

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DA BACIA  
SEDIMENTAR DE TAUBATÉ, NO MUNICÍPIO DE  
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**

Marcelo Luiz Arsillo Braga

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas  
Co-orientador: Prof. Dr. Hélio Nóbile Diniz

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF - 2004/20)

TF  
B813  
MLA.e

SÃO PAULO  
2004

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Estudo Hidrogeológico da Bacia Sedimentar de  
Taubaté, no Município de São José dos Campos**

**Marcelo Luiz Arsillo Braga**

Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Everton de Oliveira \_\_\_\_\_

Prof. Dr. José Roberto Canuto \_\_\_\_\_

São Paulo

2004

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016339

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DA BACIA SEDIMENTAR  
DE TAUBATÉ, NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS  
CAMPOS**

**MARCELO LUIZ ARSILLO BRAGA**



**Orientador: PROF. DR. JOSÉ DOMINGOS FARACO GALLAS**

**Co-Orientador: DR. HÉLIO NÓBILE DINIZ**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2004/20)**

**SÃO PAULO  
2004**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO HIDROGEOLÓGICO DA BACIA SEDIMENTAR DE  
TAUBATÉ, NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**

**Marcelo Luiz Arsillo Braga**

**Orientador: José Domingos Faraco Gallas**

**Co-Orientador: Hélio Nóbile Diniz**

*de acordo,*  
*José D. Faraco Gallas*

**Monografia de Trabalho de Formatura  
(TF-2004/20)**

## RESUMO

O Município de São José dos Campos possui cerca de 540 mil habitantes, sendo que 40% dessa população é abastecida por água subterrânea proveniente de 62 poços tubulares profundos pertencentes à SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Por se tratar de um pólo industrial, no Município estão instaladas grandes indústrias que utilizam a água subterrânea nos seus processos industriais. Dos 353 poços tubulares profundos cadastrados junto a própria Sabesp, Indústria da região e ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 55 poços foram selecionados para esta pesquisa. Estes apresentam-se distribuídos pela área urbana da cidade e representam as condições de ocorrência das águas subterrâneas no Município. Foram reunidos os dados de identificação destes poços, histórico, análises químicas, testes de bombeamento e perfis geológicos.

Os dados foram interpretados utilizando os softwares adequados e obteve-se o conhecimento da hidrodinâmica, hidroquímica e geologia do aquífero sedimentar do Grupo Taubaté no Município de São José dos Campos, assim como as atuais condições de exploração.

## **ABSTRACT**

The Municipal district of São José dos Campos possesses about 540.000 inhabitants, and 40% of the population is supplied by groundwater originating from 62 deep tubular wells of SABESP – São Paulo State Sanitation Company. Due to the fact that it is an industrial pole, big industries are installed in the district that use the groundwater in their industrial processes. Of the 353 deep tubular wells registered in SABESP, in the industries of the area and in DAEE – Water and Electric Power Department 55 wells were selected for this research. These wells are distributed by the urban area of the city and they represent the conditions of occurrence of the groundwater in the district. The identification data of the wells, historical data, chemical analyses, pumping tests and geological profiles were gathered.

The data were interpreted using appropriate softwares and it was obtained the information of the hydrodynamic, hidrochemic and geology of Grupo Taubaté's sedimentary aquifer in the Municipal district of São José dos Campos, as well as the current exploitation conditions.

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
2.	LOCALIZAÇÃO .....	2
3.	METAS E OBJETIVOS .....	3
4.	TRABALHO PRÉVIOS .....	3
4.1.	GEOMORFOLOGIA E CLIMATOLOGIA .....	3
4.2.	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	4
4.3.	EMBASAMENTO DA BACIA .....	4
4.4.	ESTRATIGRAFIA .....	7
4.5	TECTONICA .....	11
4.6.	HIDROGEOLOGIA .....	12
5.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
5.1.	LEVANTAMENTO DOS NÍVEIS ESTÁTICOS, DINÂMICOS E VAZÕES.....	14
5.2.	CADASTRAMENTO DOS POÇOS .....	15
5.3	UTILIZAÇÃO DE <i>SOFTWARE</i> PARA TRATAMENTO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS.....	17
6.	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO E RESULTADOS OBTIDOS.	18
6.1.	HIDROQUÍMICA .....	18
6.2.	HIDROCLIMATOLOGIA .....	24
6.3.	HIDRODINÂMICA .....	26
6.4.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES DE VAZÃO .....	30
6.4.1.	Tipos de Aquíferos .....	30
6.5	DIFICULDADES ENFRENTADAS.....	33
7.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	34
8.	CONCLUSÕES .....	41
9.	AGRADECIMENTOS .....	43
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA .....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de localização do Município de São José dos Campos no Estado de São Paulo.....	2
Figura 4.1. Mapa de relevo sombreado do Município de São José dos Campos com a malha rodoviária principal e os limites estratigráficos.	7
Figura 6.1. Diagrama de Piper.....	19
Figura 6.2. Diagrama de Schoeller.....	19
Figura 6.3. Triângulo de Guggenbach.....	20
Figura 6.4. Mapa contendo parte do sistema de drenagem do Município de São José dos Campos e isolinhas de sólidos totais dissolvidos das águas subterrâneas.....	22
Figura 6.5. Mapa de isolinhas da dureza das águas subterrâneas, superposto ao principal sistema viário do Município de São José dos Campos.....	23
Figura 6.6. Balanço hídrico do Município de São José dos Campos.....	24
Figura 6.7. Utilização do método da superposição de Theis para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306154 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.....	27
Figura 6.8. Utilização do método da superposição de Hantush para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306045 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.....	28
Figura 6.9. Utilização do método da superposição de Neuman para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306072 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.....	29
Figura 6.10. Distribuição dos tipos de aquíferos para cada poço cadastrado e interpretado no Município de São José dos Campos....	32

Figura 7.1. Mapa de isolinhas dos níveis piezométricos em relação ao nível do mar (em metros), superposto à rede de drenagem na região central de São José dos Campos.....	35
Figura 7.2. Mapa de isolinhas da transmissividade (em m <sup>2</sup> /h) superposta à rede de drenagem. ....	37
Figura 7.3. Mapa de isolinhas de evoluções das vazões (em m <sup>3</sup> /h). ....	38
Figura 7.4. Mapa da direção do fluxo de água subterrânea, superposto à rede de drenagem. ....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Divisão litoestratigrafica proposta por diferentes autores (modificado de SAAD, 1990) .....	8
Tabela 6.2 Tabela com os resultados do balanço hídrico do Município de São José dos Campos .....	25

## LISTA DE ANEXOS

**Tabela 1** Dados descritivos e resumidos dos 55 poços selecionados, em São José dos Campos.

**Tabela 2** Valores do Nível Dinâmico (em metros) no local dos poços da SABESP, no Município de São José dos Campos.

**Tabela 3** Valores de vazão (em m<sup>3</sup>/h) no local dos poços da SABESP, no Município de São José dos Campos.

# 1 INTRODUÇÃO

O Município de São José dos Campos está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. A região teve inicialmente na captação das águas superficiais sua principal fonte de abastecimento. A partir dos anos 60 houve uma mudança na forma de obtenção da água motivada pelo desenvolvimento econômico e hoje o abastecimento é, em grande parte, suprido por águas subterrâneas.

O Município é formado por três distritos: a sede principal, na parte central; Eugênio de Melo, na parte leste; e São Francisco Xavier, na parte norte.

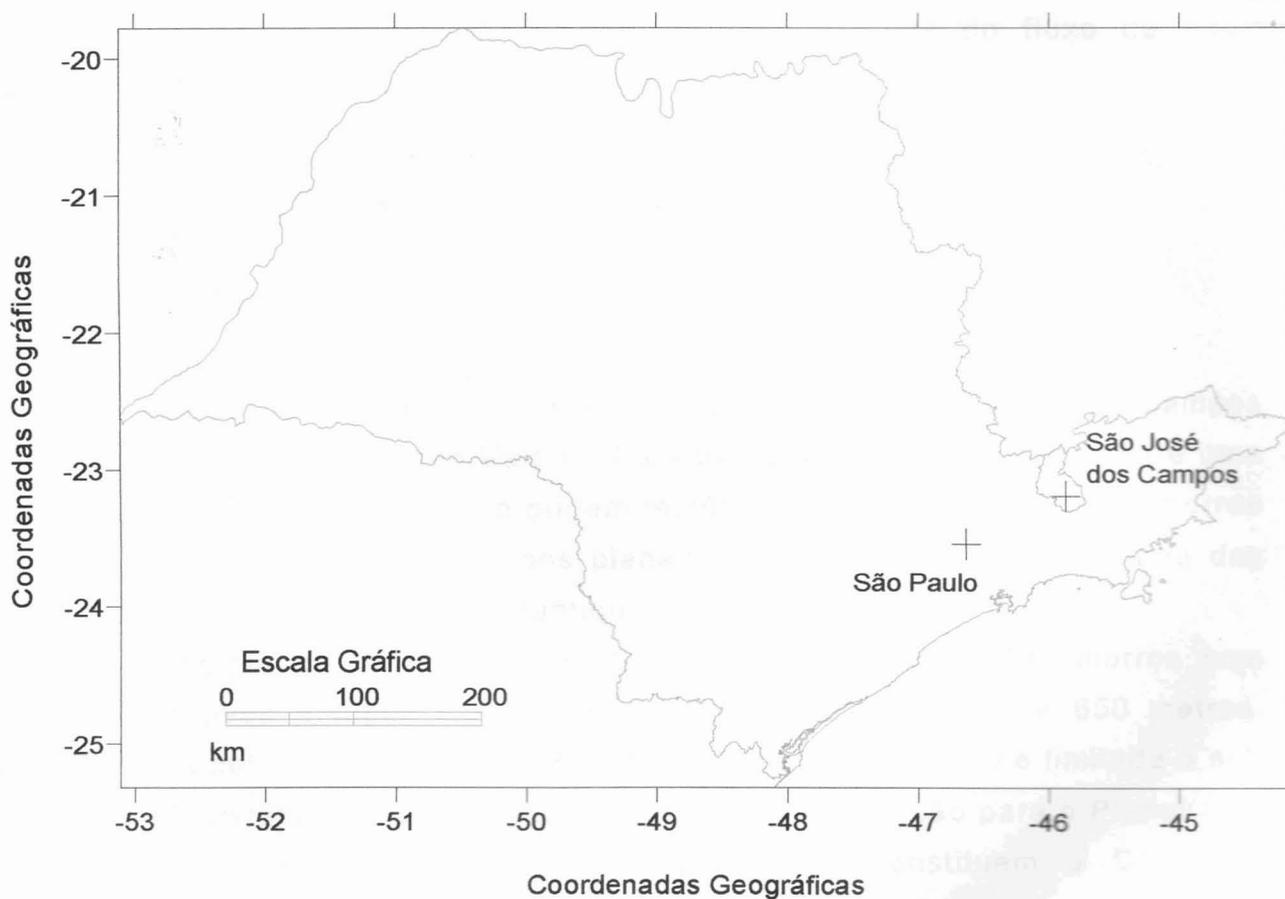
No Município, o rio Paraíba do Sul desloca-se de sudeste para nordeste (após ultrapassar o chamado “cotovelo de Guararema” local onde o curso do rio é invertido). A partir da nascente, os principais rios que compõem o rio Paraíba do Sul são os rios Paraibuna e Paraitinga. Até chegar na cidade de Caçapava, após São José dos Campos, os principais afluentes são: rios Guararema, Jaguaré e Buquira, na margem esquerda e Ribeirão dos Putins e rio Pararangaba, na margem direita. Um importante afluente é o rio Jaguari, que forma a represa do mesmo nome e está localizado a noroeste da região central do Município de São José dos Campos.

O contexto geológico da área do Município, em superfície e sub-superfície, é bem conhecido, possibilitando executar-se a integração geológica a partir dos dados provenientes dos trabalhos executados e dos perfis dos poços levantados neste trabalho.

Esta pesquisa foi realizada com apoio financeiro do projeto FAPESP-FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO nº 2003/06507-8. Através do qual foram levantados e cadastramento 353 poços tubulares profundos em todo o Município, dos quais 55 foram selecionados para este estudo. Os poços foram cadastrados junto ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, SABESP de São José dos Campos e indústrias da região. Os níveis dinâmicos e vazões dos poços cadastrados foram levantados, o que possibilitou a confecção de mapas potenciométricos do aquífero sedimentar. Neste trabalho é realizada uma avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Sedimentar de Taubaté, no Município de São José dos Campos.

## 2. LOCALIZAÇÃO

O Município de São José dos Campos está localizado no Vale do Paraíba, região sudeste do Estado de São Paulo (**Figura 2.1**). Os acessos à cidade se dão pela Rodovia Presidente Dutra e pela Rodovia Carvalho Pinto, que liga Taubaté a São Paulo, possibilitando o acesso a Campos do Jordão e litoral norte. É também interligada com a Rodovia dos Tamoios e Rodovia Dom Pedro I, o que possibilita o tráfego, respectivamente, em direção a Caraguatatuba e Campinas. A cidade também possui um aeroporto internacional com pista dimensionada para pouso e decolagem de qualquer tipo de aeronave comercial.



**Figura 2.1.** Mapa de localização do Município de São José dos Campos no Estado de São Paulo.

### **3. METAS E OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo a interpretação dos dados obtidos no cadastramento de poços tubulares profundos para efetuar levantamentos hidrogeológicos, a fim de definir as características hidroquímicas, hidrodinâmicas e hidrogeológicas do aquífero sedimentar, no Município de S. J. dos Campos e do potencial de exploração das águas subterrâneas.

O trabalho visa também a integração do conhecimento geológico e hidrogeológico existente na bibliografia referente à área do Município de São José dos Campos, na região da bacia sedimentar de Taubaté, como auxiliar na caracterização hidrogeológica do aquífero sedimentar.

Visa, também, determinar a evolução das direções do fluxo de água subterrânea e elaboração de mapa vetorial de fluxo.

### **4. TRABALHO PRÉVIOS**

#### **4.1. GEOMORFOLOGIA E CLIMATOLOGIA**

De acordo com ALMEIDA (1964), o Município de São José dos Campos localiza-se na zona do Médio Vale do Paraíba. O Médio Vale do Paraíba é uma depressão reconhecidamente de origem tectônica, formado por colinas e morros baixos, que separam as zonas dos planaltos do Paraitinga e da Bocaina das elevadas escarpas da Serra da Mantiqueira.

O Município de São José dos Campos é representado por morros com encostas suaves e topos achatados, com altitudes entre 550 e 650 metros, sustentados pelo Grupo Taubaté (HASUI *et al.*, 1978). A região é limitada a sul, por morros cristalinos que constituem um relevo de transição para o Planalto da Bocaina e a norte, por relevos de serras que constituem a Serra da Mantiqueira.

FLORENZANO (1993) elaborou uma carta hipsométrica do Município de São José dos Campos, a partir de curvas de níveis digitalizadas e pontos cotados, dividindo-a em classes altimétricas. Relacionando com a interpretação das imagens do satélite LANDSAT-5, relacionou as classes altimétricas com as unidades de relevo, obtendo a seguinte comparação:

classe altimétrica de 550 – 560 m correspondente às planícies aluviais do rio Paraíba do Sul e afluentes, de relevo plano sujeito a inundações periódicas, amplitudes inferiores a 10 m e declividade máxima de 2%;

classe altimétrica de 580 – 590 m correspondente aos terraços terciários, baixos e pequenos, com relevo plano ligeiramente dissecado, amplitudes médias inferiores a 10 m e declividade máxima de 2%;

No Município de São José dos Campos o clima é subtropical, com temperaturas médias acima de 21°C e a precipitação anual varia entre 1100 e 2500 mm.

## 4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Segundo HASUI *et. al.* (1978) a Bacia de Taubaté está inserida no complexo cristalino pré-cambriano do leste paulista, onde são limitados a norte pela Falha do Boquira e a sul pela Falha do Alto da Fartura

No contexto geológico regional, a Bacia de Taubaté pertence a um conjunto de bacias tafrogênicas. Especificamente esta bacia apresenta uma forma alongada (170 km de comprimento por cerca de 10-20 km de largura), situada na extremidade nordeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas de 22°30' e 23°30' de latitude sul e 44°45' e 46°30' de longitude oeste, subparalela aos principais traços estruturais e geomorfológicos da região sudeste do Brasil, denominado por ALMEIDA (1976) "Sistema de Rifts da Serra do Mar" e mais recentemente de " Rift Continental do Sudeste do Brasil" por RICCOMINI (1989).

## 4.3. EMBASAMENTO DA BACIA

O embasamento cristalino pré-cambriano da região do Rift continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989) compreende rochas metamórficas (milonito-gnaisses, blastomilonitos, milonitos, gnaisses bandados, gnaisses graníticos, xistos, quartzitos e anfibolitos), rochas ígneas (granitos, pegmatitos e aplitos) e migmatitos com espessuras variadas, apud GOENOPAWIRO (1997).

A parte norte do Município de São José dos Campos é caracterizada por granitos e charnockitos do Domínio Socorro, separadas das rochas do Domínio Embu, pelas zonas de cisalhamento Jundiuvira e São Bento do Sapucaí (NEGRI, 1995; 2002). Ao sul destas zonas de cisalhamento têm-se as unidades gnáissico-migmatíticas e xistos do Complexo Embu separadas dos metassedimentos de baixo grau metamórfico do Grupo São Roque pela zona de cisalhamento Buquira. Na porção centro-sul do Município de São José dos Campos ocorrem sedimentos Terciários e Quaternários da Bacia de Taubaté caracterizados pelas unidades do Grupo Taubaté.

