

## RESSALVA

Anexos não incluídos pelo(a) autor(a) no  
arquivo original.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA Aqüífero Bauru no  
Município de São José do Rio Preto (SP)**

**Alex Alves de Lima**

Orientador: Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Braga

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao  
Curso de Pós-Graduação em Geociências e  
Meio Ambiente - Área de Concentração em  
Geociências para obtenção do Título de Mestre  
em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2004

551.49 Lima, Alex Alves de  
L732h Hidrogeologia do sistema aquífero Bauru no município de  
São José do Rio Preto (SP) / Alex Alves de Lima. - Rio Claro  
: [s.n.], 2004  
82 f. : il., gráfs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Antonio Celso de Oliveira Braga

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Grupo Bauru. 4.  
Super exploração. I. Título

**Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Braga

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

**Alex Alves de Lima**

Rio Claro, 04 de maio de 2004

Resultado: Aprovado

*Aos meus pais,  
minhas irmãs,  
minha esposa Daniela  
e minha querida filha Isabelle.*

## ADRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Braga, pela orientação, incentivo e conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Walter Malagutti Filho, pelo apoio e participação no exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Chang Hung Kiang, pelas sugestões transmitidas no exame de qualificação.

Ao DAEE de São José do Rio Preto, na pessoa do engenheiro Antonio José Tavares Ranzani, e ao funcionário Lourenção, pela gentileza e ajuda na pesquisa ao Sistema de Informação de Água Subterrânea (SIDAS).

Ao amigo geólogo e pós-graduando Guilherme (“Pepita”), pelas horas dedicadas de trabalho de editoração de mapas.

A pós-graduanda Alessandra pela ajuda e idéias transmitidas quanto ao uso do programa *Geoeas e Surfer*.

Aos sócios fundadores e amigos da FORTGEO - Geociências e Meio Ambiente, por terem compreendido a ausência efetiva de meu trabalho junto grupo, principalmente nos meses finais.

Aos amigos da Georesearch do Brasil (Geoservices), em especial ao gerente de operações Geólogo Flávio Barros e gerente de treinamento Sr. Didier Mareschal, por compreenderem a importância deste trabalho.

Ao Seu Hivo da Hol Sondas, pela ajuda na localização dos poços pertencentes à prefeitura e particulares.

Às minhas irmãs Érica e Daphne, pelo incentivo proporcionado principalmente nos momentos mais difíceis do trabalho.

À minha esposa Daniela, pelo grande apoio e pela dedicação de parte do seu tempo, para que assim, fosse possível a realização do presente trabalho.

Ao meu cunhado João Vicente, pela ajuda na revisão e tradução do resumo.

Aos meus pais, os grandes incentivadores deste estudo e os responsáveis por mais uma etapa vencida.

À minha querida filha Isabelle, motivo maior de força e luta.

Agradeço principalmente a “Deus”, por nunca ter me faltado.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

## SUMÁRIO

ÍNDICE .....	I
ÍNDICE DE QUADROS .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	III
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	V
ÍNDICE DE TABELAS .....	V
ÍNDICE DE FOTOS .....	VI
SIGLAS E UNIDADES .....	VII
RESUMO .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	4
CAPÍTULO 3 - SPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....	9
CAPÍTULO 4 - GEOLOGIA .....	17
4.1. GEOLOGIA REGIONAL .....	17
CAPÍTULO 5 - HIDROGEOLOGIA .....	26
CAPÍTULO 6 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
CAPÍTULO 7 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	42
CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXO 1 .....	A
ANEXO 2 .....	B
ANEXO 3 .....	C
ANEXO 4 .....	D

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	I
ÍNDICE DE QUADROS .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	III
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	V
ÍNDICE DE TABELAS .....	V
ÍNDICE DE FOTOS .....	VI
SIGLAS E UNIDADES .....	VII
RESUMO .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E COLETA DE DADOS BÁSICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. SELEÇÃO DE POÇOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 3 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. CLIMA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. BACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5. PEDOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 4 - GEOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.1. GRUPO BAURU .....</b>	<b>17</b>
4.1.1.1. FORMAÇÃO CAIUÁ .....	19
4.1.1.2. FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO .....	20
4.1.1.3. FORMAÇÃO ADAMANTINA .....	20
4.1.1.4. FORMAÇÃO MARÍLIA .....	20
4.1.1.5. CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO SERRA GERAL .....	21
<b>4.2. GEOLOGIA LOCAL .....</b>	<b>23</b>

<b>CAPÍTULO 5 - HIDROGEOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1. AQÜÍFEROS</b> .....	<b>28</b>
5.1.1. <i>PRINCIPAIS TIPOS DE AQÜÍFEROS</i> .....	29
<b>5.2. PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DO FLUXO SUBTERRÂNEO</b> .....	<b>29</b>
5.2.1. <i>POROSIDADE</i> .....	29
5.2.2. <i>PERMEABILIDADE</i> .....	30
5.2.3. <i>TRANSMISSIVIDADE</i> .....	31
5.2.4. <i>ARMAZENAMENTO</i> .....	31
<b>5.3. BOMBEAMENTO DE POÇO</b> .....	<b>32</b>
5.3.1. <i>DEFINIÇÃO DE UMA VAZÃO PARA INSTALAÇÃO DO POÇO</i> .....	33
<b>5.4. MOVIMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	<b>34</b>
<b>5.5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	<b>35</b>
<b>5.6. EXPLORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM RELAÇÃO À DE SUPERFÍCIE</b> .....	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 6 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>36</b>
<b>6.1. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS REGIONAIS</b> .....	<b>36</b>
<b>6.2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS LOCAIS</b> .....	<b>39</b>
<b>6.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS REGIONAIS</b> .....	<b>39</b>
<b>6.4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS LOCAIS</b> .....	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 7 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
<b>7.1. NÍVEL ESTÁTICO</b> .....	<b>43</b>
<b>7.2. CONDICIONAMENTO DO TOPO DO BASALTO (FM. SERRA GERAL)</b> .....	<b>51</b>
<b>7.3. ESPESSURA DO GRUPO BAURU</b> .....	<b>57</b>
<b>7.4. ESPESSURA DA ZONA SATURADA (AQÜÍFERO BAURU)</b> .....	<b>60</b>
<b>7.5. ANÁLISE DE VAZÃO E ASPECTOS TÉCNICO-CONSTRUTIVOS</b> .....	<b>60</b>
<b>7.6. CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO AQÜÍFERO BAURU X BOTUCATU / PIRAMBÓIA (GUARANI) - ANÁLISE COMPARATIVA</b> .....	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>77</b>
<b>ANEXO 1 - DADOS DOS POÇOS NO AQÜÍFERO BAURU (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP) ....</b>	<b>A</b>
<b>ANEXO 2 - DADOS DOS POÇOS NO AQÜÍFERO BOTUCATU/PIRAMBÓIA - AQÜÍFERO GUARANI (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP) .....</b>	<b>B</b>
<b>ANEXO 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP) .....</b>	<b>C</b>
<b>ANEXO 4 - MAPA POTENCIOMÉTRICO (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP).....</b>	<b>D</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 - RESUMO DAS ETAPAS DE TRABALHO EMPREGADAS NA PESQUISA HIDROGEOLÓGICA.....	8
QUADRO 7.1 - HISTOGRAMA E TABELA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP.....	44
QUADRO 7.2 - HISTOGRAMA E TABELA DA COTA DO TOPO DO BASALTO EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. ..	53
QUADRO 7.3 - HISTOGRAMA E TABELA DA ESPESSURA DO GRUPO BAURU EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. ....	57
QUADRO 7.4 - HISTOGRAMA E TABELA DE VAZÃO DOS POÇOS TUBULARES PARTICULARES NO AQUÍFERO BAURU EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP.....	61
QUADRO 7.5 - HISTOGRAMA E TABELA DE VAZÃO DOS POÇOS TUBULARES PÚBLICOS NO AQUÍFERO BAURU EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. ....	62
QUADRO 7.6 - HISTOGRAMA E TABELA DE VAZÃO DOS POÇOS PARTICULARES E PÚBLICOS NO AQUÍFERO BAURU EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP.....	63
QUADRO 7.7 - HISTOGRAMA E TABELA DE VAZÃO ESPECÍFICA DOS POÇOS NO AQUÍFERO BAURU EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO NO ESTADO DE SÃO PAULO. ....	9
FIGURA 3.2 - VIAS DE ACESSO E LIMITES DE MUNICÍPIOS NA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (MODIFICADO DE ATLAS REGIONAL, 1978).....	10
FIGURA 3.5 - MODELO TRIDIMENSIONAL DO TERRENO DA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (MODIFICADO DE MASTER GUIA, 2000).....	15
FIGURA 4.1 - DISTRIBUIÇÃO DO GRUPO BAURU, FORMAÇÃO ITAQUERI E CORRELATAS NO ESTADO DE SÃO PAULO (MOD. DE IPT, 1981). ....	18

FIGURA 4.2 - MAPA DE CONTOURNO ESTRUTURAL DO TOPO DA FORMAÇÃO SERRA GERAL (CAMPOS <i>ET AL.</i> , 2000).....	22
FIGURA 4.4 - PERÍMETRO URBANO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, PRINCIPAIS PONTOS AMOSTRADOS, DIREÇÃO DOS PERFIS GEOLÓGICOS E ASPECTO GERAL DA DRENAGEM (MOD. DE BARCHA, 1980).....	24
FIGURA 4.5 - PERFIS GEOLÓGICOS CORTANDO O PERÍMETRO URBANO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO MOSTRANDO A MORFOLOGIA DO TOPO DO BASALTO E O COMPORTAMENTO ESPACIAL DAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DO GRUPO BAURU. A DIREÇÃO DESSES PERFIS DEVE SER VISTA NA FIGURA 4.4 (MODIFICADO DE BARCHA, 1980).....	25
FIGURA 5.1 - CICLO D'ÁGUA (MODIFICADO DE BRAGA, 1999). ....	26
FIGURA 5.2 - DIVISÃO DA SUPERFÍCIE EXTERNA DA LITOSFERA EM ZONA SATURADA E ZONA INSATURADA (MODIFICADO DE ABGE, 1998). ....	28
FIGURA 5.3 - PRINCIPAIS TIPOS DE AQUÍFERO E CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE MATERIAL- SOLO OU ROCHA (MODIFICADO DE ABGE, 1998). ....	28
FIGURA 5.4 - DIFERENTES TIPOS DE POROSIDADE (MOD. DE CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976). ....	30
FIGURA 5.5 - PRINCIPAIS EXPRESSÕES RELATIVAS AOS TESTES DE POÇOS.....	32
FIGURA 5.6 - MAPA POTENCIOMÉTRICO ESTABELECENDO O PADRÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO, LIMITES E DIVISORES DA BACIA HIDROGEOLÓGICA (BRAGA, 1999).....	34
FIGURA 6.1 - ZONEAMENTO DO POTENCIAL EXPLORÁVEL POR POÇOS, EM M <sup>3</sup> /H, NO SISTEMA AQUÍFERO BAURU (ROCHA <i>ET AL.</i> , 1982).....	37
FIGURA 6.2 - MAPA DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU (ROCHA <i>ET AL.</i> , 1982). ....	38
FIGURA 7.1 - REPRESENTAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS. ....	42
FIGURA 7.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DA PREFEITURA NO BAIRRO ALTO RIO PRETO (LIMA, 2000). ....	46
FIGURA 7.3 - MAPA DE ISOLINHAS DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP.....	47
FIGURA 7.5 - MAPA DE ISOLINHAS DA COTA DO TOPO DO BASALTO (SERRA GERAL), NA ÁREA URBANA DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO (LIMA, 2000).....	52
FIGURA 7.6 - MAPA DE PONTOS DOS POÇOS QUE ATINGEM O SERRA GERAL, INCLUSOS NESTES, OS POÇOS NO AQ. BOT./PIR. (AQ. GUARANI). NA ÁREA EM DESTAQUE FOI TRAÇADO O MAPA DE TENDÊNCIA DA COTA DO BASALTO EM PARTE DA ÁREA DE ESTUDO (FIG. 7.7).....	55

FIGURA 7.7 - MAPA DE TENDÊNCIA DE CONTORNO ESTRUTURAL DO SERRA GERAL (BASALTO) NA ÁREA DE ESTUDO. ....	56
FIGURA 7.8 - MAPA DE ESPESSURA DO GRUPO BAURU NA ÁREA URBANA DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP. ....	59
FIGURA 7.9 - PRINCIPAIS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS POÇOS NO AQUÍFERO BAURU EM S. J. DO RIO PRETO (SP).....	67
FIGURA 7.10 - PERFIL ESQUEMÁTICO DE PROTEÇÃO SANITÁRIA DE POÇOS (MODIFICADA DE IPT, 1996). ....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 - PRECIPITAÇÃO TOTAL EM MILÍMETROS NO PERÍODO DE 1993 A 1997. ....	11
GRÁFICO 7.1 - COMPORTAMENTO DA TOPOGRAFIA EM RELAÇÃO A ESPESSURA DA ZONA NÃO SATURADA. ....	50
GRÁFICO 7.2 - VAZÃO X PROFUNDIDADE DOS POÇOS NO AQUÍFERO BAURU NO MUNICÍPIO DE S. J. RIO PRETO - SP. ....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 - TEMPERATURAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS NO PERÍODO DE 1993 A 1997 (MODIFICADO DE DIVISÃO REGIONAL AGRÍCOLA - DIRA, 2000). ....	11
TABELA 4.1 - UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DOS GRUPOS BAURU E CAIUÁ E CORRELAÇÕES COM AS DEFINIÇÕES ANTERIORES (SEGUNDO FERNADES, 1998). ....	19
TABELA 5.1 - DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NA TERRA (ZIMBRES, 2000). ....	27
TABELA 6.1 - CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DOS AQUÍFEROS CAIUÁ, SANTO ANASTÁCIO, ADAMANTINA E MARÍLIA (MENDONÇA E GUTIERRE, 2000). ....	36
TABELA 7.1 - DADOS DOS POÇOS DA FIGURA 7.5 QUE ATINGIRAM A COTA DO TOPO DO BASALTO (MODIFICADO DE LIMA, 2000). ....	52

## ÍNDICE DE FOTOS

FOTOS 7.1 A E B - TAMPA DO TUBO DE BOCA NÃO ALINHADA E SEM VEDAÇÃO. ....	69
FOTOS 7.2 A, B E C - TAMPA DO TUBO DE BOCA NÃO ALINHADA E SEM VEDAÇÃO.....	70
FOTOS 7.3 A E B - POÇO TUBULAR EM BOAS CONDIÇÕES GERAIS, COM AUSÊNCIA APENAS DA CERCA DE PROTEÇÃO. ....	71
FOTOS 7.4 A E B - POÇO TUBULAR EM BOAS CONDIÇÕES GERIAS, COM AUSÊNCIA APENAS DA CERCA DE PROTEÇÃO. ....	71
FOTOS 7.5 A, B, C E D - POÇO TUBULAR COM DIVERSOS VAZAMENTOS, PROPICIANDO CONTATO ÁGUA DO POÇO COM A SUPERFÍCIE.....	72
FOTOS 7.6 A, E B - POÇO TUBULAR COM A LAJE DE PROTEÇÃO SANITÁRIA PARCIALMENTE DESTRUÍDA, COMPROMETENDO A PROTEÇÃO SANITÁRIA. ....	72

**SIGLAS E UNIDADES**

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas;

**NB:** Norma Brasileira;

**UGRHI:** Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

**DAEE:** Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo;

**T:** Transmissividade;

**Lu:** Largura unitária;

**E:** Altura=Espessura da zona saturada;

**i:** Gradiente hidráulico unitário;

**K:** Coeficiente de permeabilidade de campo;

**S:** Coeficiente de armazenamento

**Vb:** Volume de água produzido;

**Vd:** Volume total drenado em um aquífero livre;

**S<sub>w</sub>:** Rebaixamento;

**Q<sub>esp</sub>:** Vazão específica

**NE:** Nível estático;

**ND:** Nível dinâmico;

**RD:** Rebaixamento disponível;

**PC:** Profundidade do crivo da bomba;

**m<sup>3</sup>/h:** Metro cúbico por hora;

**m<sup>3</sup>/h/m:** Metro cúbico por hora por metro;

**m<sup>2</sup>/dia:** Metro quadrado por dia;

**cm/s:** Centímetros por segundo;

**mg/l:** Miligrama por litro;

**°C:** Grau Centígrados;

**Km<sup>2</sup>:** Quilômetro quadrado;

**Km<sup>3</sup>:** Quilômetro cúbico;

**m:** metro;

## RESUMO

Devido principalmente ao aumento populacional que tem ocorrido nos últimos anos, a demanda de água para o abastecimento público na região noroeste do Estado de São Paulo tem sido cada vez maior. No município de São José do Rio Preto (SP), o abastecimento de água tem sido realizado por meio da captação do rio Preto e afluentes e por poços existentes tanto no Sistema Aquífero Bauru como no Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani). A água subterrânea responde por 70% do abastecimento local, sendo o Aquífero Bauru o mais requisitado em virtude das boas condições que este apresenta como reservatório de água e também pela facilidade construtiva e operacional do poço tubular. A super exploração do aquífero em questão se mostra cada vez mais acentuada, exigindo mais controle para sua exploração. O objetivo desta pesquisa foi avaliar alguns dos principais parâmetros hidráulicos, caracterizar o comportamento do fluxo subterrâneo e suas propriedades, propor condições necessárias para a construção de poços tubulares para captação de água subterrânea no Aquífero Bauru, enfatizando a proteção sanitária, e, dessa forma, sugerir medidas adequadas para o gerenciamento dos recursos hídricos, como também para o auxílio ao Plano Diretor do município. Na análise conjunta dos parâmetros, importantes observações foram feitas a respeito da vulnerabilidade à contaminação do Aquífero, servindo esta pesquisa não somente como uma referência para a análise de alguns parâmetros hidrogeológicos na área de estudo, mas também como apoio às medidas preventivas a serem praticadas por empreendimentos que podem, de forma direta ou indireta, estar interferindo na qualidade da água subterrânea do município de São José do Rio Preto (SP).

Palavras-chaves: Água subterrânea, Grupo Bauru, Mapa Potenciométrico, Super Exploração.

## ABSTRACT

The population growth that has taken place in recent years has been the main reason for the increasing demand for water for public supply in the northwestern region of the state of São Paulo, Brazil. In the municipality of São José do Rio Preto, the water supply has drawn from the catchment of the Preto river and its tributaries, as well as from wells in the Bauru Aquifer and in the Botucatu/Pirambóia Aquifer (Guarani Aquifer). Ground water accounts for 70 percent of the local supply, with the Bauru Aquifer being the most resorted to due to its great capability as a water reservoir and the favorable conditions for building and operating a tube well. This aquifer has been increasingly over-exploited, and this situation requires tighter controls of its exploration. This study aimed at evaluating some key hydraulic parameters, describing the behavior of the underground flow and its properties, setting forth the required conditions for the construction of a tube well to catch underground water from the Bauru Aquifer with an emphasis on sanitary protection, and, therefore, suggesting appropriate measures for water resource management, as well as for supporting the municipality's *Plano Diretor* (Master Plan). The overall analysis of the parameters includes important observations on the aquifer's vulnerability to contamination. In this sense, this paper not only constitutes a reference work for the analysis of certain hydrogeological parameters in this field of study, but also supports preventive measures to be implemented by any agents that might be affecting, directly or indirectly, the quality of the underground water in the municipality of São José do Rio Preto.

**Keywords:** Underground water, *Grupo Bauru*, potentiometric map, over-exploitation.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. INTRODUÇÃO**

#### **1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A falta de controle por parte do poder público, a eventualidade na aplicação da legislação vigente e, praticamente, nenhuma exigência do consumidor, aliados a necessidade de água, constituem-se nas principais causas pela intensa exploração de água subterrânea na região noroeste do Estado de São Paulo. O descontrole na qualidade técnico-constructivas dos poços tubulares, somados ao inadequado controle sanitário, são os principais fatores responsáveis pela contaminação dos aquíferos, colocando em risco a saúde pública.

A legislação que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, através das normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), determina padrões para o local de perfuração, projeto técnico construtivo do poço tubular, acompanhamento do empreendimento por profissional legalmente autorizado, análise de água, dentre outras exigências (ABNT NB 588, 1990 e ABNT NB 1290, 1992), porém, estes não intimidam a população e perfuradores para o controle na perfuração de poços para a captação de água subterrânea.

O estudo se desenvolveu no município de São José do Rio Preto (SP), localizado na porção noroeste do Estado de São Paulo, distando aproximadamente 452 km da capital. É uma cidade de porte médio, com uma economia baseada na atividade industrial, agropecuária, comércio e prestação de serviços.

O abastecimento de água local tem sido realizado através da captação do rio Preto e afluentes e por poços existentes tanto no Sistema Aquífero Bauru como no Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani). Segundo BARCHA (2000), 70% do volume de água disponível provém de 7 poços do Botucatu/Pirambóia e de mais de 160 do Bauru, que contribui com a grande parcela de água utilizada para fins de abastecimento público.

As águas subterrâneas são naturalmente melhor protegidas dos agentes contaminantes do que as superficiais, resultando em uma reserva confiável para o consumo humano. No entanto, os processos de poluição dos aquíferos existem e podem ser agravados pela

inadequada construção e manutenção de poços de captação, tornando-os veículos potenciais para a contaminação. Em áreas urbanas, a situação é ainda mais preocupante, uma vez que aumenta-se a concentração de fontes potenciais de contaminação, como postos de gasolina, rompimentos nas redes de esgotos, áreas de disposição de resíduos, etc. Desta forma, é indispensável a adoção de práticas adequadas de proteção sanitária dos poços de captação de água subterrânea.

Uma pesquisa hidrogeológica no município de São José do Rio Preto (SP), é de fundamental importância nas políticas ambientais de proteção dos recursos hídricos locais, sobretudo envolvendo o Sistema Aquífero Bauru, em função do seu alto potencial hidrogeológico. A crescente demanda de água para o abastecimento público, torna a super exploração do aquífero cada vez mais acentuada, exigindo mais controle para sua exploração.

Um melhor conhecimento do fluxo d'água subterrâneo e a avaliação da potencialidade do aquífero, constituem-se de dados fundamentais para disciplinar as captações de poços tubulares existentes e programar futuras locações. Esses conhecimentos, aliados ao adequado controle na qualidade técnico-construtiva dos poços tubulares, tornam-se imprescindíveis e de extrema importância na elaboração de um plano diretor municipal.

## 1.2. JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

O aumento populacional, a crescente atividade industrial, o destaque do município como pólo comercial regional, além de atividades agro-industriais, são as causas principais para enorme demanda de água que o município tem enfrentado.

A grande parcela do abastecimento público local, é feita através da exploração de água subterrânea (70%), destacando-se principalmente, as captações no Sistema Aquífero Bauru, devido ao fato de apresentar boas características hidrodinâmicas, naturalmente são de boa qualidade, não necessitando tratamento e apresentam um custo relativamente baixo para construção dos poços tubulares para a captação de água. Sendo assim, vê-se a necessidade de um estudo e avaliação das principais características do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP), sugerindo medidas adequadas quanto ao uso racional da água.

O objetivo da pesquisa será de avaliar alguns dos principais parâmetros hidráulicos do aquífero em questão, caracterizar o comportamento do fluxo subterrâneo e suas propriedades, propor condições necessárias na construção de poços tubulares para captação de água

subterrânea, enfatizando a proteção sanitária dos mesmos, a fim de sugerir medidas adequadas no gerenciamento dos recursos hídricos e também no auxílio do Plano Diretor do município.

O Sistema Aquífero Bauru comporta-se de maneira geral como aquífero livre, sendo assim, o nível estático (NE) nele existente, será representado pelo nível freático. É de extrema importância a caracterização do nível estático, uma vez que este irá condicionar o fluxo subterrâneo existente no Sistema Aquífero livre aqui estudado. Dessa forma, será traçado o mapa de tendência da superfície potenciométrica com as direções preferenciais de fluxo subterrâneo. Este mapa, aliado a análise de outros fatores, poderá auxiliar na localização das áreas mais favoráveis à locação de novos poços, e até mesmo no suporte para escolha dos locais que poderão ser instalados empreendimentos que terão atividades impactantes ao meio ambiente, como no caso de construções de aterros sanitários, cemitérios, etc.

Pela análise conjunta dos parâmetros anteriormente citados, importantes observações foram feitas no que diz respeito à vulnerabilidade a contaminação do Sistema Aquífero Bauru, servindo assim esta pesquisa não somente como uma referência para a análise de alguns parâmetros hidrogeológicos na área de estudo, como também de auxílio nas medidas preventivas a serem praticadas por empreendimentos que podem de forma direta ou indireta estar interferindo na qualidade da água subterrânea do município de São José do Rio Preto (SP).

Ressalta-se ainda, que de forma resumida, efetuou-se uma análise comparativa destacando as principais vantagens e desvantagens com relação ao custo benefício, da exploração de água subterrânea no Sistema Aquífero Bauru, em relação ao Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani).

## **CAPÍTULO 2**

### **2. METODOLOGIA NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA**

Para a realização do estudo hidrogeológico no Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP), desenvolveu-se as seguintes etapas: levantamento bibliográfico e coleta de dados básicos, seleção de poços tubulares, análise e tratamento dos dados obtidos.

#### **2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E COLETA DE DADOS BÁSICOS**

Efetuiu-se um levantamento bibliográfico e coleta de dados básicos julgados necessários para a realização da pesquisa apresentada. Os dados básicos obtidos foram: cartas topográficas e geológicas existentes da área de estudo, PARECER TÉCNICO DO INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (1996), PARECER TÉCNICO DO IPT (2001) - RELATÓRIO ZERO DO COMITÊ DE BACIAS - TURVO GRANDE e através de várias visitas ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo, em São José do Rio Preto, onde se pode ter acesso ao Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIDAS).

Várias foram as referências bibliográficas utilizadas na presente pesquisa, sendo algumas de extrema importância, principalmente, envolvendo os conceitos básicos empregados na hidrogeologia, como também obras de diversos autores que desenvolveram pesquisa na área de estudo, tanto de caráter geológico e hidrogeológico, em escala regional e local.

Com relação aos conceitos de hidrogeologia, pode-se destacar CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), CETESB (1974), FEITOSA *et al.* (1997), CPRM (1998a), CPRM (1998b), TUCCI (2002), ABGE (1998), dentre outros trabalhos pesquisados, que serviram principalmente como a base inicial aos fundamentos e conceitos de hidrogeologia aqui utilizados.

Para entender os processos e os riscos de contaminação das águas subterrâneas, utilizou-se como referência FOSTER & HIRATA (1993), que caracterizam o risco de contaminação

de um aquífero analisando parâmetros como o tipo de carga contaminante, sua mobilidade e persistência, propriedades do solo, profundidade da água subterrânea, tipo de aquífero, condutividade hidráulica, dentre outros aspectos. No mesmo contexto, outros trabalhos como de REBOUÇAS (1992), foram importantes para a compreensão dos elementos que colocam em risco a contaminação das águas subterrâneas.

No entendimento geológico e hidrogeológico tanto no âmbito regional como local, foram indispensáveis diversos trabalhos de autores como BARCHA (1980, 1992, 1996, 1997, 2000), BARCHA *et al.* (1973), ARID (1966, 1992), ARID *et al.* (1970), que além de caracterizarem em diversas pesquisas as propriedades geoquímicas do Sistema Aquífero Bauru, demonstram aspectos geológicos e hidrogeológicos do Grupo Bauru. Outras pesquisas desenvolvidas no município de São José do Rio Preto (SP), como de AGUIAR (2001) e SILVA (2002), também foram importantes para compreender os impactos antrópicos e as propriedades geotécnicas locais, com vista à vulnerabilidade do aquífero.

Na evolução do conhecimento geológico de âmbito regional, destacam-se como as bases da estratigrafia do Grupo Bauru, trabalhos de: SUGUIO (1973), LANDIM & SOARES (1976), COIMBRA (1976), SOARES *et al.* (1980), ALMEIDA *et al.* (1980), BARCELOS *et al.* (1981), COUTINHO *et al.* (1981), IPT (1981), FERNANDES (1992), ARAÚJO (1995), FERNANDES (1998) e CAMPOS *et al.* (2000).

Para se entender a análise estatística de dados geológicos, foi de extrema importância trabalhos como o de LANDIM (1998), pois segundo o autor a extensão da variabilidade dos dados geológicos, pode estar associada à variabilidade natural, variabilidade devida à amostragem e variabilidade analítica.

## 2.2. SELEÇÃO DE POÇOS

Realizou-se uma seleção dos poços cadastrados que atingem o Aquífero Bauru, através do Parecer Técnico nº. 6.870 realizado pelo IPT (1996), Parecer Técnico nº. 40.515 IPT (2001) - RELATÓRIO ZERO DO COMITÊ DE BACIAS - TURVO GRANDE e junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo, na Bacia Hidrográfica do Turvo-Grande (BTG), sediada em São José do Rio Preto, através de ficha de cadastro de poços existentes no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIDAS).

Foram cadastrados 355 poços no Sistema Aquífero Bauru (Anexo 1), sendo que a respectiva fonte de dados se encontra indicada na tabela do Anexo 1. Os dados de 8 poços existentes no Aquífero Botucatu (Anexo 2) foram todos obtidos pelo Parecer Técnico do IPT (IPT, 1996) e através do Relatório Zero do Comitê de Bacias - Turvo Grande (IPT, 2001). Somando-se os poços no Aquífero Bauru e no Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani) tem-se um total de 363 poços cadastrados no trabalho proposto.

Os poços cadastrados através do Parecer Técnico do IPT (1996), IPT (2001) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (SIDAS), apresentam a sigla do órgão seguida de número, facilitando assim a análise e representação dos dados obtidos. Os dados dos poços foram organizados em tabelas (Anexo 1 e Anexo 2) para serem utilizados em etapas posteriores de interpretação e na confecção de mapas temáticos.

### 2.3. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

Nesta fase do trabalho foram desenvolvidas as seguintes etapas: Elaboração de Mapa Base; Análise Estatística dos Dados; Confecção de Mapas Temáticos e Interpretação dos Dados.

Para elaboração do mapa base, os poços foram plotados em mapa (Anexo 3), através de recursos de computação gráfica, utilizando o programa *AutoCAD versão 2000* da *Autodesk*, obtendo-se assim, o mapa de localização dos poços tubulares na área do município de São José do Rio Preto (SP).

Para a análise conjunta dos principais parâmetros hidrogeológicos utilizou-se como ferramenta básica a estatística descritiva, para que dessa forma fosse possível calcular valores médios, máximos e mínimos, para as variáveis analisadas, além de obter os padrões de dispersão dos dados para os parâmetros pesquisados.

Após a caracterização da estatística descritiva, os dados foram analisados de forma espacial (distribuição e comportamento na área de estudo), utilizando como instrumento básico de apoio, programas como o *Surfer versão 7 da Golden Software* e o *Geo-EAS versão 1.2.1 (Geostatistical Environmental Assessment Software)*. Dessa forma, pode-se traçar comentários a respeito do comportamento dos principais parâmetros hidrogeológicos para o município de São José do Rio Preto (SP).

