

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

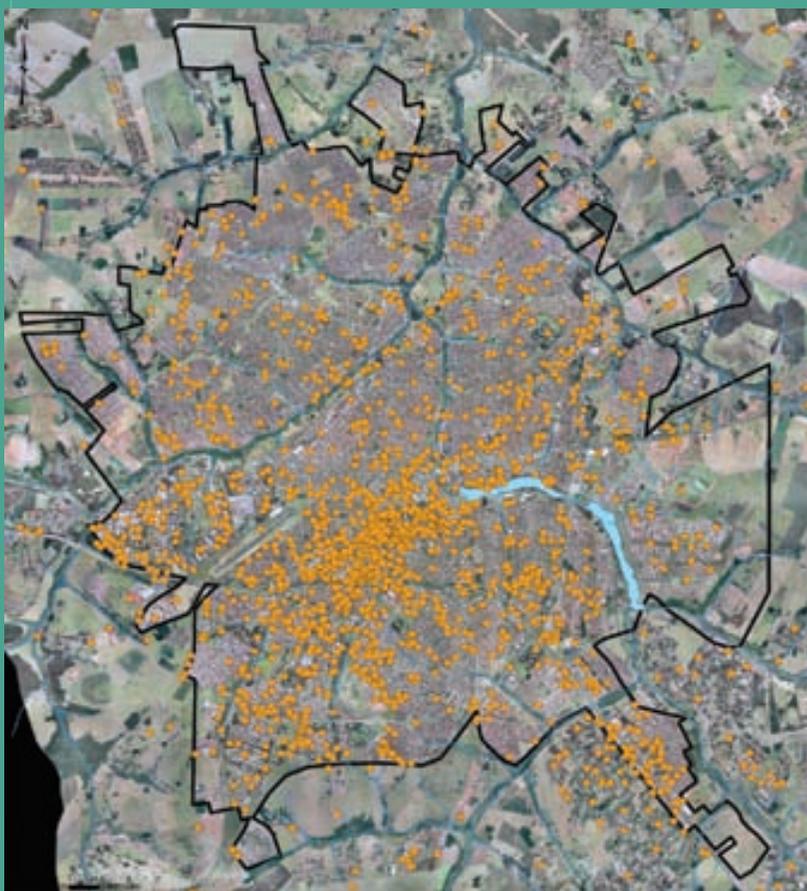
Secretaria do Meio Ambiente • Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos

CADERNOS DO PROJETO AMBIENTAL ESTRATÉGICO AQUÍFEROS

Número 4

PROJETO SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA



São Paulo/2011

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE • SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS

CADERNOS DO PROJETO AMBIENTAL ESTRATÉGICO AQUÍFEROS

Número 4

PROJETO SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

SERVMAR | DAEE | IG

São Paulo / 2011

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto Geológico

S63p São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico; Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, Departamento de Águas e Energia Elétrica.
Projeto São José do Rio Preto : restrição e controle de uso de água subterrânea / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Geológico; Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, Departamento de Águas e Energia Elétrica – São Paulo : IG/DAEE, 2011.

140 p. : il. – (Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos ; nº 4)

ISBN 978-85-87235-15-2

1. Águas subterrâneas – legislação. 2. Contaminação das águas subterrâneas. 3. Outorga e fiscalização – São Paulo. 4. Fundamentos Jurídicos. I. Título.

CDD 551.49

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador *Geraldo Alckmin*

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretário *Bruno Covas*

INSTITUTO GEOLÓGICO

Diretor *Ricardo Vedovello*

SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS

Secretário *Edson Giriboni*

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

Superintendente *Alceu Segamarchi Júnior*

APRESENTAÇÃO

Em 15 de abril de 2005 o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, por meio da deliberação CRH nº 52, instituiu diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas. Estas áreas seriam implantadas com o apoio de estudos hidrogeológicos, levando em consideração os Planos de Bacias Hidrográficas, os Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, os Programas Estaduais de Monitoramento de Qualidade e Atendimento à Potabilidade que evidenciem os efeitos negativos da exploração e contaminação e indiquem a necessidade da aplicação de ações preventivas e corretivas.

Os Planos de Bacia ou os Relatórios de Situação, entretanto, não se reportavam a tal detalhe, como também não se dispunham de estudos desta natureza, nem, tampouco, um método de trabalho conhecido. Este fato conduziu à preparação de estudos-piloto propostos pela Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CRH. A partir de seis regiões pré-selecionadas no Estado foram escolhidas duas em terrenos geológicos distintos: uma nos domínios dos aquíferos sedimentares da bacia hidrográfica do Turvo-Grande e outra no aquífero fraturado da bacia hidrográfica do Alto Tietê. Os resultados do Alto Tietê (sub-bacia do Jurubatuba) foram apresentados no nº 1 dos Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos.

Esta publicação sintetiza os estudos desenvolvidos no município de São José do Rio Preto, Bacia do Turvo Grande, região de ocorrência do aquífero Bauru, onde se verifica elevada densidade de poços na área central da cidade. Por conta disso existem fortes indícios de abatimento dos níveis d'água associados a um cenário de contaminação das águas subterrâneas, principalmente por nitratos.

BRUNO COVAS
Secretário do Meio Ambiente

EDSON GIRIBONI
*Secretário de Saneamento
e Recursos Hídricos*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	7
Localização da Área	7
Uso e Ocupação do Solo e Aspectos Sócio-Econômicos....	8
Infra-Estrutura Sanitária	11
Poços de Produção.....	18
Geomorfologia, Hidrografia e Clima.....	26
Hidrogeologia	29
2. CARACTERIZAÇÃO DA QUANTIDADE DA ÁGUA	
SUBTERRÂNEA	35
Uso da Água Subterrânea e Vazão Explorada	35
Modelo Hidrogeológico Conceitual de Fluxo.....	44
Modelo Hidrogeológico Numérico	48
Recarga e Balanço Hídrico.....	57
3. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS	
SUBTERRÂNEAS.....	67
Vulnerabilidade dos Aquíferos.....	67
Análises Químicas	69
Ocorrência do Nitrato.....	71
Ocorrência do Cromo.....	73
Comparação entre o Nitrato e o Cromo.....	75

4. PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO	81
Critérios para Aplicação de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea	81
Proposta de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea	83
5. FUNDAMENTOS JURÍDICOS E ASPECTOS CONCEITUAIS DA PROPOSTA.....	95
6. CONCLUSÕES.....	105
7. RECOMENDAÇÕES.....	113
8. REFERÊNCIAS	117
9. EQUIPE TÉCNICA.....	123

FIGURAS

Figura 1.1	– Localização da área de estudos	8
Figura 1.2	– Uso e ocupação do solo na região de São José do Rio Preto	9
Figura 1.3	– Distribuição de água na área urbana do município de São José do Rio Preto (PMSJRP, 2009).....	13
Figura 1.4	– Ocupação urbana de São José do Rio Preto na década de 20 e na década de 70	16
Figura 1.5	– Sistema de coleta e afastamento de esgoto da área urbana do município de São José do Rio Preto	17
Figura 1.6	– Cadastro do DAEE - poços outorgados em São José do Rio Preto	20
Figura 1.7	– Poços do SEMAE utilizados no abastecimento público de água de São José do Rio Preto	21
Figura 1.8	– Localização dos poços sem outorga (clandestinos) na região de São José do Rio Preto	22
Figura 1.9	– Distribuição dos poços de produção por diferentes tipos de uso.....	23
Figura 1.10	– Dados de vazão de exploração dos poços	24
Figura 1.11	– Bacia e Sub-Bacias Hidrográficas do Turvo-Grande (IPT, 1999)	27
Figura 1.12	– Hidrografia da área de estudo.....	28
Figura 1.13	– Mapa Geológico do Grupo Bauru (Silva, 2003)..	30
Figura 2.1	– Número de poços por classe de vazão	39
Figura 2.2	– Poços em exploração na área de estudo (1.953 poços).....	40

Figura 2.3	– Densidade de poços em células de 500 x 500 m (quadriculado) na região central do município de São José do Rio Preto	41
Figura 2.4	– Número de poços por célula de 500 x 500 m...	42
Figura 2.5	– Número de poços construídos por décadas ..	47
Figura 2.6	– Modelo conceitual de circulação de água subterrânea na área de estudo de acordo com a seção construída ao longo do perfil X-X'.....	48
Figura 2.7	– Área de estudo com as drenagens e limites do modelo numérico.....	49
Figura 2.8	– Comparação entre mapas potenciométricos medido e modelado	51
Figura 2.9	– Mapa potenciométrico do modelo numérico..	52
Figura 2.10	– Zonas com diferentes recargas adotadas no modelo. Zona 1 (400 mm/a), Zona 2 (300 mm/a), Zona 3 (200 mm/a), Zona 4 (204 mm/a) e Zona 5 (255 mm/a).....	54
Figura 2.11	– Mapa potenciométrico gerado no modelo.....	55
Figura 2.12	– Simulação em três dimensões da superfície livre do aquífero, a partir da superfície topográfica.	55
Figura 3.1	– Vulnerabilidade do aquífero à contaminação, atividades indicativas de carga contaminante potencial e áreas contaminadas	67
Figura 3.2	– Concentração do nitrato nos poços da região (levantamento Servmar).	71
Figura 3.3	– Concentração de nitrato em poços localizados na região urbana de São José do Rio Preto (Silva, 2002).....	72
Figura 3.4	– Resultados das análises químicas para nitrato ..	73
Figura 3.5	– Concentração do Cromo (total) nos poços (levantamento Servmar)	74
Figura 3.6	– Resultados das análises químicas para cromo ..	75
Figura 3.7	– Concentração de cromo (total) em amostras coletadas em três períodos diferentes de bombeamento	76

Figura 3.8	–	Concentração de nitrato (N-NO ₃ ⁻) em amostras coletadas em três períodos diferentes de bombeamento	76
Figura 3.9	–	Concentração de cromo em amostras coletadas em dois períodos diferentes de bombeamento	77
Figura 3.10	–	Concentração de nitrato em amostras coletadas em dois períodos diferentes de bombeamento	77
Figura 4.1	–	Método da somatória das vazões de exploração.....	82
Figura 4.2	–	Zonas de Ações Prioritárias (ZAP)	85
Figura 4.3	–	Zonas de Ações Prioritárias, poços de produção existentes e a delimitação da zona urbana de São José do Rio Preto	86

TABELAS

Tabela 1.1	– Volume macromedido da matriz hídrica.....	13
Tabela 1.2	– Perdas na rede de distribuição de água, em m ³ /dia e percentual do volume produzido ...	14
Tabela 1.3	– Coleta e tratamento de esgoto	18
Tabela 2.1	– Volume de água explorada.....	36
Tabela 2.2	– Uso das águas subterrâneas	38
Tabela 2.3	– Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bauru	46
Tabela 2.4	– Taxas de recarga adotadas no modelo para o cenário atual.....	53
Tabela 2.5	– Recarga natural e induzida e aporte do Aquífero Guarani	60
Tabela 2.6	– Disponibilidade hídrica subterrânea (em 10 ⁶ m ³ /ano).....	62
Tabela 4.1	– Proposta de medidas de restrição e controle	89

LISTA DE SIGLAS

APP	– Área de Preservação Permanente
CATI	– Casa da Agricultura Regional de São José do Rio Preto
CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM	– Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRH	– Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DAEE	– Departamento de Águas e Energia Elétrica
ETA	– Estação de Tratamento de Água
ETP	– Evapotranspiração Potencial
ETR	– Evapotranspiração Real
IAC-CIAGRO	– Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	– Índice de Desenvolvimento Humano
IG	– Instituto Geológico
IPT	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LAMO	– Laboratório de Modelos Físicos da Universidade de São Paulo
PMSJRP	– Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto
SEMAE	– Serviço Municipal de Água e Esgoto
SES	– Secretaria de Estado da Saúde
SERHS	– Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento
SMA	– Secretaria do Meio Ambiente
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
SIGRH	– Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
SIPOL	– Sistema de Fontes de Poluição

UNESP	- Universidade Estadual Paulista
UTM	- Sistema Universal Transverso de Mercator
VMP	- Valores Máximos Permitidos
VOI	- Valores Orientadores de Intervenção
VRQ	- Valor de Referência de Qualidade
ZAP	- Zonas de Ações Prioritárias

INTRODUÇÃO

Esta publicação representa uma síntese dos trabalhos e resultados obtidos no projeto piloto para a “**Delimitação de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso de Águas Subterrâneas no Município de São José do Rio Preto – Bloco A – Aquífero Sedimentar**”, executado pela Servmar Serviços Técnicos Ambientais, mediante contrato celebrado com o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE.

O projeto foi executado no período de Abril de 2007 a Dezembro de 2008, com foco na caracterização da quantidade e qualidade da água do Sistema Aquífero Bauru, e o desenvolvimento de metodologia própria com a finalidade de apresentar uma proposta de restrição e controle de uso da água subterrânea no município.

As atividades contemplaram levantamentos hidrogeológicos e análises químicas da água de poços, elaboração de modelo conceitual e numérico de fluxo da água subterrânea, compilação do arcabouço legal incidente, bem como uma abordagem dos aspectos físicos, econômicos e sociais.

Os mapas produzidos neste projeto foram elaborados em base digital utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG), programa ArcGIS versão 9.2. Os mapas em SIG foram georreferenciados em UTM, Fuso 23, *datum* SAD 69, na escala 1:50.000, compatível com o Sistema Georreferenciado de Informações – GISAT do DAEE, em coordenadas UTM, *datum* SAD 69, zona 23S.

A motivação para executar este projeto apoiou-se em três razões principais: a suspeita de superexploração do Aquífero Bauru na região; a importância do manancial subterrâneo para o abastecimento do município de São José do Rio Preto; e a necessidade de garantir o uso sustentável deste recurso hídrico.

O gerenciamento dos recursos hídricos, segundo a Política Estadual de Recursos Hídricos, tem por objetivo garantir a sustentabilidade, promovendo a distribuição equitativa das disponibilidades hídricas entre usuários competitivos, garantindo a disponibilidade e a qualidade das águas para a geração presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras, além de assegurar padrões de qualidade compatíveis com as necessidades dos usuários.

O Sistema Aquífero Bauru é importante fonte de abastecimento para toda a porção oeste do Estado de São Paulo. No município de São José do Rio Preto, a água subterrânea proveniente de poços tubulares representa mais de 70% do volume distribuído pelo Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto - SEMAE (2009), sendo que o Sistema Aquífero Bauru representa a maior parte deste volume de água.

A possibilidade de obtenção de água subterrânea a baixo custo, principalmente a partir das décadas de 80 e 90, aliada à incipiente aplicação dos instrumentos legais que regulamentam o uso, foram, provavelmente as principais causas do crescimento acelerado e desordenado da atividade de perfuração de poços em São José do Rio Preto. Estudos recentes indicaram abatimento do nível da água da unidade aquífera Adamantina (Aquífero Bauru), em sua região central (Oliveira, 2002; Lima, 2004).

Em 2000, o Relatório de Situação de Recursos Hídricos, publicado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – CRH, já citava indícios de rebaixamento excessivo do nível d'água em São José do Rio Preto devido à extração acentuada das águas subterrâneas.

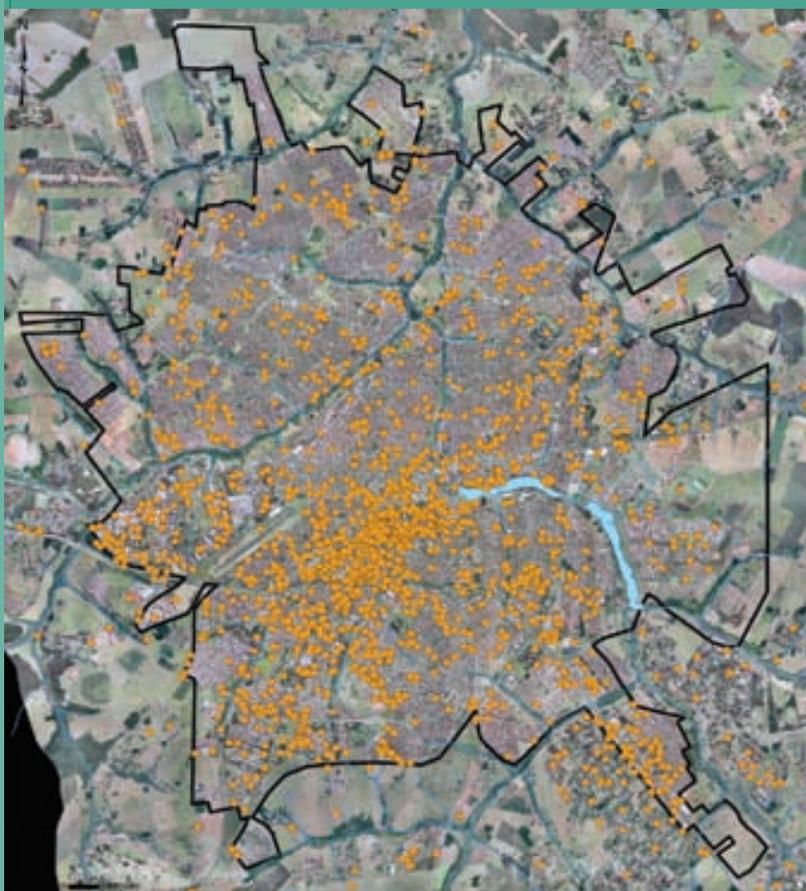
O DAEE possui pouco mais de 360 poços outorgados. Levantamentos do SEMAE, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, indicam a existência de outros 1.700 poços sem outorga (clandestinos), totalizando cerca de 2.000 poços tubulares na área.

Além disso, estudos indicam que as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do Aquífero Bauru são mais elevadas em relação aos outros sistemas aquíferos do Estado. O nitrato provém, em geral, de esgotos domésticos de áreas urbanas e pela aplicação excessiva de fertilizantes em áreas rurais, e vem sendo identificado pelo programa de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas).

Diante desse cenário, foi necessário realizar estudos hidrogeológicos para avaliar os potenciais efeitos negativos da exploração e da contaminação do Aquífero Bauru na região de São José do Rio Preto, em conformidade com a Deliberação nº 52 de 2005 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH, que instituiu diretrizes e procedimentos para controle de captação e uso das águas subterrâneas.

Capítulo 1

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA



1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Neste capítulo é apresentada a caracterização da área estudada sob os aspectos físicos e sócio-econômicos, como o uso e ocupação do solo, dados populacionais, infra-estrutura sanitária, poços de produção, geologia e hidrogeologia.

Localização da Área

A área de estudos, com aproximadamente 728 km², localiza-se entre as coordenadas 20°55' e 20°40' de latitude e 49°15' e 49°30' de longitude, abrangendo praticamente toda a área do município de São José do Rio Preto, o distrito de Engenheiro Schmidt e pequenas partes dos municípios de Mirassolândia, Ipiranga, Onda Verde, Guapiaçu, Cedral, Bady Bassitt, Mirassol e Bálsamo, situadas nos limites da área (**Figura 1.1**).

Os estudos foram concentrados na zona urbana do Município de São José do Rio Preto, localizado a noroeste do Estado de São Paulo com área total de 434 km² e perímetro urbano de 97 km². O município de São José do Rio Preto limita-se a Norte com Ipiranga e Onda Verde, a Leste, Guapiaçu, a Sul, Bady Bassitt e Cedral e a Oeste Mirassol, distando 450 km da capital do Estado, pela rodovia Washington Luis (SP-310), e 700 km de Brasília, pela Rodovia Transbrasiliana (BR-153).

A área está inserida na Sub Bacia do Rio Preto pertencente à Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos rios Turvo e Grande (UGRHI 15). É drenada pelo Rio Preto e seus afluentes, tendo relevância os córregos Borá, Canela e Piedade que cortam a zona urbana do município de São José do Rio Preto.



Figura 1.1 – Localização da área de estudos.

Uso e Ocupação do Solo e Aspectos Sócio-Econômicos

O levantamento dos aspectos sócio-econômicos e os relativos ao uso do solo concentraram-se no município de São José do Rio Preto e teve por objetivo a busca por dados que pudessem influenciar a qualidade das águas subterrâneas e o uso do recurso hídrico.

O uso do solo pode ser dividido, basicamente, em dois perfis com modelos de ocupação, problemas e características bastante peculiares, a zona rural e a zona urbana.

Pode-se considerar que a grande mancha urbana corresponde à cidade de São José do Rio Preto, apesar de ainda ocorrer pequenos núcleos, como o Distrito de Engenheiro Schmidt, as cidades de Cedral e Bady Bassitt e uma borda da cidade de Mirassol. A zona urbana de São José do Rio Preto ocupa uma área de 97 km², situada na parte central da área de estudo.