O Domínio Socorro, na região de São Francisco Xavier, é caracterizado pela presença de expressivo magmatismo charnockito-granítico a granítico. Estas rochas estão em contato gradacional com granitos porfiróides, que intrudem em seqüência supracrustal de alto grau metamórfico, são granoblásticas, de coloração verde escura, granulação grossa, constituídos essencialmente por feldspato potássico perítico, plagioclásio andesina-oligoclásio, quartzo e secundariamente ocorrem biotita, anfibólio e hiperstênio (SADOWSKI ; CARNEIRO, 1974). De acordo com OLIVEIRA ; NEGRI (1990), o domínio NNW da zona de cisalhamento Jundiuvira (porção mais meridional da nappe de empurrão Socorro-Guaxupé) é constituído por rochas charnockito-graníticas intrusivas em terrenos gnáissico migmatíticos de médio a alto grau metamórfico.

O Complexo Embu, é representado por seqüências metassedimentares de médio grau metamórfico, gnaisses e xistos diversos, localmente migmatizados e, dentro deste contexto, ocorre a zona de cisalhamento Buquira. São conglomerados, rochas calciossilicáticas, mármore e anfibolitos, de metamorfismo fácies xisto verde a fácies anfibolito, alcançando até migmatização. Na porção norte da Bacia de Taubaté, ao sul da Zona Transcorrente Jundiuvira, ocorrem faixas alongadas de metassedimentos, caracterizados por micaxistos e gnaisses, anfibolitos, migmatitos com mesossoma xistoso e gnáissico aflorantes que pertencem ao Domínio Embu. Apresentam-se em faixas intercaladas com granitóides sin-tectônicos (SANTORO *et al.*, 1991).

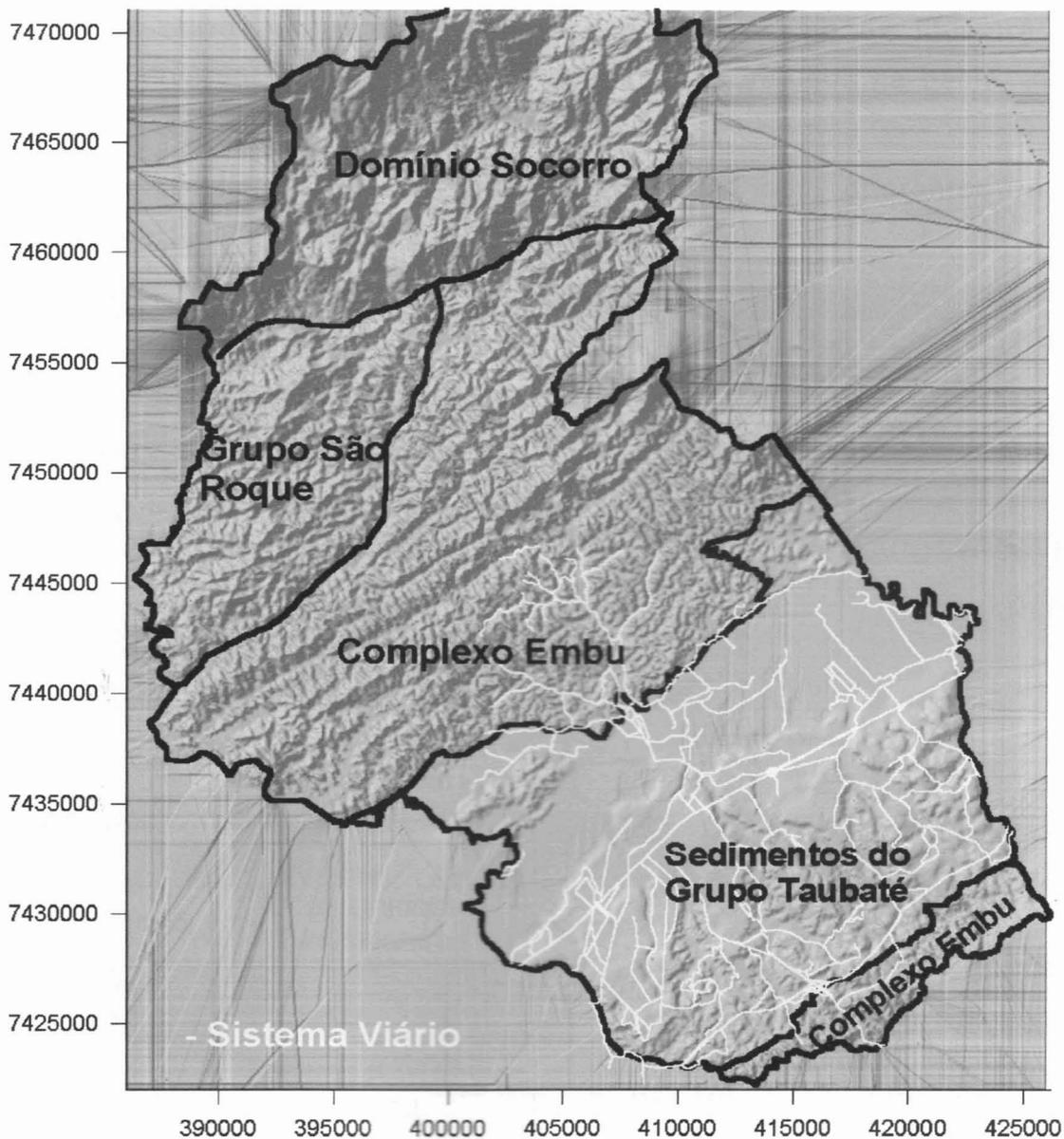
O Domínio Embu corresponde uma faixa compreendida entre as zonas de cisalhamento de Cubatão e do Rio Jaguari, limitando-se pelas rochas do domínio Costeiro a sul e rochas do domínio São Roque a norte. Corresponde à área de ocorrência denominada classicamente de Grupo Açungüi. A

denominação Grupo Açungüi é rejeitada para as supracrustais de mais alto grau, xistos e gnaisses migmatíticos (CPRM, 1999).

Rochas de alto grau metamórfico, presentes no domínio Embu, estão representadas por manchas de granulito intermediário e localmente silimanita-granada quartzito em ortogneisse porfiroblástico do Bloco de Bengala descrito por CARNEIRO (1977) e HASUI *et al.* (1978), na região de São José dos Campos. O Bloco Bengala, segundo CARNEIRO (1977), constitui-se de migmatitos diversos, estromáticos, embrechíticos e granulitos, que ocorrem como uma faixa alongada onde predominam rochas de médio grau metamórfico, milonítico, alçadas tectonicamente em terrenos de baixo a médio grau metamórfico.

O Grupo São Roque, limitado localmente pela falha de Jundiuvira ao N, com direção ENE-SSW e pela falha de Buquira a leste, esta com direção SW-NE. Caracteriza-se por xistos, filitos, quartzitos e um substrato gnáissico migmatítico (IPT, 1981).

A geologia de todo o Município está discriminada no mapa de relevo sombreado da **Figura 4.1** de DINIZ *et al.* (em preparação), obtido através da interpolação de 266.199 pontos altimétricos com coordenadas digitais (CIDADE VIVA, 2003) a partir de cartas topográficas onde as equidistâncias entre as curvas de nível é de 20 metros (IGG 1974 – Folha de Igaratá; IBGE 1972 – Folha de Camanducaia; IBGE 1973a – Folha Monteiro Lobato; IBGE 1973b – Folha de São José dos Campos; IBGE 1974 – Folha de Jacareí) e interpretados segundo os critérios de VENEZIANI (1987), que possibilitou a caracterização dos principais conjuntos litoestratigráficos estruturais e da tectônica rúptil e dúctil que atuaram na região.



**Figura 4.1.** Mapa de relevo sombreado do Município de São José dos Campos com a malha rodoviária principal e os limites estratigráficos.

#### 4.4. ESTRATIGRAFIA

A descrição da Bacia Sedimentar de Taubaté, na parte centro-sul do Município de São José dos Campos, já passou por várias revisões na sua divisão litoestratigráfica, tanto em termos de conceito quanto de proposição de nomes, destacando-se os trabalhos de PISSIS (1842), WASHBURNE (1930); AB'SABER (1958); SUGUIO (1968); CARNEIRO *et. al.* (1976); HASUI *et. al.* (1978); HASUI & PONÇANO (1978); RICCOMINI *et. al.* (1987); RICCOMINI

(1989), entre outros. A tabela 4.1 apresenta um resumo da litoestratigrafia proposta por diversos autores, desde o começo dos estudos na bacia, meados do século XIX, até a década de setenta.

**Tabela 4.1.** Divisão litoestratigrafica proposta por diferentes autores (modificado de SAAD, 1990)

AUTOR	ESTRATIGRAFIA		
PISSIS (1842),	Uma única unidade sedimentar	SEDIMENTOS PLIOCÊNICOS NO VALE DO PARAÍBA	
FLORENCE & PACHECO (1930),	Uma única unidade sedimentar	CAMADAS PARAÍBA DO SUL	
WASHBURNE (1930),	Duas Unidades Sedimentares	SEÇÃO SUPERIOR (FLUVIAL E ARENOSA)	
		SEÇÃO INFERIOR (LACUSTRINA E PELÍTICA)	
MORAES REGO (1933),	Duas Unidades Sedimentares	CAMADAS SÃO PAULO	
		CAMADAS PARAÍBA DO SUL	
ALMEIDA (1955),	Duas Unidades Sedimentares	FORM. SÃO PAULO	
		FORM. TREMEMBÉ	
SETZER (1955, 1956),	Duas Unidades Sedimentares	UNIDADE SUPERIOR QUATERNÁRIA	
		UNIDADE INFERIOR TERCIÁRIA	
AB'SABER (1958),	Duas Unidades Sedimentares	FORM. TAUBATÉ	
		—	
MEZZALIRA (1961-1962),	GRUPO TAUBATÉ	FORM. SÃO PAULO	
		FORM. TREMEMBÉ	
AB'SABER (1968),	GRUPO PARAÍBA DO SUL	FORM. PARATEÍ DO MEIO	
		FORM. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	
		FORM. TREMEMBÉ	
CARNEIRO ET. AL. (1976),	Duas Unidades Sedimentares	FORM. CAÇAPAVA	
		—	
HASUI & POÇANO (1978)	GRUPO TAUBATÉ	FORM. CAÇAPAVA	
		FORM. TREMEMBÉ	
VESPUCCI (1984),	GRUPO TAUBATÉ	FORM. CAÇAPAVA	
		FORM. JACAREÍ	
		FORM. TREMEMBÉ	
RICCOMINI (1989),	GRUPO TAUBATÉ	FORM. SÃO PAULO	
		FORM. RESENDE	
		FORMAÇÃO TREMEMBÉ	
IPT (1991).	GRUPO TAUBATÉ	FORM. CAÇAPAVA	FORM. RESENDE
			FORM. SÃO PAULO
		FORM. ITAQUECETUBA	FORM. TREMEMBÉ
			FORM. TREMEMBÉ

WASHBURNE (1930) apud MANCINI (1995) teceu comentários sobre a existência de dois pacotes sedimentares nos “Estratos Terciários do Paraíba”: um inferior de origem lacustre e outro superior com características fluviais. Entretanto, não definiu esses pacotes como formações. MORAES REGO (1933) realizou o reconhecimento desses dois pacotes sedimentares, denominando o inferior de “Camada do Paraíba” e o superior de “Camadas de São Paulo”.

SUGUIO (1968), confrontando os resultados de determinação microscópica de 13 amostras de regolitos das rochas do embasamento cristalino com os dados de minerais pesados de 85 amostras de sedimentos do Grupo Taubaté, apresenta, como uma tentativa para chegar à derivação dos sedimentos da Bacia de Taubaté (Formação São Paulo ou Formação Caçapava, como é mais conhecida). Com base no conteúdo mineralógico dos minerais pesados obtidos em amostras da Formação Caçapava, SUGUIO (1968) classifica esta formação como mineralogicamente imatura.

AB’SABER (1958) introduziu algumas modificações na coluna estratigráfica do grupo Taubaté, designando a unidade inferior como Formação Taubaté e subdividindo a unidade superior em duas, a saber: Formação São José dos Campos (inferior) e Formação Parateí do Meio (superior).

HASUI & PONÇANO (1978) elaboraram uma das colunas estratigráficas mais aceitas para esta bacia devido a sua operacionalidade, eles agruparam os sedimentos do em dois conjuntos, da base para o topo, em: Formação Tremembé de ALMEIDA (1955), de origem lacustre e a Formação Caçapava, sendo esta designação proposta por CARNEIRO *et al.* (1976) para os depósitos de canais e planícies de rios anastomosados na região de São José dos Campos e Caçapava. Essas unidades foram reunidas dentro do Grupo Taubaté.

VESPUCCI (1984) manteve a coluna proposta por HASUI & PONÇANO (1978), propondo a inserção da Formação Jacareí no Grupo Taubaté, a qual seria representada pelos depósitos de leques aluviais que não haviam sido descritos por CARNEIRO *et al.* (1976) na Formação Caçapava.

RICCOMINI (1989), propõe para o Grupo Taubaté, a divisão em formações Resende, São Paulo e Tremembé, de mesma idade, Paleógeno (Terciário), incluindo o basanita Casa da Pedra. O preenchimento sedimentar das Bacias do rift continental do sudeste do Brasil, tem como unidades litoestratigráficas superiores, a Formação Itaquecetuba, do Neógeno, representado pelos depósitos ligados ao sistema fluvial entrelaçado, localizado na região da cidade homônima, a Formação Pindamonhangaba para o sistema fluvial meandrante da

porção central da Bacia de Taubaté e cobertura de depósitos colúvio-aluviais, no Quaternário.

SAAD (1990), utilizando conceitos de Estratigrafia Genética, dividiu em primeiro ciclo de sedimentação (Seqüência Tremembé); segundo ciclo de sedimentação (Seqüência Taubaté) e terceiro ciclo de sedimentação (Seqüência Paraíba do Sul)

BRANDT NETO *et al.* (1991) subdividem o Grupo Taubaté em duas seqüências. A inferior, de idade paleogênica (Oligoceno), corresponde a um sistema de leques aluviais associados à planície aluvial de rios entrelaçados (braided), basal e lateral na bacia (Formação Resende), um sistema lacustre, mais propriamente caracterizável como playa-lake (Formação Tremembé), e um sistema fluvial meandrante (Formação São Paulo). A seqüência superior, separada da anterior por discordância angular, corresponde a outro sistema fluvial meandrante, de idade neogênica, bem desenvolvido na porção central da bacia, sendo denominada Formação Pindamonhangaba.

IPT (1991) propõe para a estratigrafia da Bacia de Taubaté, da base para o topo, as seqüências deposicionais, Tremembé, Taubaté, Pindamonhangaba e Vale do Paraíba. Sendo que as seqüências Taubaté e Tremembé podem ser correlacionadas ao sistema lacustre da Formação Tremembé (HASUI & PONÇANO, 1978 ; RICCOMINI, 1989). O sistema fluvial meandrante denominado Formação São Paulo, o sistema fluvial entrelaçado denominado Formação Itaquaquecetuba e o sistema de leques aluviais denominado Formação Resende (RICCOMINI, 1989), podem ser correlacionados com a Formação Caçapava.

FRANCO F<sup>o</sup> ; SOUZA (1994), ao analisar a exploração de água em São José dos Campos, consideraram para a Bacia sedimentar de Taubaté, a Formação Tremembé, na base, constituída por folhelhos com níveis pirobetuminosos e argilitos de cores verde acinzentadas, com intercalações centimétricas à decimétricas de arenitos, siltitos e brechas intraformacionais, originadas em ambiente lacustre. Na parte superior descrevem a Formação Caçapava, que é constituída por sedimentos arenosos e siltosos, com intercalações pelíticas, nas cores cinza, amarelo e vermelho, originadas em ambiente fluvial.

CAMPANHA (1994), discute a coluna sedimentar com base no modelo evolutivo de quatro bacias de Taubaté. A primeira Bacia de Taubaté corresponde à seqüência basal. A segunda Bacia de Taubaté é constituída por

depósitos de leques aluviais, sistemas fluviais entrelaçados e meandantes e sistema lacustre correspondentes às seqüências Taubaté e Tremembé. A terceira Bacia de Taubaté é constituída por sistemas de leques aluviais, sistema meandrante pelítico e psamítico correspondendo à seqüência Pindamonhangaba. A quarta Bacia de Taubaté é constituída por depósitos pliocênicos e recentes correspondendo a seqüência Vale do Paraíba.

MANCINI (1995), analisa as litologias, estruturas sedimentares e a tectônica da Formação Pindamonhangaba, proposta por RICCOMINI (1989), caracterizando as suas litofácies e realizando a elaboração de um mapa geológico 1:100.000 da Formação Pindamonhangaba e do Grupo Taubaté.

