencialidade

No Mapa encontram-se assinalados quatro poços que têm perfil representativo do aqüífero. Os mesmos estão localizados fora da área caracterizada como aquícluíde, dois a sudoeste,

nos municípios de São José dos Campos e Caçapava, e outros dois na porção nordeste da bacia, nos municípios de Guaratinguetá e Canas.

A interpretação de ensaios de bombeamento, realizados em 28 poços, indica que a condutividade hidráulica (K) do aqüífero varia de 0,01 a 4,66 m/d, com valores superiores a 1,00 m/d na região de Lorena e acima de 3,00 m/d no eixo das cidades de Jacareí, São José dos Campos e Caçapava. Os valores de transmissividade (T) foram obtidos a partir da interpolação dos mapas temáticos de condutividade hidráulica e espessura saturada do aqüífero. As maiores transmissividades localizam-se no município de Lorena e no eixo Jacareí - São José dos Campos, onde atinge valores de até 650 m²/d. Nas proximidades de Caçapava foram observados valores da ordem de 260 m²/d, aumentando nas direções sul e sudoeste do município, dado este concordante com resultados obtidos por IRITANI (1998).

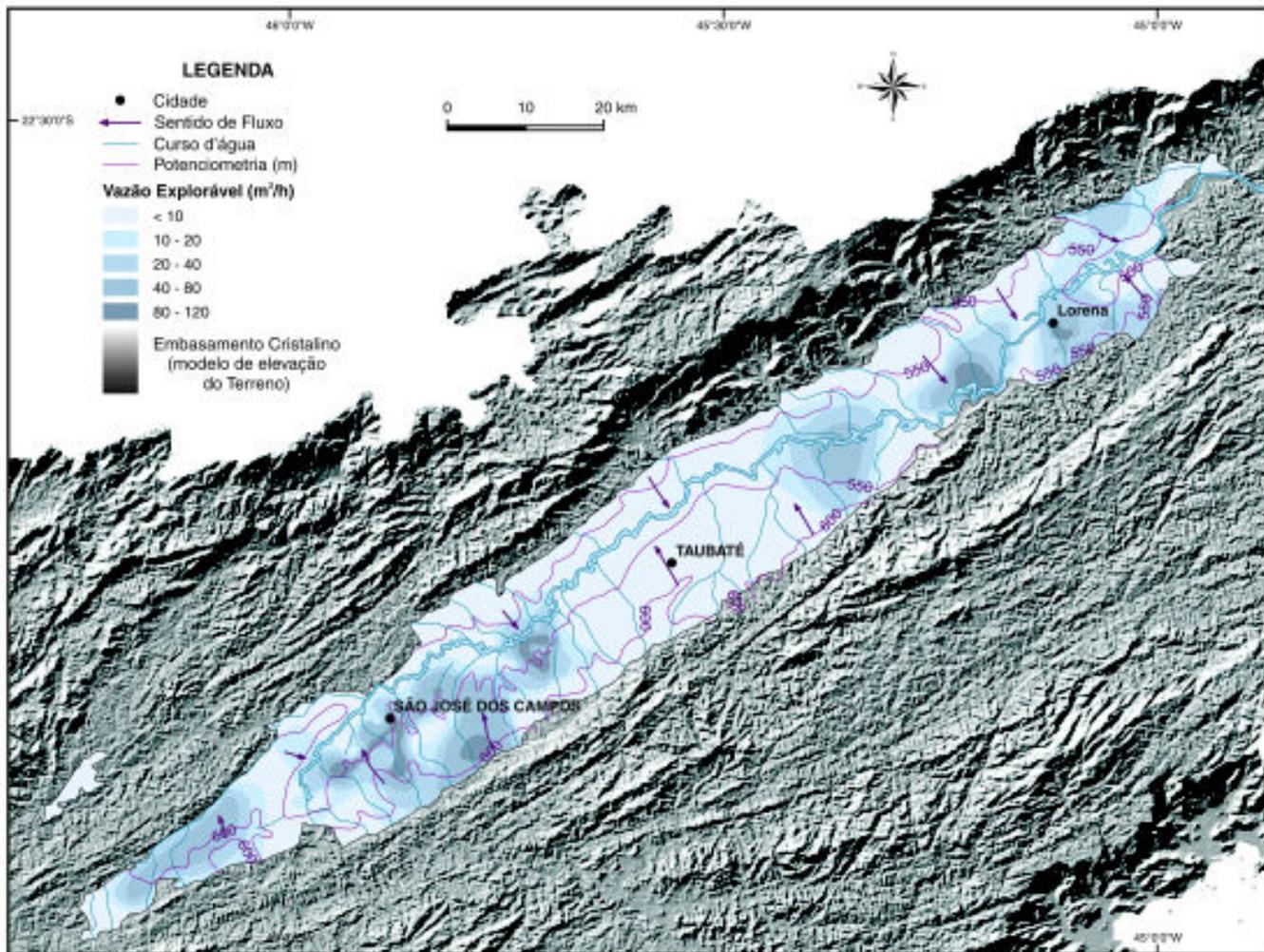
A capacidade específica (Q/s) do Aqüífero Taubaté, analisada em 240 poços, varia entre 0,02 e 14 m³/h/m, embora 73% dos poços apresentem valores inferiores a 3 m³/h/m. Os valores mais elevados observam-se nas imediações do município de São José dos Campos e a norte da cidade de Jacareí. Destacam-se, também, poços localizados nas cidades de Caçapava, Guaratinguetá e Lorena, com valores superiores a 5 m³/h/m.

O cálculo da vazão (Q) explorável seguiu o método descrito no capítulo 2, sendo considerado um período de 20 anos de bombeamento contínuo e rebaixamento máximo de 12% da espessura saturada, valores adaptados de COSTA (2000).

Os parâmetros utilizados no cálculo da vazão explorável foram primeiramente espacializados em mapas temáticos vetoriais, para posteriormente serem discretizados em raster. Neste sentido, foram inicialmente elaborados os seguintes mapas temáticos: transmissividade (dados pontuais), potenciometria (dados pontuais e curvas), base do aqüífero (dados pontuais e curvas) e coeficiente de armazenamento (valor por área). Estes dados vetoriais foram então reproduzidos em raster e, mediante a utilização do método de interpolação TOPOGRID (WAHBA 1990) do software ArcInfo (ESRI 1997), discretizados em células com 1 km de lado. O procedimento permitiu a utilização do módulo de "Função da Análise Espacial" do software ArcView (ESRI 2002) para a aplicação da equação utilizada no cálculo de vazão, que resultou no zoneamento das vazões exploráveis do Aqüífero Taubaté.

O coeficiente de armazenamento (S) foi definido com base na geometria e distribuição espacial das formações, tendo como base o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (PERROTTA *et al.* 2005). Assim, foram adotados os seguintes valores para o parâmetro: 0,1 para os depósitos aluvionares, 0,0022 para a Formação Pindamonhangaba, 0,02 para a Formação Tremembé, 0,06 para a Formação São Paulo e 0,06 para a Formação Resende (DAEE 1977).

De acordo com os resultados obtidos, as regiões do eixo Jacareí - São José dos Campos, de Caçapava, de Lorena e de Guaratinguetá são consideradas as mais promissoras para exploração de água subterrânea, com vazões entre 80 e 120 m³/h, enquanto a região central da bacia, entre os municípios de Taubaté e Pindamonhangaba, apresenta características menos favoráveis, com vazões inferiores a 10 m³/h (**Figura 3.25**). Vazões entre 40 e 80 m³/h, observadas no sudoeste da bacia, nas proximidades de Roseira, resultam, principalmente, do aumento da espessura saturada do aqüífero nesta região.



Fonte: Potenciometria elaborada a partir da Base de poços, CAMPOS, J.E. (inédito) e IBGE (2001).

Figura 3.25. Vazão explorável do Aquífero Taubaté.

Qualidade química natural das águas subterrâneas

Estudos realizados pelo DAEE (1977) indicam que as águas subterrâneas do Aquífero Taubaté apresentam baixo teor de sais dissolvidos, nitratos, fluoretos, cloretos e sulfatos, e elevada concentração de sílica, assim como de cálcio e sódio em relação ao magnésio. As águas apresentam temperaturas médias entre 22°C e 24°C, atingindo excepcionalmente extremos de 19°C e 49°C.

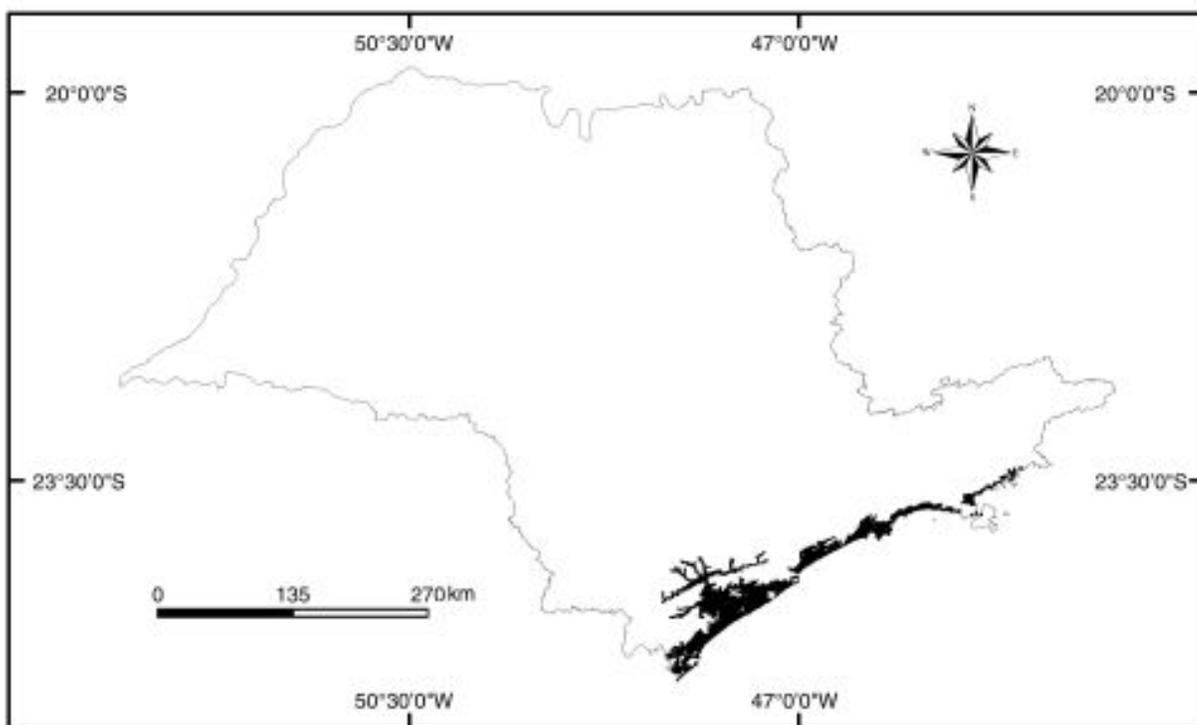
Segundo SZIKSZAY (1980), o pH das águas subterrâneas varia de 4,5 a 8,5, enquanto os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) mostram média de 170 mg/L, com valor mínimo de 19 mg/L e máximo de 1272 mg/L (VIDAL & CHANG 2004). VIDAL & CHANG (2002) caracterizaram as águas como bicarbonatadas cálcicas, quando associadas aos sedimentos fluviais, e bicarbonatadas sódicas, quando associadas a sedimentos lacustres. Segundo CAMPOS (1993), 20% das águas são bicarbonatadas cálcicas e 42%, bicarbonatadas sódicas. O mesmo autor observou, na Bacia de Taubaté, a presença de anomalias hidroquímicas, com valores pontuais excessivos de fluoreto, sulfato e cloretos.

AQÜÍFERO LITORÂNEO

Armando Takahashi (CPRM)

Caracterização geral

O Aqüífero Litorâneo distribui-se irregularmente ao longo da costa, segmentado pelas rochas do embasamento pré-Cambriano, desde a região de Cananéia, a sul, até a região de Caraguatatuba e Ubatuba, a norte. É constituído por depósitos sedimentares da Planície Litorânea, a qual chega a 70 km de largura, nas grandes planícies do vale do rio Ribeira de Iguape, reduzindo-se a partir de Itanhaém, Santos e Bertioga, em direção ao norte, onde pequenos bolsões isolados, de 300 m de extensão são mais característicos (**Figura 3.26**).



Fonte: Delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.26. Aqüífero Litorâneo.

A planície litorânea é caracterizada por baixas altitudes que variam de 0 a 20 m. Os depósitos destas planícies, de acordo com SUGUIO & MARTIN (1978), correspondem a:

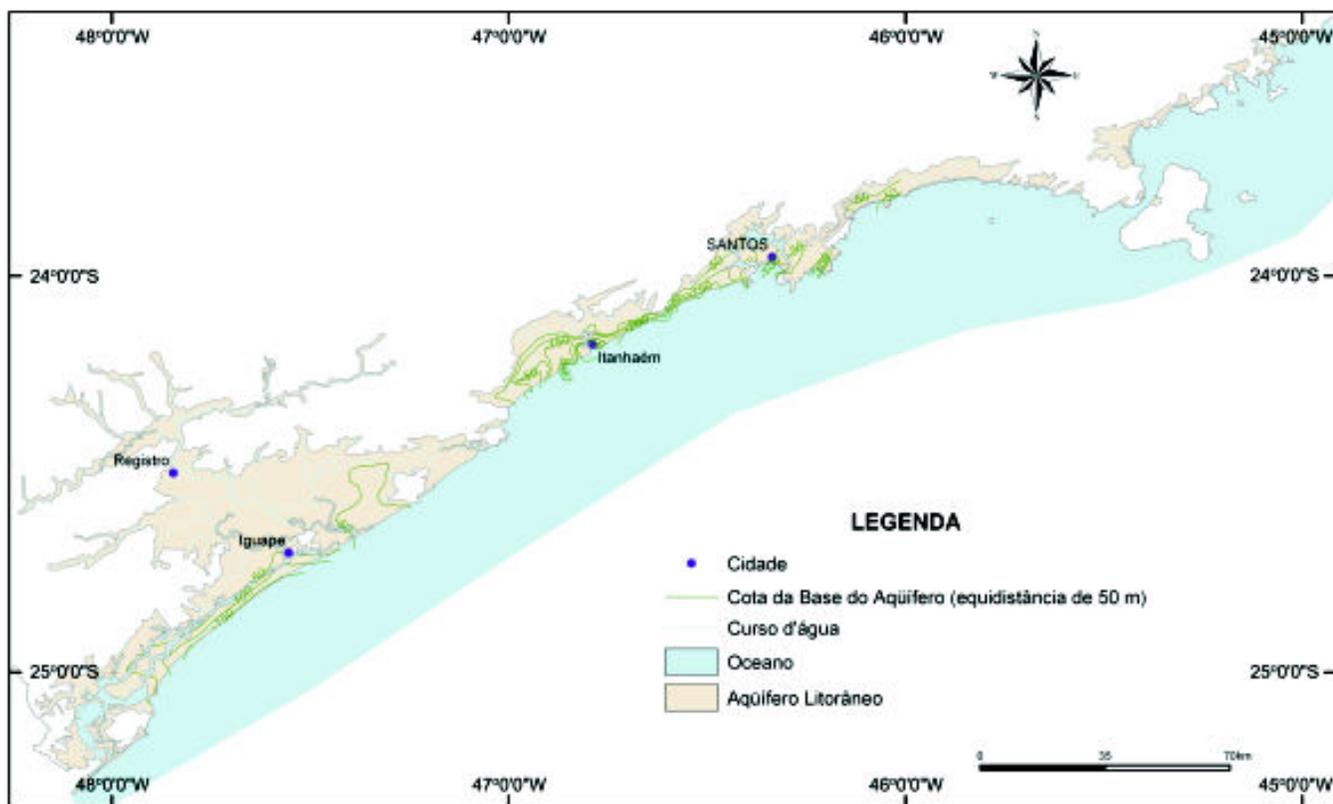
1. Formação Pariquera Açu (Mioceno), que aflora apenas nas planícies do rio Ribeira de Iguape e é constituída de arenitos, siltitos e conglomerados depositados em ambiente fluvial;
2. Formação Cananéia (Pleistoceno), de origem marinha e constituída por areias que podem conter camadas de argila;
3. Depósitos continentais indiferenciados (Quaternário) constituídos de areias e argilas; e
4. Depósitos que compreendem areias litorâneas e areias e argilas de mangue, pântano, fluvio-lagunares e de baías (Holoceno).

As espessuras dos pacotes variam desde poucos metros até mais de 167 m, sem atingir o embasamento pré-Cambriano, como em Ilha Comprida (DAEE 1979a).

O Aqüífero Litorâneo é de porosidade granular, livre, de extensão limitada e transmissividade média a elevada. As camadas de areia, entre as camadas argilosas e siltosas, formam aqüíferos lenticulares, e cada subdivisão da Planície Litorânea tem regimes hidrológicos independentes. A influência oceânica é marcada pela presença de canais de maré e braços de mar que causam intrusão de águas salobras ou da própria cunha salina nos aqüíferos (DAEE 1979).

Potencialidade

A elaboração dos mapas de contorno estrutural do topo do embasamento pré-Cambriano (Figura 3.27), espessura saturada (Figura 3.28) e superfície potenciométrica, neste estudo, baseou-se em informações apresentadas em DAEE (1979a) e em dados de 60 poços selecionados, provenientes de cadastro do DAEE.



Fonte: Isolinhas do embasamento modificadas de DAEE (1979a) a partir da Base de poços.

Figura 3.27. Contorno do topo do embasamento do Aqüífero Litorâneo.

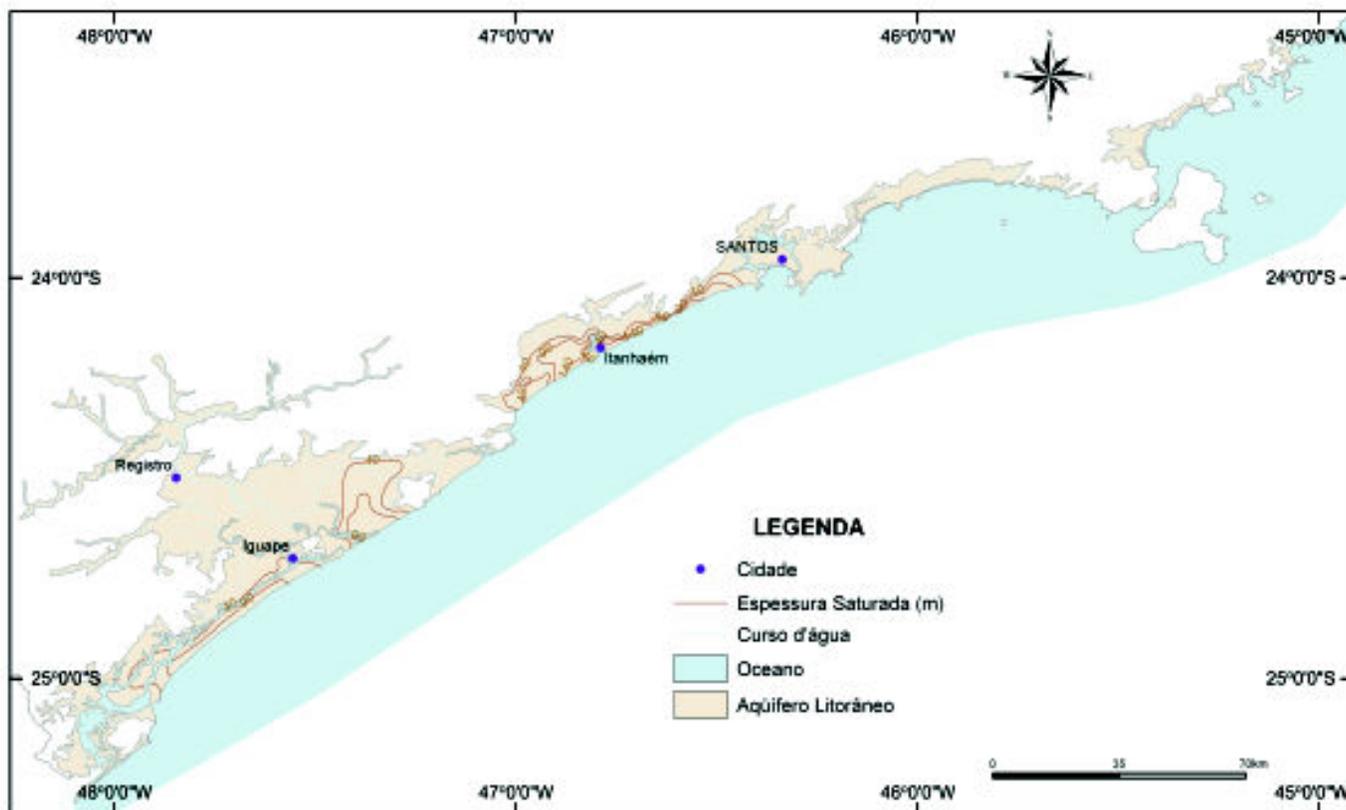


Figura 3.28. Espessura saturada do Aquífero Litorâneo.

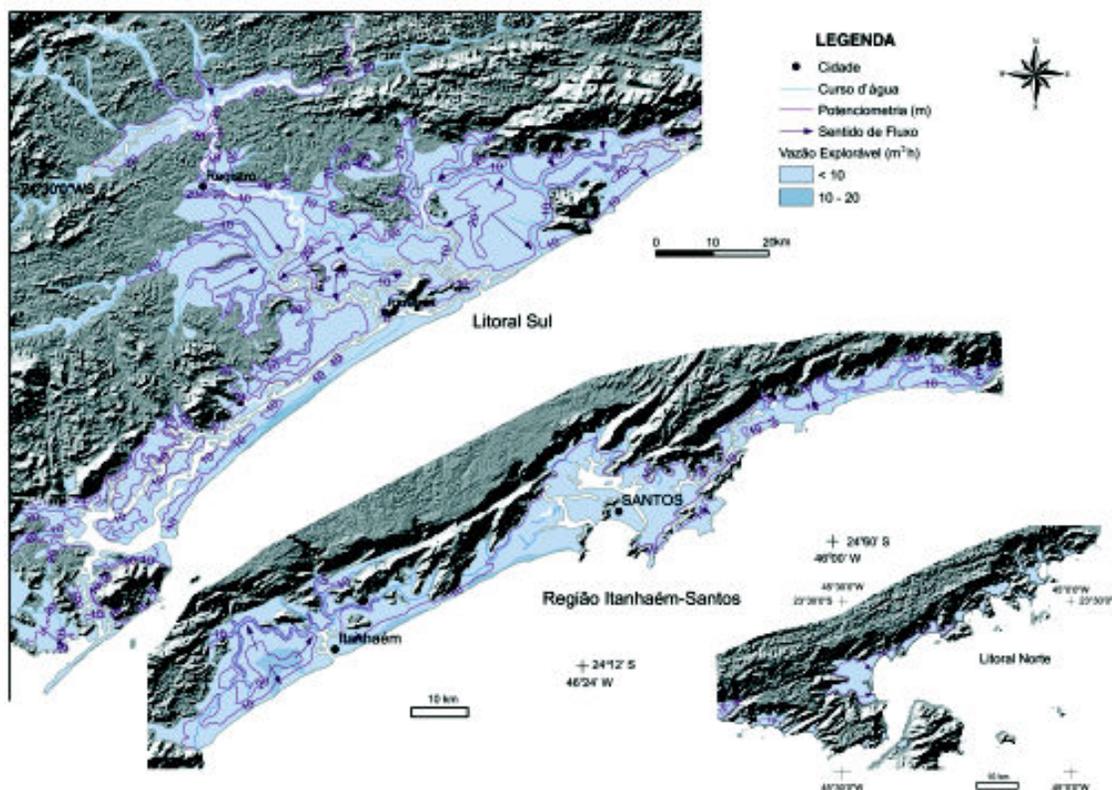
Em linhas gerais o contorno do embasamento do aquífero exibe cotas de 50 m abaixo do nível do mar. Estas cotas diminuem em direção à linha costeira, atingindo valores de até 200 m abaixo do nível do mar. As isópacas apresentam comportamento semelhante, sendo observadas maiores espessuras próximo à linha da costa.

A superfície potenciométrica (Figura 3.29), elaborada a partir dos dados de nível estático de poços e com o auxílio de modelo digital do terreno, exibe cotas entre 0 e 20 m e os valores mais elevados situam-se nas proximidades do embasamento pré-Cambriano. As linhas de fluxo indicam sentidos de escoamento da água predominantemente para o oceano, a não ser quando interceptadas por grandes drenagens, como é o caso dos rios Ribeira de Iguape, Una, Preto, Itapanhaú e outros.

A produtividade do Aquífero Litorâneo é relativamente baixa; as vazões médias dos poços, segundo DAEE (1979a), são da ordem de 13 m³/h, com capacidades específicas entre 0,8 e 1 m³/h/m. A mediana da capacidade específica dos 60 poços selecionados é de 0,27 m³/h/m, sendo o menor valor de 0,01 e o maior de 3,32 m³/h/m. Existe uma concentração maior de poços na região de Santos e de Iguape, com predominância de valores menores que 0,47 m³/h/m, raramente atingindo valores maiores que 2,0 m³/h/m.

A vazão explorável foi obtida a partir do produto da mediana da capacidade específica pelo valor de 50% da espessura média saturada. Considerou-se um período de 20 anos de bombeamento contínuo.

Foram obtidas duas faixas de vazão explorável: (Figura 3.29) menor que 10 e de 10 a 20 m³/h. A segunda faixa é de ocorrência mais restrita e está localizada entre as cidades de Peruíbe e São Vicente. Nas áreas onde a menor faixa de vazão ocorre, 68% dos poços apresentam vazões compatíveis com o intervalo e, para o restante, os valores são maiores que 10 m³/h.



Fonte: Potenciometria elaborada a partir da Base de poços e IBGE (2001). Vazão explorável calculada neste trabalho.

Figura 3.29. Vazão explorável do Aqüífero Litorâneo.

Neste estudo foi desconsiderada a influência da cunha salina, que pode afetar a qualidade das águas extraídas. Sob condições normais as águas subterrâneas escoam em direção ao mar, ocorrendo equilíbrio hidrodinâmico entre a água doce e a água salgada, representado pela interface denominada "cunha salina". Para a exploração das águas subterrâneas do Aqüífero Litorâneo, devem ser considerados, também, a distância da linha da costa, a profundidade da captação, o rebaixamento do nível d'água e as taxas de vazões extraídas, de modo a evitar ou minimizar a influência da cunha salina.

Qualidade química natural das águas subterrâneas

A temperatura das águas do Aqüífero Litorâneo varia de 23,5 a 27,0°C e pH de 6,90 a 8,14. Apresentam teores salinos na faixa de 150 a 200 mg/L e os tipos químicos predominantes são bicarbonatadas sódicas e, secundariamente, cloretadas cálcicas (DAEE 1979a, CAMPOS 1993).

O ferro total é o elemento químico mais restritivo, apresentando média de 1,39 mg/L. No entanto, este problema pode ser facilmente corrigido por técnicas simples de aeração (DAEE 1979a). A maioria dos poços apresenta salinidade abaixo do padrão de 1.000 mg/L, sendo maior na região de Santos-Cubatão, onde o cloreto está acima de 250 mg/L, o que indica contaminação pela cunha salina.