O mapa de zoneamento do município permitiu a identificação de áreas com usos predominantemente industrial, residencial, mistas (comercial e residencial) e zonas espe-

ciais. Imagens de satélites e fotos aéreas foram utilizadas para identificar as áreas de mata, mata ciliar, espelhos de água e áreas urbanizadas, além do limite estabelecido como área urbana. A **Figura 1.2** representa o mapa de uso e ocupação do solo elaborado neste projeto.

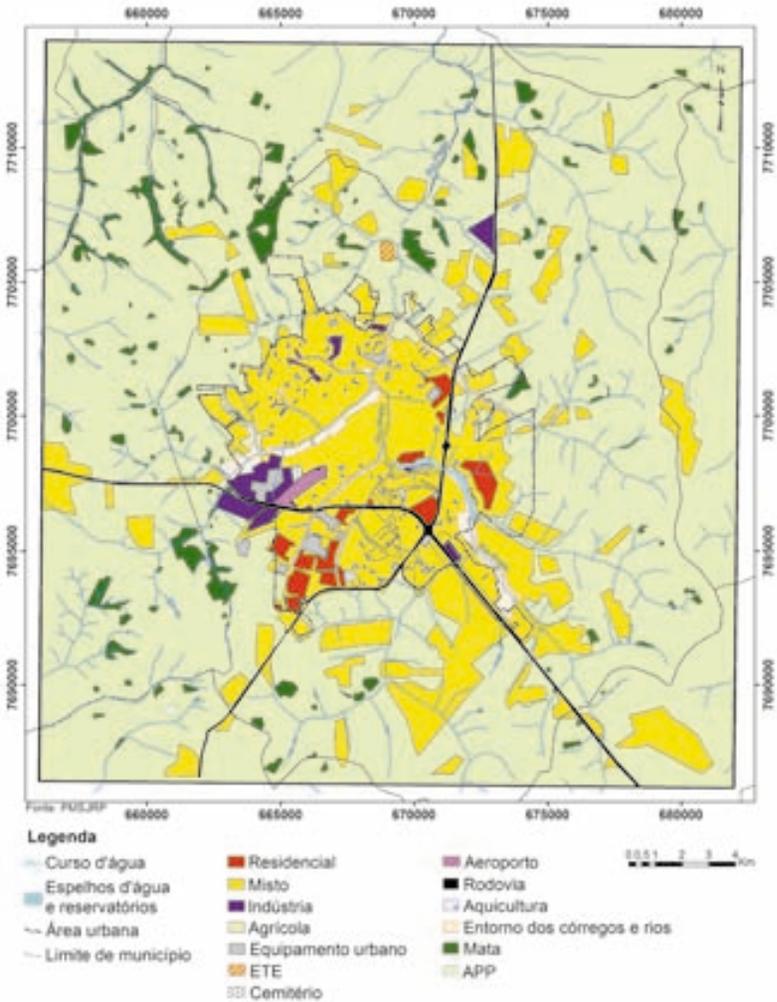


Figura 1.2 – Uso e ocupação do solo na região de São José do Rio Preto.

A ocupação industrial não é significativa em São José do Rio Preto, concentrando-se em duas porções a oeste e norte da cidade, incluídas no perímetro urbano.

A maior parte da mancha urbana corresponde a uma ocupação mista residencial e comercial, circundando demais

equipamentos urbanos, como cemitérios, praças, áreas de lazer e cultura, serviços públicos, etc.

Dois grandes lagos artificiais (reservatórios), de aproximadamente 1 km de extensão cada, localizam-se no centro-leste do perímetro urbano. O lago de montante é responsável pelo fornecimento de 26% da água distribuída pela empresa pública de abastecimento e tratamento de esgoto (SEMAE).

Salienta-se que a urbanização provoca interferências diretas no balanço hídrico, bem como nas características de disponibilidade e qualidade das águas subterrâneas. A ocupação urbana tem como condicionante a impermeabilização de grande parcela da superfície do terreno, fator determinante na diminuição da recarga natural do aquífero que tem origem na infiltração das águas pluviais diretamente no solo. Para efeito de quantificação da interferência no balanço hídrico, considerou-se que a impermeabilização do terreno na zona urbana permite que apenas 50% da recarga natural ocorram nesta área (97 km²).

Outros aspectos da urbanização relevantes aos recursos hídricos subterrâneos, como as recargas induzidas e as contaminações, serão discutidos em capítulos específicos.

Na área rural do município a forma de uso do solo foi definida utilizando-se as imagens de satélite obtidas em 2001, disponibilizadas pela Embrapa (www.embrapa.br), indicando áreas desmatadas ou solos preparados para o plantio de culturas em estágio precoce de desenvolvimento. A área rural é extensamente desmatada, mesmo nas áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água. Podem ser observadas poucas reservas, matas e florestas, sendo algumas delas áreas de preservação permanente ou áreas de reserva legal.

Os dados sócio-econômicos da região foram abordados sob os aspectos demográficos e de desenvolvimento econômico com base no Relatório Zero (IPT, 1999), na Conjuntura Econômica (PMSJRP, 2006, 2007 e 2008) e no censo do IBGE (IBGE, 2007).

Os dados populacionais apontam crescimento gradativo entre 1960 a 2000, passando de 84.039 habitantes para 358.523 habitantes, com diminuição da taxa de crescimento de 4% (1970) para 2,6% (2000), estimando-se 415.508 habitantes em 2007 (IBGE, 2007). A Conjuntura Econômica (PMSJRP, 2008) estima para 2010 que o número de habitantes chegue a 438.540, e em 2020 em 508.940 habitantes. E, ainda, que 94% da população (de 2007) estão concentrados na área urbana e os demais na região rural.

Segundo a Conjuntura Econômica (2008), o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município de São José do Rio Preto em 2000 foi 0,83, o 102º do País, e o 27º do Estado de São Paulo, refletindo boas condições socioeconômicas.

Em 2006 a região contava com 1.078 empresas localizadas em 3 distritos industriais e 13 minidistritos, gerando 10.535 empregos. As principais atividades econômicas são a metalúrgica, madeira e mobiliário, as atividades de serviços e de comércio, além da construção civil (PMSJRP, 2006). Atualmente os minidistritos industriais estão localizados no perímetro urbano e em regiões densamente povoadas. As atividades econômicas mais representativas são a indústria metalúrgica (17,4%), indústria da madeira e mobiliário (14,6%), serviços (14,6%), comércio (14,4%) e construção civil (9,1%).

Em relação à atividade agrícola, as principais culturas são cana de açúcar, seguida do milho e sorgo. Existe ainda a produção de suco de laranja, óleos vegetais, soja e derivados.

Infra-Estrutura Sanitária

Neste tópico é apresentada a infra-estrutura sanitária, enfocando os sistemas de fornecimento de água, de coleta e afastamento de esgotos e os aspectos da infra-estrutura que interferem na quantidade e na qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.

A infra-estrutura de uma cidade qualquer está diretamente ligada à sua história, modelo de ocupação e políticas que

possibilitam obter melhores ou piores indicadores do atendimento de água e coleta de esgoto à sua população.

Em termos comparativos, o panorama nacional, segundo demonstra o IBGE (2000), o serviço de abastecimento de água no País alcançou 97,9% dos municípios, com exceção de regiões no Norte e Nordeste. Atualmente a média de cobertura é de 63,9%. O volume médio de uso diário de água por habitante foi estimado em 230 L. Na região Sudeste esse volume alcançou a média de 360 L per capita, enquanto no Nordeste foi 170 L.

Os indicadores de São José do Rio Preto estão acima da média do país, contando com 99% da população atendida por abastecimento de água e 95% atendida por coleta de esgoto, sendo tratados 3% do volume coletado (PMSJRP, 2008). Os serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto são prestados e gerenciados pela autarquia municipal SEMAE – Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto. Está em construção uma estação de tratamento de esgoto dimensionada para tratar 100% do esgoto coletado.

No entanto, em 156 anos de história, as características ocupacionais, as taxas de crescimento demográfico e diferentes modelos políticos de desenvolvimento da infra-estrutura, propiciaram taxas de atendimento bastante diferentes das atuais.

A ocupação territorial começa a tomar forma de cidade a partir de 1920, obviamente sem qualquer tipo de infra-estrutura de abastecimento de água e esgoto. As primeiras menções de infra-estrutura de abastecimento de água datam da década de 30, mas muito precárias. O grande sistema de abastecimento de água inicia-se a partir da década de 50, com a construção da ETA “Palácio das Águas”.

O sistema de abastecimento de água de São José do Rio Preto realizado pelo SEMAE é constituído de três matrizes hídricas distintas. As águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani e as águas superficiais do Rio Preto são fornecidas por meio de uma rede com mais de 1,3 milhões de km de extensão (**Figura 1.3**).

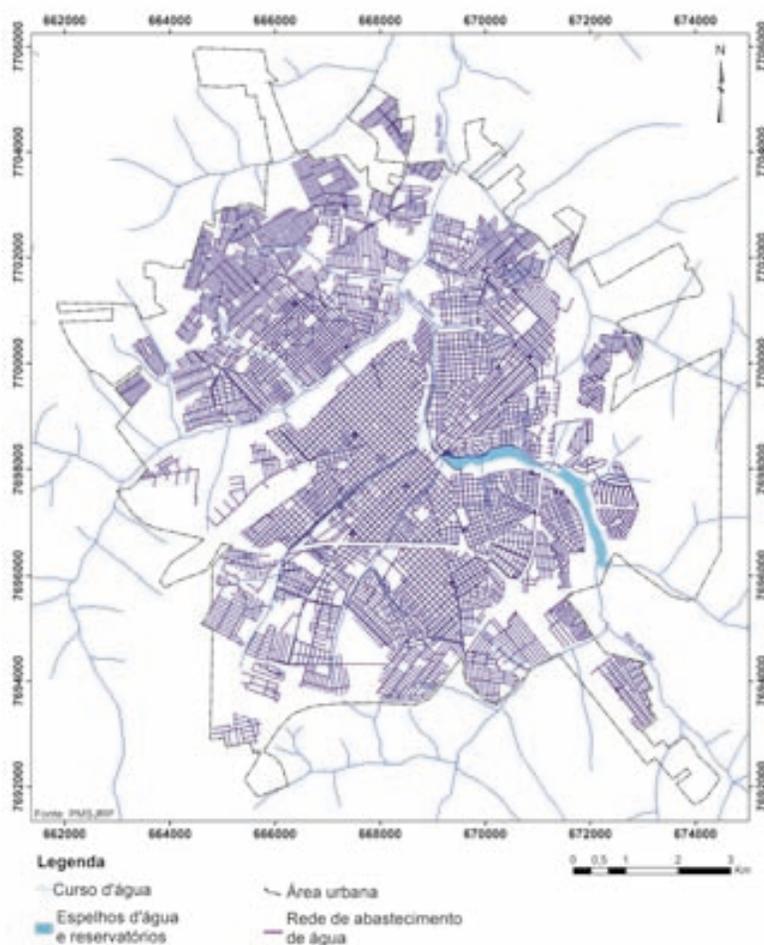


Figura 1.3 – Distribuição de água na área urbana do município de São José do Rio Preto (PMSJRP, 2009)

A **Tabela 1.1** mostra a evolução do volume macromedido pelo SEMAE nos últimos 4 anos, apresentando a matriz hídrica do sistema de abastecimento público.

Tabela 1.1 – Volume macromedido da matriz hídrica

	2005		2006		2007		2008	
	m³/dia	%	m³/dia	%	m³/dia	%	m³/dia	%
Rio Preto	22.395	33%	23.889	32%	23.783	28%	24.224	26%
Aquífero Bauru	28.624	43%	29.283	40%	35.657	41%	37.570	41%
Aquífero Guarani	16.253	24%	20.719	28%	26.667	31%	30.244	33%
Volume Macromedido	67.271		73.892		86.107		92.038	

Fonte: PMSJRP (2006/ 2007/2008/2009)

Os relatórios de Conjuntura Econômica também apontam o volume de água produzido pelo SEMAE. A diferença entre o volume produzido e o macromedido é atribuída a perdas ocorridas na rede de distribuição. A taxa de perda na distribuição vem diminuindo, conforme demonstra a **Tabela 1.2**.

Vale ressaltar que as perdas de água na rede de distribuição são consideradas integralmente recarga do aquífero, uma vez que aportam diretamente no subsolo, constituindo importantes contribuições em complementação ao déficit das recargas naturais por conta da impermeabilização.

Tabela 1.2 – Perdas na rede de distribuição de água, em m³/dia e percentual do volume produzido

	2005		2006		2007		2008	
Volume Produzido	117.102		104.331		112.925		114.574	
Volume Macromedido	67.271		73.892		86.107		92.038	
Perdas Físicas	49.831	43%	30.439	29%	26.818	24%	22.536	20%

Fonte: PMSJRP, 2006, 2007, 2008 e 2009

Os volumes captados dos mananciais subterrâneos utilizados no abastecimento são explorados a partir de 191 poços instalados no Sistema Aquífero Bauru e 8 poços no Sistema Aquífero Guarani, conforme SEMAE (2008).

A água distribuída pelo SEMAE representa uma taxa de consumo diário por habitante de aproximadamente 230 L. Este valor é similar a média estimada pelo IBGE para o país e corresponde aproximadamente às taxas normais de consumo.

No entanto, o consumo de água no município conta com uma expressiva contribuição de poços particulares, conforme será apresentado adiante. Diante deste cenário, visando corrigir o volume diário per capita consumido em São José do Rio Preto, ao serem incluídos os poços particulares, estima-se um consumo de 400 L/hab/dia. Este valor supera a média calculada pelo IBGE para a região Sudeste do País e representa uma taxa elevada de consumo.

Em relação à infra-estrutura de coleta de esgoto, não foram localizadas informações precisas sobre o período em que se iniciaram as primeiras instalações. Informações verbais de antigos moradores da cidade indicaram intensos programas de instalação de redes de esgoto nos bairros ao redor do canal do Rio Preto, por exemplo, Vila Maceno, Ideal, entre outros, a partir da década de 60.

Ao serem instaladas, as redes de esgoto direcionavam os efluentes coletados aos córregos Canela, Borá e Piedade e ao Rio Preto a jusante da represa. Somente em períodos mais recentes foram construídas as redes devido às quais cessaram o lançamento de efluentes nestes córregos, mesmo assim, ainda são descartados no Rio Preto 97% do esgoto coletado.

Estas informações históricas objetivam chamar a atenção para um aspecto muito relevante sobre a qualidade da água subterrânea. A **Figura 1.4** ilustra o estágio de ocupação da cidade, a partir de informações obtidas em mapas de São José do Rio Preto de 1923 e 1971. Permite ainda observar a expansão da mancha urbana em um período de cerca de 6 décadas, no qual o atendimento de coleta de esgoto, se existente, era muito precário.



Figura 1.4 – Ocupação urbana de São José do Rio Preto na década de 20 e na década de 70.

Este cenário considera que as residências, comércios e as indústrias (poucas) da época, necessitavam descartar seus esgotos em fossas sépticas. Após o período das fossas, vieram as redes coletoras mais antigas, seus inevitáveis vazamentos e os descartes nos córregos e no Rio Preto. Todo este cenário confere ao contexto hidrogeológico de São José do Rio Preto impactos na qualidade da água do aquífero freático, que serão discutidos adiante.

A **Figura 1.5** mostra a malha atual de atendimento de rede coletora de esgoto que representa expressiva cobertura de 95% da população.

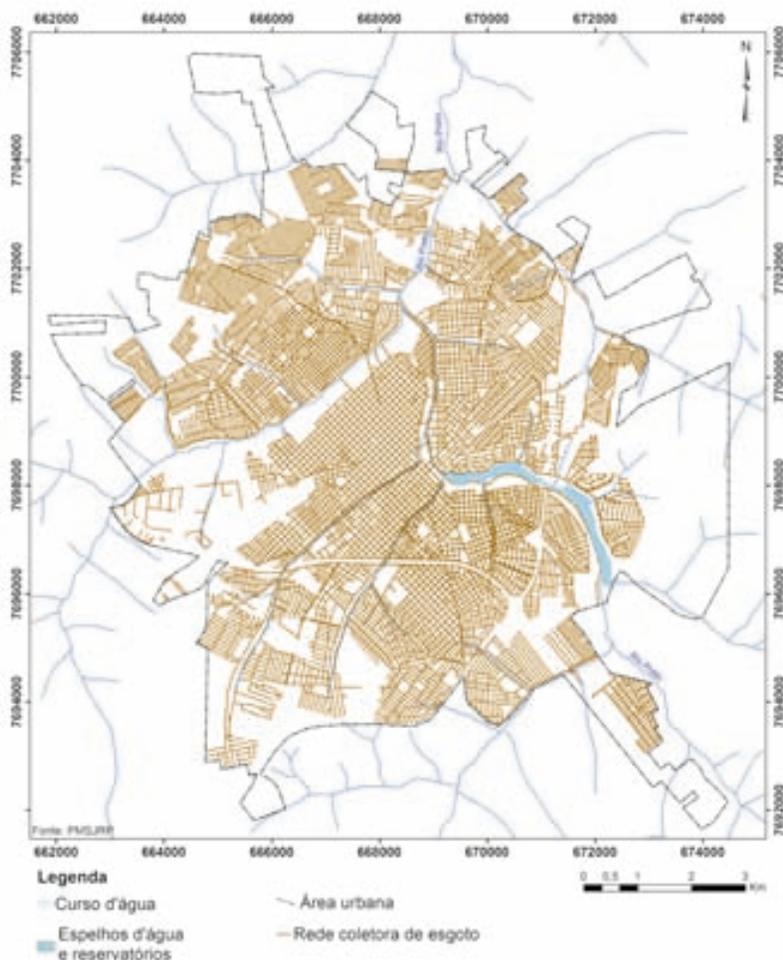


Figura 1.5 – Sistema de coleta e afastamento de esgoto da área urbana do município de São José do Rio Preto.

A **Tabela 1.3** apresenta os volumes de esgotos coletados e tratados nos últimos 4 anos, segundo relatórios de Conjuntura Econômica da PMSJRP.

Tabela 1.3 – Coleta e tratamento de esgoto.

	2005		2006		2007		2008	
	m ³ /dia	%						
Vol. Coletado	60.848		64.848	6,57% ¹	67.610	4,26% ¹	71.159	5,25% ¹
Vol. Tratado	3.456	5,68% ²	3.024	4,66% ²	3.452	5,11% ²	3.452	4,85% ²

Fonte: PMSJRP 2006, 2007, 2008 e 2009

- 1) Percentual da variação em relação ao ano anterior
- 2) Percentual do volume tratado em relação ao volume coletado

É importante que a implantação das redes coletoras de esgoto ocorra em compasso com a ampliação da ocupação urbana, visando o controle de focos de contaminação aos aquíferos provenientes dos esgotos sanitários.

Deficiências nos equipamentos urbanos de infra-estrutura sanitária interferem diretamente na quantidade e qualidade das águas subterrâneas. Desse modo, o planejamento das ações de ampliação, manutenção e modernização deverá ocorrer de maneira integrada com as necessidades de controle do uso e da proteção do Sistema Aquífero Bauru na zona urbana de São José do Rio Preto.

Poços de Produção

Este tópico apresenta as informações relativas ao cadastro de poços elaborado neste projeto, construído por meio da compilação e sistematização de dados existentes em diferentes fontes, resultando em uma complementação do item de infra-estrutura sanitária, haja vista sua expressiva representatividade no abastecimento de água do município. O cadastro assim elaborado representa a base fundamental dos estudos de disponibilidade hídrica do Sistema Aquífero Bauru na área de estudo.

A denominação *poços de produção* é utilizada para representar todo o universo de poços existentes no cadastro que consistem em poços tubulares utilizados na exploração do Sistema Aquífero Bauru para diversas finalidades. Ressalta-se que não foram considerados poços cacimbas na elaboração do cadastro.

O cadastro unificado e sistematizado de poços é foi elaborado a partir de dados proveniente das seguintes fontes de informação: 368 poços do cadastro do DAEE (outorgados); 1.097 do banco de dados do SEMAE (195 próprios e 902 de particulares); 236 do levantamento do IPT; 290 do levantamento da CPRM e 12 identificados pela SERVIMAR durante as atividades de campo, totalizando 2.003 poços cadastrados.

Ressalta-se que a grande contribuição ao cadastro provém dos poços particulares, constantes do banco de dados do SEMAE. A autarquia de abastecimento de água possui mecanismos seguros de identificação de proprietários de poços a partir do perfil de consumo. Com a inclusão destes poços particulares no universo de poços das demais fontes de dados citadas o inventário deve refletir quase a totalidade de poços existentes na zona urbana de São José do Rio Preto.