Na confecção do mapa potenciométrico, utilizou-se também o programa *Surfer versão 7*, para traçar as linhas de isovalores da cota do nível d' água e as redes de fluxo do aquífero em questão, visando representar a superfície do fluxo subterrâneo da área em estudo, e obtendo-se com isso o mapa potenciométrico da área (Anexo 4). Na análise das outras variáveis a mesma técnica foi mantida para a obtenção dos mapas temáticos.

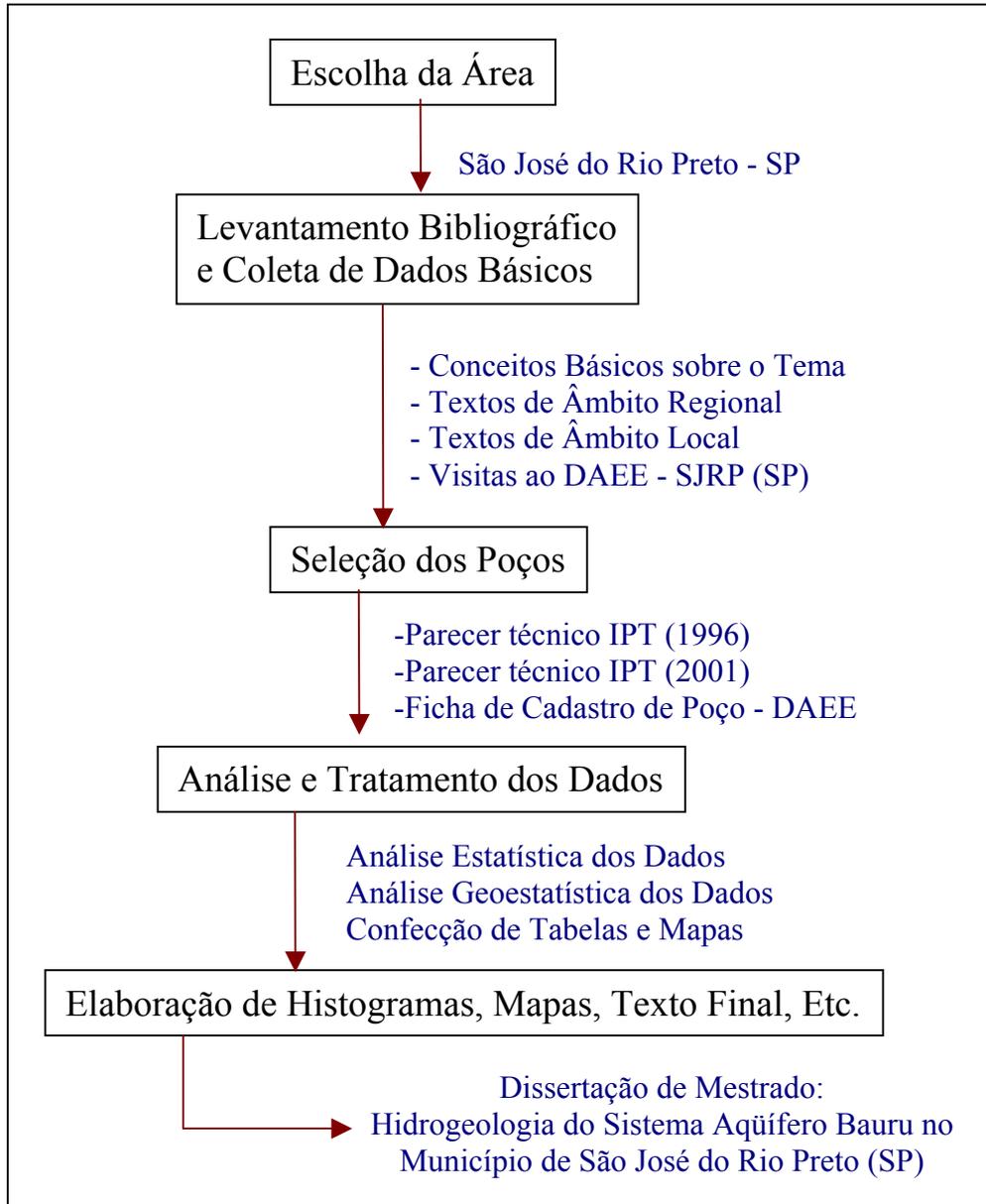
Para o estudo da espessura do Grupo Bauru, espessura da zona saturada e zona insaturada, e o condicionamento do topo do basalto (Serra Geral), utilizou-se como dados apenas os poços que atingem o topo do basalto de forma superficial, total ou parcial, e dessa forma, a exemplo da confecção do mapa potenciométrico (Anexo 4), foram criados mapas de tendências de espessuras para a área de estudo.

Com relação à análise da vazão dos poços existentes na área de estudo, efetuou-se também uma análise estatística dos dados, porém levando-se em conta as características construtivas dos poços, fator este de extrema importância na quantificação da vazão dos poços de captação de água subterrânea.

Os aspectos técnico-construtivos e de proteção sanitária dos poços, foram analisados seguindo norma específica da ABNT, tanto para o projeto como na construção de poço para captação de água subterrânea (Norma ABNT NB-1290, 1992 e Norma ABNT NB-588, 1990).

Através dos principais parâmetros hidrogeológicos pesquisados, pode-se fazer alguns comentários no que diz respeito às vantagens e desvantagens de exploração de água no Sistema Aquífero Bauru em relação ao Aquífero Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani).

O Quadro 2.1 resume de forma geral e resumida as etapas que foram desenvolvidas nesta pesquisa.



Quadro 2.1 - Resumo das etapas de trabalho empregadas na pesquisa hidrogeológica.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E VIAS DE ACESSO**

O município de São José do Rio Preto (SP) localiza-se na porção noroeste do Estado de São Paulo, com coordenadas 20°49'11" de Latitude Sul e 49°22'46" de Longitude Oeste (Figura 3.1). A área total do município é de 432,86 km<sup>2</sup>, contando com cerca de 358.523 mil habitantes - pessoas residentes (IBGE, 2000). A distância da Capital é de aproximadamente 452 quilômetros, sendo a cidade sede da Região.

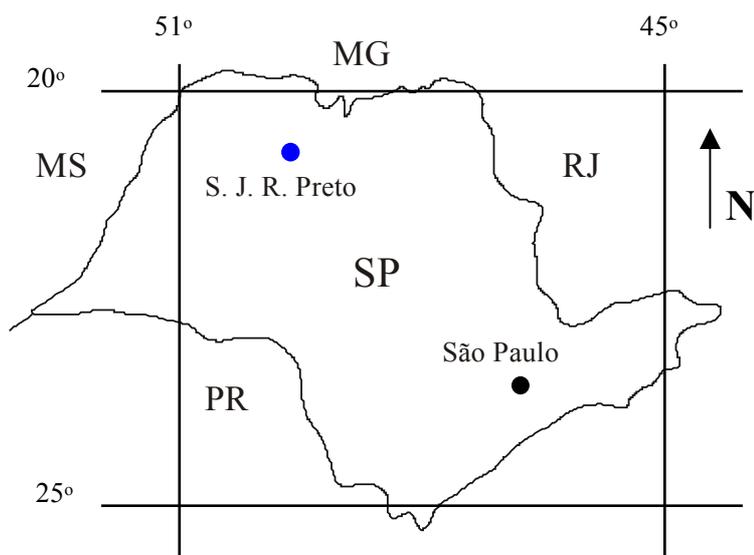


Figura 3.1 - Localização de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo.

Os municípios limites são: NORTE: Ipiranga e Onda Verde; SUL: Cedral e Bady Bassitt; LESTE: Guapiaçu; OESTE: Mirassol. As principais vias de acesso são as rodovias SP-310 (Washington Luiz), a BR-153 (Transbrasiliana), a SP-425 (Assis Chateaubriand), SP-427 (Décio Custódio da Silva) e conta ainda com a Ferrovia Paulista S/A (atualmente desativada), integrando a cidade à linha São Paulo - Santa Fé do Sul (Figura 3.2).

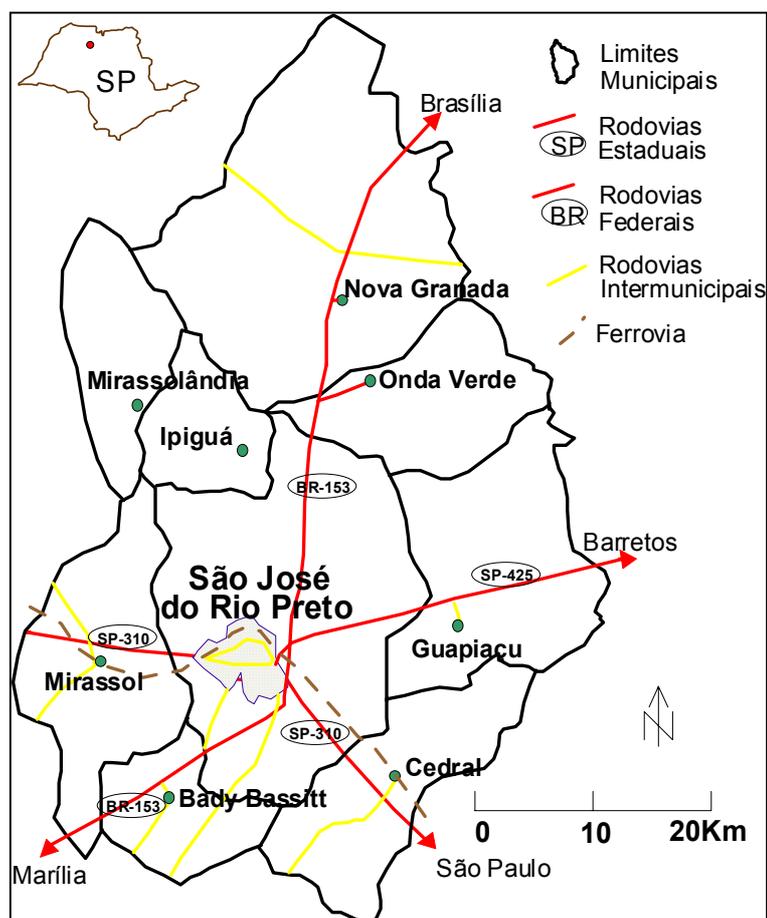


Figura 3.2 - Vias de acesso e limites de municípios na região de São José do Rio Preto (modificado de ATLAS REGIONAL, 1978).

### 3.2. CLIMA

O clima da cidade é tropical, com uma temperatura média anual observada para o período de 1993 a 1997, de 24,66°C, sendo que a média anual das temperaturas máximas e mínimas observadas no mesmo período é de respectivamente 29,64°C e 19,64°C. A temperatura mínima, observada no período de 1993 a 1997, é de 5°C, observada no mês de junho de 1997, e a máxima de 41°C, em novembro de 1997 (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Temperaturas médias, máximas e mínimas no período de 1993 a 1997 (modificado de Divisão Regional Agrícola - DIRA, 2000).

TEMPERATURAS, MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMA						
Temperaturas (°C)	Ano					1993 -1997
	1993	1994	1995	1996	1997	Média
Média anual	24,70	25,20	25,20	25,20	23,00	24,66
Média das máximas	27,90	28,80	31,40	31,10	29,00	29,64
Média das mínimas	21,50	21,50	19,00	19,20	17,00	19,64
Maior observada	35,00	39,00	40,00	37,00	41,00	38,4
Mês	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.
Menor observada	12,00	8,00	11,00	5,00	5,00	8,2
Mês	Jul.	Jul.	Jul.	Jul.	Jun.	Jul./Jun.

°C - Graus Centígrados.

Com relação à pluviosidade, observa-se pela análise do Gráfico 3.1, que no período de 1993/1997, as maiores precipitações ocorreram nos meses de novembro a fevereiro, variando de 194,9 mm a 275,2 mm ao mês, com um total anual variando de 1025.7mm a 1661.8mm para o período analisado (Divisão Regional Agrícola - DIRA, 2000). Observa-se ainda que, dentre os meses mais chuvosos, a grande concentração de chuvas ocorre nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, tendo o mês de janeiro como o mais chuvoso.

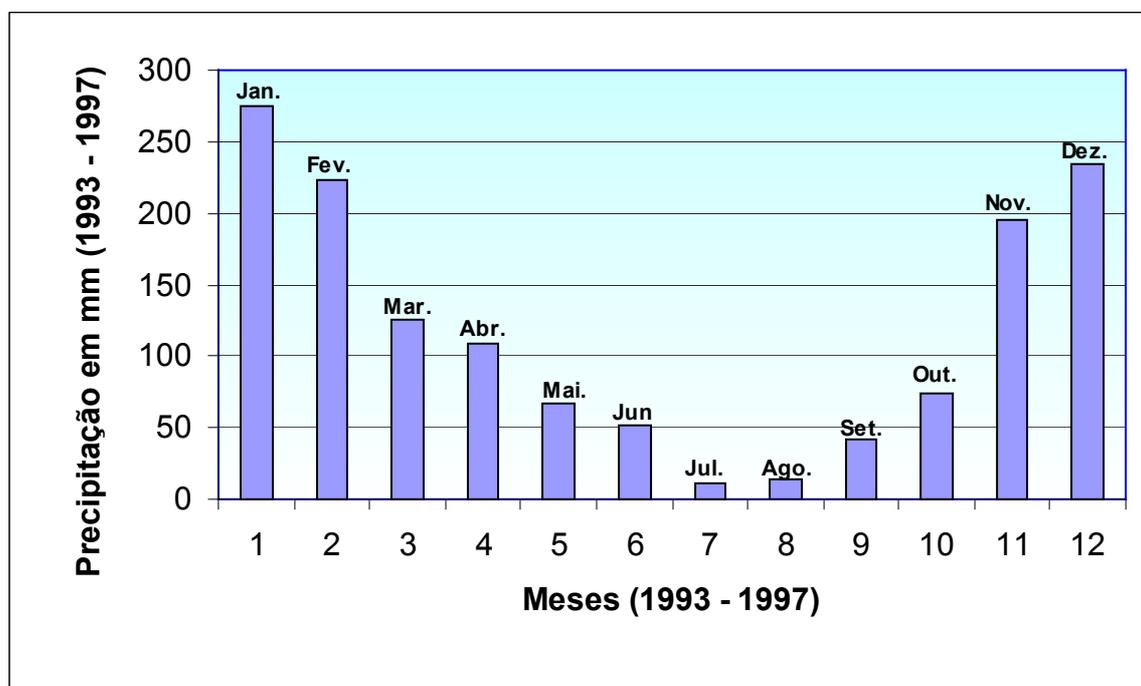


Gráfico 3.1 - Precipitação total em milímetros no período de 1993 a 1997.

A distribuição das chuvas não é homogênea durante o ano, havendo uma forte concentração nos meses de outubro a março, e uma escassez acentuada durante os meses de abril a setembro. Essa distribuição identifica para a região, de acordo com BARCHA e ARID (1971, in BARCHA 1980), a existência de duas estações distintas, uma chuvosa e outra sensivelmente seca. A estação chuvosa concentra 85% do total anual, enquanto que a seca perfaz apenas 15%.

### 3.3. BACIA HIDROGRÁFICA

O município de São José do Rio Preto está inserido regionalmente na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande, tendo como área de drenagem 15.975 Km<sup>2</sup> e os rios São Domingos, ribeirão da Onça, Turvo, Preto e Rio Grande, como os cursos d'água principais (CETESB, 2001). A Figura 3.3 ilustra a Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande (UGRHI 15 - Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídrico 15).

O município localiza-se, mais precisamente, na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Preto com seus principais afluentes: Córrego do Macaco, Lagoa, Canela, Borá, Piedade, Felicidade, São Pedro e Talhado, sendo ainda formados dois lagos artificiais pelo Rio Preto (Figura 3.4).

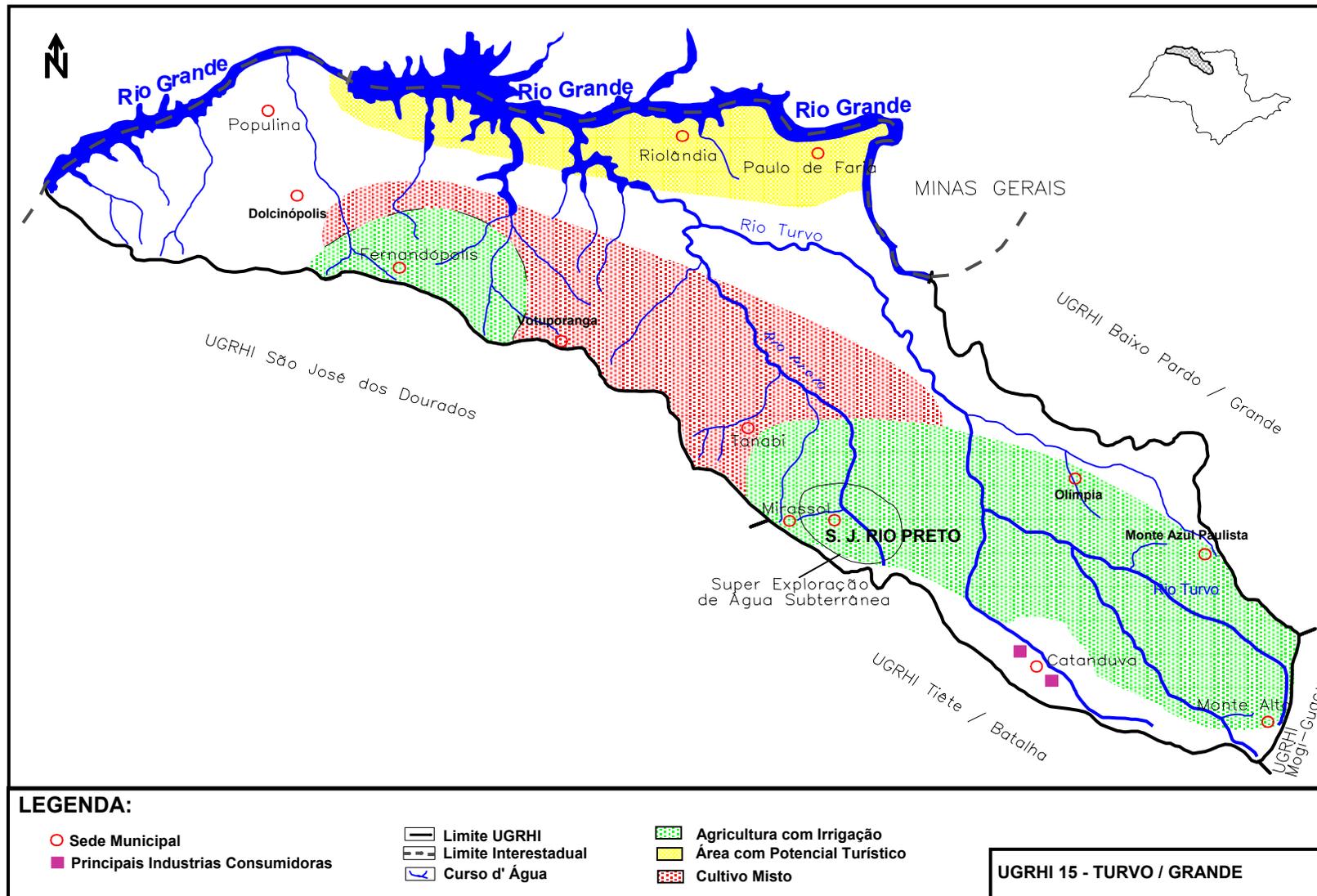


Figura 3.3 - Mapa esquemático da bacia hidrográfica do Turvo/Grande - UGRHI 15 (modificado de CETESB, 2001).



### 3.4. GEOMORFOLOGIA

A área estudada está contida no Planalto Ocidental do Estado de São Paulo, sendo representada integralmente pelas zonas rebaixadas do Baixo Planalto, em sua porção Norte (BARCHA, 1980). A topografia é suave, o relevo é ondulado, relativamente uniforme, com extensos e baixos espigões de perfis convexos (ARID, 1966; ARID *et al.*, 1970; BARCHA *et al.*, 1973).

Não se registra qualquer forma de relevo mais acentuada, senão extensos espigões em forma de longas e estreitas faixas, divisores das principais bacias hidrográficas (BARCHA, 1980). O relevo por se mostrar no geral suave e com a presença de profundo intemperismo químico que assola as rochas, resultando em muito poucas exposições de rochas aflorantes, as quais predominantemente, ocorrem ao longo de estradas, rodovias e ferrovias, com aspecto alterado (ARID, 1966).

A Figura 3.5 abaixo representa o modelo tridimensional do terreno da região de São José do Rio Preto (a seta indica a área que representa a cidade), vista com ângulo de 55<sup>o</sup> da horizontal, no sentido Sul-Norte (MASTER GUIA, 2000).

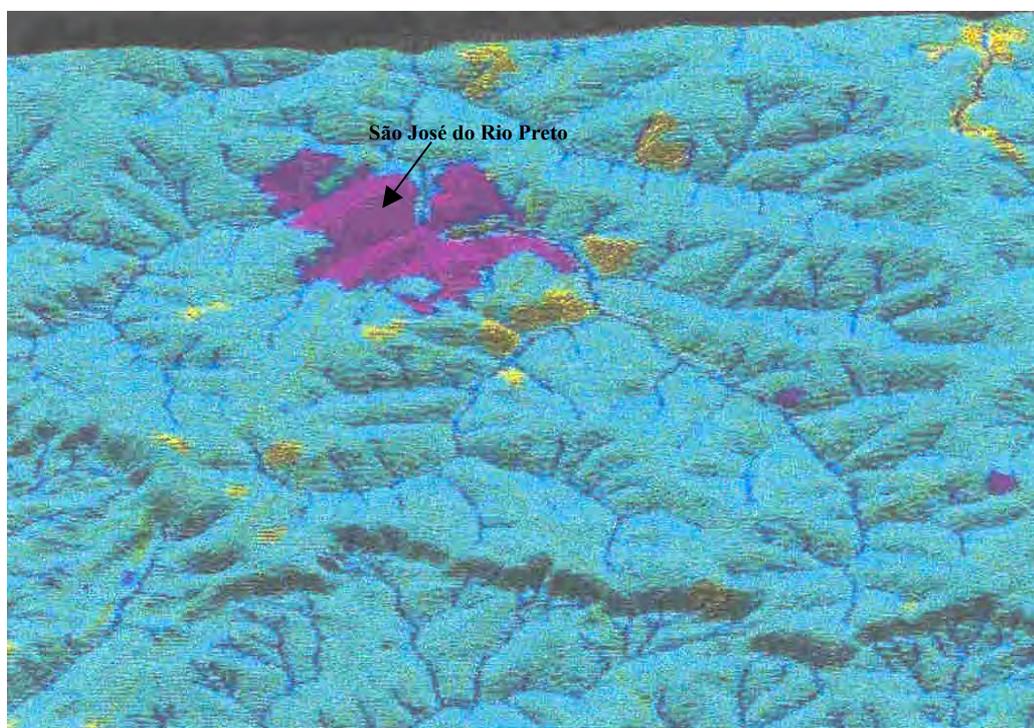


Figura 3.5 - Modelo tridimensional do terreno da região de São José do Rio Preto (modificado de MASTER GUIA, 2000).

### 3.5. PEDOLOGIA

São cinco os tipos de solos que caracterizam a Bacia Turvo/Grande (UGRHI 15): latossolos roxos, latossolos vermelho escuros, podzólicos vermelho escuros, podzólicos vermelho amarelos e solos litólicos (in IPT, 2001).

Os latossolos roxos resultam da degradação e alteração das rochas basálticas da Formação Serra Geral, formando um relevo de colinas amplas. Os latossolos vermelho escuros são provenientes de sedimentos cretáceos associados com as rochas basálticas, geralmente em colinas amplas. Os solos do tipo podzólicos vermelho amarelos e os podzólicos vermelhos escuros, derivam dos sedimentos cretáceos do Grupo Bauru, caracterizando solos mais imaturos, com o relevo podendo ser formado por colinas amplas, colinas médias ou morrotes alongados e espigões, já os solos litólicos predominam no extremo sudeste da área da Bacia Turvo/Grande.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. GEOLOGIA**

#### **4.1. GEOLOGIA REGIONAL**

Regionalmente a área localiza-se na Bacia do Paraná, uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do Devoniano Inferior/Siluriano (IPT, 1981). Ao final dos derrames de lavas da Formação Serra Geral, que marcaram os eventos deposicionais e vulcânicos generalizados na área da Bacia do Paraná, observou-se uma tendência geral para o soerguimento epirogênico em toda a Plataforma Sul-Americana no território Brasileiro. A porção norte da Bacia do Paraná, entretanto, comportou-se como área negativa relativamente aos soerguimentos marginais e à zona central da bacia, marcando o início de uma fase de embaciamentos localizados em relação à área da bacia como um todo. Nesta área deprimida acumulou-se o Grupo Bauru, no Cretáceo superior (SOARES *et al.*, 1980), que aparece em grande parte do Estado de São Paulo, recobrando as lavas basálticas do Planalto Ocidental (Figura 4.1).

O preenchimento da Bacia teria ocorrido mais precisamente no intervalo Coniaciano-Maastrichtiano. Tal período foi definido pela idade atribuída a fósseis de vertebrados (HUENE, 1939 in FERNANDES, 1998), pela idade absoluta de intercalações de rochas vulcânicas (COUTINHO, *et al.* 1982 in FERNANDES, 1998), e pela correlação com estágios da sedimentação na Bacia de Santos.

##### **4.1.1. GRUPO BAURU**

O Grupo Bauru foi introduzido na literatura geológica por Gonzaga de Campos (1905, in ARID, 1966), sob denominação de “Grés de Bauru”, passando à caracterização de Formação Bauru nas décadas de 50/60. Somente no final década de 70 e início de 80, é proposta uma nova caracterização estratigráfica com a elevação da Formação Bauru à categoria de Grupo.

Na fase de caracterização, pode-se destacar estudos litológicos e sedimentológicos de caráter regional (FREITAS, 1955 in FERNANDES 1998), bem como as primeiras tentativas

de subdivisão estratigráfica da unidade Bauru (ALMEIDA & BARBOSA, 1953; MEZZALIRA & ARRUDA, 1965 in FERNANDES 1998).

As bases da estratigrafia do Grupo Bauru surgiram então na fase seguinte, através de mapeamentos geológicos regionais de caráter litoestratigráfico. Neste período, onde a unidade Bauru é apresentada na categoria de Grupo, destacam-se os seguintes trabalhos: SUGUIO (1973), COIMBRA (1976), LANDIN & SOARES (1976), BRANDT NETO *et al.* (1978), SOARES *et al.* (1980), dentre outros.

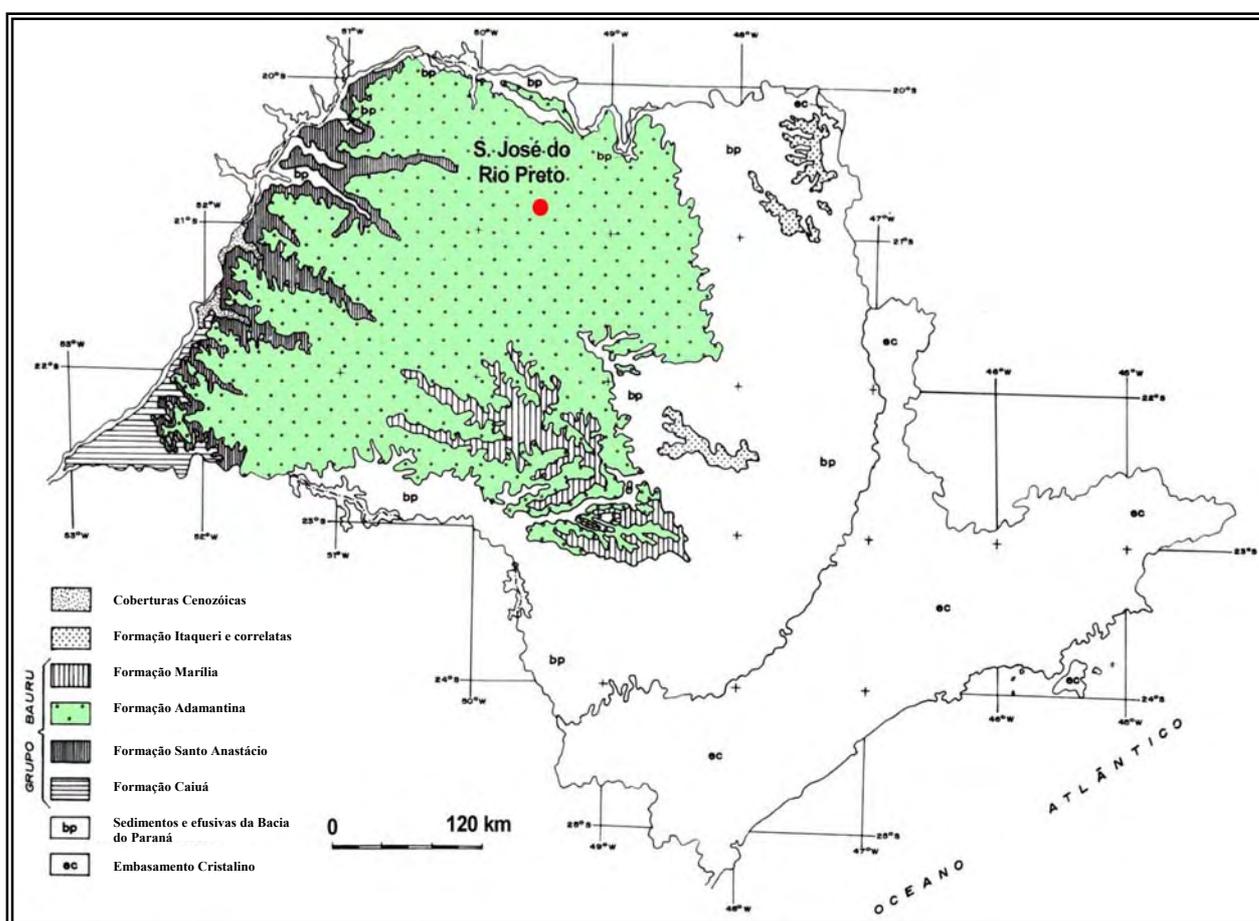


Figura 4.1 - Distribuição do Grupo Bauru, Formação Itaqueri e Correlatas no Estado de São Paulo (mod. de IPT, 1981).

SOARES *et al.* (1980) e ALMEIDA *et al.* (1980) propõem a subdivisão do Grupo Bauru em Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. Outras subdivisões do Grupo Bauru foram efetuadas posteriormente, destacando FERNANDES (1992), FERNANDES & COIMBRA (1994), FERNANDES (1998), que passam a definir a Formação

Caiuá como Grupo e subdivide a Formação Adamantina (Tabela 4.1). Neste trabalho porém, utilizou-se a proposta de SOARES *et al.* (op. cit.) e ALMEIDA *et al.* (op. cit.) para caracterizar as quatro Formações que compõem o Grupo Bauru, devido ao fato de que a grande maioria dos trabalhos relacionados ao tema, utilizaram-se também desta subdivisão para caracterizar as unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru.