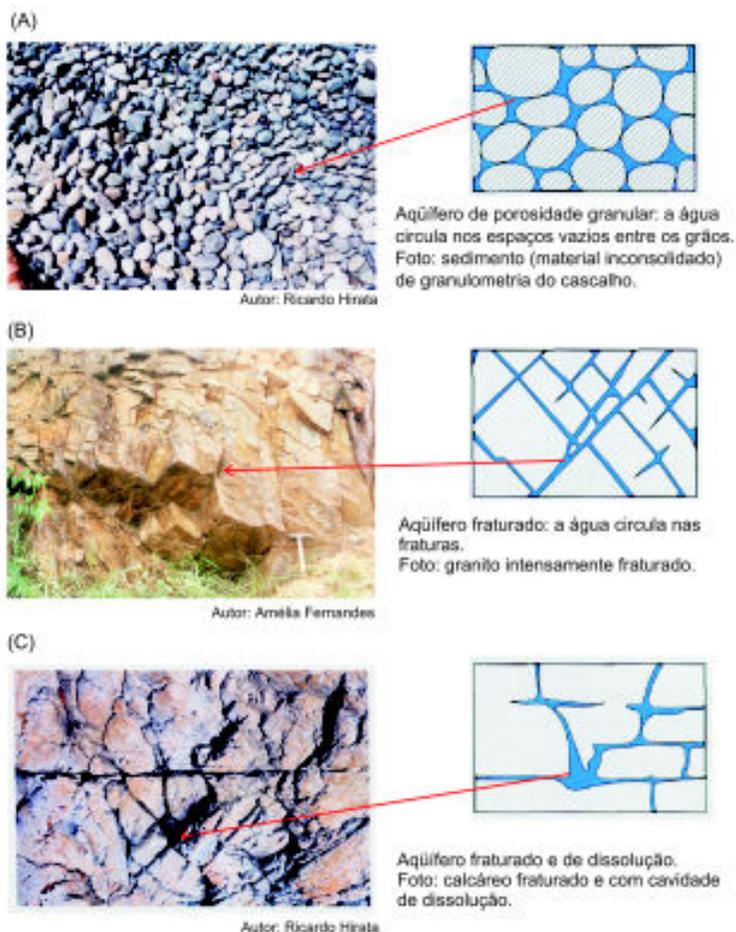
AQÜÍFEROS FRATURADOS

Amélia J. Fernandes (IG)
 Mônica M. Perrotta (CPRM)
 Elizete D. Salvador (CPRM)
 Sérgio G. Azevedo (IPT)
 Antonio Gimenez Filho (IPT)
 Fausto L. Stefani (IPT)
 Nivaldo Paulon (IPT)

Este item trata da caracterização dos aqüíferos fraturados presentes no Estado de São Paulo, bem como do método utilizado na avaliação de sua produtividade, que resultou na definição dos intervalos de vazão apresentados no Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.

Conceitos

Em aqüíferos granulares, formados por sedimentos (materiais soltos, friáveis ou inconsolidados) ou rocha sedimentar (sedimento endurecido ou consolidado), a água circula predominantemente pelos espaços existentes entre os grãos que constituem tais materiais. Os aqüíferos fraturados, por outro lado, são constituídos de rochas cristalinas, ígneas ou metamórficas, que são compactas e não apresentam espaços vazios entre os minerais que as constituem. Por este motivo, a água circula ao longo dos espaços vazios gerados por fraturas. Estas fraturas são quebras, muitas vezes planas ou retilíneas, que se formam após a rocha já ter sido resfriada e consolidada. Desta forma, os aqüíferos granulares apresentam porosidade e permeabilidade primárias geradas concomitantemente à deposição do material, e os aqüíferos fraturados apresentam porosidade e permeabilidade secundárias, desenvolvidas após a consolidação (cristalização) da rocha (**Figura 3.30**). Outros tipos de porosidade estão



Fonte: ENVIRONMENT CANADA (1993).

Figura 3.30. Exemplos de porosidade em aqüífero granular (A) e em aqüíferos fraturados (B e C).

presentes em calcários, mármore e basaltos. Os calcários e mármore são compostos por minerais carbonáticos, os quais sofrem dissolução lenta devido à percolação da água da chuva. Isto promove alargamento das fraturas presentes e pode levar à formação de cavernas. Nos basaltos, que têm origem por extravasamento de lava em superfície, desenvolvem-se cavidades na base e topo de derrames devido ao aprisionamento de bolhas de gás durante sua solidificação.

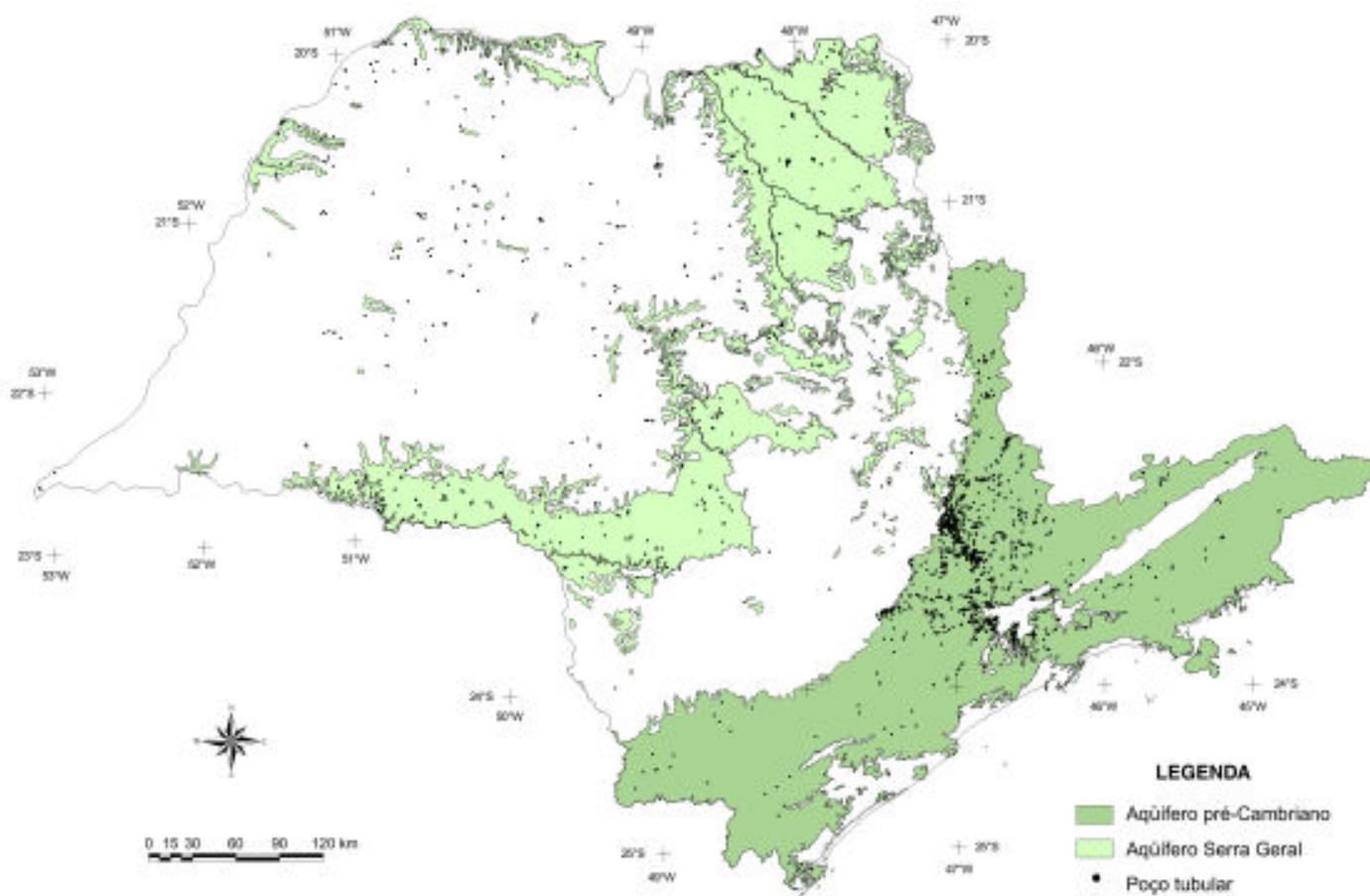
Próximo à superfície, as rochas cristalinas apresentam perfil de alteração, cuja espessura varia de menos de um metro a até dezenas de metros. Este perfil é composto por uma camada mais superficial, constituída pelos horizontes "A" e "B" do solo, onde não é possível reconhecer a rocha original; e uma mais profunda, horizonte "C" ou saprolito, onde as estruturas e a composição mineralógica da rocha são parcialmente reconhecidas. O perfil como um todo é denominado de manto inconsolidado e se comporta principalmente como meio de porosidade granular. Propriedades rurais, com necessidade de pequenas vazões, muitas vezes exploram o manto inconsolidado, por meio de poços escavados (cacimbas).

Caracterização geral

No Estado de São Paulo ocorrem quatro tipos de aqüíferos fraturados. O primeiro é constituído por rochas pré-cambrianas (mais antigas que 542 milhões de anos), que correspondem a rochas metamórficas (gnaiesses, xistos, quartzitos, entre outras) e rochas ígneas (granitos maciços e foliados). Este aqüífero é denominado de Pré-Cambriano (p \in) e aflora na porção leste do Estado de São Paulo. Localmente ocorrem rochas intrusivas mais jovens (do início do Fanerozóico ou do Cretáceo) que apresentam comportamento hidráulico similar às rochas pré-cambrianas. O potencial de produção de águas subterrâneas do Aqüífero Pré-Cambriano é, de modo geral, mais baixo que o dos aqüíferos granulares, no entanto, é de grande importância para o abastecimento local de, por exemplo, indústrias, propriedades rurais e condomínios. É importante lembrar que grandes centros urbanos, como a Grande São Paulo e as regiões metropolitanas de Campinas e Sorocaba, encontram-se atualmente em franca expansão sobre este aqüífero.

O segundo tipo de aqüífero fraturado, denominado Pré-Cambriano Cárstico (p \in c), também de idade pré-cambriana, consiste de mármore e metacalcários que afloram principalmente no sul do Estado. Seu alto potencial de produção está associado a feições de dissolução. Os aqüíferos constituídos por rochas pré-cambrianas (p \in e p \in c) são apresentados como uma única unidade na **Figura 3.31**.

O terceiro tipo de aqüífero fraturado, denominado Aqüífero Serra Geral (Ksg), corresponde a basaltos da Formação Serra Geral. São rochas mais jovens, originadas a partir de intensa atividade vulcânica no Eocretáceo (entre 138 e 127 milhões de anos atrás - TURNER *et al.* 1994, STEWART *et al.* 1996), que ocorrem em faixa irregular na porção central do Estado (**Figura 3.31**). Sobre os basaltos da Formação Serra Geral estão instalados importantes centros econômicos do interior do Estado, tais como Ribeirão Preto e São Carlos. Este aqüífero sobrepõe-se ao Guarani e é recoberto pelo Bauru, apresentando potencial de produção significativo e muito maior que o do Aqüífero Pré-Cambriano, como será apresentado adiante.



Fonte: Delimitação do aqüífero com base no mapa geológico do Estado de São Paulo - CPRM/ SGB (PERROTTA *et al.* 2005).

Figura 3.31. Localização das áreas de afloramento (aparecimento da rocha em superfície) dos aqüíferos fraturados no Estado de São Paulo e distribuição dos poços que exploram os aqüíferos pε, pεc e Ksg.

Finalmente, o quarto tipo de aqüífero, denominado Aqüífero Diabásio (Ksgd) constitui-se de corpos de diabásio, que ocorrem sob a forma de soleiras (corpos sub-horizontais) e diques (corpos subverticais), gerados a partir da acomodação e solidificação de magma, do mesmo evento da Formação Serra Geral, em profundidades variáveis e alojados em rochas mais antigas. Apresentam ocorrência restrita, mas de grande importância local, e podem ser identificados no Mapa como pequenas manchas em meio aos aqüíferos Tubarão e Guarani e Aqüicluda Passa Dois. A ocorrência dos basaltos e dos diabásios é ilustrada na **Figura 3.31**.

Diques ocorrem em grande quantidade no extremo sul do Estado, onde apresentam direção preferencial N40-50W (ALMEIDA 1964) e penetram as rochas pré-cambrianas. Seu comportamento hidráulico ainda não é bem conhecido, no entanto, sabe-se que podem atuar como barreira ou como condutos de circulação mais rápida de água subterrânea.

Como ilustrado na seção regional apresentada no Mapa, as rochas pré-cambrianas localizam-se na base de todos os outros aqüíferos do Estado. Os basaltos apresentam espessuras que variam desde poucos metros a até cerca de 300 m em sua área aflorante;

em subsuperfície chegam a alcançar espessuras superiores a 1500 m em Presidente Epitácio (ALMEIDA 1964), e atingem quase 2000 m na região do Pontal do Paranapanema (MILANI 2004), ambos no oeste paulista. A profundidade do topo dos basaltos pode ser deduzida a partir das cotas de profundidade da base do Aqüífero Bauru, ilustradas na **Figura 3.3**.

Neste trabalho, utilizou-se como base o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:750.000 da CPRM (PERROTTA *et al.* 2005), no qual descrições mais detalhadas das rochas que ocorrem no Estado são encontradas.

Estruturas

Quando se objetiva estimar o potencial hidrogeológico (ou de produção de água subterrânea) de aqüíferos fraturados, há a necessidade da caracterização das estruturas presentes nas rochas que constituem tais aqüíferos. Estas estruturas correspondem a superfícies freqüentemente planares que, na maioria das vezes, se formam como resposta a esforços (pressões) aos quais a rocha é submetida. Tais esforços são originados pela tectônica, ou movimentos de grande escala, da crosta terrestre.

Para as rochas pré-cambrianas (gnaisses, xistos, quartzitos, mármore, granitos, etc.) são dois os tipos principais de estruturas tectônicas:

- Foliações. Correspondem a superfícies definidas pelo arranjo planar de minerais ou pela intercalação de bandas (fatias) de composição distinta; são formadas em grandes profundidades sob temperaturas e pressões elevadas.
- Fraturas. Correspondem a superfícies muitas vezes planas formadas pela ruptura (quebra) da rocha. São chamadas genericamente de estruturas rúpteis e formam-se junto à superfície ou em pequenas profundidades e, portanto, sob temperaturas e pressões menores.

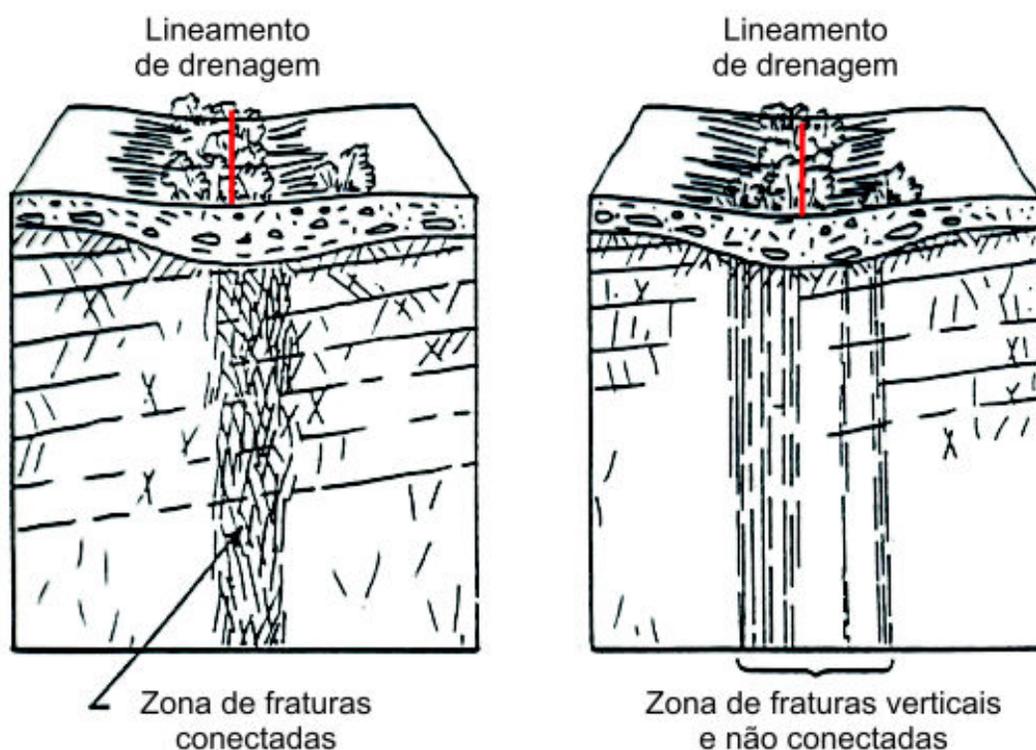
Destes dois tipos de estruturas, apenas as fraturas induzem a formação de espaços vazios ao longo dos quais a água subterrânea circula.

A posição espacial das estruturas presentes nas rochas é definida pela sua direção (orientação da horizontal do plano com relação ao norte) e seu mergulho (inclinação do plano com relação à horizontal). Para as foliações das rochas pré-cambrianas do Estado predomina a direção nordeste, com variações para norte-nordeste e leste-nordeste. Um tipo de foliação importante nestes terrenos é a milonítica, que ocorre ao longo de faixas alongadas e intensamente deformadas, que correspondem a zonas de falha desenvolvidas em profundidade. Tais faixas são chamadas de zonas de cisalhamento e algumas das principais, que também apresentam direção nordeste, são representadas no Mapa. Apesar de estruturalmente importantes, seu potencial hidrogeológico é normalmente baixo.

No caso dos basaltos do Aqüífero Serra Geral, além das fraturas tectônicas, outros tipos de descontinuidades, importantes para a circulação e armazenamento da água, são representados por fraturas de resfriamento que podem ser verticais (disjunções colunares) ou sub-horizontais.

Na superfície do terreno, as foliações e fraturas, quando com mergulhos acentuados, apresentam-se como traços retilíneos ou ligeiramente curvos, denominados lineamentos

(Figura 3.32). Estes são desenhados por feições morfológicas (drenagens, quebras de relevo, topos de morros), identificáveis em fotos aéreas, ou imagens de satélite de sensores ópticos ou de radar. Mapas de lineamentos são extremamente úteis para a caracterização das direções das principais estruturas presentes em uma dada área.



Fonte: PARIZEK (1987 apud PARIZEK & GOLD 1994).

Figura 3.32. Exemplo de lineamento formado por traço retilíneo de drenagem, associado a uma zona de fratura presente em subsuperfície. Notar que as zonas de fratura podem ser de vários tipos. Em áreas não planas, somente fraturas com mergulho igual ou maior que 50° aparecem na superfície como lineamentos.

Método de estudo da potencialidade

O objetivo principal do Mapa é representar áreas com potencialidades distintas de produção, dentro de cada aqüífero estudado. Para tanto, foi realizada uma avaliação que consistiu em verificar como a produtividade dos poços varia com relação a alguns fatores considerados significativos, enumerados no **Quadro 3.2** e discutidos mais adiante. A produção dos poços pode ser expressa por dois parâmetros: vazão e capacidade específica. A vazão corresponde ao volume de água retirado do poço (m^3) por unidade de tempo (hora) e é um valor que depende principalmente da bomba utilizada, da necessidade do usuário e do potencial do aqüífero. A capacidade específica corresponde à vazão retirada por metro rebaixado do nível d'água no poço ($m^3/h/m$), e indica mais diretamente o potencial do aqüífero, motivo pelo qual foi o parâmetro utilizado para a análise. Nos estudos do DAEE (1981, 1982) foi verificada boa correlação entre capacidade específica e transmissividade (obtida em testes de bombeamento) do aqüífero fraturado local.

O banco de dados de poços utilizado resultou da organização de informações provenientes do DAEE e, subordinadamente, do IG, e da seleção dos poços que apresentassem o valor da capacidade específica. Isto gerou três bases de dados: a dos aqüíferos pré-cambrianos, com 1202 poços; a do Aqüífero Ksg (basalto), com 285 poços, para a área aflorante da formação Serra Geral; e a do Aqüífero Ksgd (diabásio), com 49 poços. Na **Figura 3.31** observa-se que existe uma grande quantidade de poços situados fora da área de afloramento daquela formação, a maioria deles em área de ocorrência do Grupo Bauru, que explorariam apenas o aqüífero Ksg. Por existir a possibilidade de parte destes poços estarem sob influência ou explorarem o Aqüífero Bauru, estes dados não foram utilizados na análise aqui desenvolvida, no entanto, podem ser consultados tanto na base de dados da CPRM como do DAEE.

Materiais ou Dados	Fonte	Fator Analisado
Base de dados de poços	DAEE e subordinadamente IG – SMA	Capacidade específica (m ³ /h/m)
Mapa Geológico do Estado na escala 1:750.000	Perrotta et al. (2005)	Tipo de rocha e blocos geológicos
Carta geotécnica do Estado na escala 1:500.000	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado – IPT (1994)	Espessura de manto inconsolidado
Mapa de lineamentos	Elaborado neste projeto	Densidade e intersecção de lineamentos que, em geral, têm relação direta com a densidade e intersecção de fraturas

Quadro 3.2. Materiais e dados utilizados para a avaliação da potencialidade dos aqüíferos fraturados do Estado de São Paulo, com a citação da respectiva fonte e fator de análise extraído de cada material consultado.

Diversos são os fatores que exercem influência sobre a circulação e o armazenamento de água subterrânea em aqüíferos fraturados. Devido à escala de trabalho e aos dados disponíveis, considerou-se adequado analisar a variação da capacidade específica dos poços com relação aos seguintes fatores: tipo de rocha, blocos geológicos (ver **Quadro 3.3** para definição), espessura de manto inconsolidado e fraturas. Para tal utilizou-se o seguinte procedimento:

1. Divisão da área dos aqüíferos fraturados em classes segundo as subdivisões de cada fator considerado (**Quadro 3.3**);
2. Agrupamento dos poços conforme as classes mencionadas;
3. Avaliação do comportamento da produtividade de cada conjunto de poços através do cálculo da mediana (valor central) da capacidade específica e da construção de curvas de distribuição acumulada das capacidades específicas;
4. Comparação das curvas de distribuição acumulada para verificar a existência de diferenças significativas entre as classes.

Fator Analisado	Classe
Tipo de rocha	<ul style="list-style-type: none"> - Granito - Gnaisse, xisto grosso, quartzito (rochas metamórficas de alto grau) - Filito, xisto fino, metarenito (rochas metamórficas de baixo grau) - Rochas carbonáticas (calcário, mármore, marga) - Basalto - Diabásio
Espessura de material inconsolidado	<ul style="list-style-type: none"> - Espesso (> 30 m) - De espessura intermediária (entre 5 e 30 m) - Pouco espesso ou ausente (< 5 m)
Lineamentos (fraturas)	<p>Densidade de lineamentos por direção (em metros) por células quadradas de 5 km de lado</p> <ul style="list-style-type: none"> - < 4000 - entre 4000 e 8000 - entre 8000 e 12000 - entre 12000 e 16000 - > 16000 <p>Densidade de intersecção de lineamentos (combinações possíveis entre as diversas direções) em número de intersecções por km²:</p> <ul style="list-style-type: none"> - < 0,05 - entre 0,05 e 0,1 - entre 0,1 e 0,15 - entre 0,15 e 0,25 - > 0,25
Blocos geológicos	<p>Blocos definidos conforme os seguintes parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - padrão de deformação definido pelas direções predominantes de estruturas rúpteis. - agrupamento ou subdivisão das unidades geológicas presentes no Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Este fator foi inicialmente avaliado na porção onde existe uma maior quantidade de poços.

Quadro 3.3. Fatores considerados na avaliação da variação da produção dos poços e subdivisão destes fatores em classes.

Potencialidade

Neste item são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da variação da capacidade específica dos poços com relação aos fatores apresentados no **Quadro 3.3**.

Com relação ao fator *tipo de rocha*, as curvas de distribuição acumulada de capacidade específica dos diabásios, gnaisses e rochas metamórficas de baixo grau (**Figura 3.33**) sobrepõem-se ou aproximam-se, indicando comportamento hidráulico semelhante para estes grupos de rochas. Os granitos apresentam produção menor, como evidenciado pela sua curva e mediana de 0,06 m³/h/m, quando comparados aos gnaisses com mediana de 0,09, no entanto, diferenças de produção ficam melhor caracterizadas com relação aos blocos geológicos, como será descrito adiante. Já os basaltos e as rochas carbonáticas apresentam comportamento semelhante entre si, com valores de capacidade específica mais elevados, evidenciando potencial de produção superior aos demais tipos de rocha. Este potencial mais elevado é explicado por feições que aumentam tanto a permeabilidade como a capacidade de armazenamento de água subterrânea nestas rochas. Tais feições são: 1) cavidades de dissolução nas rochas carbonáticas; e 2) vesículas, disjunções colunares e fraturas sub-horizontais nos basaltos.

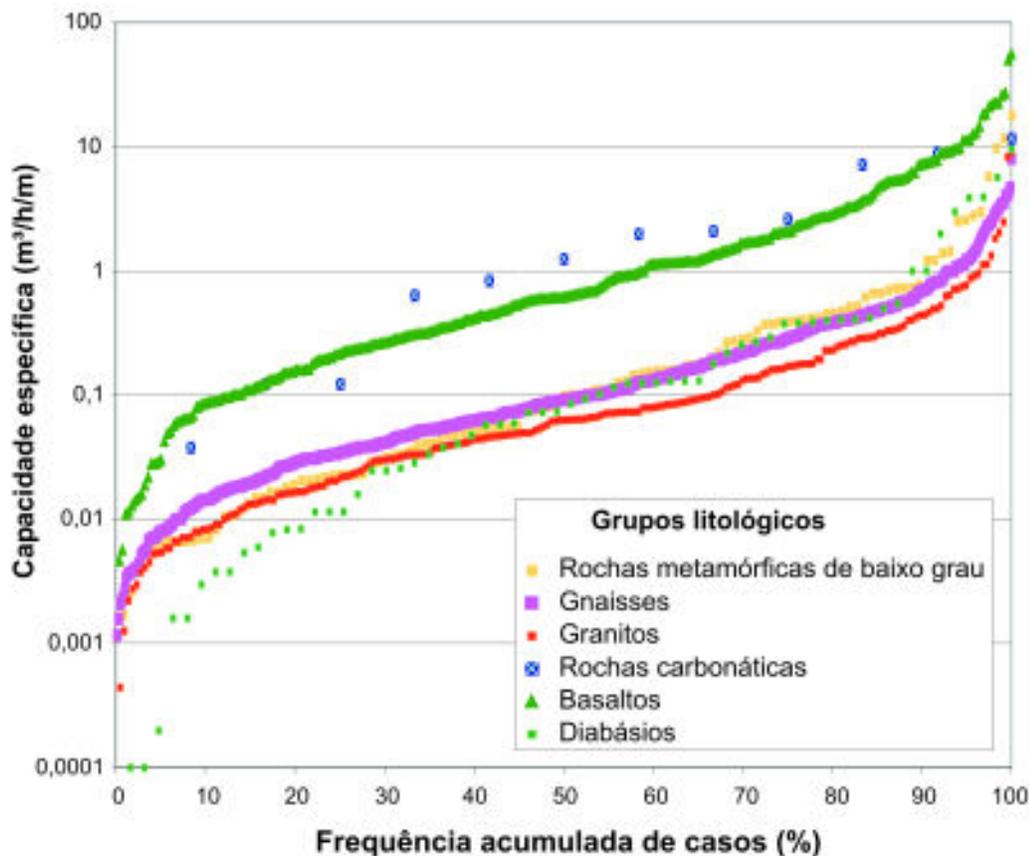


Figura 3.33. Curvas de distribuição acumulada obtidas para as várias classes de litologias que constituem os aqüíferos fraturados do Estado de São Paulo.

A *espessura de manto inconsolidado* foi analisada somente para as rochas pré-cambrianas do Estado e, nesta escala de análise, as curvas de distribuição acumulada de capacidade específica (**Figura 3.34**) mostram que este fator não exerce influência significativa sobre a variação da produção de poços. Nota-se que as curvas dos poços localizados em áreas de classe *manto espesso* e dos poços na classe *manto de espessura intermediária* praticamente se sobrepõem. Com relação à classe *manto pouco espesso ou ausente*, os resultados não são conclusivos devido à pequena quantidade de poços localizados nestas áreas.

Com o objetivo de avaliar o fator *fraturas*, que são os caminhos preferenciais de circulação e armazenamento de água em aqüíferos fraturados, foi elaborado um mapa de lineamentos. Estas feições foram traçadas sobre imagens LANDSAT TM-5, cenas 219-76, 219-77, 218-76, 219-75 e 220-77 (aqüíferos pré-cambrianos, p \in e p \in c) e sobre modelo digital de elevação (MDE) produzido na Missão Topográfica por Radar Interferométrico (Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM) (para os aqüíferos Serra Geral, Ksg, e pré-cambrianos). Este tipo de análise é utilizado em escalas regionais onde há necessidade de avaliação de grandes áreas e onde trabalhos de campo são poucos ou inexistentes. Neste caso, além do mapa de lineamentos, trabalhos anteriores são importantes fontes de informação sobre as características das fraturas presentes nas regiões sob análise.