No presente trabalho, a geologia está sendo levantada com base na descrição do perfil dos poços tubulares profundos e, devido às dificuldades inerentes a partir de uma descrição geológica pré-existente realizada na época da perfuração dos poços, as relações estratigráficas somente podem ser deduzidas e não constatadas. Assim sendo, os leques aluviais da Formação Resende e os depósitos sedimentares do sistema fluvial meandrante da Formação São Paulo serão considerados como sendo exclusivamente constituintes da Formação Caçapava. Da mesma forma, a Formação Pindamonhangaba não será descrita de forma independente e, sendo assim, será incluída na Formação Caçapava. Já a Formação Tremembé, que pela constituição mineralógica exclusiva dos argilominerais constituintes, é mais facilmente identificável, continuará sendo descrita como tal.

#### 4.5 TECTONICA

Os primeiros trabalhos sobre a Bacia de Taubaté já faziam menções à existência de um sistema de falhas de direções nordeste (NE) e noroeste (NW), afetando as camadas sedimentares, além da identificação de altos estruturais locais (MAULL, 1930; DEFFONTAINES, 1939; RUELLAN, 1943; KING 1957 *apud* RICCOMINI, 1989).

HASUI *et. al.* (1978) e HASUI & PONÇANO (1978) realizaram estudos envolvendo tanto os sedimentos da Bacia de Taubaté quanto o Complexo Cristalino pré-cambriano. Através desses estudos esboçaram uma compartimentação estrutural constituída por cinco sub-bacias (Parateí, Jacareí,

Eugênio de Melo, Tremembé e Lorena), separadas pelos altos estruturais do rio Putins, de Caçapava, de Aparecida e pela Falha de São José.

SAAD (1990) postulou uma compartimentação da Bacia de Taubaté formada por quatro sub-bacias: Jacareí, Eugênio de Melo, Taubaté e Pindamonhangaba, separadas pelos altos estruturais do rio Putins, de Caçapava, do rio Una e de Aparecida, respectivamente.

A compartimentação estrutural obtida por HASUI *et. al.* (1978), apresenta boa correlação com a sugerida por SAAD (1990), sendo que as três sub-bacias maiores, correspondem às depressões de Jacareí; de Eugênio de Melo e de Tremembé, enquanto que os altos estruturais identificados correspondem às feições positivas da Falha de São José e dos altos do rio Putins; de Caçapava e de Aparecida.

FERNANDES (1993) *apud* GOENOPAWIRO (1997), reinterpretoou os dados de sísmica de reflexão da PETROBRÁS, elaborando um modelo de arcabouço estrutural para a Bacia de Taubaté, onde foram definidos quatro compartimentos internos à bacia (Parateí; Jacareí-São José dos Campos; Quiririm-Taubaté e Aparecida Lorena), separados pelos altos estruturais de Caçapava, Pindamonhangaba e Falha de São José.

#### 4.6. HIDROGEOLOGIA

As rochas sedimentares formam o principal e melhor aquífero da região UGRHI 2 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Sistema Aquífero Sedimentar do Vale do Paraíba do Sul – SASPS, é formado pelas rochas do Grupo Taubaté (Seqüência Taubaté, IPT 1993) e da Formação Pindamonhangaba (RICCOMINI, 1989) de idade terciária, além dos sedimentos quaternários.

Uma primeira avaliação dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos da bacia do rio Paraíba do Sul, foi realizado por FRANGIPANI & PANNUTI (1965), no trabalho intitulado: "*Estudos hidrogeológicos da Bacia de Taubaté, entre Jacareí e Quiririm*". Estes autores levantaram dados hidrometeorológicos medidos desde o início do século, construíram poços de observação, instalaram piezômetros para medições de níveis, onde realizaram uma série de medidas de nível d'água e realizaram testes de vazão entre o período 1962 e 1964, visando

a caracterização do aquífero sedimentar entre Jacareí e Quiririm. Este trabalho pioneiro efetuou um primeiro levantamento das características hidrodinâmicas do aquífero sedimentar.

Segundo DAEE (1972), a porção sedimentar onde localiza-se a cidade de São José dos Campos, compreendendo a sub-bacia de Eugênio de Melo, é limitada pelos altos estruturais do rio Putins (SW) e de Caçapava (NE), e tem apresentado boas características hidráulicas para os aquíferos da região, sendo que as capacidades específicas dos poços nesta porção mostram valores três vezes superiores à média de outros poços perfurados em outras regiões do Vale do Paraíba.

Em 1976 o DAEE, com uma equipe multidisciplinar, procurou definir a geologia e a hidrogeologia da região, detalhando a área englobada pela Bacia Sedimentar de Taubaté, contemplando as vazões dos poços em cada sistema aquífero e, a hidrologia, modelando o regime de descarga do rio Paraíba do Sul e de seus principais afluentes. Embora este trabalho tenha sido publicado em 1977 (DAEE, 1977), ainda é o mais completo referencial hidrogeológico regional, apesar de necessitar de atualizações. Nesta época, os geólogos do DAEE cadastraram cerca de 400 poços na bacia.

As características hidrogeológicas dos sedimentos terciários da estão fortemente relacionados aos ambientes de deposição da Bacia de Taubaté, podendo-se diferenciar, regionalmente duas unidades com diferentes comportamentos hidráulicos. A primeira, nas porções sudeste e noroeste da bacia, relacionadas ao ambiente fluvial, apresentando altas vazões. A segunda, na região central da bacia, associada ao ambiente lacustrino, com vazões bem menores (AGUIAR *et al.* 1985).

O aquífero sedimentar da Bacia de Taubaté possui vazões médias muito superiores às das rochas cristalinas que ocorrem na parte norte do Município de São José dos Campos. Para uma simples comparação, o poço da SABESP que abastece o Bairro do Costinha, dentro da região pertencente ao Complexo Embu tem vazão de  $32,65 \text{ m}^3/\text{h}$ , embora, seja um poço com uma vazão excepcional para o aquífero cristalino. Comparativamente, o poço localizado na região de Vila Lúcia/Lavapés possui vazão  $122,33 \text{ m}^3/\text{h}$ , sendo que este poço capta água do aquífero sedimentar da Bacia de Taubaté.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal método de pesquisa hidrogeológica utilizado neste trabalho constou da obtenção de dados pré-existentes dos poços tubulares profundos do Município de São José dos Campos, através do cadastramento destes poços, de forma a obter-se um inventário hidrogeológico geral através de uma sólida base de dados. Este cadastramento foi realizado junto ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, na SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e nas indústrias da região. Como o maior usuário das águas subterrâneas do Município é a SABESP, foram realizadas diversas visitas aos escritórios desta empresa, em São José dos Campos, a fim de conseguir-se a maior quantidade de dados hidrogeológicos possíveis dos poços operados por ela em São José dos Campos. As coordenadas e cotas de uma significativa parcela dos poços tubulares profundos operados pela SABESP foram levantadas no campo utilizando-se um GPS Etrex Vista.

A área detalhada neste trabalho tem aproximadamente 384 Km<sup>2</sup>, situa-se entre as coordenadas UTM 400000-424000 E/W e 7426000-7442000 N/S com cotas médias entre 550 e 650 metros de altitude.

### 5.1. LEVANTAMENTO DOS NÍVEIS ESTÁTICOS, DINÂMICOS E DAS VAZÕES

O Município de São José dos Campos possui cerca de 540 mil habitantes, sendo que 40% dessa população é, atualmente, abastecida por água subterrânea proveniente de 62 poços tubulares profundos pertencentes à SABESP. Dos 55 poços selecionados neste trabalho 18 deles (tabela 2 e 3 – Anexo I), estão distribuídos na área urbana da cidade. Estes 18 poços tiveram seus níveis dinâmicos e vazões monitorados, desde 1998 até 2003 pela SABESP, observando-se qual a tendência histórica dos níveis d'água do aquífero sedimentar da Formação Caçapava.

Os dados de identificação dos poços, histórico do abaixamento dos níveis dinâmicos e estáticos, análises químicas, testes de bombeamento e perfis geológicos, foram reunidos e interpretados utilizando os softwares adequados, obtendo-se a caracterização hidrodinâmica, hidroquímica e hidrogeológica do aquífero sedimentar do Grupo Taubaté no Município de São José dos Campos.

Foi compilado um balanço hídrico para conhecer os períodos de excedente e déficit hídrico.

## 5.2. CADASTRAMENTO DOS POÇOS

O acervo de dados destes poços, de São José dos Campos, foram cadastrados no arquivo de poços do Instituto Geológico, utilizando o software Microsoft Excel 2002. Foram selecionados para esta pesquisa um total de 55 poços, sendo 23 pertencentes à SABESP, em operação ou não e 32 de particulares. A tabela 1 em Anexo mostra de forma resumida as informações mais importantes para cada poço cadastrado. O cadastro (tanto para os poços da SABESP ou das empresas que possuem fonte própria de abastecimento) compõe-se de dois tipos de arquivos. No primeiro tipo, o cadastro foi realizado em uma planilha contendo as variáveis características de cada poço dispostas em colunas (software Microsoft Excel), onde foram lançados os dados resumidos dos poços, segundo os itens listados abaixo:

- dados de identificação: - número do poço no cadastro do Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, endereço, proprietário, projetista, data da construção, companhia perfuradora, coordenadas UTM km EO e NS, aquífero explorado e uso da água;
- dados construtivos: - profundidade do poço, profundidade e diâmetro do tubo de boca, intervalos e diâmetros das perfurações, intervalos e volumes das cimentações e, intervalos e diâmetros de tubos lisos e de filtros;
- dados geofísicos e hidroquímicos: - a existência ou não de perfilagens elétricas, raios gama, potencial espontâneo, resistividade e caliper, data da análise físico-química e laboratório que a executou;
- testes de vazão: - obtidos durante os testes de bombeamento (rebaixamento e recuperação), com medidas do nível estático, nível dinâmico e profundidade na qual a bomba foi instalada, a potência do equipamento de bombeamento, a vazão específica do poço, rebaixamento específico e resultados dos testes de vazão escalonados;
- dados de exploração: - a vazão de exploração, o nível dinâmico, a quantidade de horas por dia, dias por mês e meses por ano nos quais a bomba é ligada, o tipo de equipamento instalado, o modelo do equipamento, a potência e a profundidade, e as medidas históricas dos níveis dinâmicos e vazões.

No segundo tipo de cadastro, foram utilizadas várias planilhas individuais para cada poço da SABESP, onde, em cada uma delas foram lançados os seguintes dados:

- planilha contendo a identificação e localização: - número do poço do cadastro do DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, número do poço do proprietário, número da folha topográfica do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, endereço do local do poço, proprietário, coordenadas UTM metros EO e metros NS, cota altimétrica, profundidade do poço, profundidades do nível estático e nível dinâmico, vazão de exploração e situação do poço;
- planilha contendo os dados do teste de vazão: - onde encontram-se os dados de teste de bombeamento e células-fórmulas para o cálculo da Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento;
- planilha contendo o perfil geológico: – com a descrição das litologias e seus respectivos intervalos de ocorrência;
- planilha contendo a história potenciométrica do aquífero: – esta planilha contém os dados das vazões e dos níveis dinâmicos dos poços da SABESP, obtidos na SABESP e em pesquisas de campo realizadas durante a vigência deste projeto, e com medições mensais desde janeiro de 1998;
- gráficos: – foram realizados gráficos utilizando o software Microsoft Excel com os dados das planilhas da história potenciométrica para mostrar a evolução temporal dos níveis dinâmicos e vazões;
- planilha contendo a história da exploração do poço: - onde foram plotados os dados da bomba submersa, os dados da linha (edutor, cavalete e adutora) e a curva do sistema.

Vale ressaltar que nem todas as informações cadastradas no Projeto FAPESP nº 03/06507-8, foram utilizadas neste estudo. Por exemplo, alguns dados construtivos dos poços, dados geofísicos, dados sobre os equipamentos utilizados na exploração dos poços, entre outros, foram cadastrados visando embasar o Projeto de Pesquisa da FAPESP-FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, nº 2003/06507-8, que possibilitou a realização desse estudo, e que tem como coordenador o Dr. Hélio Nóbile Diniz, co-orientador dessa monografia.

### 5.3 UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE PARA TRATAMENTO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS

Foram selecionados em todo o Município de São José dos Campos um total de 55 poços, dos quais em cerca de 34 obteve-se os dados dos testes de vazão, realizados quando do término das perfurações. A partir destes dados e utilizando o software Origin 5.0, da Microcal, usualmente utilizado para representação e interpretação dos dados dos testes de vazão (DINIZ & MICHALUATE, 2002), foram calculados graficamente a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento. A análise dos gráficos mostrou quais os tipos de aquíferos predominam na região. Através do software SURFER 8.0, da Golden Software, dos E.U.A, de uso corrente em cartografia e representação gráfica de elementos geológicos, serão gerados mapas de comparação das variações dos níveis dinâmicos medidos entre 1998 e 2003, construção de mapas de isolinhas de vazões e piezométricos, de distribuição da transmissividade dos aquíferos e as zonas mais produtivas dos aquíferos do Município de São José dos Campos. Utilizando o software Waterloo Hydrogeologic Aquachem 4.0, interpretou-se os dados das análises químicas cadastradas, estabelecendo assim os parâmetros químicos predominantes nas águas subterrâneas do Município de São José dos campos.

## 6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO E RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1. HIDROQUÍMICA

Utilizando o software Waterloo Hydrogeologic Aquachem 4.0, interpretou-se os dados das análises químicas de 14 poços que possuíam os dados pertinentes para a realização da interpretação através do diagrama trilinear de Piper, de Giggenbach e do gráfico de Schoeller. O diagrama trilinear mostra a porcentagem dos principais íons presentes na amostra, ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ), e são comumente utilizados para realizar o estudo químico de água (FETTER, 1988).

Neste trabalho, devido às dificuldades inerentes à coleta (obtenção de permissão para coleta de amostras) e análises químicas (custo envolvidos nas análises) das águas subterrâneas dos poços, optou-se pelo simples cadastramento das análises químicas pré-existentes e que foram realizadas pelas empresas perfuradoras, quando do término da construção dos poços, necessárias para cumprir as exigências da Portaria 1469/00 do Ministério da Saúde do Brasil.

O Diagrama de Piper representado na **Figura 6.1.** (DAVIS; DEWIEST, 1966) é utilizado para ilustrar a tipologia das águas subterrâneas do aquífero em estudo. Aplicado em 6 amostras, indica que as águas subterrâneas são bicarbonatadas, sódicas, potássicas e cálcicas, predominantemente. São fracamente salinizadas com teor médio de sólidos totais dissolvidos, inferior a 60 mg/L. Nas rochas cristalinas, as águas subterrâneas são mais salinizadas, com teores de sólidos totais dissolvidos entre 200 e 300 mg/L.

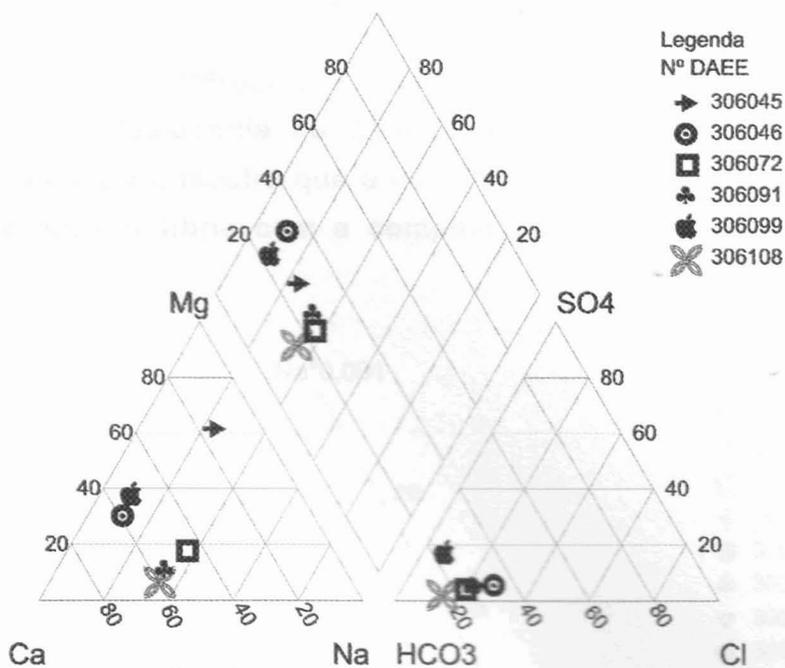


Figura 6.1. Diagrama de Piper.

O gráfico de Schoeller representado na Figura 6.2 (MATTHESS, 1982) é usualmente utilizado para representar a potabilidade das águas subterrâneas do aquífero estudado. Aplicado em 14 amostras, mostra a concentração dos elementos mais abundantes encontrados em águas naturais. Indica que as águas subterrâneas do Município de São José dos Campos, são potáveis e adequadas ao consumo humano.

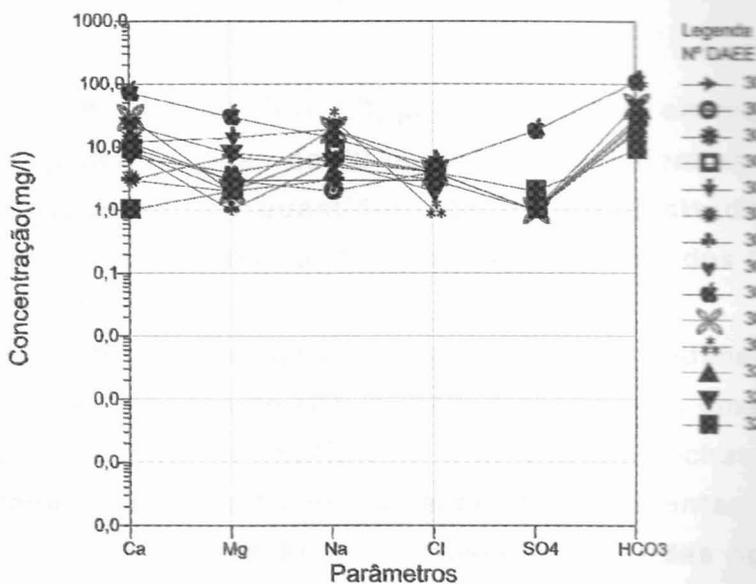


Figura 6.2. Diagrama de Schoeller.