Tabela 4.1 - Unidades litoestratigráficas dos Grupos Bauru e Caiuá e correlações com as definições anteriores (segundo FERNADES, 1998).

GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO	CORRESPONDÊNCIA
BAURU	Analcimitos Taiúva		<i>Coimbra et al. 1981; Coutinho et al. 1982.</i>
	Marília	Ponte Alta	Mb. Ponte Alta ( <i>de Barcelos &amp; Suguio 1987</i> )
		Serra da Galga	Mb. Serra da Galga ( <i>de Barcelos &amp; Suguio 1987</i> )
		Echaporã	Mb. Echaporã ( <i>de Barcelos &amp; Suguio 1987</i> ); Fm. Marília ( <i>Almeida &amp; Barbosa 1953</i> )
	Presidente Prudente		Parte da litofácies Taciba ( <i>Soares et al. 1980</i> ); parte da unidade Ka5 (Fm. Adamantina, <i>de Almeida et al. 1980</i> ).
	São José do Rio Preto		Parte da litofácies S. J. Rio Preto ( <i>de Suguio et al. 1977</i> ); Parte da Fm. S. J. do Rio Preto ( <i>de Suguio 1981</i> ).
	Uberaba		Parte da Fm Uberaba ( <i>de Hasui 1968</i> ).
	Araçatuba		Parte da litofácies Araçatuba ( <i>de Suguio et al. 1977</i> ); parte da Fm. Araçatuba ( <i>de Suguio 1981</i> ); Fm. Araçatuba parte da unidade Ka3 da Fm. Adamantina ( <i>de Almeida te al. 1980</i> ).
	Vale do Rio do Peixe		Litofácies Ubirajara ( <i>de Soares et al. 1980</i> ); parte da litofácies Araçatuba ( <i>de Suguio et al. 1977</i> ); parte da Fm. Araçatuba ( <i>de Suguio 1981</i> ); parte da litofácies Taciba ( <i>de Soares et al. 1980</i> ); unidades Ka1 a Ka4 da Fm. Adamantina ( <i>de Almeida te al. 1980</i> ).
CAIUÁ	Santo Anastácio		Fm. Santo Anastácio ( <i>de Stein et al. 1979; Soares et al. 1980; Almeida et al. 1980; Fernandes &amp; Coimbra 1994</i> ).
	Rio Paraná		Fm. Rio Paraná ( <i>de Fernandes &amp; Coimbra 1994</i> ).
	Goio Erê		Fm. Goio Erê ( <i>de Fernandes &amp; Coimbra 1994</i> ).

#### 4.1.1.1. FORMAÇÃO CAIUÁ

Nos afloramentos existentes no Estado de São Paulo, a Formação Caiuá caracteriza-se por apresentar notável uniformidade litológica. É constituída predominantemente por arenitos de coloração arroxeadada com marcante estratificação cruzada de grande porte, tangencial na base, de granulação fina à média, bem selecionados ao longo da mesma lâmina ou estrato, com grãos arredondados a subarredondados. A composição do arenito apresenta quartzo, feldspato, calcedônia e opacos, definindo-se tipos quartzosos, ocasionalmente com caráter subarcosiano. É muito comum ocorrer pequena quantidade de matriz fina, enquanto só ocasionalmente se apresenta cimento carbonático ou silicoso (ALMEIDA *et al.*, 1980).

#### 4.1.1.2. FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO

Os arenitos dessa Formação afloram em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná, no oeste do Estado. Em subsuperfície, litologias atribuíveis à Formação Santo Anastácio estendem-se para leste, até a região de Paraguaçu Paulista, e para norte até o divisor entre os rios São José dos Dourados e Grande.

A litologia mais característica da Formação Santo Anastácio é representados por arenitos marrom avermelhados e arroxeados, de granulometria fina à média, seleção geralmente regular a ruim, com grãos arredondados a subarredondados, cobertos por película limonítica. Mineralogicamente constituem-se essencialmente de quartzo, ocorrendo subordinadamente feldspato, calcedônia e opacos.

A Formação Santo Anastácio apresenta espessura máxima compreendida entre 80 m e 100 m na região dos rios Santo Anastácio e Pirapozinho, no oeste do Estado, já próximo ao Pontal do Paranapanema (SOARES *et al.*, 1980).

#### 4.1.1.3. FORMAÇÃO ADAMANTINA

Essa Formação ocorre por vasta extensão do oeste do Estado de São Paulo (Figura 4.1), constituindo os terrenos da maior parte do planalto Ocidental, só deixando de existir nas porções mais rebaixadas dos vales dos principais rios, onde já foi removida pela erosão. Estende-se ainda para o Triângulo Mineiro, extremo sul de Goiás, Mato Grosso do Sul, e mais restritamente, para o norte do Paraná.

A Formação Adamantina abrange um conjunto de fácies, cuja principal característica é a presença de bancos de arenitos de granulometria fina a muito fina, cor de róseo a castanho, estratificação cruzada, com espessura variando entre 2 a 20m, alternando com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza-castanho, maciços ou acamamento plano-paralelo grosseiro, freqüentemente com marcas de onda e microestratificação cruzada. São comuns ocorrências de seixos de argilito da própria unidade, cimento carbonático e nódulos carbonáticos (SOARES *et al.*, 1980).

#### 4.1.1.4. FORMAÇÃO MARÍLIA

A Formação Marília aparece sustentando dois espigões alongados segundo WNW, separados pelo alto vale do rio do Peixe. No espigão norte aparecem arenitos finos a médios,

com arenitos muito finos subordinados, e níveis de seixos. Os arenitos são mal selecionados. com arredondamento regular a ruim e esfericidade predominantemente baixa. No espigão sul ocorrem arenitos grosseiros a conglomeráticos, freqüentemente com grãos finos, grânulos esparsos e níveis de seixos. Os grãos são subangulares. mal selecionados e com baixa esfericidade.

A espessura máxima da Formação no espigão norte é de 180 m, com cota de nível mais baixa de ocorrência na interdigitação em torno de 460 m, e no espigão sul é de 110m, com cota de base em torno de 600 m (SOARES *et al.*, 1980).

#### 4.1.1.5. CONDICIONAMENTO ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO SERRA GERAL

O contorno da superfície do topo da Formação Serra Geral (Base do Bauru), sob o ponto de vista estrutural, é de extrema importância para o entendimento da deposição do Grupo Bauru. A Figura 4.2 ilustra o contorno da Formação Serra Geral, mostrando a justaposição de vários alinhamentos estruturais conhecidos, como Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, do Rio Tietê, às isolinhas de cota da Formação Serra Geral (CAMPOS *et al.*, 2000).

Observando-se a Figura 4.2, nota-se na região de Presidente Prudente predominância de movimentos horizontais; já próximo a Araçatuba, Andradina e Fernandópolis, as feições resultantes sugerem basculamentos de blocos, por predominância de movimentações verticais (CAMPOS *et al.*, 2000). A superfície do basalto pela análise do mapa é praticamente plana, apresentando suave mergulho para o centro da Bacia.

A Figura 4.3 ilustra de forma geral o Grupo Bauru, Serra Geral e a Fm. Botucatu Pirambóia, em uma seção geológica que vai desde Ibaté (SP), até o ponto TQ-1-MT (MT), passando por São José do Rio Preto-SP. Esta seção geológica, mostra também a ausência de artesianismo em função de despressurização próxima à região de recarga e devido às pequenas variações topográficas ao longo da seção (ARAÚJO *et al.*, 1995).

Do ponto de vista da hidrogeologia, presume-se que as zonas de falhas de direção NE, não preenchidas por diques de diabásio, (FERREIRA *et al.*, 1981; ZALÁN *et al.*, 1990; in CAMPOS *et al.*, 2000) venham a se constituir em zonas aquíferas mais favoráveis à exploração de águas subterrâneas que as de direção NW, preenchidas. De acordo com DAEE (1976), poços situados sobre os lineamentos fotogeológicos, apresentam vazões específicas maiores aos situados fora deles.

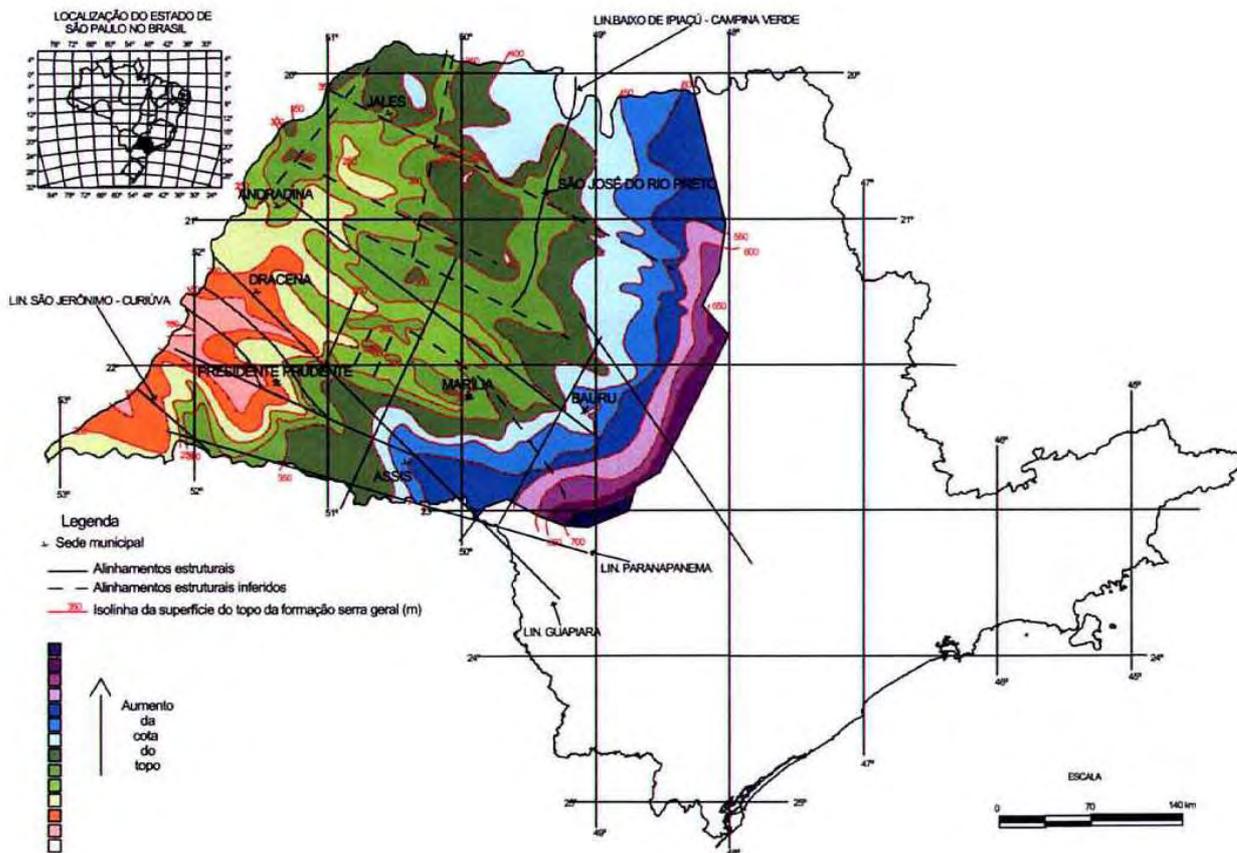


Figura 4.2 - Mapa de contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral (CAMPOS *et al.*, 2000).

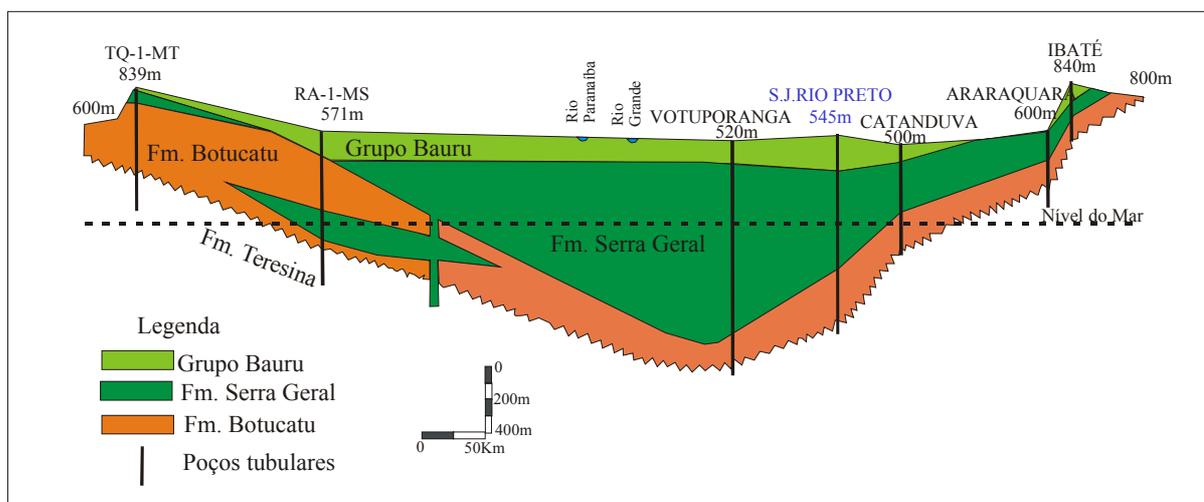


Figura 4.3 - Seção Geológica Ibaté - SP (D) a TQ-1-MT (C), ilustrando o condicionamento da Fm Serra Geral, o Grupo Bauru e a Fm Botucatu/Pirambóia (modificado de ARAUJO *et al.*, 1995).

## 4.2. GEOLOGIA LOCAL

No sítio urbano do município, a geologia é representada por sedimentos do Grupo Bauru, do Cretáceo Superior, que recobrem as lavas basálticas da Formação Serra Geral. À superfície, ocorrem litologias da Formação Adamantina, sotopostas, em profundidade, pela Formação Santo Anastácio, não aflorante nessa área (BARCHA, 1980).

A Formação Adamantina é caracterizada pela presença de bancos de arenitos com espessura variando entre 2 m e 20 m, com granulação fina a muito fina, cor rósea a castanha e portando estratificações cruzadas. Alternam-se bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhada a cinza-acastanhada, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosso, freqüentemente com marcas de ondas e micro-estratificação cruzada. É comum a presença de cimento carbonático em porcentagens variáveis, em média inferiores a 5% (SOARES *et al.*, 1980). Em São José do Rio Preto, esta formação apresenta espessuras variando de 58 m, no vale do rio Preto, até 140 m nos pontos mais elevados da cidade (BARCHA, 1980).

A Formação Santo Anastácio é representada na área por arenitos avermelhados e arroxeados, de granulação variada (grossa e média a fina), pouca matriz, regular a bem selecionados, maciços e com poucas estruturas, predominando as plano-paralelas e cruzadas planares. O cimento carbonático aparece em baixos teores ( $\cong 10\%$ ), porém são freqüentes os nódulos carbonáticos dispersos na formação. Suas espessuras máximas são observadas nas porções sul e sudoeste da cidade, quando atinge até 58 m.

A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames de basaltos toleíticos, de coloração cinza a preta, entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu. Associam-se, ainda, corpos intrusivos, sobretudo diques e sills (IPT, 1981).

A Formação Pirambóia é composta por depósitos fluviais e de planície de inundação, com predomínio de arenitos finos a médios, siltico-argilosos, avermelhados, com estratificações cruzadas e plano-paralelas. A Formação Botucatu é constituída predominantemente por arenitos eólicos avermelhados, de granulação fina a média, com estratificações cruzadas de médio a grande porte. Sobrepõe-se à Formação Pirambóia, ora gradual, ora bruscamente. (IPT, 1981).

A Formação Serra Geral, como foi dito anteriormente, é de extrema importância para entender o papel do substrato hidrogeológico que desempenha e o controle que estabeleceu no

comportamento do Bauru como reservatório de água subterrânea. BARCHA (1980), através de perfis geológicos realizados no município de São José do Rio Preto, traçou o condicionamento do topo do basalto na área em questão. A Figura 4.4 ilustra a direção desses perfis geológicos realizados no perímetro urbano de São José do Rio Preto.

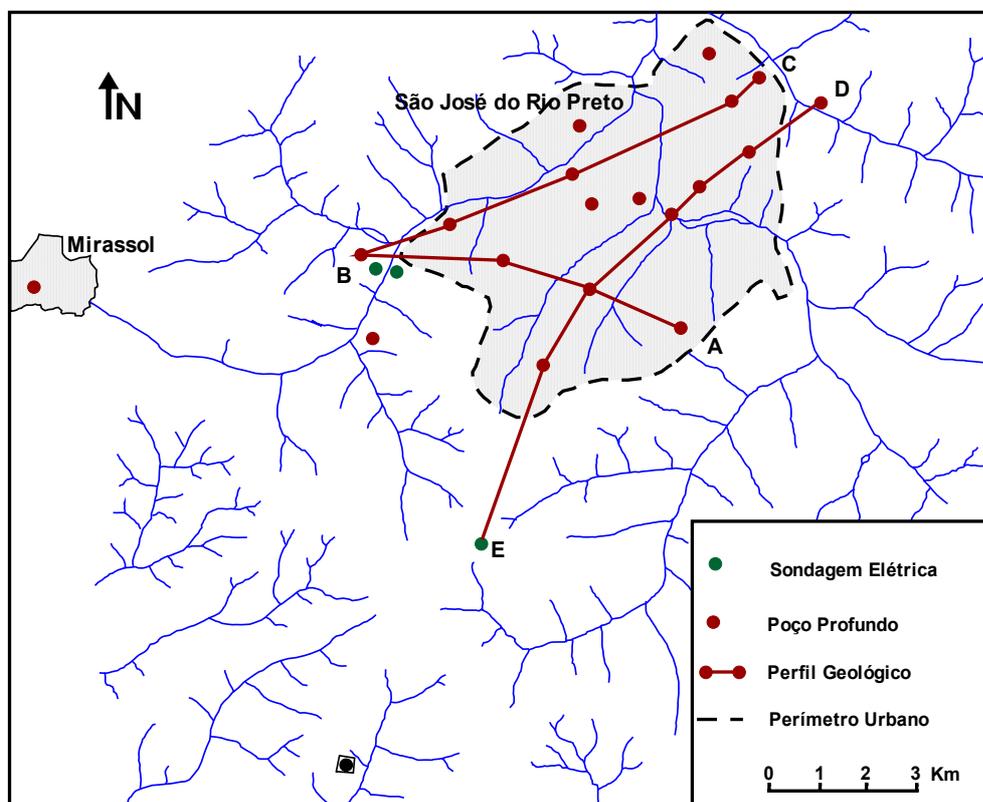


Figura 4.4 - Perímetro urbano de São José do Rio Preto, principais pontos amostrados, direção dos perfis geológicos e aspecto geral da drenagem (mod. de BARCHA, 1980).

Através da análise dos perfis que cortam o perímetro urbano de São José do Rio Preto (Figura 4.5), observa-se que o contato entre as duas Formações, Santo Anastácio e Adamantina, se processa na cota de 400 metros, sendo que a natureza do substrato basáltico impôs algumas condições às unidades estratigráficas do Bauru que ocorrem na área da cidade de São José do Rio Preto, e às quais se amarra fortemente seu comportamento hidrogeológico. A base da Formação Santo Anastácio situa-se em cotas variáveis, uma vez que, a superfície do Basalto se apresenta bastante irregular e com mergulho para sudoeste. Assim sendo, o sedimento foi se acumulando mais espessamente no rumo do mergulho e, localmente, nas pequenas zonas mais deprimidas do substrato (BARCHA, 1980).

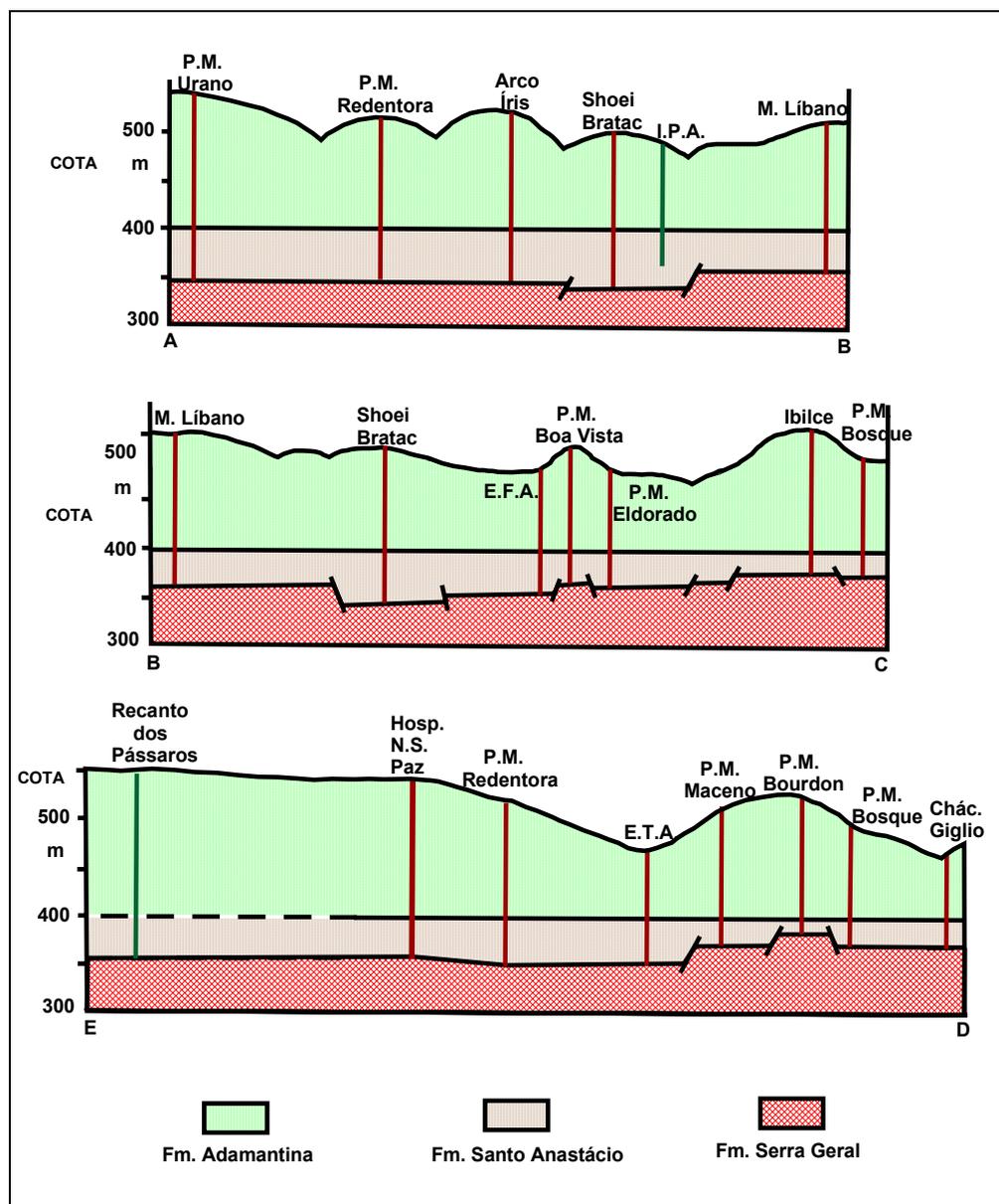


Figura 4.5 - Perfis Geológicos cortando o perímetro urbano de São José do Rio Preto mostrando a morfologia do topo do basalto e o comportamento espacial das unidades estratigráficas do Grupo Bauru. A direção desses perfis deve ser vista na Figura 4.4 (modificado de BARCHA, 1980).

De um modo geral, como pode-se observar nos perfis, a Formação Santo Anastácio pode ser comparada a uma grande cunha, mais fina no sentido norte, nordeste e tornando-se mais espessa para sul, sudoeste. Assim, a maior ou menor vazão dos poços que atravessam todo o Bauru, atingindo o topo do basalto, depende de fatores conjugados, destacando-se entre eles a espessura da Formação Santo Anastácio, uma vez que esta apresenta desempenho hidrogeológico maior que a Formação Adamantina (BARCHA, 1980).

## CAPÍTULO 5

### 5. HIDROGEOLOGIA

A quantidade de água existente no planeta não aumenta nem diminui. A abundância de água é relativa. Acredita-se que a quantidade atual de água seja praticamente a mesma de há 3 bilhões de anos. Isto porque o ciclo da água se sucede infinitamente (Figura 5.1). Estima-se em 12.000 km<sup>3</sup> o volume total de água "em trânsito" na atmosfera, como resultado da evaporação e da evapotranspiração (ABGE, 1998).

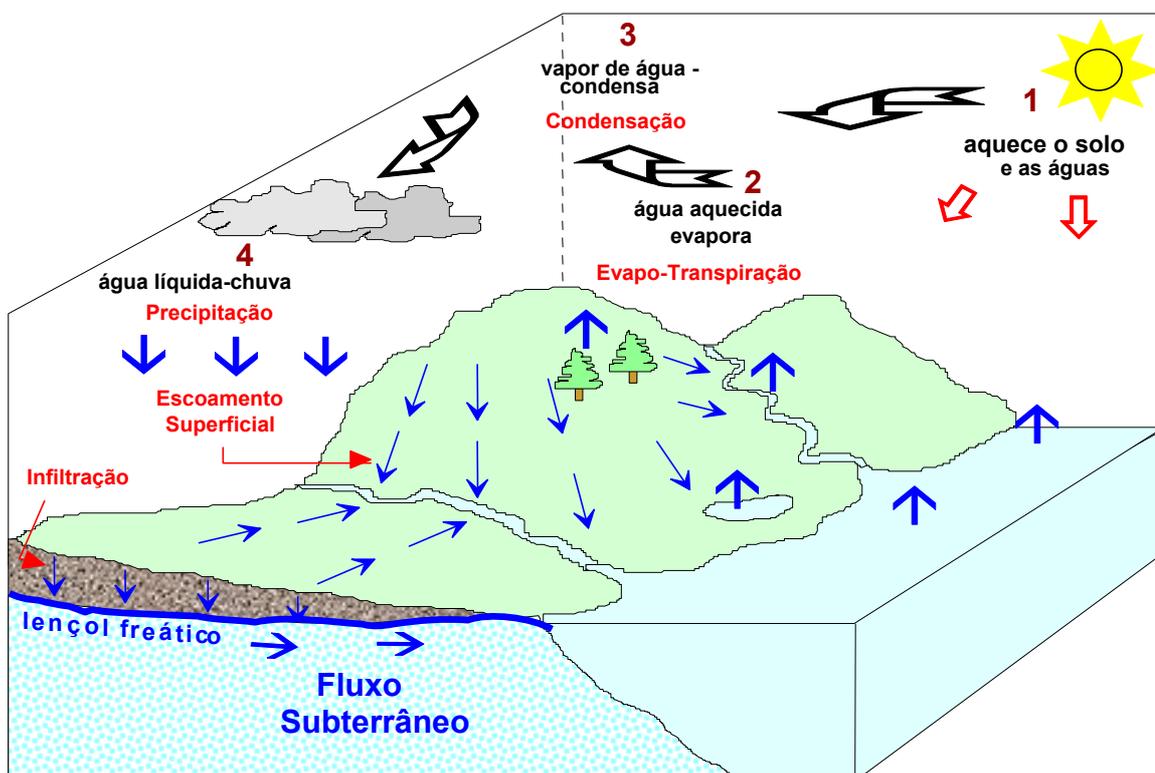


Figura 5.1 - Ciclo d'água (modificado de BRAGA, 1999).

Observa-se pela análise da Tabela 5.1, que de toda a água existente no planeta Terra, somente 2,7% é água doce. Verifica-se também, que de toda a água doce disponível para uso da humanidade, cerca de 98% está na forma de água subterrânea (ZIMBRES, 2000).

Quando a chuva chega ao solo (precipitação) uma parte escoar e outra se infiltra. As quantidades escoadas ou infiltradas dependem do terreno onde a chuva se precipita. Em

regiões urbanizadas o escoamento é grande e a infiltração pequena, já nas áreas mais preservadas, parte da chuva é interceptada pela vegetação (folhas) e devolvida à atmosfera sob forma de vapor, o restante da chuva que chega ao solo sofre escoamento e infiltração, transformando o solo em reservatório de água (água subterrânea).

Tabela 5.1 - Distribuição da água na Terra (ZIMBRES, 2000)

Tipo	Ocorrência	Volumes (km <sup>3</sup> )
Água doce superficial	Rios	1.250
	Lagos	125.000
Água doce subterrânea	Umidade do solo	67.000
	Até 800 metros	4.164.000
	Abaixo de 800 metros	4.164.000
Água doce sólida (gelo)	Geleiras e Glaciais	29.200.000
Água salgada	Oceanos	1.320.000.000
	Lagos e mares salinos	105.000
Vapor de água	Atmosfera	12.900
Total		1.360.000.000

Água subterrânea é a massa d' água da subsuperfície contida na zona saturada. A superfície externa da litosfera pode ser dividida, esquematicamente, em duas partes principais: Zona não saturada e Zona saturada (ABGE, 1998), interessando para a Hidrogeologia a água subterrânea da zona saturada (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Divisão da superfície externa da litosfera em zona saturada e zona insaturada (modificado de ABGE, 1998).

## 5.1. AQUÍFEROS

Os materiais geológicos naturais são classificados em quatro grupos (ABGE, 1998), de acordo com a menor ou maior facilidade de armazenar e liberar as águas subterrâneas: Aquíferos (Livre ou Confinado), Aquíferos, Aquíferos, Aquíferos (Livre ou Confinado), Aquíferos, Aquíferos e Aquíferos (Figura 5.3).