Existem, em São Paulo, exemplos anteriores deste tipo de avaliação, tais como FERNANDES (1997), FERNANDES & RUDOLPH (2001), PERROTTA & SALVADOR (2002), TAKAHASHI *et al.* (2003) e MADRUCCI (2004). No Estado de São Paulo, vários outros trabalhos investigaram

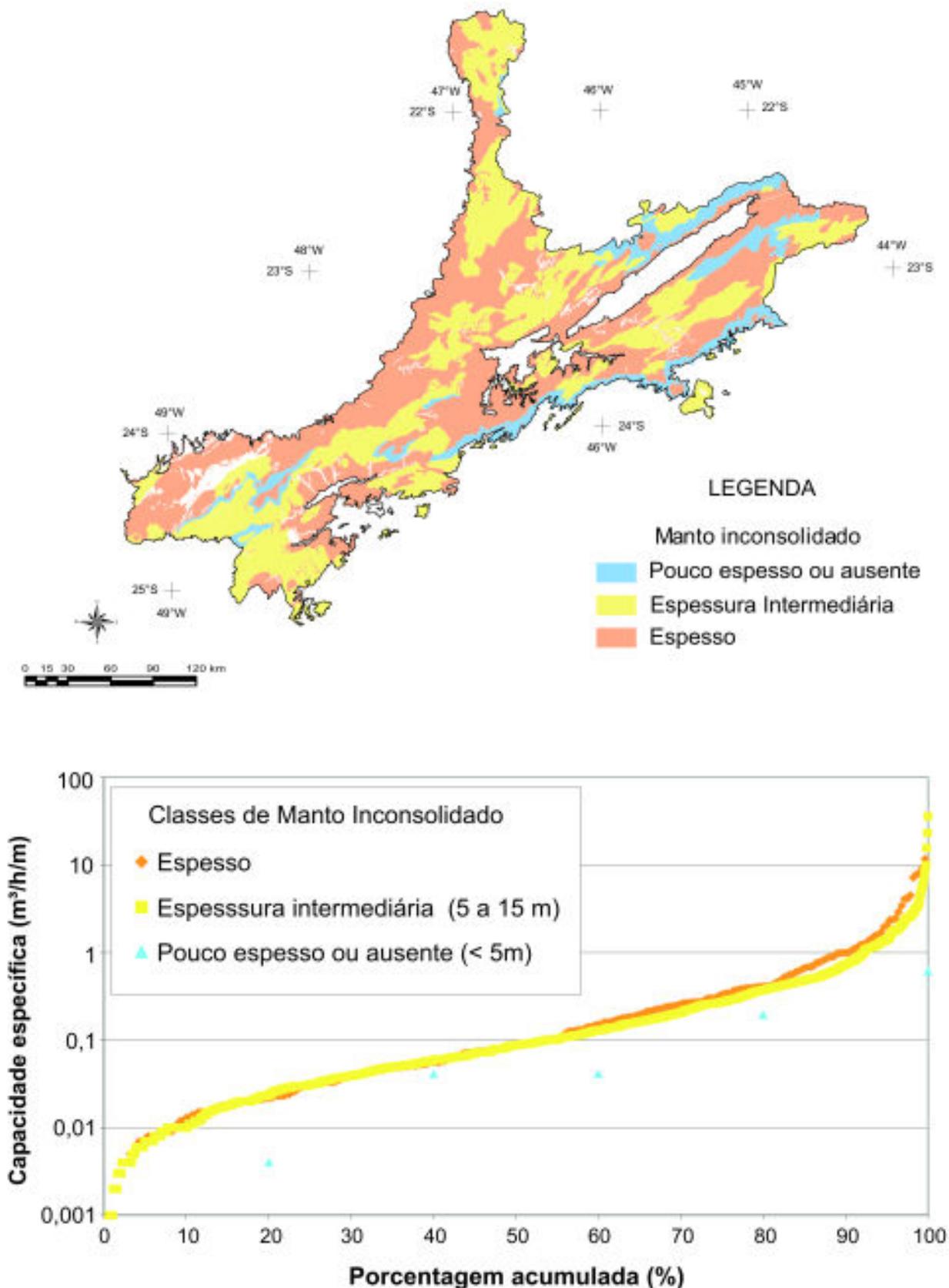


Figura 3.34. Curvas de distribuição acumulada obtidas para as várias classes de espessura de manto inconsolidado que ocorrem sobre os aqüíferos fraturados do Estado de São Paulo e mapa de distribuição destas classes em área de rochas pré-cambrianas.

a influência das estruturas tectônicas e/ou lineamentos sobre a produção de poços (e.g. DAEE 1979b, 1981, 1982, BERTACHINI 1987, MENEGASSE 1991) ou ainda sobre a delimitação de áreas de proteção de poços e fontes (IG 1997, IRITANI *et al.* 1998, IG 2000) e elaboração de mapas de vulnerabilidade (IG 2002, FERNANDES 2003).

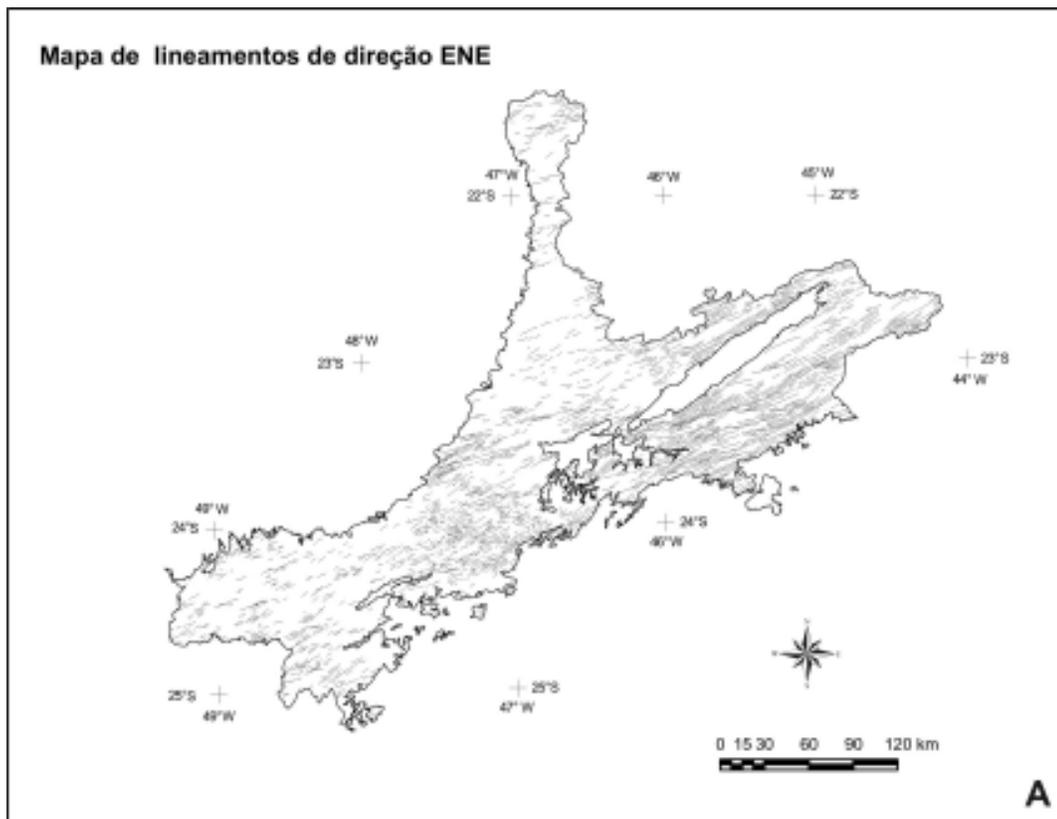
No Mapa, tanto para a área de ocorrência de rochas pré-cambrianas como da Formação Serra Geral, estão representados alguns dos lineamentos mais extensos e de maior expressão.

Foram observadas 5 direções principais de lineamentos com pequenas diferenças entre basaltos e rochas pré-cambrianas (**Quadro 3.4**). As **Figuras 3.35 e 3.36** ilustram os mapas de lineamentos e as rosáceas obtidas para as áreas de basaltos e de rochas pré-cambrianas, respectivamente. Para estas últimas, cada uma das direções é ilustrada individualmente, devido à alta densidade de traços obtida.

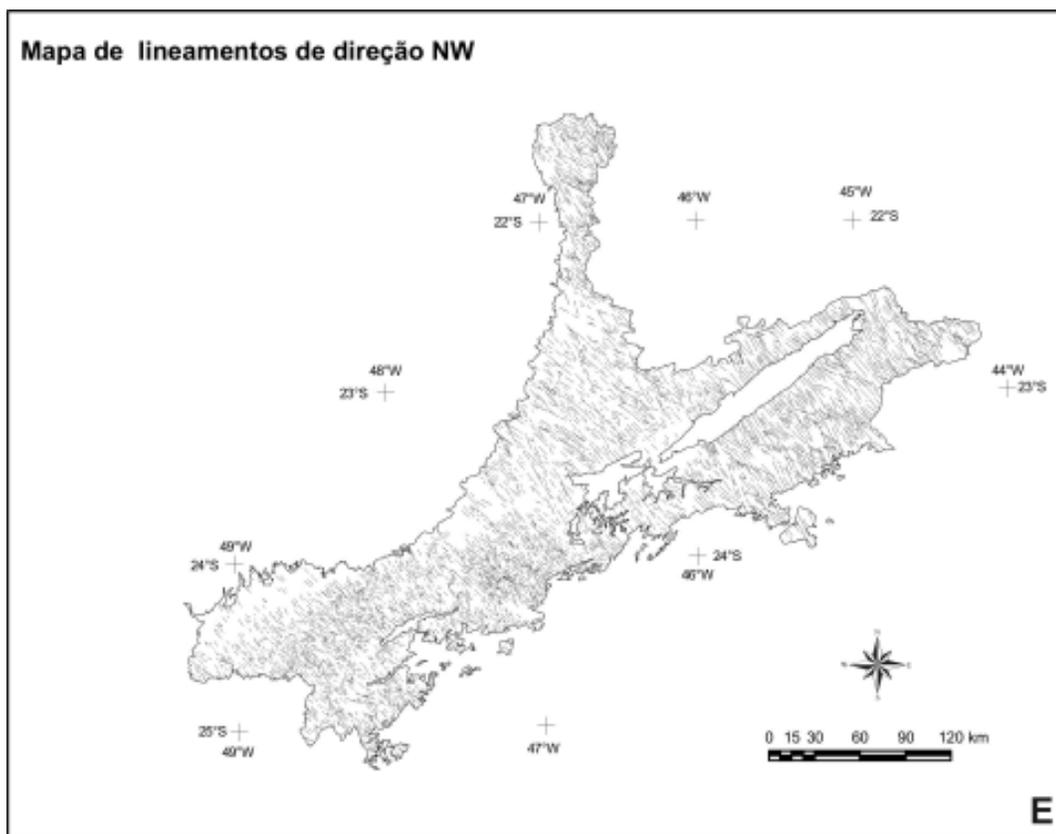
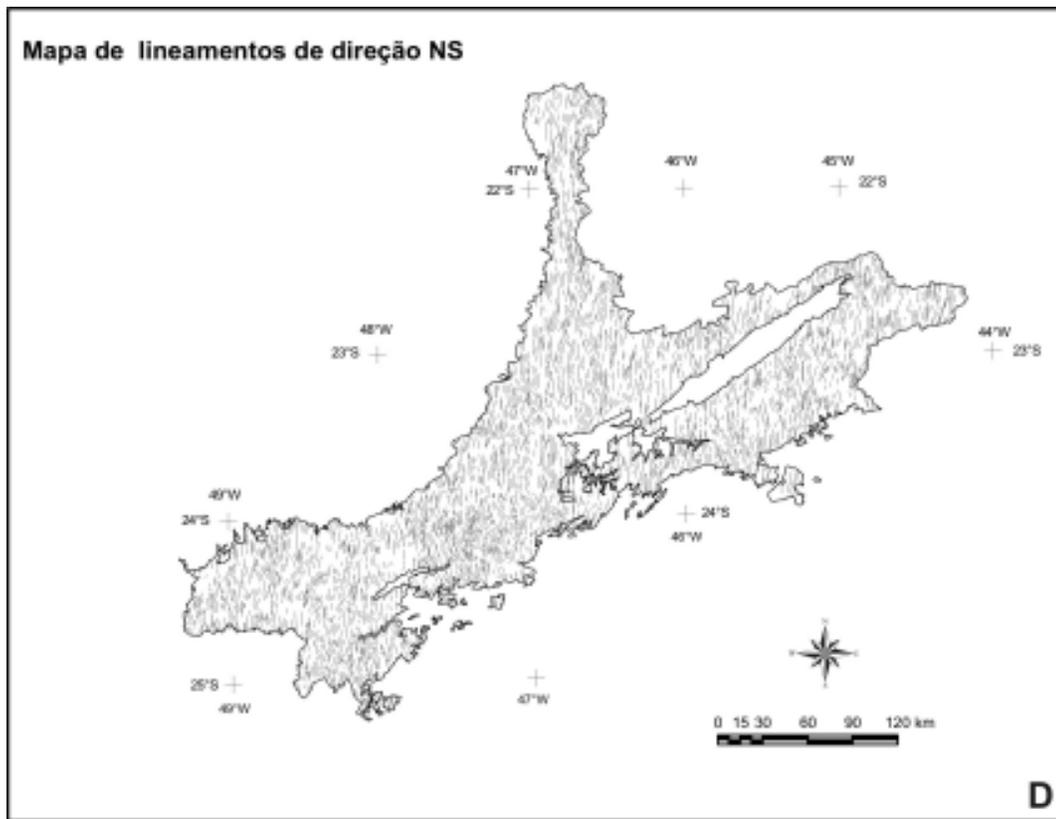
Grupos de Rochas	Intervalos de direções preferenciais em ordem decrescente de importância				
Basaltos	N10W-N5E	N85E-N85W	N40-60W	N55-65E	N35-40E
Rochas pré-cambrianas	N5W-10E	N85E-75W	N30-65W	N60-75E	N25-35E

Quadro 3.4. Direções preferenciais de lineamentos em basaltos e rochas pré-cambrianas.

Figura 3.35. (A) a (E) Mapa de lineamentos das rochas pré-cambrianas do Estado e (F) rosácea de todos os lineamentos (por comprimento acumulado) mostrando as suas principais direções.







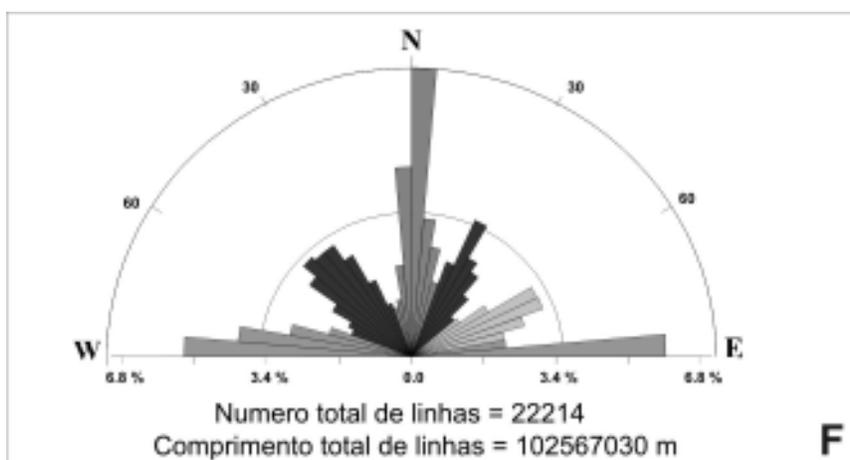
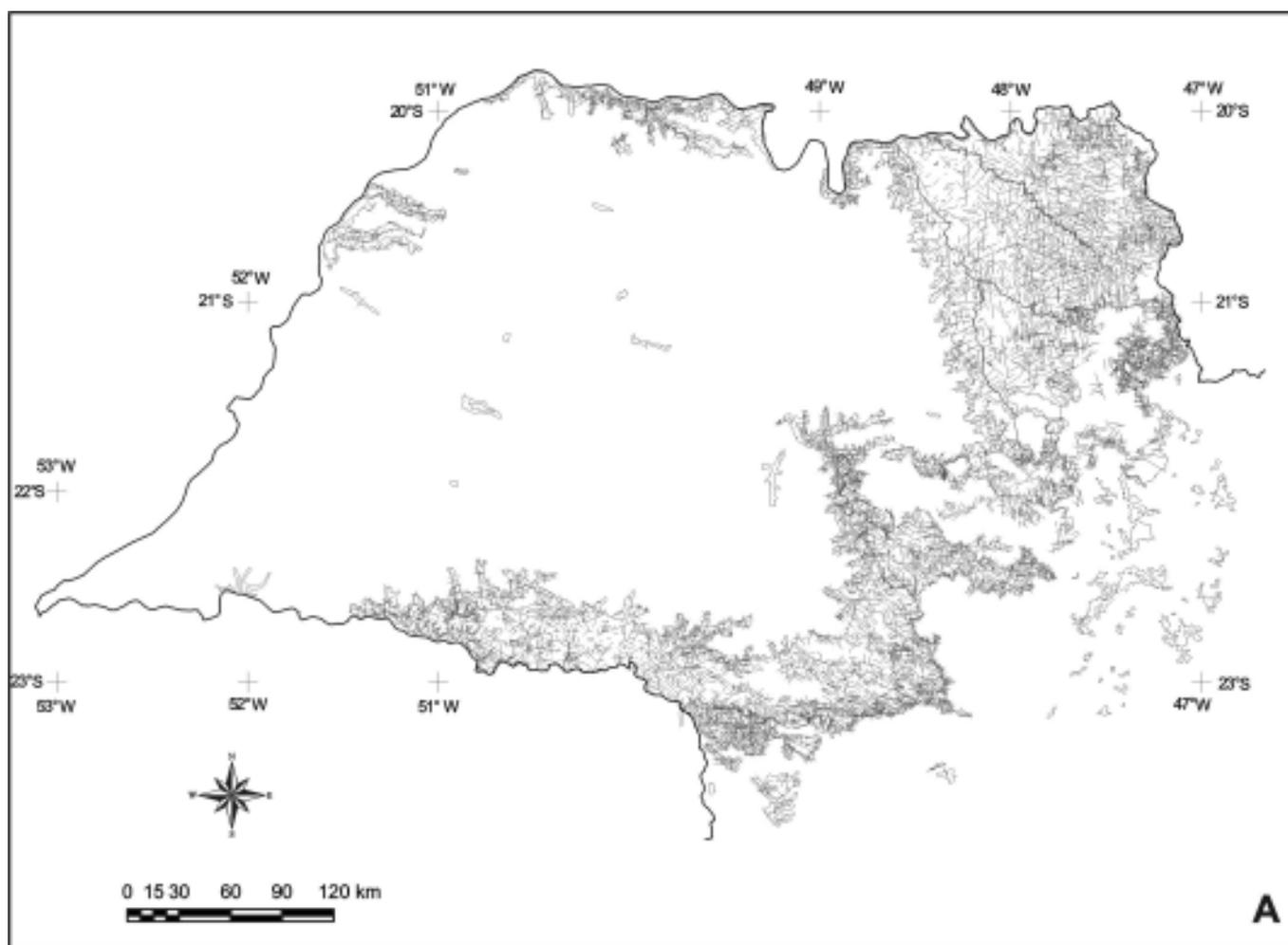
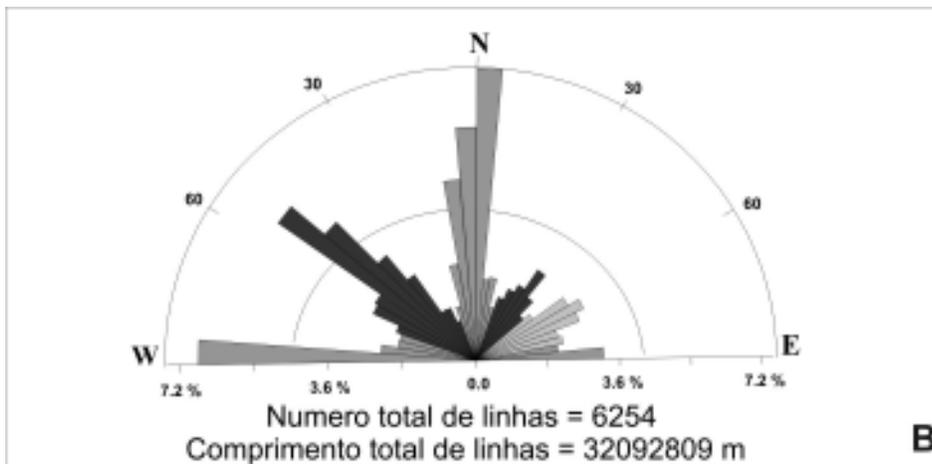


Figura 3.36. (A) Mapa de lineamentos dos basaltos do Estado e (B) rosácea de todos os lineamentos (comprimento acumulado) mostrando as suas principais direções.

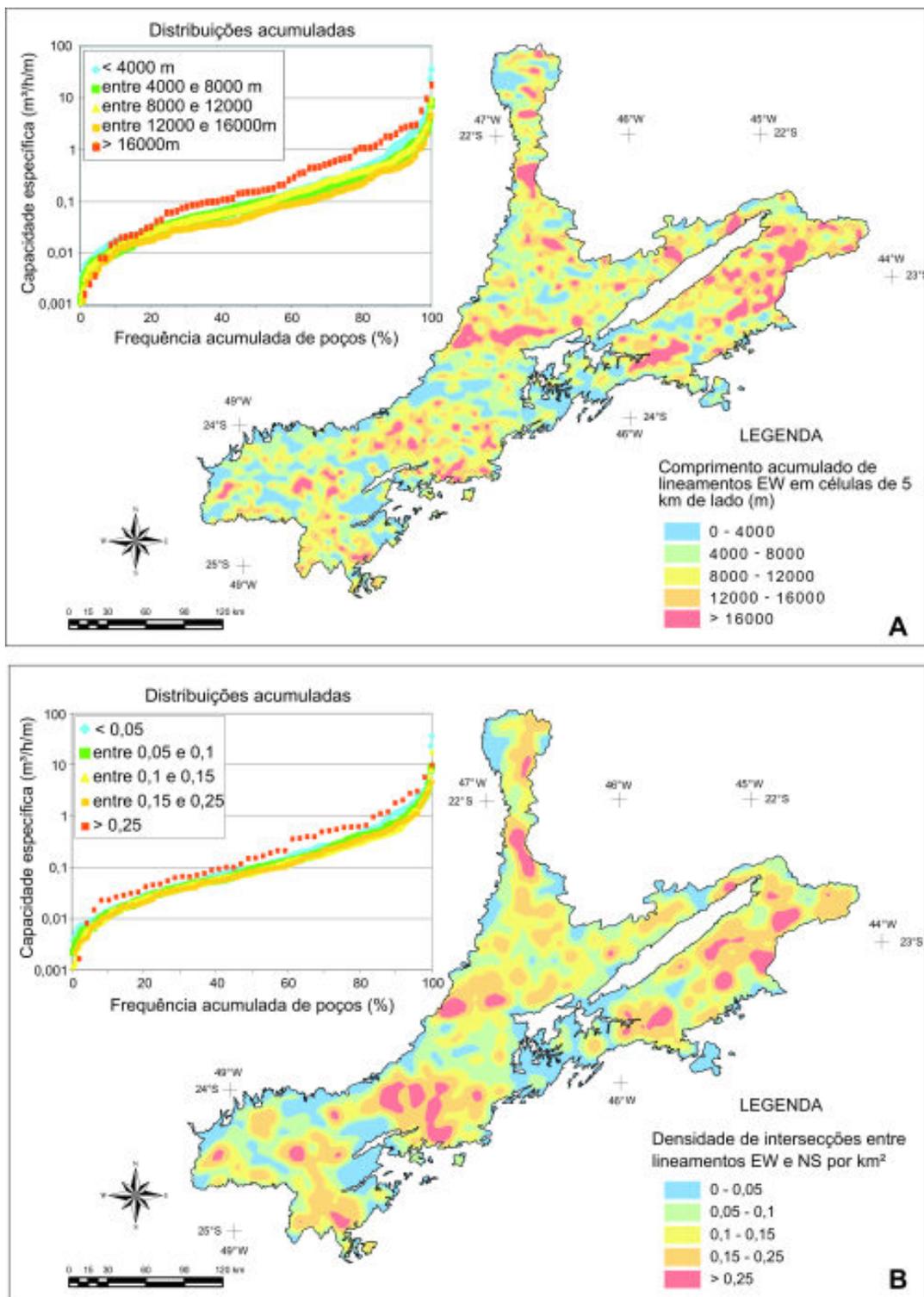




Foram elaborados também mapas de densidade de lineamentos para cada uma das cinco direções identificadas (**Quadro 3.4**) além de mapas de densidade de intersecções, considerando todas as possíveis combinações de direções de lineamentos. Considera-se que, de um modo geral, estes parâmetros são diretamente proporcionais à densidade e conectividade de fraturas, respectivamente. Correlações positivas com a capacidade específica de poços foram obtidas apenas para a densidade de lineamentos EW e para a densidade de intersecções entre as direções EW e NS; seus respectivos mapas e distribuições acumuladas são ilustrados na **Figura 3.37**. Este resultado, no entanto, é conclusivo apenas para a região localizada entre São Paulo e Campinas, onde existe uma maior densidade de poços. Para as demais áreas o resultado não foi validado por ausência de dados.

A relação existente entre produção de poços e densidades de lineamentos e de intersecções de lineamentos também foi analisada para a área de ocorrência de basaltos, não tendo sido verificada qualquer correlação entre estes fatores. Tal fato deve-se, provavelmente, à maior permeabilidade de fraturas horizontais e contatos entre derrames, que, no entanto, não são identificáveis em imagens de sensores remotos, por não terem expressão na superfície do terreno sob a forma de lineamentos. A permeabilidade maior das estruturas horizontais mascararia, na escala de trabalho praticada, qualquer efeito relacionado às fraturas verticais, de menor permeabilidade. Por outro lado, o DAEE (1979b), no estudo das regiões administrativas 10 e 11, em escala maior (1:250.000), concluiu que os poços que exploram os basaltos próximos a lineamentos de drenagem são 10 vezes mais produtivos, em termos de capacidade específica, do que aqueles mais distantes destas feições, evidenciando a importância das fraturas verticais. Medidas dos parâmetros hidráulicos dos basaltos (permeabilidade, transmissividade, porosidade efetiva) no Estado de São Paulo são apresentadas em alguns estudos (e.g., DAEE 1974, FARJALAT 1974, REBOUÇAS 1978, QUADROS *et al.* 1991).

Finalmente, um último fator de análise foi o de *blocos geológicos* (ver definição no **Quadro 3.3**). Da mesma forma que para os outros fatores, os poços foram agrupados em classes, em função do bloco geológico em que estão situados. Os resultados obtidos são bastante conclusivos para a porção central do Aquífero Pré-Cambriano (região Lindóia/Campinas/Grande São Paulo) onde há maior quantidade



Fonte: Gerada neste trabalho.

Figura 3.37. (A) Mapas de densidade de lineamentos EW para as rochas pré-cambrianas e gráfico de distribuições acumuladas para as várias classes de densidade desta direção. (B) Mapa de densidade de intersecções entre lineamentos EW e NS para as rochas pré-cambrianas e gráfico de distribuições acumuladas para as várias classes de densidade. Nota-se que as áreas com elevada densidade de intersecções de lineamentos EW e NS coincidem, em grande parte, com áreas de maior densidade de lineamentos EW. As distribuições acumuladas indicam que estas regiões apresentam potencial maior de produção de água subterrânea.

de poços (**Figura 3.31**); para as demais regiões do Estado, onde a densidade de poços é muito baixa, os resultados são apenas indicativos. Ainda na região entre a Grande São Paulo e Campinas, as áreas com maiores densidades de lineamentos EW e de intersecção de lineamentos EW com NS também apresentam maiores valores de capacidade específica. Concluiu-se que o fator *blocos geológicos* foi o que indicou mais claramente, para as rochas pré-cambrianas não carbonáticas (granitos e rochas metamórficas de alto e baixo grau), a existência de regiões com potenciais distintos de produção, ilustrados na **Figura 3.38**.

Poços localizados a até 3 km de distância da Bacia do Paraná e a até 1 km de distância da Bacia de São Paulo também são significativamente mais produtivos. Isto é ilustrado na **Figura 3.38** e deve resultar da presença de poços mistos (explorando rochas sedimentares das bacias, além de rochas pré-cambrianas) ou da presença de zonas de fraturas mais adensadas e/ou mais abertas relacionadas à evolução da borda das bacias. Estes poços foram eliminados da análise de blocos geológicos.