O Triângulo de Giggenbach ilustrado na Figura 6.3 (GIGGENBACH, 1988) representa o equilíbrio hidroquímico das águas subterrâneas, indicando o respectivo tempo de residência da água subterrânea do aquífero em estudo. Aplicado em 11 amostras, mostra que a composição química da água do aquífero sedimentar está em equilíbrio com a composição química da rocha sedimentar (boa maturidade).

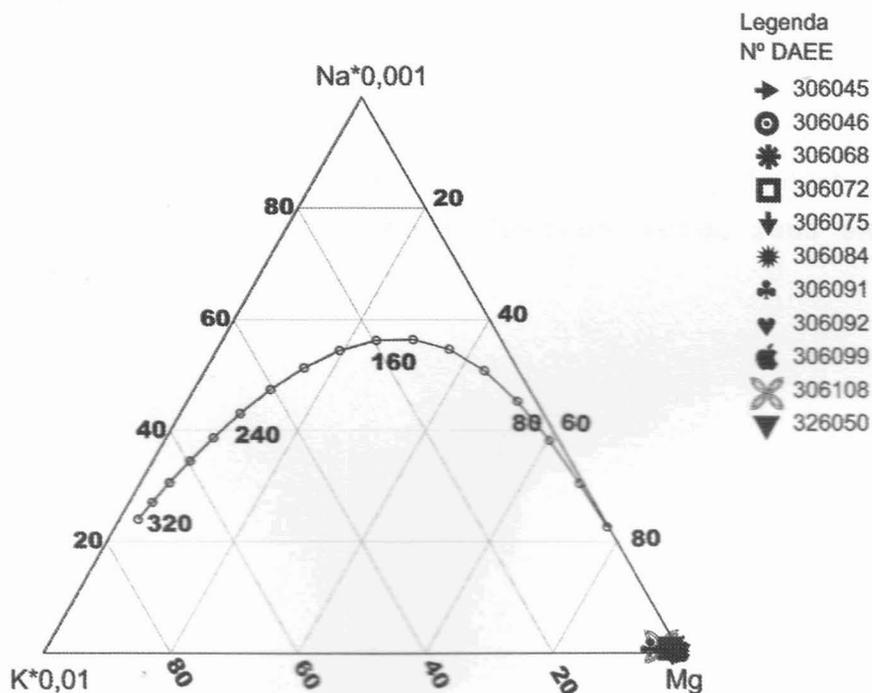


Figura 6.3. Triângulo de Giggenbach

Utilizando o software SURFER 8.0, para representar em mapa, interpretou-se os dados das análises químicas de 30 poços que possuíam os dados pertinentes para a representação do pH, quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) e dureza das águas subterrâneas no Município de São José dos Campos, na região da bacia sedimentar.

O pH é menor que 7 nas águas subterrâneas dos sedimentos da Formação Caçapava, devido à presença de CO<sub>2</sub> dissolvido, indicando uma rápida circulação das águas. Na parte norte do município, onde afloram rochas do embasamento cristalino, as águas apresentam maior alcalinidade, apresentam pH maior que 7.

As quantidades de sólidos totais dissolvidos (STD) das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Taubaté (Figura 6.4) são baixas, geralmente inferiores a 45 mg/L. Esta quantidade aumenta em direção à parte norte-nordeste, onde ocorrem rochas do embasamento cristalino altamente intemperizadas e cuja

constante de equilíbrio dos produtos minerais alterados possibilitam uma maior quantidade de sais dissolvidos para as águas que percolam estes terrenos.

Segundo DRISCOLL (1989) o movimento da água que infiltra no solo proporciona um longo contato com os minerais constituintes das rochas e que, cada mineral possui uma constante de equilíbrio que possibilita a dissolução parcial dos seus elementos constituintes na solução que percola o terreno. Portanto, as rochas cristalinas, principalmente granitos e gnaisses, que possuem diversos tipos de minerais ferro-magnesianos, possibilitam que as águas subterrâneas possuam uma maior quantidade de sais dissolvidos do que as rochas sedimentares granulares, como os arenitos, principalmente formados por minerais de quartzo e feldspatos, pouco alterados, sendo seus elementos são poucos solúveis.

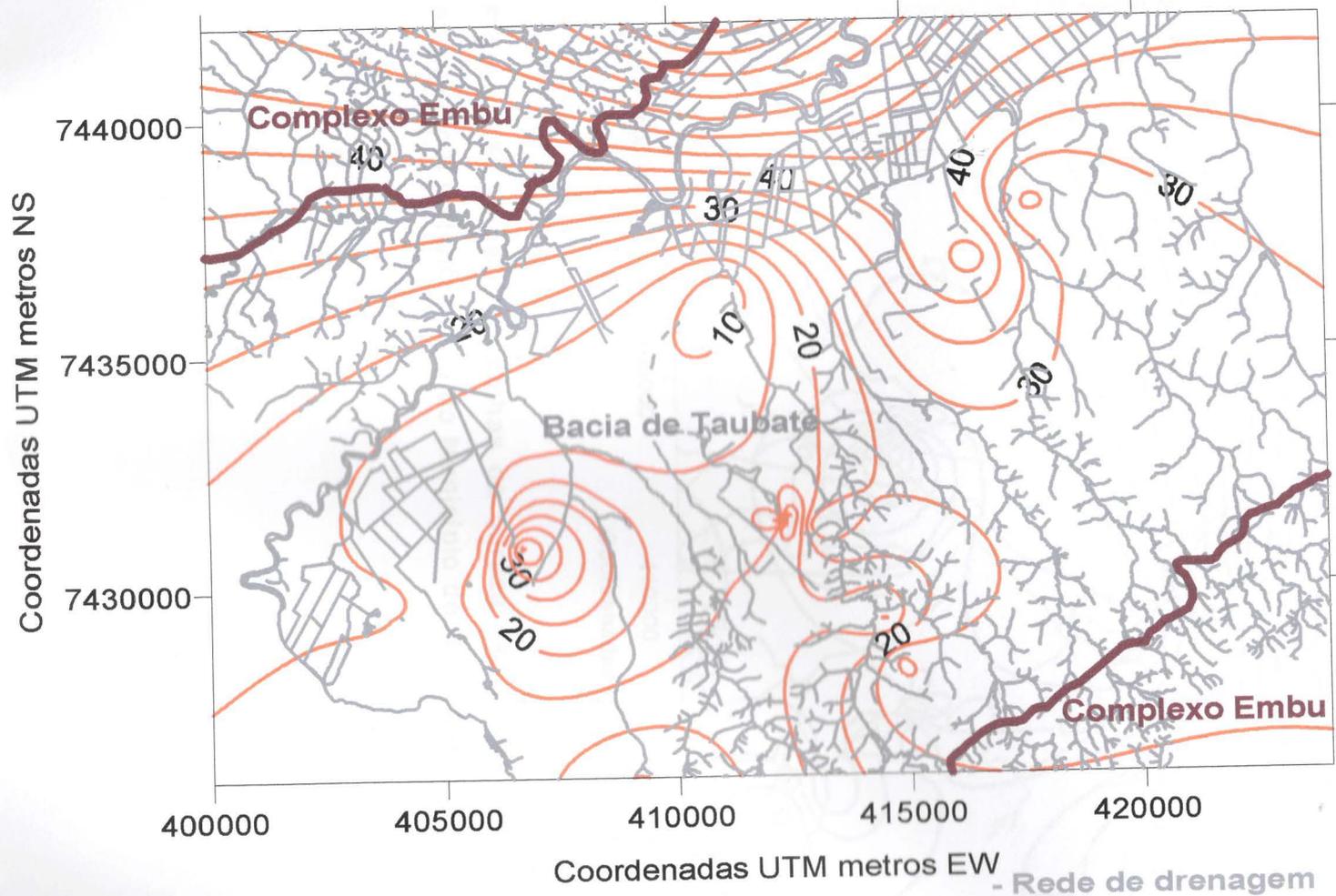
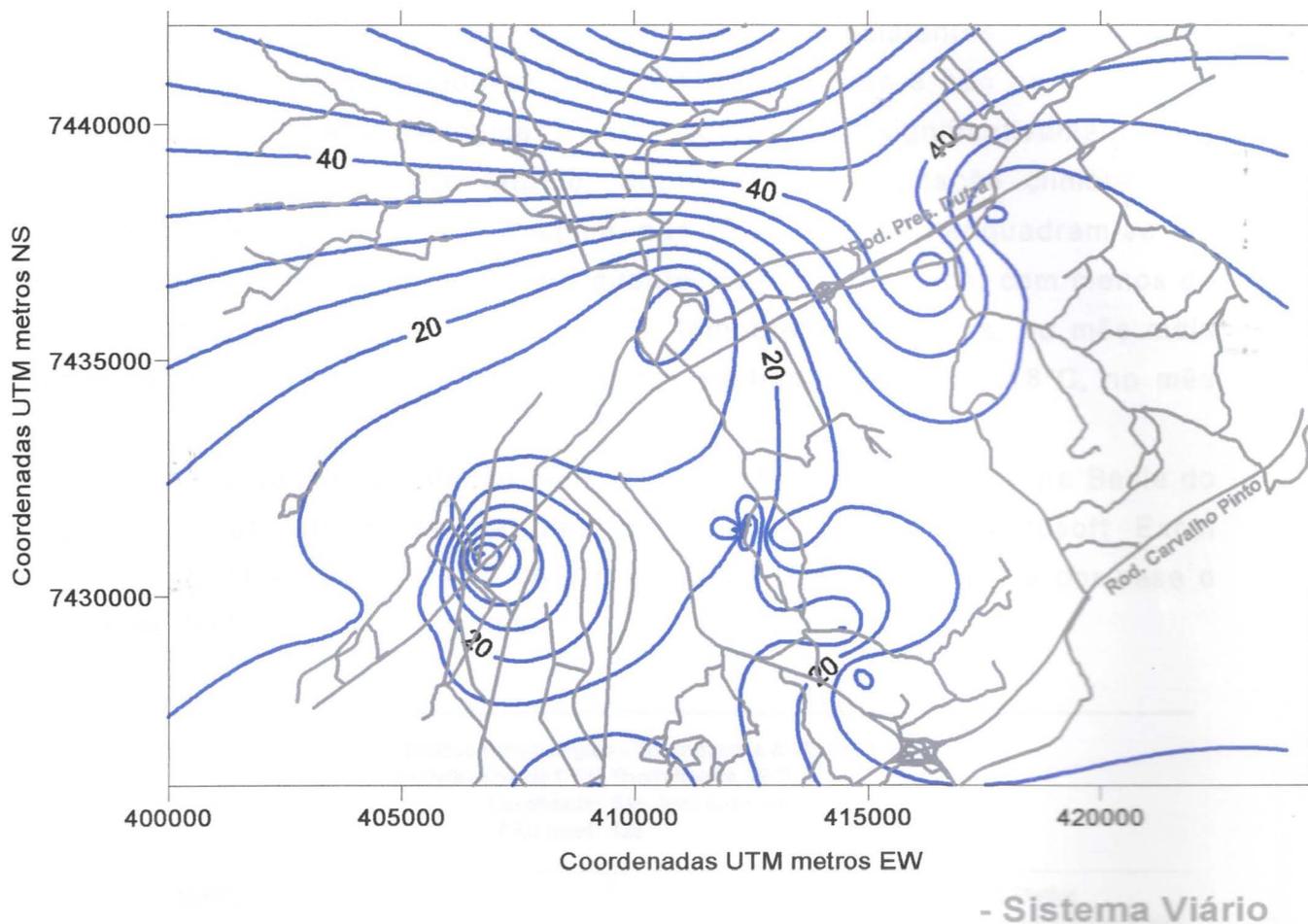


Figura 6.4. Mapa contendo parte do sistema de drenagem do Município de São José dos Campos e isolinhas de sólidos totais dissolvidos das águas subterrâneas.

A dureza das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar de Taubaté (Figura 6.5) é baixa, devido à baixa concentração de compostos carbonatados. Mas, a quantidade aumenta em direção à parte norte-nordeste, onde ocorrem as rochas ígneas e metamórficas, cristalinas, que possuem minerais carbonáticos, como a calcita, na sua composição.

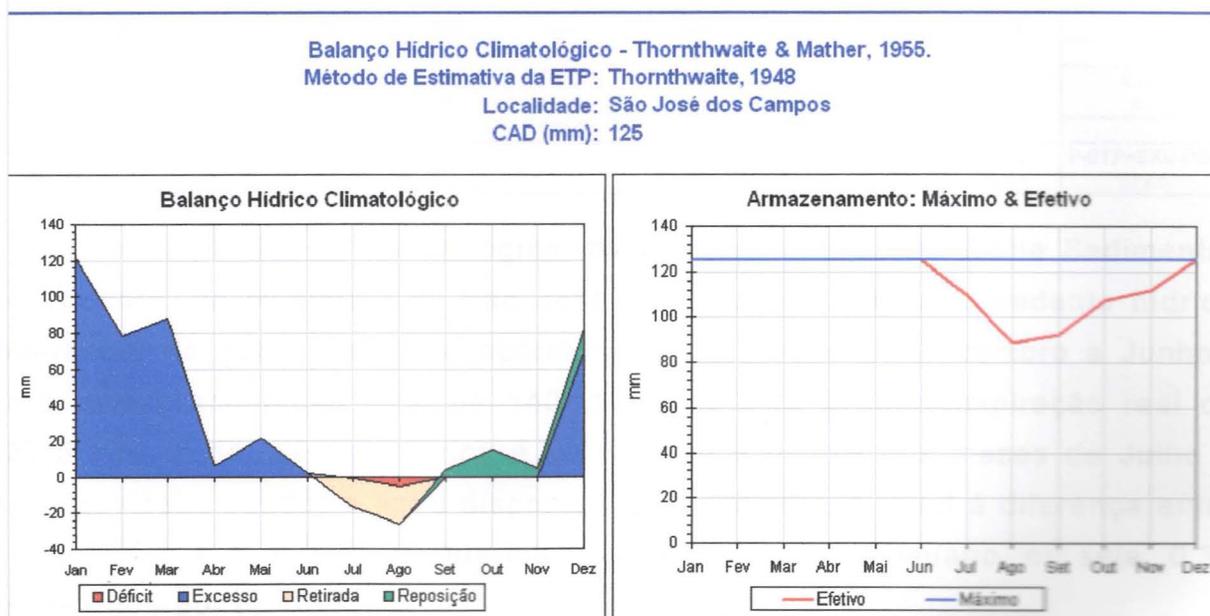


**Figura 6.5.** Mapa de isolinhas da dureza das águas subterrâneas, superposto ao principal sistema viário do Município de São José dos Campos.

## 6.2. HIDROCLIMATOLOGIA

Para o cálculo do balanço hídrico do Município de São José dos Campos (Figura 6.6) foram utilizados os dados climatológicos de Taubaté e os dados de precipitação obtidos na INFRAERO de São José dos Campos. O intervalo de tempo de medidas históricas usado neste trabalho, compreende os anos de 1981 a 1992, pois neste período as medidas são consistentes. A cidade de Taubaté dista 70 Km da cidade de São José dos Campos e não há diferenças climatológicas e geomorfológicas que modifiquem significativamente os resultados finais do balanço hídrico. Segundo a classificação climática de KÖPPEN (in SETZER, 1966), o clima nas duas cidades enquadram-se na mesma categoria, Cwa – clima úmido, quente, com inverno seco, com menos de 30 mm de precipitação no mês mais seco, temperaturas médias, no mês mais quente, superiores a 22° C, e temperaturas médias inferiores à 18°C, no mês mais frio.

Para a realização do balanço hídrico climatológico de Taubaté, na Bacia do Paraíba do Sul, utilizou-se de uma planilha do software Microsoft Excel elaborada por D'ANGIOLELLA & VASCONCELLOS (2002), que toma por base o método de THORNTHWAITE (1955).