Na zona rural, onde não há rede de abastecimento público de água, é possível que existam poços, mas não identificados neste trabalho. No entanto, conforme será discutido adiante, estas áreas não são críticas em relação à densidade de poços, nem à disponibilidade de água do aquífero.

Os poços existentes no cadastro do DAEE representam 18% do total de poços e correspondem ao universo de poços outorgados, ou seja, em concordância com a legislação vigente. A **Figura 1.6** mostra a distribuição dos poços outorgados na área de estudo.

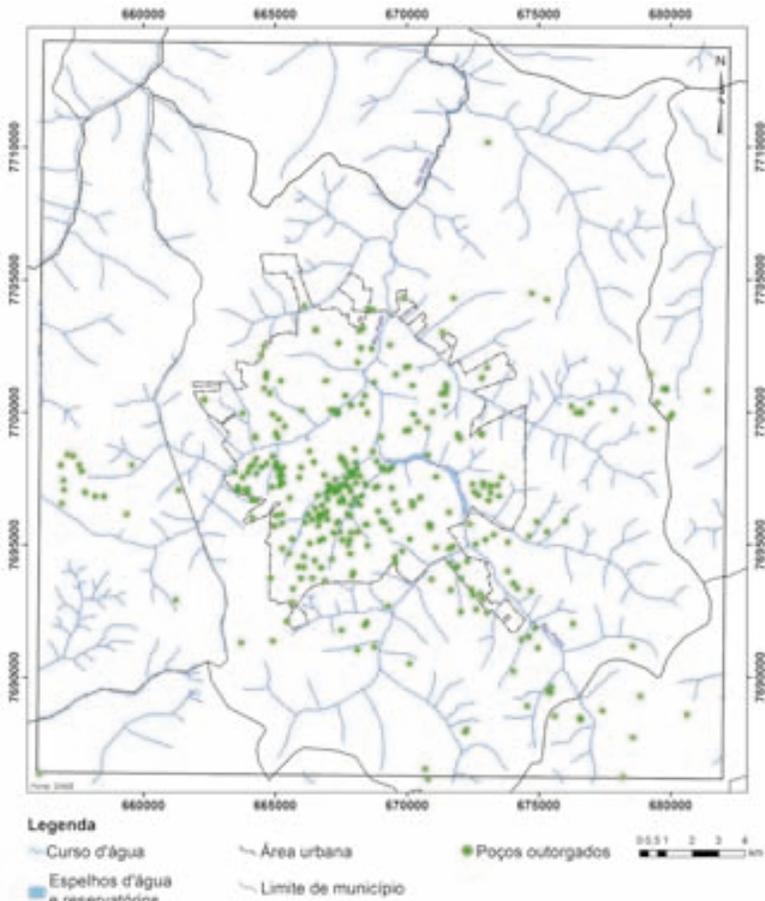


Figura 1.6 – Cadastro do DAEE - poços outorgados em São José do Rio Preto.

Os poços para abastecimento público de propriedade do SEMAE totalizam 195 poços e estão distribuídos na área de estudo, conforme a **Figura 1.7**. Estes poços correspondem a uma parcela inferior a 10% do total de poços existentes, indicando que os usuários particulares representam a grande maioria, sendo significativos no atendimento às demandas de água no município.

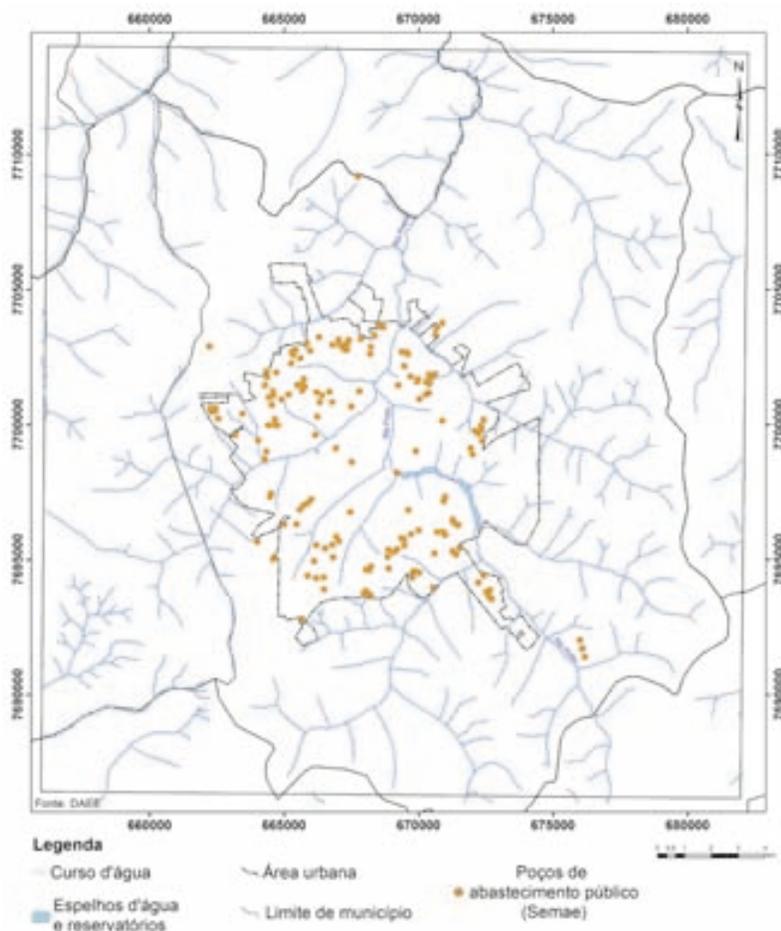


Figura 1.7 – Poços do SEMAB utilizados no abastecimento público de água de São José do Rio Preto.

O cenário existente referente aos volumes explorados pelos diferentes setores no município, por meio de cerca de 90% de poços privados será detalhadamente discutido adiante.

Excluindo-se os poços do cadastro do DAEE e os poços do SEMAB, há 1.440 poços particulares, sem outorga, correspondendo a um universo de 72% de poços em descumprimento com a legislação estadual. A **Figura 1.8** traz a distribuição destes poços na área de estudo.

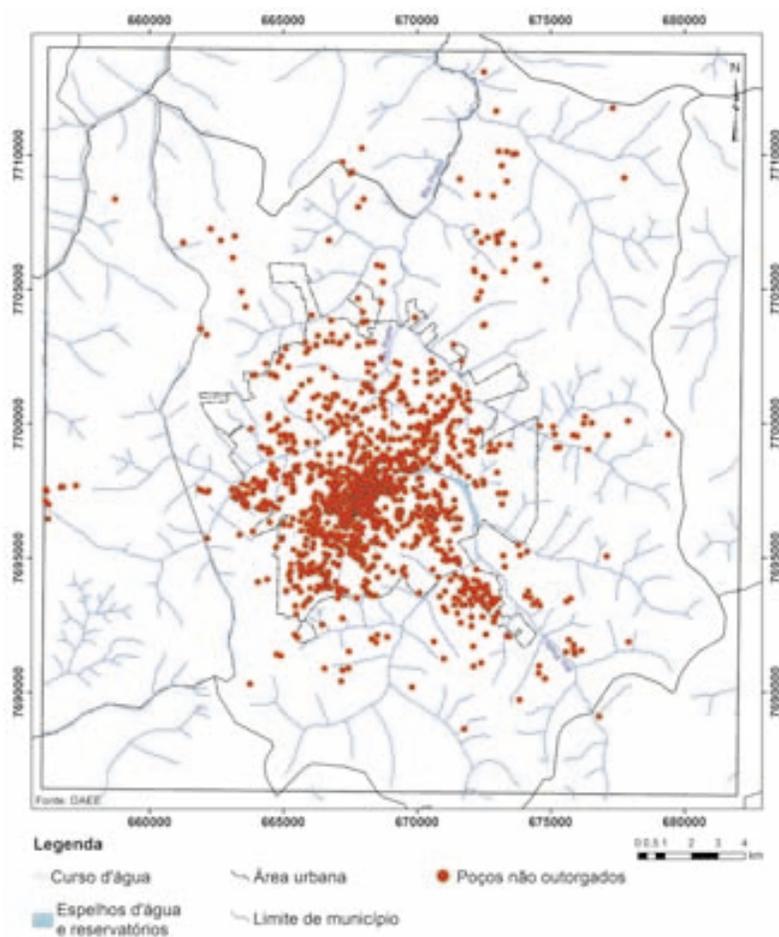


Figura 1.8 – Localização dos poços sem outorga (clandestinos) na região de São José do Rio Preto.

Sob a ótica legal não há qualquer garantia que estes poços tenham sido construídos com critérios técnicos adequados para a proteção do aquífero, uma vez que não submeteram seus projetos construtivos à aprovação do DAEE. Nas visitas realizadas em campo puderam ser constatadas algumas irregularidades em relação à observância do Artigo 24, Seção V, Capítulo III, do Decreto nº 32.955, de 07/02/1991 que determina diretrizes de construção do perímetro imediato de proteção sanitária.

Os poços de produção são utilizados para diferentes finalidades, por diferentes setores da economia e população. A

Figura 1.9 mostra a distribuição do número de poços, por diferentes tipos de uso.

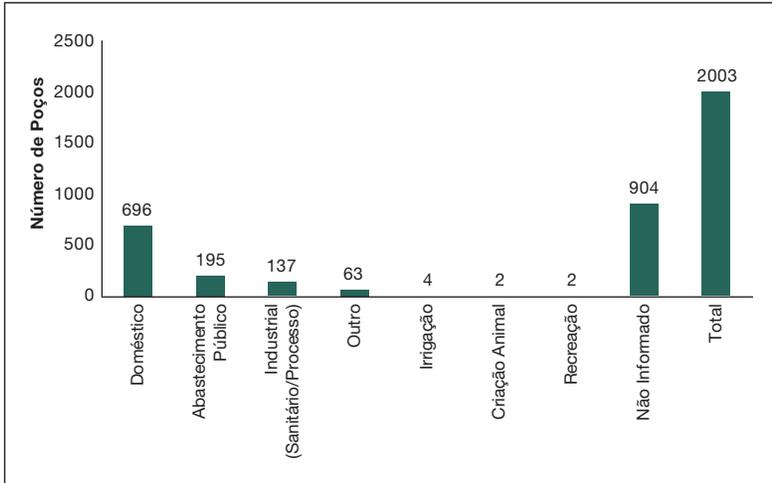


Figura 1.9 – Distribuição dos poços de produção por diferentes tipos de uso.

Neste exemplo, a ausência de informação sobre a finalidade de uso do poço representa 45% do total de poços. Diante deste cenário, a análise possui um grau de incerteza muito elevado, uma vez que o tipo de uso com a maior ocorrência (doméstico) representa apenas 35% dos poços.

A vazão de exploração dos poços representa um dado significativo do projeto, uma vez que baliza o estudo sobre consumo *versus* disponibilidade, informação que também contava com incertezas e ausência de dados, conforme demonstrado na **Figura 1.10**.

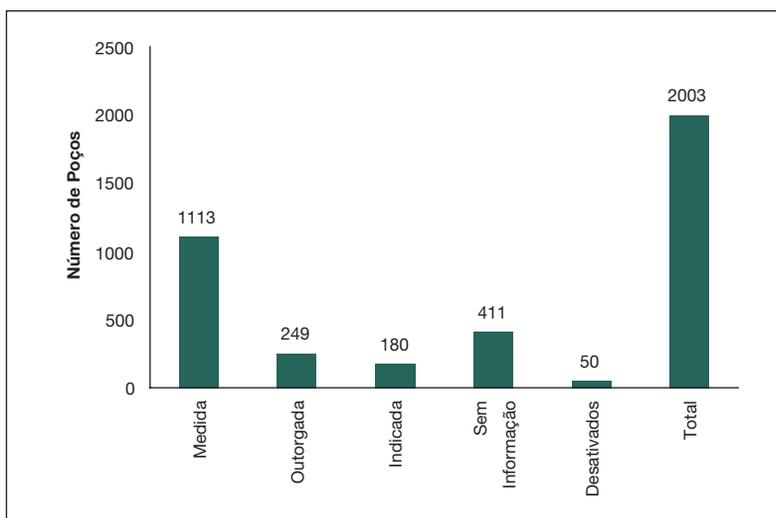


Figura 1.10 – Dados de vazão de exploração dos poços

Em relação aos dados de vazão de exploração, a prioridade adotada neste projeto foi utilizar os dados medidos por meio de hidrômetros. É uma característica de 55% dos poços que são, principalmente, do banco de dados do SEMAE.

Vale salientar que os poços sem informação perfazem 20% do total e suas vazões resultam de um valor médio calculado. No **Capítulo 2** são discutidos os critérios e procedimentos adotados nos cenários.

Nos levantamentos de campo com a finalidade de realizar amostragens de água, ensaios hidrodinâmicos, monitoramento, bem como para confirmar dados existentes no banco de dados, foi necessário organizar uma seleção de poços a serem visitados.

Em geral, os poços selecionados estavam incluídos no universo de poços outorgados, uma vez que, um dos critérios de seleção era o conhecimento do perfil construtivo do poço. O número de poços com essas informações corresponde a cerca de 30% dos poços, sendo principalmente os outorgados e os poços de propriedade do SEMAE.

Na vistoria era prevista a atualização dos dados cadastrais dos poços, registros fotográficos das condições dos poços

e entorno e, dependendo da condição do poço, monitoramento do nível de água, medições de parâmetros físico-químicos, amostragem e testes.

A seleção identificou 136 poços, dos quais 126 puderam ser efetivamente vistoriados.

O diagnóstico da vistoria permitiu obter uma análise real do padrão de utilização e do estado de conservação dos poços. Em geral, os poços estão ativos e em bom estado de conservação. Apesar de proprietários de poços possuírem conexão na rede pública de distribuição de água, muitos utilizam a água captada pelos poços para todas as finalidades e o método mais comum de desinfecção, quando existente, é a cloração.

Os poços de particulares possuem em geral diâmetro de 6 polegadas, equipados com bombas submersas e reservatórios próximos para armazenamento da água. Os efluentes são lançados principalmente na rede de esgoto.

Também se verificou que a maioria dos poços particulares é equipada com sistemas automáticos de bombeamento, acionados quando atingem níveis mínimos no reservatório. Portanto, o bombeamento nestes casos é periódico, sem controle efetivo do tempo de bombeamento, já que ocorre sob demanda. Todas as informações obtidas em campo foram organizadas em planilhas e integram o banco de dados unificado.

Os principais problemas em relação aos aspectos construtivos e de proteção dos poços, identificados durante a inspeção em campo foram a inexistência ou inadequação de:

- tubo guia, impedindo a medição de níveis ou realização de testes;
- pontos de tomada de água no cavalete do poço, antes da caixa d'água, obrigando a instalação de conexões alternativas;
- análises recentes de qualidade da água;

- hidrômetro, impedindo a medição do volume de água captado pelo poço;
- perímetro imediato de proteção sanitária (raio de 10 m).

O cadastro de poços construído neste projeto, embora possa ser considerado uma grande evolução no conhecimento das condições de exploração do Sistema Aquífero Bauru na região de São José do Rio Preto, corresponde apenas a um ponto de partida do processo, visto que existe grande quantidade de informações inconsistentes ou incompletas.

Juntamente com os mecanismos de gerenciamento e controle do bombeamento nos poços, o poder público deverá providenciar a contínua atualização e complementação deste cadastro unificado. Conforme será apresentado adiante, as propostas de gerenciamento incluem atividades que visam confirmar e ampliar as informações sobre os poços.

Geomorfologia, Hidrografia e Clima

A região pertence ao Planalto Ocidental do Estado de São Paulo, com topografia suave, caracterizada por relevo ondulado, relativamente uniforme, com extensos e baixos espigões, em faixas longas e estreitas, principalmente nos divisores de água, de acordo com a compilação de trabalhos realizados por Lima (2004), Oliveira (2002) e IPT (1999).

As colinas amplas ocupam quase a totalidade das áreas drenadas para o Rio Grande. As colinas médias ocorrem nas cabeceiras e nos interflúvios das principais drenagens da Bacia do Rio Turvo/Grande, onde está inserida a sub-bacia do Rio Preto.

Nas colinas amplas predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos. Geralmente a drenagem é de baixa densidade e apresenta padrão subdendrítico.

Os vales são abertos com a presença de planícies aluviais interiores restritas, podendo ocorrer lagoas perenes ou intermitentes. Nas colinas médias predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², de topos aplainados, drenagem de média a baixa densidade. As formas revelam que os entalhamentos médios dos vales são inferiores a 20 m e as dimensões interfluviais médias predominantes situam-se entre 1.750 e 3.750 m. As altitudes variam entre 400 e 700 m e as declividades médias predominantes das vertentes entre 2 e 10%.

É neste cenário do município de São José do Rio Preto que se insere a Sub-Bacia do Rio Preto (Sub-Bacia 7) pertencente à Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo e Grande (**Figura 1.11**). A Bacia do Turvo-Grande corresponde à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Turvo-Grande (UGRHI -15), com 15.975 km², definida pela Bacia do Rio Turvo e seus tributários, e os terrenos drenados diretamente para o Rio Grande, entre a Usina de Marimbondo e o divisor de águas de sua margem esquerda, onde as águas se encontram com as águas do Rio Paranaíba. A UGRHI 15 limita-se a norte com o Estado de Minas Gerais pelo Rio Grande, a leste com a Bacia do Baixo Pardo-Grande, a sudeste com a Bacia do Rio Mogi-Guaçu, e sul com as bacias Tietê-Batalha e São José dos Dourados.

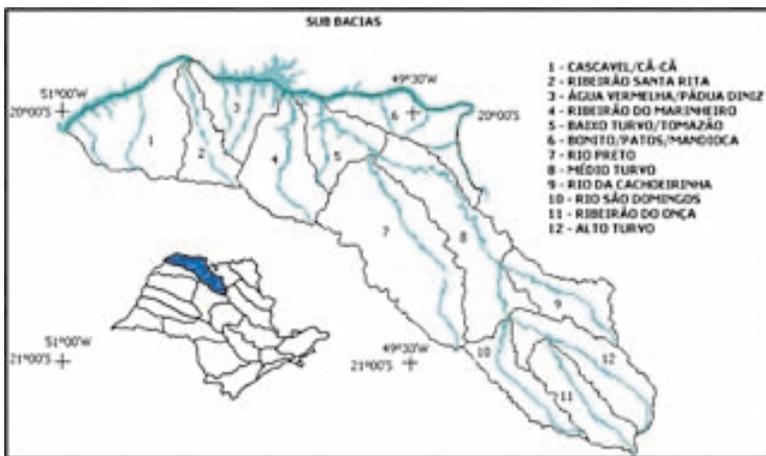


Figura 1.11 – Bacia e Sub-Bacias Hidrográficas do Turvo-Grande (IPT, 1999)

Alguns afluentes do Rio Preto também identificados são o Córrego do Macaco, Córrego da Boa Esperança, Córrego da Lagoa, Córrego da Canela, Córrego do Moraes, Córrego do Borá, Córrego da Piedade, Córrego da Felicidade, Córrego da Mistura, Córrego São Pedro, Córrego do Barreiro, Córrego do Talhado, Córrego do Talhadinho e Córrego da Estiva. A cidade de Rio Preto conta, ainda, com dois lagos artificiais, um deles utilizado para o abastecimento público, formado ao longo do Rio Preto, desde o limite da área urbana até o centro da cidade (**Figura 1.12**).

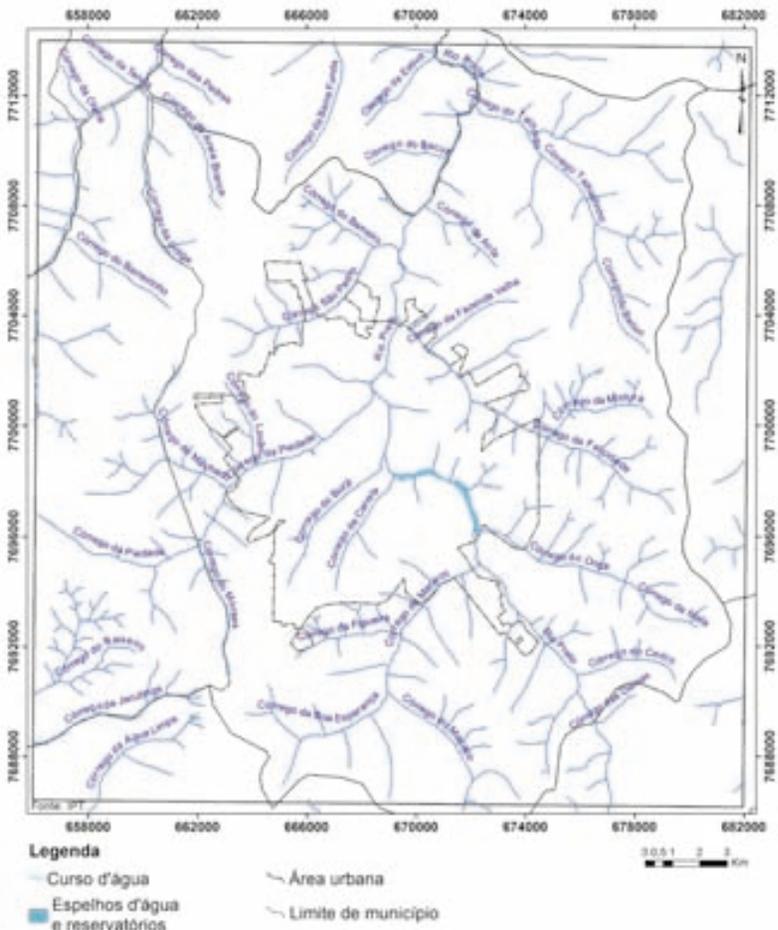


Figura 1.12 – Hidrografia da área de estudo

A base hidrográfica em SIG tem como referência a hidrografia digital vetorizada do IPT, em coordenadas UTM, datum Córrego Alegre.