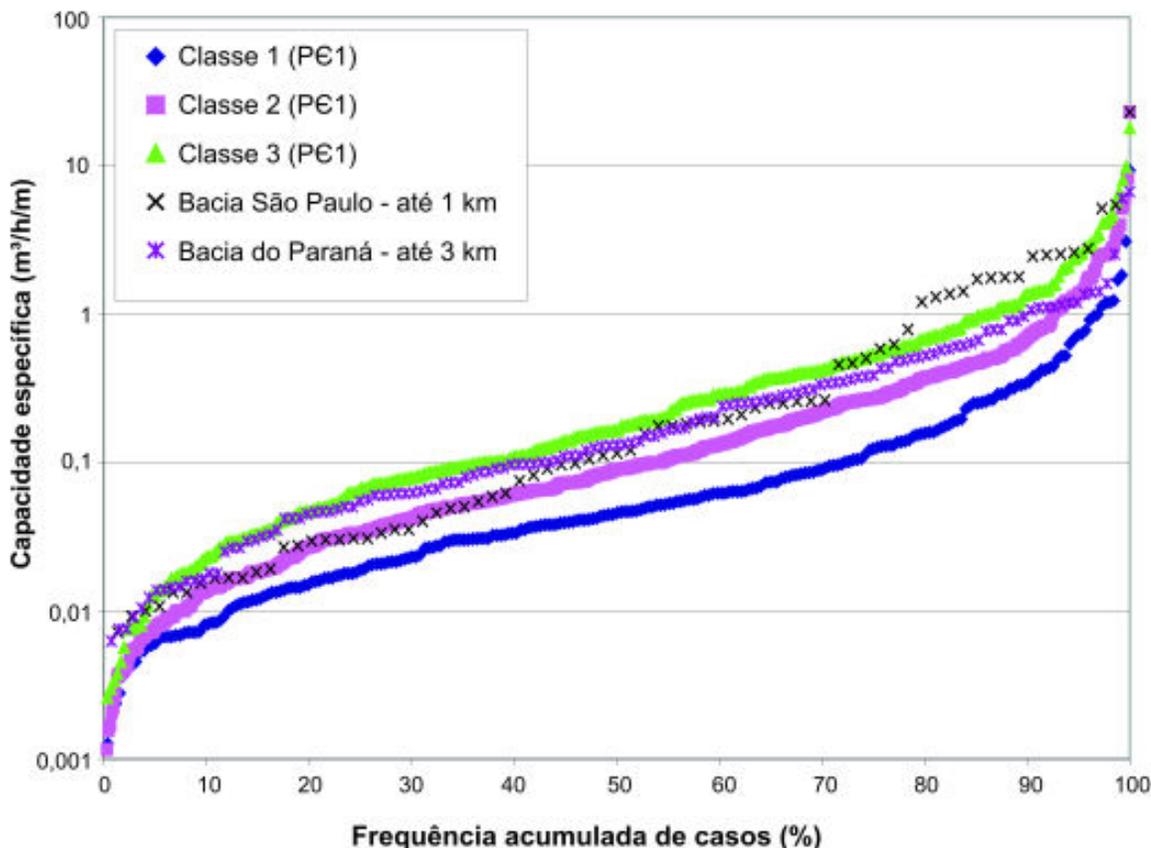


Figura 3.38. Distribuições acumuladas das classes de produção potencial para as rochas pré-cambrianas não-carbonáticas, obtidas com base na análise de blocos geológicos e de densidades de lineamentos e de intersecções de lineamentos; e distribuições acumuladas de poços localizados a até 3 km de distância da Bacia do Paraná e a até 1 km de distância da Bacia de São Paulo.

A análise efetuada resultou na identificação e delimitação no Mapa de 4 classes de potenciais hidrogeológicos distintos na área de ocorrência dos aqüíferos fraturados do Estado de São Paulo, apresentadas na **Figura 3.39**; seus parâmetros estão detalhados no **Quadro 3.5**.

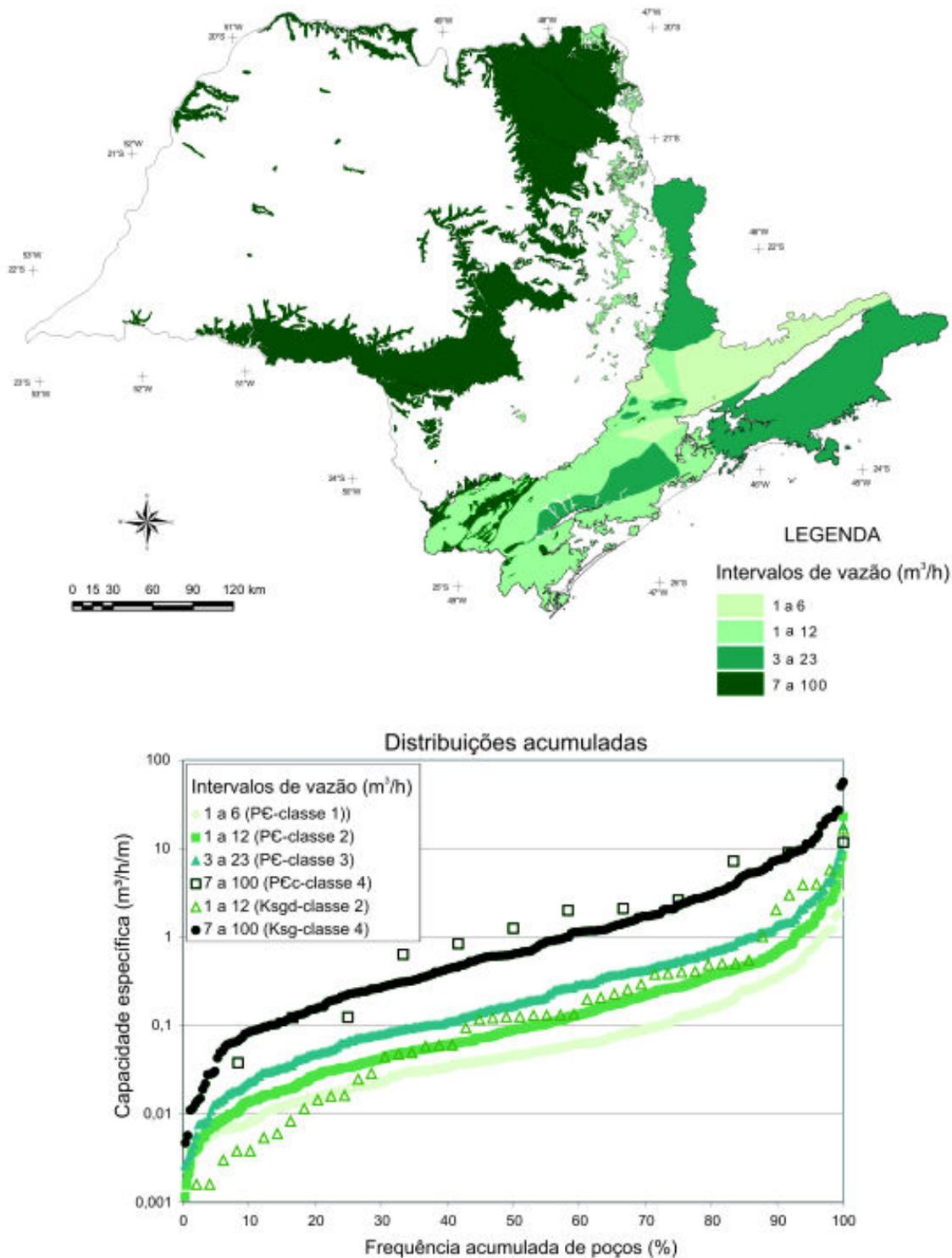


Figura 3.39. Mapa de classes de potencial hidrogeológico para os aqüíferos fraturados do Estado de São Paulo e gráfico de distribuições acumuladas correspondentes.

Os basaltos e as rochas carbonáticas pré-cambrianas estão representados em curvas distintas, porém, devido ao comportamento hidráulico semelhante, estes dois tipos de rocha foram agrupados na quarta classe de potencialidade de produção. Da mesma forma, o Aqüífero Ksgd (diabásio) e parte do Aqüífero Pré-Cambriano ($p\epsilon$) foram agrupados na segunda classe de produção.

A partir das distribuições acumuladas das 4 classes de potencial hidrogeológico, foram identificados os valores de capacidades específicas em 20%, 50% e 80% da distribuição e convertidos para valores de vazão por meio de análise de correlação entre Q e Q/s , com grau de confiança de 95% (**Quadro 3.5**). Nesta análise utilizaram-se dados de poços com teste de bombeamento de duração igual ou superior a 20 horas, pois, nestes casos, as vazões praticadas seriam as mais indicadas para cada poço. As curvas e as respectivas equações, ilustradas na **Figura 3.40**, foram construídas apenas para os aqüíferos Ksg (basalto) e $p\epsilon$ (Pré-Cambriano não carbonático), pois para os aqüíferos $p\epsilon c$ (Pré-Cambriano Cárstico) e Ksgd (diabásio), a quantidade de poços com testes de bombeamento adequados era insuficiente.

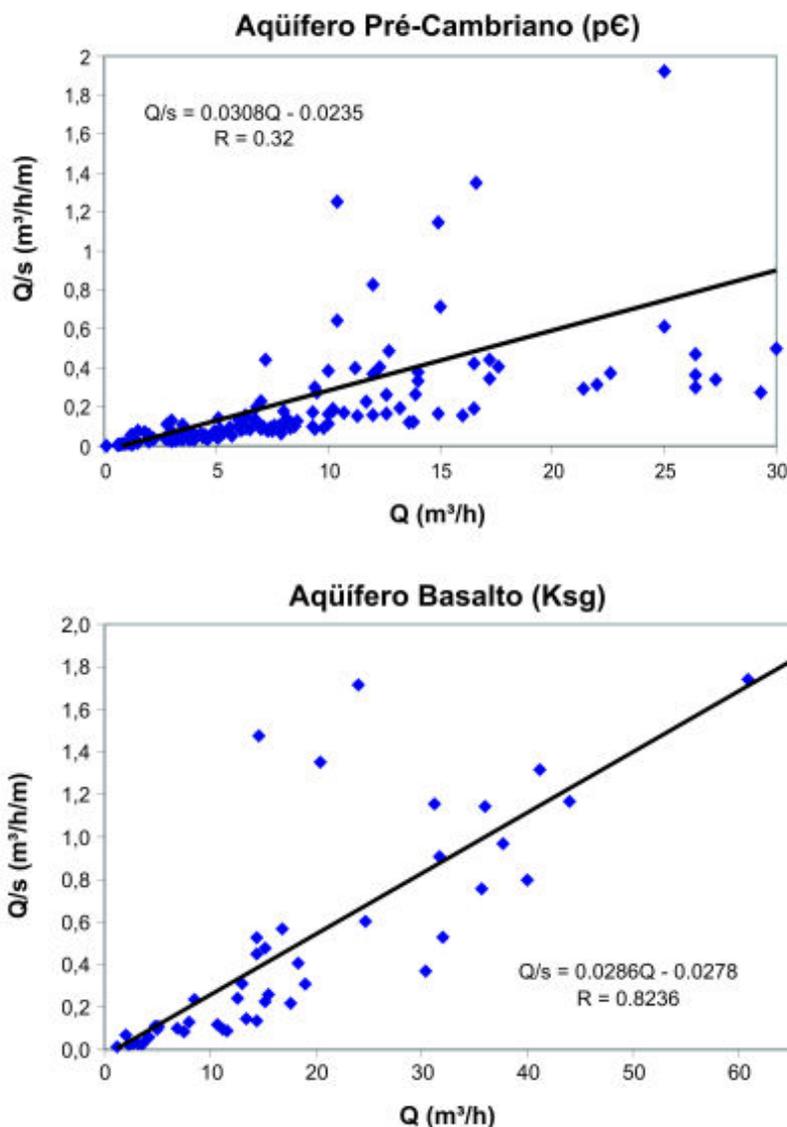


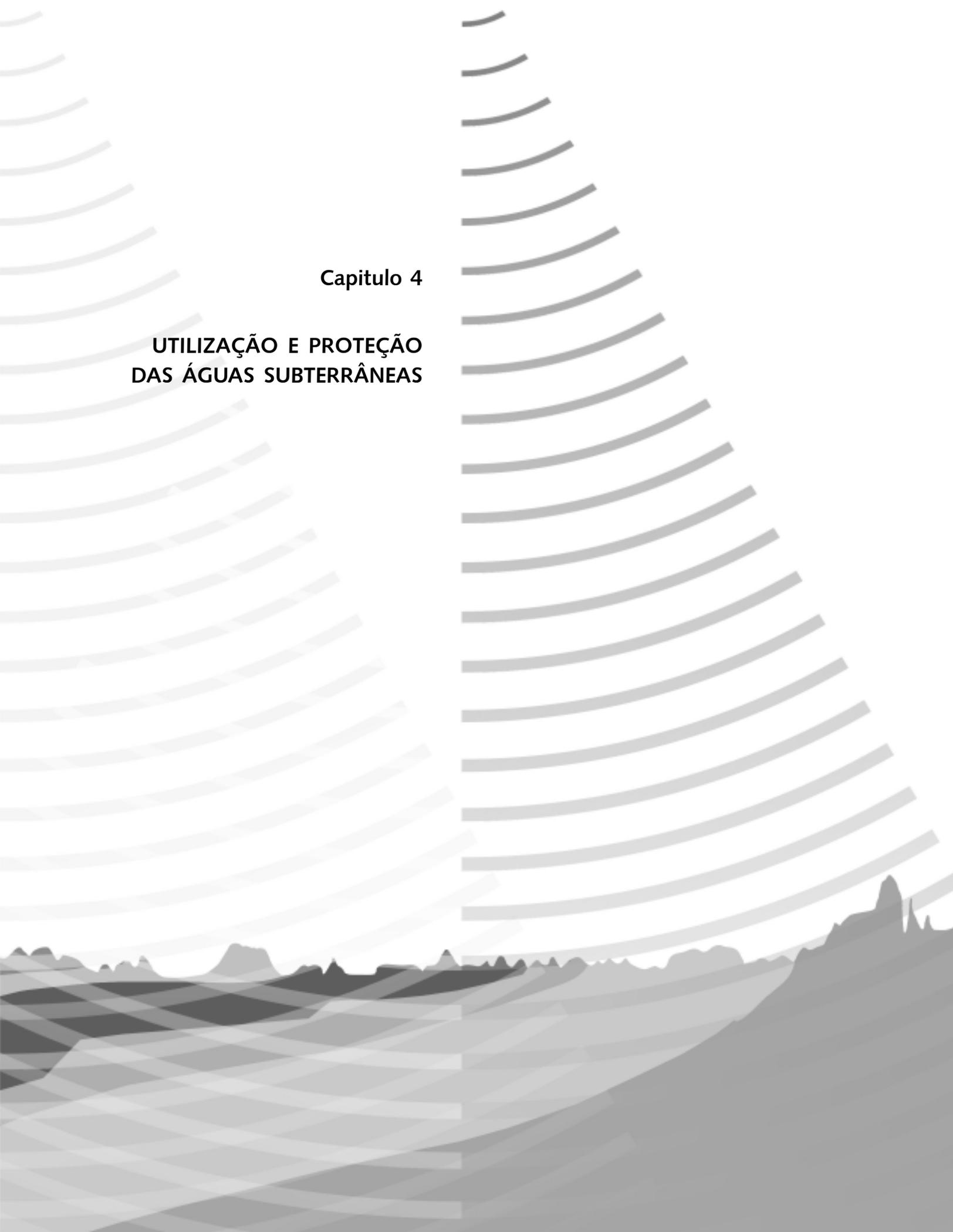
Figura 3.40. Gráfico e equação de correlação da variação de Q/s (capacidade específica) com Q (vazão) feita com base em dados de poços com teste de bombeamento igual ou superior a 20 h, para os aqüíferos Pré-Cambriano e Basalto (Serra Geral).

Aqüífero			Capacidade específica (Q/s), (m³/h/m)			Vazão (Q) calculada por correlação (m³/h)			Nº Poços
Siglas	Grupo de Rochas	Classe	20%	50%	80%	20%	50%	80%	
p€	Rochas metamórficas e granitos	1	0,01	0,04	0,14	1	2	6	199
		2	0,02	0,08	0,33	1	4	12	544
		3	0,05	0,18	0,67	3	7	23	236
Ksgd	Diabásios	2	0,01	0,13	0,48	Não Calculada *			49
Ksg	Basaltos	4	0,16	0,62	2,89	7	23	100	285
p€ c	Rochas Carbonáticas	4	0,12	1,25	7	Não Calculada *			12
Poços a até 3 km de distância da Bacia do Paraná			0,04	0,13	0,53	Não Calculada *			137
Poços a até 1 km de distância da Bacia de São Paulo			0,03	0,12	1,29	Não Calculada *			74

* Explicado no texto

Quadro 3.5. Valores de 20%, 50% (mediana) e 80% para as curvas de distribuição acumulada obtidas em cada aqüífero fraturado e, também, para os poços localizados a 1 e 3 km de distância das bacias de São Paulo e do Paraná, respectivamente.

Desta forma, no Mapa final obtido distinguem-se áreas com vazões prováveis, nos intervalos de 20 a 80% da distribuição, entre 1 e 6 m³/h (classe 1), 1 e 12 m³/h (classe 2), 3 e 23 m³/h (classe 3) e 7 e 100 m³/h (classe 4). As rochas onde ocorrem estas faixas de vazão são mencionadas no Quadro 3.5, onde são citadas também as medianas (valores centrais ou de 50%). Apesar de não ter sido possível calcular os valores de vazão para o Ksgd (diabásio) e p€c, considerou-se que, devido à semelhança de suas curvas de distribuição acumulada com as da classe 2 do Aqüífero p€ e do Aqüífero Ksg, respectivamente, poderiam ser-lhes atribuídas as mesmas faixas de vazão destas classes.

The background features a series of curved, overlapping lines in shades of gray that create a sense of depth and movement. At the bottom, there is a dark silhouette of a landscape with various peaks and hills.

Capítulo 4

UTILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

UTILIZAÇÃO E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Ricardo Hirata (IGc-USP)

Alexandra V. Suhogusoff (IGc-USP)

Amélia J. Fernandes (IG-SMA)

Introdução

Neste capítulo são apresentados 7 indicadores de situação das águas subterrâneas e sua aplicação às 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) do Estado de São Paulo. A utilização dos indicadores visa identificar as potencialidades hídricas bem como problemas relacionados à quantidade e qualidade, sempre em escala de reconhecimento. O mapa resultante desta aplicação, junto com o Mapa de Águas Subterrâneas apresentado nesta Nota, funciona como um pano de fundo para o estabelecimento de linhas básicas de gestão. Isto é abordado na segunda parte do capítulo onde são apresentadas as ações, muitas vezes embasadas em leis já existentes, que devem fazer parte de uma estratégia de planejamento dos recursos hídricos, visando a proteção da qualidade e a conservação da quantidade.

Indicadores de situação das águas subterrâneas

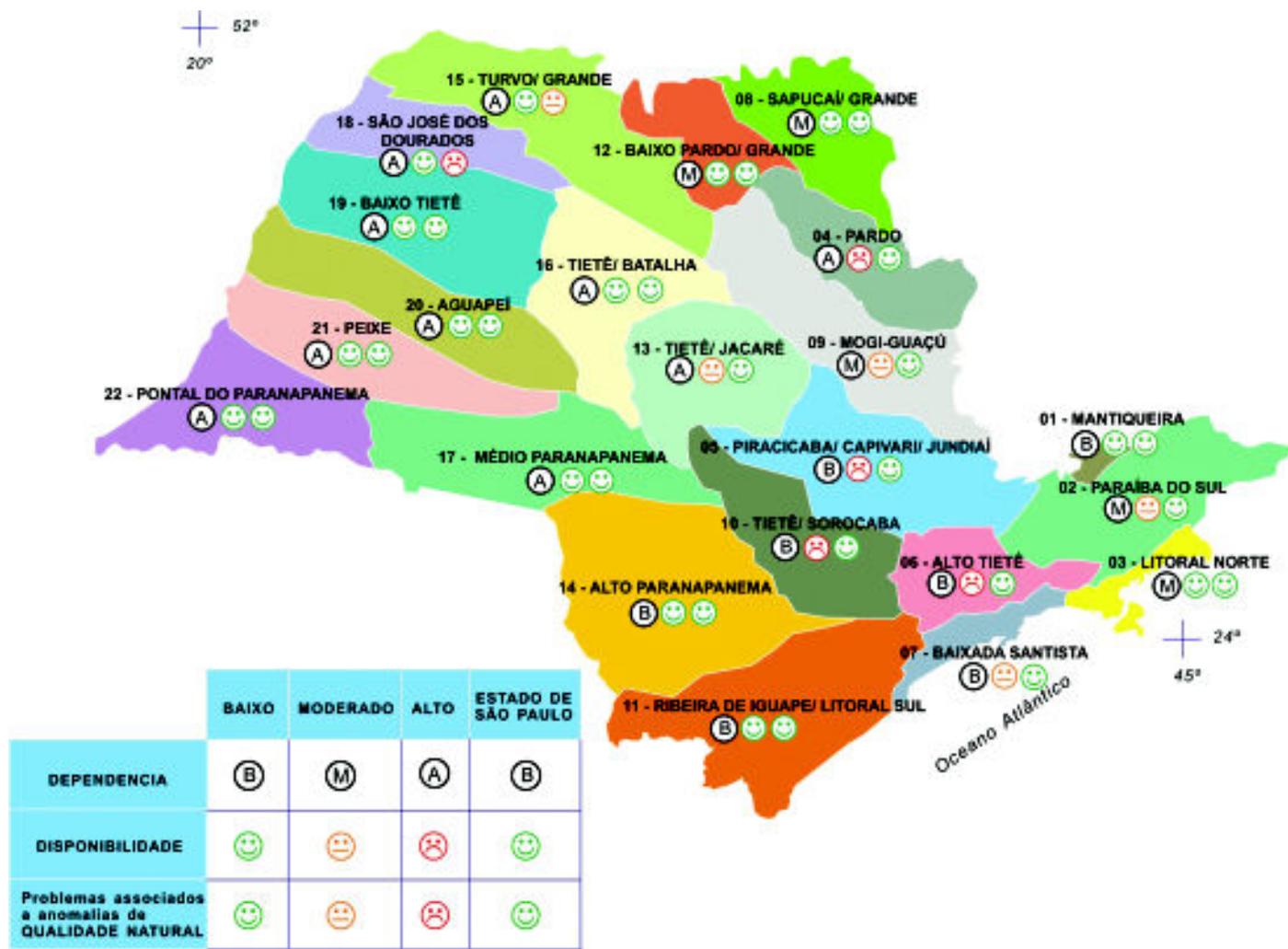
Indicadores são qualificadores numéricos ou não numéricos resultantes de operações matemáticas ou lógicas a partir de informações qualitativas ou quantitativas de uma determinada área em um tempo específico. Os Indicadores de água subterrânea têm como objetivo descrever a situação dos aquíferos em uma determinada área ou bacia. Os Indicadores visam também identificar as potencialidades hídricas de cada aquífero e os seus problemas relacionados à qualidade, incluindo a contaminação antrópica e natural, e à quantidade. Séries regulares de Indicadores ao longo do tempo permitem definir tendências ou mesmo os efeitos que determinadas mudanças no manejo do recurso hídrico estão provocando. São importantes como ferramentas de comunicação para tomadores de decisões e para o público em geral, e também podem ser usados para prever o futuro, quando séries temporais são associadas a modelos, que permitem estabelecer cenários prováveis.

Neste trabalho, foram aplicados diferentes Indicadores de qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos para cada uma das 22 UGRHIs no Estado de São Paulo. Os Indicadores utilizados foram baseados nos estudos desenvolvidos pelo Grupo de Trabalho da UNESCO/IAEA/IAH (2004) e por VRBA *et al.* (2005), com adaptações às especificidades paulistas (HIRATA *et al.* no prelo).

Os Indicadores aqui propostos (**Quadro 4.1**), junto com as informações disponíveis para cada UGRHI, são apropriados para verificar a situação das águas subterrâneas no Estado em escala regional. A utilização conjunta destes Indicadores permite a avaliação das águas subterrâneas com relação a: (1) dependência, (2) disponibilidade e (3) qualidade natural e antropizada (**Quadros 4.1 e 4.2 e Figura 4.1**).

A água subterrânea em termos de	Indicador	Expresso em	Interpretação
DEPENDÊNCIA	1 - <u>Abastecimento público por água subterrânea</u> População total da UGRHI	%	Importância das águas subterrâneas no abastecimento da população de cada UGRHI.
	2 - <u>Demanda total de água subterrânea (todos os usos)</u> Demanda total dos recursos hídricos	%	Quantidade de água subterrânea explorada para múltiplos usos (doméstico, agrícola, industrial) em relação aos recursos hídricos totais extraídos (subterrâneos e superficiais).
	3 - <u>Reservas exploráveis de água subterrânea</u> População total da UGRHI	L/habitida	Quantidade total de água subterrânea potável para consumo que existe na UGRHI. O volume de água por habitante constitui um fator importante para o desenvolvimento sócio-econômico de uma região.
DISPONIBILIDADE	4 - <u>Demanda total de água subterrânea</u> Reservas exploráveis de água subterrânea	%	Problemas de exploração excessiva e de impactos sócio-econômicos são identificados. O termo "reservas exploráveis" significa o volume de água subterrânea que pode ser extraído anualmente de um dado aquífero sob as condições sócio-econômicas, políticas e ecológicas vigentes de cada região.
	5 - <u>Área total de alta vulnerabilidade à contaminação</u> Área total da UGRHI	%	Área da UGRHI sensível à contaminação por qualquer substância. Baseia-se no mapa de vulnerabilidade do Estado (Hirata et al. 1997) elaborado segundo o método GOD (Foster & Hirata 1988).
QUALIDADE	6 - <u>Casos de contaminação antrópica</u> Área total da UGRHI	Número de casos / km²	Número de casos de contaminação de solo e água subterrânea oriundos de atividades antrópicas (relacionadas a postos de gasolina, indústrias, aterros e lixões, áreas comerciais e acidentes) por km² de UGRHI.
	7 - <u>Número de municípios da UGRHI com água subterrânea de qualidade natural comprometida</u> Número total de municípios da UGRHI	%	Status atual e tendências futuras para a qualidade natural das águas subterrâneas; ajuda a analisar e visualizar problemas relacionados a este aspecto, espacial e temporalmente. A área da UGRHI com problemas de qualidade refere-se à somatória das áreas dos municípios nos quais foi constatada a presença de um dado contaminante.

Quadro 4.1. Quadro resumo dos Indicadores de águas subterrâneas.



Fonte: Elaborado por HIRATA, *et al.* (inédito)

Figura 4.1. Situação das águas subterrâneas por meio de Indicadores de qualidade e quantidade

A dependência das águas subterrâneas é nítida no Estado de São Paulo, como denotam os Indicadores 1 e 2 (**Quadro 4.2**). Com referência ao abastecimento público (Indicador 1 = abastecimento público por água subterrânea/população total da UGRHI), observa-se que 9 UGRHIs mostram alta dependência em relação à água subterrânea (>50% da população abastecida); 6, intermediária (49 a 25%); e 7, baixa (<24%). A maior demanda está situada nas porções norte, central e oeste do Estado. Por outro lado, considerando-se o uso da água subterrânea para outros fins em relação ao recurso hídrico total (superficial + subterrâneo) (Indicador 2 = demanda total de água subterrânea / demanda total de recursos hídricos), a dependência é expressivamente menor (11% para todo o Estado), denotando o uso preferencial das águas subterrâneas para o abastecimento público. A maioria das bacias situa-se na categoria baixa ($I2 < 25\%$), três na moderada ($25\% \leq I2 < 50\%$), e uma na alta ($I2 = 50\%$), UGRHI São José dos Dourados.