**Figura 6.6.** Balanço hídrico do Município de São José dos Campos.

**Tabela 6.2** Tabela com os resultados do balanço hídrico do Município de São José dos Campos.

Balanço Hídrico Climatológico - Thornthwaite & Mather, 1955.										
Instruções		Gustavo D'Angiolella BHídrico GD V.3.2 - 2002								
Localidade	São José dos Campos			Método			Thornthwaite, 1948			
Latitude	23,18			Altitude	570,00			CAD	125	
Anemômetro	10,00			Período	1981-1992			Bordadura	5,00	
Tempo Meses	Tmáx. °C	Tmín. °C	Tméd. °C	UR %	Evaporação mm	Prec. mm	Insolação horas	Vento m/s	Porcentagem de luz solar (p).	
Jan	33,0	16,8	23,5	82,0	119,2	218,6	3,7		0,24	
Fev	34,2	17,0	23,8	74,6	150,0	170,9	8,9		0,26	
Mar	33,2	11,6	21,9	75,3	126,8	177,2	5,8		0,27	
Abr	31,2	11,0	20,5	76,3	107,0	85,1	5,6		0,29	
Mai	30,8	9,2	17,9	76,9	89,1	83,8	5,9		0,30	
Jun	29,2	4,6	16,1	78,8	74,5	50,0	5,9		0,31	
Jul	29,2	6,6	16,8	75,7	79,6	37,8	6,5		0,31	
Ago	31,6	5,8	17,5	70,7	108,0	31,4	8,7		0,31	
Set	37,8	10,2	20,1	72,1	118,6	76,6	4,8		0,28	
Out	36,0	13,4	21,7	74,3	140,4	99,7	5,1		0,26	
Nov	37,4	15,0	23,9	75,0	127,8	101,9	4,4		0,25	
Dez	35,8	17,4	24,2	76,2	162,1	183,0	6,2		0,24	
<b>Média</b>	33,3	11,6	20,7	75,7	116,9	109,5	5,6	#DIV/0!	0,28	
<b>Total/Ano</b>	-	-	-	-	1403,1	1314,0	2044,0	-	-	
Tempo Meses	ETP mm	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	Prova Real	
Jan	95,4	121,2	0,0	125,0	0,0	95,4	0,0	121,2	ETP=ETR+DEF	
Fev	92,6	78,3	0,0	125,0	0,0	92,6	0,0	78,3	934,2	
Mar	89,2	88,0	0,0	125,0	0,0	89,2	0,0	88,0	P=ETR+EXC	
Abr	78,5	6,6	0,0	125,0	0,0	78,5	0,0	6,6	1314,0	
Mai	62,2	21,6	0,0	125,0	0,0	62,2	0,0	21,6	P=ETP+(P-ETP)	
Jun	48,4	1,6	0,0	125,0	0,0	48,4	0,0	1,6	1314,0	
Jul	54,6	-16,8	-16,8	109,3	-15,7	53,5	1,1	0,0	Σ ALT	
Ago	57,8	-26,4	-43,2	88,5	-20,8	52,2	5,8	0,0	0,0	
Set	72,8	3,8	0,0	92,3	3,8	72,8	0,0	0,0	P-ETP=EXC-DEF	
Out	84,8	14,9	0,0	107,2	14,9	84,8	0,0	0,0	379,8	
Nov	97,2	4,7	0,0	111,9	4,7	97,2	0,0	0,0		
Dez	100,7	82,3	0,0	125,0	13,1	100,7	0,0	89,2		
<b>Média</b>	77,9	31,7	-5,0	-	-	77,3	0,6	32,2		
<b>Total/Ano</b>	934,2	379,8	-60,0	-	-	927,5	6,7	386,5		

O balanço hídrico climatológico mostra que na área da Bacia Sedimentar de Taubaté, no Município de São José dos Campos, há um excedente hídrico multianual de 386,5 mm (que ocorre entre os meses de Dezembro a Junho), para uma precipitação total de 1403,1 mm e uma evapotranspiração real de 927,5 mm. A deficiência hídrica é de 6,7 mm e ocorre nos meses de Julho e Agosto. Assim sendo, a água disponível para infiltrar, é igual à diferença entre o excedente e a deficiência hídrica, que totaliza 379,8 mm/ano, ou seja, 0,38 m<sup>3</sup> de água por m<sup>2</sup> de área.

Para uma área total de 360 km<sup>2</sup>, que compreende toda a área coberta pela Bacia Sedimentar de Taubaté no Município de São José dos Campos, o total de água disponível anualmente para infiltrar, atinge o volume de 136.800.000 m<sup>3</sup> ou 11.400.000 m<sup>3</sup>/mês

### 6.3. HIDRODINÂMICA

Os parâmetros hidrodinâmicos que caracterizam os aquíferos quanto às propriedades físicas de velocidade de escoamento e quantidade de água armazenada são: a Condutividade Hidráulica, a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento. Sendo que estes parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos são calculados quando se dispõem de ensaios de bombeamento ou testes de vazão em poços.

Após o término da construção dos poços, as empresas de perfuração realizam os testes de vazão visando dimensionar o equipamento de extração de água. Nestes testes de vazão são medidos: o nível estático, os valores de rebaixamento do nível d'água em função do tempo de bombeamento, a vazão e a recuperação do nível d'água depois de cessado o bombeamento.

A Transmissividade do aquífero no local do poço é um parâmetro que pode ser obtido com razoável precisão mesmo quando o rebaixamento, durante o teste de vazão, é medido no próprio poço bombeado. Nestas condições, quando não se dispõe do poço de observação, o ponto de observação é considerado como sendo as paredes do poço. Assim sendo, à distância do poço onde a água está sendo extraída até o ponto de observação é tomada como sendo o raio do poço.

Como nas fórmulas para o cálculo da Transmissividade (utilizando o método da superposição propostos por Theis, Hantush ou Neuman), não entra a distância do ponto de observação, este parâmetro é sempre obtido com precisão, mesmo quando se utiliza o poço bombeado para as medidas de rebaixamento.

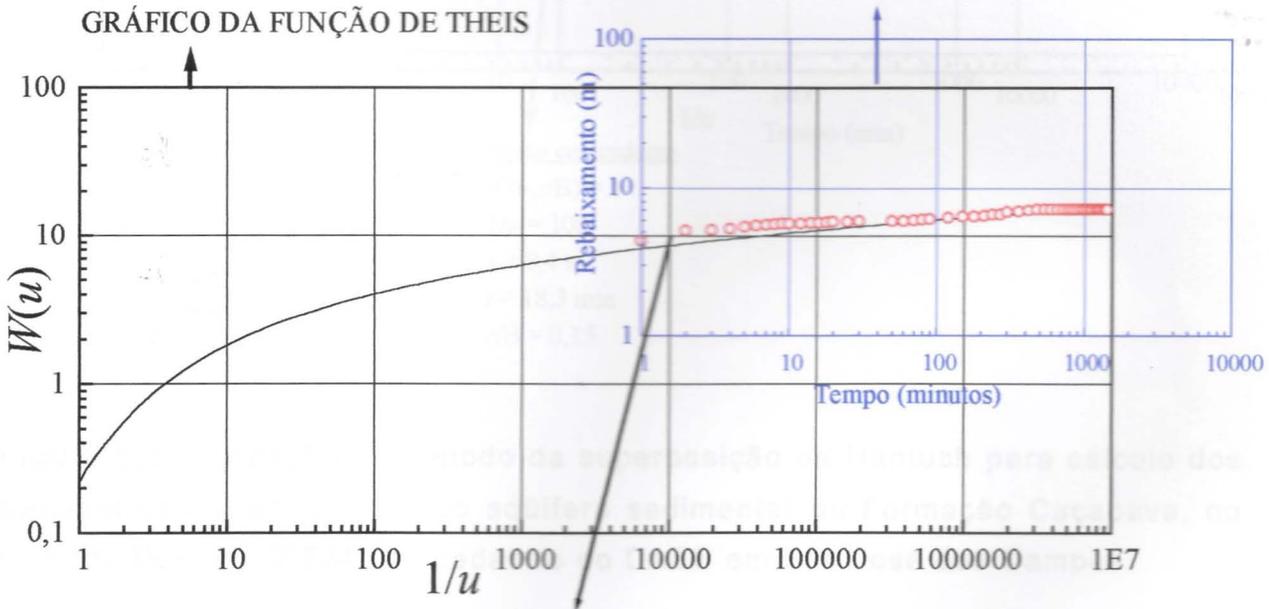
A Condutividade Hidráulica também pode ser obtida a partir do conhecimento da espessura das camadas aquíferas. É uma média aritmética de cada camada da seção geológica atravessada.

O Coeficiente de Armazenamento de uma camada aquífera é caracterizado pelo volume de água desprendido ou armazenado como resultado de uma mudança de pressão unitária ou mudança de uma unidade do potencial hidráulico (KOVÁCS, 1981).

Os testes de vazão efetuados pelas empresas de perfuração responsáveis pela construção dos poços tubulares profundos, e que encontram-se arquivados no Instituto Geológico, foram interpretados utilizando o software Microcal Origin conforme descrito por DINIZ; MICHALUATE (2002). Trinta e quatro dos 55

poços utilizados na pesquisa, possuíam dados confiáveis relativos aos testes de vazão, dos quais 8 foram interpretados a partir dos modelos das funções de THEIS (1935), para poços perfurados em aquíferos confinados e livres (exemplo na **figura 6.7**); 8 foram interpretados utilizando a função de HANTUSH (1956), para poços perfurados em aquíferos semi-confinados (exemplo na **Figura 6.8**); e 18 pela função de NEUMAN (1965), para poços perfurados em aquíferos semi-livres (exemplo na **Figura 6.9**). Utilizou-se o método da superposição destes gráficos às curvas de rebaixamento dos poços, encontrando-se pontos coincidentes que permitiram o cálculo da transmissividade dos aquíferos.

**CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO 306154 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**



Ponto coincidente

$t = 1,55 \text{ min}$

$t = 0,025 \text{ hs}$

$s = 4,75 \text{ m}$

$1/u = 10000$

$W(u) = 10$

$r = 0,43 \text{ m}$

$r^2 = 0,18 \text{ m}^2$

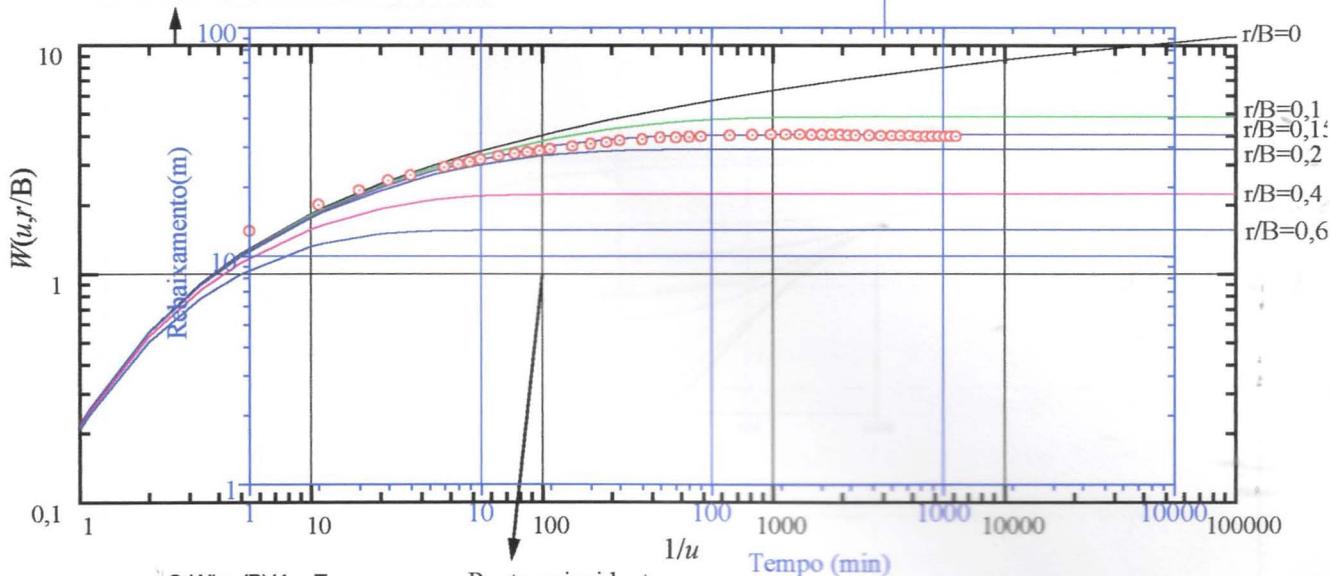
$Q = 37,71 \text{ m}^3/\text{h}$

$T = 6,318 \text{ m}^2/\text{h}$

$S = 3,42 \cdot 10^{-4}$

**Figura 6.7.** Utilização do método da superposição de Theis para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306154 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.

GRÁFICO DA FUNÇÃO DE HANTUSH



$$s = Q \cdot W(u, r/B) / 4 \cdot \pi \cdot T$$

$$8,4 = 30,461 / 4 \pi \cdot T$$

$$T = 0,29 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$s = Q \cdot K_0(r/B) / 2 \pi \cdot T$$

$$s = Q \cdot 2,03 / 2 \pi \cdot 0,29$$

$$s = 1,12 \cdot Q$$

Ponto coincidente

$$W(u, r/B) = 1$$

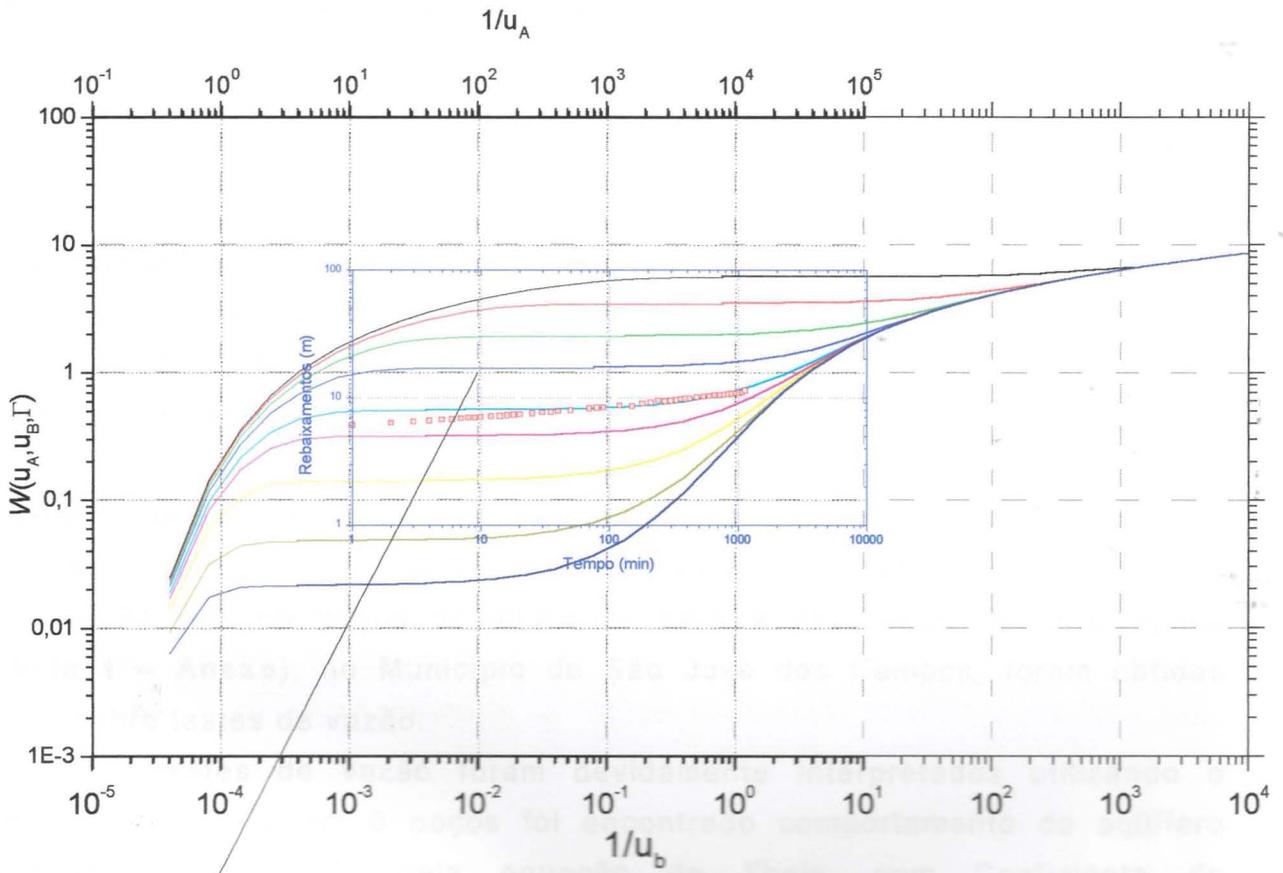
$$1/u = 100$$

$$s = 8,4 \text{ m}$$

$$t = 18,3 \text{ min}$$

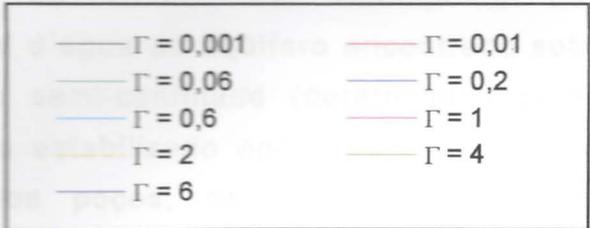
$$r/B = 0,15$$

**Figura 6.8.** Utilização do método da superposição de Hantush para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306045 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.



Ponto coincidente  
 $s = 16,48 \text{ m}$   
 $t = 10,12 \text{ min}$   
 $W(u_A, u_B, \Gamma) = 1$   
 $1/u_A = 100$   
 $1/u_B = 0,01$

$s = 16,48 \text{ m}$   
 $W(u_A, u_B, \Gamma) = 1$   
 $Q = 126,9 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $s = Q \cdot W(u_A, u_B, \Gamma) / 4\pi T$   
 $T = 0,61 \text{ m}^2/\text{h}$



**Figura 6.9.** Utilização do método da superposição de Neuman para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero sedimentar da Formação Caçapava, no local do Poço nº 306072 do cadastro do DAEE em São José dos Campos.