O clima que predomina em 60% da área do Município é o tropical úmido com inverno seco e o subtropical, na parte sul (IPT, 1999). A temperatura média anual observada entre 1994 e 2006 foi 25°C. As temperaturas média-máxima e média-mínima foram 31°C e 19°C, respectivamente. A temperatura mínima de 0,5°C foi observada em julho de 2000, e a máxima de 42°C em outubro de 2002.

Nos estudos da precipitação foram selecionados dados da estação pluviométrica do DAEE (B6-020) em São José do Rio Preto, do período 1941 a 2004. Os índices pluviométricos médios mensais variaram entre o mínimo de 17 mm e 239 mm no período mais chuvoso. As médias mínimas variaram entre 0 mm e 31 mm e as médias máximas entre 111 mm e 537 mm. Desconsiderando os períodos com poucos dados, calculou-se a precipitação anual (média) de 1.220 mm. Os índices mais elevados foram medidos nas décadas de 70 e 80 quando houve variação entre 1.069 mm e 1.974 mm, e entre 997 mm e 2.239 mm, respectivamente. Entre as décadas de 40 e 60, a precipitação anual variou de 531 mm e 731 mm até 1.406 mm e 1.429 mm, respectivamente. Na década de 90 a variação ocorreu entre 912 mm e 1.697 mm, e entre os anos de 2000 e 2004 entre 1.104 mm e 1.358 mm.

Hidrogeologia

Os sedimentos areno-argilosos com presença de carbonatos e localmente conglomerados (DAEE, 1976), são formadores do principal sistema aquífero da região, o Sistema Aquífero Bauru. As rochas do Grupo Bauru (nomenclatura geológica) ocupam uma área total de 370.000 km², distribuídos pelos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul (Silva, 2003), correspondente à porção nordeste da Bacia do Paraná (**Figura 1.13**).

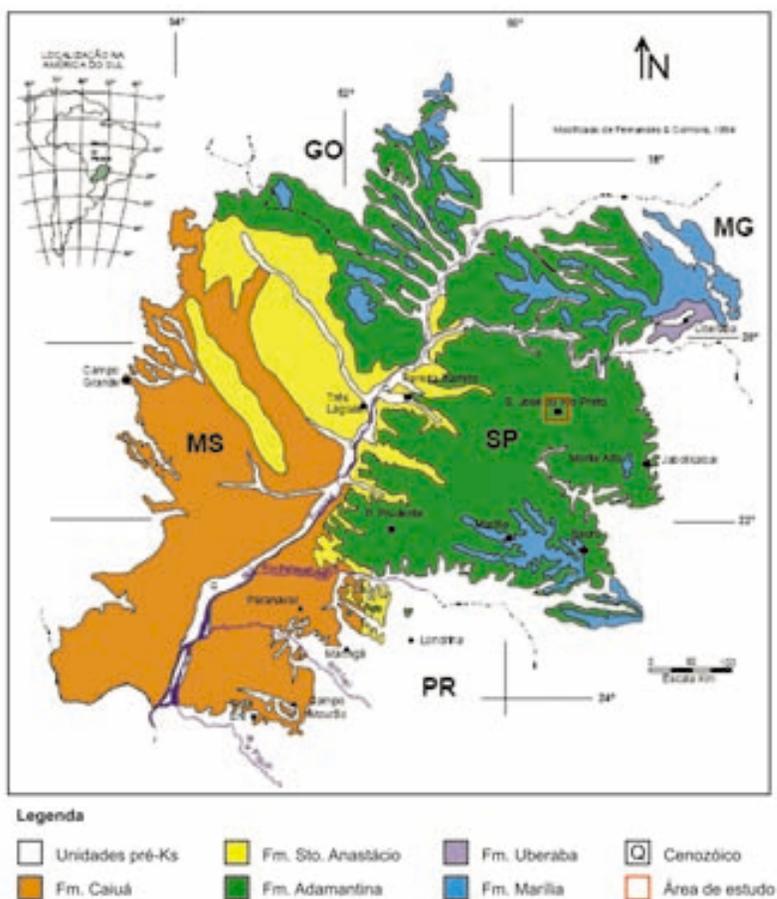


Figura 1.13 – Mapa Geológico do Grupo Bauru (Silva, 2003)

Além do Bauru também são explorados o Sistema Aquífero Guarani e secundariamente o Sistema Aquífero Serra Geral, que é explorado em conjunto com o Bauru ou Guarani. No Sistema Aquífero Bauru é maior a quantidade de poços tubulares e por isso maior o volume de água extraída.

O Sistema Aquífero Bauru divide-se em duas unidades aquíferas, a Formação Adamantina que aflora na superfície e a Formação Santo Anastácio, em subsuperfície, com sua base em contato discordante com o topo das rochas basálticas impermeáveis da Formação Serra Geral (IPT, 1999).

A unidade Adamantina é composta por arenitos de granulação fina a muito fina, cor de róseo a castanho, bancos de

lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhada a cinza-castanho, maciços. A unidade Santo Anastácio é composta por arenitos de granulação fina a média, marrom-avermelhados a arroxeados, com grãos arredondados a subarredondados, cobertos por película limonítica.

A espessura total média dos sedimentos é de aproximadamente 170 m, sendo menor na porção leste (120 m) e maior na porção oeste (até 250 m). A unidade Adamantina possui espessura média de 120 m, enquanto que a unidade Santo Anastácio possui média de 50 m.

O Sistema Aquífero Bauru ocupa aproximadamente 90% da área da UGRHI 15 (IPT, 1999). Apresenta regionalmente comportamento de aquífero livre, com recarga natural diretamente da infiltração de água das chuvas. Os níveis de água são relativamente rasos, acompanhando o relevo, com sentido de fluxo para as drenagens. Pode ser considerado um aquífero moderadamente permeável, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e siltoso. Os valores de transmissividade variam entre 10 m²/d a 100 m²/d, com média de 35 m²/d, e porosidade efetiva varia entre 5% e 15%. Os coeficientes de armazenamento entre 10⁻³ e 10⁻⁵ indicam, localmente, condições de semiconfinamento a confinamento. As vazões são consideradas baixas, com médias de 12 e 13 m³/h (IPT, 1999), porém de grande importância em razão de sua extensa distribuição no Estado e facilidade de captação por poços relativamente rasos (75 a 125 m de profundidade). Segundo Arid *et al.* (1970) a reserva permanente do Sistema Aquífero Bauru na sub bacia de São José do Rio Preto é estimada em 40 bilhões de m³, com volume disponível de cerca de 25 a 30 bilhões de m³.

Barcha (1997) salientou que há uma espessa cobertura de solos coluviais arenosos recobrindo o aquífero, ocorrendo circulação subterrânea, mais próxima à superfície, vinda dos interflúvios para os vales dos rios. Porém, numa profundidade maior, o fluxo se dá de N-NE para S-SW.

O Sistema Aquífero Guarani ocorre abaixo de 800 metros e sua capacidade de produção por poços é de 250 a 300

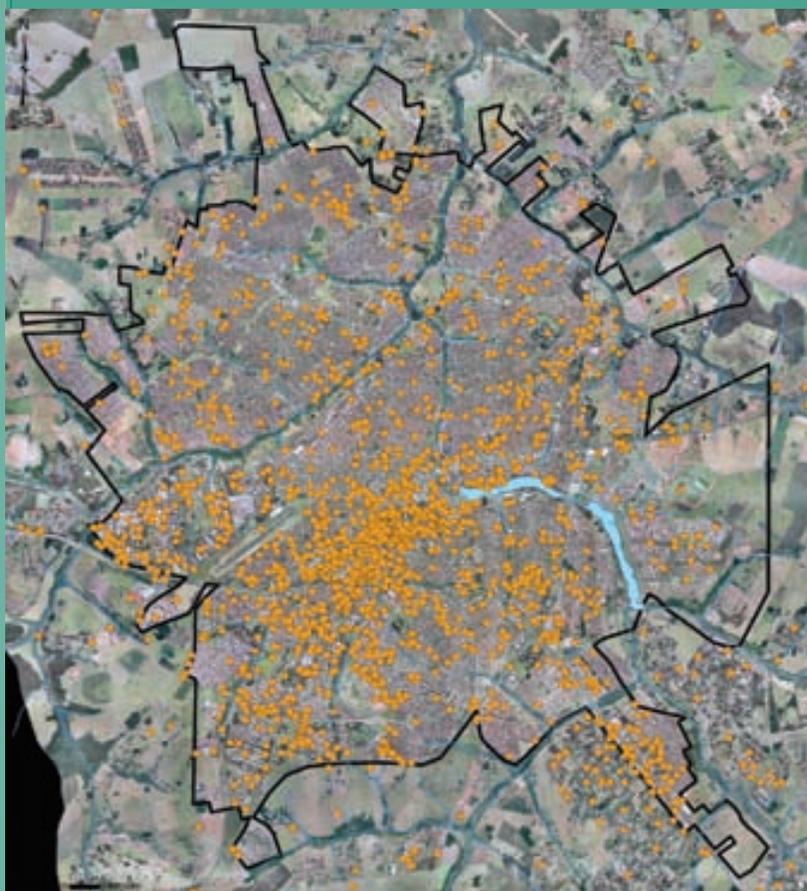
m³/h, enquanto a capacidade de produção do Bauru é de até 40 m³/h (Rocha *et al.*, 2005). Entretanto, o Guarani, devido à elevada profundidade para atingi-lo implica na construção de poços mais complexos, aumentando custos e limitando, portanto, o número de usuários que se utilizam desta alternativa.

O Sistema Aquífero Serra Geral é composto por extensos derrames basálticos que ocorreram durante o Jurássico Superior e no Cretáceo Inferior em toda a Bacia do Paraná. Segundo Rocha *et al.* (2005), a superfície basáltica, substrato do Aquífero Bauru, apresenta caimento para oeste, em direção à calha do Rio Paraná, com cotas variando desde 600 m de altitude nas áreas próximas às Cuestas Basálticas, até 100 m acima do nível do mar, na porção oeste.

O comportamento dos sedimentos e da superfície basáltica na região do estudo foi definido a partir da análise dos dados disponíveis no cadastro e de 11 perfis geofísicos obtidos nas campanhas de campo. Estas informações permitiram verificar que, localmente, o basalto tem caimento para sudoeste, assim como os sedimentos sobrepostos.

Capítulo 2

CARACTERIZAÇÃO DA QUANTIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA



2. CARACTERIZAÇÃO DA QUANTIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os estudos relativos à caracterização da quantidade de água subterrânea objetivaram principalmente avaliar a existência ou não de superexploração na área, focando os parâmetros de exploração da água subterrânea e a disponibilidade hídrica no Sistema Aquífero Bauru.

A trajetória para avaliação da disponibilidade e demanda foi baseada no consumo dos poços cadastrados, na definição do modelo hidrogeológico conceitual e na simulação do fluxo da água subterrânea, por meio de modelo numérico e o balanço hídrico do Sistema Aquífero Bauru na área de interesse.

Uso da Água Subterrânea e Vazão Explorada

Os resultados alcançados, referentes ao uso da água subterrânea e a vazão explorada, foram obtidos a partir da análise do cadastro de poços, visando calcular o volume total explorado do Sistema Aquífero Bauru, utilizando os dados disponíveis sobre o tipo de uso, os perfis de consumo da água subterrânea e as vazões de exploração dos poços.

Conforme discutido no capítulo anterior, o inventário de poços reúne 2.003 poços de produção instalados no Sistema Aquífero Bauru, sendo 195 poços de abastecimento público de propriedade do SEMAE e o restante de proprietários privados, utilizados para diversas finalidades. Deste universo de poços, 50 estão desativados, 1.113 possuem vazão medida por hidrômetros, 429 apresentam alguma informação sobre a vazão de exploração e 411 poços não possuem qualquer informação sobre vazão.

Vale salientar que, para o grupo de 429 poços, as informações das vazões de exploração são provenientes dos cadastros consultados e representam principalmente informa-

ções sobre vazão outorgada, resultados de testes de vazão ou volumes de exploração informados durante atividades de cadastramento.

Os poços hidrometrados que correspondem a 57% dos poços em exploração, forneceram vazões reais de exploração do aquífero. Nos demais 43% dos poços ativos as vazões de exploração foram estimadas, considerando os critérios especificados a seguir. Dentre os poços hidrometrados foram selecionados 76 que possuíam valor de vazão outorgada. Nesses, a vazão medida soma 104.276 m³/mês enquanto a vazão indicada no cadastro é 257.631 m³/mês. A partir disso estimou-se que a vazão efetivamente explorada é cerca de 40% da indicada no cadastro. Esse percentual foi utilizado para corrigir os dados de vazão dos 429 poços com informação de vazões indicadas no cadastro, mas sem medição da vazão realmente explorada.

Após a aplicação da correção, resultando em um conjunto de valores de vazão, real ou corrigida, foi obtida a vazão média por poço em cerca de 80% dos poços. O valor médio calculado é de 1.620 m³/mês por poço, sendo posteriormente atribuído a cada um dos 411 poços sem informação de vazão.

Desse modo, para todos os 1.953 poços em operação foi atribuído um valor relativo à vazão de exploração, seja medido, estimado ou atribuído pela média, conforme demonstrado na **Tabela 2.1**. Este procedimento permitiu calcular um volume total da ordem de 3 milhões de m³/mês explorados do Sistema Aquífero Bauru.

Tabela 2.1 – Volume de água explorada

Tipificação	Número de poços	Soma da vazão (m ³ /mês)
Vazão explorada	1.113	1.806.974
Vazão outorgada (corrigida)	429	691.083
Vazão atribuída aos poços sem dados	411	665.820
Poços desativados/tamponados	50	0
Vazão total	2.003	3.163.877

Fontes: DAEE, SEMAE, IPT e CPRM

Salienta-se que os números estão expressos em volumes mensais, devido aos valores de vazão computados mensalmente. Adotando a mesma unidade em que são aferidos, confere-se maior visibilidade aos dados. De qualquer maneira, o volume calculado corresponde a uma exploração da ordem de 38 milhões m^3 /ano ou 1,22 m^3 /s em toda a área de estudo.

O tipo do uso da água subterrânea consumida foi avaliado, conforme apresentado na **Tabela 2.2**, onde o sistema de abastecimento público aparece como uso preponderante. Como destaque observa-se que o usuário doméstico é atendido pelo SEMAE e, em muitos casos, se utiliza do manancial subterrâneo, tornando-se o segmento responsável pela exploração do maior volume de água do Sistema Aquífero Bauru na área de estudo.

A análise dos tipos de uso permite verificar que a exploração do Sistema Aquífero Bauru por usuários privados corresponde à maior parcela (55%). Mesmo comparando-se com o total de volume consumido pelo município, considerando as demais matrizes hídricas utilizadas pelo SEMAE, o consumo privado do Bauru ainda representa 36% desse total. Desse modo, as políticas de gestão do uso do recurso hídrico proveniente do Sistema Aquífero Bauru deverão considerar o usuário privado um relevante agente no processo de fornecimento de água para a demanda da cidade.

É possível que o volume total explorado calculado não represente a totalidade efetivamente explorada na área de estudo, visto que o cadastro compilado pode não conter alguns poços existentes na área. No entanto, conforme já discutido anteriormente, acredita-se que este cadastro represente um percentual bastante elevado do total de poços existentes na área de estudo e, sobretudo na zona urbana, onde deve se aproximar da totalidade de poços.

Tabela 2.2 – Uso das águas subterrâneas

Uso	Medidos		Vazão de Cadastro ¹		Vazão inferida ²		Desativados/ Tamponados		Total	
	Poços	Vazão m³/mês	Poços	Vazão m³/mês	Poços	Vazão m³/mês	Poços	Vazão m³/mês	Poços	Vazão m³/mês
Abastecimento Público	163	1.377.535	2	5.400	16	25.920	14	195	14	1.408.903
Criação Animal	-	-	2	912	-	-	-	2	-	912
Doméstico	45	57.647	309	569.836	315	510.300	27	696	27	1.138.728
Industrial (Sanitário/ Processo)	28	19.591	65	83.274	41	66.420	3	137	3	169.408
Irrigação	1	681	2	735	1	1.620	-	4	-	3.039
Não Informado	859	318.166	2	3.697	37	59.940	6	904	6	381.914
Outro	17	33.354	46	27.011	-	-	-	63	-	60.365
Recreação	-	-	1	218	1	1.620	-	2	-	1.841
Total	1.113	1.806.974	429	691.083	411	665.820	50	2.003	50	3.163.877

1 - vazão de outorga ou outras informações sobre vazão disponíveis nos cadastros consultados (DAEE, SEMAE, IPT e CPRM).

2 - vazão atribuída a partir da vazão de exploração média calculada

Também não se espera encontrar poços com elevados índices de exploração no universo de poços sem dados sobre a vazão. A vazão média calculada e atribuída a estes poços representa provavelmente um valor superestimado para as suas vazões. O raciocínio é que os maiores poços, com as maiores vazões, pertencentes aos maiores usuários, estão elencados no universo de poços outorgados e/ou medidos.

A análise dos dados de vazão de exploração medidos, inferidos e atribuídos (**Figura 2.1**), permite verificar que cerca de 55% dos poços em operação apresentam vazões inferiores a 1.000 m³/mês. Diante deste cenário, conclui-se que a vazão média atribuída (1.620 m³/mês) é influenciada pelos poços que possuem grandes vazões (> 5.000 m³/mês), mas que correspondem a menos de 10% dos poços em bombeamento.

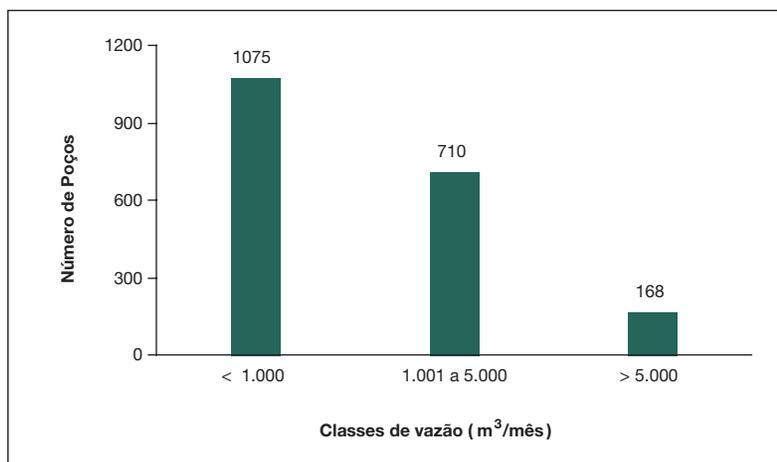


Figura 2.1 – Número de poços por classe de vazão

O valor calculado mediante estes critérios pode ser considerado bastante representativo da real vazão de exploração do Sistema Aquífero Bauru, que em conjunto com as captações feitas pelo SEMAE no Rio Preto e no Sistema Aquífero Guarani, utilizando os volumes macromedidos em 2008, totalizam uma exploração da ordem de 4,8 milhões de m³/mês. Se considerarmos uma população aproximada de 400.000 habitantes, o consumo corresponde a cerca de 400 L/hab/dia.

O valor médio de consumo per capita calculado para São José do Rio Preto é bastante elevado, se comparado com as estimativas de consumo indicada pela Organização Mundial de Saúde. Entende-se que as políticas públicas de controle do uso de água deverão também contemplar educação ambiental em favor do uso racional e controle do desperdício.

As classes de vazão, em função da distribuição espacial dos poços apontam um cenário preocupante, que foi estudado, no sentido de avaliar a ocorrência da superexploração. A **Figura 2.2** mostra todos os poços em exploração na área de estudo.