UGRHI	Dependência		Disponibilidade		Qualidade		
	Indicador 1 (%)	Indicador 2 (%)	Indicador 3 (L/hab/dia)	Indicador 4 (%)	Indicador 5 (%)	Indicador 6 (%)	Indicador 7 (%)
01. Mantiqueira	0	0	2842	0	ND	0,3	0
02. Paraíba do Sul	25	20	983	18	5% B; 10% M; 12% A; 73% ND	0,5	0
03. Litoral Norte	28	9	2935	2	ND	1,2	0
04. Pardo	69	20	921	44	10% B; 30% M; 10% A; 50% ND	0,1	0
05. Piracicaba/Capivari/Jundiá	5	2	482	4	45% B; 10% M; 5% A; 40% ND	1,3	1,8
06. Alto Tietê	1	8	93	41	ND	12,4	2,9
07. Baixada Santista	0	0	881	1	ND	2,9	0
08. Sapucaí/Grande	28	7	1533	8	26% M; 12% A; 62% ND	0,2	0
09. Mogi-Guaçu	25	10	1124	28	20% B; 43% M; 7% A; 30% ND	0,1	0
10. Tietê/Sorocaba	12	6	433	5	56% B; 25% M; 4% A; 15% ND	0,4	6,1
11. Ribeira de Iguape/Litoral Sul	7	8	13973	1	ND	0,1	0
12. Baixo Pardo/Grande	36	3	3050	4	2% B; 82% M; 2% A; 24% ND	0,1	0
13. Tietê/Jacaré	61	29	843	28	5% B; 60% M; 25% A; 10% ND	0,2	0
14. Alto Paranapanema	8	5	3187	1	60% B; 15% M; 10% A; 15% ND	0,03	0
15. Turvo/Grande	78	32	814	52	12% B; 74% M; 4% A; 10% ND	0,3	19
16. Tietê/Batalha	91	11	1860	10	14% B; 82% M; 4% A	0,03	3
17. Médio Paranapanema	44	26	2892	15	22% B; 38% M; 40% ND	0,05	2,4
18. São José dos Dourados	66	50	1784	10	5% B; 69% M; 16% A; 10% ND	0,1	32
19. Baixo Tietê	52	5	1541	6	2% B; 78% M; 20% A	0,1	9,5
20. Aguapeí	88	19	2711	10	4% B; 72% M; 24% A	0,02	0
21. Peixe	61	21	2402	10	15% B; 70% M; 15% A	0,1	11
22. Pontal do Paranapanema	56	7	2908	4	15% B; 60% M; 25% A	0,1	4,7
Estado de São Paulo	16	11	787	12	ND	0,5	5,3
BAIXO	Indicador < 25%	Indicador < 25%	Indicador > 1500	Indicador < 25%	A < 5%	Indicador < 10%	Indicador < 15%
MODERADO	25% < Indicador < 50%	25% < Indicador < 50%	500 < Indicador < 1500	25% < Indicador < 40%	5% < A < 10%	10% < Indicador < 20%	15% < Indicador < 30%
ALTO	Indicador > 50%	Indicador > 50%	Indicador < 500	Indicador > 40%	A > 10%	Indicador > 20%	Indicador > 30%

Quadro 4.2. Indicadores dos recursos hídricos subterrâneos do Estado de São Paulo.

Ver quadro 4.1 para explicação dos indicadores.

A disponibilidade das águas subterrâneas pode ser mensurada pelos Indicadores 3 e 4 (Quadro 4.2). O Indicador 4 (demanda total de água subterrânea/reservas exploráveis de água subterrânea) mostra ainda seu pouco uso (<12% de sua potencialidade), apresentando-se como uma grande reserva estratégica para futuras captações na maioria das UGRHIs. No entanto, existem UGRHIs nas quais grande parte do recurso já está comprometido (Turvo/Grande - 52%, Pardo - 44%, e Alto Tietê - 41%). Estima-se pelo Indicador 3 (reservas exploráveis de água subterrânea/ população total) uma disponibilidade de 787 L/hab/dia. Como se poderia esperar, a bacia do Alto Tietê (UGRHI 6), com 93 L/hab/dia, é a mais crítica, seguida pelas bacias de Tietê/Sorocaba (433 L/hab/dia) e Piracicaba/Capivari/Jundiaí (482 L/hab/dia). Há relatos de quedas acentuadas nos níveis potenciométricos na bacia do Alto Tietê (HIRATA *et al.* 2002 e HIRATA & FERREIRA 2001). Na bacia do Turvo/Grande (São José do Rio Preto) e do Pardo (Ribeirão Preto) rebaixamentos acentuados já foram constatados (IPT 1999, 2000). O estudo não considerou as reservas exploráveis do Aquífero Guarani em sua porção confinada.

A qualidade das águas subterrâneas é definida pelos Indicadores 5, 6 e 7 (**Quadro 4.2**). O inventário de áreas contaminadas realizado pelo órgão de controle ambiental estadual, a CETESB, mostra que, até novembro de 2004, existiam 1366 casos confirmados (de um universo de dezenas de milhares de fontes potenciais de contaminação), dos quais 931 estão relacionados a postos de combustíveis; 237 a indústrias; 61 a deposição de resíduos; 92 a áreas comerciais; e 15 a acidentes ou origens desconhecidas. O Indicador 6 (casos de contaminação antrópica/ sobre área total da UGRHI) mostra que a maior parte das contaminações concentra-se na bacia do Alto Tietê, com 725 casos. O mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos do Estado (HIRATA *et al.* 1997), elaborado com base na metodologia GOD (FOSTER & HIRATA 1988), mostra que as UGRHIs 2, 4, 8, 13, 14 e 18 a 22 são as que contêm áreas mais extensas com alta vulnerabilidade, o que aponta a necessidade de um maior cuidado na instalação de atividades futuras e de estudos de detalhe em contaminação (Indicador 5 = área total de alta vulnerabilidade à contaminação/área total da UGRHI). Algumas destas bacias contêm partes da área de recarga do Aquífero Guarani.

Com relação à qualidade natural, o Indicador 7 (número de municípios da UGRHI com água subterrânea de qualidade natural comprometida/número total de municípios da UGRHI) mostra que, de um modo geral, as águas apresentam excelente qualidade, ressaltando-se alguns casos, como os das UGRHIs São José dos Dourados (32% dos municípios com presença de cromo) e Turvo/Grande (19% com flúor) (ALMODÓVAR 2000, PERRONI *et al.* 1985, CETESB 2004). Convém lembrar que as áreas dos municípios, bem como o número de ocorrências de contaminação natural dentro de cada um deles, são distintas e, portanto, estudos mais detalhados são necessários para determinar a real extensão das áreas comprometidas.

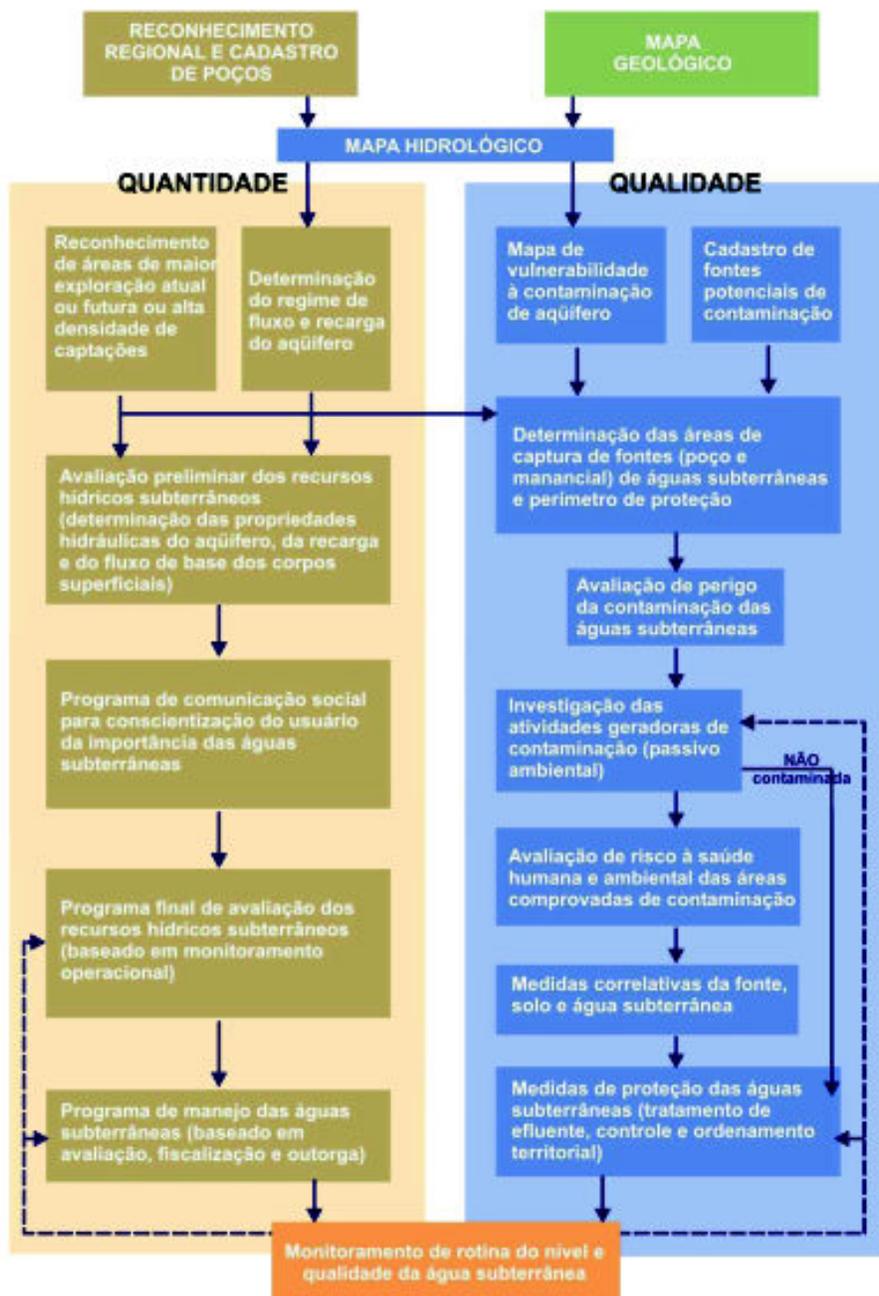
Como conclusão, nota-se que as águas subterrâneas no Estado de São Paulo são ainda pouco utilizadas para a maioria das UGRHIs, constituindo um grande potencial para suprir as necessidades de água com boa qualidade natural e ainda pouco contaminada.

Linhas básicas de gestão

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve-se pautar pelas seguintes premissas: a) as águas subterrâneas são parte do ciclo hidrológico e requerem adequado conhecimento para que seu uso seja integrado com o do recurso superficial; b) as modificações nos regimes de fluxo, causadas por exploração, podem gerar mudanças na qualidade e na quantidade das águas subterrâneas, incluindo problemas de contaminação antrópica e natural; c) o uso do recurso deve prever a multiplicidade, no entanto, o abastecimento público é prioritário; e d) a

gestão eficiente deverá ser uma ação compartilhada entre o Estado, os municípios e a população usuária destes recursos, tal como já está preconizado na Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 7663/91) e suas regulamentações.

Uma proposta técnica de gestão das águas subterrâneas é simplificada apresentada na **Figura 4.2**. Nesta gestão, qualquer que seja o objetivo, se proteção da qualidade ou conservação da quantidade, as características do aquífero devem ser inicialmente conhecidas. Para tal devem ser utilizados dados de poços pré-existentis (já cadastrados pelo DAEE, embora necessitem de atualizações) e mapas geológicos e hidrogeológicos. Neste sentido o Mapa de Águas Subterrâneas, aqui apresentado, deve ser utilizado como uma primeira referência, pois delimita e caracteriza todos os aquíferos do Estado de São Paulo, oferecendo um panorama geral das suas potencialidades.



Fonte: Modificado de FOSTER & HIRATA (1988).

Figura 4.2. Gestão das águas subterrâneas.

Propõe-se que toda a estratégia de planejamento de Recursos Hídricos, tal como foi concebido na Lei Paulista das Águas, deva contemplar as seguintes ações:

1. Com relação à quantidade

1a. Reconhecer as áreas de maior exploração atual e demanda futura do recurso subterrâneo (**áreas críticas**), analisando-se tanto o número absoluto de poços e os volumes explorados, como também a densidade (proximidade) das captações e possíveis problemas de interferência entre poços. A identificação dos usuários e dos volumes extraídos permitirão estimar o valor econômico das águas subterrâneas na área estudada. As áreas críticas deverão ser gerenciadas levando-se em conta a bacia ou sub-bacia à qual elas pertencem. Os Indicadores 1 a 4 (**Quadro 4.1**) são instrumentos de identificação destas áreas, principalmente quando existirem dados em série histórica, permitindo a detecção de exploração excessiva dos aquíferos. A avaliação regional desenvolvida neste estudo mostra que as UGRHIs Alto Tietê, Turvo/Grande, Pardo e Tietê/Sorocaba são prioritárias, por apresentarem áreas com intensa exploração.

1b. Realizar uma avaliação preliminar dos recursos hídricos subterrâneos nas áreas críticas, incluindo a determinação das propriedades hidráulicas e o cálculo da recarga de aquíferos em áreas de exploração intensa. É importante assinalar que a recarga em áreas urbanizadas sofre grandes mudanças devido à impermeabilização do terreno e às fugas das redes de água e esgoto. A recarga e a disponibilidade hídrica da bacia onde se insere a área crítica (normalmente associada a um núcleo urbano) deverá ser acompanhada de uma avaliação da contribuição subterrânea que pereniza os corpos de água superficial. A falta de uma rede adequada de monitoramento de níveis d'água em poços, com medições pelo menos mensais, poderá ser parcialmente compensada pelo acompanhamento dos níveis potenciométricos de poços perfurados (níveis históricos), em diferentes anos para uma mesma região, com o objetivo de determinar as quedas da superfície potenciométrica. Mapas gerados a partir destes dados poderão indicar quedas nos níveis aquíferos como resultado de uma super-exploração. Estes mapas devem ser acompanhados do entendimento do modelo conceitual de circulação, e de cálculos de interferências entre captações e custos da extração da água.

1c. Implementar nas áreas críticas um programa de comunicação social que envolva os usuários dos recursos hídricos subterrâneos, conscientizando-os da importância da legalização dos poços de sua propriedade. Neste programa será também muito importante o envolvimento das empresas perfuradoras de poços. Com isto será possível determinar com mais precisão os volumes explorados, usos do recurso e localização das captações, elementos chave em qualquer programa de gestão de recursos hídricos.

1d. Elaborar um programa de avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, que deverá prever a instalação de poços de monitoramento para o acompanhamento dos níveis potenciométricos dos aquíferos ao longo do tempo e, inclusive, modelação numérica nas áreas mais densamente exploradas ou de grande importância para o abastecimento público e privado.

1e. Implementar ações ou projetos de manejo dos recursos hídricos subterrâneos nas áreas críticas dentro de um programa de gestão, com controle da perfuração de novos poços e estabelecimento de volumes de extração, de acordo com a capacidade dos recursos superficial e subterrâneo, nos termos dos Programas de Duração Continuada (PDC), relativos ao uso sustentável das águas subterrâneas (Política Estadual

de Recursos Hídricos – Lei 7663/91). Os mecanismos de fiscalização, participação pública e outorga são fundamentais nesta fase.

1f. Estabelecer ações rotineiras de monitoramento da profundidade dos níveis de água subterrânea, bem como de parâmetros indicativos da qualidade da água (cloreto, condutividade elétrica, pH, nitrato), que permitam alimentar o programa de gestão instituído e verificar a eficácia das medidas nele efetuadas.

As atividades 1c a 1f devem ocorrer simultaneamente e alimentarem-se mutuamente.

2. Com relação à qualidade

2a. Realizar cartografia de vulnerabilidade (em escala semi-regional – 1:50.000) à contaminação de aquíferos em áreas de maior perigo (alta/moderada vulnerabilidade associada à presença de elevadas cargas contaminantes) e onde as águas subterrâneas apresentam maior valor social e econômico, com o objetivo de identificar áreas suspeitas de contaminação. O Estado já dispõe de mapa de vulnerabilidade em escala de reconhecimento regional, 1:1.000.000, bem como de um primeiro reconhecimento das cargas contaminantes potenciais e do perigo de contaminação (interação vulnerabilidade e carga contaminante) (HIRATA *et al.* 1997). Mapeamentos de maior detalhe, sobretudo com relação a cargas potenciais, são um ponto de partida para a proteção efetiva dos aquíferos paulistas.

2b. Requerer estudos em escala de detalhe (1:10.000 ou maior) em áreas suspeitas de contaminação aos órgãos colegiados de gestão dos recursos hídricos. Tais estudos devem instalar redes de monitoramento para acompanhar a qualidade da água, na frequência compatível com a atividade contaminante e importância do recurso subterrâneo, nos termos da deliberação nº 52 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) do Estado de São Paulo.

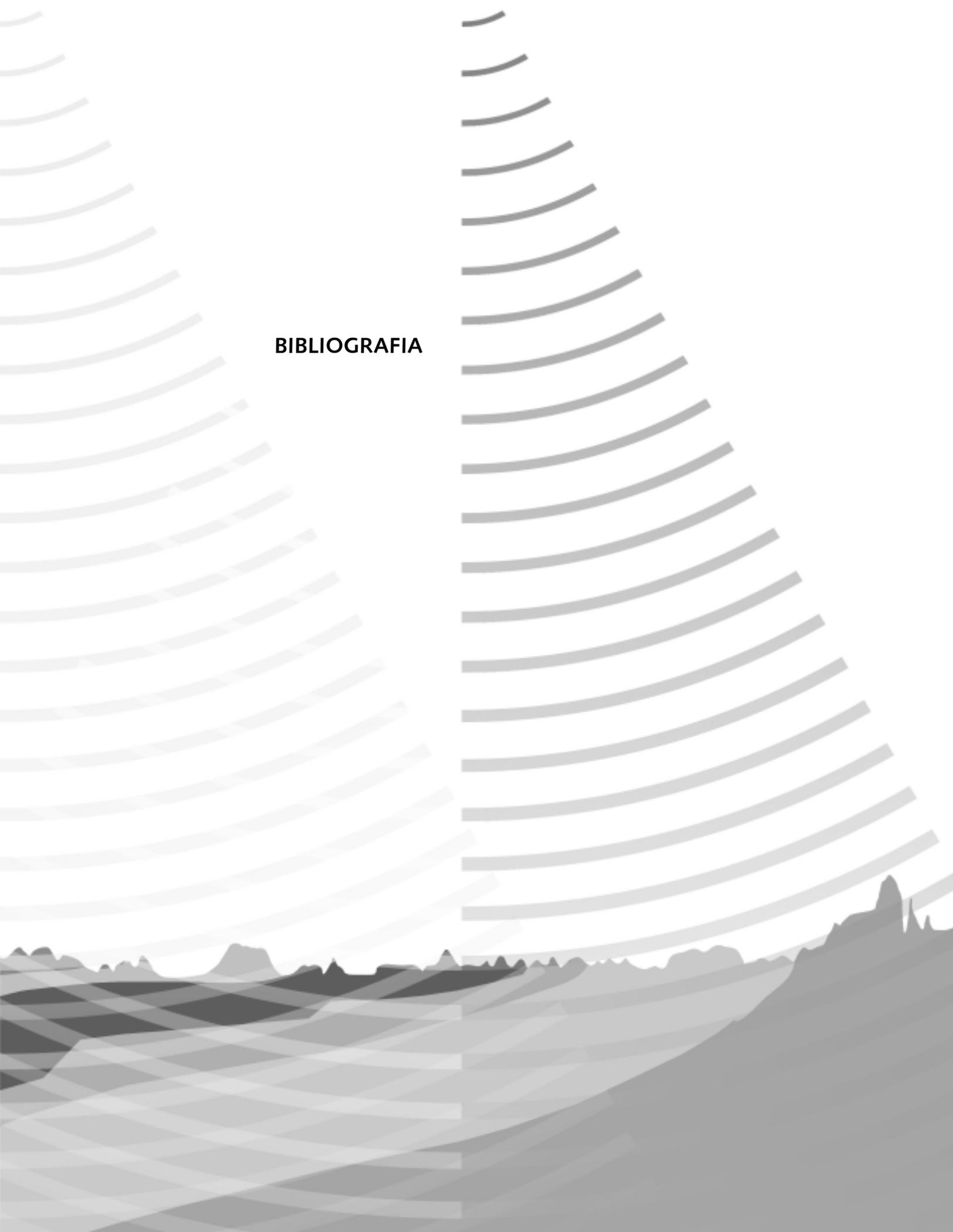
2c. Delimitar zonas de captura de poços de abastecimento público para posterior determinação dos perímetros de proteção de poços (PPP), havendo amparo na legislação para esta exigência (Lei 6.134/88, Decreto Estadual nº 32.955/91). Esta atividade, bem como a medição de todos os parâmetros previstos pela portaria 518 do Ministério da Saúde, deverá ser implementada pelas prefeituras (ou seus serviços de água) ou mesmo pela concessionária responsável pelo abastecimento local. As cargas contaminantes potenciais presentes dentro do PPP deverão ser avaliadas, inclusive quanto ao seu passivo ambiental (FOSTER *et al.* 2002). Nos locais onde fontes contaminantes importantes forem detectadas, um programa de monitoramento das águas do poço de abastecimento deverá ser estabelecido.

2d. Definir medidas de proteção das águas subterrâneas, como proposto pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos e pelos Planos de Bacia, compreendendo o controle e o tratamento de efluentes líquidos e sólidos, a restrição ou compatibilização do uso do terreno frente às exigências das águas subterrâneas (inclusive com relocação de poços para campos de poços), e o planejamento urbano.

2e. Instalar uma rede de monitoramento de qualidade, que faça uso de poços exclusivos para este fim, nas áreas de maior perigo, analisando parâmetros indicativos da qualidade da água (cloreto, condutividade elétrica, pH, nitrato, oxigênio-18 e deutério), com o objetivo de detectar variações regionais relacionadas a fontes dispersas, tipicamente agrícolas ou urbanas. Estes poços deverão apresentar 10 a 20 m de filtro

na zona saturada, com periodicidade mínima de coleta semestral. Variações estatísticas dos parâmetros analisados exigirão uma avaliação detalhada do local. Experiências com uma rede estão sendo iniciadas pela CETESB (CETESB 2004), porém utilizando poços de abastecimento.

Os dados de quantidade e de qualidade, já existentes ou a serem adquiridos, deverão ser avaliados conjunta e periodicamente pelos órgãos públicos responsáveis ou pelos órgãos de pesquisa aos quais isto seja delegado. Deve ser implementado um sistema de informações que possibilite o armazenamento de dados e a análise integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Tal sistema também deverá conter informações geradas por outros órgãos, tais como as relativas ao acompanhamento da qualidade das águas de poços pela Vigilância Sanitária da Secretaria de Estado da Saúde Paulista.

The background of the page is a light gray color. It features a series of curved, horizontal lines that sweep across the page from left to right. These lines are of varying lengths and are arranged in a way that creates a sense of depth and movement. At the bottom of the page, there is a dark gray silhouette of a city skyline, with several buildings of different heights and shapes. The overall aesthetic is modern and minimalist.

BIBLIOGRAFIA

- BIBLIOGRAFIA** AB' SABER, A. N. A Terra Paulista. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 23, jul., p. 5-38, 1956.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. *Série Teses e Monografias*, Universidade de São Paulo - Instituto de Geografia, n.14, 1974.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do Estado: Grupo São Bento. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, v. 41, p. 85-101, 1964.
- ALMEIDA, M. A. et al. Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Anais...* Camboriú: SBG, 1980. v. 5, p. 2799-2812.
- ALMODÓVAR, M. L. N. *A origem natural da poluição por cromo no Aquífero Adamantina, município de Urânia (SP)*. 2000. 199 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- BARCELOS, J. H.; LANDIM, P. M. B.; SUGUIO, K. Análise estratigráfica das seqüências cretáceas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. *Atas...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo SP, 1981. v. 2, p. 90-102.
- BERTACHINI, A. C. *Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiá*. 1987. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. Bacia do Paraná: Formações Pirambóia e Botucatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Roteiro de excursão...* São Paulo: SBG, 1992. 19 p.
- CAMPOS, H. C. N. S. *Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo*. 1993. 117 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- CAMPOS, J. E. et al. Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo (Brasil) na escala 1:1.000.000 - Resultados Parciais. In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABAS, 2000. (1 CD-ROM).
- CAMPOS, J. E. et al. Síntese do conhecimento hidrogeológico da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis - SC. *Anais...* Florianópolis: ABAS, 2002.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2004*. São Paulo: CETESB-SMA, 2005. 2 v. (Série Relatórios).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2001/2003*. São Paulo: CETESB-SMA, 2004. 211 p.
- COOPER, H. H.; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well filed story. *Transactions Am. Geophysical*, v. 27, p. 526-534, 1946.
- COSTA, W. D. Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 2. ed. Fortaleza: CPRM/ REFO, 2000. cap. 14, p. 341-367.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. *Hidrologia subterrânea*. Barcelona: Ed. Omega, 1976. Tomo I, Seção 8, p. 644.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 1 - Grande São Paulo*. São Paulo: DAEE, 1975. 3 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de águas subterrâneas, Região Administrativa 2 - Santos*. São Paulo: DAEE, 1979a. 2 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 3 - São José dos Campos*. São Paulo: DAEE, 1977. v. 1 e 3.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 4 - Sorocaba*. São Paulo: DAEE, 1982. 2 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 5 - Campinas*. São Paulo: DAEE, 1981. 2 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto*. São Paulo: DAEE, 1974. 4 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Regiões Administrativas 7, 8, 9 - Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba*. São Paulo: DAEE, 1976. v. 1 e 2.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de Águas Subterrâneas - Regiões Administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília*. São Paulo: DAEE, 1979b. v.1 e 2.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Regionalização hidrológica do Estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE, 1999. 1 CD-ROM.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. CONSÓRCIO JMR-ENGEORPS. *Síntese dos Planos de Bacia - Plano Estadual de Recursos Hídricos, 2004-2007*. São Paulo: DAEE/ Consórcio JMR-ENGEORPS, 2005. (Relatório nº 1/2005).

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC. *Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI*. São Paulo: DAEE/ IGC, 2003. 1 mapa.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER. *Mapa comemorativo: DER 70 anos*. São Paulo: DER, 2004. Escala 1:1.000.000.
- DIOGO, A. *et al.* Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba, PR... *Atas...*, Curitiba: SBG, 1981. v. 1, p. 359-368.
- ENVIRONMENT CANADA. *Groundwater: nature's hidden treasure*. Canada: Authority of the Minister of the Environment, 1993. (Freshwater Series, A-5).
- ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE - ESRI. *Software ARC/INFO: professional GIS*. Versão 7.1.2. Redlands, CA: ESRI, 1997.
- ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE - ESRI. *Software ArcGIS*. Versão 8.3. Redlands, CA: ESRI, 2002.
- FARJALAT, J. E. S. Comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos do sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: SBG, 1974. p. 69-70.
- FERNANDES, A. J. *Tectônica cenozóica na porção média da bacia do rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia de meios fraturados*. 1997. 244 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- FERNANDES, A. J. The influence of Cenozoic Tectonics on the groundwater-production capacity and vulnerability of fractured rocks: a case study in Sao Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDWATER IN FRACTURED ROCKS, 2003, Praga. *Proceedings...* Praga: IAH/ UNESCO, 2003. p.81-82.
- FERNANDES, A. J.; RUDOLPH, D. The influence of Cenozoic Tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, v. 9, p.151-167, 2001.
- FERNANDES, L. A. *A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá*. 1992. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- FERNANDES, L. A. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. 1998. 216 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*. São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 506-508.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. *Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data*. Lima, Peru: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences PAHO/WHO, 1988. 98 p.
- FOSTER, S. *et al.* *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies*. Washington, DC: The World Bank, 2002. 103 p.
- FRAGA, C. G. *Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná*. 1992. 178 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- FRANGIPANI, A.; PANNUTI, E. L. Estudos Hidrológicos na Bacia de Taubaté, entre Jacareí e Quiririm. *Bol. do IGG*, São Paulo, n. 42, 126 p, 1965.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. *Demografia: população do Estado atinge 40 milhões*. São Paulo: SEADE, 2005. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 02 set. 2005.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da bacia sedimentar de São Paulo. In: MESA REDONDA ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, 1980, São Paulo. *Publicação especial...* São Paulo: ABGE / SBG, 1980. p. 5-13.
- HIRATA, R. C. A.; BASTOS, C.; ROCHA, G. (Coord.). *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: IG-SMA/ CETESB/ DAEE, 1997. 2 v.
- HIRATA, R. C. A. *et al.* La explotación de las aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica del Alto Tietê: cronica de una crisis anunciada. *Boletín Geológico Minero de Espana*, Madrid, n. 113, v. 3, p. 273-282, 2002.
- HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, SP, n. 31, v. 1, p. 43-50, 2001.
- HIRATA, R. C. A.; SUHOGUSOFF, A. V.; FERNANDES, A. J. Groundwater resources in the state of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências -AABC*, no prelo.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Mapa topográfico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000*. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <www.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas>. Acesso em: jun. 2004.