## 6.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES DE VAZÃO

### 6.4.1. Tipos de Aquíferos

Os poços construídos em sedimentos apresentam 4 tipos de comportamento característicos frente aos rebaixamentos observados durante os testes de vazão e que definem o tipo do aquífero em que captam água. Frente a estes 4 tipos de comportamentos os aquíferos considerados podem ser: livres, confinados, semi-livres e semi-confinados.

No Município de São José dos Campos, os dados dos testes de vazão mostraram que os sedimentos da Formação Caçapava constituem aquíferos confinados, semi-confinados e semi-livres, predominando este último tipo.

Em 34 dos 55 poços selecionados para a realização desta pesquisa (tabela 1 – Anexo), no Município de São José dos Campos, foram obtidos dados sobre testes de vazão.

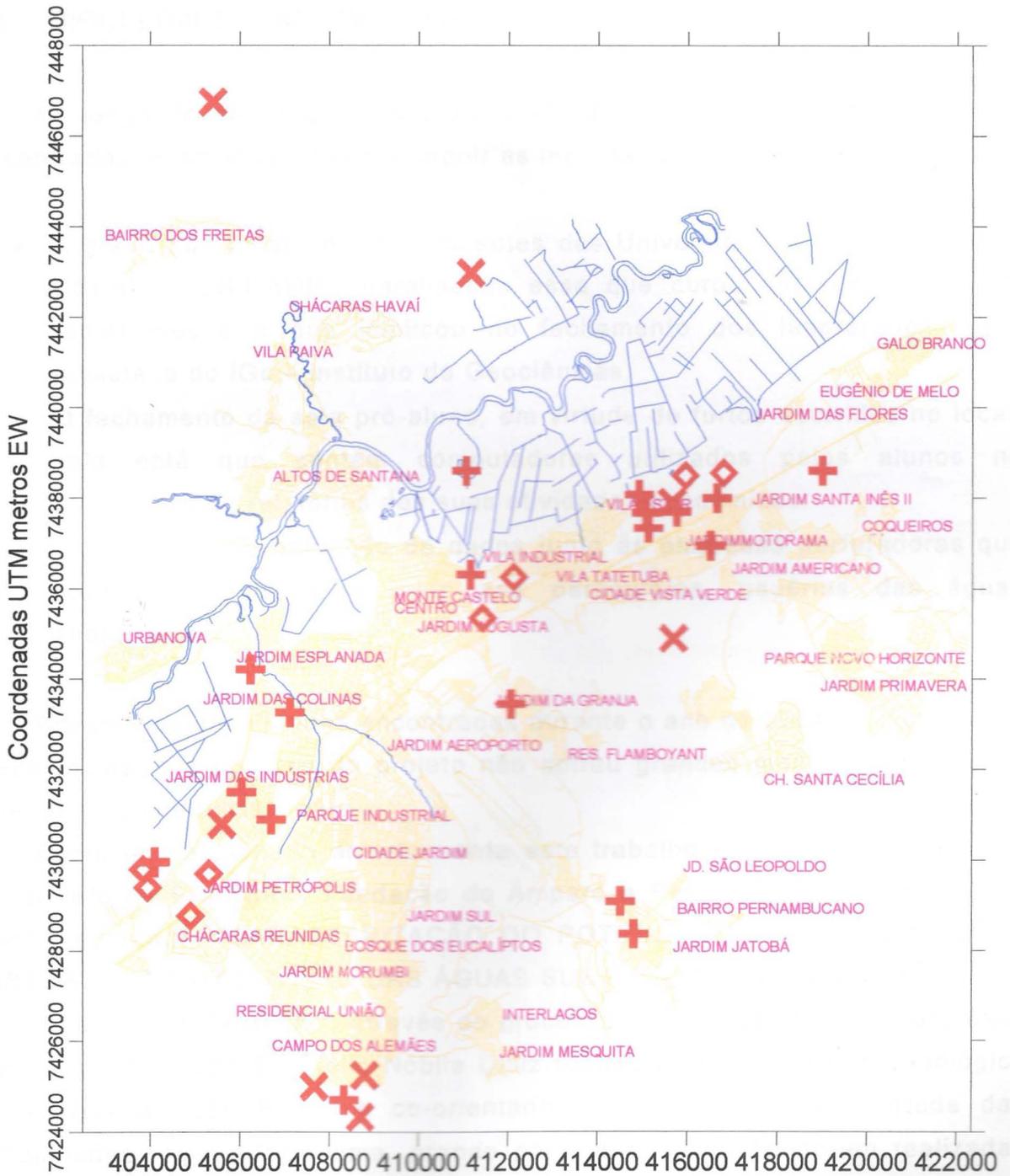
Estes testes de vazão foram devidamente interpretados utilizando o software ORIGIN e em 8 poços foi encontrado comportamento de aquífero confinado (determinado pela equação de Theis, com Coeficiente de Armazenamento menor que 0,001 e o nível d'água do aquífero encontrado sob pressão), em 8 dos poços, de aquífero semi-confinado (determinado pela equação de Hantush, e com rebaixamento estabilizado após decorrido algum tempo de bombeamento) e, em 18 dos poços, de aquífero semi-livre (determinado pela equação de Neuman, com rebaixamento final obedecendo a equação de Theis e após o rebaixamento ter estado estabilizado, decorrido algum tempo de bombeamento).

A multiplicidade de tipos de aquíferos determinados nos testes de vazão (figura 6.10), muitas vezes de poços construídos próximos, é típico de aquíferos multicamadas, com variações de tipos litológicos que formam aquíferos, aquitardes e aquiocludes, tais como: arenitos, conglomerados, siltitos e argilitos. São depósitos sedimentados em bacias tafrogênicas fechadas, com predominância de ambiente deposicional fluvial, anostomosado e meandrante, planícies de inundação e leques aluviais.

Os aquíferos do tipo confinado situam-se nos arredores dos locais anteriores, e indicam variações litológicas laterais, com a presença de camadas argilosas, impermeáveis, sobre o aquífero constituído por arenitos e conglomerados.

Os aquíferos do tipo semi-confinado estão distribuídos irregularmente por toda a bacia sedimentar, porém predominam nas extremidades sul e norte da cidade, em locais de ocorrência de rochas cristalinas ( rochas do Complexo Embu) ou, onde a espessura dos sedimentos não é muito profunda, havendo contribuição das águas do sistema aquífero cristalino. Na bacia sedimentar indicam camadas semi-permeáveis, argilitos arenosos e siltosos, sob as camadas permeáveis do aquífero principal. Nas rochas cristalinas, indicam fraturas principais recebendo recarga de sistema de fraturas.

Os aquíferos do tipo semi-livre são predominantes e indicam camadas menos permeáveis sobrepostas a camadas mais permeáveis, ou seja, arenitos finos, arenitos siltícos ou argilosos sobre arenitos e conglomerados. Indicam, também, contribuição do aquífero freático, livre, na vazão final dos testes realizados nos poços em que os aquíferos semi-livres foram determinados. Sua distribuição é generalizada por todo o município, porém apresenta com maior frequência na zona leste, oeste e na região central do Município de São José dos Campos.



### LEGENDA

- |   |   |                                     |
|---|---|-------------------------------------|
| ◇ | 1 | 1 - aquífero do tipo confinado      |
| + | 2 | 2 - aquífero do tipo semi-livre     |
| × | 3 | 3 - aquífero do tipo semi-confinado |

**Figura 6.1.** Distribuição dos tipos de aquíferos para cada poço cadastrado e interpretado no Município de São José dos Campos.

## 6.5 DIFICULDADES ENFRENTADAS

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho algumas dificuldades foram encontradas, entre elas cita-se a seguir as mais relevantes:

- A greve dos funcionários e docentes das Universidades Paulistas (USP, UNESP e UNICAMP), paralisação essa que durou aproximadamente 2 (dois) meses e que implicou no fechamento dos laboratórios e da biblioteca do IGc – Instituto de Geociências.
- O fechamento da sala pró-aluno, em virtude de furtos ocorridos no local, sala está que contém computadores utilizados pelos alunos na elaboração de relatórios das suas atividades acadêmicas.
- Dificuldades de obtenção de dados junto às empresas perfuradoras que atuaram na região e junto aos particulares, usuários das águas subterrâneas.

Apesar das dificuldades encontradas durante o ano de 2004 no Instituto de Geociências, o progresso do projeto não sofreu grandes modificações para o que foi proposto inicialmente.

Como já mencionado anteriormente este trabalho teve o apoio financeiro do projeto da FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, intitulado: “CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO E HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS”, através do processo nº 2003/06507-8, projeto esse cujo o coordenador, Dr. Hélio Nóbile Diniz (pesquisador do Instituto Geológico do Estado de São Paulo) e co-orientador desse trabalho. Em virtude das dificuldades registradas acima, grande parte das atividades foram realizadas nas dependências do Instituto Geológico, localizado na Avenida Miguel Stéfano, 3900, ficando comprometida apenas a pesquisa bibliográfica, devido o fechamento da biblioteca durante os dois meses de greve.

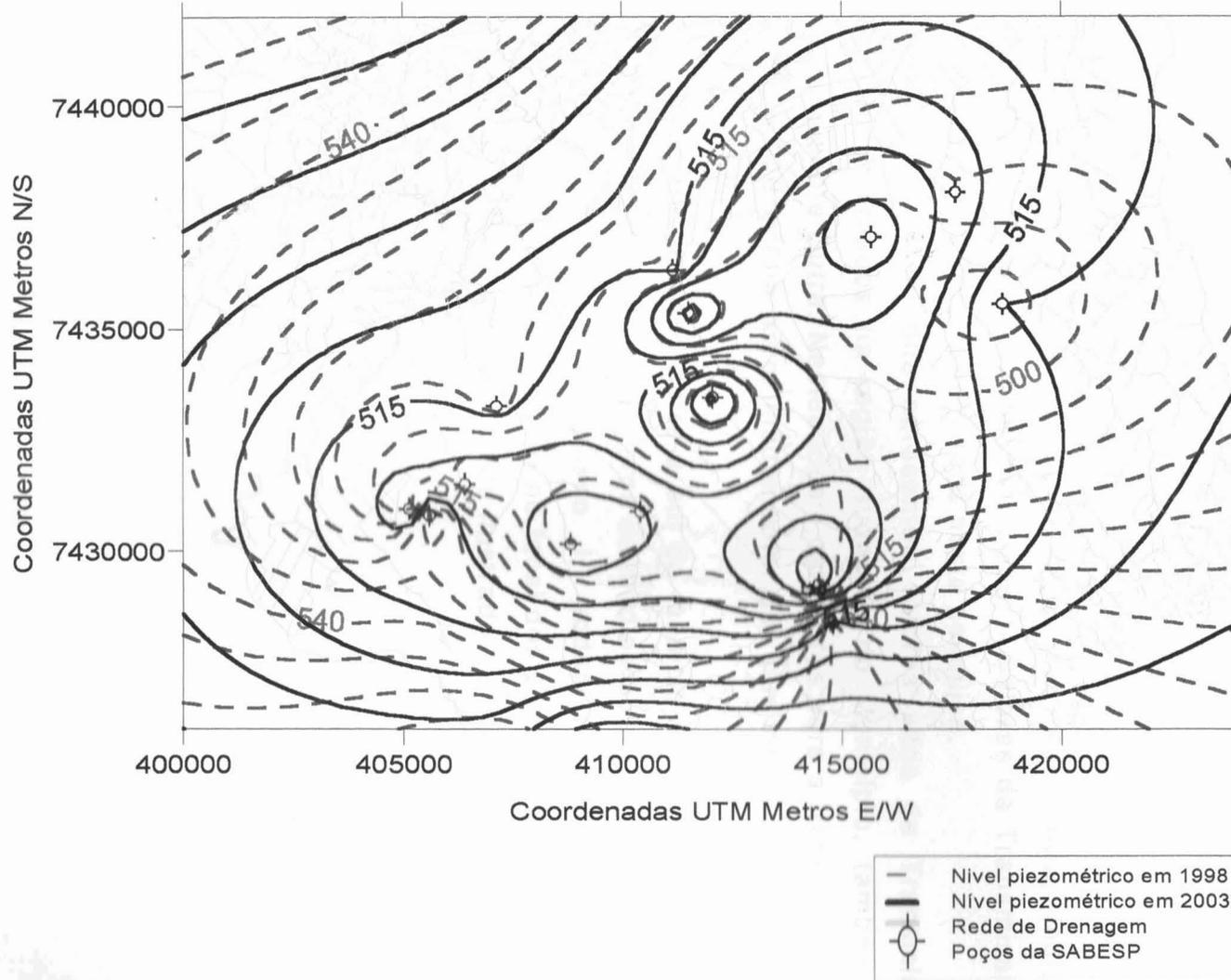
## 7. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do programa da Golden Software, SURFER 8.0, utilizou-se o método estatístico da Krigagem (DINIZ, 1996), para interpolar os dados dos níveis dinâmicos dos poços da SABESP no período entre 1998 e 2003, os dados de vazão no mesmo período, os dados da distribuição da transmissividade pela área do aquífero sedimentar do Grupo Taubaté, os níveis piezométricos entre 1998 e 2003. Para tanto foram selecionados 18 poços tubulares profundos da SABESP, os quais possuíam dados pertinentes, referentes aos níveis dinâmicos e vazões entre 1998 e 2003, estes poços foram dispostos em uma malha de interpolação uniforme, com espaçamentos de 150 m, com limites nas coordenadas UTM 400000 - 424000 m E, 7426000 - 7442000 m N, foram confeccionados mapas potenciométricos (**Figura 7.1**), mapas da Transmissividade (**Figura 7.2**), mapas de evoluções das vazões (**Figura 7.3**) e mapas de direção de fluxos (**Figura 7.4**).

A **Figura 7.1** mostra a mudança de direções das linhas de fluxo da água do substrato entre 1998 e 2003, provocadas pelo bombeamento exagerado na região central do Município. Próximo ao eixo da Rodovia Presidente Dutra, em alguns locais, houve decréscimo pronunciado de até 20 metros do nível de água. Na parte central do Município houve mudança na direção do fluxo e queda de nível.

A região próxima ao eixo da Rodovia Presidente Dutra, onde houve um decréscimo mais acentuado no nível de água, trata-se de um local onde estão instaladas grande parte das indústrias multinacionais de grande porte do município de São José dos Campos (Johnson & Johnson, Embraer, General Motors do Brasil, entre outras) além de poços tubulares profundos da própria SABESP.

Na **Tabela 2 - Anexo I** podem ser observados os valores dos níveis dinâmicos dos poços tubulares profundos da SABESP, que foram utilizados para gerar o mapa de isolinhas dos níveis dinâmicos a seguir.



**Figura 7.1.** Mapa de isolinhas dos níveis piezométricos em relação ao nível do mar (em metros), superposto à rede de drenagem na região central de São José dos Campos.

A **figura 7.2** representa a distribuição da transmissividade dos aquíferos na cidade de São José dos Campos. Verifica-se que ao longo da Rodovia Presidente Dutra os valores da Transmissividade variam entre 20 e 330 m<sup>2</sup>/dia aproximadamente, sendo que na parte central, leste e sudoeste do município, ocorrem valores de transmissividade bastante expressivos. Na região leste, bairros das Vila Industrial, Vila Tatetuba, Vista Verde e no sub-distrito de Eugênio de Melo, bairros estes situados às margens da Rodovia Presidente Dutra. Os altos valores de Transmissividade obtidos indicam que o aquífero nessa região é bastante produtivo. Os valores de Transmissividade nestes locais variam, entre 60 e 330 m<sup>2</sup>/dia. Na região central do Município onde os valores de Transmissividade chegam a 140 m<sup>2</sup>/dia, indicam um aquífero mediano. No Anexo I são mostrados os valores da Transmissividade dos poços tubulares profundos utilizados nesta pesquisa.