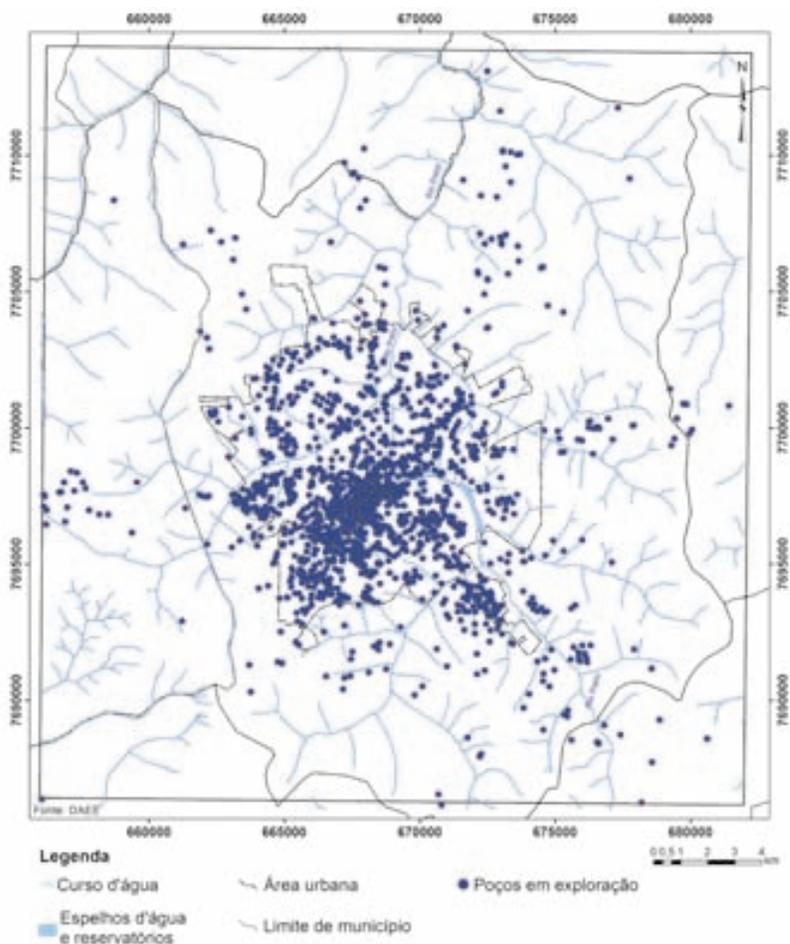


Figura 2.2 – Poços em exploração na área de estudo (1.953 poços)

Em algumas áreas, sobretudo na região central da zona urbana de São José do Rio Preto, o adensamento de poços é bastante elevado, podendo ocorrer situações de algumas dezenas de poços em uma área de 250.000 m² (Figura 2.3).

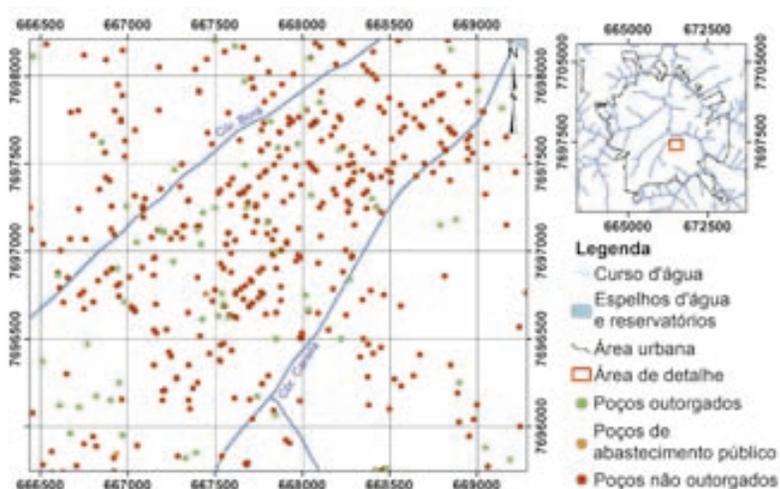


Figura 2.3 – Densidade de poços em células de 500 x 500 m (quadriculado) na região central do município de São José do Rio Preto

A **Figura 2.4** mostra uma classificação das densidades de poços de produção em células de 500 x 500 m. Este cenário, associado à regionalização das vazões nas áreas de elevada concentração de poços, alertaram para prováveis ocorrências de interferência entre poços, ocasionada pela sobreposição dos cones de rebaixamento de dois ou mais poços em bombeamento.

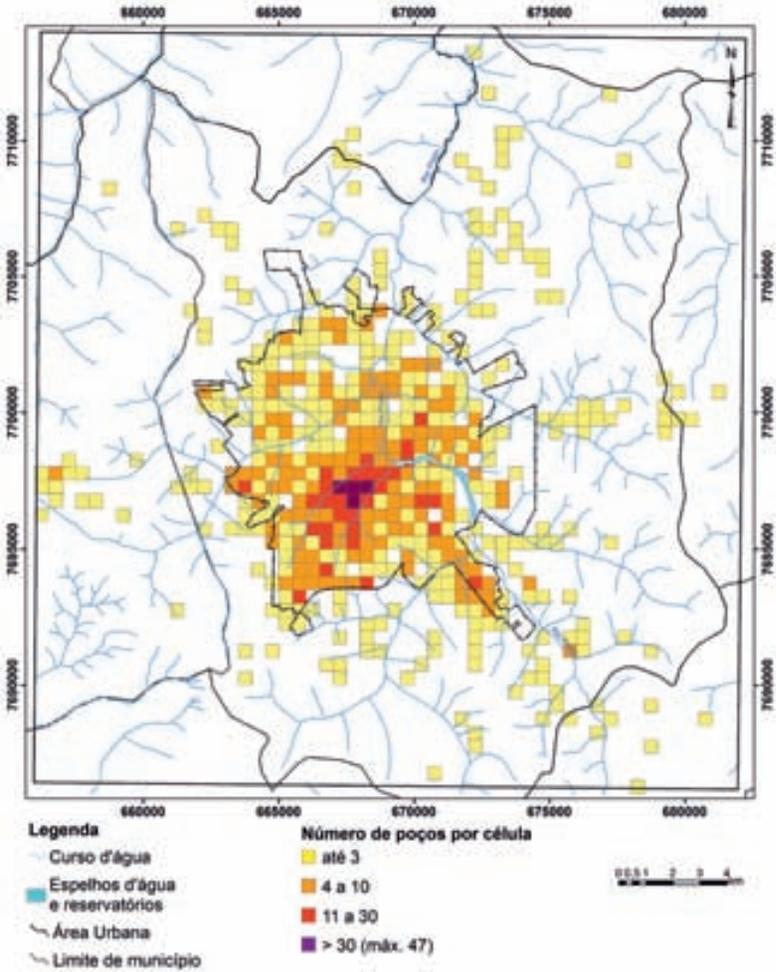


Figura 2.4 – Número de poços por célula de 500 x 500 m

A interferência entre poços pode ocasionar rebaixamento dos níveis estáticos no aquífero e por esta razão, trazer várias consequências negativas, tais como: aumento nos custos de exploração da água subterrânea; carreamento de contaminação para níveis mais profundos do aquífero e rearranjo de grãos na matriz do aquífero, podendo levar à diminuição da capacidade de armazenamento e/ou colapso de terrenos, entre outras.

No sentido de avaliar a existência da interferência entre poços, foi realizado um plano de monitoramento em poços selecionados e que foram concedidos os acessos para execução das medições. Estes poços foram desligados 12 horas

antes e permaneceram desligados durante todo o período de bombeamento. O monitoramento foi realizado em 4 poços pelo período de 24 h, em intervalos de 1h, tendo sido iniciado às 9 h do dia 22 de julho de 2008 e encerrado no mesmo horário do dia 23 de julho de 2008.

Com esse monitoramento foi possível identificar interferência em três poços, desde o início da manhã (9 h) até o início da noite (aproximadamente 20 h) sendo que o maior rebaiamento ocorreu no período da tarde. Durante a noite (entre as 20 h e 6 h) houve uma recuperação contínua do aquífero. A variação do nível da água no período de monitoramento foi de até 4,79 m, sendo nitidamente comprovada a interferência do bombeamento de outros poços.

Segundo informações de especialistas na região, em geral, os poços privados operam acionados por chaves de nível instaladas nos reservatórios, ou seja, sob demanda. A medida que o consumo é maior, mais vezes o poço é bombeado. Esse resultado pode ser observado no monitoramento realizado que observou recuperação no nível no período noturno, quando a demanda é menor. Durante o dia, os níveis monitorados apresentaram-se mais profundos.

No mesmo programa de monitoramento foi selecionado um poço de monitoramento ambiental, com seção filtrante posicionada no nível do aquífero freático, existente em um Posto de Combustíveis, situado na Av. Alberto Andaló. O poço estava posicionado a 100 m do córrego Canela e, apesar de estar em uma região com elevada densidade de poços em bombeamento, permaneceu com nível constante durante o monitoramento. Esse resultado pode indicar que o aquífero freático não é fortemente afetado pelos bombeamentos, sendo este responsável pela recarga dos córregos na parte central da cidade.

A manutenção do nível freático, mesmo com intenso bombeamento, pode ser atribuída, por exemplo, a uma baixa permeabilidade vertical do aquífero que conta com águas jovens, provenientes de recargas em áreas próximas, que mantém estes níveis sustentados e alimentam as drenagens. Na discussão dos modelos hidrogeológicos conceitual e numérico, a seguir,

esta tratativa é retomada, tendo sido verificada a ocorrência de fluxos subterrâneos rasos, também por outros autores, conforme descrito por Barcha (1997).

O escopo de trabalho deste projeto também incluiu a execução de ensaios de bombeamento prolongados (72 h), em poços de produção selecionados e passíveis de serem executados os testes. A interferência entre poços também foi observada durante estes testes de bombeamento, sendo identificados rebaixamentos em poços distantes muitas dezenas de metros dos poços ensaiados.

As influências geradas nos poços de observação dos testes de bombeamento apontam para potenciais interferências em muitas regiões da cidade, visto que nos locais com maior densidade de poços, as distâncias entre eles, em geral, são semelhantes às existentes nos poços dos testes e, em alguns casos, até inferiores.

Os resultados alcançados pelos testes de bombeamento e pelo monitoramento dos poços apontaram para a ocorrência de interferência entre poços na área de estudos, sendo que os efeitos físicos destas interferências no aquífero foram simulados no modelo matemático. Estudos de detalhe, no futuro, poderão focar a avaliação dos impactos causados pela interferência entre poços, por exemplo, relacionado ao aumento dos custos de exploração da água subterrânea.

Modelo Hidrogeológico Conceitual de Fluxo

O Sistema Aquífero Bauru apresenta regionalmente comportamento de aquífero livre, com recarga natural diretamente da infiltração de água das chuvas. Os níveis são relativamente rasos, acompanhando o relevo, com sentido de fluxo para as drenagens (Barcha, 1980). Pode ser considerado como moderadamente permeável, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e siltoso e espessura saturada média de 75 m, ocorrendo espessuras máximas entre 150 m e 200 m, condicionada à morfologia de superfície e pelo substrato rochoso (Barcha, 1980).

Barcha (1997) salientou que há uma espessa cobertura de solos colúviais arenosos recobrendo o aquífero, ocorrendo circulação subterrânea, mais próxima à superfície, vinda dos interflúvios para os vales dos rios. Numa profundidade maior, o fluxo se dá predominantemente de S-SE para N-NW.

A zona rural da área de estudos exibe condições de recarga do aquífero por infiltração das águas pluviais, enquanto que na área urbana ocorre principalmente por perdas da rede pública, sendo que a distribuição das recargas será detalhadamente apresentada no balanço hídrico a seguir. A descarga dos fluxos de água se dá principalmente nos rios e córregos, sendo o rio Preto a principal drenagem na área.

Com as informações litológicas dos poços levantados neste projeto identificou-se a composição dos pacotes sedimentares (formações Adamantina e Santo Anastácio), predominantemente formados por camadas arenosas de granulometria fina a média, intercaladas com camadas argilosas. A Formação Adamantina apresenta espessura média de aproximadamente 120 m e a Formação Santo Anastácio de 50 m. A formação Serra Geral se encontra entre 170 m até 250 m.

O Sistema Aquífero Bauru apresenta vazões médias de 12 a 13 m³/h e capacidade específica média variando de 0,5 a 1,2 m³/h/m (IPT, 1999 e DAEE, 1976).

Segundo DAEE (1976) e Rocha *et al.* (2005) a condutividade hidráulica (K) média da Formação Adamantina é de 0,5 m/dia e da Formação Santo Anastácio de 1,98 m/dia. A média da transmissividade (T) para o Sistema Aquífero Bauru é de 35 m²/dia e o coeficiente de armazenamento (S) varia entre 1×10^{-3} e 1×10^{-5} , indicando, localmente, condições de semi-confinamento a confinamento.

Os poços onde foram executados os ensaios citados atravessam ambas as formações, não permitindo a identificação dos parâmetros hidrodinâmicos para essas diferentes camadas. A condutividade hidráulica média estimada foi de 0,26 m/dia e a transmissividade média foi de 21 m²/dia (**Tabela 2.3**).

A precisão dos resultados dos testes executados foi considerada dentro de meia ordem de magnitude devido a limitações do equipamento, da precisão da medida de vazão, da profundidade do nível da água e dos métodos de análise empregados.

Tabela 2.3 – Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bauru

Obtidos a partir de testes de bombeamento			
	Média	Mínimo	Máximo
T (m ² /dia)	21,5	3,23	56,33
K (m/dia)	0,26	0,04	1,07
S	2,05E-05		
Referências de trabalhos anteriores			
	Média	Mínimo	Máximo
Adamantina			
K (m/dia)	0,5	0,2	0,8
Santo Anastácio			
K (m/dia)	1,98	0,3	3,66
Bauru			
T (m ² /dia)	35	8	88
S		1,00E-05	1,00E-03

Fontes: DAEE, IG, IPT 2005

As características geológicas e hidrogeológicas do aquífero Bauru, sobretudo os bons níveis de produção e litologia favorável à perfuração de baixo custo, propiciaram um aumento do número de poços, ao longo das últimas décadas (**Figura 2.5**).

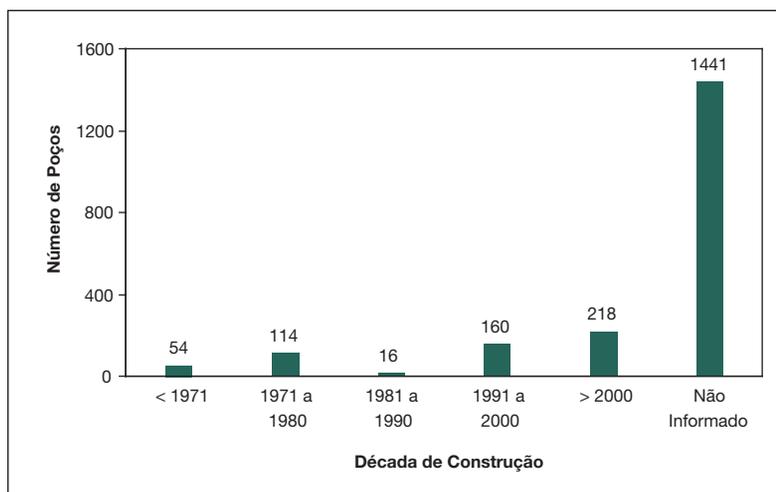


Figura 2.5 – Número de poços construídos por décadas

Mapas potenciométricos foram elaborados com dados de níveis estáticos de poços construídos em dois diferentes momentos, na década de 70 e na década de 2000. Esta atividade permitiu identificar a presença de rebaixamentos na região central da zona urbana de São José do Rio Preto no mapa produzido com os dados dos poços construídos na década de 2000. No item de discussão do modelo numérico de fluxo do aquífero, serão demonstrados os mapas produzidos na modelagem que refletem o mesmo comportamento encontrado neste trabalho com os níveis estáticos dos poços.

Após a compilação e interpretação dos dados de litologia, geologia, hidrogeologia e hidrologia da área de estudos foi construído o modelo hidrogeológico conceitual, utilizando o PERFIL X-X' apresentado na **Figura 2.6**.

O modelo hidrogeológico conceitual da área considera que a recarga do aquífero ocorre por infiltração de águas pluviais, principalmente na zona rural do município e com contribuições adicionais, provenientes de perdas físicas da rede de distribuição, na área urbana. Os fluxos subterrâneos se deslocam das regiões de interflúvio em direção às áreas de descargas, caracterizadas pelas drenagens da região (rios e córregos), sendo que a principal área de descarga da área de estudo é o Rio Preto.

Os fluxos subterrâneos contam com sistemas regionais que transitam entre bacias hidrográficas, em direção aos principais corpos d'água, mas também contam com os fluxos superficiais locais de cada microbacia que mantém o nível freático, bem como o nível de base de córregos menores. Este fluxo superficial do aquífero freático pode explicar a ausência de interferência dos bombeamentos nos níveis do freático, bem como a manutenção de fluxo de água nos córregos da região central de São José do Rio Preto, onde rebaixamentos dos níveis de água nos poços profundos foram identificados.

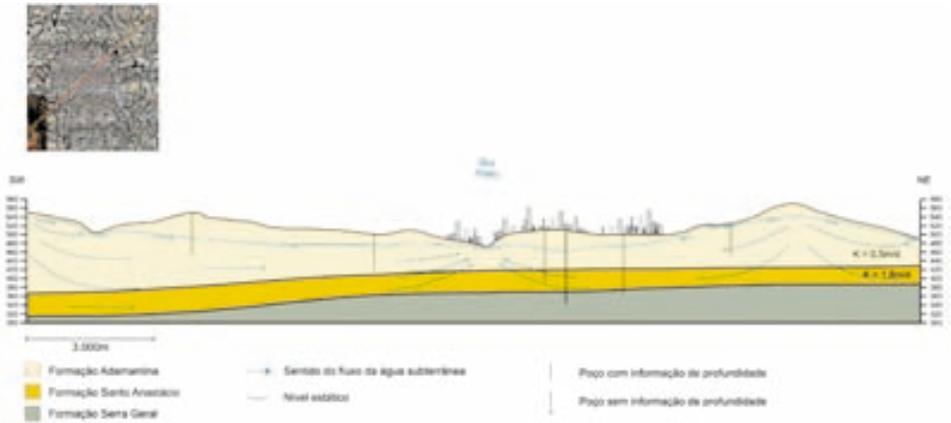


Figura 2.6 – Modelo conceitual de circulação de água subterrânea na área de estudo de acordo com a seção construída ao longo do perfil X-X'.

Modelo Hidrogeológico Numérico

O modelo numérico de fluxo subterrâneo foi elaborado visando reproduzir a situação de escoamento atual e simular o potencial impacto da exploração de água por poços na região de estudo. Para a simulação de fluxo foi utilizado o programa SPA desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional da Escola de Engenharia de São Carlos.

A construção do modelo numérico iniciou-se pela definição dos contornos e a correspondente geração da malha de elementos finitos. A área modelada ficou integralmente

inserida na área de estudo, buscando abranger principalmente o perímetro urbano de São José do Rio Preto, local de maior densidade de poços.

O domínio do estudo foi delimitado pelos córregos e divisores que englobam toda a concentração de poços existentes na área de interesse, adequando-se às condições de contorno naturais da região. A **Figura 2.7** mostra o contorno do modelo, onde as linhas em amarelo (1) correspondem à seção do contorno sobre os córregos, e as linhas em vermelho (2) a seção do contorno sobre os divisores de água. A área total do modelo é 385,74 km².



— 1 contorno sobre os córregos — 2 contorno sobre os divisores de água

Figura 2.7 – Área de estudo com as drenagens e limites do modelo numérico

(Fonte: Google Earth, 2008)

O modelo numérico consiste em representações dos processos físicos da natureza, aplicando-se equações matemáticas que buscam equilibrar o fluxo hídrico baseado na entrada e escoamento das águas subterrâneas e superficiais.

As principais premissas na construção do modelo numérico são as águas saem da área somente através do Rio Preto e que o cálculo foi realizado em estado estacionário. De forma que não haveria perda de água subterrânea para as bacias hidrográficas vizinhas e que o modelo não reconhece o fator tempo na migração das águas, sobretudo no deslocamento subterrâneo.

A calibração do volume de água existente na bacia do Rio Preto foi realizada a partir dos dados de vazão obtidos na estação fluviométrica de Ipiгуá utilizados como referência neste trabalho.

Demais premissas do modelo numérico referem-se aos dados de topografia e dimensionamento dos cursos d'água, quantidade, localização e vazão de exploração dos poços, dados hidrodinâmicos e aspectos estruturais dos aquíferos e dados hidroclimáticos, responsáveis pela recarga hídrica.