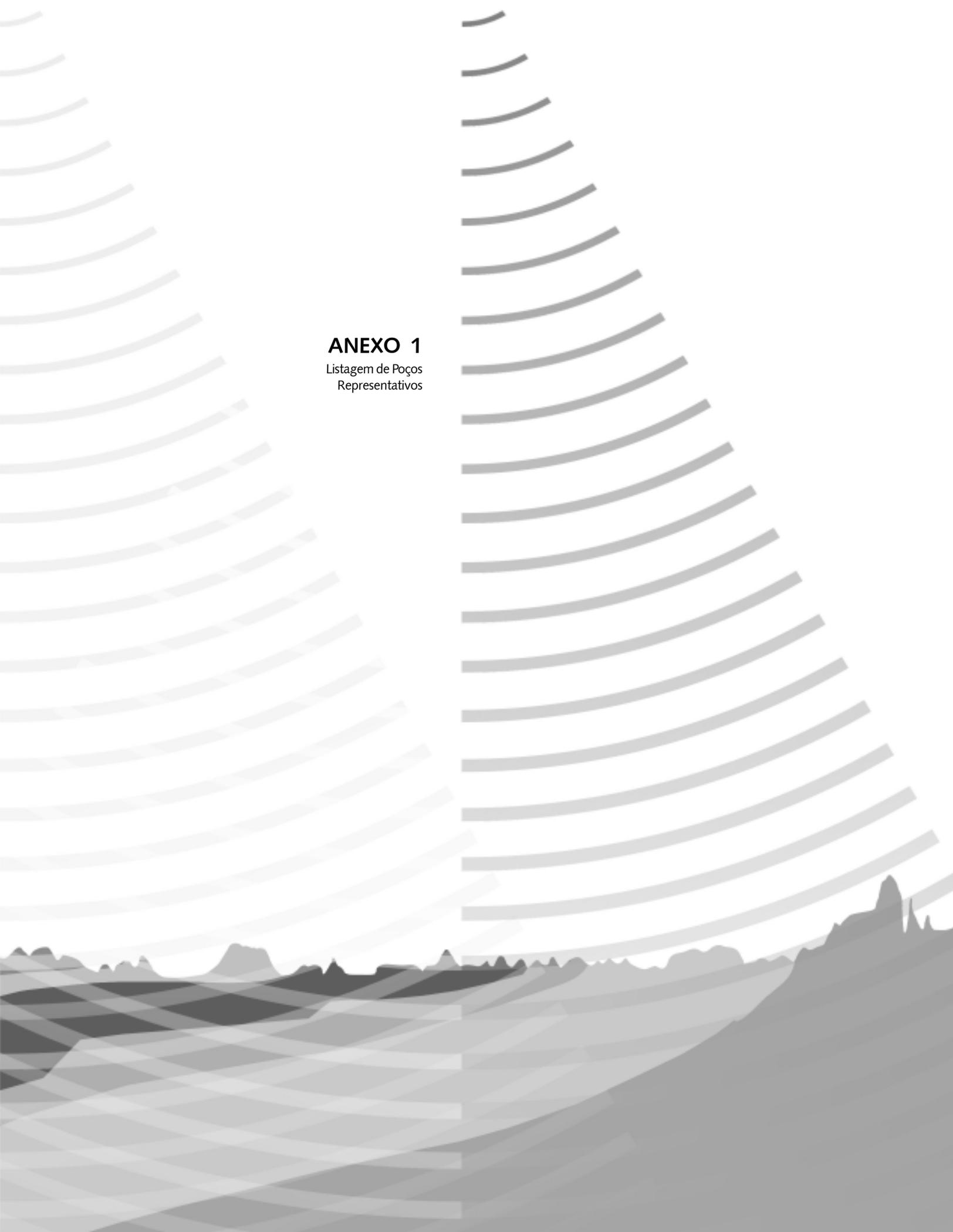
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Base de informações do censo demográfico 2000, resultados por município*. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 CD-ROM.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. *Informações estatísticas da agricultura, Anuário IEA 2004*. São Paulo: IEA, 2005. v. 16, n.1. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 05 out. 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo: IPT, 1994. 2 v. (Relatório, 32 263; Publicação, 2 089).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Pardo - Relatório Final*. São Paulo: IPT, 2000. 3 v. (Relatório, 40 670).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Diagnóstico da Situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande*. São Paulo: Convênio IPT/ CBH-TG/ FEHIDRO, 1999. (Relatório, 40 515).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000*. São Paulo: IPT, 1981a. 2 v. (Monografias, 6; Publicação, 1 184).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000*. São Paulo: IPT, 1981b. 2v. (Monografias, 5; publicação, 1 183).
- INSTITUTO FLORESTAL. *Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA/ IF/ Imprensa Oficial, 2005. 1 atlas (200 p.), 1 mapa.
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos: ocorrência e exploração. Folha de Salto de Pirapora - SP 1:50.000*. São Paulo, 1990. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Estudo geológico e hidrogeológico do município da Estância Hidromineral de Poá*. São Paulo, 2000. 66 p., 3 mapas. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos fraturados Pré-cambrianos da Região Metropolitana de Campinas*. São Paulo, 2002. 81 p. (Relatório Interno - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP)*. São Paulo, 1993. 3 v. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Itu (SP)*. São Paulo, 1991. 3 v. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Subsídios do meio físico-geológico para o planejamento do município de Sorocaba (SP)*. São Paulo, 1990. 2 v. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP*. São Paulo, 1995. 3 v. (Relatório Técnico - Instituto Geológico).
- INSTITUTO GEOLÓGICO - IG. *Zoneamento das áreas de recarga dos aquíferos do Balneário do município de Águas de Lindóia*. São Paulo, 1997. 78 p., mapas. (Relatório Interno - Instituto Geológico).
- IRITANI, M. A. *Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea*. 1998. 200 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- IRITANI, M. A. *et al.* Delimitação da área de recarga de fontes em aquífero fraturado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABAS, 1998. 10p. 1 CD-ROM.
- IRITANI, M. A. *et al.* Zoneamento das características hidrodinâmicas (transmissividade e capacidade específica) do sistema aquífero Bauru no Estado de São Paulo - Brasil. In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1., 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABAS, 2000. (1 CD-ROM).
- LEITE, C. A. S. *et al.* Folha SF.23 - Rio de Janeiro. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: CPRM, 2004. (Programa Geologia do Brasil). 1 CD-ROM.
- LOPES, R. C. *et al.* Folha SF.22 - Parapanema. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: CPRM, 2004. (Programa Geologia do Brasil). 1 CD-ROM.
- MADRUCCI, V. *Prospecção de água subterrânea em terreno cristalino utilizando-se análise integrada de dados de sensoriamento remoto, geofísicos e técnicas de geoprocessamento, região de Lindóia, SP*. 2004. 226 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MANCINI, F. *Estratigrafia e aspectos da tectônica deformadora da Formação Pindamonhangaba, Bacia de Taubaté, SP*. 1995. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MENEGASSE, L. N. *Estudo hidrogeológico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque a NW da Grande São Paulo: critérios para locação de poços profundos*. 1991. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

- MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 265-280.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, n. 8, v. 1, p. 69-82, 1994.
- MONBEIG, P. A divisão regional do estado de São Paulo. *An. Assoc. Geógr. Bras.*, São Paulo, n. 1 (1945/1946), p. 19-30, 1949.
- MONTEIRO, C. A. de F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo sob forma de atlas*. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1973.
- ODA, G. H. *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*. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geologia Econômica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- PARIZEK, R.; GOLD, D. *Fracture trace and lineament analysis*. Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1994. 91 p. (Course Notes).
- PERRONI, J. et al. Ocorrência de fluoreto nos aquíferos da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5., 1985, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG, 1985. p. 503:514.
- PERROTTA, M. M. et al. Folha SG.22 - Curitiba. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: CPRM, 2004. (Programa Geologia do Brasil). 1 CD-ROM.
- PERROTTA, M. M. et al. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000*. São Paulo: CPRM, 2005. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D. Avaliação regional do potencial de produtividade de aquíferos cristalinos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBG, 2002. p. 166.
- QUADROS, E. F. de. et al. 3-D hydraulic tests on weathered-fractured basalt - Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ROCK MECHANICS, 7., 1991, Aachen. *Proceedings...* Aachen: International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1991. p. 595-601.
- REBOUÇAS, A. C. Potencialidade hidrogeológica dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. *Anais...* Recife: SBG, 1978. v. 6, p. 2963-2976.
- RICCOMINI, C. *O Rift continental do Sudeste do Brasil*. 1989. 256 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M. Geologia da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: FERREIRA, A. A.; ALONSO, U. R.; LUZ, P. L. (Ed.). *Solos da Cidade de São Paulo*. São Paulo: ABMS/ ABEF, 1992. p. 37-94.
- RICCOMINI, C.; NEVES, F. A. P. S.; TURCQ, B. Astroblema de Colônia (São Paulo, Brasil): estágio atual de conhecimento. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Roteiro de Excursão...* São Paulo: SBG, 1992. v. 3, 15 p.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 77-92.
- ROCHA, G. A. et al. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aquífero Bauru. O grupo Bauru no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA & HIDROGEOLOGIA, 1., 1982, São Paulo. *Publicação Especial...* São Paulo: SBG/ABAS, 1982.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Dep. de Geografia - FFLCH - USP/ Laboratório de Cartografia Geotécnica - IPT/ FAPESP, 1997. 2 v.
- SALVADOR, E. D. *Análise neotectônica da região do Vale do Rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. 1994. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- SALVADOR, E. D. et al. Folha SG.23 - Iguape. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: CPRM, 2004. (Programa Geologia do Brasil). 1 CD-ROM.
- SANT'ANNA, L. G. *Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil*. 1999. 291 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- SANT'ANNA, L. G.; RICCOMINI, C. Cimentação hidrotermal em depósitos sedimentares paleogênicos do rift continental do sudeste do Brasil: mineralogia e relações tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 31, v. 2, p. 231-240, 2001.

- SANT'ANNA NETO, J. L. *As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência de pluviosidade na perspectiva da análise geográfica*. 1995. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS - SRHSO. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - Plano Estadual de Recursos Hídricos*. São Paulo: DAEE, 2002. 119 p. il.
- SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1966. Escala 1:2.000.000.
- SILVA, R. B. G. *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo*. 1983. 133 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.
- STEWART, K. *et al.* 3-D ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology in the Paraná flood basalt province. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 143, p. 95-110, 1996.
- STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. International Association of Hydrogeologists. Hannover: Heise, 1995. (International Contributions to Hydrogeology, v. 17).
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. *Mapas geológicos das planícies costeiras quaternárias do Estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro (1:100.000), Folhas de Cananéia, Iguape, Itanhaém, Santos, Bertioga, Caraguatatuba, Ubatuba e Parati*. São Paulo: DAEE/ SOMA, 1978.
- SZIKSZAY, M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas: uma metodologia aplicada nas regiões do Vale do Paraíba e Ribeirão Preto - Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Águas Subterrâneas*, n. 2, v. 1, p. 26-32, 1980.
- TAKAHASHI, A.T. *et al.* *Hidrogeologia das Bacias de drenagem dos rios Mogi-Guaçu e Pardo*. Relatório técnico. Projeto Mogi-Guaçu/ Pardo. São Paulo: CPRM/ Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SP, 2003. v. 3, 92 p.
- TAKIYA, H. *Estudo da sedimentação Neogênico-Quaternário no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana*. 1997. 152 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- TAKIYA, H. *et al.* Arcabouço estrutural da Bacia de São Paulo. In: WORKSHOP SOBRE A GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO, 1989, São Paulo. *Anais...* São Paulo: IG-USP/ SBG-NSP, 1989. p.16-26.
- THEIS, C. V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Trans. Am. Geophys. Union*, 16th Ann. Meeting, part 2, 1935.
- THEODOROVICZ, A. *et al.* *Projeto Engenheiro Maia - Ribeirão Branco. Relatório Final*. São Paulo: CPRM/ SICCT, 1986. 3 v.
- TOKARSKY, O. *Hidrogeology of the Rock Mountain House Area*. Alberta: Research Council of Alberta, 1971. Report 71-3, 15 p.
- TURNER, S. *et al.* Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 121, p. 333-348, 1994.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. *International legend for hydrogeological maps*. England: UNESCO/ IASH/ IAH/ Institute of Geological Sciences, 1970.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO; INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS - IAH. *Development of groundwater indicators for second edition of the World Water Development Report*. Paris: Groundwater Indicators Working Group, 2004. 18 p. Third Version (Draft).
- VIDAL, A. C. *Estudo Hidrogeológico do Aquífero Tubarão na Área de Afloramento da Porção Central do Estado de São Paulo*. 2002. 109 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
- VIDAL, A. C.; CHANG, H. K. Análise geoestatística da salinidade dos aquíferos da bacia de Taubaté. *Rev. Bras. Geoc.*, n. 34, v. 1, p. 109-116, 2004.
- VIDAL, A. C.; CHANG, H. K. Caracterização hidroquímica dos aquíferos da Bacia de Taubaté. *Rev. Bras. Geoc.*, n. 32, v. 2, p. 267- 276, 2002.
- VRBA, J. *et al.* Groundwater resources sustainability indicators. In: IAHS SCIENTIFIC ASSEMBLY, 7., 2005, Foz do Iguaçu (Brazil). *Proceedings...* Foz do Iguaçu: IAHS, 2005. (in press).
- WAHBA, G. Spline models for observational data, SIAM. *CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics*, Philadelphia, v. 59, 1990.

ANEXO 1

Listagem de Poços
Representativos



ANEXO 1

Listagem de Poços
Representativos

Nº	Município	Coord. Geográficas (1)		Poço		Aquífero	Vazão	NE	ND	Q/s
		latitude	longitude	cota (m)	prof.(m)					
1	IRAPURU	-21,5628	-51,3475	426	196	Bauru	13,2	34,50	90	0,24
2	OCAUÇU	-22,4386	-49,9289	520	66	Bauru	5,3	6,80	49	0,13
3	NOVA GRANADA	-20,5339	-49,3192	540	120	Bauru	19,8	42,00	54	1,62
4	STO. ANTÔNJO DO ARACANGUÁ	-20,8717	-50,4917	415	107	Bauru	12,0	12,00	65	0,23
5	PROMISSÃO	-21,6561	-50,0097	450	135	Bauru	8,2	29,50	92	0,13
6	PARAGUAÇU PAULISTA	-22,4300	-50,5794	510	94	Bauru	7,4	42,70	71	0,26
7	ÁLVARES MACHADO	-22,0864	-51,4786	450	260	Bauru	17,2	85,50	130	0,38
8	INDIANA	-22,1756	-51,2511	520	150	Bauru	19,3	43,50	94	0,38
9	TANABI	-20,6472	-49,6749	545	83	Bauru	10,0	15,00	44	0,34
10	OLÍMPIA	-20,6034	-48,9505	550	94	Bauru	10,0	29,77	63	0,3
11	RUBIÁCEA	-21,4234	-50,8258	400	123	Bauru	9,9	6,90	42	0,28
12	SEVERINIA	-20,8086	-48,8013	640	150	Bauru	28,0	42,90	108	0,43
13	FERNANDÓPOLIS	-20,2736	-50,2539	520	152	Bauru	8,7	33,70	104	0,12
14	GENERAL SALGADO	-20,6422	-50,3519	510	56	Bauru	10,7	18,20	48	0,36
15	MIRASSOL	-20,8247	-49,5056	560	221	Bauru	36,0	70,80	133	0,58
16	DRACENA	-21,4811	-51,5367	410	180	Bauru	66,0	65,20	86	3,16
17	CLEMENTINA	-21,5608	-50,4458	460	95	Bauru	13,6	32,60	75	0,32
18	MARÍLIA	-22,2269	-49,9369	650	320	Bauru	3,6	112,60	134	0,17
19	IRAPUÁ	-21,3208	-49,3686	485	120	Bauru	7,9	30,50	78	0,17
20	SANTA MERCEDES	-21,3564	-51,7492	355	160	Bauru	40,6	26,70	40	3,01
21	PIRATININGA	-22,4211	-49,1358	530	131	Bauru	4,0	38,30	91	0,08
22	CASTILHO	-20,8639	-51,4964	382	138	Bauru	63,4	16,00	70	1,17
23	PANORAMA	-21,3675	-51,8553	325	119	Bauru	56,6	45,70	80	1,65
24	BILAC	-21,3967	-50,4822	463	127	Bauru	21,4	21,80	89	0,32
25	BRAÚNA	-21,5031	-50,3206	485	149	Bauru	18,9	26,00	66	0,47
26	GUAÍÇARA	-21,6153	-49,7958	460	148	Bauru	8,8	22,60	127	0,08
27	CAFELÂNDIA	-21,6633	-49,4342	440	104	Bauru	10,5	19,70	60	0,26
28	QUITANA	-22,0681	-50,3006	600	263	Bauru	13,9	1,02	134	0,1
29	QUATÁ	-22,2647	-50,6467	540	148	Bauru	50,0	30,00	102	0,69
30	URÂNIA	-20,2436	-50,6342	430	75	Bauru	13,6	4,50	61	0,24
31	JALES	-20,2878	-50,5489	445	113	Bauru	16,0	25,60	72	0,34
32	SÃO FRANCISCO	-20,3619	-50,7003	405	150	Bauru	18,7	18,50	119	0,19
33	NOVA CANAÃ PAULISTA	-20,3864	-50,9525	385	111	Bauru	41,7	6,20	38	1,3
34	VALENTIM GENTIL	-20,4300	-50,0786	487	132	Bauru	8,8	10,10	95	0,1
35	DIRCE REIS	-20,4639	-50,6058	400	110	Bauru	14,1	20,50	78	0,25
36	FLOREAL	-20,6797	-50,1433	490	113	Bauru	4,0	49,80	103	0,08
37	NHANDEARA	-20,6989	-49,9494	530	172	Bauru	13,2	29,90	129	0,13
38	COLINA	-20,7086	-48,5247	585	82	Bauru	22,0	11,70	72	0,37
39	ANDRADINA	-20,9158	-51,3822	360	93	Bauru	34,5	23,50	71	0,73

Nº	Município	Coord. Geográficas (1)		Poço		Aquífero	Vazão m3/h	NE (m)	ND (m)	Q/s (m3/h/m)
		latitude	longitude	cota (m)	prof.(m)					
40	TABAPUÃ	-20,9667	-49,0353	530	114	Bauru	7,0	28,90	54	0,28
41	PITANGUEIRAS	-20,9983	-48,3347	625	82	Bauru	6,0	21,20	53	0,19
42	POTIRENDABA	-21,0494	-49,3767	480	155	Bauru	20,8	65,10	101	0,59
43	PIRANGI	-21,1000	-48,6717	595	110	Bauru	22,0	47,00	83	0,6
44	LAVÍNIA	-21,1294	-51,0317	425	144	Bauru	11,2	16,70	41	0,46
45	VALPARAÍSO	-21,2203	-50,8775	440	187	Bauru	11,2	30,00	123	0,12
46	MONTE ALTO	-21,2753	-48,4922	650	140	Bauru	4,4	77,00	104	0,16
47	RUBIÁCEA	-21,3019	-50,7289	435	132	Bauru	11,0	10,70	82	0,15
48	CÂNDIDO RODRIGUES	-21,3256	-48,6278	590	152	Bauru	7,5	49,20	62	0,57
49	PENÁPOLIS	-21,4289	-50,0889	413	181	Bauru	7,5	21,30	94	0,1
50	PIACATU	-21,5897	-50,6078	380	125	Bauru	9,9	59,50	93	0,29
51	ALTO ALEGRE	-21,6250	-50,2419	470	202	Bauru	14,4	33,80	112	0,18
52	SALMOURÃO	-21,6281	-50,8531	430	200	Bauru	11,3	36,50	116	0,14
53	LUCÉLIA	-21,7281	-51,0206	430	191	Bauru	16,5	34,50	122	0,19
54	ARCO ÍRIS	-21,7736	-50,4631	440	142	Bauru	3,5	25,40	97	0,05
55	QUEIROZ	-21,7967	-50,2447	400	144	Bauru	10,6	40,60	97	0,19
56	MARIÁPOLIS	-21,8011	-51,1769	360	200	Bauru	35,0	31,30	116	0,41
57	SANTO EXPEDITO	-21,8506	-51,3883	395	196	Bauru	22,6	23,30	78	0,42
58	SAGRES	-21,8853	-50,9578	432	150	Bauru	13,7	37,90	113	0,18
59	PIQUEROBI	-21,8894	-51,7239	405	221	Bauru	27,3	29,80	66	0,75
60	TUPÃ	-21,9464	-50,5011	510	240	Bauru	105,0	35,20	116	1,3
61	SANTO ANASTÁCIO	-21,9861	-51,6664	390	196	Bauru	21,0	54,10	101	0,44
62	CAIABU	-22,0119	-51,2397	480	190	Bauru	34,4	45,00	89	0,77
63	PIRAJUÍ	-22,0575	-49,6242	460	136	Bauru	24,0	45,50	97	0,46
64	ORIENTE	-22,1592	-50,0983	510	163	Bauru	10,3	21,30	83	0,17
65	TARABAI	-22,3003	-51,5800	410	236	Bauru	41,7	37,60	77	1,05
66	ESTRELA DO NORTE	-22,4856	-51,6556	370	150	Bauru	16,3	39,00	84	0,37
67	TEODORO SAMPAIO	-22,5261	-52,1794	365	160	Bauru	150,0	74,60	105	4,93
68	EUCLIDES DA CUNHA PAULISTA	-22,5572	-52,5875	290	100	Bauru	44,0	13,40	36	1,92
69	ITÁPOLIS	-21,5161	-48,6903	523	101	Bauru	6,7	16,80	86	0,1
70	PEREIRA BARRETO	-20,6167	-51,1000	365	1042	Guarani	1100,0	+72	+6	17,18
71	LUÍS ANTÔNIO	-21,5711	-47,7357	650	150	Guarani	75	41,00	46	15,00
72	SERRA AZUL	-21,3173	-47,5564	620	239	Guarani	11	25,00	159	0,10
73	AVARÉ	-23,0945	-48,9278	760	420	Guarani	92	143,00	151	11,50
74	PITANGUEIRAS	-21,0138	-48,2189	510	692	Guarani	280	29,00	107	3,59
75	LINS	-21,6717	-49,7686	441	1042	Guarani	617	9,00	41	19,28
76	CATANDUVA	-21,1238	-48,9713	530	770	Guarani	587	85,00	113	20,96
77	NOVO HORIZONTE	-21,4744	-49,2280	451	600	Guarani	225	14,00	29	15,00
78	AREALVA	-22,0520	-49,0329	480	73	Guarani	10	30,00	34	2,50
79	RIBEIRÃO PRETO	-21,2564	-47,7948	610	200	Guarani	50	57,00	70	3,85
80	VOTUPORANGA	-20,4353	-49,9700	520	1352	Guarani	442	71,00	138	6,60
81	MARÍLIA	-22,2464	-49,9921	580	1200	Guarani	309	134,00	178	7,02

Nº	Município	Coord. Geográficas (1)		Poço		Aquífero	Vazão m3/h	NE (m)	ND (m)	Q/s (m3/h/m)
		latitude	longitude	cota (m)	prof.(m)					
82	PRES. PRUDENTE	-22,1220	-51,4140	407	1975	Guarani	500,0	14,00	46	0,16
83	ARAÇATUBA	-21,1736	-50,4444	415	1200	Guarani	400,0	jorrante		
84	MATÃO	-21,6140	-48,3494	594	580	Guarani	165	87,00	124	4,46
85	S. JOAQUIM DA BARRA	-20,5935	-47,8664	690	586	Guarani	186	140,00	220	2,33
86	GAVIAO PEIXOTO	-21,8388	-48,4933	510	321	Guarani	84	61,00	88	3,11
87	S.J.RIO PRETO	-20,8072	-49,3742	467	1100	Guarani	500	25,00	73	10,40
88	IBITINGA	-21,7412	-48,8246	460	434	Guarani	169	36,00	117	2,10
89	ÁGUAS STA BÁRBARA	-22,8805	-49,2376	560	120	Guarani	36,0			
90	ARARAQUARA	-21,7788	-48,0938	670	231	Guarani	161	113,00	140	5,96
91	BARRETOS	-20,5227	-48,5653	575	1015	Guarani	125	97,00	113	7,81
92	BARRINHA	-21,1925	-48,1493	530	410	Guarani	163	39,00	84	3,62
93	BERNARDINO DE CAMPOS	-23,0189	-49,4807	660	509	Guarani	171	94,00	124	5,70
94	BRODÓSQUI	-20,9830	-47,6356	795	450	Guarani	119	250,00	265	7,93
95	GUARIBA	-21,3549	-48,2232	590	600	Guarani	200	97,00	108	18,18
96	IGARAÇU DO TIETÊ	-22,5116	-48,5538	470	300	Guarani	220	25,00	72	4,68
97	JABOTICABAL	-21,2552	-48,3110	555	456	Guarani	77,0	4,00	97	0,83
98	NOVA EUROPA	-21,7779	-48,5703	530	305	Guarani	75	59,00	72	5,77
99	PEDERNEIRAS	-22,3460	-48,7770	480	322	Guarani	100	38,00	116	1,28
100	PIRANGI	-21,0903	-48,6678	530	557	Guarani	227	106,00	124	12,61
101	SÃO CARLOS	-22,0205	-47,8879	805	130	Guarani	100,0	40,00	58	5,55
102	PIRATININGA	-22,3955	-49,1166	480	144	Guarani	72,0	13,00	24	7,86
103	BATATAIS	-20,8644	-47,5314	695	262	Guarani	116	84,00	114	4,00
104	MOCOCA	-21,5328	-47,0661	600	115	Tubarão	5,8	8,0	75,0	0,09
105	CASA BRANCA	-21,7811	-47,0228	762	321	Tubarão	31,2	80,2	88,8	3,63
106	ITABERA	-23,7600	-49,2758	510	250	Tubarão	0,8	0,0	82,3	
107	TAQUARIVAI	-23,9331	-48,6936	600	155	Tubarão	9,5	3,5	97,5	0,10
108	JAGUARIUNA	-22,6442	-47,0014	580	68	Tubarão	6,00	4,00	48,00	0,14
109	SARAPUI	-23,6556	-47,6947	623	200	Tubarão	2,22	55,50	150,20	0,02
110	TIETE	-23,0889	-47,6931	485	300	Tubarão	21,40	37,50	54,03	1,29
111	ITU	-23,3853	-47,3508	620	123	Tubarão	10,80	32,40	49,70	0,62
112	IBIUNA	-23,8789	-47,1875	604	244	Tubarão	7,20	37,50	101,00	0,11
113	GUARULHOS	-23,47503	-46,52348	728	252	S.Paulo	21,0	95	105	2,09
114	OSASCO	-23,5387	-46,7623	750	90	S. Paulo	4,5	64,00	71	0,62
115	GUARULHOS	-23,4131	-46,4334	748	216	S.Paulo	31,0	75,00	171	0,33
116	SAO PAULO	-23,6261	-46,6846	735	180	S. Paulo	44,0	46,00	85	1,12
117	SAO PAULO	-23,5396	-46,5918	737	175	S.Paulo	28,3	84,00	102	1,58
118	SAO PAULO	-23,5756	-46,6500	780	152	S. Paulo	8,0	63,00	88	0,32
119	CANAS	-22,7122	-45,0553	540	141	Taubaté	33,0	42,70	58	2,19
120	GUARATINGUETÁ	-22,8025	-45,2142	525	200	Taubaté	99,1	5,80	24	5,60
121	S. JOSÉ DOS CAMPOS	-23,2219	-45,9136	582	200	Taubaté	22,6	58,00	94	0,62
122	CAÇAPAVA	-23,1144	-45,7050	560	150	Taubaté	107,0	16,90	36	5,63