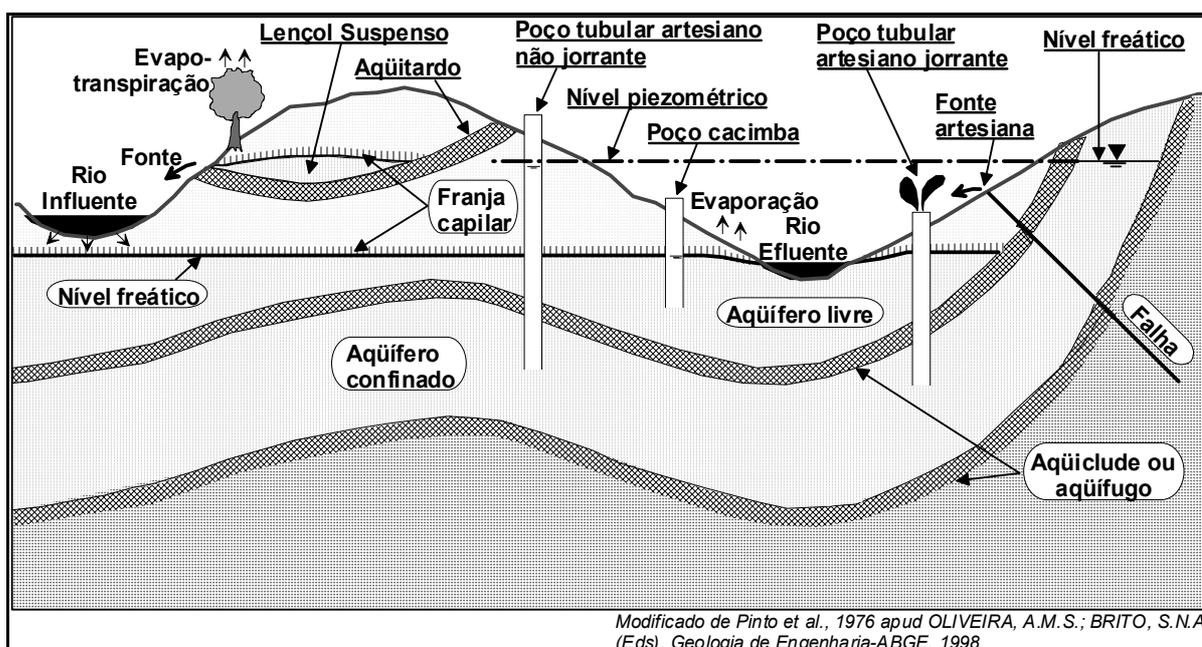


Figura 5.3 - Principais tipos de Aquífero e classificação quanto ao tipo de material- solo ou rocha (modificado de ABGE, 1998).

Aquíferos são rochas que armazenam água e permitem sua circulação, constituem-se em verdadeiros reservatórios de águas subterrâneas. Os Aquícludes constituem-se de materiais porosos, saturados, mas não permitem a circulação de água e a circulação é praticamente nula. Os Aquíferos são formados por materiais porosos que, apesar de armazenarem água, permitem a circulação apenas de forma muito lenta. Aquíferos constituem-se de materiais impermeáveis, com baixíssimo grau de porosidade, que não contém e não transmitem água.

### 5.1.1. PRINCIPAIS TIPOS DE AQUÍFEROS

Os principais tipos de Aquíferos, também representados pela Figura 5.3, são os Freáticos ou Livres e os Aquíferos Confinados ou Artesianos ou Semiconfinados. Nos Aquíferos Livres, o nível d'água subterrânea está submetido à pressão atmosférica, onde o correspondente nível d'água subterrânea também é denominado nível freático; já os Aquíferos Confinados, estão submetidos a pressões superiores à atmosférica, onde a água nele contida se encontra entre camadas impermeáveis, o correspondente nível d'água é denominado nível piezométrico.

## 5.2. PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DO FLUXO SUBTERRÂNEO

### 5.2.1. POROSIDADE

Porosidade constitui-se dos espaços vazios ou poros existentes no interior dos diferentes tipos de materiais geológicos, é uma propriedade física que define em que grau a rocha contém interstícios ou vazios, e pode ser classificada em porosidade granular ou de interstícios, para meios porosos (solos, sedimentos e rochas sedimentares) e porosidade de fraturas, fissuras ou fendas relativo aos meios fraturados (rochas duras ou compactas, granitos, gnaisses, etc).

A Porosidade de uma rocha depende da sua natureza físico-química, granulometria, grau de cimentação ou compactação, efeitos de dissolução, fissuração, etc. Dentre os diferentes tipos de porosidade (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976), podemos citar: rocha sedimentar bem selecionada, tendo porosidade elevada (Figura 5.4a); rocha sedimentar mal

selecionada, granulometria heterogênea, porosidade baixa (Figura 5.4b); rocha sedimentar bem selecionada, constituída por seixos porosos, homogênea, tendo, no conjunto, porosidade muito elevada (Figura 5.4c); rocha sedimentar bem selecionada, cuja porosidade foi diminuída por cimentação (Figura 5.4d); porosidade cárstica - porosa por dissolução (Figura 5.4e); e porosidade por fraturamento (Figura 5.4f).

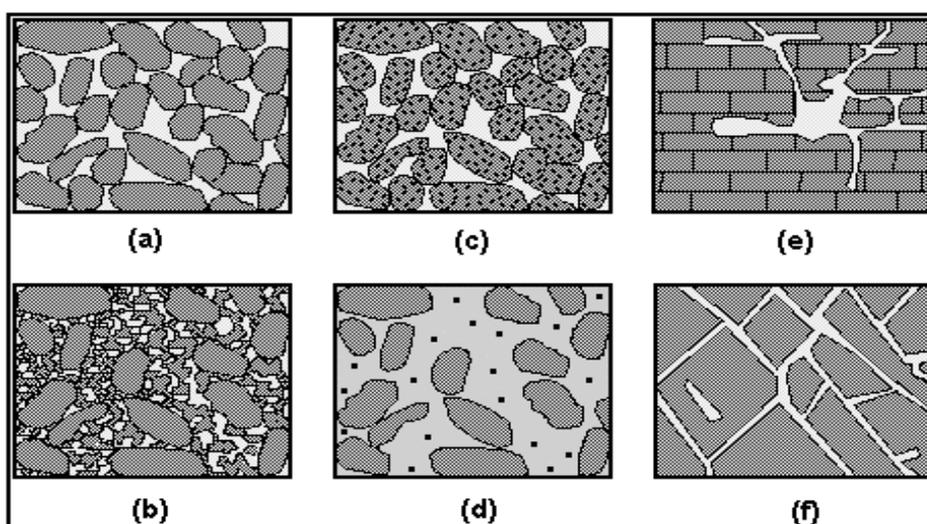


Figura 5.4 - Diferentes tipos de porosidade (mod. de CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976).

### 5.2.2. PERMEABILIDADE

A permeabilidade indica a capacidade de um meio poroso transmitir água (condutividade hidráulica). Henry Darcy comprovou experimentalmente, que o fluxo que atravessa um meio poroso homogêneo e isotrópico tem velocidade constante, nestas condições o fluxo apresenta regime laminar.

O coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica pode ser considerado como um dos mais importantes parâmetros hidráulicos e exprime a maior ou menor facilidade com que a água percola através de um meio poroso. Nos meios porosos isotrópicos a permeabilidade é uma constante calculada pela equação de Darcy, que relaciona a quantidade de água que passa através da unidade de área do material sob uma perda de carga igual a 1 (TUCCI,2002).

### 5.2.3. TRANSMISSIVIDADE

É um parâmetro utilizado para cálculo de vazão de poços, sendo determinado nos ensaios *in situ*. Coeficiente de transmissividade (T) é definido como sendo a vazão (Q) transmitida através de uma parcela vertical do terreno, de largura unitária ( $L_u$ ), cuja altura (E) é igual à da zona saturada, sob um gradiente hidráulico (i) unitário. Representa a taxa de escoamento através de uma seção de largura unitária e altura igual a espessura do aquífero, ou ainda o produto do coeficiente de permeabilidade de campo (K) pela espessura do aquífero (E). A equação abaixo demonstra o cálculo utilizado para se obter o coeficiente de transmissividade (FEITOSA *et al.*, 1997; ABGE, 1998).

$$T = Q/(L_u \cdot i)$$

$$\text{De } Q/A = K \cdot i, \text{ onde } A = L_u \cdot E,$$

temos:

$$T = (K \cdot L_u \cdot E \cdot i) / L_u \cdot i, \text{ então;}$$

$$T = K \cdot E$$

### 5.2.4. ARMAZENAMENTO

O coeficiente de armazenamento (S) exprime a capacidade de armazenamento útil do aquífero. Este coeficiente relaciona as variações no volume de água armazenado no aquífero e as oscilações correspondentes do nível freático ou do nível piezométrico. É um parâmetro adimensional e pode ser calculado pela equação abaixo (ABGE, 1998):

$$S = V_b/V_d ; \text{ onde:}$$

**S** = coeficiente de armazenamento;

**V<sub>b</sub>** = volume de água produzido ou bombeado; e,

**V<sub>d</sub>** = volume total drenado em um aquífero livre ou volume definido pelo rebaixamento da superfície piezométrica em um aquífero confinado.

### 5.3. BOMBEAMENTO DE POÇO

O teste de bombeamento de um poço, na maioria das vezes, é feito simplesmente para determinar o comportamento do poço em funcionamento. Outro objetivo do teste, ao qual tem sido dada grande importância, é fornecer dados a partir dos quais os principais fatores do desempenho dos aquíferos possam ser calculados. O teste feito com este propósito é o mais propriamente chamado teste de aquíferos. Consiste em bombear a água de um poço e observar os abaixamentos ocasionados pelo bombeamento, neste poço e em poços de observação. É importante o conhecimento do significado das principais expressões relativas aos testes de bombeamento de poços - Figura 5.5 (CETESB, 1974; FEITOSA *et al.*, 1997; CPRM, 1998a; CPRM, 1998b):

Nível Estático ou Nível Hidrostático (NE) - É o nível no qual a água permanece no poço quando não está sendo extraída do aquífero, quer por bombeamento ou por fluxo livre;

Nível Dinâmico ou Nível Hidrodinâmico (ND) - É o nível em que a água permanece no interior do poço, quando bombeado;

Rebaixamento ( $S_w$ ) - É a diferença entre o nível estático e o nível dinâmico, ou seja, o quanto o nível da água rebaixou dentro do poço, durante o bombeamento. Medido geralmente em metros.

Abaixamento Residual - Após parar o bombeamento, o nível sobe e aproxima-se do nível estático observado antes do bombeamento. Durante este período de recuperação, a distância que a água permanece abaixo do nível estático inicial é o abaixamento residual;

Vazão do Poço - é o volume de água extraído do poço, na unidade de tempo, por bombeamento ou por fluxo livre.

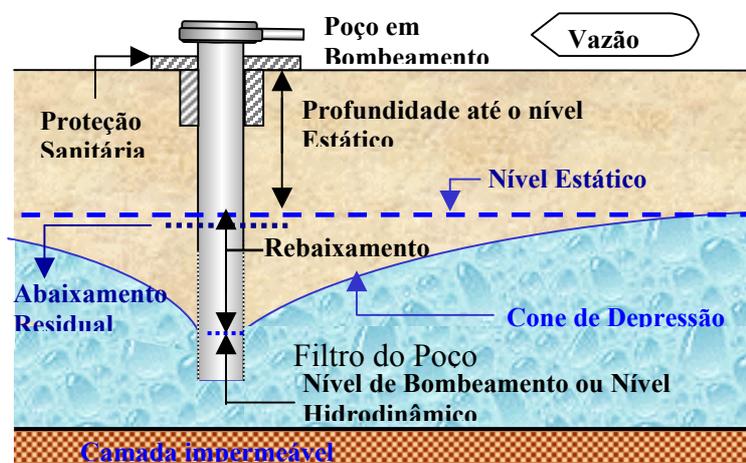


Figura 5.5 - Principais expressões relativas aos testes de poços.

### 5.3.1. DEFINIÇÃO DE UMA VAZÃO PARA INSTALAÇÃO DO POÇO

Para determinar uma vazão para instalação do poço, alguns conceitos básicos são necessários:

#### - Vazão Específica

Vazão Específica é a razão entre vazão de bombeamento (Q) e o rebaixamento (S) produzido no poço em função do bombeamento, para um determinado tempo (CPRM, 1998b):

$$\text{Vazão Específica} = Q_{\text{esp}} = \frac{\text{Vazão (Q)}}{\text{Rebaixamento (S)}}$$

#### - Rebaixamento Disponível

Rebaixamento disponível é o máximo que se pode rebaixar num poço sem que o mesmo sofra riscos de colapso, ou seja, o nível dinâmico ultrapasse o crivo da bomba (profundidade do crivo da bomba até a superfície). Não existe uma fórmula definitiva para o dimensionamento do rebaixamento, porém pode-se sugerir a seguinte formulação para rochas sedimentares (CPRM, 1998b):

$$RD = 0,6 (PC - NE);$$

onde:

RD: Rebaixamento disponível;

PC: Profundidade do crivo da bomba; e

NE: Profundidade do Nível Estático

#### - Vazão Referencial para Rochas Sedimentares

A vazão referencial para instalação de poços em rochas sedimentares, segundo CPRM (1998 b) será dada pelo produto da vazão específica ( $Q_{\text{esp}}$ ) para o tempo de 24 horas e o rebaixamento disponível (RD):

$$Q = Q_{\text{esp (24 horas)}} \times RD$$

#### 5.4. MOVIMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água subterrânea, desde que não encontre uma barreira impermeável, movimenta-se lentamente no subsolo, dos lugares mais altos para os mais baixos, com velocidade relativamente pequena. Nas rochas muito fraturadas, a velocidade pode ser muito rápida (rochas submetidas às condições normais de pressão na superfície da terra, cujo valor aproximado é de uma atmosfera), e nas argilas o movimento é praticamente nulo.

A água que percola os meios naturais (considerado um fluido perfeito, com viscosidade nula e em fluxo permanente) desenvolve um movimento determinado pelo fluxo subterrâneo, onde uma vez conhecido o nível piezométrico ou nível estático em vários pontos pode-se gerar mapas de isotencial hidráulico: mapas potenciométricos os quais expressam o comportamento geral do escoamento subterrâneo, evidenciado pelas redes de fluxo, possibilitando a determinação do sentido e da direção do fluxo, além de determinar os limites e divisores da bacia hidrogeológica (Figura 5.6).

A determinação dos limites e divisores da bacia hidrogeológica é feita a partir da análise das extremidades laterais de uma determinada área, das quais os fluxos subterrâneos não mais se direcionam para o interior. Se ao longo destes eixos os fluxos são divergentes, estes correspondem ao divisor de águas subterrâneas.

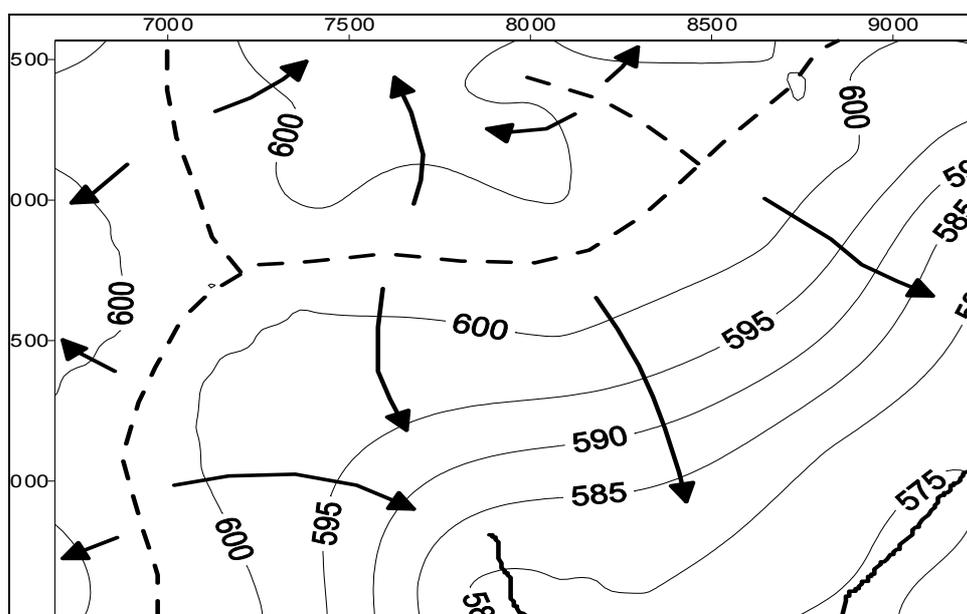


Figura 5.6 - Mapa Potenciométrico estabelecendo o padrão do fluxo subterrâneo, limites e divisores da bacia hidrogeológica (BRAGA, 1999).

## 5.5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os principais problemas ligados às águas subterrâneas estão na super-exploração e a contaminação dos aquíferos. As principais origens da contaminação estão nas atividades domésticas, industriais, agrícolas e de exploração mineral (artificiais) e intrusões salinas (naturais – induzidas). Sendo assim, a vulnerabilidade dos Aquíferos frente aos agentes poluidores depende das características das estruturas geológicas e de suas características hidrogeológicas e das condições de uso e ocupação do solo (BRAGA, 1999).

Os Aquíferos Sedimentares são mais vulneráveis à poluição (devido a sua maior área de exposição), embora o processo de infiltração seja lento. Já os Aquíferos Fissurados Cristalinos são mais protegidos (exposição limitada pela cobertura do manto de intemperismo), embora zonas de falha ou fraturamento funcionarem como verdadeira porta de entrada dos poluentes de superfície e com tempos de trânsito relativamente reduzidos.

## 5.6. EXPLORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM RELAÇÃO À DE SUPERFÍCIE

A água subterrânea, quando presente, pode ocorrer em extensas áreas. Se esta ocorrência coincide com áreas de demanda, não há necessidade de sistemas de distribuição, pois o aquífero pode ser acessado diretamente por poços. O crescimento da demanda é atendido com a perfuração de mais poços.

Como a água subterrânea é explorada através de poços e cada poço representa um incremento anual nas retiradas de água, geralmente na mesma área de consumo, o atendimento das demandas pode ser planejado.

As flutuações de nível d'água, produzidas por influências climáticas são geralmente muito pequenas em relação às espessuras dos aquíferos e assim as reservas acumuladas podem ser usadas para abastecimento em períodos de seca.

Os custos de implementação podem ser bem inferiores aos sistemas superficiais, pois não envolvem custos com: indenizações, barragens, adutoras e estações de tratamento; independe de períodos de estiagens prolongados para recarga, não estão sujeitas ao intenso processo de evapotranspiração e não provocam impactos ambientais como, por exemplo, inundações de áreas. A abordagem acima perfaz algumas vantagens na exploração da água subterrânea em relação à água de superfície (BRAGA, 1999).

## CAPÍTULO 6

### 6. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 6.1. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS REGIONAIS

Os Aquíferos pertencentes ao Grupo Bauru possuem uma grande importância para o desenvolvimento econômico e social em sua área de ocorrência, na região oeste do Estado de São Paulo. As três formações geológicas mais antigas do Grupo Bauru (Formação Caiuá, Formação Santo Anastácio e Formação Adamantina), constituem unidades aquíferas independentes quando ocorrem isoladamente ou como um sistema, quando duas ou mais unidades aquíferas são exploradas conjuntamente, sendo difícil de serem identificadas separadamente, sendo que a Formação Marília, a mais recente, comporta-se praticamente como um aquífero, quando explorada isoladamente (MENDONÇA e GUTIERRE, 2000).

Cada aquífero possui características hidrodinâmicas próprias (Tabela 6.1), em função de sua constituição litológica, relações de contato e espessuras. Quando o aquífero atinge a Formação Serra Geral (Grupo São Bento) subjacente, pode, caso esta esteja fraturada, ocorrer à transmissão de água da formação sedimentar para a ígnea, ou vice-versa (MENDONÇA e GUTIERRE, 2000).

Tabela 6.1 - Características hidrodinâmicas dos Aquíferos Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (MENDONÇA e GUTIERRE, 2000).

Aquífero	Características Hidrodinâmicas		
	Q(m <sup>3</sup> /h)	Q/s(m <sup>3</sup> /h/m)	T(m <sup>2</sup> /dia)
CAIUÁ	80 a 120	1 a 4	100 a 300
SANTO ANASTÁCIO	5 a 20	0,3 a 1	20 a 200
ADAMANTINA	5 a 50	0,5 a 3	10 a 100
MARÍLIA		0,1 a 1	10 a 50

O sistema Aquífero Bauru estende-se por uma área de 100.000 km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo e com espessuras médias em torno de 100-150 metros. Forma um dos mais importantes Aquíferos no Estado, quando se considera o enorme aproveitamento de suas águas subterrâneas (CAMPOS *et al.*, 2000).

O cartograma de distribuição da vazão teórica, possível de ser explorada por poços totalmente penetrantes no aquífero (Figura 6.1), mostra zonas diferenciadas segundo as seguintes faixas de vazão, em  $m^3/h$ : 5 a 20; 20 a 30; 30 a 50; 50 a 100 e 100 a 200. Esta diferenciação é produto, a um só tempo, da variação faciológica e da espessura saturada dos sedimentos em cada ponto (ROCHA *et al.*, 1982).

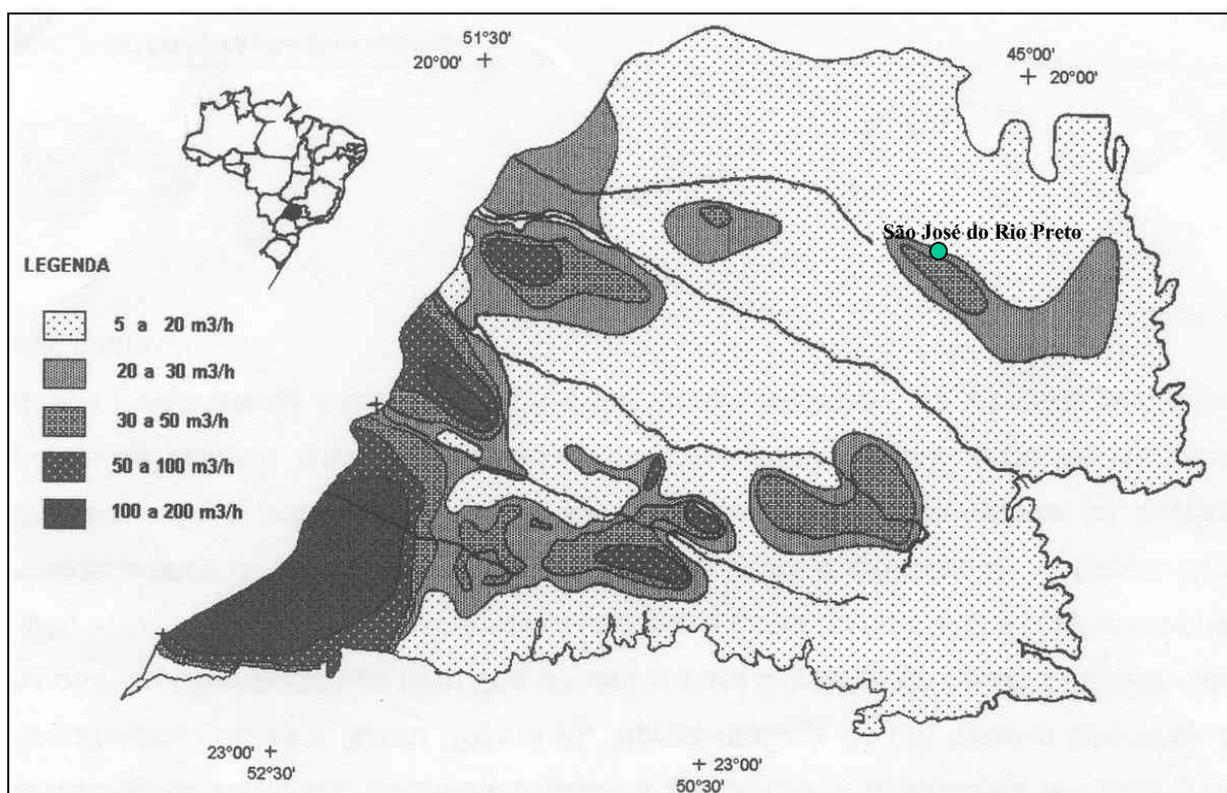


Figura 6.1 - Zoneamento do potencial explorável por poços, em  $m^3/h$ , no Sistema Aquífero Bauru (ROCHA *et al.*, 1982).

O padrão regional observado para as equipotenciais (Figura 6.2), evidencia o comportamento típico de aquíferos livres, com clara concordância entre a morfologia do relevo desenvolvido nos terrenos dos Grupos Bauru, isto é: as isolinhas, em geral, têm alongamentos paralelos ao canal principal, o Rio Tietê, e as direções de fluxo desenvolvem-se do aquífero para os rios, não sendo possível, ainda, precisar as velocidades dos fluxos no mapa. A distribuição das equipotenciais mostra que as regiões topograficamente mais elevadas atuam como área de recarga e as drenagens como áreas de descarga (ROCHA *et al.*, 1982).

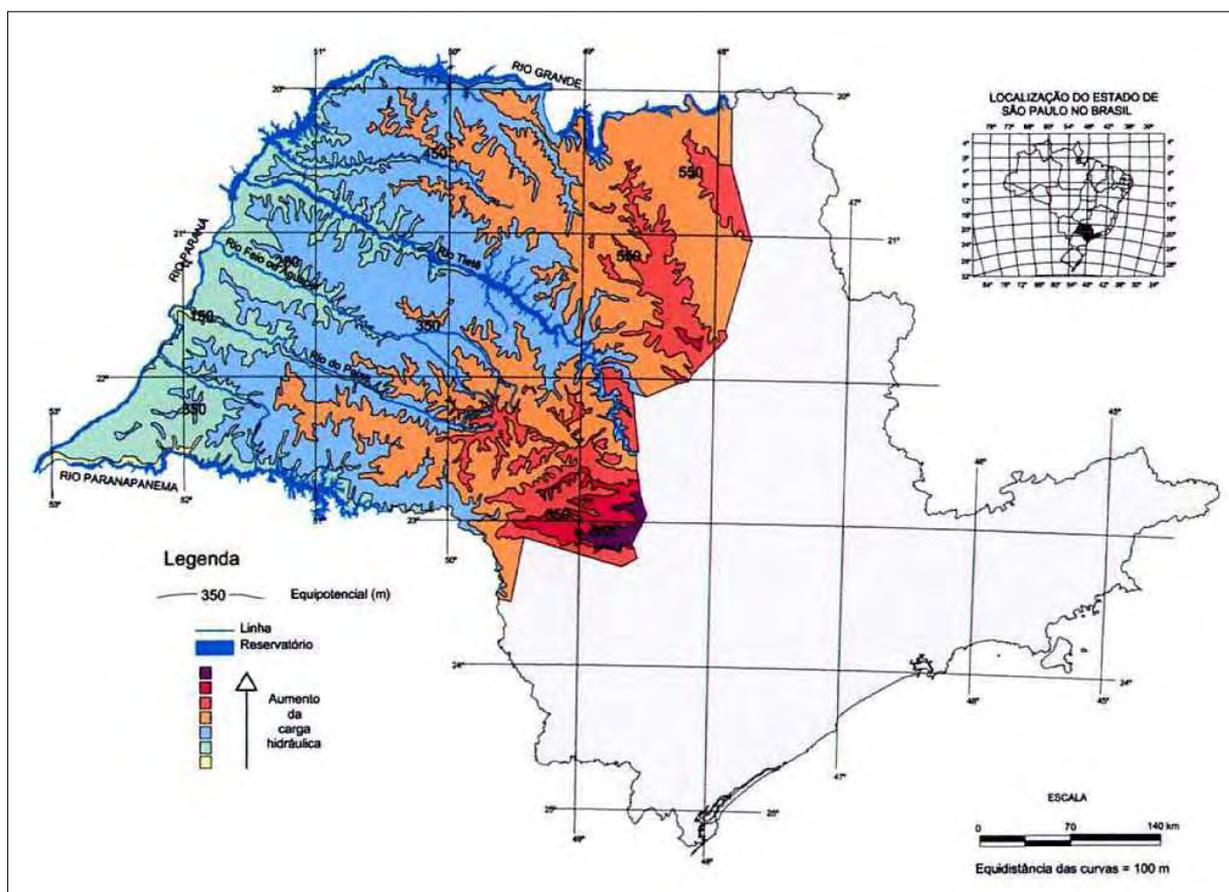


Figura 6.2 - Mapa da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Bauru (ROCHA *et al.*, 1982).

O Sistema Aquífero Botucatu, regionalmente, é definido como um conjunto formado por uma ou mais unidades litoestratigráficas que apresentam características hidrodinâmicas, condições de recarga, circulação e descarga, e qualidade das águas relativamente semelhantes. Segundo REBOUÇAS (1976), denomina-se de Sistema Aquífero Botucatu o conjunto das Formações Pirambóia e Botucatu. Entretanto, conhecimentos mais recentes, sobretudo de qualidade das águas, destacando-se os teores de fluoretos, levam à necessidade de uma revisão, distinguindo-se dois sistemas aquíferos (REBOUÇAS, *op. cit.*).

Quanto aos parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Botucatu, a condutividade hidráulica varia entre  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  cm/s, para uma porosidade total entre 16 e 24%. Os coeficientes de armazenamento variam entre  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$ , na medida que cresce o nível de confinamento (REBOUÇAS, 1976). As reservas permanentes são da ordem de  $48.000 \text{ km}^3$  (REBOUÇAS, *op. cit.*).

O pacote de derrames basálticos da Formação Serra Geral constitui a camada confinante regional do Sistema Aquífero Botucatu, e localmente apresenta condições aquíferas em

função das descontinuidades existentes (juntas, fraturas, falhas), do intemperismo da superfície dos derrames e/ou presença de pacotes de arenitos inter-derrames, os quais comunicam-se com as descontinuidades (REBOUÇAS, 1994).

## 6.2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS LOCAIS

Os sistemas aquíferos explorados na região de São José do Rio Preto são o Bauru e o Botucatu/Pirambóia. O Sistema Aquífero Bauru apresenta maior volume de água extraída e maior quantidade de poços tubulares, apesar de não ser o melhor em termos de capacidade de produção. É amplamente solicitado devido à sua captação mais fácil, com poços relativamente rasos.

Segundo BARCHA (1992), estima-se que existam, no perímetro urbano de São José do Rio Preto, cerca de 3500 poços tubulares em funcionamento, explorando o Aquífero Bauru para fins domésticos, industriais e comerciais.

O Sistema Aquífero Bauru, na área de estudo, mantém um comportamento de livre, alimentando a rede de drenagem superficial e tendo como substrato hidrogeológico os basaltos da Formação Serra Geral. Apresenta permeabilidade moderada, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e silteoso, e capacidade específica média entre 0,5 e 1,2 m<sup>3</sup>/h/m. Possui vazões médias entre 20 e 30 m<sup>3</sup>/h, em condições normais de captação, ou seja, sem interferência entre os poços. Os valores de transmissividade variam de 10 a 100 m<sup>2</sup>/dia, com média de 35 m<sup>2</sup>/dia (DAEE, 1976 e ACQUAJET, 1996 in IPT, 1996).

A espessura saturada dos arenitos é variável, em sua maioria entre 100 a 150 metros, e é condicionada, principalmente, pela morfologia de superfície: adelgaça-se nos vales (valores inferiores a 50 m) e espessa-se nos espigões ou divisores de água (DAEE, 1976 e ROCHA *et al.*, 1982).

## 6.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS REGIONAIS

Com relação às águas do Sistema Aquífero Bauru, elas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, secundariamente magnesianas ou sódicas e bicarbonatadas sódicas, secundariamente cálcicas, de acordo com a classificação feita por intermédio dos diagramas Schoeller – Berkaloff e de Piper para o DAEE (1976) e CETESB (1994 e 2001).

CAMPOS (1993 in IPT, 1996) efetuou uma revisão sobre os trabalhos de hidrogeoquímica dos principais sistemas aquíferos do Estado de São Paulo. Segundo o mesmo autor, as águas do Grupo Bauru foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas. Em termos de pH, prevalecem os meios neutros a levemente básico. Possuem baixa salinidade, com valores médio de resíduo seco inferiores a 240 mg/l, sendo predominante a faixa de 100 a 200 mg/l (CETESB, 1994; CETESB, 2001).