Deve-se salientar que, em decorrência da ação antrópica interferente no meio, fatores como impermeabilização de terrenos em áreas urbanas e perdas de água nos sistemas de abastecimento público e de esgotamento sanitário são, também, relevantes na construção do modelo.

O potencial impacto da exploração de água subterrânea baseia-se em comparar a simulação de um período pretérito, anterior à instalação dos poços e que representa uma condição natural da área e a condição atual, considerando as vazões exploradas pelos poços.

A **Figura 2.8** representa o regime natural de fluxo das águas subterrâneas, ou seja, sem interferência dos bombeamentos nos poços, comparada ao mapa potenciométrico construído os valores das cargas hidráulicas dos poços da década de 70. Nota-se a similaridade entre os dois mapas, comprovando a forte consistência dos resultados obtidos.

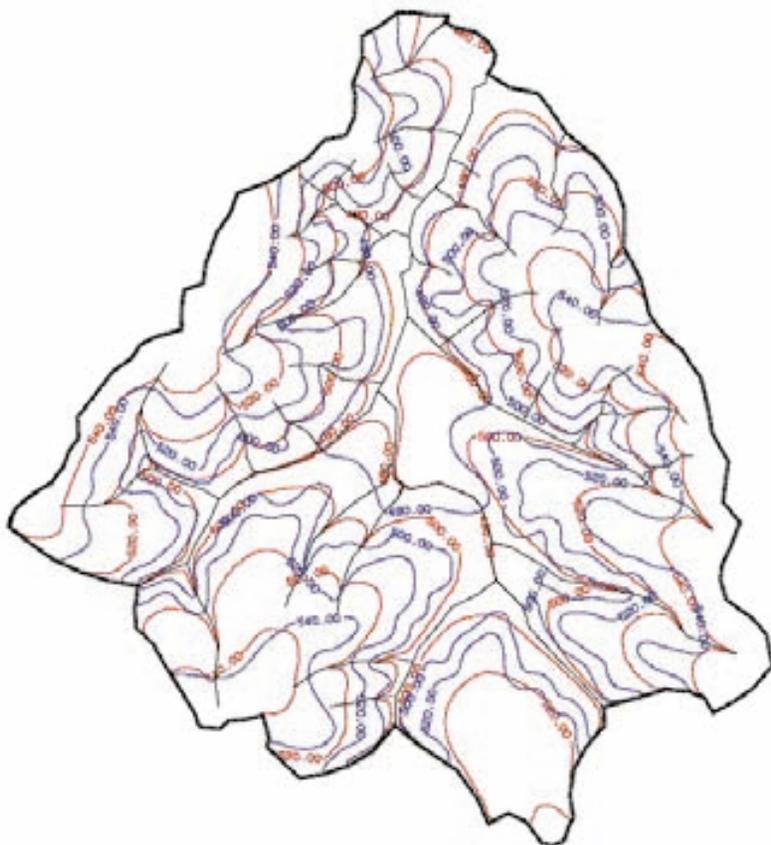


Figura 2.8 – Comparação entre mapas potenciométricos medido (azul) e modelado (vermelho)

O mapa potenciométrico do modelo numérico considera um valor médio de recarga de 252 mm. Uma visualização bastante ilustrativa pode ser observada na **Figura 2.9**. Este mapa corrobora o modelo conceitual onde as áreas de recargas situam-se nos altos topográficos e as áreas de descargas subterrâneas nas planícies fluviais.

A partir da simulação e calibração do estado natural de fluxo hídrico na área, foram inseridos os elementos necessários à calibração do estágio atual, caracterizado pela exploração da água subterrânea por meio de poços tubulares. Desse modo, foram inseridos no modelo a localização e a profundidade dos poços, vazão de exploração, e nível dinâmico.

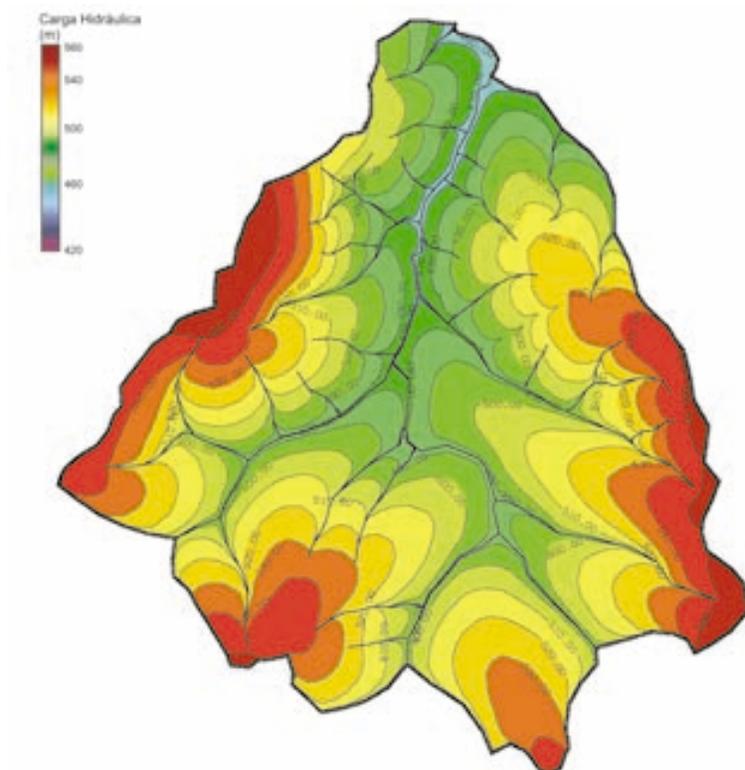


Figura 2.9 – Mapa potenciométrico do modelo numérico

Aqui também foram estabelecidas algumas premissas visando à adequação dos dados disponíveis. Dentre as quais se podem destacar: foram considerados somente os poços com informação da vazão de exploração, totalizando 1.888 poços; os bombeamentos ocorrem ininterruptamente (24 h/dia) e; os níveis dinâmicos considerados são provenientes de informações do banco de dados.

As variações de recarga natural são provocadas pelas intervenções antrópicas, principalmente a impermeabilização das áreas urbanas e as perdas de água do sistema de abastecimento público. A **Tabela 2.4** apresenta as taxas de recarga atribuídas ao modelo numérico na condição atual, bem como valores das respectivas áreas, nas quais as recargas foram diferenciadas.

Tabela 2.4 – Taxas de recarga adotadas no modelo para o cenário atual.

Zona	Área (km ²)	Recarga Natural (mm)	Volume Anual Natural (m ³ /a)	Recarga Induzida (mm)	Volume Anual Induzida (m ³ /a)	Volume Anual Total (m ³ /a)
1	13,78	50	689.000	350	4.823.000	5.512.000
2	15,87	100	1.587.000	200	3.174.000	4.761.000
3	42,52	150	6.378.000	50	2.126.000	8.504.000
Total Urbana	72,17		8.654.000		10.123.000	18.777.000
4	236,63	204	48.272.520	0	0	48.272.520
5	76,94	255	19.619.700	0	0	19.619.700
Total Rural	313,57		67.892.220		0	67.892.220
Total Modelo	385,74		76.546.220		10.123.000	86.669.220

Conforme observado na **Tabela 2.4**, as zonas 1, 2 e 3 representam a zona urbana de São José do Rio Preto e recebem tanto recargas naturais como induzidas. As zonas 4 e 5 são as áreas rurais do município, onde ocorrem apenas recargas naturais. A **Figura 2.10** ilustra a distribuição das diferentes zonas de recarga do modelo.

A recarga artificial ou induzida representa as perdas da rede de distribuição de água. O valor total baseia-se na média das perdas dos últimos anos conforme dados apresentados no capítulo anterior (**Tabela 1.2**) e corresponde a 27.734 m³/dia. A condição de equilíbrio alcançada indica que as recargas atendem ao balanço hídrico do modelo numérico. A recarga total do modelo numérico (86.669.220 m³/ano) representa uma recarga específica de $71,24 \times 10^{-4}$ m³/s/km², valor utilizado nos cálculos do balanço hídrico pelo método analítico, conforme discutido adiante.

A simulação do cenário atual baseia-se nas ações de bombeamento e respectivas vazões dos poços, calibrando o modelo a partir dos níveis dinâmicos conhecidos, das taxas de recargas indicadas acima e das entradas e saídas de água do sistema.

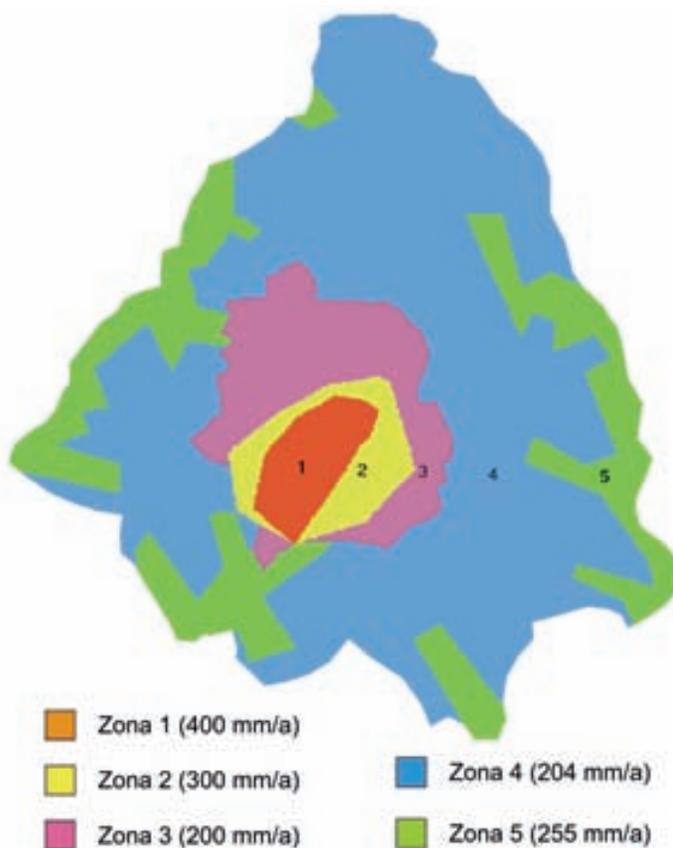


Figura 2.10 – Zonas com diferentes recargas adotadas no modelo. Zona 1 (400 mm/a), Zona 2 (300 mm/a), Zona 3 (200 mm/a), Zona 4 (204 mm/a) e Zona 5 (255 mm/a)

A partir daí foi simulada a condição na qual todos os 1.888 poços estivessem simultaneamente em regime permanente de exploração. A **Figura 2.11** demonstra o mapa potenciométrico gerado a partir de poços que atingem a Formação Santo Anastácio.

Conforme já mencionado, o cálculo foi realizado em regime estacionário, - que não leva em conta a evolução no tempo. Na prática, é como considerar que toda a água disponível no reservatório fluísse instantaneamente rumo aos cones de rebaixamento dos poços em regime permanente de bombeamento.

A **Figura 2.12** demonstra o efeito dos cones de rebaixamento e das interferências entre poços simuladas pelo modelo,

correspondendo a uma visualização tridimensional que resalta mais o fenômeno.

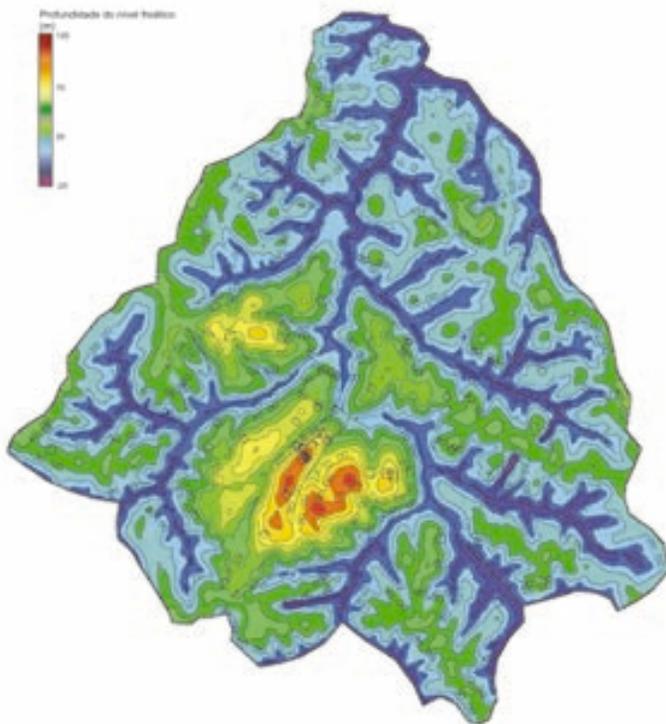


Figura 2.11 – Mapa potenciométrico gerado no modelo

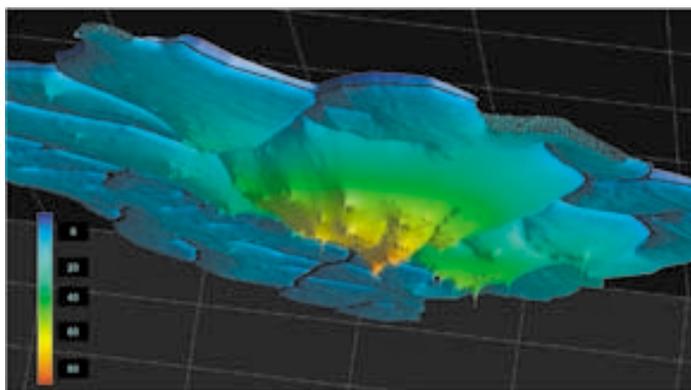


Figura 2.12 – Simulação em três dimensões da superfície livre do aquífero, a partir da superfície topográfica.

A simulação demonstra expressivos rebaixamentos da superfície freática, sobretudo na região central da zona urbana de São José do Rio Preto. No entanto, o efeito demonstrado não corresponde exatamente ao verificado na área. Mesmo na região central da zona urbana, o aquífero freático não aparece rebaixado em níveis muito profundos. Em alguns poços de monitoramento do freático visitados na Av. Alberto Andaló, o nível de água situa-se de 3,0 a 7,0 metros de profundidade.

A diferença entre o cenário modelado e o real é atribuída por de alguns fatores, podendo-se destacar:

- O modelo não considera a transiência do deslocamento da água subterrânea ao longo de toda extensão do aquífero;
- O regime de bombeamento dos poços não é ininterrupto, sendo muitas vezes condicionado pelo volume dos reservatórios e pelo perfil de consumo dos diferentes usuários e, nesta condição, os níveis dinâmicos podem se recuperar pela paralisação temporária do bombeamento;
- Possível resistência ao fluxo vertical descendente da água no aquífero, ocasionada pela heterogeneidade das múltiplas camadas sedimentares, conforme já discutidos em itens anteriores e descritos em outros trabalhos, como no citado por Barcha (1997).

As respostas definitivas sobre a diferença entre o cenário modelado e o real devem ser alcançadas em estudos posteriores, focando a avaliação detalhada do regime de bombeamento, bem como da interferência entre poços e, desse modo, permitir a validação e/ou a recalibração do modelo numérico, à luz de novos dados.

De qualquer maneira, o modelo numérico mostrou-se bastante consistente em relação à calibração alcançada e ao balanço hídrico, bem como corrobora a necessidade de gerenciamento da exploração da água subterrânea, sobretudo na região central e centro-norte da zona urbana de São José do Rio Preto. Pois, ainda que os níveis do aquífero freático não apresentem os rebaixamentos demonstrados,

reflete uma condição potencial se considerado o incipiente manejo sobre a exploração do recurso hídrico subterrâneo, atualmente constatado.

Recarga e Balanço Hídrico

O balanço hídrico pode ser considerado o item principal na investigação da superexploração do Sistema Aquífero Bauru e a base do processo para a determinação das áreas de controle do uso da água subterrânea.

Diversos métodos podem ser utilizados para calcular o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. A equipe técnica executora utilizou diferentes conceitos, valores e métodos para adotar um modelo que pudesse representar, o mais próximo possível, as condições existentes na área do estudo.

O objetivo pretendido, com o balanço hídrico, era identificar o volume de água subterrânea disponível no Sistema Aquífero Bauru, considerando fatores intervenientes, como as recargas naturais e induzidas, impermeabilização do terreno e aportes de corpos hídricos externos.

O método adotado considera, inicialmente, a recarga específica do modelo numérico, validada pelas vazões do posto fluviométrico de Ipiгуá (Código 6B-11). O Posto localiza-se no Rio Preto, coordenadas 20°37'43"N e 49°21'18"E, distante cerca de 4 km a jusante do limite da área de estudo. Apresenta valores das vazões do rio, de onde se utilizou uma série histórica de 12 anos, cujas medições são bastante completas.

A partir do valor da recarga específica de $71,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ foram efetuados os cálculos para a definição das recargas, considerando os 576 km² da área de contribuição do posto fluviométrico de Ipiгуá. Desse modo, ao multiplicar a recarga específica pela área de contribuição obtém-se uma vazão de 4,10 m³/s ou 129.405.579 m³/ano.

As recargas de uma determinada bacia hidrográfica também podem ser identificadas a partir da análise do hidrograma dos cursos d'água, conforme defendem diversos auto-

res, entre os quais Custódio e Llamas (2001) e Fetter (2001). O conceito baseia-se em que o nível de base de um curso d'água (córrego, rio, etc.) é mantido pela descarga da água subterrânea. O modelo hidrogeológico apresentado permite adotar este conceito, visto que os rios da região recebem descargas da água subterrânea dos aquíferos freáticos.

O período de estiagem de um hidrograma pode dizer muito sobre a recarga de uma área, que, conforme apresentado por Fetter (2001), o trecho do hidrograma correspondente ao fluxo de base no período de estiagem depende da topografia regional, do padrão de drenagem, do solo, do modelo hidrogeológico e do clima.

Existem fortes diferenças entre as regiões estudadas pelos autores e a região deste trabalho, sobretudo em relação ao clima e ao arcabouço geológico. Mesmo assim, a correlação entre as vazões do nível de base e a taxa de recarga da bacia pode ser aplicada neste caso. Desse modo, as mínimas médias mensais das vazões encontradas no posto de Ipiгуá podem representar, aproximadamente, a recarga dessa bacia.

Os dados do posto fluviométrico de Ipiгуá, foram obtidos no Sistema de Informações e Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH, referente ao período de 1989 a 2001. No hidrograma do posto fluviométrico de Ipiгуá, também se verifica o valor aproximado de 4 m³/s relacionado às vazões mínimas dos períodos de estiagem.

O valor de contribuição de 4,10 m³/s, anteriormente calculado, aproxima-se do valor das mínimas médias mensais do posto de Ipiгуá, corroborando o conceito da relação recarga e fluxo de base do rio.

A partir do conceito de interconexão do nível de base do rio e da recarga foram estabelecidas premissas para o cálculo da recarga natural da bacia hidrográfica do Rio Preto:

- A bacia do Rio Preto recebe contribuições da recarga natural na zona rural e das recargas naturais e induzidas (perdas da rede de abastecimento) na zona urbana;

- As vazões do posto de Ipiгуá refletem também as contribuições das águas captadas do Sistema Aquífero Guarani, consumidas pela cidade e lançadas como efluentes;
- Já o volume de água consumido pela população, proveniente do Rio Preto, não foi considerado, visto que retornam na forma de efluentes dentro da mesma bacia;
- Do mesmo modo, o volume de água captado do Sistema Aquífero Bauru e utilizado pela população, também não foi considerado no cálculo, uma vez que pertence ao mesmo sistema hídrico da bacia;
- As perdas provenientes das tubulações subterrâneas de adução de água foram consideradas totalmente como recargas, independentemente de sua origem (Aquíferos Bauru e Guarani ou o Rio Preto), visto que essas águas infiltram-se diretamente no subsolo.

Ao serem estabelecidas as premissas acima, a recarga natural resulta da seguinte equação:

$$(A_{ZR} \times R_n) + (A_{ZU} \times 0,5R_n) + R_i + G = 4,10 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Onde:

A_{ZR} – Área da Zona Rural

A_{ZU} – Área da Zona Urbana

R_n – Recarga natural

R_i – Recarga induzida (perdas da rede de distribuição de água)

G – Contribuição das águas do Sistema Aquífero Guarani à bacia do Rio Preto

Vale ressaltar que:

1. Na Zona Urbana a recarga natural foi multiplicada por 0,5, visando considerar a impermeabilização do terreno em que apenas 50% da recarga natural contribui ao aquífero;
2. As perdas de rede são consideradas integralmente na equação, independentemente de sua origem;
3. A contribuição do Sistema Aquífero Guarani, representada pela variável “G” da equação, considera o volume explotado

menos as perdas da rede referentes à parcela do Guarani que já foram consideradas na variável R.