N°	Município	Coord. Geográficas (1)		Poço		Aquífero	Vazão	NE	ND	Q/s
		latitude	longitude	cota (m)	prof.(m)					
123	ILHA COMPRIDA	-24,7381	-47,5636	2	74	Litorâneo	6,0	2,50	3	15,00
124	PRAIA GRANDE	-24,0106	-46,4167	5	63	Litorâneo	13,2	3,00	24	0,63
125	SÃO VICENTE	-23,9653	-46,3903	5	69	Litorâneo	10,0	2,50	56	0,19
126	BERTIOGA	-23,8456	-46,1406	10	100	Litorâneo	3,0	2,00	64	0,05
127	ITARARÉ	-24,0936	-49,3447	720	220	Furnas	1,5	48,00	90	0,03
128	NANTES	-22,6192	-51,2383	415	201	Ksg	14,4	40,00	72	0,45
129	TARUMÃ	-22,7489	-50,5717	400	81	Ksg	37,7	1,10	40	0,97
130	PARAGUAÇU PTA.	-22,5447	-50,5964	390	100	Ksg	14,6	22,30	32	1,47
131	CÂNDIDO MOTA	-22,7442	-50,3825	460	150	Ksg	17,6	11,00	92	0,22
132	ESPIRITO STO. DO PINHAL	-22,6942	-49,4331	510	90	Ksg	12,6	23,40	76	0,24
133	IBIRAREMA	-22,7956	-50,0772	410	150	Ksg	41,2	3,10	34	1,32
134	ÓLEO	-22,9386	-49,3406	600	150	Ksg	24,0	7,30	21	1,71
135	ARANDU	-23,1375	-49,0583	630	129	Ksg	15,2	1,00	68	0,23
136	JABORANDI	-20,6811	-48,4089	470	142	Ksg	35,7	0,20	47	0,76
137	MORRO AGUDO	-20,6275	-48,2911	470	151	Ksg	18,3	33,60	113	0,23
138	BORBOREMA	-21,6217	-49,0772	400	180	Ksg	30,4	0,00	82	0,37
139	AMÉRICO BRASILIENSE	-21,7286	-48,1158	675	120	Ksg	79,7	0,00	33	2,42
140	MOTUCA	-21,5103	-48,1511	615	100	Ksg	14,4	28,70	56	0,53
141	JAÚ	-22,2714	-48,5436	520	180	Ksg	16,8	77,00	107	0,57
142	VALENTIM GENTIL	-20,4869	-50,1858	378	150	Ksg	24,7	2,40	43	0,60
143	IPUÃ	-20,4333	-48,0139	550	127	Ksg	19,0	9,70	71	0,31
144	INDIAPORÃ	-19,9872	-50,2983	409	162	Ksg	56,6	37,50	62	2,32
145	RIOLÂNDIA	-19,9822	-49,6664	410	150	Ksg	60,9	31,70	67	1,74
146	PEDRANÓPOLIS	-20,1606	-50,0794	415	131	Ksg	31,7	20,70	56	0,91
147	COLÔMBIA	-20,1725	-48,6856	465	148	Ksg	13,0	14,20	56	0,31
148	AREALVA	-22,0286	-48,9097	440	126	Ksg	36,0	5,40	37	1,14
149	S. JOAQUIM DA BARRA	-20,5764	-47,8625	590	122	Ksg	40,0	0,60	51	0,80
150	JERIQUARA	-20,3136	-47,5911	835	90	Ksg	34,8	6,00	60	0,64
151	BURITIZAL	-20,1903	-47,7011	835	148	Ksg	12,2	38,00	93	0,22
152	SANTANA DE PARNAÍBA	-23,4392	-46,9301	720	120	PE	22,6	4,50	65	0,37
153	FRANCISCO MORATO	-23,2671	-46,7439	780	151	PE	2,0	1,50	93	0,02
154	CAMPOS DO JORDÃO	-22,7390	-45,6115	1760	232	PE	3,0	21,00	147	0,02
155	BANANAL	-22,6722	-44,1977	520	102	PE	14,9	5,50	19	1,15
156	APARECIDA	-22,8520	-45,2352	540	100	PE	15,0	1,00	22	0,71
157	CUNHA	-22,9180	-44,8180	1010	88	PE	13,2	2,20	70	0,19
158	LAGOINHA	-23,0865	-45,2059	835	203	PE	7,8	1,80	79	0,10
159	JACARÉ	-23,3252	-45,8112	660	150	PE	7,3	1,20	93	0,08
160	REDENÇÃO DA SERRA	-23,2777	-45,5357	720	160	PE	8,5	5,70	90	0,10
161	S. LOURENÇO DA SERRA	-23,8507	-46,9431	710	147	PE	10,0	5,30	67	0,16
162	JUQUITIBA	-23,9821	-47,1450	760	150	PE	14,9	3,90	94	0,17
163	SETE BARRAS	-24,3883	-47,9313	30	150	PE	10,2	7,00	61	0,19

Nº	Município	Coord. Geográficas (1)		Poço		Aquífero nome	Vazão m3/h	NE (m)	ND (m)	Q/s (m3/h/m)
		latitude	longitude	cota (m)	prof.(m)					
164	ÁGUAS DE LINDÓIA	-22,4673	-46,6283	900	142	PE	25,0	5,00	46	0,61
165	PEDREIRA	-22,7415	-46,8978	610	150	PE	6,8	6,00	40	0,20
166	MONTE ALEGRE DO SUL	-22,7238	-46,6240	831	100	PE	7,0	3,00	84	0,09
167	CAMPINAS	-22,7576	-47,0139	590	80	PE	16,6	1,70	14	1,35
168	PEDREIRA	-22,7586	-46,9034	700	131	PE	12,3	3,00	33	0,40
169	TUIUTI	-22,8515	-46,7200	750	150	PE	21,4	0,50	74	0,29
170	VARGEM	-22,8820	-46,4149	840	180	PE	3,0	0,00	98	0,03
171	SALTO	-23,2033	-47,2808	520	120	PE	6,8	17,00	70	0,13
172	ITUPEVA	-23,1925	-47,0497	720	160	PE	4,3	3,00	73	0,06
173	VINHEDO	-23,0205	-46,9407	800	150	PE	11,7	38,00	90	0,23
174	ATIBAIA	-23,0484	-46,6703	740	150	PE	5,1	6,00	42	0,14
175	PIRACAIA	-23,0443	-46,3448	780	151	PE	5,7	3,20	115	0,05
176	IGARATÁ	-23,2239	-46,1287	660	172	PE	3,9	33,00	91	0,07
177	ITU	-23,2576	-47,2754	570	137	PE	0,8	17,00	94	0,01
178	CABREÚVA	-23,2858	-47,0628	810	160	PE	5,3	1,10	84	0,06
179	JUNDIAI	-23,2697	-46,8695	790	140	PE	4,4	11,00	110	0,04
180	IBIÚNA	-23,6927	-47,3397	850	240	PE	4,6	1,00	143	0,03
181	SOROCABA	-23,5011	-47,4117	590	120	PE	4,0	12,00	79	0,06
182	SÃO ROQUE	-23,5393	-47,1108	840	85	PE	8,2	5,00	67	0,13
183	COTIA	-23,5898	-46,8647	780	94	PE	6,7	0,60	50	0,14
184	TAPIRAÍ	-23,9024	-47,5227	850	115	PE	5,2	2,60	84	0,06
185	PIEDADE	-23,7719	-47,4093	990	206	PE	3,8	1,30	125	0,03
186	S. BERNARDO DO CAMPO	-23,7688	-46,5170	760	181	PE	13,8	5,10	117	0,12
187	PEDRO DE TOLEDO	-24,2311	-47,2678	40	100	PE	5,2	21,40	86	0,08
188	ITANHAEM	-24,1258	-46,9698	300	200	PE	2,7	4,40	71	0,04
189	S. JOSÉ DO RIO PARDO	-21,6255	-46,8877	750	54	PE	8,0	0,00	45	0,18
190	ESPÍRITO SANTO	-22,1596	-46,7270	910	140	PE	8,3	26,00	116	0,09
191	SÃO JOÃO DA BOA	-21,9799	-46,8134	780	100	PE	11,2	22,00	50	0,40
192	GUAPIARA	-24,1453	-48,6240	800	87	PE	10,4	4,20	20	0,64
193	APIAÍ	-24,3837	-48,9069	930	180	PE	9,3	0,40	54	0,17
194	ITAPIRAPUÁ PTA.	-24,5798	-49,1692	560	151	PE	10,0	2,40	90	0,11
195	ELDORADO	-24,6357	-48,2934	80	81	PE	14,0	2,80	40	0,38

ANEXO 2

Legislação Estadual Específica de
Águas Subterrâneas

- I. LEI nº 6.134, de 2 de junho de 1988
- II. DECRETO nº 32.955, de 07/02/91
- III. PORTARIA DAEE 717/96, de 12/12/96
- IV. Deliberação CRH - 52, de 15/4/2005

ANEXO 2

Legislação Estadual Específica de
Águas Subterrâneas

LEI nº 6.134, de 2 de junho de 1988

Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências

O Governador do Estado de São Paulo.

Faço saber que a Assembléia Legislativa decreta e eu promulgo a seguinte Lei:

Art. 1º - Sem prejuízo do disposto na legislação específica vigente, a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo reger-se-á pelas disposições desta Lei e regulamentos dela decorrentes.

Parágrafo único - Para os efeitos desta Lei são consideradas subterrâneas as águas que ocorram natural ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem.

Art. 2º - Nos regulamentos e normas decorrentes desta Lei serão sempre levados em conta a interconexão entre as águas subterrâneas e superficiais e as interações observadas no ciclo hidrológico.

Art. 3º - As normas municipais, relativas ao uso e à ocupação do solo, deverão prever, obrigatoriamente, medidas de proteção dos aquíferos, quanto à poluição e à recarga. **(Vetado)**

Art. 4º - As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento.

§ 1º - A preservação e conservação dessas águas implicam em uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.

§ 2º - Os órgãos estaduais competentes manterão serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, fiscalizarão sua exploração e adotarão medidas contra a contaminação dos aquíferos e deterioração das águas subterrâneas.

§ 3º - Para os efeitos desta Lei, considera-se poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas, que possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações, comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais e recreativos e causar danos à fauna e flora naturais.

Art. 5º - Os resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, provenientes de atividades agropecuárias, industriais, comerciais ou de qualquer outra natureza, só poderão ser conduzidos ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas.

Parágrafo único - A descarga de poluente, tais como águas ou rejeitos industriais, que possam degradar a qualidade da água subterrânea, e o descumprimento das demais determinações desta Lei e regulamentos decorrentes sujeitarão o infrator às penalidades previstas na legislação ambiental, sem prejuízo das sanções penais cabíveis.

Art. 6º - A implantação de distritos industriais e de grandes projetos de irrigação, colonização e outros, que dependam da utilização de águas subterrâneas, deverá ser precedida de estudos hidrogeológicos para a avaliação das reservas e do potencial dos recursos hídricos e para o correto dimensionamento do abastecimento, sujeitos à aprovação pelos órgãos competentes, na forma a ser estabelecida em regulamento.

Parágrafo único - As disposições do artigo 5º e seu parágrafo único deverão ser atendidas pelos estudos citados no "caput" deste artigo.

Art. 7º - Se no interesse da preservação, conservação e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços públicos de abastecimento de água, ou por motivos geotécnicos ou ecológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, os órgãos de controle ambiental e de recursos hídricos poderão delimitar áreas destinadas ao seu controle.

Art. 8º - Os poços jorrantes deverão ser dotados de dispositivos adequados para evitar desperdícios, ficando passíveis de sanção os seus responsáveis que não tomarem providências nesse sentido.

Parágrafo único - Os poços abandonados e as perfurações realizadas para outros fins, que não a extração de água, deverão ser adequadamente tamponados, de forma a evitar acidentes, contaminação ou poluição dos aquíferos.

Art. 9º - Sempre que necessário o Poder Público instituirá áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, a fim de possibilitar a preservação e conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Art. 10 - Os órgãos estaduais de controle ambiental e de recursos hídricos fiscalizarão o uso das águas subterrâneas, para o fim de protegê-las contra a poluição e evitar efeitos indesejáveis nas águas superficiais.

§ 1º - O regulamento desta Lei instituirá um cadastro estadual de poços tubulares profundos e de captação de águas subterrâneas.

§ 2º - Todo aquele que perfurar poço profundo, no território do Estado, deverá cadastrá-lo na forma prevista em regulamento, apresentar as informações técnicas necessárias e permitir o acesso da fiscalização ao local dos poços.

§ 3º - As atuais captações de água subterrânea deverão ser cadastradas em até 180 (cento e oitenta) dias da regulamentação desta Lei e as novas captações em até 30 (trinta) dias após a conclusão das respectivas obras.

Art. 11 - Esta Lei será regulamentada pelo Poder Executivo no prazo de 90 (noventa) dias, a partir da data da publicação desta Lei.

Art. 12 - Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação.

ORESTES QUÉRCIA
Governador do Estado

DECRETO nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991 (*)

Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988 (*) Com retificação feita no Diário Oficial de 09/02/1991

Orestes Quércia, Governador do Estado de São Paulo,

no uso de suas atribuições legais e à vista do disposto no artigo 11 da Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988.

Decreta:

CAPÍTULO I**Das Disposições Preliminares**

Art. 1º - Este Decreto regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências.

Art. 2º - A preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo rege-se à pelas disposições da Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988, deste decreto e dos regulamentos decorrentes.

Art. 3º - As águas subterrâneas terão programa permanente de conservação e proteção, visando ao seu melhor aproveitamento.

Art. 4º - Incluem-se no gerenciamento das águas subterrâneas as ações correspondentes:

I - à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e ao planejamento do seu aproveitamento racional;

II - à outorga e fiscalização dos direitos de uso dessas águas e

III - à aplicação de medidas relativas à conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Parágrafo único - Na administração das águas subterrâneas sempre serão levadas em conta sua interconexão com as águas superficiais e as interações observadas no ciclo hidrológico.

Art. 5º - As exigências e restrições constantes deste decreto não se aplicam aos postos destinados exclusivamente ao usuário doméstico residencial ou rural, sujeitas, todavia, à fiscalização dos agentes públicos credenciados, no tocante às condições de ordem sanitária e de segurança.

Parágrafo único - Os poços mencionados neste artigo estão dispensados do cadastramento instituído na Seção V, do Capítulo IV, deste decreto.

SEÇÃO II**Das Definições**

Art. 6º - Para os efeitos deste decreto são adotadas as seguintes definições:

I - águas subterrâneas: águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem;

II - aquífero ou depósito natural de águas subterrâneas: solo, rocha ou sedimento permeáveis, capazes de fornecer água subterrânea, natural ou artificialmente captada;

III - aquífero confinado: aquele situado entre duas camadas confinantes, contendo água com pressão suficiente para elevá-la acima do seu topo ou da superfície do solo;

IV - aquífero de rochas fraturadas: aquele no qual a água circula por fraturas e fendas;

V - poço ou obra de captação: qualquer obra, sistema, processo, artefato ou sua combinação, empregados pelo homem com o fim principal ou incidental de extrair água subterrânea;

VI - poço jorrante ou artesiano: poço perfurado em aquífero cujo nível de água eleva-se acima da superfície do solo;

VII - poço tubular: poço de diâmetro reduzido, perfurado com equipamento especializado;

VIII - poluente: toda e qualquer forma de matéria ou energia que, direta ou indiretamente, cause poluição das águas subterrâneas;

IX - poluição: qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações, comprometer seu uso para fins de consumo humano, agropecuários, industriais, comerciais e recreativos, e causar danos à flora e à fauna;

X - recarga artificial: operação com finalidade de introduzir água num aquífero;

XI - sistema de disposição de resíduos: aquele que utiliza o solo para disposição, tratamento ou estocagem de resíduos tais como aterros industriais e sanitários, lagoas de evaporação ou infiltração, áreas de disposição de lodo no solo ou de estocagem e

XII - usuário: o proprietário ou detentor de poço, sistema de poços ou de captação de águas subterrâneas.

SEÇÃO III**Das Atribuições**

Art. 7º - Cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica -DAEE a administração das águas subterrâneas do Estado, nos campos de pesquisas, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com águas superficiais e com o ciclo hidrológico.

Parágrafo único - O Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE manterá serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, ao conhecimento do comportamento hidrológico dos aquíferos, ao controle e à fiscalização da extração.

Art. 8º - Cabe à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, para o que manterá os serviços indispensáveis.

Art. 9º - Cabe à Secretaria da Saúde a fiscalização das águas subterrâneas destinadas a consumo humano, quanto ao atendimento aos padrões de potabilidade.

Art. 10 - Cabe ao Instituto Geológico a execução de pesquisa e estudos geológicos e hidrogeológicos, o controle e arquivo de informações dos dados geológicos dos poços, no que se refere ao desenvolvimento do conhecimento dos aquíferos e da geologia do Estado.

Art. 11 - As entidades e os órgãos mencionados nesta Seção poderão recorrer a outros organismos governamentais, para aplicação das disposições deste Decreto.

Art. 12 - Ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos caberá baixar normas complementares, necessárias ao cumprimento deste Decreto.

Art. 13 - Ao Grupo Técnico de Águas Subterrâneas - GTAS, vinculado ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos, incumbirá coordenar a ação dos órgãos e das entidades mencionadas nesta Seção.

CAPÍTULO II

Da Defesa da Qualidade

SEÇÃO I

Da Proteção

Art. 14 - Nenhuma atividade desenvolvida poderá poluir, de forma intencional ou não, as águas subterrâneas.

Art. 15 - Todos os projetos de implantação de empreendimentos de alto risco ambiental, pólo petroquímico carboquímico e cloroquímico, usinas nucleares e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou de periculosidade e risco para as águas subterrâneas deverão conter uma detalhada caracterização da hidrogeologia e vulnerabilidade de aquíferos, assim como medidas de proteção a serem adotadas.

SEÇÃO II

Dos Resíduos Sólidos, Líquidos ou Gasosos

Art. 16 - Os resíduos sólidos líquidos ou gasosos provenientes de quaisquer atividades, somente poderão ser transportados ou lançados se não poluírem águas subterrâneas.

SEÇÃO III

Da Disposição de Resíduos no Solo

Art. 17 - Os projetos de disposição de resíduos no solo devem conter descrição detalhada de caracterização hidro-geológica de sua área de localização, que permita a perfeita avaliação de vulnerabilidade das águas subterrâneas, assim como a descrição detalhada das medidas de proteção a serem adotadas.

§ 1º - As áreas onde existirem depósitos de resíduos no solo devem ser dotadas de monitoramento das águas subterrâneas, efetuado pelo responsável pelo empreendimento, a ser executado conforme plano aprovado pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, e que deverá conter:

- 1 - a localização e os detalhes construtivos do poço de monitoramento;
- 2 - a forma de coleta das amostras, freqüência, parâmetros a serem observados e método analítico; e
- 3 - a direção, espessura e o fluxo do aquífero freático e possíveis interconexões com outras unidades aquíferas.

§ 2º - O responsável pelo empreendimento deverá apresentar relatórios à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, até 31 de janeiro de cada ano, informando os dados obtidos no monitoramento.

§ 3º - Se houver alteração estaticamente comprovada, em relação aos parâmetros naturais de qualidade da água nos poços a jusante, por ele causada, o responsável pelo empreendimento deverá executar as obras necessárias para recuperação das águas subterrâneas.

SEÇÃO IV

Da Potabilidade

Art. 18 - As águas subterrâneas destinadas a consumo humano deverão atender aos padrões de potabilidade fixados na legislação sanitária.

CAPÍTULO III

Das Áreas de Proteção

SEÇÃO I

Do Estabelecimento de Áreas de Proteção

Art. 19 - Sempre que, no interesse da conservação, proteção e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços de abastecimento de água, ou por motivos geotécnicos ou geológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental proporão ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos a delimitação de áreas destinadas ao seu controle.

§ 1º - Nas áreas a que se refere este artigo, a extração de águas subterrâneas poderá ser condicionada à recarga natural ou artificial dos aquíferos.

§ 2º - As áreas de proteção serão estabelecidas com base em estudos hidrogeológicos pertinentes, ouvidos os municípios e demais organismos interessados.

SEÇÃO II

Da Classificação das Áreas de Proteção

Art. 20 - Para os fins deste Decreto, as áreas de proteção classificam-se em:

- I - Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;
- II - Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras; e
- III - Área de Proteção de Poços e Outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

SEÇÃO III

Das Áreas de Proteção Máxima

Art. 21 - Nas Áreas de Proteção Máxima não serão permitidos:

- I - a implantação de indústrias de alto risco ambiental, pólos petroquímicos, carboquímicos e cloroquímicos, usinas nucleares e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou de extrema periculosidade,
- II - as atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade e que possam colocar em risco as águas subterrâneas, conforme relação divulgada pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e Secretaria de Agricultura e Abastecimento e
- III - o parcelamento do solo urbano sem sistema adequado de tratamento de efluente ou disposição de resíduos sólidos.

Art. 22 - Se houver escassez de água subterrânea ou prejuízo sensível aos aproveitamentos existentes nas Áreas de Proteção Máxima, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de acordo com as respectivas atribuições poderão:

- I - proibir novas captações até que o aquífero se recupere ou seja superado o fato que determinou a carência de água;
- II - restringir e regular a captação de água subterrânea, estabelecendo o volume máximo a ser extraído e o regime de operação;
- III - controlar as fontes de poluição existentes, mediante programa específico de monitoramento e
- IV - restringir novas atividades potencialmente poluidoras.

Parágrafo único: Quando houver restrição à extração de águas subterrâneas, serão prioritariamente atendidas as captações destinadas ao abastecimento público de água, cabendo ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE estabelecer a escala de prioridades, segundo as condições locais.

SEÇÃO IV

Das Áreas de Restrição e Controle

Art. 23 - Nas Áreas de Restrição e Controle, quando houver escassez de água subterrânea ou prejuízo sensível aos aproveitamentos existentes, poderão ser adotadas as medidas previstas no artigo 22 deste decreto.

SEÇÃO V

Das Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações

Art. 24 - Nas Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações, será instituído Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, abrangendo raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas, devendo o seu interior ficar resguardado da entrada ou penetração de poluentes.

§ 1º - Nas áreas a que se refere este artigo, os poços e as captações deverão ser dotados de laje de proteção sanitária, para evitar a penetração de poluentes.

§ 2º - As lajes de proteção, de concreto armado, deverão ser fundidas no local, envolver o tubo de revestimento, ter declividade do centro para as bordas, espessura mínima de dez centímetros e área não inferior a três metros quadrados.

Art. 25 - Serão estabelecidos, em cada caso, além do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, Perímetros de Alerta contra poluição, tomando-se por base uma distância coaxial ao sentido do fluxo, a partir do ponto de captação, equivalente ao tempo de trânsito de cinquenta dias de águas no aquífero, no caso de poluentes não conservativos.

Parágrafo Único: No interior do Perímetro de Alerta, deverá haver disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.

CAPÍTULO IV

Das Aprovações, Outorgas e Cadastro

SEÇÃO I

Dos Empreendimentos Sujeitos a Aprovação

Art. 26 - A implantação de distritos industriais, de grandes projetos de irrigação, de colonização e outros, que dependam da utilização de água subterrânea, ou ponham em risco sua qualidade natural, fica sujeita à aprovação dos órgãos e das entidades referidos no Capítulo I, Seção III, deste Decreto.

Parágrafo único: As atividades mencionadas neste artigo deverão ser precedidas de estudos hidrogeológicos que permitam avaliar o potencial disponível e o correto dimensionamento do sistema de abastecimento.

SEÇÃO II

Dos Estudos Hidrogeológicos

Art. 27 - Os estudos hidrogeológicos, projetos, e as obras de captação de águas subterrâneas deverão ser realizados por profissionais, empresas ou instituições legalmente habilitados perante o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA, exigindo-se o comprovante de Anotação de Responsabilidade Técnica - ART.

Art. 28 - Deverá ser obtida autorização prévia do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE para qualquer obra de captação de água subterrânea, incluída em projetos, estudos e pesquisas.

Art. 29 - Os estudos hidrogeológicos e projetos de obras de captação deverão ser protocolados no Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, na sede ou na Diretoria correspondente à bacia hidrográfica onde será realizado o aproveitamento, em duas vias de relatório detalhado, conforme norma aprovada mediante Portaria do Superintendente da Autarquia.

SEÇÃO III

Das Concessões e Autorizações

Art. 30 - O uso das águas subterrâneas estaduais depende de concessão ou autorização administrativa, outorgadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, como segue:

- I - concessão administrativa, quando a água destinar-se a uso de utilidade pública ou a captação ocorrer em terreno do domínio público; e
- II - autorização administrativa, quando a água extraída destinar-se a outras finalidades.

Art. 31 - As outorgas referidas no artigo anterior serão condicionadas aos objetivos do Plano Estadual de Recursos Hídricos, levando-se em consideração os fatores econômicos e sociais.

§ 1º - As concessões e autorizações serão outorgadas por tempo fixo, nunca excedente a trinta anos, determinando-se prazo razoável para início e conclusão das obras, sob pena de caducidade.

§ 2º - Se, durante três anos, o outorgado deixar de fazer uso exclusivo das águas, sua concessão ou autorização será declarada caduca.

§ 3º - Independem de outorga as captações de águas subterrâneas em vazão inferior a cinco metros cúbicos por dia, ficando, todavia, sujeitas à fiscalização da Administração, na defesa da saúde pública e da quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

§ 4º - Antes de outorgar, total ou parcialmente, ou negar a extração de água pretendida, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE poderá solicitar as informações adicionais que entender necessárias.

§ 5º - As outorgas serão efetuadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE dentro do prazo de sessenta dias contados da data do pedido ou do atendimento à última eventual exigência.

Art. 32 - Os atos de outorga para a extração de água subterrânea deverão proibir mudanças físicas ou químicas que possam prejudicar as condições naturais dos aquíferos, ou do solo, assim como os direitos de terceiros.

SEÇÃO IV

Das Licenças

Art. 33 - A execução das obras destinadas à extração de água subterrânea e sua operação dependerão de outorga das licenças de execução e de operação respectivamente.

§ 1º - Aprovados os estudos e projetos de obras e perfuração de poços, ou de obras destinadas à pesquisa ou ao aproveitamento de água subterrânea, o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE expedirá a licença de execução das obras e credenciará seus agentes para acompanharem, realizarem ou exigirem os testes e as análises recomendáveis.

§ 2º - Concluída a obra, o responsável técnico deverá apresentar relatório pormenorizado contendo os elementos necessários à exploração da água subterrânea, de forma a possibilitar a expedição, pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, da licença de operação.

SEÇÃO V

Do Cadastro de Poços e Outras Captações

Art. 34 - Fica instituído, sob a administração do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, o Cadastro de Poços Tubulares Profundos e outras Captações, consubstanciado no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas - SIDAS.

Art. 35 - Os dados e as informações de poços e outras captações contidos no Sistema de informações de Águas Subterrâneas - SIDAS, assim como os estudos hidrogeológicos desenvolvidos por órgãos e entidades da Administração Estadual estarão à disposição dos usuários, para orientação e subsídio, no sentido de promoverem a utilização racional das águas subterrâneas.

Art. 36 - Todo aquele que construir obra de captação de águas subterrâneas, no território do Estado, deverá cadastrá-la no Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, conforme norma a ser baixada em Portaria do Superintendente da Autarquia, apresentar as informações técnicas necessárias, e permitir o acesso da fiscalização ao local.

§ 1º - O cadastramento deverá ser efetuado na sede do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE ou na Diretoria correspondente à bacia hidrográfica em que estiver localizado o aproveitamento.

§ 2º - Cada poço cadastrado receberá um número de identificação e registro.

§ 3º - As captações existentes deverão ser cadastradas dentro do prazo de cento e oitenta dias contados da data da entrada em vigor deste Decreto.

§ 4º - As captações novas deverão ser cadastradas dentro do prazo de 30 dias contados da data de conclusão das respectivas obras.

CAPÍTULO V

das Medidas Preventivas

SEÇÃO I

Da Operação e Manutenção de Poços

Art. 37 - O usuário de obras de captação de águas subterrâneas deve operá-la em condições adequadas, de modo a assegurar a capacidade do aquífero e evitar o desperdício de água, podendo o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE exigir a reparação das obras e das instalações e a introdução de melhorias.

Art. 38 - Os poços e outras obras de captação de águas subterrâneas deverão ser dotados de equipamentos de medição de volume extraído e do nível da água.

Parágrafo único - os usuários deverão manter registro mensal de dados e outras informações sobre o uso da água e apresentar ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE um informe anual detalhado.

Art. 39 - Nas instalações de captação de água subterrânea destinada a abastecimento público, deverão ser efetuadas análises físicas, químicas e bacteriológicas da água, nos termos da legislação sanitária.

SEÇÃO II

Dos Poços Abandonados

Art. 40 - Os poços abandonados, temporária ou definitivamente, e as perfurações realizadas para outros fins que não a extração de água deverão ser adequadamente tamponados por seus responsáveis para evitar a poluição dos aquíferos ou acidentes.

§ 1º - Os poços abandonados, perfurados em aquíferos friáveis, próximos à superfície, deverão ser tamponados com material impermeável e não poluente, como argila, argamassa ou pasta de cimento, para evitar a penetração de água da superfície no interior do poço, ou ao longo da parte externa do revestimento.

§ 2º - Os poços abandonados, perfurados em aquíferos de rochas fraturadas, deverão ser tamponados com pasta ou argamassa de cimento, colocada a partir da primeira entrada de água, até a superfície com espessura nunca inferior a 20 (vinte) metros.

§ 3º - Os poços abandonados, que capturem água de aquífero confinado, deverão ser tamponados com selos de pasta de cimento, injetado sob pressão, a partir do topo de aquífero.

SEÇÃO III

Dos Poços Jorrantes ou Artesianos

Art. 41 - Os poços jorrantes ou artesianos devem ser dotados de fechamento hermético, para evitar o desperdício de água.