Segundo CETESB (1994), as águas dos aquíferos Marília e Adamantina distinguem-se quimicamente em relação à topografia: nos espigões e interflúvios são bicarbonatadas cálcicas, enquanto que nos vales predominam águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas. No Aquífero Santo Anastácio, as águas são francamente bicarbonatadas cálcio-magnesianas. Em termos de parâmetros analisados para o Aquífero Bauru, tem-se (CETESB, 1994 e 2001):

-cloretos: de 159 amostras, 89% apresentam teores abaixo de 10 mg/l, enquanto que 11% encontram-se no intervalo 10,6 a 26,4 mg/l;

-ferro total: 83% de um total de 161 amostras, obtiveram valores iguais ou menores que 0,092 mg/l. As maiores concentrações encontradas são interpretadas como consequência de análises de amostras de poços inativos, onde a água estagnada acusa maior teor de ferro que a água do aquífero;

-dureza total: 57% são águas moderadamente duras, para um total de 155 amostras analisadas;

-nitrato: a presença de nitrato é considerada como indicativo de contaminação proveniente de esgotos públicos, lixo, fertilizantes agrícolas ou despejos industriais. Segundo os levantamentos da CETESB (1994), nenhuma amostra ultrapassou o padrão de potabilidade recomendado;

-sólidos totais dissolvidos (TDS): de 140 amostras analisadas, 66% encontram-se no intervalo entre 100 e 200 mg/l, enquanto que 27% entre 200 e 396 mg/l. Estas concentrações variáveis refletiriam heterogeneidades nos solos e litologias;

-condutividade elétrica: de 157 análises, 93% apresentaram valores inferiores a 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

-oxigênio consumido: todas as análises apresentaram valores inferiores a 2,5 mg/l, sendo que a grande maioria ficou abaixo de 1,0 mg/l;

-coliformes fecais e totais: de 162 análises, 31% acusaram a presença de coliformes totais e 12 % de fecais.

#### 6.4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS LOCAIS

Outros trabalhos enfocando especificamente a área de São José do Rio Preto, com ênfase na questão da contaminação por nitratos, são: ARID (1992), BARCHA (1992), BARCHA & BRANCO (1991) e CASTRO *et al.* (1992).

Segundo CASTRO *et al.* (1992 in IPT, 1996), as análises químicas em amostras de 82 poços do município, revelaram a ocorrência de elevação progressiva do teor de nitratos, tornando a água de 15% dos poços analisados impróprias para o consumo humano, enquanto que cerca de 35% já apresentam alterações químicas significativas. Segundo os mesmos autores, a falta de legislação adequada de planejamento dos poços e a falta de informações à população são as principais causas da contaminação do aquífero, colocando em risco a saúde pública.

ARID (1992) e CASTRO *et al.* (1992 in IPT, 1996) dividiram a cidade em quatro áreas a partir do centro e destacaram que foi diagnosticada contaminação bacteriológica em: 21% dos 67 poços analisados na área central; 30% dos 91 poços da área periférica interna; 19% dos 74 poços da área periférica externa; e 60% dos 91 poços ao longo dos eixos fluviais. Além disso, 37% das amostras apresentaram teor de nitrogênio-nítrico entre 2 e 6 mg/l, 8% entre 6 e 10 mg/l e algumas amostras apresentaram teor superior a 10 mg/l. Segundo estes autores, há sugestivos elementos que reforçam a interpretação de que as águas contaminadas por teores elevados de nitratos provenham de despejos de esgotos próximos.

BARCHA (1992) e BARCHA & BRANCO (1991 in IPT, 1996) também trazem dados quanto à contaminação por nitratos. Segundo BARCHA (1992), em razão de deficiências técnico-construtivas (exemplo: falta de revestimento) e, sobretudo, face a grande quantidade de matéria orgânica oriunda da fuga de águas residuárias da rede de esgotos doméstico, os níveis de nitrogênio na forma nitrato, especialmente nos solos das zonas velhas e mais densamente habitadas de São José do Rio Preto, chegam a ultrapassar os limites máximos da faixa recomendada pela Organização Mundial de Saúde - OMS (até 11,3 mg/l). Além disso, é notável a diferença de valores de nitratos que se constata entre os poços situados em regiões topograficamente mais altas (zonas de recarga) e os localizados junto ao vale dos rios (zona de descarga): nos espigões, os poços possuem teores sempre acima de 10 mg/l, enquanto que nos localizados no eixo do rio Preto e córregos Canela e Borá, apresentam teores notadamente menores, da ordem de 1 a 3 mg/l.

## CAPÍTULO 7

### 7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão analisadas e discutidas, as principais características hidráulicas, os aspectos geológicos, a proteção sanitária, e os aspectos técnico-construtivos dos poços de captação de água cadastrados no município de São José do Rio Preto - SP. Com relação a exploração dos recursos hídricos subterrâneos destinados a população local, e de domínio público, será apresentada uma breve discussão das vantagens e desvantagens da exploração da água subterrânea no Sistema Aquífero Bauru em relação ao Aquífero Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani).

A Figura 7.1 ilustra de forma geral e simplificada os parâmetros analisados.

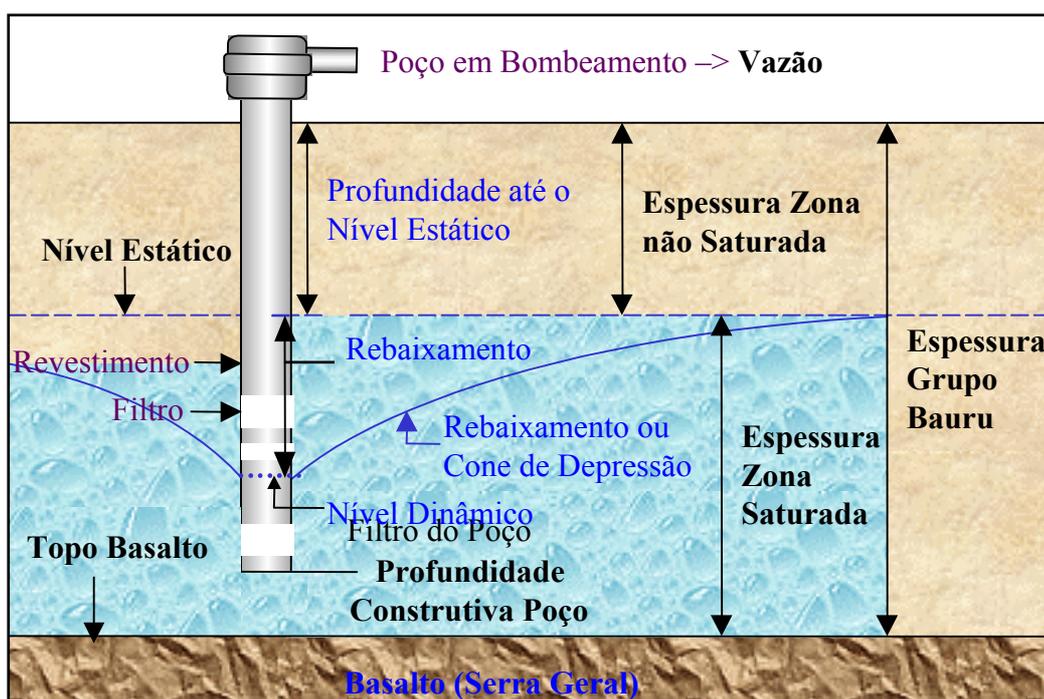


Figura 7.1 - representação dos parâmetros analisados.

No total, foram cadastrados 355 poços no Aquífero Bauru (Anexo 1), inclusos nestes os poços que atingem o basalto (Fm. Serra Geral), e 8 poços no Aquífero Botucatu Pirambóia (Anexo 2). Apesar de muitos dos poços no Aquífero Bauru, não apresentarem dados relativos ao nível estático, nível dinâmico, vazão, profundidade construtiva do poço, cota topográfica,

perfil litoestratigráfico, dentre outros aspectos, prejudicando na análise dos dados, estes foram plotados em mapa (Anexo 3), para que assim fosse possível analisar a distribuição e concentração dos poços na área de estudo, servindo este ainda como mapa de localização dos poços cadastrados no município de São José do Rio Preto (SP).

Considerando-se o universo de 3.500 poços particulares existentes (segundo as estimativas de BARCHA, 1992), constata-se que a disponibilidade de informações é ainda muito pequena, embora a maioria dos poços particulares operarem a baixas vazões e em regime curto de bombeamento, apenas para o consumo doméstico.

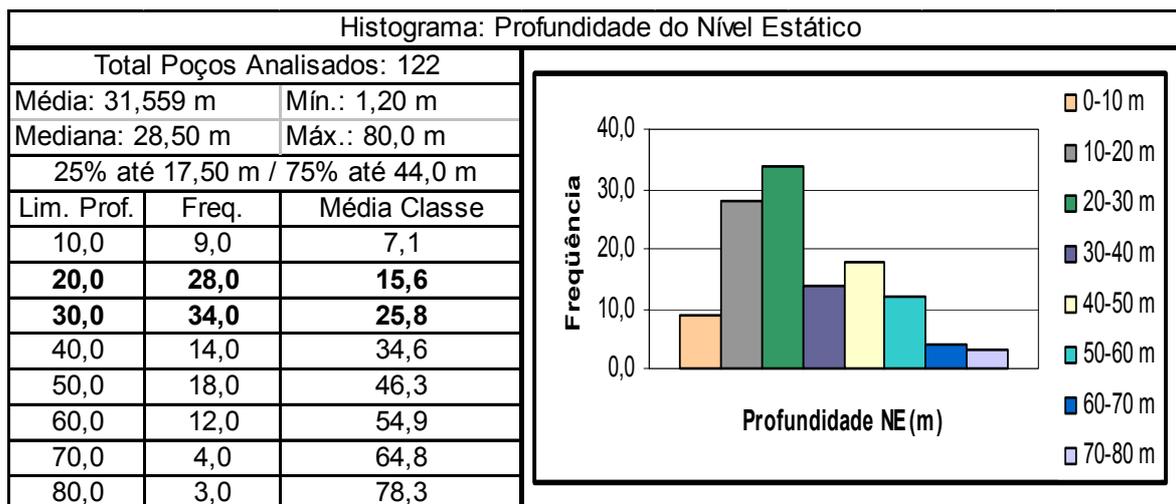
Os principais parâmetros analisados foram: nível estático; condicionamento do topo do basalto (Fm. Serra Geral); espessura do Grupo Bauru; espessura da zona saturada (Aquífero Bauru); análise de vazão e aspectos técnico-construtivos; análise comparativa da exploração de água subterrânea no Sistema Aquífero Bauru X Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani).

## 7.1. NÍVEL ESTÁTICO

Na análise da profundidade do nível estático, dos 355 poços cadastrados no Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP), apenas 124 destes apresentavam dados relativos a profundidade do nível estático, sendo que ainda 2 poços foram descartados (poços: 47 e 218), por não apresentarem dado coerente com o esperado para o local (poços cadastrados como jorrantes). Dessa forma, utilizou-se 122 poços para análise do nível estático.

Cabe ressaltar ainda, que por se tratar de um Aquífero livre, os dados de nível estático foram analisados conjuntamente, tanto para os valores dos poços que atravessam apenas o Grupo Bauru, como também os poços que atingem a Formação Serra Geral, seja superficialmente como parcialmente (máximo de 56 metros para os dados analisados neste trabalho).

Observa-se na análise do nível estático, um valor médio de 31,5 metros de profundidade (Quadro 7.1), sendo que este valor, no entanto, fica sujeito a variações de bombeamento de poços vizinhos, imprecisão na medição, e até mesmo ao período do ano (variação sazonal) em que foi tomada esta medida.



Quadro 7.1 - Histograma e tabela de profundidade do nível estático em São José do Rio Preto - SP.

Pela análise do Histograma (Quadro 7.1), observa-se que 25% dos dados analisados apresentam valor de no máximo 17.5 metros de profundidade e 75% apresentam valores máximos de 44.0 metros de nível estático. Pela tabela correspondente ao histograma, pode-se verificar também, que no limite de 10.0 a 30.0 metros, localiza -se a maior concentração dos dados referentes ao nível estático, sendo que neste limite, o valor médio calculado para a profundidade do nível estático fica em torno de 20,711 metros, valor este que melhor caracterizaria a profundidade do mesmo para o local estudado.

Na grande variação que possa estar ocorrendo nos valores de nível estático (mínimo de 1.2 e máximo de 80.0 metros), pode estar ligado ao fato dos poços analisados estarem concentrados na sua grande maioria na área urbana do município, local que conta com centenas de poços, que podem estar provocando uma super-exploração no Aquífero, e conseqüentemente, alteração no nível estático.

Outro fator que poderia estar contribuindo para a variação de valores é o fato de que a maioria dos perfuradores não apresentam medidores adequados de nível d' água, medindo o NE com ferramentas inadequadas, ocasionando assim, valores fora do esperado para a região.

Nota-se também, em relação a profundidade do nível estático, que em poços relativamente próximos, e com cotas topográficas semelhantes, diferenças significativas com relação ao valor do nível estático, o que evidenciaria um abaixamento dos níveis atuais.

Pode-se destacar com relação ao exposto acima, os poços de número 255, 256, 257, 258, situados na região nordeste da área urbana. Todos estes poços localizam-se na cota topográfica média de 515 m. Os poços 255, 256 e 257, apresentam 35, 37 e 36 metros respectivamente, para o valor da profundidade do nível estático, enquanto que o poço 258,

apresenta nível estático de 51 metros, o que representaria um abaixamento do nível atual em 15 metros.

O fato descrito acima ocorre também em vários locais da área urbana do município de. Ainda na região nordeste da área observa-se entre os poços 223 e 268, valores de 59 e 42 metros, respectivamente para o nível estático, onde ambos os poços situados a cota topográfica de 514 m., o que representaria um abaixamento de 17 metros.

Na porção sul da área urbana, dois locais destacam-se pela diferença de valores de nível estático entre poços próximos e com mesma cota topográfica. São as regiões onde se concentram os poços: 220, 221, 222, 324; e os poços 219, 318 e 325. Os poços de número 221 e 220 com cotas de 560 metros apresentam entre si uma diferença de nível estático de 19 metros, enquanto que nos poços 222 e 324, a diferença passa a ser de 36 metros de profundidade. Ainda na região sul, pode-se calcular um valor de 30 metros na análise do abaixamento do nível entre os poços 219, 318 e 325.

Na região centro-norte da área urbana do município, em cota topográfica de 525m, observa-se um abaixamento de até 30 metros quando se analisa os poços 210, 212, 213 e 214. Ao norte da área urbana, nota-se também uma diferença de 15 metros de abaixamento de nível estático ao analisar os poços de número 232, 253, 252, 250 e 254, todos localizados em cota topográfica média de 522m.

A diferença passa ser maior ainda na porção oeste da área urbana, quando na análise dos poços de número 29 e 31 com profundidade do nível estático de 31 e 34 metros, observa-se um abaixamento de aproximadamente 40 metros, quando comparado com os poços 344 e 343, respectivamente com nível estático de 79 e 76 metros, sendo que estes poços localizam-se aproximadamente na cota de 520 m.

No Bairro Alto Rio Preto, localizado na região sudoeste da área estudada (Figura 7.2), tem-se um exemplo da provável interferência entre poços perfurados. Poços da prefeitura e particulares, localizados a distâncias relativamente próximas, podem estar provocando um rebaixamento nos poços acima do normal, e como consequência, a super-exploração do Aquífero. Os poços observados neste local, foram os poços de n<sup>o</sup>. 180 e 181 (IPT-01 e IPT-02, respectivamente) e dois poços recentemente (2000) construídos pela Prefeitura.

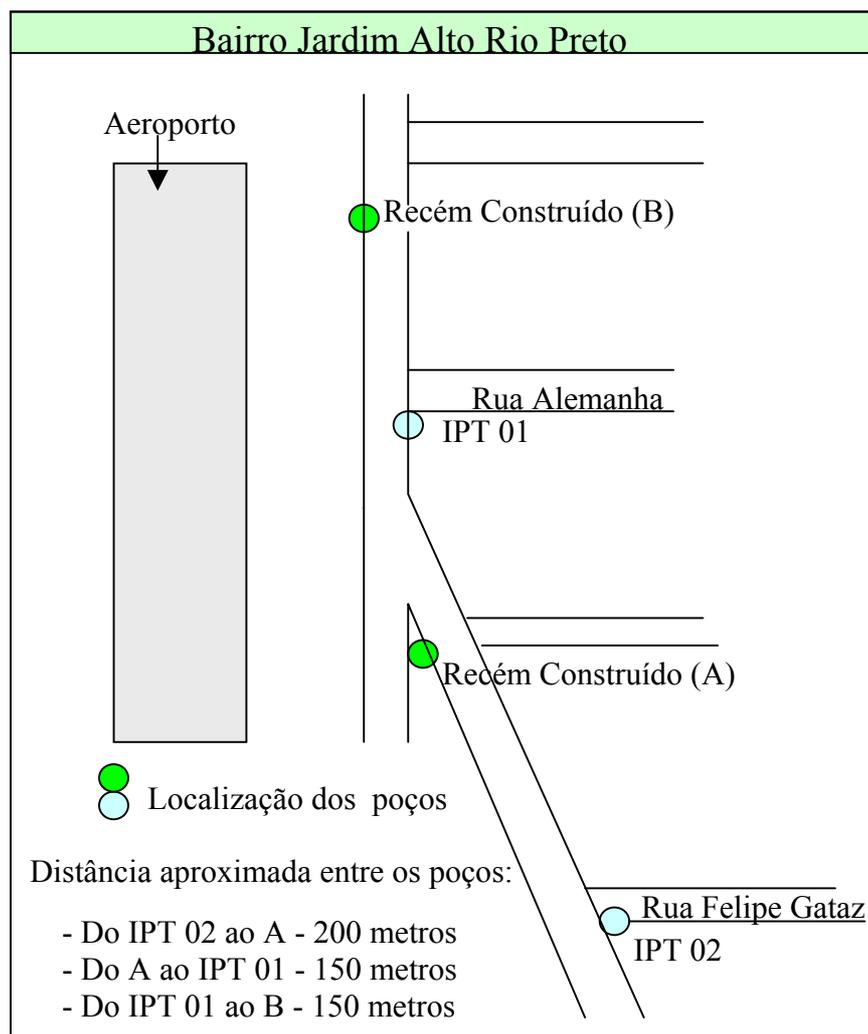


Figura 7.2 - Representação esquemática da localização dos poços da prefeitura no bairro Alto Rio Preto (LIMA, 2000).

Do exposto anteriormente, deve-se salientar, que estes poços por terem a finalidade de abastecimento público, trabalham em um regime de diversas horas de bombeamento (podendo chegar a 24 horas), com vazão máxima de exploração, sendo assim, a análise da distância entre poços não é o único fator analisado para se chegar à conclusão de uma possível interferência entre poços.

Os poços que apresentaram valores de nível estático foram plotados em mapa, e assim foi traçada a curva de isovalores para a profundidade do nível estático da água subterrânea (Figura 7.3). Para fins de fechamento de área e para melhoria no resultado do traçado das equipotencias, foram dispensados os poços de número 345 e 349.

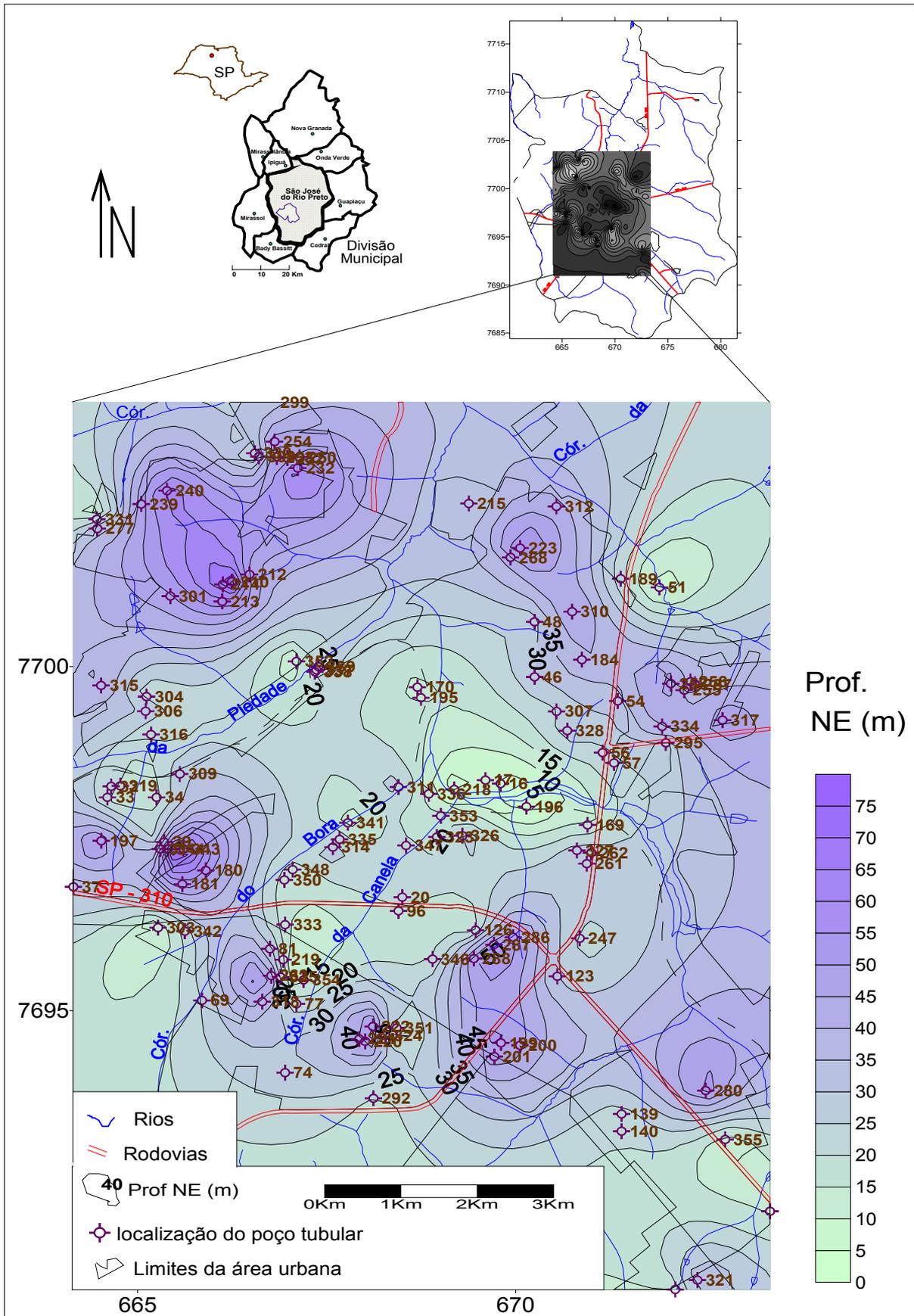


Figura 7.3 - Mapa de isolinhas da profundidade do nível estático na área urbana do município de São José do Rio Preto - SP.

Pode-se observar pela análise da figura, que nas regiões mais baixas (vales), a profundidade do nível estático diminui, para aumentar progressivamente em regiões mais altas (espigões), fato este já esperado para um Aquífero que apresenta comportamento livre.

Na porção central da área urbana do município de São José do Rio Preto, no cruzamento do córrego da Canela com o rio Preto, ponto de captação superficial de água para abastecimento público, observa-se valores muito baixos para o nível estático, merecendo assim nesta região, atenção especial, uma vez que neste local se concentram diversos poços de captação de água subterrânea utilizados para o abastecimento público, além de ser o ponto de captação de água superficial (rio Preto).

Em se tratando de um Aquífero livre, vulnerável a agentes poluidores superficiais, a análise da profundidade do nível estático é de extrema importância, uma vez que em áreas onde a profundidade do nível for maior, esta poderá apresentar melhores condições a instalação de empreendimentos potencialmente poluidores, visto que a trajetória do contaminante até a água subterrânea será maior. Cabe ressaltar, que outros fatores também devem ser analisados na escolha dos locais mais adequados para as instalações dos empreendimentos potencialmente poluidores, não devendo apenas utilizar-se do mapa de nível estático aqui apresentado.

Visando analisar o comportamento do fluxo subterrâneo na área de estudo, a fim de sugerir medidas adequadas quanto ao uso dos recursos hídricos, e também dando auxílio a projetos que envolvam impactos ambientais, traçou-se o mapa potenciométrico (Anexo 4), com as principais direções do fluxo subterrâneo.

Para que o mapa potenciométrico pudesse representar de forma mais real possível a cota da profundidade do nível estático e o sentido do fluxo subterrâneo, foram traçadas as equipotenciais de isovalores para a cota do nível estático respeitando as principais drenagens que ocorrem na região, sendo assim, foi atribuído o valor zero para alguns pontos ao longo das drenagens principais para que o erro fosse minimizado.

Posteriormente à ação acima executada, traçou-se as linhas de isovalores para a cota do nível estático com o programa Surfer 7. Com o auxílio do *CorelDraw 11*, as curvas de isovalores de nível estático e o sentido do fluxo de água foram reeditados e pode-se assim, como produto final, obter o mapa potenciométrico com as linhas preferenciais de direção do fluxo subterrâneo (Anexo 4).

Observa-se pela análise do mapa potenciométrico, que as isolinhas acompanham o desenvolvimento da topografia, fazendo com que o fluxo subterrâneo percorra um sentido que

vai das cotas topográficas mais altas para as mais baixas, alimentando a rede de drenagem local. A Figura 7.4 ilustra de forma geral a superfície topográfica em comparação com a superfície potenciométrica na área urbana do município em estudo, caracterizando o comportamento livre do Aquífero.

Constatou-se, de forma geral, que o nível freático alimenta as principais drenagens do local, sendo assim, a possível construção de poços de monitoramento, para diversas finalidades, devem ser localizadas, considerando a direção que o fluxo subterrâneo apresenta no local. Sendo assim, é imprescindível, o auxílio de mapas potenciométricos, com as principais direções do fluxo subterrâneo, principalmente nos locais onde ocorrem empreendimentos potencialmente poluidores.

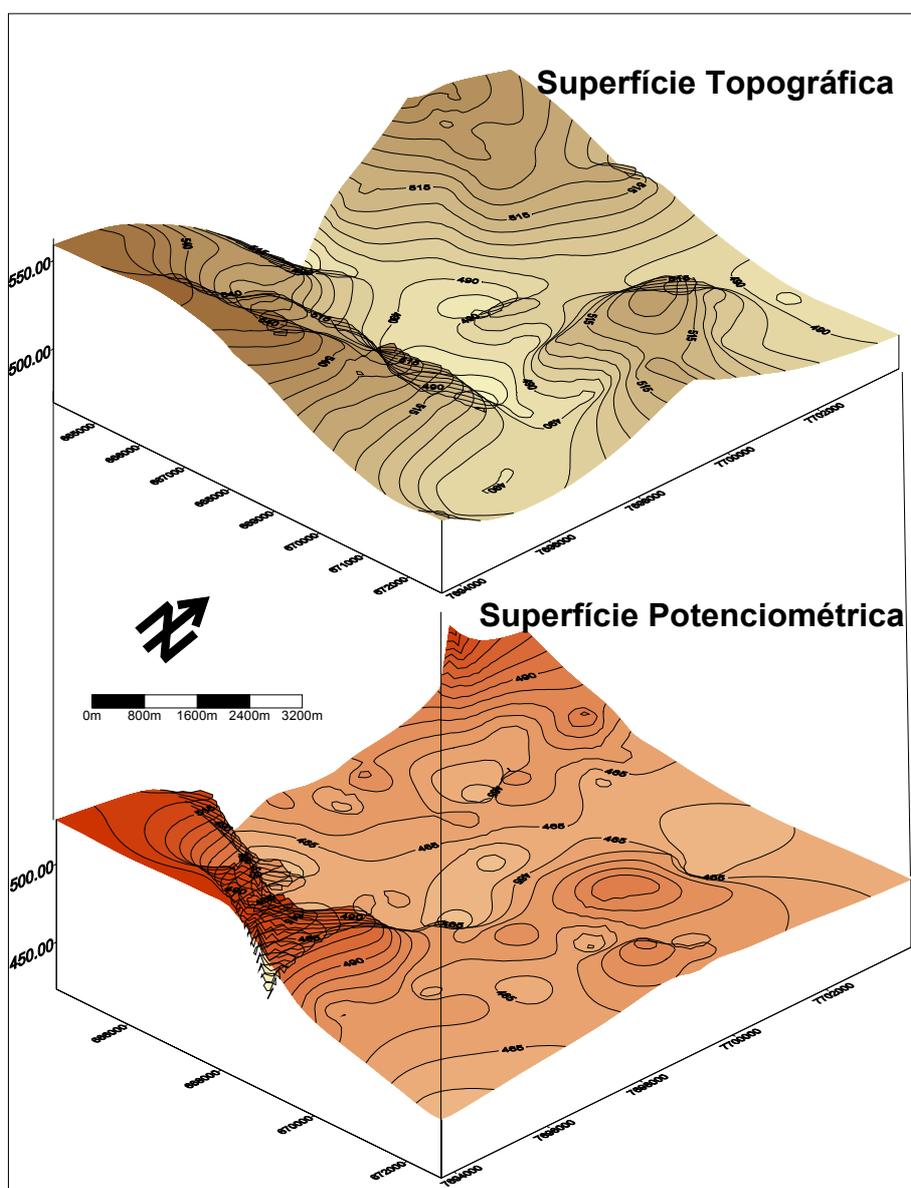


Figura 7.4 - Bloco diagrama ilustrando a superfície topográfica em comparação com a superfície potenciométrica na área de estudo.

De acordo com a sua localização em zonas, a água de subsuperfície classifica-se em saturada e não saturada (GUYMON, 1994). A zona não saturada é conceituada como a camada que ocorre entre a superfície do terreno e o topo do aquífero livre (nível estático), também chamada de “zona de aeração”, que implica o fato de que ar e água coexistem na zona não saturada.