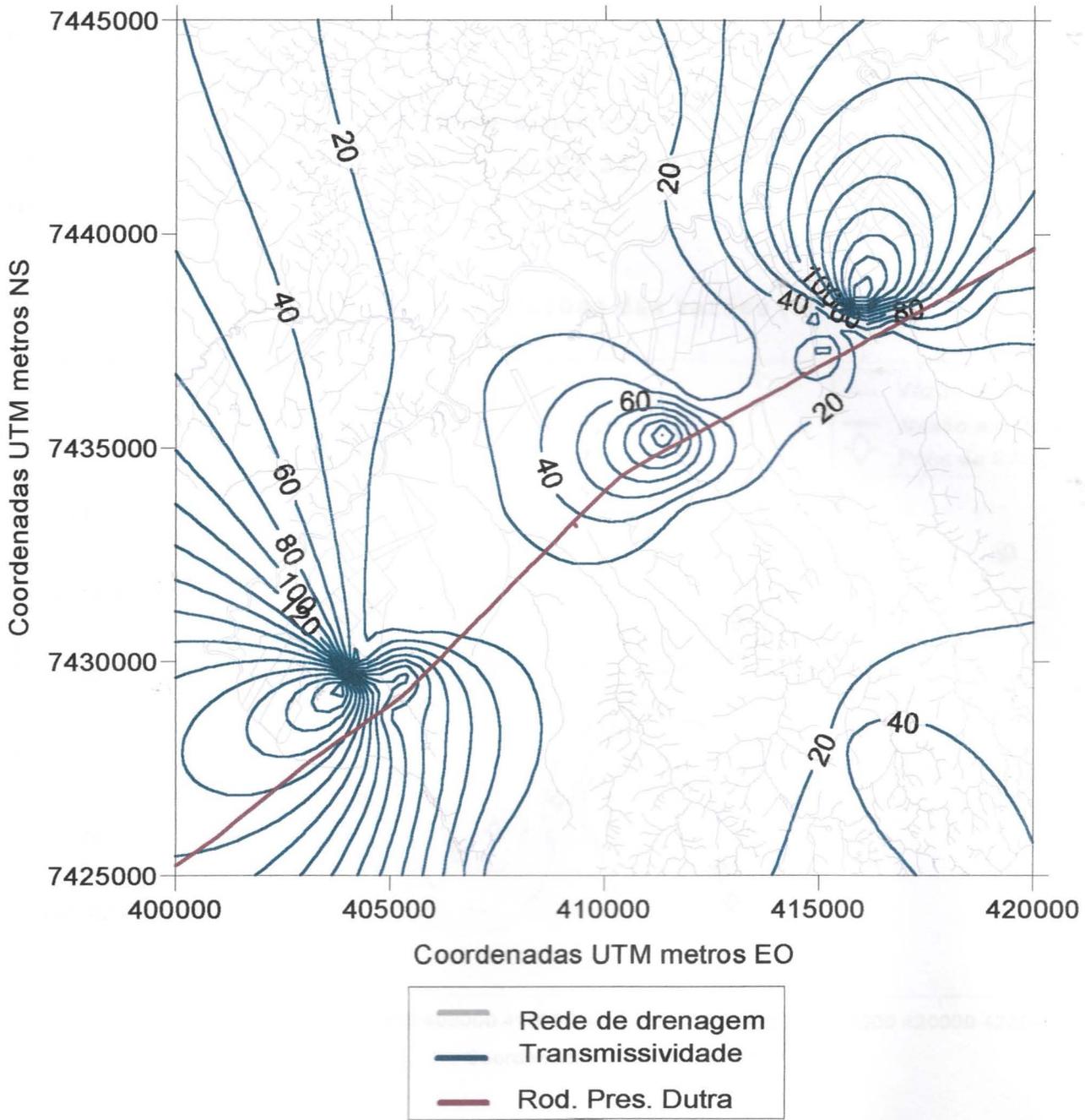
Outro local que apresentou valores altos de Transmissividade são os bairros situados na região sudoeste do Município, também junto à Rodovia Presidente Dutra. Nestes locais os valores para a transmissividade variam entre 20 e 220 m<sup>2</sup>/dia aproximadamente, que também indica um aquífero de médio a muito bom.

Já nas regiões norte e sul do município observam-se valores inferiores a 40 m<sup>2</sup>/dia, indicando aquíferos de médios a ruins.

Na **tabela 1 – anexo I**, podem ser observados os valores da Transmissividade (em m<sup>2</sup>/h) no local dos poços utilizados para gerar o mapa de isolinhas de Transmissividade ilustrado a seguir.

Figura

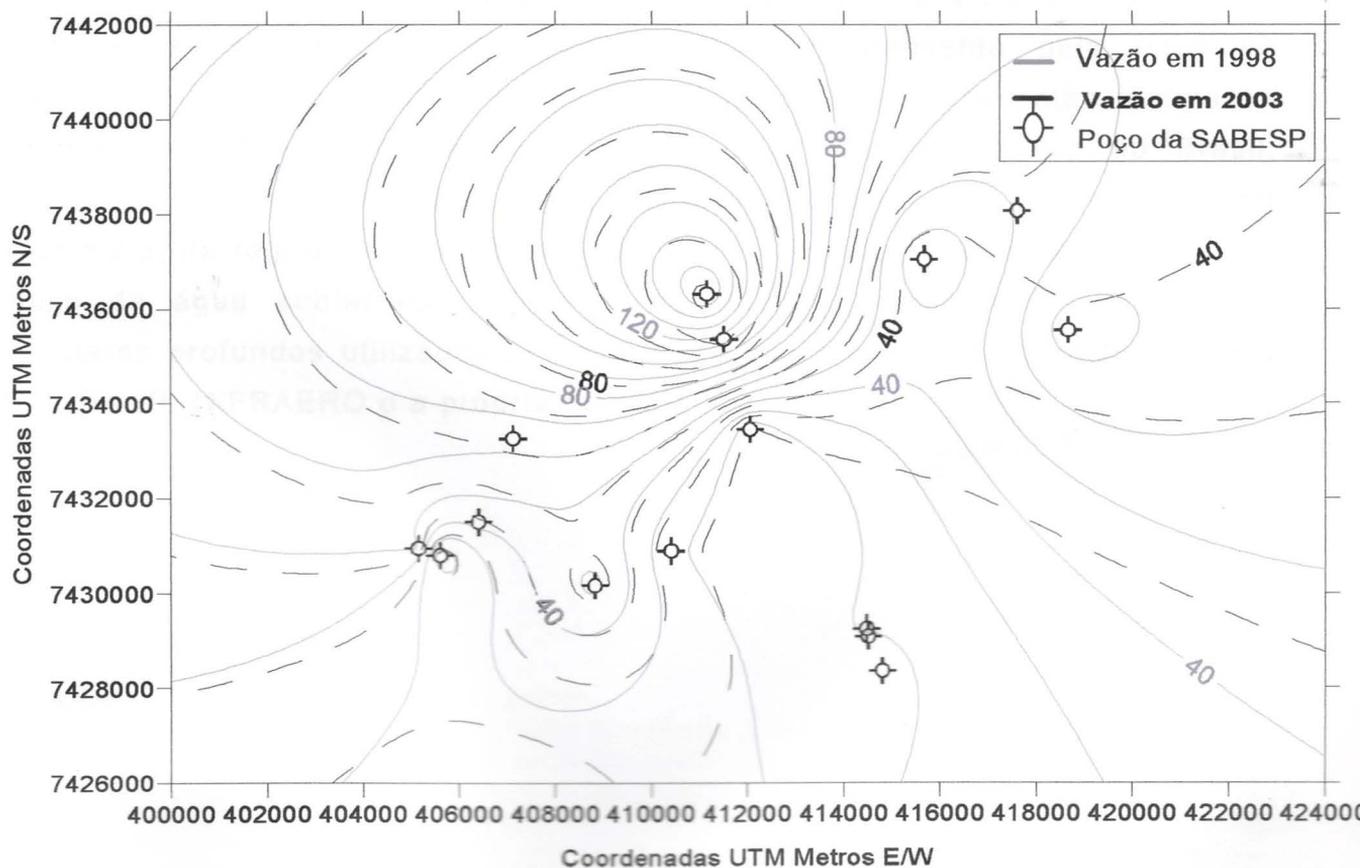
à rede



**Figura 7.2.** Mapa de isolinhas da Transmissividade (em  $m^2/h$ ) superposta à rede de drenagem.

A **Figura 7.3** indica que as vazões dos poços estão distribuídas comumente entre 20 e 70 m<sup>3</sup>/h, com média de 50 m<sup>3</sup>/h. Porém alguns poços apresentam valores de vazão excepcionais, como os poços 306084 e 306091 (numeração correspondente à Fôlha Topográfica e número do poço do DAEE, na Fôlha), apresentam respectivamente valores de 122,33 e 114,95 m<sup>3</sup>/h para as medições realizadas em 2003.

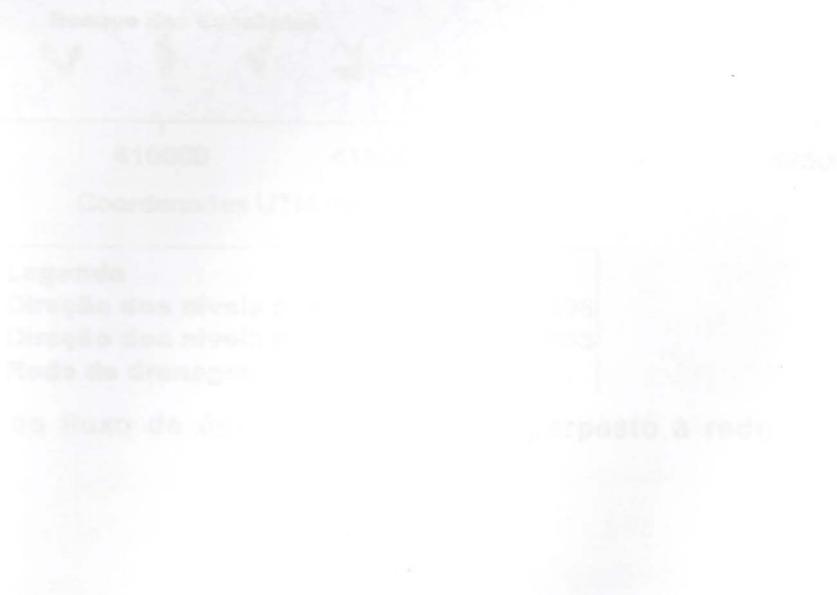
**Figura 7.3. Mapa de isolinhas de evoluções das vazões (em m<sup>3</sup>/h).**



Na **tabela 3 - anexo I** podem ser observados todos os valores de vazão dos poços tubulares profundos da SABESP, utilizados para a elaboração o mapa acima.

A **Figura 7.4** mostra que, de uma forma geral, os fluxos subterrâneos acompanham o potencial hidráulico, das áreas de maior potencial, com maiores altitudes, situadas nas regiões do sopé das Serras do Jambreiro (na parte sudeste) e Mantiqueira (na parte norte), em direção ao centro geométrico da Bacia Sedimentar de Taubaté (estes locais são cortados pela rodovia Presidente Dutra), formados por áreas onde o potencial hidráulico é menor, produzido por altitudes mais baixas.

Observa-se também que houve mudanças na direção do fluxo de água entre 1998 e 2003, na parte leste da cidade, próximo ao sub-distrito Eugênio de Melo e do bairro Vista Verde, causadas principalmente pela intensiva exploração das águas subterrâneas, sendo que nesta região estão instaladas grandes indústrias nacionais e multinacionais (General Motors do Brasil, Ericsson, Refinaria Henrique Lages – Petrobrás, etc.). Já na parte sul do Município, na região do Aeroporto de São José dos Campos, essa mudança no fluxo da água subterrânea, deve-se ao intenso bombeamento dos poços tubulares profundos utilizados por empresas que atendem ao público, como a EMBRAER, INFRAERO e a própria SABESP.



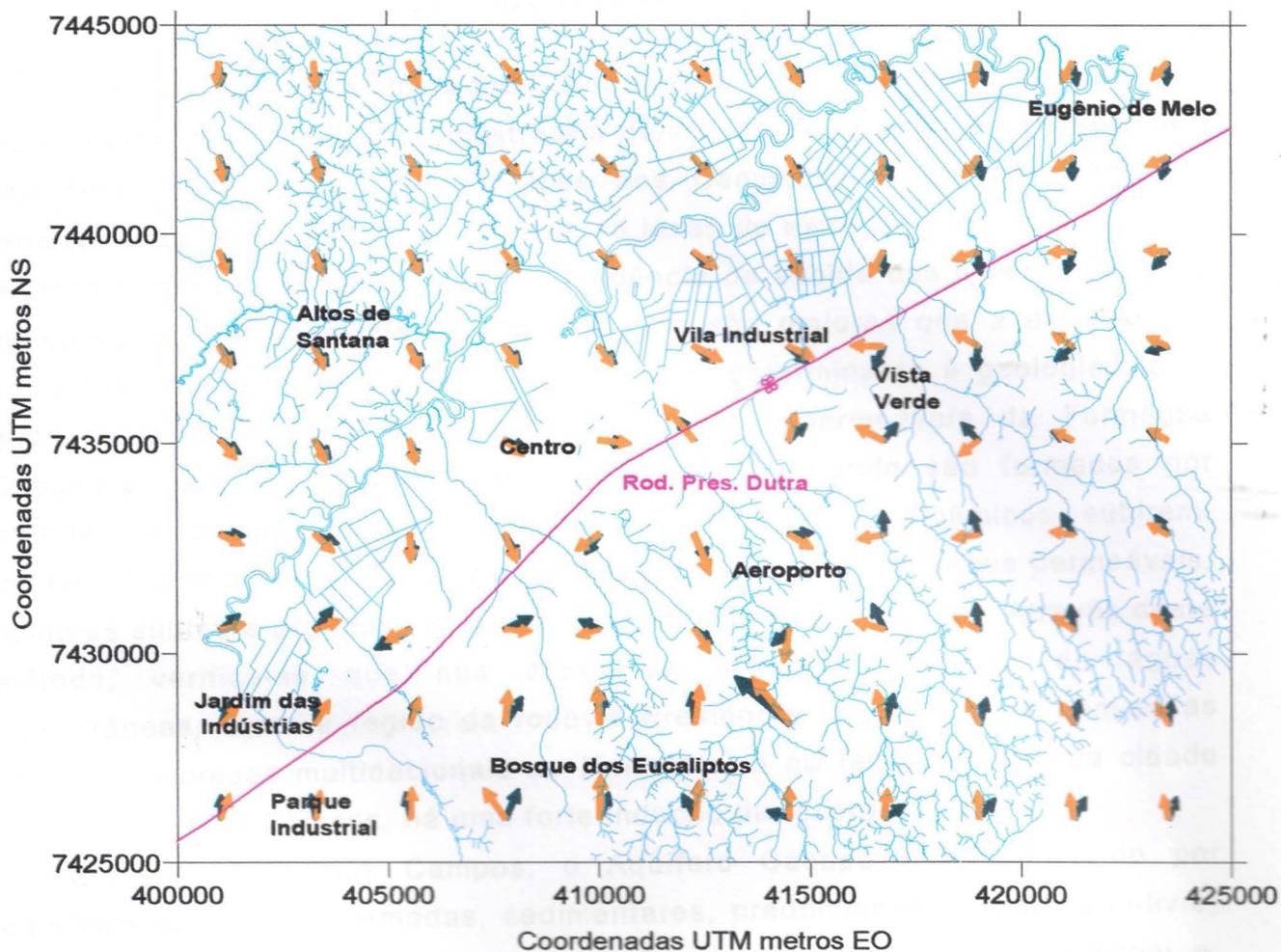


Figura 7.4. Mapa da direção do fluxo de água subterrânea, superposto à rede de drenagem.

## 8. CONCLUSÕES

Os níveis dinâmicos dos poços cadastrados junto à SABESP, poços estes monitorados de 1998 a 2003 mostraram dois tipos de tendência existente nos aquíferos do Município de São José dos Campos. Há uma tendência ao rebaixamento dos níveis indicando que as taxas de extração são maiores que a recarga e, em outros casos, há uma tendência de subida dos níveis dinâmicos indicando que as taxas da recarga induzida são maiores que a extração da água dos poços. Em ambos os casos, o fator determinante é geológico, pois quando há predomínio de camadas porosas e permeáveis da Formação Caçapava, que é o aquífero regional principal, quando são formados por arenitos e conglomerados, há tendência dos níveis dinâmicos subirem, induzidos pela recarga. Quando há predomínio de camadas menos permeáveis, como os siltitos e argilitos, os níveis dinâmicos tendem a descer. Através deste método, verifica-se que nas áreas de grande exploração de águas subterrâneas, como a região da rodovia Presidente Dutra (onde situam-se as grandes empresas multinacionais do Município) e na região central da cidade de São José dos Campos, há uma forte indução da recarga.

Em São José dos Campos, o Aquífero Caçapava é constituído por aquíferos locais, multicamadas, sedimentares, predominando o tipo semi-livre, onde a água extraída pelos poços advém da camada aquífera principal e, também, da camada superior, onde está o aquífero freático. Os poços perfurados neste tipo de aquífero, constituído por litotipos arenosos medianamente permeáveis e com valores de Transmissividade medianos, fornecem boas vazões graças à contribuição da água proveniente das camadas onde ocorre o aquífero freático, responsável por todo o aporte da recarga.

Outros tipos de aquíferos locais que ocorrem são: confinado e semi-confinado. O tipo confinado envolve camadas arenosas e conglomeráticas muito permeáveis, intercaladas por camadas argilosas pouco permeáveis a impermeáveis. Os poços perfurados neste tipo de aquífero fornecem altas vazões devido às características hidráulicas da camada aquífera, que geralmente possui alta Transmissividade. O tipo semi-confinado ocorre nas bordas da Bacia Sedimentar de Taubaté. Os poços perfurados neste tipo de aquífero fornecem vazões medianas.

O balanço hídrico realizado mostra que na área da Bacia Sedimentar de Taubaté existe aporte significativo de águas superficiais entre os meses de dezembro a junho, com um excedente de 386,5 mm, e uma deficiência nos meses de julho e agosto, de apenas 6,7 mm. Assim sendo, o excedente hídrico na Bacia Sedimentar atinge 0,38 m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> de área. Considerando que, no Município de São José dos Campos, a área da Bacia Sedimentar perfaz 320 km<sup>2</sup> e que os sedimentos são suficientemente porosos e permeáveis para absorver toda a água das chuvas, o aporte de recarga corresponde a 122.000.000 m<sup>3</sup> de água por ano.

Quanto à qualidade hidroquímica, verificou-se, através do diagrama de Piper, que as águas subterrâneas são fracamente salinizadas (no aquífero sedimentar), potáveis e adequadas ao consumo humano.