SEÇÃO IV

Das Escavações, Sondagens ou Obras

Art. 42 - As escavações, sondagens ou obras para pesquisa, lavra mineral ou outros fins, que atingirem águas subterrâneas, deverão ter tratamento idêntico a poço abandonado, de forma a preservar e conservar os aquíferos.

SEÇÃO V

Da Recarga Artificial

Art. 43 - A recarga artificial dependerá de autorização do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, condicionada à realização de estudos que comprovem a sua conveniência técnica, econômica e sanitária e a preservação da qualidade das águas subterrâneas.

CAPÍTULO VI

Da Fiscalização e das Sanções

Seção I

Da Fiscalização

Art. 44 - O Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e a Secretaria da Saúde, no âmbito das respectivas atribuições, fiscalizarão a utilização das águas subterrâneas, para protegê-las contra poluição e evitar efeitos indesejáveis aos aquíferos e à saúde pública.

Art. 45 - Fica assegurado aos agentes credenciados, encarregados de fiscalizar a extração e a qualidade das águas subterrâneas, o livre acesso aos prédios em que estiverem localizadas as captações e aos locais onde forem executados serviços ou obras que, de alguma forma, possam afetar os aquíferos.

Parágrafo Único - No exercício de suas funções, os agentes credenciados poderão requisitar força policial, se necessário, para garantir a fiscalização de poços ou sistemas de captação.

Art. 46 - Aos agentes credenciados, além das funções que lhes forem cometidas pelos respectivos órgãos ou entidades, cabe:

I - efetuar vistorias, levantamentos, avaliações e verificar a documentação técnica pertinente;

II - colher amostras e efetuar medições, a fim de averiguar o cumprimento das disposições deste Decreto;

III - verificar a ocorrência de infrações e expedir os respectivos autos;

IV - intimar, por escrito, os responsáveis pelas fontes poluidoras, ou potencialmente poluidoras, ou por ações indesejáveis sobre as águas, a prestarem esclarecimentos em local oficial e data previamente estabelecidos; e

V - aplicar as sanções previstas neste Decreto.

SEÇÃO II

Das Sanções

Art. 47 - Nos termos do artigo 5º, parágrafo único, da Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988, a descarga de poluentes, tais como águas ou refulgos industriais, que possam degradar a qualidade das águas subterrâneas, e o descumprimento de suas disposições e das estabelecidas neste Decreto, sujeitarão o infrator às sanções e aos procedimentos previstos nos artigos 80 e 107, do Regulamento aprovado pelo Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976, com alterações posteriores, sem prejuízo das sanções cabíveis.

Art. 48 - A desobediência às disposições da legislação sanitária sujeitará o infrator às sanções e aos procedimentos previstos nas normas sobre promoção, preservação e recuperação da saúde, no campo de competência da Secretaria da Saúde, contidas no Regulamento aprovado pelo Decreto nº 12.342, de 27 de setembro de 1978.

Art. 49 - O não atendimento às disposições relativas à extração, ao controle e à proteção das águas subterrâneas, estatuídas por Decreto, sujeitará o infrator à revogação da outorga, ou à declaração de sua caducidade, e sua responsabilização por eventuais danos causados ao aquífero ou à gestão daquelas águas.

Art. 50 - Este Decreto entrará em vigor na data de sua publicação.

Palácio dos Bandeirantes, 7 de fevereiro de 1991.

Orestes Quécia

Governador do Estado

PORTARIA DAEE 717/96, DE 12/12/96

Aprova a Norma e os Anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos:

O Superintendente do Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, com fundamento nos artigos 36, 43 e 11 do Decreto Federal nº 25.643, de 10.07.34 (Código de Águas), combinados com os incisos I do artigo 2º, I e VIII do artigo 4º e I e XVI do artigo 11 do Regulamento da Autarquia, aprovado pelo Decreto Estadual nº 52.636, de 03.03.71, alterado pelo Decreto Estadual nº 23.933, de 18.09.85.

DETERMINA:

Art. 1º - Ficam aprovados a Norma e os Anexos de I a XVIII que disciplinam o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo, na forma da Lei Estadual nº 6.134 de 02.06.88, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas no Estado de São Paulo, e de seu regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual nº 32.955, de 07.02.91, bem como da Lei Estadual nº 7.663, de 30.12.91, que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos, e de seu regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual nº 41.258 de 31/10/1996 que dispõe sobre Outorga e Fiscalização.

Título I**DAS MODALIDADES DE OUTORGA**

Capítulo I

Da Implantação de Empreendimentos

Art. 2º - A implantação de empreendimento, que demande a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, dependerá de manifestação prévia do DAEE, por meio de uma autorização.

Parágrafo único - Essa autorização não confere a seu titular o direito de uso de recursos hídricos.

Capítulo II

Das Obras e Serviços que interfiram com os Recursos Hídricos Superficiais

Art. 3º - A execução de obras ou serviços que possam alterar o regime, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos superficiais, dependerá de manifestação prévia do DAEE, por meio de uma autorização.

Parágrafo único - Essa autorização não confere a seu titular o direito de uso de recursos hídricos.

Capítulo III

Da Licença de Obras de Extração de Águas Subterrâneas

Art. 4º - A execução de obra, destinada à extração de águas subterrâneas, dependerá de manifestação prévia do DAEE, por meio de uma licença de execução.

Parágrafo único - A licença de execução não confere a seu titular o direito de uso de recursos hídricos.

Capítulo IV

Do Uso do Recurso Hídrico

Art. 5º - Dependerão de outorga do direito de uso, passada pelo DAEE:

I - a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e qualquer outra finalidade;

II - os lançamentos de efluentes nos corpos d'água, obedecidas a legislação federal e a estadual pertinentes à espécie.

Parágrafo único - Essa outorga se fará por concessão, nos casos de utilidade pública, e por autorização, nos demais casos.

Título II**DOS EFEITOS DAS OUTORGAS**

Capítulo I

Direitos, obrigações e restrições

Art. 6º - As concessões, autorizações e licenças são intransferíveis, a qualquer título, são conferidas a título precário e não implicam delegação do Poder Público aos seus titulares.

Art. 7º - A análise e a emissão dos atos de outorga sujeitarão o interessado ao pagamento de emolumentos, conforme tabela constante do Anexo XVIII.

Art. 8º - Os atos de outorga não eximem o usuário da responsabilidade pelo cumprimento das exigências da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, no campo de suas atribuições, bem como das que venham a ser feitas por outros órgãos e entidades aos quais esteja afeta a matéria.

Art. 9º - Obriga-se o outorgado a:

I - operar as obras hidráulicas segundo as condições determinadas pelo DAEE;

II - conservar em perfeitas condições de estabilidade e segurança as obras e os serviços;

III - responder, em nome próprio, pelos danos causados ao meio ambiente e a terceiros em decorrência da manutenção, operação ou funcionamento de tais obras ou serviços, bem como pelos que advenham do uso inadequado da outorga;

IV - manter a operação das estruturas hidráulicas de modo a garantir a continuidade do fluxo d'água mínimo, fixado no ato de outorga, a fim de que possam ser atendidos os usuários a jusante da obra ou serviço;

V - preservar as características físicas e químicas das águas subterrâneas, abstendo-se de alterações que possam prejudicar as condições naturais dos aquíferos ou a gestão dessas águas;

VI - instalar e operar as estações e os equipamentos hidrométricos especificados pelo DAEE, encaminhando-lhe os dados observados e medidos, na forma preconizada no ato de outorga e nas normas de procedimento estabelecidas pelo DAEE;

VII - cumprir, sob pena de caducidade da outorga, os prazos fixados pelo DAEE para o início e a conclusão das obras pretendidas;

VIII - repor as coisas em seu estado anterior, de acordo com os critérios e prazos a serem estabelecidos pelo DAEE, arcando inteiramente com as despesas decorrentes.

Capítulo II Dos Prazos

Art. 10 - Os atos de outorga estabelecerão, nos casos comuns, prazo fixo de validade, a saber:

- a - até o término das obras, nas licenças de execução;
- b - máximo de 5 (cinco) anos, para as autorizações;
- c - máximo de 10 (dez) anos, para as concessões;
- d - máximo de 30 (trinta) anos, para as obras hidráulicas.

Parágrafo único - Poderá o DAEE, a seu critério exclusivo, em caráter excepcional, sempre em função de situações emergenciais e desde que fatores sócio-econômicos o justifiquem, fixar prazos diferentes dos estabelecidos neste artigo.

Art. 11 - O ato de outorga poderá ser revogado a qualquer tempo, não cabendo ao outorgado indenização a qualquer título e sob qualquer pretexto nos seguintes casos:

- a - quando estudos de planejamento regional de recursos hídricos ou a defesa do bem público, tornarem necessária a revisão da outorga.
- b - na hipótese de descumprimento de qualquer norma legal ou regulamentar, atinente à espécie.

Art. 12 - A outorga poderá ser renovada, devendo o interessado apresentar requerimento nesse sentido, até 6 (seis) meses antes do respectivo vencimento.

Art. 13 - Perece de pleno direito a outorga, se durante 3 (três) anos consecutivos o outorgado deixar de fazer uso do direito de interferência ou de uso do recurso hídrico.

Capítulo III Disposições Gerais

Art. 14 - As obras necessárias ao uso dos recursos hídricos deverão ser projetadas e executadas sob a responsabilidade de profissional devidamente habilitado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA, devendo qualquer alteração do projeto ser previamente comunicada ao DAEE.

Art. 15 - O aumento de demanda ou a insuficiência de águas para atendimento aos usuários permitirá a suspensão temporária da outorga, ou a sua readequação.

Parágrafo único - No caso de readequação, o DAEE deverá fixar as novas condições da outorga, observando os critérios e normas estabelecidos nos Planos de Bacias e nas Deliberações do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH.

Art. 16 - Quando, em razão de obras públicas, houver necessidade de adaptação das obras hidráulicas ou dos sistemas de captação e lançamento às novas condições, todos os custos decorrentes serão de responsabilidade plena e exclusiva do outorgado, ao qual será assegurado prazo para as providências pertinentes, mediante comunicação oficial do DAEE.

Título III DA FISCALIZAÇÃO

Art. 17 - O DAEE credenciará seus agentes para fiscalização e para imposição das sanções previstas na Lei Estadual nº 6.134, de 02.06.88, com a disciplina que lhe deu o Decreto Estadual nº 32.955, de 07.02.91, bem como na Lei Estadual nº 7.663, de 30.12.91, com a disciplina que lhe deu o Decreto Estadual nº 41.258 de 31/10/1996 e nas demais normas legais aplicáveis.

Art. 18 - No exercício da ação fiscalizadora, ficam asseguradas aos agentes credenciados a entrada, a qualquer dia e hora, e a permanência, pelo tempo necessário, em estabelecimentos públicos ou privados, se necessário requisitar reforço policial.

Título IV DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Capítulo I Disposições Finais

Art. 19 - Para obtenção de concessão, autorização ou licença, bem como para as respectivas renovações, deverá o interessado apresentar ao protocolo do DAEE, na sede da Diretoria correspondente à bacia hidrográfica onde se pretenda o uso de recurso hídrico, a documentação estabelecida na Norma anexa.

Art. 20 - Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário, especialmente a Portaria DAEE nº 187 de 16/05/96, retificada em 23/05/96 e 29/05/96.

Capítulo II Disposição Transitória

Art. 21 - O DAEE expedirá a competente concessão, autorização ou licença em até 30 dias da data de entrada do requerimento, cumpridas todas as exigências técnicas e legais atinentes à espécie.

Art. 22 - Continuam válidas as outorgas de uso já passadas pelo DAEE, quer de recursos hídricos superficiais, quer de subterrâneos, permanecendo íntegras até seu término, salvo se tornarem insustentáveis por fato superveniente.

(a íntegra da Norma e respectivos anexos podem ser obtidos no site www.dae.sp.gov.br)

Deliberação CRH - 52, de 15-4-2005

Institui no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH considerando que:

a Lei Nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos, dispõe como objetivo principal assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, deve ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo território do Estado de São Paulo e estabelece, como uma de suas diretrizes, o desenvolvimento de programas permanentes de conservação e proteção das águas subterrâneas contra poluição e super-exploração;

a Lei Nº 6.134, de 2 de junho de 1988 e seus regulamentos que dispõem sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, estabelecem que sempre que no interesse da preservação, conservação e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços públicos de abastecimento de água, ou por motivos geotécnicos, geológicos ou sanitários, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, os órgãos de recursos hídricos, de controle ambiental e de saúde poderão delimitar áreas destinadas ao seu controle;

as diretrizes e normas para a proteção e recuperação dos mananciais de interesse regional, nos quais incluem-se as águas subterrâneas, prevêm a criação de áreas de intervenção e estabelecem a prioridade do uso das águas nessas áreas para o abastecimento público em detrimento de qualquer outro interesse, conforme a Lei Nº 9.866, de 28 de novembro de 1997;

compete aos Comitês de Bacias a proposição de planos de utilização, conservação, proteção e recuperação dos recursos hídricos, por meio do Plano de Bacias; bem como, a proposição da delimitação de áreas de proteção de mananciais, nos termos das Leis 7.663, de 30 de dezembro de 1991 e 9.866, de 28 de novembro de 1997;

as reservas de águas subterrâneas, apesar de renováveis, são limitadas e que a situação atual de exploração dos aquíferos em determinadas regiões, pode superar as recargas naturais, o que pode provocar acentuado rebaixamento dos níveis d'água e interferências múltiplas entre poços, caracterizando-se, portanto como áreas críticas e suscetíveis de enquadramento em programas de racionalização da captação;

as águas subterrâneas são suscetíveis à poluição e quando houver alteração, estatisticamente comprovada em relação aos parâmetros naturais de qualidade das águas, haverá necessidade de sua remediação;

a necessidade do estabelecimento de normas complementares para o gerenciamento das águas subterrâneas e medidas específicas relativas à sua conservação, delibera:

Artigo 1º - As Áreas de Restrição e Controle do uso das águas subterrâneas são aquelas onde existe a necessidade de disciplinar as atividades que possam causar alterações ou efeitos negativos sobre a quantidade ou qualidade das águas subterrâneas.

§1º - A delimitação das Áreas de Restrição e Controle será estabelecida com o apoio de estudos hidrogeológicos e levará em consideração os Planos de Bacias Hidrográficas, os Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, os Programas Estaduais de Monitoramento de Qualidade e Atendimento à Potabilidade, que evidenciem os efeitos negativos da exploração e contaminação, apontando a necessidade da aplicação de ações preventivas e corretivas.

§2º - Constituem base para o estabelecimento das áreas de restrição e controle, os bancos de dados dos órgãos de recursos hídricos, de controle ambiental e da saúde sobre quantidade, qualidade e fontes de contaminação.

Artigo 2º - Os órgãos gestores de recursos hídricos, de controle ambiental e da saúde proporão de forma integrada, a delimitação das áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas, que deverá ser submetida à apreciação do Comitê de Bacias Hidrográficas em cuja área de atuação estejam inseridas.

§ 1o - A proposição da delimitação mencionada no caput deste artigo também poderá ser feita:

- a. por Câmara Técnica do respectivo Comitê de Bacias Hidrográficas;
- b. pela Agência de Bacias do respectivo Comitê de Bacias Hidrográficas;
- c. por meio de proposta constante no Plano de Bacias da respectiva bacia hidrográfica.

§ 2o - A proposta de delimitação que for aprovada pelo Comitê de Bacias Hidrográficas deverá constar em um dos seguintes documentos:

- a. Deliberação específica do respectivo Comitê de Bacias Hidrográficas;
- b. Plano de Bacias da respectiva bacia hidrográfica.

§ 3o - Quando a proposta de delimitação não estiver contida no Plano de Bacias, a manifestação do Comitê de Bacias Hidrográficas será antecedida de audiências públicas de caráter consultivo com a participação de órgãos gestores, usuários e municípios das áreas envolvidas.

Artigo 3º - O ato declaratório de Áreas de Restrição e Controle (ARCs) será do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (CRH).

Artigo 4º - As Áreas de Restrição e Controle (ARCs) de captação e uso das águas subterrâneas serão classificadas conforme segue:

- a. Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO), que são aquelas onde a densidade de poços tubulares e o volume de água extraído, indicam super-exploração ou aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas;
- b. Áreas Prováveis de Restrição e Controle (ARC-PR), que são aquelas onde são observados indícios de super-exploração e interferência entre poços ou apresentam indícios de contaminação no solo e águas subterrâneas, e
- c. As Áreas Confirmadas de Restrição e Controle (ARC-CO), que são aquelas onde foi constatada a super-exploração ou a contaminação das águas subterrâneas.

Parágrafo Único - As classes de áreas apresentadas no caput deste artigo (PO, PR e CO) respeitarão os limites de bacias hidrográficas ou sub-bacias hidrográficas.

Artigo 5º - Para a delimitação e a classificação das ARCs em PO, PR e CO, deverão ser cumpridas as etapas constantes do APENDICE I desta Deliberação, a saber:

- a. Identificação inicial de áreas potenciais, para o estabelecimento de ARC-PO;
- b. Realização de investigação preliminar, para o estabelecimento de ARC-PR;

c. Realização de investigação confirmatória, para o estabelecimento de ARC-CO.

Artigo 6º - A identificação de Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO) será feita com base nos seguintes parâmetros, considerando-os isoladamente ou em conjunto: densidade de poços, vazão total explorada, escoamento básico e específico, vulnerabilidade natural, qualidade da água, denúncias e cadastro de fontes de poluição.

Parágrafo Único - As ARCs-PO serão listadas em ordem de prioridade para aplicação das ações das etapas seguintes.

Artigo 7º - A investigação preliminar será feita nas ARCs-PO previamente definidas e priorizadas e terá como base dados e estudos hidrogeológicos, em especial os de rebaixamento dos níveis d'água, interferência entre poços, mapa potenciométrico, indícios de contaminação e estudos hidrogeoquímicos de anomalias naturais da qualidade da água subterrânea.

Artigo 8º - No caso de indícios de super-exploração e/ou contaminação, a ARC-PO será classificada como Área Provável de Restrição e Controle (ARC-PR), sendo delimitadas nas bacias hidrogeológicas e respeitando os limites das bacias e sub-bacias hidrográficas.

Artigo 9º - No caso em que a investigação confirmatória comprovar a super-exploração ou a presença na água subterrânea de substâncias em concentrações não removíveis por sistemas de tratamento convencional para atendimento aos padrões de potabilidade, a ARC-PR será classificada como Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO).

Artigo 10 - A investigação confirmatória sobre a quantidade de água em aquíferos livres será expressa pela relação entre os fatores consumo (C) e disponibilidade (Q), pelas equações discriminadas no APÊNDICE II podendo ser utilizados outros métodos mais completos, quando disponíveis.

§1º - A relação entre os fatores C (consumo) e Q (disponibilidade) permitirá quantificar o saldo hídrico subterrâneo da bacia ou sub-bacia hidrográfica, sendo que, se a relação C/Q for maior ou igual a 0,75, a área será definida como área crítica quanto à disponibilidade da água subterrânea e passível de ser classificada como Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO) à captação e uso das águas subterrâneas.

§2º - No caso de aquíferos confinados, onde a recarga dá-se, apenas, em parte da bacia hidrogeológica, os critérios para definição do saldo hídrico serão estabelecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

Artigo 11 - A investigação confirmatória sobre a qualidade das águas subterrâneas será efetuada com base na comparação das concentrações determinadas em amostras de água com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde e suas alterações.

Parágrafo único - Para substâncias que não constem na portaria mencionada no caput deste artigo, serão propostos limites ou adotados padrões internacionais pela CETESB ou pela Secretaria da Saúde.

Artigo 12 - As Áreas de Restrição e Controle (ARCs), assim classificadas devido à contaminação das águas subterrâneas, serão delimitadas em conformidade com os dados disponíveis no cadastro de áreas contaminadas sob investigação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

Artigo 13 - Áreas de Restrição e Controle (ARCs) poderão ser delimitadas com base em estudos hidrogeoquímicos específicos sobre anomalias hidroquímicas naturais da água subterrânea, que comprometem a saúde humana.

Artigo 14 - Áreas de Restrição e Controle (ARCs) de uso das águas subterrâneas poderão ser delimitadas, ainda, em função:

I - da existência de áreas legais de proteção de mananciais;

II - da necessidade de proteção de captações de água subterrânea para o abastecimento público, devendo ser consideradas as áreas de proteção definidas no Decreto N° 32.955, de 30 de dezembro de 1991 e a zona de contribuição, delimitada pelo tempo de trânsito do fluxo da água subterrânea para o poço;

III - da necessidade de proteção de captações de água subterrânea para o consumo humano frente à existência de atividades com potencial de contaminação; sendo que as ARCs, neste caso, obedecerão as distâncias indicativas mínimas estabelecidas no APÊNDICE III, ou de acordo com outras informações disponíveis;

IV - da influência da cunha salina nas regiões litorâneas;

V - da existência de corpos de água superficial enquadrados na Classe 4, definida na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, estabelecendo-se, neste caso, uma faixa mínima de 200 metros.

Artigo 15 - Nas Áreas de Restrição e Controle (ARCs), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) e a Secretaria da Saúde, de acordo com suas respectivas atribuições, poderão:

I - proibir novas captações até que o aquífero se recupere ou seja superado o fato que determinou a restrição do uso da água;

II - restringir e regular a captação de água subterrânea, estabelecendo o volume máximo a ser extraído, o regime de operação e os tipos de usos admissíveis;

III - revogar a outorga do direito de uso;

IV - controlar as fontes de poluição existentes, mediante programa específico de ações, incluindo monitoramento; e

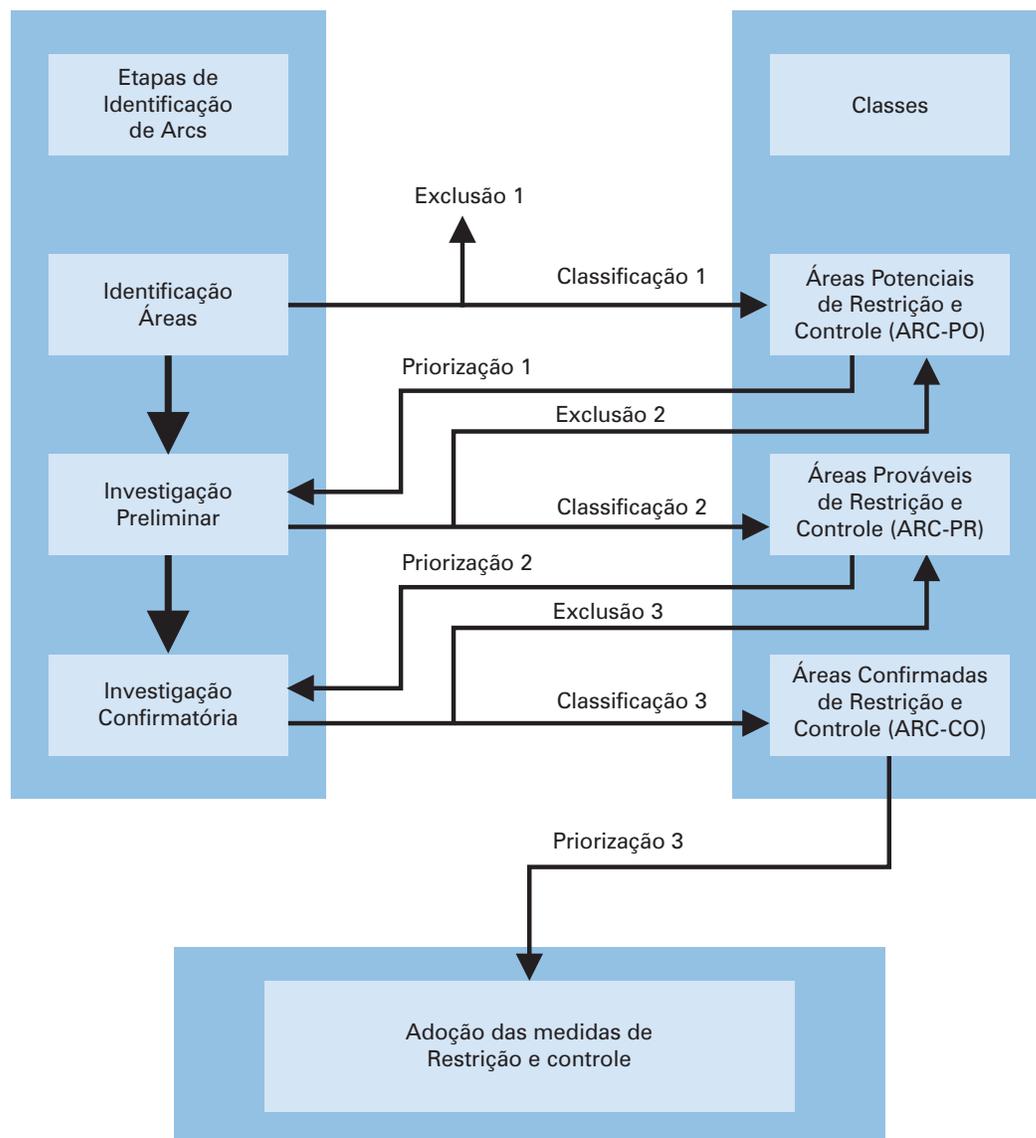
V - restringir a implantação de novas atividades potencialmente poluidoras.

§1º - Nas áreas de Restrição e Controle, as restrições de uso devem respeitar as prioridades definidas nos Planos de Bacia ou, na falta destes, no Plano Estadual de Recursos Hídricos. Na ausência de priorização, caberá ao DAEE estabelecer as restrições de direito de uso das águas subterrâneas.

§2º - Para a implementação de qualquer das medidas previstas neste artigo, as mesmas deverão estar especificadas e justificadas no ato declaratório do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Artigo 16 - Esta deliberação entra em vigor na data de sua publicação.

APÊNDICE I - Fluxograma para o estabelecimento de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas.



APÊNDICE II – Expressões e constantes utilizadas no cálculo do balanço hídrico

I- Consumo de água subterrânea:

$$C = \sum Qz \cdot 365$$

onde:

C= Volume total (em metros cúbicos) por tempo (em anos) de água subterrânea extraída dos aquíferos da área de interesse;

Qz= Somatória da vazão outorgada dos poços (m³/h/dia);

II- Disponibilidade de água subterrânea para aquíferos livres:

$$Q = (A \cdot Qx \cdot f) + (P)$$

onde:

Q= Volume de água disponível (em metros cúbicos) por unidade de tempo (em ano);

A= Área da bacia hidrogeológica (em quilômetros quadrados);

Qx= Vazão da recarga transitória multianual do aquífero (em m³/ano/km²).

f= Índice que representa a quantidade máxima de água possível de ser extraída a partir da recarga devido a fatores técnicos, econômicos e hidrogeológicos limitantes.

P= parcela da quantidade total de água que retorna imediatamente ao aquífero (m³/ano)

APÊNDICE III – Distâncias indicativas mínimas para delimitação de Áreas de Restrição e Controle (ARC) frente às atividades com potencial de contaminação.

Tipologia	Fonte principal	Principais poluentes	Distância indicativa mínima de restrição na direção de fluxo	Justificativa
Químicas	Fabricação de ácidos e bases, pigmentos, tintas, fertilizantes, pesticidas, farmacêuticas	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis	500m	Substâncias persistentes
Petroquímicas	Refinarias	Hidrocarbonetos, fenóis, ácidos, bases e asbestos	500m	Substâncias degradáveis (grande quantidade)
	Destilaria de alcatrão		500m	
	Bases de distribuição		400m	Média quantidade
	Postos de serviço		300m	Pequena quantidade
Produção e transformação de metais	Produção de ferro, aço, fundição, anodização, galvanização, fábricas de veículos	Metais (Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Pb), asbestos, PCB's, cianetos, hidrocarbonetos	200m	Substâncias persistentes de baixa mobilidade
Transporte	Garagens, oficinas de manutenção, garagens de trem	Combustível, hidrocarbonetos, asbestos	100m	Substâncias degradáveis (pouca quantidade)
Aterros de resíduos classe I	Resíduos perigosos	Metais, ácidos e bases	500m	Substâncias persistentes
Aterros de resíduos classe II	Resíduos domiciliares e industriais	Bacteriológicos, metais, ácidos e bases	200m	Port. 124 MINTER NBR 13.896/97
Cemitérios		Bacteriológicos	30m ou 50 dias de tempo de trânsito	Norma CETESB L1040-cemitérios
Rio classe 4		Substâncias tóxicas, fenóis, metais, bacteriológicos.	200 m	Corpo receptor de efluentes domiciliares e industriais

Legenda para a Tabela: Fe – Ferro; Cu – Cobre; Ni – Níquel; Zn – Zinco; Cr – Cromo; Cd – Cádmiu; Pb – Chumbo