Na área estudada, a espessura da zona não saturada correlaciona-se diretamente com a profundidade do nível estático, dessa forma, os resultados obtidos na análise do nível estático, são válidos também para a espessura da zona não saturada. O Gráfico 7.1, reforça o comportamento da topografia em relação a espessura da zona não saturada ou profundidade do nível estático

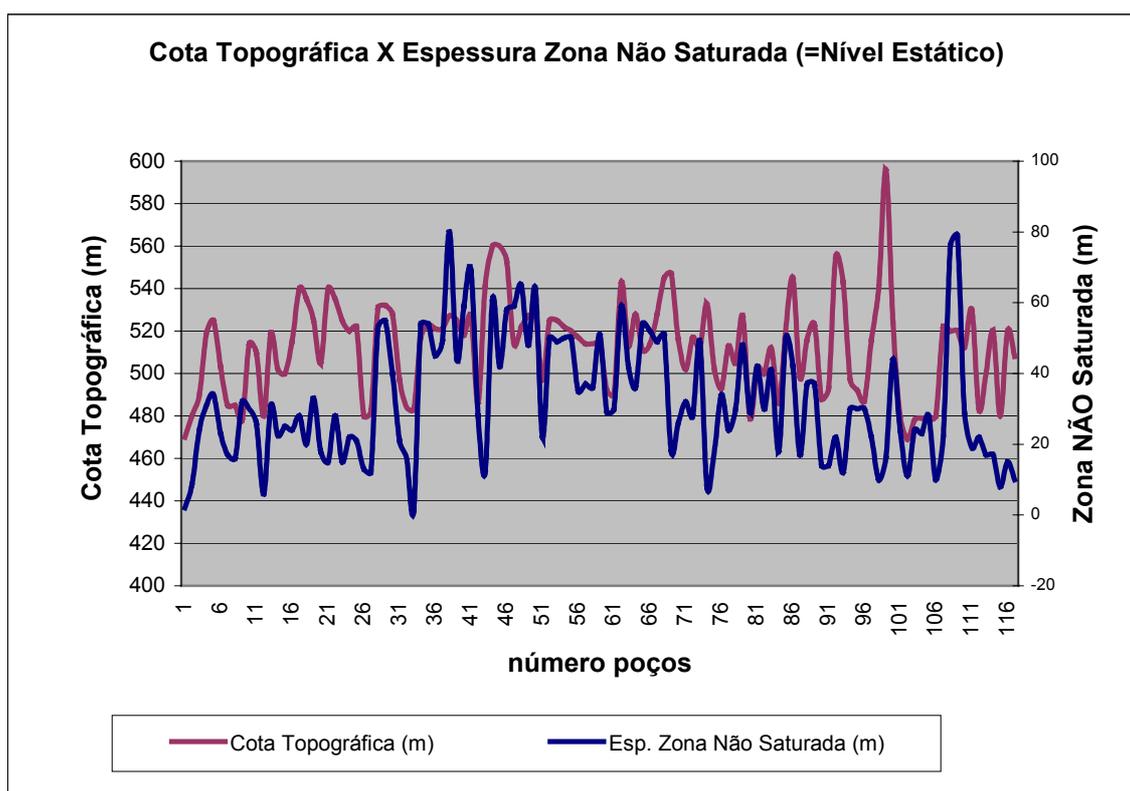


Gráfico 7.1 - Comportamento da topografia em relação a espessura da zona não saturada.

A zona não saturada é de extrema importância nos estudos hidrogeológicos de aquíferos livres, pois esta, além de representar a camada natural protetora contra os agentes poluidores, representa também o caminho percorrido pela água no mecanismo de recarga do aquífero. No geral, pode-se dizer que quanto maior a espessura da zona não saturada, maior será o tempo de percurso do escoamento vertical da superfície do terreno até a zona saturada.

Analisando-se ainda o mapa Potenciométrico (Anexo 4), as cotas que apresentam maiores valores numéricos, estão localizados nas regiões em que a zona não saturada se apresenta de forma mais espessa (espigões). Sendo assim, estas regiões podem estar mais apropriadas para receber possíveis instalações de empreendimentos considerados poluidores. É importante destacar e frisar, que a análise isolada deste fato não possibilita a tomada de decisão para o caso acima descrito, visto que outros aspectos também deverão ser analisados, como é o caso das áreas densamente povoadas.

## 7.2. CONDICIONAMENTO DO TOPO DO BASALTO (FM. SERRA GERAL)

O contorno da superfície do topo da Formação Serra Geral (Base do Bauru), sob o ponto de vista estrutural, é de extrema importância para o entendimento da deposição do Grupo Bauru, sendo assim, torna-se possível através da caracterização do condicionamento da Formação Serra Geral no município de São José do Rio Preto estabelecer o comportamento do Bauru como reservatório de água subterrânea.

BARCHA (1980), como foi abordado no capítulo 4, traçou perfis geológicos através de dados de poços e sondagens elétricas na área em questão, caracterizando o condicionamento do topo do basalto. Como resultado, observou que o contato entre as Formações Santo Anastácio e Adamantina, se processa na cota de 400 metros e que a superfície do Basalto se apresenta irregular e com mergulho para sudoeste.

LIMA (2000), com dados de poços perfurados tanto no Aquífero Bauru, como no Botucatu/Pirambóia (Tabela 7.1), traçou o mapa de isolinhas com a cota do topo do basalto na área urbana do município, onde pode ser visualizada uma tendência do mergulho na direção Sudoeste da área estudada, concordando assim, com o padrão regional anteriormente apresentado, bem como os perfis geológicos realizados por BARCHA (1980).

Tabela 7.1 - Dados dos poços da figura 7.5 que atingiram a cota do topo do basalto (modificado de LIMA, 2000).

Poço	Cota T. (m)	Prof. Basalto (m)	Cota Basalto (m)
IPT-135	470	108,0	362,0
IPT-136	480	122,0	358,0
IPT-137	545	199,0	346,0
IPT-138	505	157,0	348,0
IPT-139	528	184,0	344,0
IPT-140	527	142,7	384,3
DAEE-10	478	120,0	358,0
DAEE-15	520	185,0	335,0

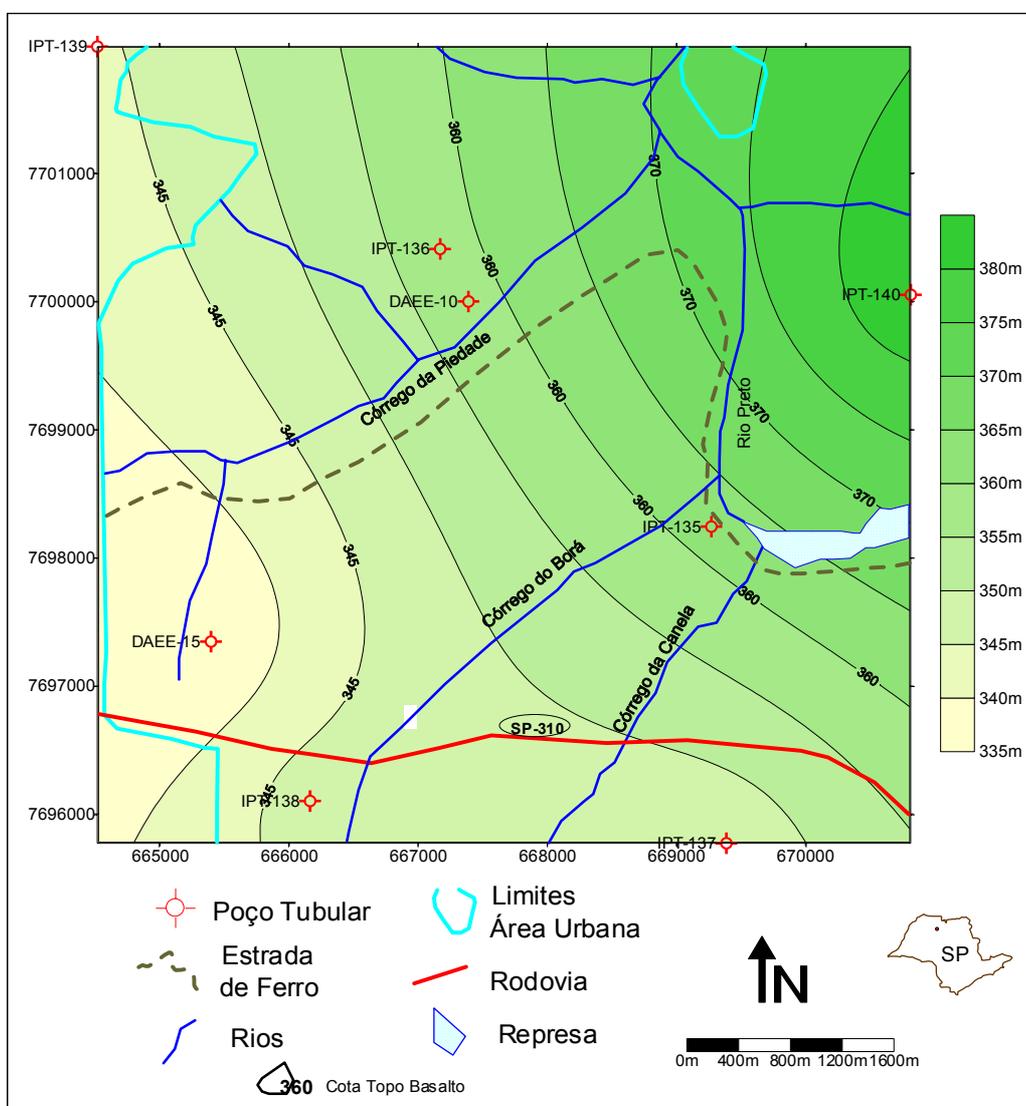
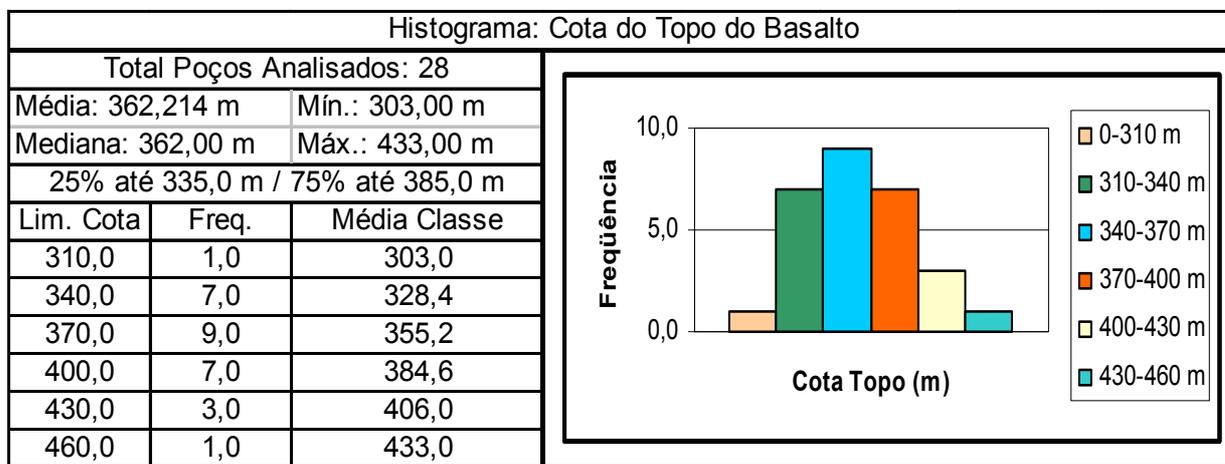


Figura 7.5 - Mapa de isolinhas da cota do topo do basalto (Serra Geral), na área urbana de São José do Rio Preto (LIMA, 2000).

Nesta pesquisa, 28 poços apresentaram a profundidade do topo do Serra Geral, sendo que 06 poços no Botucatu/Pirambóia (Anexo 2) e 22 poços no Sistema Aquífero Bauru (Anexo 1). A partir dos dados pode-se analisar, com auxílio do Quadro 7.2, que a média da cota do topo do basalto fica em torno de 362 metros, com o intervalo de 310 a 400 apresentando maior concentração de dados. Verifica-se também pela análise do quadro, que 75% dos dados analisados, não ultrapassam 385 metros para a cota, sendo que o valor mínimo é de 303 metros e o máximo de 433 m. Para a obtenção do valor da cota do topo, utilizou-se o valor da profundidade do topo do basalto em relação a superfície do terreno, subtraindo, o valor da cota topográfica deste.



Quadro 7.2 - Histograma e tabela da cota do topo do basalto em São José do Rio Preto - SP.

Para analisar o comportamento do topo do basalto na área de estudo, foi traçado o mapa ilustrando a tendência do comportamento estrutural do topo do basalto. Para efeito de fechamento ideal da área, foram dispensados os poços 85 e 36, por estarem relativamente distantes dos demais. A Figura 7.6 representa a distribuição destes poços em parte da área de estudo, destacando a região em que foi traçado o mapa com as curvas de isovalores para a cota do topo do Basalto (Serra Geral).

Através do mapa da Figura 7.7, é possível observar que o comportamento estrutural do topo do basalto se mostra de bastante irregular. No sentido Sudoeste da área analisada, verifica-se através do poço 36, que a cota do basalto tende a diminuir, para aumentar no sentido sul, em direção ao poço 86. A partir do córrego Piedade, o basalto do Serra Geral mergulha no sentido noroeste na região analisada.

Do exposto anteriormente, pode-se concluir a dificuldade de se estabelecer um padrão de comportamento estrutural para o basalto na área de estudo. Isto se deve principalmente ao fato da inexistência de dados ou mesmo a confiabilidade dos dados existentes. No geral, o basalto mergulha sentido sudoeste e noroeste a partir do córrego Piedade. Para se obter uma análise mais confiável do comportamento do Serra Geral, novas técnicas de investigação terão de ser aplicadas, como é o caso da geofísica, ou novos dados somados a estes, para que assim, seja possível estabelecer com mais segurança o padrão do comportamento do topo do basalto da Formação Serra Geral.

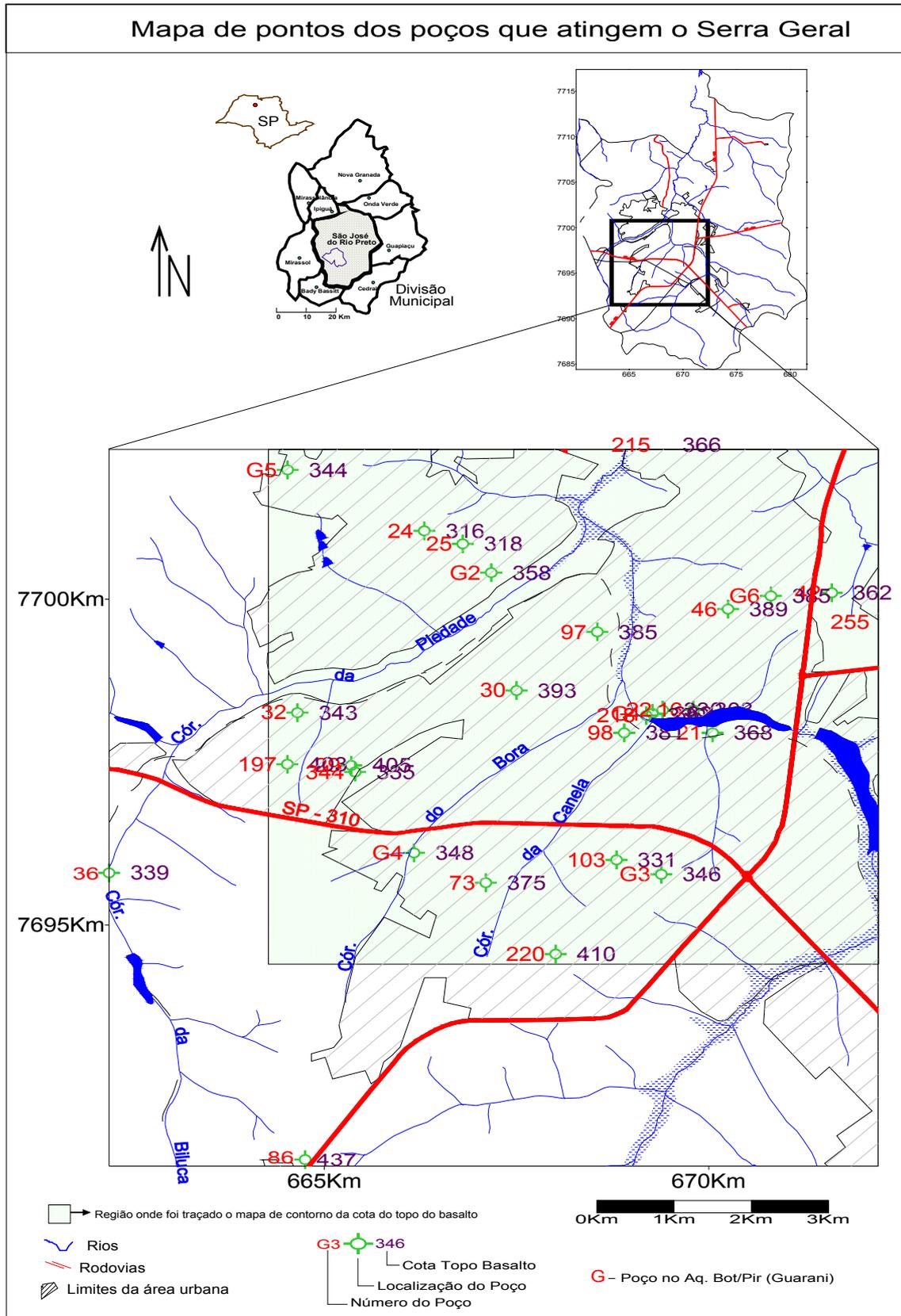


Figura 7.6 - Mapa de pontos dos poços que atingem o Serra Geral, incluso nestes, os poços no Aq. Bot/Pir. (Aq. Guarani). Na área em destaque foi traçado o mapa de tendência da cota do basalto em parte da área de estudo (Fig. 7.7).

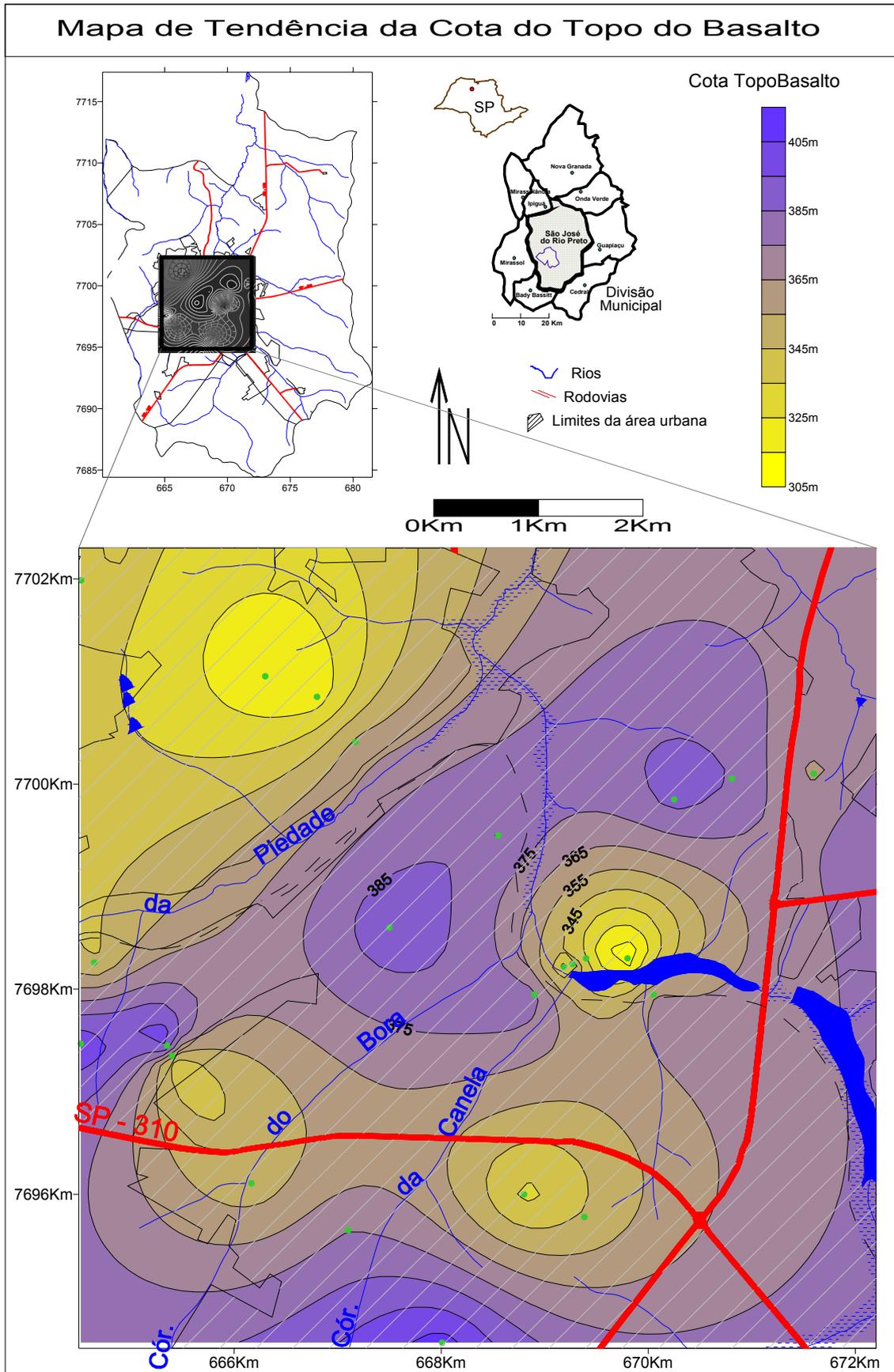
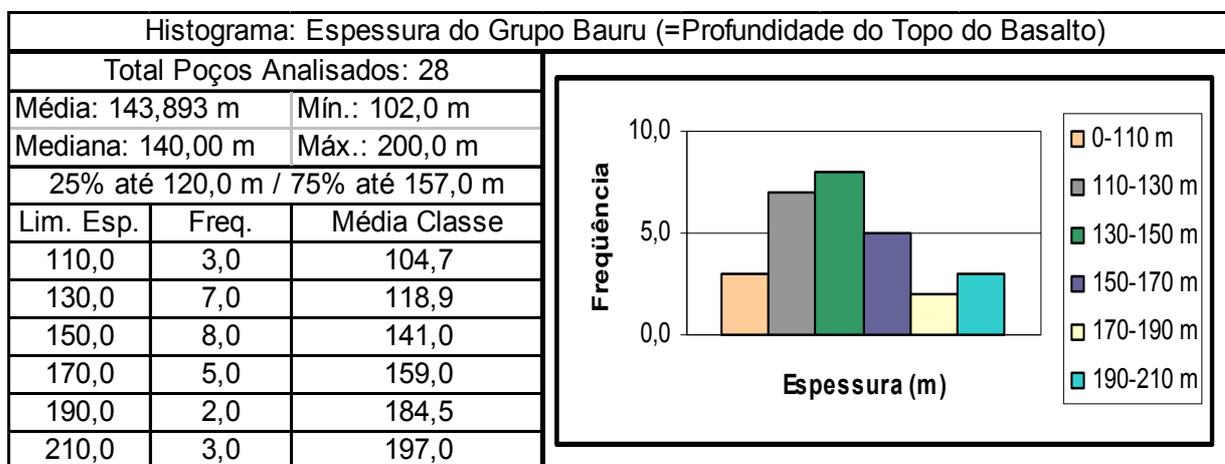


Figura 7.7 - Mapa de tendência de contorno estrutural do Serra Geral (Basalto) na área de estudo.

### 7.3. ESPESSURA DO GRUPO BAURU

Para análise da espessura do Grupo Bauru na área de estudo tomou-se como dados os poços presentes no Aquífero Bauru que atingiram o topo da Formação Serra Geral (Anexo 1), e os poços no Aquífero Botucatu Pirambóia (Anexo 2). Sendo assim, 28 poços apresentaram os dados necessários para uma estimativa do cálculo da espessura do Grupo Bauru no local estudado. Vale lembrar que a espessura do Grupo Bauru está diretamente relacionada com a profundidade do topo do basalto (Serra Geral), uma vez que este desempenha o papel de substrato hidrogeológico na área de estudo, condicionando a deposição dos sedimentos do Grupo Bauru.

Analisando-se o Quadro 7.3, observa-se que o valor mínimo e máximo encontrado para espessura do Grupo Bauru é de 102 e 200,0 metros respectivamente. Verifica-se também pela análise do quadro que 75% dos dados apresentam espessura de até 157 metros, com concentração dos dados no limite do intervalo 110 a 170 metros, com uma média calculada para espessura do Grupo Bauru de 143,8 metros.



Quadro 7.3 - Histograma e tabela da espessura do Grupo Bauru em São José do Rio Preto - SP.

Os poços com os dados relativos à espessura do Grupo Bauru foram plotados em mapas e dessa forma foi possível traçar linhas de isovalores para a espessura do Grupo Bauru (Figura 7.8), apresentando assim, a tendência do comportamento da variável analisada em questão para área de estudo. Ressalta-se que os poços que apresentaram os dados necessários para confecção do referido mapa, se concentram na área urbana do município.

A exemplo da análise do comportamento do Topo do Basalto, pode-se verificar também, a dificuldade de se estabelecer um padrão de espessura do Grupo Bauru na área de estudo, principalmente pela inexistência de dados ou mesmo pela confiabilidade dos dados existentes, como foi dito anteriormente.

Pode-se observar através do mapa, que a espessura do Grupo Bauru na área urbana do município de São José do Rio Preto tende a ser maior nas regiões Noroeste, Sudeste e Sudoeste, com destaque para duas primeiras, onde a espessura do Grupo Bauru atinge cerca de 200 metros. Observa-se também, através dos poços 85 e 36 (porção Sudoeste), não plotados no mapa de espessura por estarem relativamente distantes da área onde se concentram os outros poços, que a espessura do Grupo Bauru apresenta uma certa tendência a diminuir em direção ao poço 85 e aumentar para o poço 36, sudoeste da área.

O mapa de espessura do Grupo Bauru é de extrema importância nos projetos de locações de novos poços, pois em regiões onde a espessura do Grupo Bauru for maior, aliado ainda a fatores técnicos construtivos dos poços, estes poderão apresentar um potencial de exploração maior, uma vez que poderá atravessar uma maior espessura de arenitos.

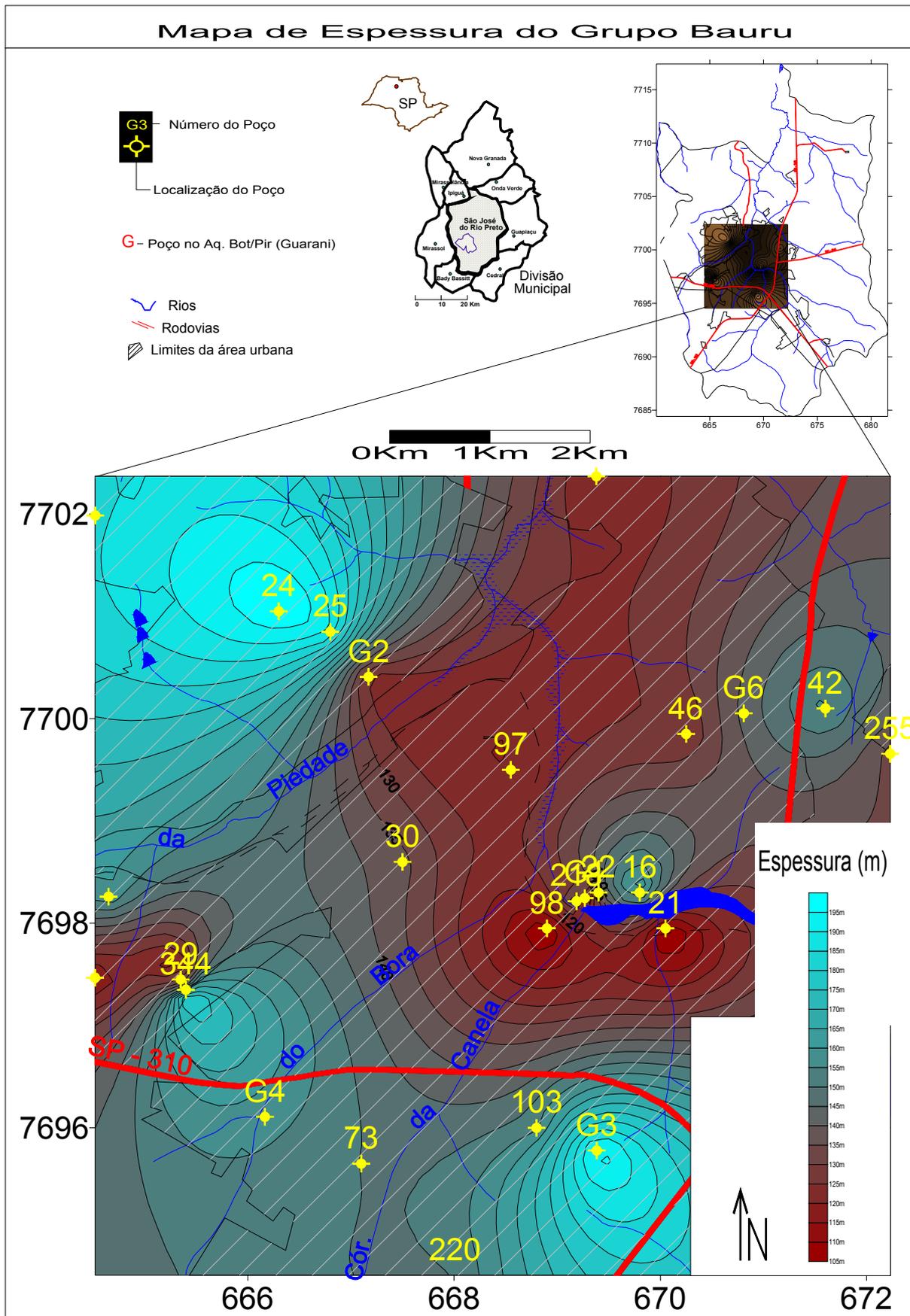


Figura 7.8 - Mapa de espessura do Grupo Bauru na área urbana de São José do Rio Preto - SP.

#### 7.4. ESPESSURA DA ZONA SATURADA (AQUÍFERO BAURU)

Para a análise da zona saturada (Aquífero Bauru), a superfície do nível de água subterrânea (nível estático) e profundidade do topo do basalto (Serra Geral), representam os elementos básicos para o estudo, visto que estes representam o limite inferior (basalto) e superior (nível estático) do intervalo a ser analisado (zona saturada), sendo este representado pela espessura do Grupo Bauru. Dessa forma, a espessura da zona saturada será dada pela diferença entre a espessura do Grupo Bauru pela profundidade do nível estático.

Dos 22 poços no Aquífero Bauru que atingiram o basalto, apenas oito poços apresentavam dado referente a profundidade do nível estático, dificultando a análise estatística dos dados. Através dos valores médios obtidos com o estudo do nível estático e da espessura do Grupo Bauru, pode-se inferir valores médios esperados para a espessura da zona saturada.