A **Tabela 2.5** demonstra os cálculos que compõem a recarga natural a partir da equação acima.

Tabela 2.5 – Recarga natural e induzida e aporte do Aquífero Guarani

Área (km ²)	Recarga Natural (mm)	Volume Natural (m ³ /ano)	Recarga Induzida (mm)	Volume Induzido (m ³ /ano)	Volume Total (m ³ /ano)	
A _{ZU}	97	107	10.330.500	90	8.730.000	19.060.500
A _{ZR}	479	213	102.027.000	0	0	102.027.000
Total	576		112.357.500		8.730.000	121.087.500
Contribuição Guarani						8.336.087
TOTAL						129.423.587

Volume Natural = volume de água que recarrega o Sistema Aquífero Bauru no ano com base na recarga natural

Volume Induzido = volume de água que recarrega o Sistema Aquífero Bauru no ano com base na recarga induzida

A diferença existente entre o valor da recarga, obtido do produto da recarga específica pela área da bacia (129.405.579 m³/ano) e o valor total das contribuições da bacia (129.423.587 m³/ano), é de aproximadamente 0,1 % e, por isso, desprezível.

Vale ressaltar que a taxa total de recarga na zona urbana (197 mm), é muito inferior às taxas obtidas em estudos específicos realizados em grandes centros urbanos no Brasil e no mundo. De um modo geral, as recargas urbanas (natural e induzida) são maiores que as taxas naturais de áreas não urbanizadas, diferentemente do que foi adotado neste cálculo analítico.

Estudos de hidrogeologia urbana conduzidos pelo LAMO (Laboratório de Modelos Físicos da Universidade de São Paulo) têm indicado que áreas urbanas apresentam recargas superiores às equivalentes não ocupadas, coerentes com es-

tudos em outras partes do mundo (Lawrence *et al.*, 1996). Na cidade de São Paulo, as recargas naturais reduziram-se de 246 mm/a para 183 mm/a, quando áreas não urbanizadas se tornaram urbanizadas. Já a recarga total, considerando a recarga induzida por fugas das redes de água, esgoto e de galerias pluviais, elevaram-se de 311 mm/a para 437 mm/a em áreas residenciais de classe média (Viviani *et al.*, 2004). Estudos em outros países com regimes de chuvas similares aos do Estado de São Paulo, igualmente mostraram que as urbanizações incrementaram as recargas totais, geralmente de 150 mm/a para 400-600 mm/a (Foster *et al.*, 1999). Valores de recarga de 350 mm/a são reportados por outros autores como valores típicos em regimes climáticos paulistas, em área não ocupada por urbanização (Wendland *et al.*, 2007).

Neste trabalho foi adotada como recarga induzida exclusivamente os volumes de perdas da rede de distribuição de água, oficialmente apresentados nos relatórios de Conjuntura Econômica elaborados pela PMSJRP. Já os vazamentos das redes de esgoto, embora volumes relevantes de efluentes se infiltram no aquífero, não foram considerados. É possível que os volumes de recarga urbana adotados sejam inferiores aos efetivamente existentes no local, o que implica serem valores conservadores para a disponibilidade de água do aquífero, sobretudo na zona urbana. Determinações mais precisas das taxas de recarga na zona urbana de São José do Rio Preto devem ser realizadas para o refinamento e recalibração dos resultados alcançados.

Apesar dessa possível condição conservadora do resultado do balanço hídrico, esses cálculos foram baseados nos dados existentes sobre o regime dos cursos d'água superficiais e perdas de água da rede. Desse modo, esses dados foram utilizados para avaliar o consumo *versus* a disponibilidade, considerando que o Sistema Aquífero Bauru recebe anualmente uma recarga total de cerca 121 milhões de metros cúbicos, nesta área de 576 km².

Extrapolando para toda a área de estudo de 728 km² e considerando que a área fora da bacia do Rio Preto (152 km²) corresponde somente à Zona Rural, tem-se uma contribuição adicional de 32.376.000 m³/ano (152 km² x 213

mm). Assim, a recarga anual do Sistema Aquífero Bauru em toda a área de estudo é de 153.463.500 m³ que representa 12.788.625 m³/mês ou, ainda, 4,87 m³/s.

A proposição de identificar o volume de água disponível no aquífero considera o volume da recarga subtraído da vazão mínima de referência (Q_{7-10}) da bacia de referência (**Tabela 2.6**). Com isso, e considerando a interconexão dos níveis de base do rio de interesse e da superfície livre da água subterrânea, admite-se uma margem de segurança para a vazão ecológica do rio.

A expressão Q_{7-10} corresponde à vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos. O valor calculado, considerando toda a área de estudo (728 km²), é 1,181 m³/s, utilizando os dados da Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo na internet (www.sigrh.sp.gov.br).

Tabela 2.6 – Disponibilidade hídrica subterrânea (em 10⁶ m³/ano)

Recarga Total	153,5
Q_{7-10}	37,2
Disponibilidade Hídrica	116,2

A comparação entre o volume explorado pelos poços (3,16 X 10⁶ m³/mês) e o valor da disponibilidade hídrica do Sistema Aquífero Bauru (9,70 X 10⁶ m³/mês) demonstra que apenas cerca de 30% deste recurso hídrico subterrâneo está sendo explorado. No entanto, conforme já discutido, cerca de 90% dos poços estão distribuídos em aproximadamente 15% da área, provocando, localmente, um desequilíbrio entre a disponibilidade e a demanda, o que requer a adoção de medidas de controle.

O baixo nível de comprometimento do aquífero, com apenas 30% da disponibilidade hídrica sendo explorada na área de estudo e, por sua água constituir um bem renovável, faz do Sistema Aquífero Bauru um importante manancial estratégico no abastecimento do município. Porém, devido ao cenário de desequilíbrio na relação taxa de exploração/disponibilidade, em algumas áreas, a exploração deve ser efetuada em mo-

delo diferente ao que vem ocorrendo atualmente. Uma opção a ser considerada pela empresa de abastecimento público de água é a adoção de campos de poços. De maneira integrada, devem ocorrer políticas de controle do uso do solo e da água subterrânea que permitam a exploração sustentável do aquífero e proteção da qualidade da água.

O excedente hídrico local foi calculado para o período de 1994 a 2007 pelo método de Thornthwaite utilizando o Programa Baslac da UNICAMP. Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos no sítio do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC-CIAGRO), com leituras na estação meteorológica da Casa da Agricultura Regional de São José do Rio Preto (CATI), localizada em 20° 48'N, 49° 23'E. O armazenamento máximo do solo é 125 mm, de acordo com dados publicados pelo IAC.

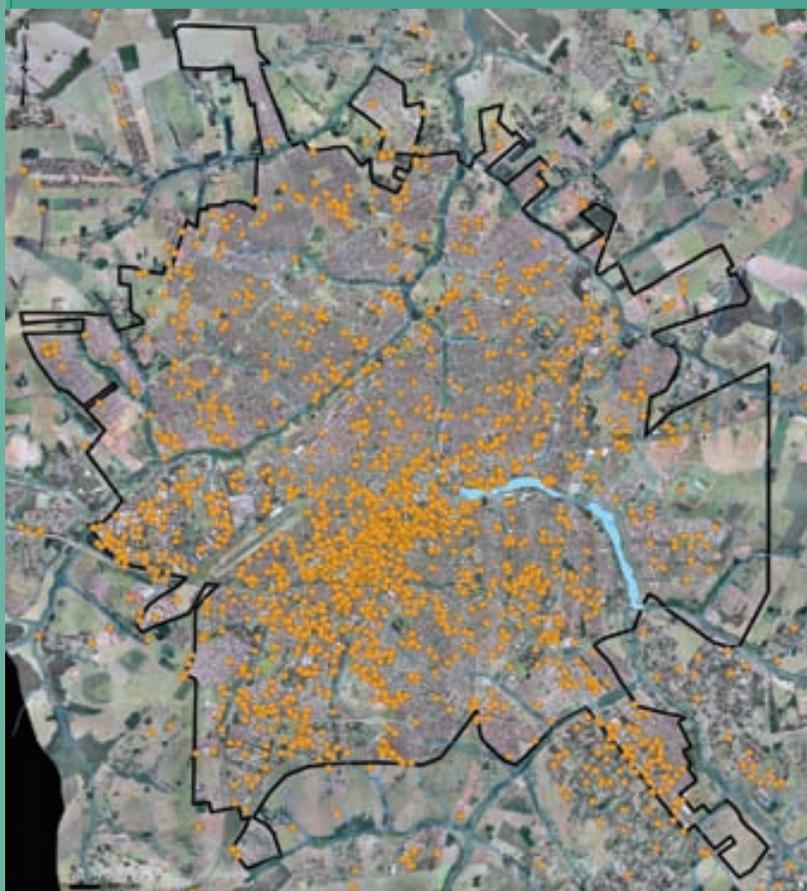
O excedente hídrico médio calculado para o período foi 249 mm. Conforme o método de Thornthwaite & Mather (1955) podem ocorrer desvios da ordem de até 30%, em decorrência da variação da densidade e tipologia da cobertura vegetal, topografia e características do solo.

O excedente hídrico representa o volume de água que pode escoar na superfície do terreno e infiltrar-se no solo. A maior parte do que se infiltra no solo será adicionada ao reservatório subterrâneo (aquífero), correspondendo à recarga. A recarga natural adotada neste trabalho (213 mm) representa 85% do excedente hídrico calculado para a região.

Entre os métodos que podem ser utilizados para a obtenção da recarga, o balanço hídrico calculado pelo modelo numérico, bem como os cálculos analíticos comparados com os dados de nível de base do rio Preto foram mais coerentes com a dinâmica do aquífero na região que os cálculos de excedente hídrico.

Capítulo 3

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



3. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Vulnerabilidade dos Aquíferos

A vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação foi avaliada por meio do método GOD (Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988) que se baseia em dados existentes das condições geológicas e hidrogeológicas e objetiva ranquear áreas de acordo com a susceptibilidade de contaminação do aquífero por ações antrópicas. A **Figura 3.1** apresenta o resultado da avaliação de vulnerabilidade, junto de informações sobre o potencial de carga contaminante que será detalhado a seguir.

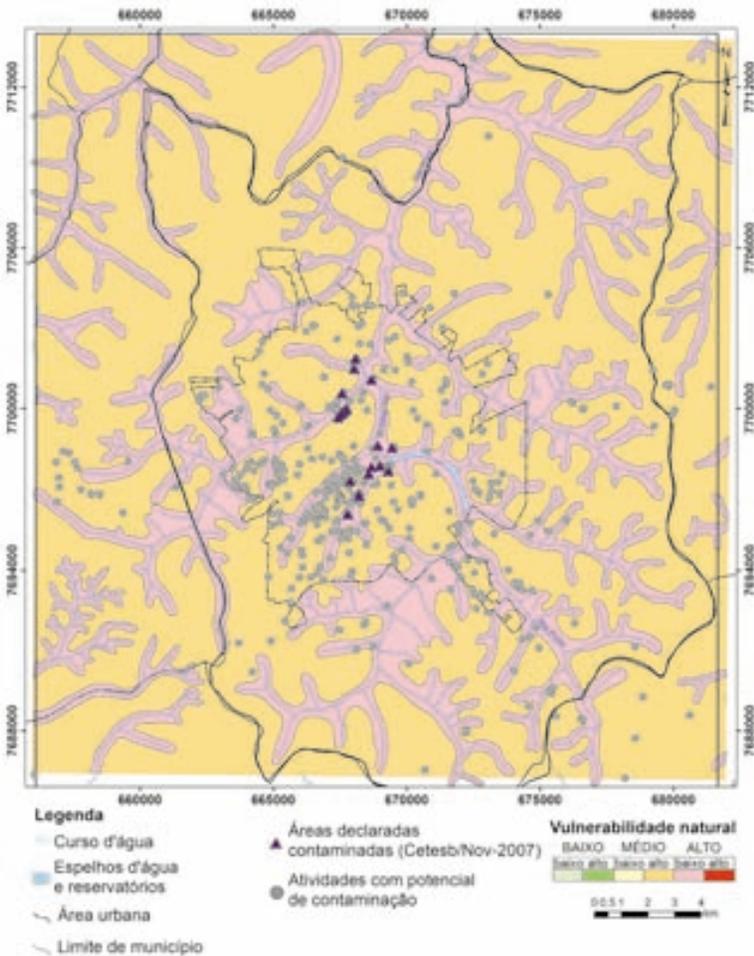


Figura 3.1 – Vulnerabilidade do aquífero à contaminação, atividades indicativas de carga contaminante potencial e áreas contaminadas

A classificação da vulnerabilidade para a área de estudo, segundo o método GOD, é média-alta aumentando para alta-baixa junto às drenagens. A vulnerabilidade à contaminação, somada ao baixo manejo do uso do recurso hídrico subterrâneo e da ocupação do solo atribui ao Sistema Aquífero Bauru, um cenário de elevada susceptibilidade a problemas de qualidade da água subterrânea.

Deve-se ressaltar que um dos fatores que pode agravar as condições da superexploração é a alteração da qualidade do recurso hídrico. Isto porque a relação consumo/disponibilidade eleva-se em decorrência do comprometimento da qualidade da água disponível, devido a problemas de contaminação.

Não há registros efetivos nos Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos da bacia que os aspectos de vulnerabilidade à contaminação do aquífero tenham sido considerados para definir a localização dos distritos industriais e de outras atividades econômicas com potencial de contaminação.

O município de São José do Rio Preto conta com 3 Distritos e 13 minidistritos industriais que, apesar do nome, podem abrigar atividades industriais, comerciais e de serviços. O relatório da Conjuntura Econômica (PMSJRP, 2009) registra 1.289 indústrias instaladas no município, 3.958 empreendimentos de serviços e 5.340 comércios. No entanto, não foi possível obter informações específicas que permitissem avaliar a quantidade e a localização exata de atividades com potencial de contaminação.

Estudos que correlacionem a vulnerabilidade à contaminação em função da localização de atividades potencialmente contaminadoras podem fornecer importantes resultados para programas e ações de proteção do aquífero. A identificação do potencial contaminador pode ser efetuada pelas características do empreendimento como, por exemplo, as disponíveis no banco de dados da CETESB (SIPOL).

Como não foi possível obter tais informações no curso deste projeto, esta atividade pode ser realizada pelo órgão gestor, a partir do sistema georreferenciado desenvolvido.

Alguns critérios a partir da razão social dos proprietários dos poços serviram para classificar as atividades com potencial de cargas contaminantes (**Figura 3.1**). Os resultados podem, por outro lado, apresentar fortes incertezas, já que no cadastro não há informação sobre o ramo específico da atividade do empreendimento.

No município existem 19 áreas contaminadas declaradas pela CETESB, sendo 14 postos de combustíveis e 5 de comércios relacionados à estocagem e distribuição de combustíveis. Esses pontos foram georreferenciados, inseridos no SIG e também apresentados na **Figura 3.1**. As áreas relativas às bases de estocagem de combustíveis estão situadas no limite dos locais de alta vulnerabilidade à contaminação, correspondentes à planície aluvial do córrego Piedade.

As fontes pontuais de contaminação, representadas pelas atividades produtivas, constituem riscos à qualidade das águas subterrâneas e devem, sempre que possível, ser instaladas em locais de menor susceptibilidade à contaminação. As fontes difusas de contaminação, como os vazamentos de esgotos e saneamento *in situ*, representam um problema de maior complexidade no controle e na mitigação de áreas afetadas.

O histórico da ocupação urbana em São José do Rio Preto, associado ao nível de vulnerabilidade do aquífero neste local foram fatores preponderantes para as ocorrências de contaminação por nitrato, já identificadas nas águas subterrâneas da zona urbana e que serão discutidas a seguir.

Análises Químicas

As águas naturais do Sistema Aquífero Bauru apresentam dois tipos dominantes, segundo Campos (1987): águas bi-

carbonatadas cálcicas e calco-magnesianas, sendo o Hidrogenocarbonato, o Cálcio e o Magnésio os principais íons. A condutividade elétrica é inferior a 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Coeelho, 1996), chegando a 404 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com mediana de 237 $\mu\text{S}/\text{cm}$ segundo a CETESB (2008). O pH varia entre 6,3 a 9,9 com mediana de 7,4 (CETESB, 2008).

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas, contou com a execução de análises de uma extensa lista de substâncias, além da compilação de dados já existentes. O foco destes estudos de qualidade foram as substâncias de ocorrência antropogênica, principalmente o nitrato e eventual ocorrência de substâncias orgânicas, incluindo agrotóxicos. Os metais também foram considerados e, embora ocorram naturalmente, podem se apresentar em concentrações anômalas decorrentes de alterações no meio provocadas por atividades antrópicas.

No total foram utilizados os resultados analíticos de 265 amostras: laudos disponibilizados pelo DAEE (131); resultados fornecidos por Cristiane Guiroto (2008); resultados do monitoramento de Silva (2002) em 32 poços (1996); e análises de 30 amostras previstas no escopo do projeto coletadas em 17 poços.

As interpretações realizadas pela Servmar adotam como critério as referências de Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, e os valores de referência estabelecidos na Lista de Valores Orientadores (CETESB, 2008), sendo, em alguns casos, comparados os resultados das análises aos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) e aos Valores Orientadores de Intervenção (VOI).

A lista de parâmetros analisados possui cerca de 140 substâncias, entre orgânicos, inorgânicos e bacteriológicos, mas apenas os parâmetros nitrato e cromo serão discutidos, devido à relevância da ocorrência destas substâncias no cenário da qualidade das águas subterrâneas no local.

Ocorrência do Nitrato

O nitrato foi analisado em 231 amostras de 141 poços, sendo detectado em 133 poços e em 22 ultrapassou o limite de referência. Considerando apenas as 30 amostras coletadas pela Servmar em 17 poços, o nitrato esteve presente em 14 amostras de 10 poços, sendo que em apenas 1 ultrapassou o valor máximo permitido (**Figura 3.2**) e apresentou concentrações elevadas em outros dois.

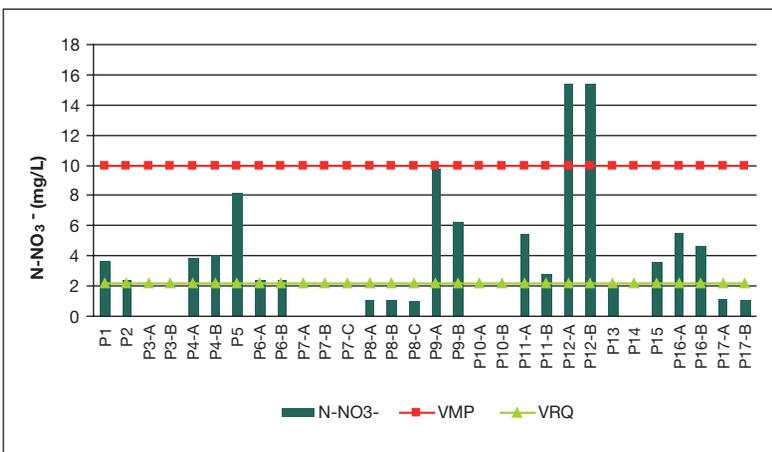


Figura 3.2 – Concentração do nitrato nos poços da região (levantamento Servmar).

O estudo de Silva (2002) mostra variação de concentração do nitrato medida em fevereiro, maio e agosto de 2000. Segundo o autor, a concentração de nitrato varia em função de três fatores: a localização dos poços entre os espigões e os vales, a sazonalidade de chuvas e a proximidade com a rede de esgoto antiga.

De acordo com esse estudo, os teores de nitrato diminuem dos espigões aos vales dos rios, provavelmente devido a processos de diluição e desnitrificação. Durante o período chuvoso ocorre aumento dos teores de nitrato atribuído ao carreamento pelas águas das chuvas. A região central e os bairros mais antigos onde a densidade populacional é maior e com rede de esgoto mais antiga, os teores de nitrato são mais elevados chegando a 19 mg/L, devido às fugas da rede de esgoto.

A **Figura 3.3** foi elaborada para ilustrar a afirmação de Silva (2002), mostrando que fevereiro e maio são os períodos com maiores concentrações de nitrato, sendo maio o mês com o maior número de ocorrências acima de 10 mg/L de nitrato.