De forma geral, no Município de São José dos Campos, o aquífero sedimentar apresenta vazões médias acima de 40 m<sup>3</sup>/h, o que mostra a vocação para o abastecimento através de águas subterrâneas para todas as atividades existentes no Município de São José dos Campos, fator primordial para assegurar o desenvolvimento econômico e industrial desta cidade.

## 9. AGRADECIMENTOS

O autor agradece à FAPESP-FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO, que possibilitou o financiamento da pesquisa executada, através do processo nº 2003/06507-8. Ao professor Dr. José Domingos Faraco Gallas e ao Dr. Hélio Nóbile Diniz, respectivamente, orientador e co-orientador deste trabalho. Agradeço também ao colega do Instituto Geológico Vitor Hugo Alves da Silva, aluno de Engenharia Ambiental da Universidade São Marcos, pelas valiosas dicas na utilização dos softwares empregados neste trabalho.

Agradeço também aos meus familiares, que tanto me deram apoio durante esses anos inesquecíveis da graduação e durante a elaboração deste trabalho.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N. 1958. Novos conhecimentos sobre os depósitos da Bacia de Taubaté. *Notícia Geomorfológica*, vol. 1 (1): 1-13. – Campinas – SP.
- AB'SABER, A. N. O Quaternário na Bacia de Taubaté: estado atual dos conhecimentos. **Revista Geomorfologia**. São Paulo. Vol. 7. 1969. 23p.
- AGUIAR, A; ANDRADE, E.; HIRATA, R.; SILVA, R de 1985. DAEE – 10 anos de experiências acumuladas na exploração de recursos hídricos subterrâneos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*. 3º, 1985. **Anais...**Fortaleza. ABAS. Fortaleza.
- ALMEIDA, F.F.M As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Catareira. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v.4, p.23-40, 1955.
- ALMEIDA, F.F.M The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.48 p.15-26, 1976 (suplemento).
- ALMEIDA, F.F.M, Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. *In Geologia do Estado de São Paulo*. Bol. IGG. (41): 167-263. São Paulo, 1964.
- BRANDT NETO, M.; RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; MATOS, S.L.F. Argilominerais da Bacia de Taubaté, SP. **Boletim IG-USP**, Publicação Especial nº 9, Jornadas Científicas, São Paulo, 1991, p.111-115.
- CAMPANHA, V.A. **A arquitetura deposicional da Bacia sedimentar de Taubaté, SP, como subsídio à delimitação das zonas de produção mineral**. Rio Claro, 1994, Tese (Doutorado) Instituto de Geociências e Ciências exatas da UNESP.
- CARNEIRO, C.D.R. **Geologia e evolução geológica da Folha de São José dos Campos, SP**. São Paulo, 1977, Tese (mestrado). Instituto de Geociências da USP.
- CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F. Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 29, Ouro Preto, 1976. **Anais...** Ouro Preto, SBG. V.4, p.247-256.
- CIDADE VIVA. 2003. Prefeitura Municipal de São José dos Campos. Banco de dados Geográficos. São José dos Campos.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, **Nota explicativa da carta geológica de Santos – Folha SF.23-Y-D – 1:250000**, São Paulo: 1999.

- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1972. Estudos de águas subterrâneas, região administrativa 3: Vale do Paraíba. São Paulo 4v.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1977. Estudo de águas subterrâneas da região administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP. São Paulo, DAEE. 175p.
- D'ANGIOLELLA, G.L.B.; VASCONCELLOS, V.L.D. 2002. Cálculo do balanço hídrico climatológico com diferentes métodos para estimativa da evapotranspiração potencial, em planilhas Excel™. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu. Formato Digital, CD-ROM, 2002, 4p.
- DAVIS, S.N.; DEWIEST, R.J.M. **Hydrogeology**. John Wiley & Sons, New York, 1966.
- DINIZ, H.N. **Estudo do potencial hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu, Municípios de Guarulhos e Arujá, SP**. São Paulo, 1996. tese (Doutorado) Instituto de Geociências da USP.
- DINIZ, H. N. ; MICHALUATE, W. J. Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos – dimensionamento e especificações de bombas submersas. **Boletim do Instituto Geológico**, São Paulo, n.16, 91p, 2002.
- DRISCOLL, F.G. 1989. *Groundwater and wells*. 2ª Edição, Ed. Johnson Filtration Systems Inc., St.Paul, Minnesota, 1089p.
- FERNANDES. F.L. *Arcabouço estrutural e evolução da Bacia de Taubaté, SP*. Ouro Preto, 1993. 147p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- FLORENZANO. T G. Unidades Geomorfológicas da região Sudeste (SP) identificadas por imagens de satélite. São Paulo, 1993. 168p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – FFLCH – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- FRANCO Fº, F.W.B; SOUZA, J.C.S. Exploração de água subterrânea em São José dos Campos – efeitos observados ao longo do tempo. In: 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife. **Anais...** Recife, ABAS, p.113-123, 1994.
- FRANGIPANI, A., PANNUTI, E.L. Estudos Hidrogeológicos da Bacia de Taubaté, entre Jacareí e Quiririm. **Boletim do Instituto Geológico**, São Paulo, n. 42, 126p, 1964.
- FETTER, C. W. **Applied hidrogeology**. New York, Macmillon Publ. Comp., 1988, 2º ed.

- GIGGENBACH, W.F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca ge indicators. **Geochim Cosmochim. Acta**, n52: p. 2749-2765, 1988.
- GOENOPAWIRO, K. 1997. Diagênese dos arenitos terciários da Bacia de Taubaté. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, Tese de Mestrado, 149p.
- HANTUSH, M.S. 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Washington, **Am. Geophys. Union Trans.**, 37:702-714.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: CONG. BRAS. GEOL. 30, Recife, **Anais...Recife** v.1 p.368-381, 1978.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1990. Geologia das folhas Jacareí (SF-23-Y-D-II-3), Tremembé (SF-23-Y-B-V-4), Taubaté (SF-23-Y-D-II-2) e Pindamonhangaba (SF-23-Y-B-VI-3), escala 1:50 000. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Relatório Técnico nº 28 732, São Paulo, 3v, texto e mapas.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1:500.000, Nota explicativa. São Paulo, IPT. 126p. (Série Monografia nº6). – São Paulo, 1981.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapeamento geológico das folhas Jacareí, Pindamonhangaba e Taubaté.** IPT. Relatório técnico. São Paulo, 1991.
- KOVÁCS, G. 1981. *Seepage hydraulics*. Developments in water science, 10 Elsevier Scientific Publishing Company (Translation of A szivárgás hidraulikája), Budapeste, 730 p.
- MANCINI, F. **Estratigrafia e aspectos da tectônica deformadora da Formação Pindamonhangaba, Bacia de Taubaté, SP**, São Paulo, 1995. Dissertação (mestrado) Instituto de Geociências da USP.
- MATTHESS, G. **The properties of groundwater**. John Wiley & Sons, New York, 1982.
- MORAES REGO, L.F. 1933. As informações Cenozóicas no estado de São Paulo. **Anais das Escola Politécnica USP**. 2:231-267. – São Paulo.
- NEGRI, F.A. **Petrologia das rochas charnokito-graníticas e encaixantes de alto grau associadas na região de São Francisco Xavier, SP**. Rio Claro,

2002. Tese (doutorado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro.
- NEUMAN, S.P. 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. **Water Resources Research**, Washington, 8: 1031-1045.
- NEUMAN, S.P. 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. **Water Resources Research**, Washington, 8: 1031-1045.
- OLIVEIRA, N.A.F; NEGRI, F.A. Petrologia dos charnokitos e kinzigitos da porção SE da Quadrícula de Camamducaia, SP. In: 36º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (1990, Natal). **Anais...**, Natal: SBG, .1990.
- REIS, B. J. **Balanço Hídrico na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Taubaté, 2003. Monografia (Curso de Pós-graduação em Ciências Ambientais) UNITAU.
- RICCOMINI, C. O et. al. Tectônica e sedimentação no sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIARJ-ES, 1 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:1ºSBG, 1978, p. 253-298.
- RICCOMINI, C. O. **Rift Continental do Sudeste do Brasil**. São Paulo, 1989. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- SAAD, A R Potencial econômico da Bacia de Taubaté (Cenozóico do Estado de São Paulo, Brasil) nas regiões de Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba. Rio Claro, 1990. 173p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- SADOWSKI, R.G. ; CARNEIRO, C.D.R. O charnockito de São Francisco Xavier, *In* XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (1974, Porto Alegre), **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1974.
- SANTORO, E.; ENS, H.H.; NAGATA, N. Geologia das Folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba, SP. Parte 1: Embasamento Setentrional da Bacia de Taubaté. In: 2º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, (1991, São Paulo), **Atas...**, São Paulo: SBG. 1991.
- SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1966, CESP99.
- SUGUIO, K *Contribuição a Geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba- Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado apresentado à Faculdade de

Ciência e Letras da USP). Publicada em boletim especial da FFCLUSP, 1969. 106p.

THEIS, C.V. 1935. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Washigton, **Am. Geophys. Union Transaction**, Part II, p.519-524.

THORNTHWAITE, C.W. The water balance. **Publications in climatology**, Canterton, New Jersey, 8(1), 1955.

UGRHI-2. 2000. Relatório da Situação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gerenciamentos dos Recursos Hídricos do Paraíba do Sul.

VENEZIANI, P., **Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através a interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos**, 1987, São Paulo. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências da USP.

VESPUCCI, J.B.O. **Sistemas deposicionais e evolução tectono sedimentar da Bacia de Taubaté, SP**, 1984, São Paulo. Tese (Mestrado) Instituto de Geociências da USP.

WASHBURNE, 1930. Petroleum Geology of the São Paulo State, Brazil – Comm.Geogr. Geol. Do Est. S. Paulo, bol. (22): 282p., São Paulo.

# ANEXOS

**Tabela 1 com os dados hidrogeológicos dos poços cadastrados**

**Tabela 2 com os valores dos níveis dinâmicos dos poços da SABESP**

**Tabela 3 com os valores da vazões medidos nos poços da SABESP**

**Tabela1.** Dados descritivos e resumidos dos 55 poços selecionados, em São José dos Campos.

Nº do Poço	Proprietário	nº poço local	Bairro	Coordena-da NS	Coordena-da EW	Transmis-sividade	Coefficiente Ar-mazenamento	Tipo de Aquífero *
306011	Johnson Clube do Brasil	1	Chácaras Reunidas	7428770	404900	4,95	0,014700	1
306021	Embraer	5	Bairro dos Putins	7431230	412300	-	-	-
306022	Embraer	6	Bairro dos Putins	7431500	412400	-	-	-
306024	Embraer	8	Bairro dos Putins	7431350	412230	-	-	-
306030	Embraer	14	Bairro dos Putins	7431300	413000	-	-	-
306038	Soc. Ben. Bras. N. S. Fátima	1	-	7442900	411150	0,26	-	3
306040	Panasonic do Brasil	1	Jd. Industrial	7430900	406700	0,30	-	2
306045	SABESP	85	Jd. das Indústrias	7430800	405600	0,29	-	3
306046	SABESP	12	Jd. das Indústrias	7431500	406400	0,14	-	2
306056	SABESP	59	Bairro dos Putins	7429260	414470	-	-	-
306061	SABESP	33	Jd. Motorama	7437050	415670	-	-	-
306063	SABESP	71	Jd. Nova Michigan	7435550	418660	-	-	-
306068	SABESP	115	Vila São Bento	7430890	410410	-	-	-
306072	SABESP	107	Jd. das Colinas	7433260	407120	0,61	-	2
306075	SABESP	138	Jd. da Granja	7433450	412050	0,09	-	2
306084	SABESP	87	Vila Lúcia/Lavapes	7436310	411150	1,51	-	2
306087	SABESP	96	Jd. Santa Inês II	7438060	417600	-	-	-
306091	SABESP	86	Vila Corinthians	7435350	411500	6,98	0,000341	1
306092	SABESP	89	Bairro Lavapés	7436450	410420	-	-	-
306095	SABESP	104	Jd. das Industrias II	7430950	405150	-	-	-
306099	SABESP	105	Bairro do Costinha	7444750	405400	0,4	-	3
306108	SABESP	108	Bosque dos Eucálptos	7430160	408820	-	-	-
306113	EPEC S/A	3	Eugênio de Melo	7439850	410900	-	-	-
306116	General Motors S/A	3	Sede	7437700	415740	0,52	-	2
306117	General Motors S/A	4	Jd. Motorama	7438500	415930	10,32	0,001770	1
306118	General Motors S/A	5	Jd. Motorama	7438080	414190	0,42	-	2

OBS:Continuação da Tabela 1

Nº do Poço	Proprietário	nº poço local	Bairro	Coordena- da NS	Coordena- da EW	Transmis- sividade	Coefficiente Ar- armazenamento	Tipo de Aquífero *
306119	General Motors S/A	6	Sede	7437680	415060	1,39	-	2
306120	General Motors S/A	7	Sede	7437340	415100	3,18	-	2
306122	General Motors S/A	9	Sede	7438000	416640	1,33	-	2
306123	General Motors S/A	10	Sede	7438560	416790	1,12	0,001290	1
306132	Kodak Bras. Com. E Ind.	4	Jd. das Indústrias	7429120	405570	-	-	-
306138	SABESP	-	-	7438600	411050	0,3	-	2
306139	Petrobrás Distrib. S/A	1	Jd. Diamante	7434910	415670	0,09	-	3
306140	Monsanto do Brasil LTDA	1	Limoeiro	7429650	403850	-	-	-
306141	Monsanto do Brasil LTDA	2	Limoeiro	7429400	403950	6,6	0,003050	1
306142	Monsanto do Brasil LTDA	3	Limoeiro	7429800	403850	9,2	0,000398	1
306143	Solectron Brasil LTDA	1	Eugênio de Melo	7438610	418990	1,66	-	2
306148	Loale Empr. Imobiliários	1	Vila Tatetuba	7436950	416500	0,13	-	2
306149	SABESP	145	Bairro dos Putins	7429100	414500	0,09	-	2
306153	General Motors LTDA	11	Jd. Motorama	7437910	415640	0,82	-	3
306154	Johnson & Johnson Ind.Com. LTDA	6	Jd. das Indústrias	7429700	405310	6,32	0,000342	1
306155	Monsanto do Brasil LTDA	4	Limoeiro	7429960	404110	0,24	-	2
306156	Senac	1	Vila Industrial	7436260	412110	0,28	-	1
306158	Gastro Clinica Assist. Médica	1	Jd. Serimbura	7434210	406240	0,07	-	2
306alep 7	SABESP	7	Campo dos Alemães	7426350	407800	-	-	-
326045	SABESP	112	Jd. Colonial/Imperial	7425000	407660	0,05	-	3
326048	SABESP	92	Elmano Veloso	7425250	408800	0,1	-	3
326050	SABESP	98	São Judas Tadeu	7428370	414800	0,13	-	2
326055	SABESP	53	Jd Colonial	7424710	408330	0,09	-	2
326057	SABESP	67	Jd. Colonial	7424330	408700	0,37	-	3
806029	COMAE	25	Jd. Satélite	7431250	409550	-	-	-
806035	Alpargatas	3	Jd. Satélite	7432250	408500	-	-	-

Nº do Poço	Proprietário	nº poço local	Bairro	Coordena-da NS	Coordena-da EW	Transmis-sividade	Coefficiente Ar-mazenamento	Tipo de Aquífero *
806036	Alpargatas	1	Jd. Satélite	7432400	408600	-	-	-
806063	Ericsson do Brasil LTDA	2	Eugênio de Melo	7440100	420000	-	-	-

OBS: Continuação da Tabela 1.

**\*Tipos de Aquífero:**

- 1- Aquífero Confinado
- 2- Aquífero Semi-Livre
- 3- Aquífero Semi-Confinado

**Tabela.2** Valores do Nível Dinâmico (em metros) no local dos poços da SABESP, no Município de São José dos Campos.

<b>Folha Topog./n° DAEE</b>	<b>Nível Dinâmico 1998 (metros)</b>	<b>Nível Dinâmico 2003 (metros)</b>	<b>Cota Topográfica</b>
306045	56,50	87,00	600
306046	94,00	92,50	600
306056	100,00	110,50	600
306061	85,00	84,00	580
306063	108,00	80,00	600
306068	76,50	75,50	580
306072	53,00	58,50	575
306075	73,00	68,00	600
306084	41,00	38,50	555
306087	80,50	78,00	585
306091	68,00	69,50	560
306095	84,00	88,00	595
306099	22,00	38,50	590
306108	90,50	89,00	590
306149	76,00	60,50	560
326045	86,50	122,00	655
326050	73,00	108,50	630
326057	127,00	117,50	679

**Tabela 3** Valores de vazão (em m<sup>3</sup>/h) no local dos poços da SABESP, no Município de São José dos Campos.

<b>Folha Topog./nº DAEE</b>	<b>Vazão 1998 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Vazão 2003 (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cota Topográfica</b>
306045	13,95	14,36	600
306046	43,19	38,92	600
306056	21,29	13,41	600
306061	30,33	32,31	580
306063	75,56	38,45	600
306068	21,91	23,38	580
306072	63,00	63,63	575
306075	12,92	18,02	600
306084	160,43	122,33	555
306087	50,40	49,01	585
306091	115,36	114,95	560
306095	50,40	44,82	595
306099	36,72	32,65	590
306108	52,65	55,58	590
306149	18,90	20,34	560
326045	24,00	8,39	655
326050	17,38	10,54	630
326057	23,73	21,94	679