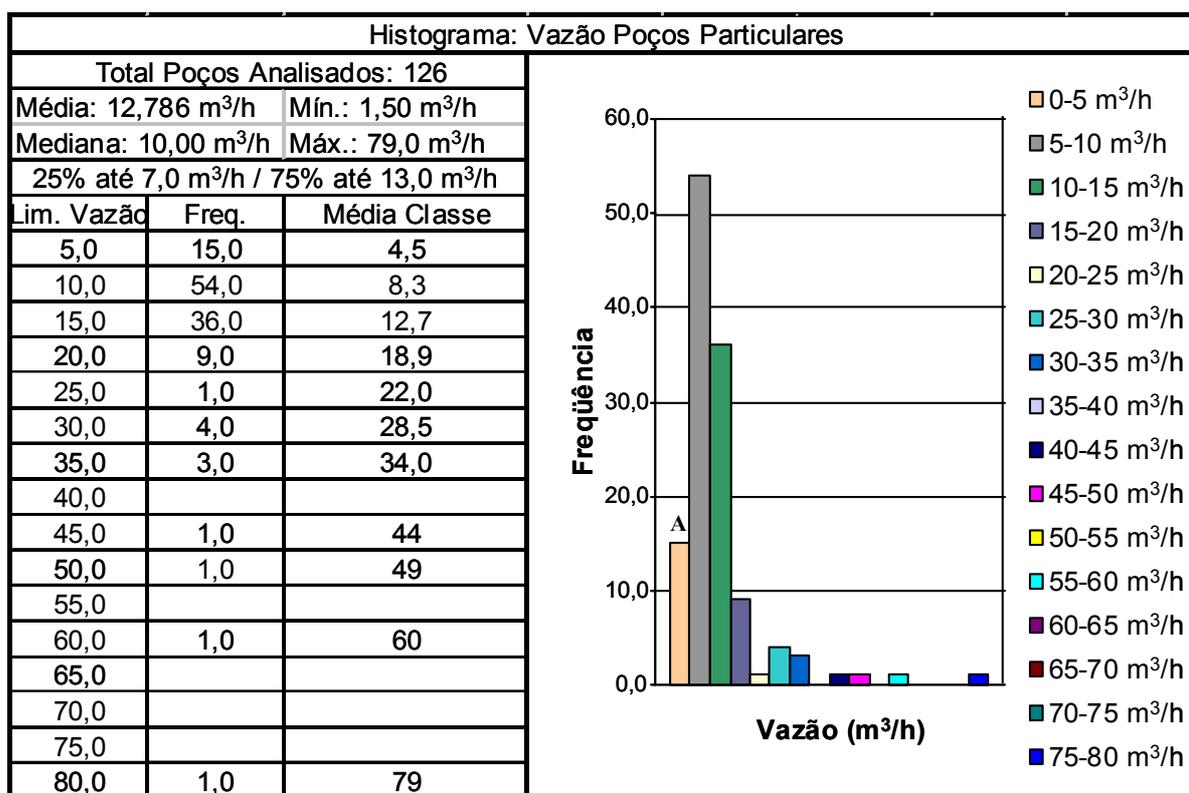
O valor médio calculado para a profundidade do nível estático é em torno de 20,711 metros, sendo o mínimo de 1,2 e o máximo de 80,0 metros. Para a espessura do Grupo Bauru o valor mínimo e máximo encontrado é de 102,0 e 200,0 metros respectivamente, ficando a média calculada dos dados em 157 metros de espessura.

Para o cálculo da espessura da zona saturada a partir dos dados acima, pode-se verificar um valor médio em torno 136,2 metros de espessura para a zona saturada na área de estudo. Cabe lembrar o valor de 136 metros representa a média geral da área, servindo este apenas como valor orientativo para futuros estudos, uma vez que ocorrem variações ao longo da área. De forma geral, é de se esperar maiores espessuras em cotas topográficas elevadas (espigões), sofrendo decréscimo em direção aos vales.

#### 7.5. ANÁLISE DE VAZÃO E ASPECTOS TÉCNICO-CONSTRUTIVOS

Dos 355 poços cadastrado no Aquífero Bauru, 208 poços apresentavam dados referente a vazão, sendo que 126 poços pertencentes a proprietários particulares e 82 de domínio público, utilizados na sua grande maioria para o abastecimento da população local.

Dos 126 poços particulares analisados, pode-se calcular uma vazão média de 12,78 m<sup>3</sup>/h, com uma frequência maior dos dados no limite de 5,0 a 15,0 m<sup>3</sup>/h, o que representaria uma média neste intervalo de 10,5 m<sup>3</sup>/h (Quadro 7.4). Pode-se observar também pela análise do quadro, que são muito poucos os poços que apresentam vazões maiores que 20,0 m<sup>3</sup>/h e estes poços que apesar de serem classificados como privados, atendem uma demanda de água maior que os demais, visto que na maioria das vezes abastecem condomínios residenciais.

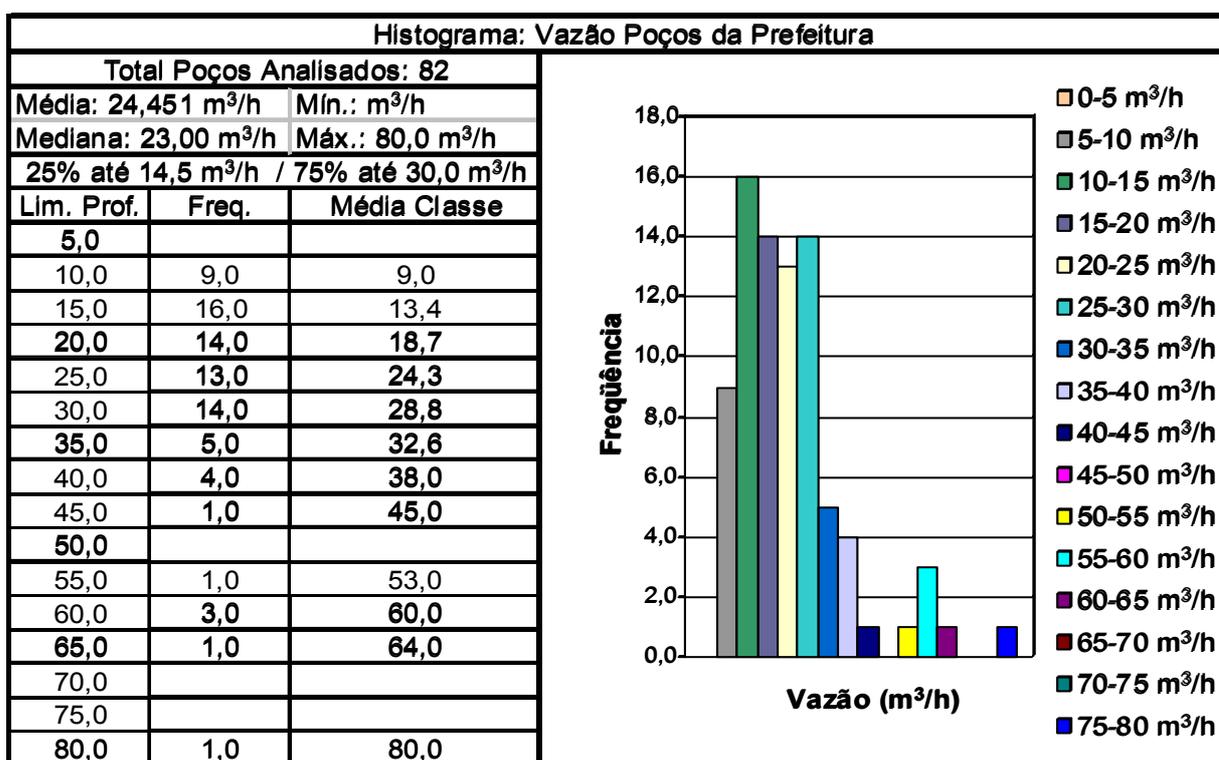


Quadro 7.4 - Histograma e tabela de vazão dos poços tubulares particulares no Aquífero Bauru em São José do Rio Preto - SP.

Com relação à vazão dos poços pertencentes a prefeitura, observa-se pela análise do Quadro 7.5, que a média obtida para os valores analisados fica em torno de 24,45 m<sup>3</sup>/h, destacando o limite de 10,0 a 30,0 m<sup>3</sup>/h, por apresentar alta concentração dos dados analisados. Neste intervalo verifica-se também que o valor médio calculado de 21,3 m<sup>3</sup>/h de vazão fica relativamente próximo da média geral.

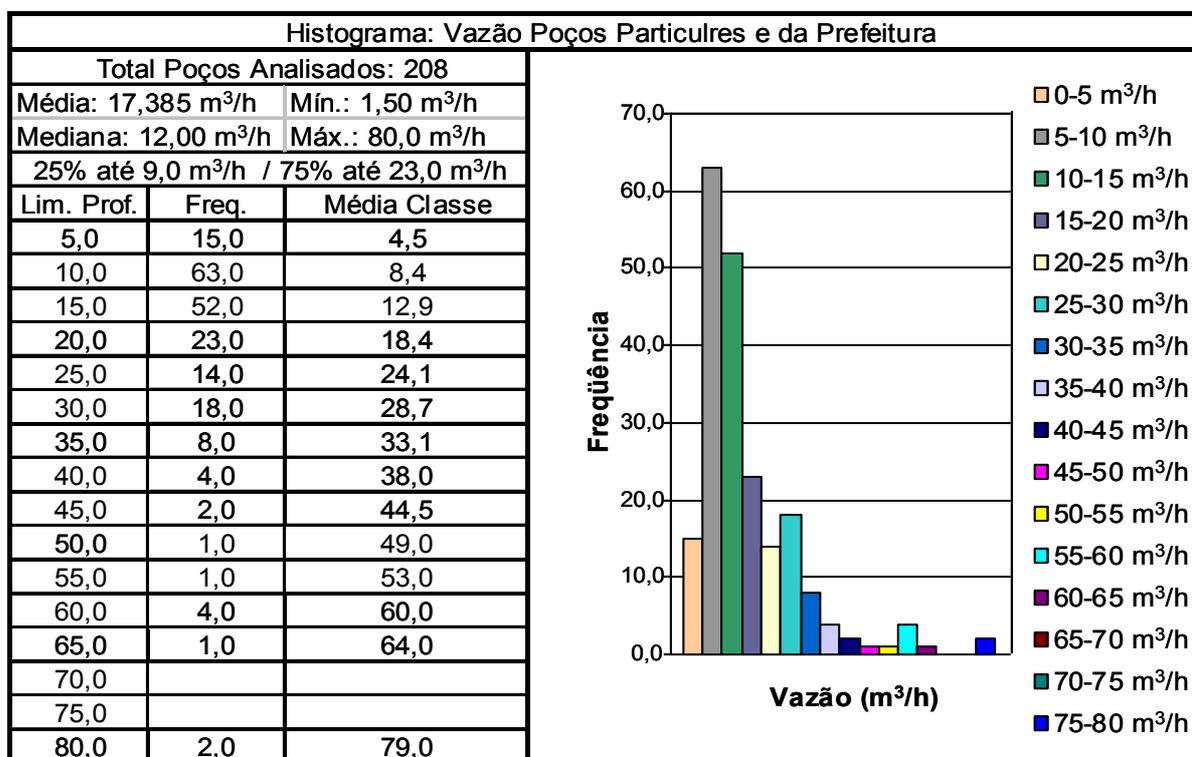
De modo geral, os poços pertencentes a prefeitura além de apresentarem uma maior vazão de água, estes ficam em regime de bombeamento constante de 20 a 24 horas diárias, visto que são poços que visam suprir a demanda de água para a população local. Os poços

particulares, normalmente operam com baixas vazões e também com regime de bombeamento menor que os poços da prefeitura, com exceções de poços que abastecem condomínios residenciais, que mantêm um funcionamento semelhante aos poços de domínio público.



Quadro 7.5 - Histograma e Tabela de Vazão dos poços tubulares públicos no Aquífero Bauru em São José do Rio Preto - SP.

Analisando conjuntamente os poços tanto particulares como os de domínio público (Quadro 7.6), é possível verificar que média fica em torno de 17,385 m<sup>3</sup>/h para os 208 poços cadastrados que apresentavam dados referentes a vazão. Extrapolando esta média para os 355 poços no Aquífero Bauru cadastrados no município de São José do Rio Preto - SP, pode-se calcular um volume diário de água captada na ordem de 6172 m<sup>3</sup>/h. Considerando ainda um período curto de funcionamento dos poços na ordem de 6 horas diárias, conclui-se que 37.032 m<sup>3</sup> de água por dia é explorado do Sistema Aquífero Bauru, volume este equivalente a 1,11 bilhões de litros de água por mês. O volume estimado refere-se apenas aos poços cadastrados.



Quadro 7.6 - Histograma e tabela de vazão dos poços particulares e públicos no Aquífero Bauru em São José do Rio Preto - SP.

Um fator importante na análise de vazão é o fato de que poços perfurados no município que atravessam todo Grupo Bauru, passando pela Formação Santo Anastácio e atingindo superficialmente ou parcialmente o basalto (Serra Geral), apresentam no geral vazões maiores que aqueles que se restringem à captação da Formação Adamantina. Cabe lembrar, que a Formação Santo Anastácio apresenta condições hidrogeológicas mais favoráveis do que a Formação Adamantina para a produção de água. Sendo assim, quanto maior a espessura de sedimentos (arenitos) presentes no perfil vertical do poço, melhor serão as condições para se obter altas produtividades de água.

O Gráfico 7.2 exemplifica de forma geral, a idéia de que quanto maior for a espessura atravessada dos poços, maior será a vazão. Ressalta-se, que a boa produção dos poços tubulares, tanto em termos de quantidade, como qualidade da água, dependem de fatores conjugados, principalmente a qualidade técnica construtiva do poço tubular na captação de água subterrânea.

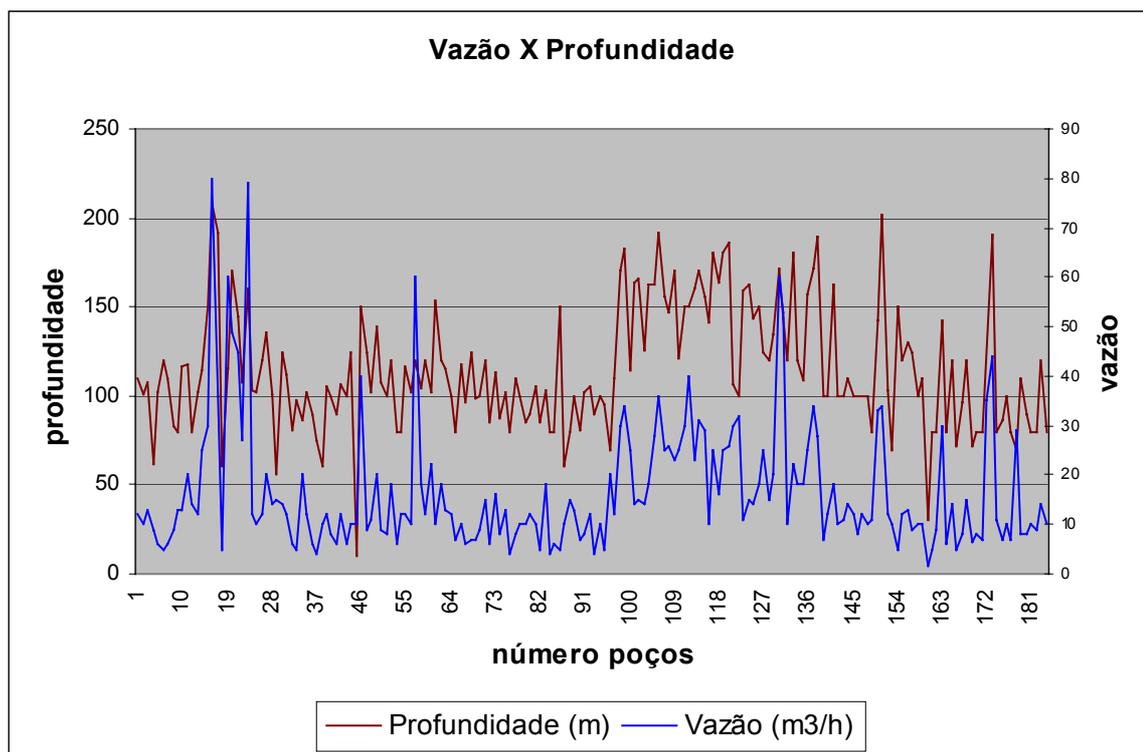
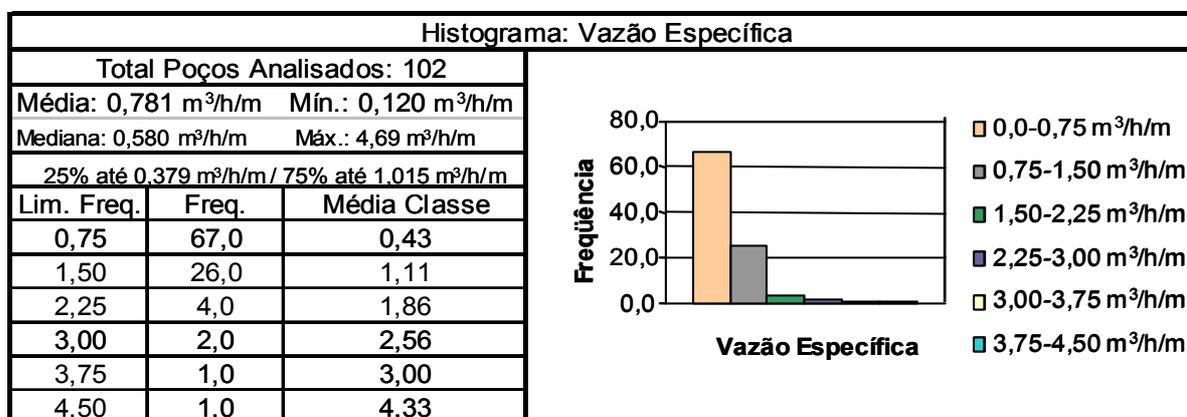


Gráfico 7.2 - Vazão X Profundidade dos poços no Aquífero Bauru no município de S. J. Rio Preto - SP.

Na análise da vazão específica (Quadro 7.7), 102 poços (particulares e públicos) apresentaram os dados necessários para o cálculo. A média calculada para a vazão específica no município é de  $0,781 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Apesar de baixo, este se enquadra dentro do limite regional de  $0,3$  a  $3,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (MENDONÇA *et al.*, 2000). Nota-se ainda, que 75% dos dados não ultrapassam o limite de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e apenas quatro poços apresentaram valores superiores a  $2,25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ .



Quadro 7.7 - Histograma e tabela de vazão específica dos poços no Aquífero Bauru em São José do Rio Preto - SP.

A construção de poços, para captação de águas subterrâneas, compreende uma série de atividades, desde a elaboração do projeto até a desinfecção final e colocação da tampa do poço. Todos esses procedimentos, bem como as condições das construções e equipamentos utilizados, são fixados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os projetos de poços devem ser elaborados em acordo com a norma ABNT-NBR 588 (1990) e os procedimentos para a construção dos poços são definidos na norma ABNT-NBR 1290 (1992).

Os poços particulares, no geral possuem profundidades entre 80 m e 120 m e são revestidos com tubos de PVC ou ferro de diâmetro variável ( $\varnothing = 4\frac{1}{2}''$ , 6'' ou 8''), apenas na porção superior, inconsolidada, do Grupo Bauru, atingindo profundidades máximas de 40 m, muitas vezes sem nenhuma cimentação de proteção sanitária no espaço anular furo-revestimento. Segundo BARCHA (1992), a maioria dos poços de propriedade particular existentes no perímetro urbano do município foram perfurados sem a elaboração de projeto técnico e, portanto, não foram construídos de forma adequada.

Os poços da prefeitura apresentam profundidades variando em torno de 100 a 190 metros de profundidade. Os diâmetros de perfuração variam de 12'' a 18'', onde é colocado o tubo de boca, o restante do furo é perfurado no diâmetro de 8'' a 12'' e o revestimento na grande maioria dos poços estão entre 6'' e 10'', geralmente sendo estes tubos de PVC geomecânico e aço calandrado, e os filtros acompanhando as mesmas especificações citados para os tubos de revestimento. A Figura 7.9 ilustra os principais aspectos construtivos observados nos poços tubulares que exploram o Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP).

Dos oito poços perfurados no Aquífero Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani), quatro foram executados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e três pela Contep S.A. Empresa Técnica de Perfurações - Contep. Os perfis construtivos foram obtidos através do Relatório Zero do Comitê de Bacia do Turvo-Grande (Unidade de Gerenciamento 15) e através de parecer técnico do IPT, realizado em 1996.

Os poços da CPRM possuem profundidades entre 1.024 m e 1.152 m, e foram perfurados pelo sistema rotativo, sendo dois da década de 70 e dois da década de 80 (IPT, 1996). Os poços mais antigos apresentam diâmetros iniciais de perfuração de 26'' e 23'' e finais de 14'' e 9 7/8''. Em sua porção mais superficial, no Grupo Bauru, possuem revestimento de aço preto, com diâmetro de 18''. Não são revestidos no basalto, e no Botucatu o revestimento é intercalado às seções filtrantes, com diâmetros entre 7'' e 8 5/8''. Os poços da

década de 80 foram perfurados com diâmetros iniciais de 30" ou 36" e final de 12 ¼". Estes são totalmente revestidos, em aço preto, com diâmetros iniciais de 18" e 20" e final 8<sup>5</sup>/<sub>8</sub>". Os filtros são de aço galvanizado ou super-reforçado, com diâmetros entre 8" e 10".

Os dois poços construídos pela Contep, no início da década de 90 (IPT, 1996), possuem profundidades de 1.188,7 m e 1.391 m e foram perfurados em sistema rotativo, com diâmetro inicial de 36" e final de 21" ou 12 ¼". São totalmente revestidos com tubos de aço preto, com diâmetros entre 20" e 8 5/8". Os filtros são de aço galvanizado, com diâmetros entre 12" e 9 5/8". Possuem proteção sanitária adequada e são equipados com bombas de eixo prolongado, com sistema de refrigeração à água.

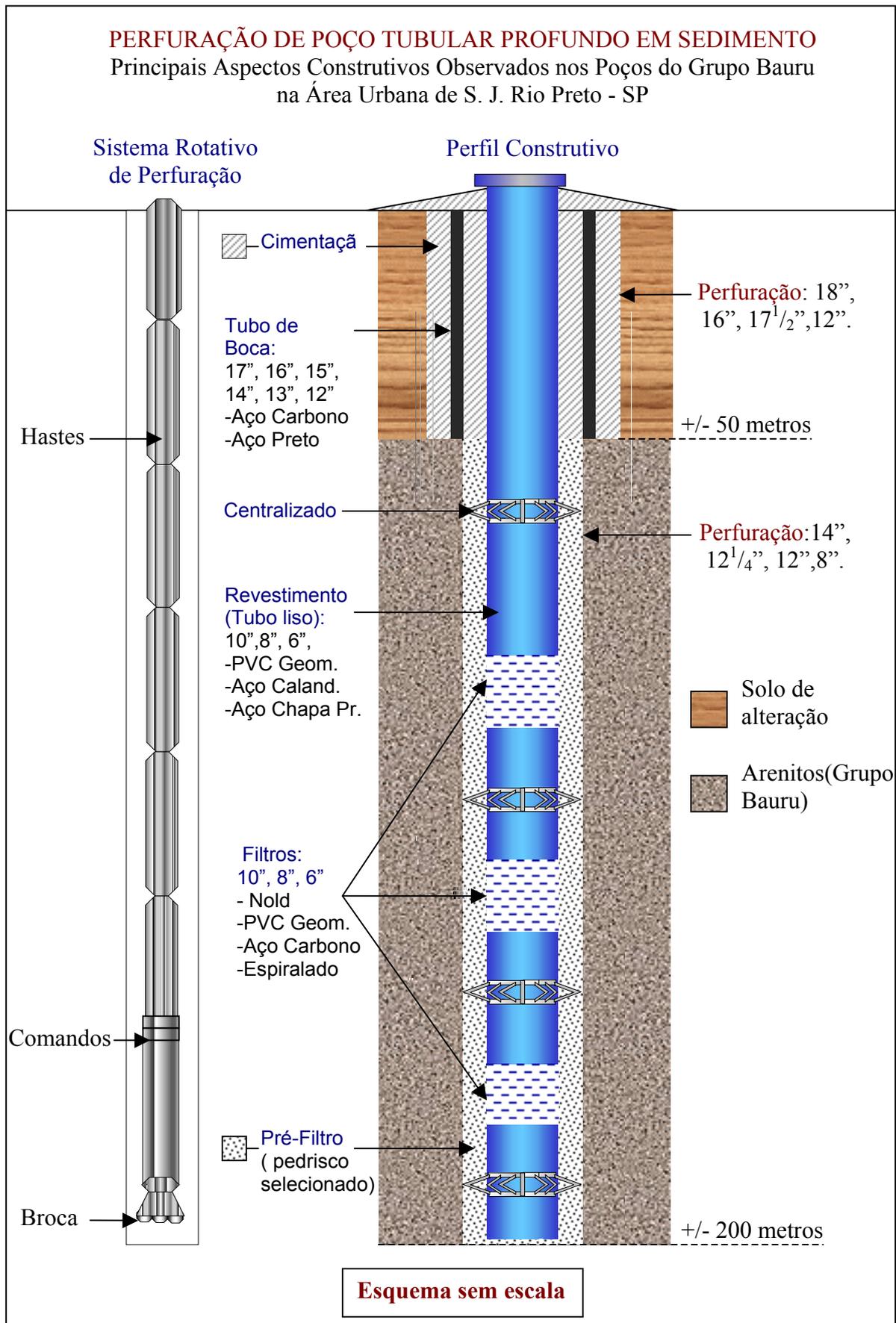


Figura 7.9 - Principais aspectos construtivos dos poços no Aquífero Bauru em S. J. do Rio Preto (SP).

A proteção sanitária envolve a aplicação de medidas construtivas de modo a vedar a entrada direta de contaminantes ou indireta através de águas de escoamento superficial, pluvial ou de formações superiores. Deve incluir também a definição do perímetro mínimo de proteção do poço, assegurado através de cercamento do local.

As condições exigíveis para a construção de poços estão definidas nas normas ABNT-NBR 588 (1990) e ABNT-NBR 1290 (1992). A Figura 7.10 apresenta esquematicamente as condições adequadas de proteção sanitária dos poços, seguindo as especificações contidas nessa norma, e incluindo alguns aspectos construtivos observados nos poços da região.

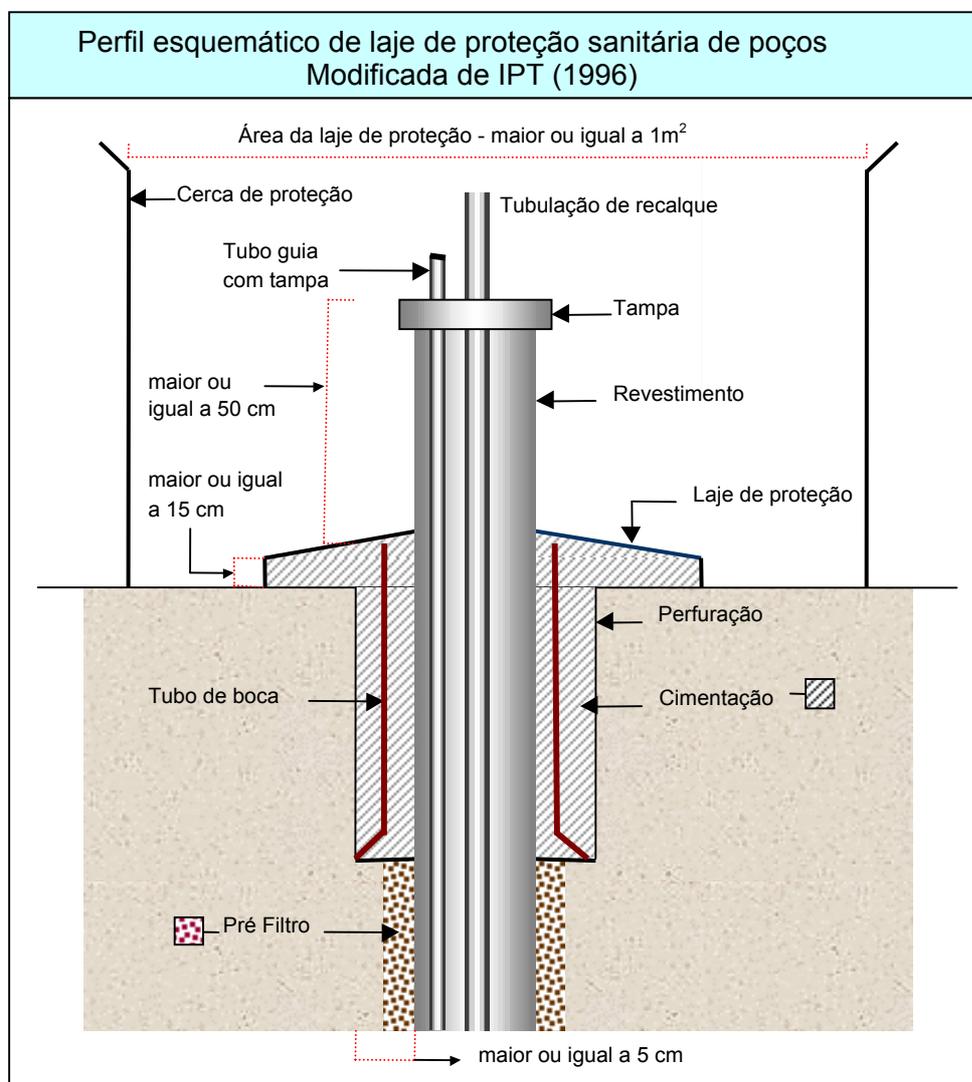
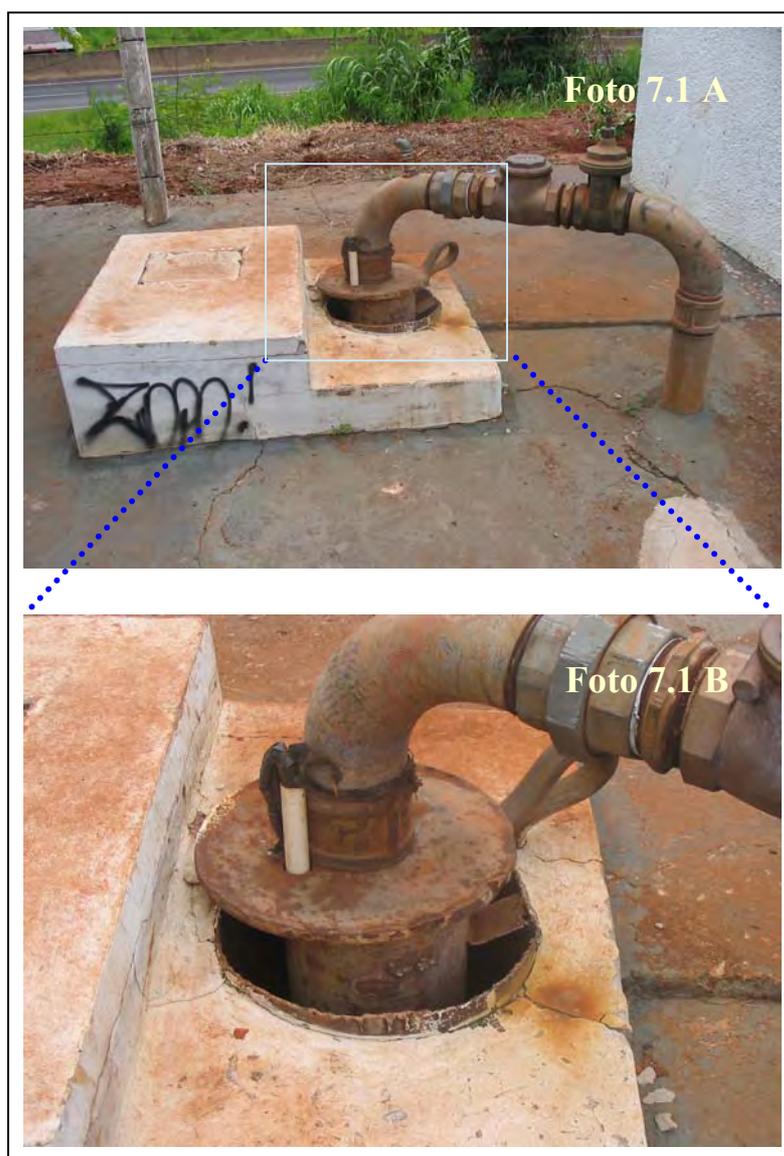


Figura 7.10 - Perfil esquemático de proteção sanitária de poços (modificada de IPT, 1996).

Alguns dos poços cadastrados da prefeitura, mostravam-se em condições inadequadas de proteção sanitária, não apresentando o cercamento de proteção, tampa de vedação do tubo de boca não alinhada ao revestimento, caixa de proteção sanitária ausente ou trincada e vazamentos, colocando em risco a potabilidade da água servida à população local.

As Fotos 7.1 A e 7.1 B, ilustram a situação aparente do poço localizado na avenida Aniloel Nazareth esquina com a rua Major Léo Lerro, no Barro Jardim Estrela. Pode-se verificar pela foto que a tampa não está alinhada e sem vedação ao tubo de boca, deixando orifício de passagem para possíveis contaminantes superficiais.



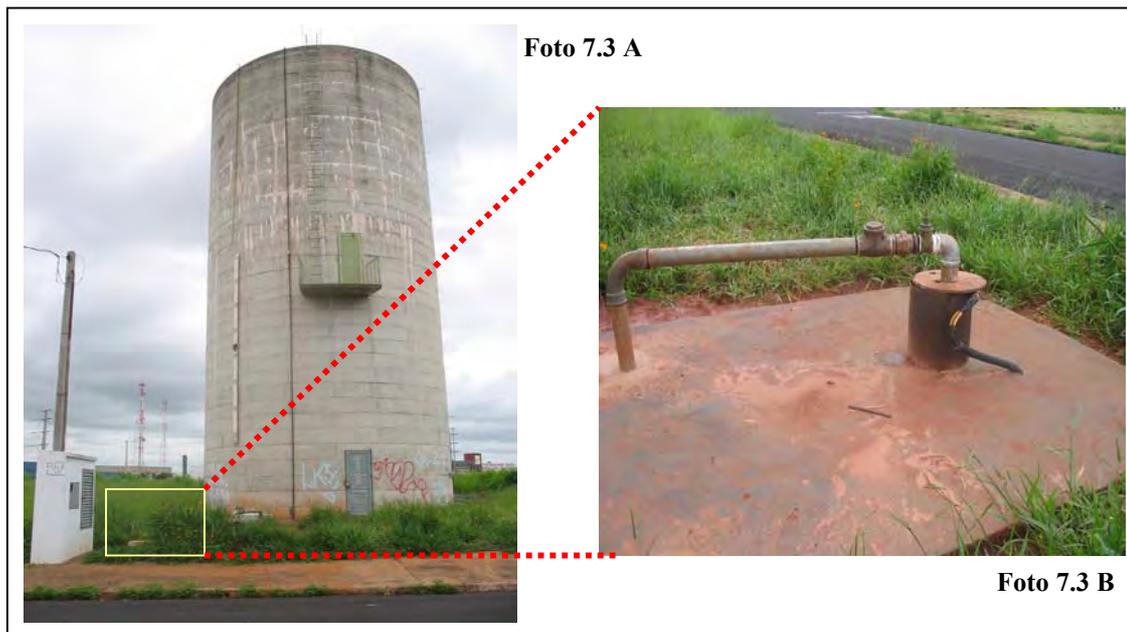
Fotos 7.1 A e B - Tampa do tubo de boca não alinhada e sem vedação.

Situação semelhante se repete também no poço localizado na avenida Aniloel Nazareth esquina com a rua Dr. Antonio Carlos Montanhês no bairro Mansur Daud. As Fotos 7.2 A, 7.2 B e 7.2 C ilustram a situação.

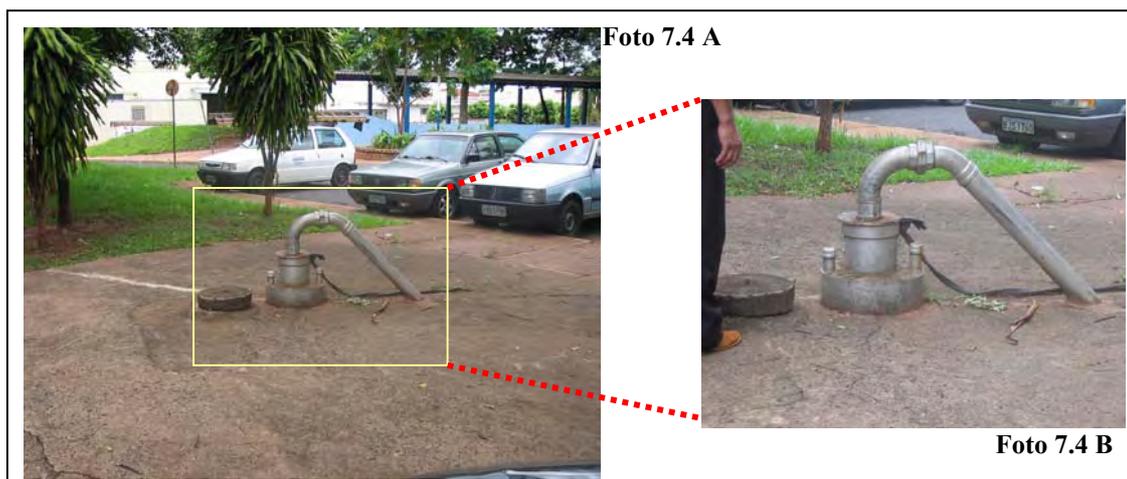


Fotos 7.2 A, B e C - Tampa do tubo de boca não alinhada e sem vedação.

Muitos dos poços cadastrados, apesar de estarem em condições gerais relativamente boas, não apresentam cerca de proteção no entorno da área do poço. São exemplos desta situação o poço localizado no bairro Mansur Daud (Fotos 7.3 A e 7.3 B) e Maceno (Fotos 7.4 A e 7.4 B). A importância de cercamento no entorno da área do poço, deve-se principalmente ao fato de que sua ausência possibilita a aproximação de animais domésticos na área da boca do poço e a presença de fezes e/ou urina poderia estar provocando contaminações no aquífero, comprometendo o uso da água.

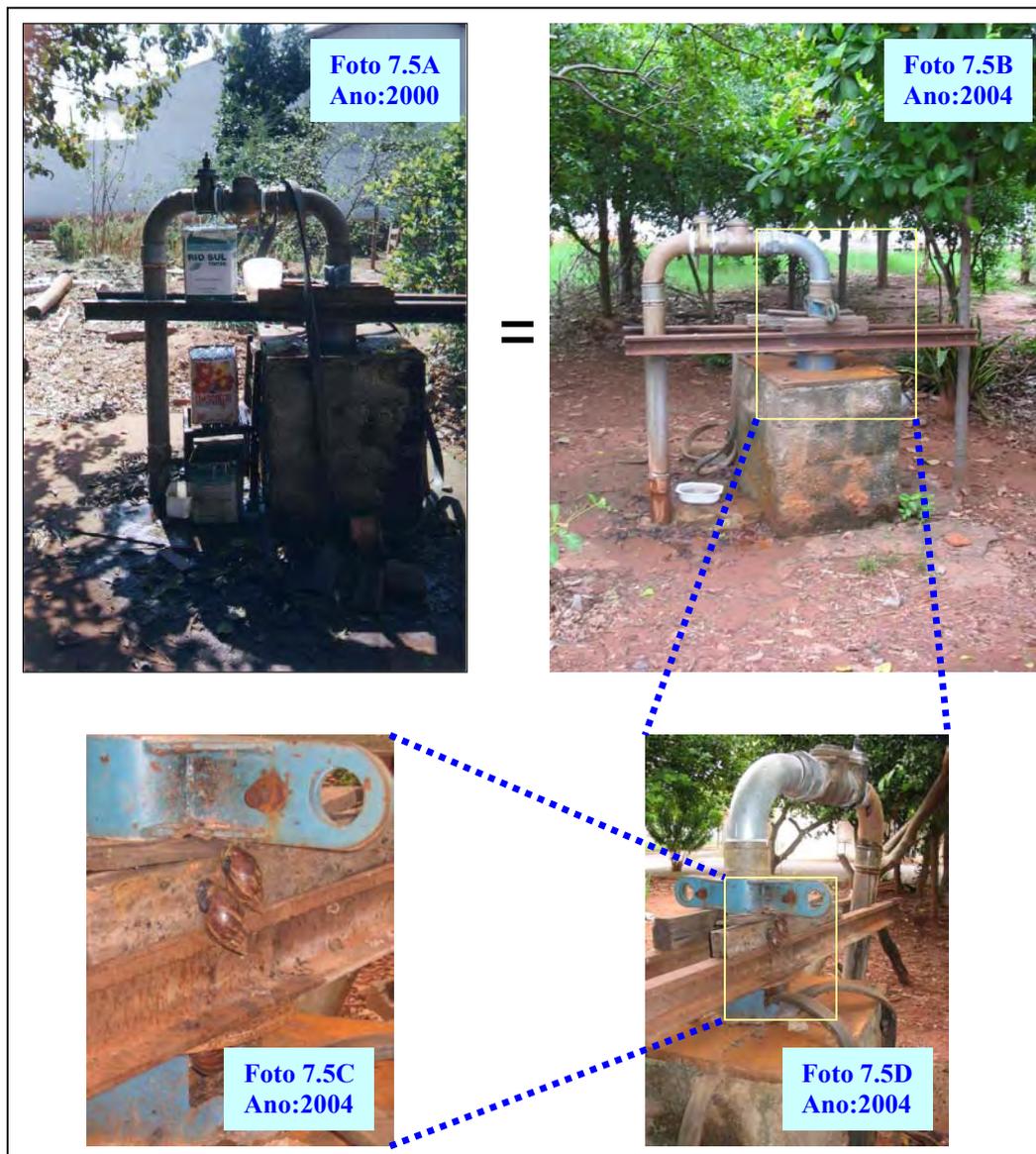


Fotos 7.3 A e B - Poço tubular em boas condições gerais, com ausência apenas da cerca de proteção.

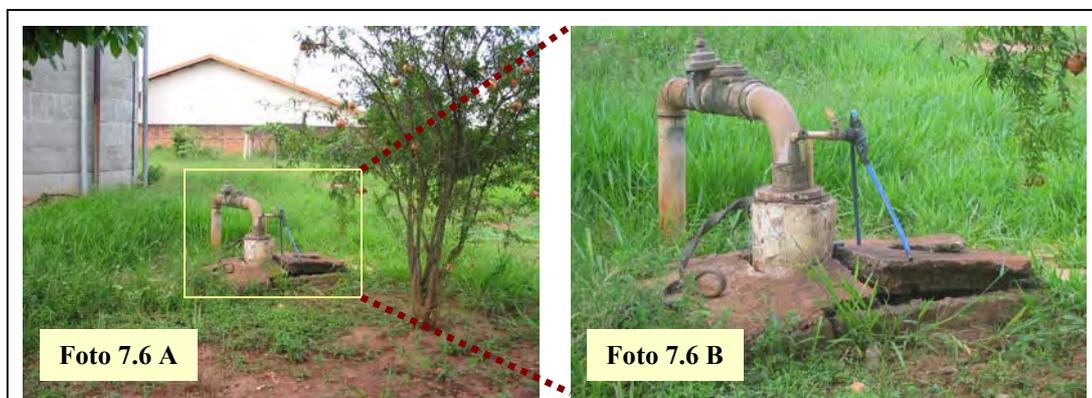


Fotos 7.4 A e B - Poço tubular em boas condições gerais, com ausência apenas da cerca de proteção.

Ainda com relação à proteção sanitária dos poços, no bairro Alto Rio Preto, no ano de 2000, em estudo de conclusão de curso, LIMA (2000) verificou a existência de poços com diversos vazamentos pelo tubo guia, proporcionando contato do aquífero com a superfície do terreno. Este exemplo pode ser observado pela Foto 7.5 A. Nesta pesquisa o mesmo poço foi visitado e como pode ser visto pelas Fotos 7.5 B, 7.5 C e 7.6 D, que os problemas ainda persistem. Próximo a este poço, verificou-se também, poço tubular com a laje de proteção sanitária parcialmente destruída, comprometendo o ideal isolamento da água existente no poço com a superfície do terreno (Fotos 7.6 A e B).



Fotos 7.5 A, B, C e D - Poço tubular com diversos vazamentos, propiciando contato água do poço com a superfície.



Fotos 7.6 A, e B - Poço tubular com a laje de proteção sanitária parcialmente destruída, comprometendo a proteção sanitária.

## 7.6. CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO AQUIFERO BAURU X BOTUCATU / PIRAMBÓIA (GUARANI) - ANÁLISE COMPARATIVA

No município de São José do Rio Preto (SP), tanto a água superficial como a subterrânea, são exploradas para fins de abastecimento público. A captação de água subterrânea é feita tanto no Sistema Aquífero Bauru como no Botucatu/Pirambóia (Guarani), superficialmente é realizada através do rio Preto e afluentes. A água subterrânea responde com 70 % do abastecimento de água do município, sendo o Sistema Aquífero Bauru o mais requisitado, visto a facilidade construtiva e operacional do poço, quando comparado com os poços no Aquífero Botucatu/Pirambóia.

Em termos de potenciabilidade, o Aquífero Botucatu/Pirambóia apresenta melhores condições hidrodinâmicas e uma reserva maior que o Aquífero Bauru, podendo a vazão apresentar valores de 10 a 20 vezes maior que o Aquífero Bauru. No entanto, o custo para instalação de um poço no Botucatu/Pirambóia é muito maior que no Bauru, podendo a construção do poço levar de 6 a 12 meses. Dessa forma, a demanda de água local não poderá ser atendida de imediato, ao passo que poços no Bauru, poderão atender a população local de forma mais rápida e menos onerosa.

Com relação à proteção das águas subterrâneas, o Aquífero Bauru por ter comportamento livre, se mostra menos protegido dos agentes contaminantes que o Aquífero Botucatu/Pirambóia, que na região encontra-se confinado. A possibilidade de contaminação das águas subterrâneas torna-se diretamente proporcional à recuperação, nos Aquíferos livres e confinados. Em resumo, pode-se dizer que a possibilidade de contaminação e recuperação no Botucatu/Pirambóia é relativamente baixa, enquanto que no Aquífero Bauru, a possibilidade de contaminação e recuperação é relativamente alta.

Do exposto acima, cabe ressaltar que, uma vez contaminadas, as águas subterrâneas não mais voltarão a seu estado natural, podendo apenas com os artificios de recuperação, minimizar os efeitos causados pelas contaminações. Sendo assim, a remediação torna-se o método mais eficiente na proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

## **CAPÍTULO 8**

### **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com relação às águas subterrâneas no Aquífero Bauru, no município de São José do Rio Preto (SP), observa-se um quadro bastante complexo no que diz respeito à situação dos parâmetros hidrogeológicos básicos analisados. Quanto à malha de poços que exploram o Sistema Aquífero Bauru, notam-se problemas dos mais variados, compreendendo desde a falta de critérios técnicos construtivos da maioria dos poços, como a não existência do cadastramento destes junto ao órgão competente. Verifica-se também, em inúmeros cadastros dos poços analisados, a falta de dados básicos de construção, bombeamento, perfis geológicos e de proteção sanitária, dificultando ainda mais o estudo realizado.

Em relação à situação do nível da água subterrânea (nível estático) do Sistema Aquífero Bauru, verifica-se em função da super-exploração, um abaixamento na superfície da água, com nível atual mais profundo do que em épocas anteriores. A média calculada para o nível estático no município é de 20,7 metros, servindo este valor como referência a novos projetos de poços tubulares e outras pesquisas a serem realizadas no município.

Os sinais de interferência entre poços também são evidentes, uma vez que poços relativamente próximos, e com a mesma cota topográfica, apresentam uma significativa diferença de profundidades. É importante esclarecer as variações que podem ocorrer na medida do nível estático, ocasionado principalmente por interferências de bombeamentos entre poços vizinhos, imprecisão na medição, e até mesmo a variação sazonal.

Outro ponto importante para a profundidade do nível estático, é o fato de que este representa a espessura da zona não saturada para os aquíferos livres. Desta forma, os relevos caracterizados pelos espigões, podem estar mais apropriados a receber possíveis instalações de empreendimentos considerados poluidores, uma vez que o caminho percorrido pelo contaminante será maior que nas regiões mais baixas.

De forma geral, o nível freático alimenta as principais drenagens do local, fazendo com que o fluxo percorra um sentido que vai das cotas topográficas mais altas (espigões) para as mais baixas (vales). Sendo assim, é de extrema importância o mapa potenciométrico, com as

linhas preferenciais do fluxo subterrâneo, pois estes auxiliam os locais a serem instalados poços de monitoramento para empreendimentos potencialmente poluidores.

O comportamento estrutural do topo da Formação Serra Geral (basalto), se mostra localmente bastante irregular, prevalecendo uma tendência de mergulho sentido sudoeste e noroeste a partir do córrego Piedade. Regionalmente, o topo apresenta mergulho para sudoeste. A importância da caracterização do contorno estrutural do topo da Formação Serra Geral para hidrogeologia na região, é o fato de que este condiciona a deposição do Grupo Bauru, ocasionando diferentes espessuras ao longo da área pesquisada.

A espessura média estimada para zona saturada (Aquífero Bauru) para área de estudo foi de 136 metros. Este valor sofre variações ao longo da área, provavelmente se espessa nos espigões e adelgaça nos vales. O conhecimento deste valor é de extrema importância para o cálculo de reserva de água existente no município, onde futuras pesquisas poderão estar abordando o tema, e assim, contribuindo com a gestão de recursos hídricos municipal.

A vazão média dos poços de propriedade particular é de 10,5 m<sup>3</sup>/h, para os poços pertencentes a prefeitura, o valor fica em torno de 21,3 m<sup>3</sup>/h. Considerando um regime curto de bombeamento na ordem de 6 horas por dia e a vazão média de 17,38 m<sup>3</sup>/h para o conjunto de poços de domínio público e privado, conclui-se que o volume de água explorado por dia no Sistema Aquífero Bauru para os 355 poços cadastrados neste trabalho, é na ordem de 37.032 m<sup>3</sup>.

Estima-se que a vazão específica no município é de 0,781 m<sup>3</sup>/h/m. Apesar de baixo, este valor se enquadra dentro do limite regional de 0,3 a 3,0 m<sup>3</sup>/h/m (MENDONÇA *et al.*, 2000). Neste contexto, observou-se que apenas 4 poços apresentaram valores superiores a 2,25 m<sup>3</sup>/h/m. A boa produção dos poços está interligada a fatores diversos, como a qualidade técnico construtiva do poço, a profundidade do poço, a localização, como também os equipamentos adequados no sistema de bombeamento dos mesmos.

Os poços perfurados no município que atravessam todo o Grupo Bauru, passando pela Formação Santo Anastácio e atingindo superficialmente ou parcialmente o basalto da Formação Serra Geral, geralmente apresentam maiores vazões que aqueles que se restringem a Formação Adamantina, visto a maior espessura de sedimentos presentes no perfil vertical do poço, e além do fato de que a Formação Santo Anastácio, sotoposta a Formação Adamantina, apresenta condições hidrogeológicas mais favoráveis para a produção de água.

O sistema rotativo de perfuração dos poços é o mais utilizado em São José do Rio Preto. Os poços apresentam profundidades e características construtivas diversas. Com relação à proteção sanitária, observa-se que a maioria dos poços não apresentam as condições mínimas adequadas de isolamento. A ausência de cercamento, cimentação, laje de proteção e tampa de vedação do tubo de boca, são os principais aspectos observados que comprometem o bom funcionamento do poço, deixando-o mais susceptível aos agentes poluidores, comprometendo assim, o uso da água.

Sendo assim, fica claro que o Aquífero sofre sérios riscos de contaminação e já apresenta fortes indícios da ação antrópica interferindo na qualidade das águas subterrâneas. Pesquisadores locais, já alertaram a presença de nitratos nas águas, sendo que alguns locais, principalmente na região central da área urbana, estes valores aumentam, inviabilizando o seu uso. A necessidade de medidas adequadas por parte do poder público, no gerenciamento dos recursos hídricos na área estudada, visando ações de remediações, devem ser tomadas para que o problema não se agrave ainda mais.

A melhoria nas condições dos aspectos de isolamento sanitário dos poços; o dimensionamento adequado da vazão de exploração; o monitoramento de parâmetros bacteriológicos e físico-químicos das águas dos poços; o completo cadastramento dos poços que utilizam o Aquífero; levantamento de fontes poluidoras; a análise de mapas potenciométricos para o auxílio a projetos de geologia, engenharia e nos empreendimentos que potencialmente causam impactos ao meio ambiente; os condicionantes geológicos como a espessura do Grupo Bauru e comportamento estrutural do topo do basalto para auxílio na locação de novos poços, constituem-se nas principais recomendações que visam melhorar os aspectos observados nesta pesquisa.

O aprofundamento do conhecimento dos recursos hídricos da cidade e o estabelecimento de um plano de gerenciamento é de vital importância para que se evite a continuidade da degradação da qualidade das águas e garanta a sua exploração em níveis racionais e sustentáveis.

## CAPÍTULO 9

### **9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUIAR, M. C. P. (2001) Avaliação Quantitativa de Propriedades Geotécnicas e Hidrogeológicas com vista à Vulnerabilidade do Aquífero Bauru em São José do Rio Preto. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro (SP), 118p.

ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. (1980) Geologia do Oeste Paulista e Áreas Fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, 1980. Sociedade Brasileira de Geologia - SBG. v.5, p. 2799-2812.

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. (1995) Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacurembó. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Paraná - Brasil. Mapas, 16 p.

ARID, F. M. (1966) A Formação Bauru na Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São José do Rio Preto (SP), 93 p.

ARID, F. M.; CASTRO, P. R. M.; BARCHA, S.F. (1970) Estudos Hidrogeológicos no Município de São José do Rio Preto (SP). Boletim Sociedade Brasileira de Geologia, 19 (1). São Paulo, p. 43-69.

ARID, F. M. (1992) Contaminação da Água Subterrânea e a Saúde Pública em São José do Rio Preto (SP). Universitas, 2 (1), p. 55-56.

ARID, F. M. (1994) O Sistema Público de Abastecimento de Água em São José do Rio Preto, Estado de São Paulo: Qualidade da Água e Saúde Pública. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. Recife, PE, p.435-445.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE (1998) Geologia de Engenharia. OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. São Paulo. ABGE; FAPESP; CNPQ, 584 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NB 588 (1990) Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NB 1290 (1992) Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 6 p.

ATLAS REGIONAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (1978) Região 8. São José do Rio Preto (SP). Secretaria de Economia e Planejamento.

BARCELOS, J. H.; LANDIM, P. M. B.; SUGUIO, K. (1981) Análise Estratigráfica das Sequências Cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. III Simpósio Regional de Geologia. Curitiba. Sociedade Brasileira de Geologia / Núcleo SP. v. 2, p. 90-102.

BARCHA, S.F.; ARID, F.M. (1973) Água subterrânea na Formação Bauru, Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Boletim de Ciências Nº 1. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. São José do Rio Preto (SP), p.68-101.

BARCHA, S. F. (1980) Aspectos Geológicos e Províncias Hidrogeológicas da Formação Bauru na Região Norte-Occidental do Estado de São Paulo. Tese de Livre Docência. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, 209 p.

BARCHA, S.F. (1992) Nitratos em Água Subterrânea no meio Urbano. Anais XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP, São Paulo (SP), p.200-201.

BARCHA, S.F. (1996) Urbanização e Impactos sobre Aquíferos. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. Vitória (ES), v.3, p. 683-687.

BARCHA, S.F. (1997) Água e abastecimento urbano em São José do Rio Preto (SP). X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. CD-ROM. 11p.

BARCHA, S.F. (2000) Água e abastecimento urbano em São José do Rio Preto (SP). X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. CD-ROM. 11p.

BRAGA, A. C. O. (1999) Material Didático para os cursos de Hidrogeologia e Mecânica de Fluidos. Curso de Geologia. Unesp Campus de Rio Claro (SP). CD-ROM.

BRANDT NETO, M.; PETRI, S.; COIMBRA, A. M. (1978) Considerações sobre a Estratigrafia e Ambiente de Sedimentação da Formação Bauru. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia - SBG. Recife, v. 2, p. 557-566.

CAMPOS, J.E.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; PERROTA, M.M.; SILVEIRA, R.E.I.; TAKAHASHI, A.T. (2000) Carta Hidrogeológica do Estado de São Paulo (Brasil) na escala de 1:1.000.000. Resultados Parciais. I Congresso Internacional de Água Subterrânea. Fortaleza, Brasil.

COIMBRA, A. M. (1976) Arenitos da Formação Bauru: Estudo de Áreas Fonte. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 2v.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (1998a) Noções Básicas sobre Poços Tubulares. Cartilha Informativa. Superintendência Regional do Recife. [http:// www.cprm.gov.br/](http://www.cprm.gov.br/)

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (1998b) Execução de Testes de Bombeamento em Poços Tubulares. Manual Prático de Orientações. Superintendência Regional do Recife. [http:// www.cprm.gov.br/](http://www.cprm.gov.br/)

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1974) Água Subterrânea e Poços Tubulares. São Paulo, SP.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1994) Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. 95p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (2001)- Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. 97p.

COUTINHO, J. M. V.; COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; ROCHA, G. A. (1981) Lavas Fonolíticas associadas ao Grupo Bauru no estado de São Paulo. III Simpósio Regional de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia - SBG Núcleo SP. Curitiba. v. 1, p. 324-327.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1976) Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S.A. Casanova, 220. Barcelona - 11. Primera Edición. Tomos I e II.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1976) Estudo de Águas Subterráneas. Regiões administrativas 7, 8, 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba), 3 vol.

DIVISÃO REGIONAL AGRÍCOLA - DIRA (2000) São José do Rio Preto (SP) [http:// www.prefeiturasãojosédoriopreto.gov.br/](http://www.prefeiturasãojosédoriopreto.gov.br/)

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL, F. J. (1997) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM.

FERNANDES, L. A. (1992) A Cobertura Cretácea Suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): Os Grupos Bauru e Caiuá. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 129 p.

FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. (1994) O Grupo Caiuá (Ks): Revisão Estratigráfica e Contexto Depositional. Revista Brasileira de Geociências, 24 (3), p. 164-176.

FERNANDES, L. A. (1998) Estratigrafia e Evolução Geológica da parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 216 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. A. (1993) Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterráneas: Uma metodologia Embasada em Dados Existentes. Instituto de Geociências. São Paulo. Boletim, 92p.

GUYMON, G.L. (1994) Unsaturated Zone Hydrology. New Jersey, Prentice Hall. 209p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1972a) Folha Topográfica de São José do Rio Preto (SP). Esc.: 1:50.0000. Folha SF-22-X-B-IV-3.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1972b) Folha Topográfica de Nova Granada (SP). Esc.: 1:50.0000. Folha SF-22-X-B-IV-1.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2000) Censo 2000. <http://www.ibge.gov.br/>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT  
(1981) Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500000, v.1.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT  
(1996) Diagnóstico Básico da Situação das Águas Subterrâneas de São José do Rio Preto e seus Entornos. Parecer Técnico N<sup>o</sup>. 6.870. São Paulo, 74p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT  
(2001) Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande - Relatório Final. Relatório N<sup>o</sup>. 40.515 - Relatório Zero do Comitê de Bacias do Turvo/Grande. São Paulo, 341 p.

LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C. (1976) Estratigrafia da Formação Caiuá. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia. Ouro Preto. v.2, p. 195-206.

LANDIM, P. M. B. (1998) Análise Estatística de Dados Geológicos. Editora Unesp. São Paulo, 266 p.

LIMA, A. A. (2000) Estudo do Lençol Freático e Avaliação Hidrogeológica do Aquífero Bauru na Área Urbana do Município de São José do Rio Preto - SP. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista - Unesp. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro. Curso de Geologia, 63 p.

MASTER GUIA (2000) São José do Rio Preto - 3D. Master Guia Geodados <http://www.masterguia.com.br/imagens.htm>

MENDONÇA, J.L.G.; GUTIERRE, T.M.C. (2000) O Potencial Hidrogeológico no Estado de São Paulo. I Congresso Internacional de Água Subterrânea. Fortaleza - Brasil. CD ROM.

REBOUÇAS, A. C. (1976) Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná - Análise de pré- viabilidade. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo - USP. Instituto de Geociências, 143p.

REBOUÇAS, A. C. (1992) Impactos Ambientais nas Águas Subterrâneas. Anais do VII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS, Belo Horizonte, MG, p. 11-17.

REBOUÇAS, A.C. (1994) Sistema Aquífero Botucatu no Brasil. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS, p.500-509.

ROCHA, G.A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; CAIXETA, J.B. (1982) Tentativa de Zoneamento das Características Hidráulicas e Hidroquímicas do Aquífero Bauru. I Encontro de Geologia & Hidrogeologia: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Sociedade Brasileira de Geologia - SBG/SP. São Paulo, p.37-56.

SILVA, Z. A. V. (2002) Desenvolvimento Urbano e Impactos Antrópicos no Aquífero Bauru - São José do Rio Preto um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Centro de Estudos Ambientais. Rio Claro (SP), 86p.

SOARES, P. C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A. F. (1980) Ensaios de Caracterização Estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 10 (3), p. 177-185.

SUGUIO, K. (1973) Formação Bauru: Calcários e Sedimentos Detríticos Associados. Tese de Livre - Docência. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 2 v.

TUCCI, C. E. M. (2002) Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora UFRGS, 3<sup>a</sup>. Ed., 944p.

ZIMBRES, E. (2000) Meio Ambiente pro Br - Guia Avançado sobre Água Subterrânea. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. [http:// www.meioambienteprobr.com.br](http://www.meioambienteprobr.com.br)

## **Anexo 1**

**Dados dos Poços no Aquífero Bauru  
(São José do Rio Preto - SP)**

## **Anexo 2**

**Dados dos Poços no Aquífero Botucatu/Pirambóia - Aquífero Guarani  
(São José do Rio Preto - SP)**

## **Anexo 3**

### **Mapa de Localização dos Poços (São José do Rio Preto - SP)**

## **Anexo 4**

**Mapa Potenciométrico  
(São José do Rio Preto - SP)**