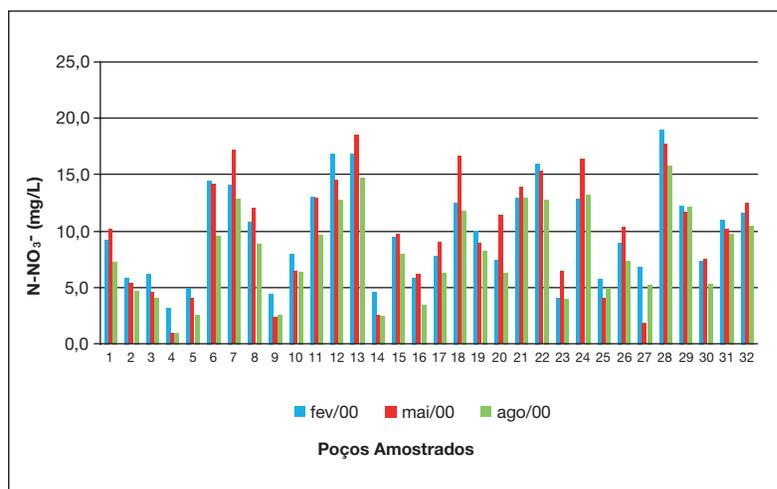


Figura 3.3 – Concentração de nitrato em poços localizados na região urbana de São José do Rio Preto (Silva, 2002)

A distribuição dos poços monitorados para o parâmetro nitrato é apresentada na **Figura 3.4**. Os resultados são provenientes da compilação realizada em diferentes fontes de dados. É possível observar que na região central da área urbana concentram-se os poços com valores acima do VMP, corroborando as afirmações de Silva (2002) sobre a ocorrência associada ao núcleo populacional mais adensado e sistema coletor de esgoto mais antigo.

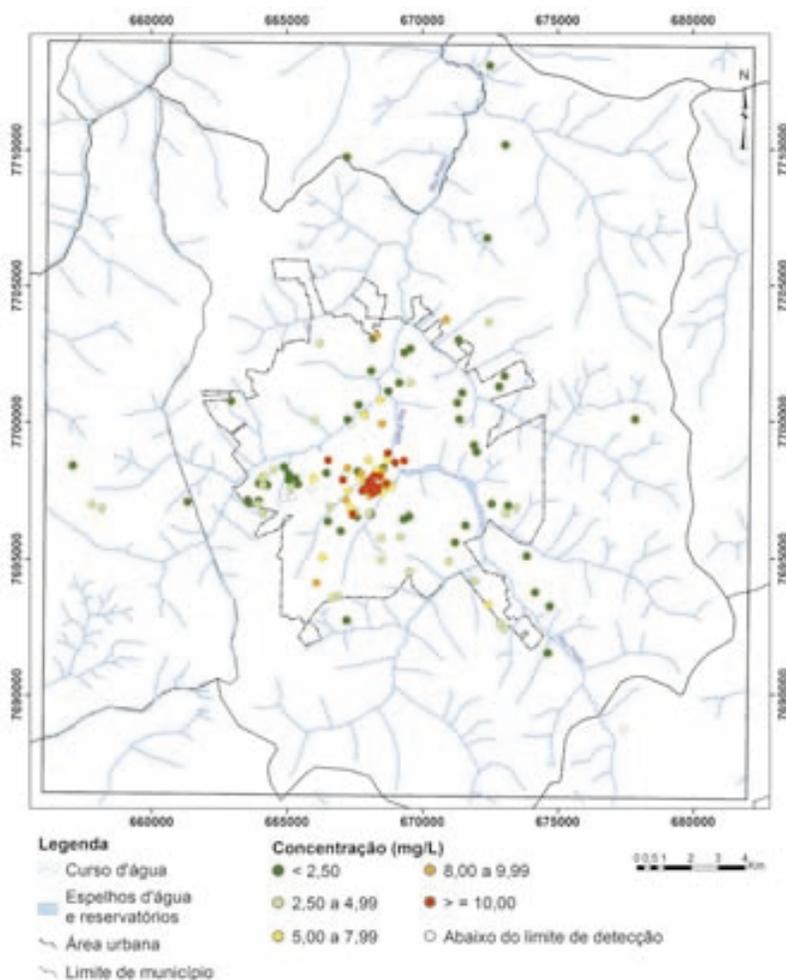


Figura 3.4 – Resultados das análises químicas para nitrito

Ocorrência do Cromo

O cromo foi analisado em 120 amostras coletadas em 96 poços, detectado em 82, sendo que em 8 poços ultrapassou os limites de referência. Das 30 amostras coletadas pela Servmar, o cromo esteve presente nos 17 poços e, em 2, ultrapassou os limites de referência. O Cromo é um elemento que se distribui pela região em concentrações aproximadamente semelhantes, no entanto, observam-se valores anômalos em alguns locais.

No levantamento realizado pela Servmar, conforme mostra a **Figura 3.5**, o cromo ocorre em concentrações acima do Valor Máximo Permitido em três amostras de dois poços e, em concentrações próximas do Valor Máximo Permitido, em dois poços.

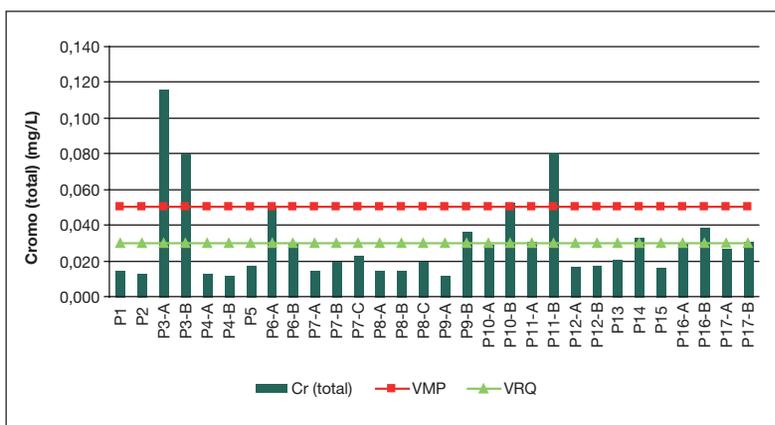


Figura 3.5 – Concentração do Cromo (total) nos poços (levantamento Servmar).

Considerando todas as análises existentes de Cromo (fontes: DAEE, Guiroto e Servmar) observou-se que, em 10 poços dispersos pela área, as concentrações de cromo apresentaram-se acima do VMP (**Figura 3.6**).

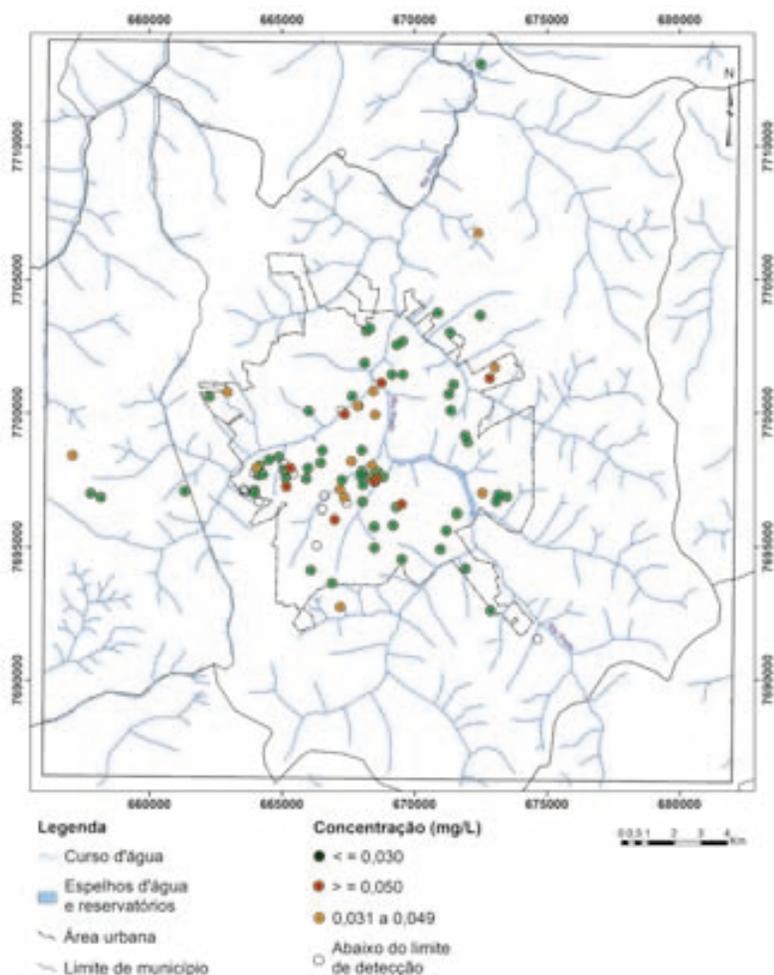


Figura 3.6 – Resultados das análises químicas para cromo

Comparação entre o Nitrato e o Cromo

As amostras foram coletadas em diferentes períodos de bombeamento com a finalidade de avaliar a concentração do cromo e do nitrato em função do tempo e da composição das águas provenientes de diferentes profundidades do aquífero.

Nos dois poços onde se realizaram testes de bombeamento foram coletadas 03 amostras em diferentes períodos: início, meio e final do teste. A **Figura 3.7** mostra que para estes casos houve aumento da concentração do cromo em fun-

ção do tempo em ambos os poços, sendo maior no poço P8 (situado a leste do município). O nitrato não foi detectado no P7 (**Figura 3.8**), e no P8 esteve em concentrações baixas tendendo a diminuir a concentração com o tempo. O P7 está localizado em área próxima de antiga pastagem onde está começando a urbanização, ao contrário do P8 que se localiza em área urbanizada há mais tempo.

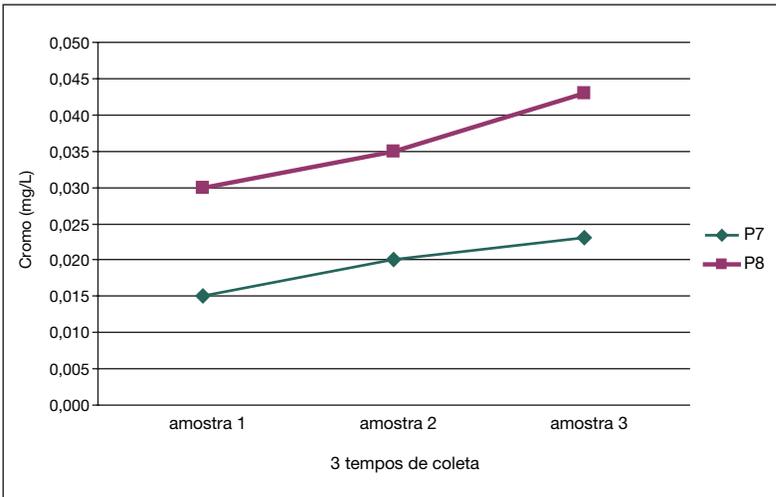


Figura 3.7 – Concentração de cromo (total) em amostras coletadas em três períodos diferentes de bombeamento

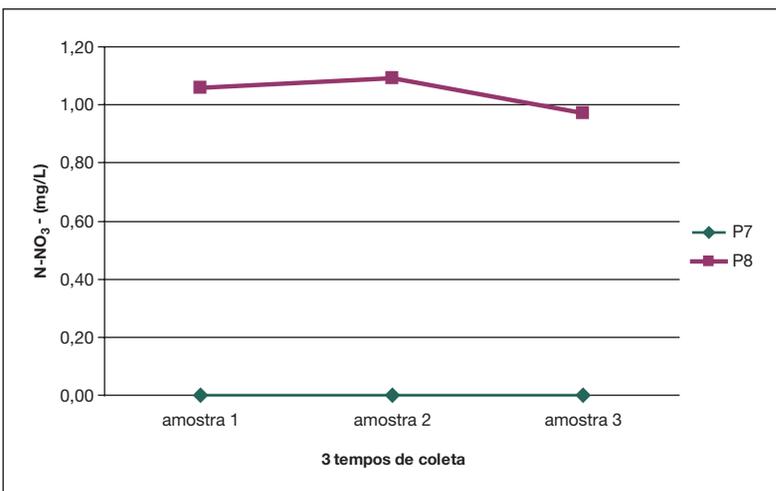


Figura 3.8 – Concentração de nitrato ($N-NO_3^-$) em amostras coletadas em três períodos diferentes de bombeamento

Amostragem múltipla em dois tempos foi efetuada em nove poços. Houve aumento das concentrações de cromo na segunda coleta, com maior tempo de bombeamento, para a maioria desses poços (06) (**Figura 3.9**). Este comportamento indica que o cromo ocorre em maiores concentrações quanto maior a profundidade.

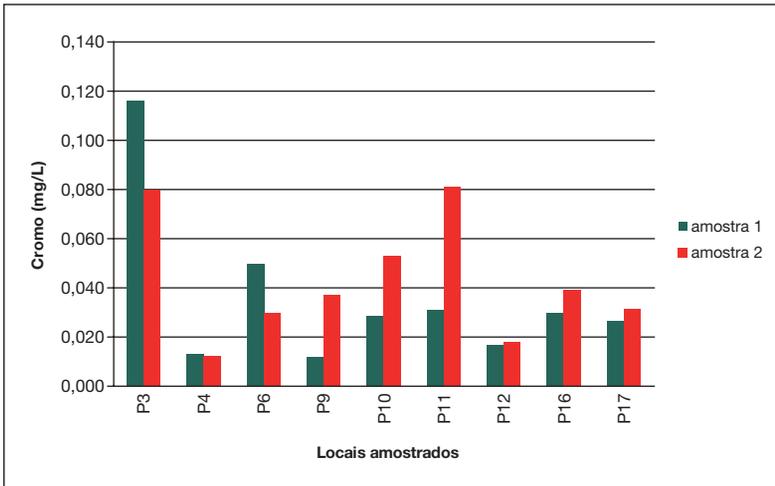


Figura 3.9 – Concentração de cromo em amostras coletadas em dois períodos diferentes de bombeamento

Em relação ao nitrato observou-se a maior concentração no poço 50, localizado na área central, próximo do córrego Borá. Tanto na primeira coleta como na segunda, as concentrações situam-se próximo de 15 mg/L (**Figura 3.10**).

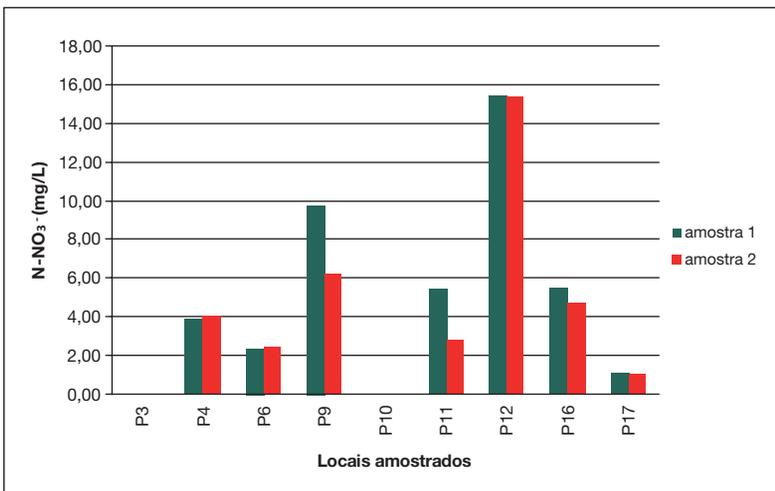


Figura 3.10 – Concentração de nitrato em amostras coletadas em dois períodos diferentes de bombeamento

As tendências das substâncias cromo e nitrato permitem inferir que o cromo está associado à qualidade natural da água, já que as maiores concentrações situam-se em maiores profundidades e, pelo comportamento inverso, o nitrato estaria associado à contaminação de águas mais rasas do aquífero, devido, sobretudo às infiltrações de esgotos. São conclusões muito preliminares, no entanto, e devem ser seguidas por estudos de detalhe no futuro.

O monitoramento analítico da Servmar não possibilitou a confirmação de níveis críticos de ocorrência de nitrato. Acredita-se que a ausência de concentrações elevadas de nitrato nos poços amostrados pela Servmar corrobore as afirmações de Silva (2002) sobre concentrações mais baixas de nitrato associadas a núcleos habitacionais mais recentes.

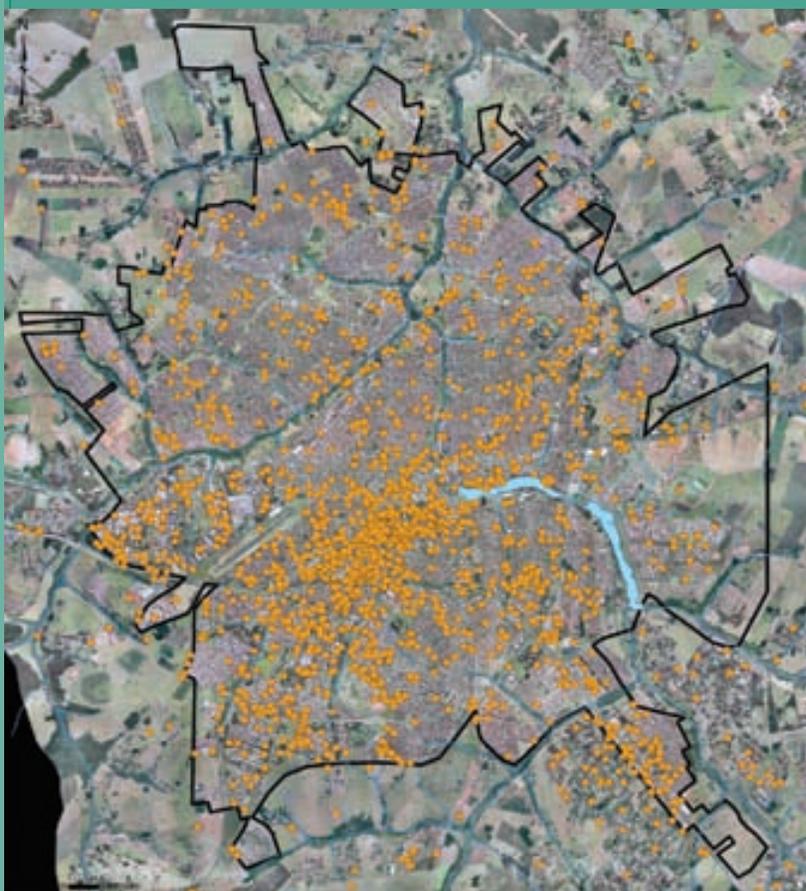
Apesar das amostragens da Servmar não confirmar problemas relacionados às ocorrências de nitrato, a compilação de resultados analíticos realizada neste projeto aponta para a existência de um cenário crítico de contaminação, sobretudo associado às áreas mais antigas da zona urbana, que também coincide com as maiores densidades demográficas do município e com os maiores índices de exploração e rebaixamento do Sistema Aquífero Bauru da área estudada.

A ocorrência de contaminação do Sistema Aquífero Bauru por nitrato em São José do Rio Preto já foi apontada por estudos anteriores, a exemplo de Silva (2002), e representa um potencial impacto na disponibilidade de água subterrânea na região central da cidade.

Os resultados das ocorrências de nitrato e cromo obtidos apontam para a necessidade de conhecimento da qualidade de água em todos os poços de produção, bem como estudos de detalhe para maior entendimento do comportamento destas substâncias, incluindo a origem, concentrações e mobilidade nas águas subterrâneas.

Capítulo 4

PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO



4. PROPOSTA DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO

Critérios para Aplicação de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea

O método utilizado na delimitação da área de restrição e controle do uso das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto foi desenvolvido com fundamento nos resultados do trabalho.

O desenvolvimento de um método que permitisse a delimitação de área de restrição e controle objetivou, fundamentalmente, a criação de ferramentas e mecanismos para o gerenciamento da exploração das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.

A fase inicial procurou identificar os critérios que pudessem caracterizar o cenário, de maneira a classificar áreas com necessidade de restrição e controle. Os critérios definidos são o volume total de água disponível no aquífero e as vazões totais de exploração dos poços ativos.

O volume total de água disponível no aquífero corresponde ao volume da recarga do aquífero subtraído pela vazão mínima de referência (Q_{7-10}) da bacia hidrográfica do Rio Preto. No capítulo 2 foi apresentado detalhadamente o desenvolvimento dos cálculos que determinaram um volume disponível da ordem de 9,7 milhões de $m^3/mês$.

No mesmo capítulo 2 demonstrou-se o procedimento utilizado para a determinação da taxa de exploração por poço, resultando cerca de 3,2 milhões de $m^3/mês$ de exploração total do aquífero. Salienta-se que a distribuição de poços é bastante irregular, havendo elevada concentração de poços na zona urbana do município, sobretudo, na região central da cidade.

O método aplicado para regionalizar os dados de disponibilidade e exploração e, desse modo, distinguir locais com

diferentes taxas de consumo do aquífero, é a divisão de quadriculas da área de estudo em células de 500 x 500 m e em cada célula determinar a vazão de exploração, representada pela somatória das vazões dos poços existentes na quadricula. Em cada célula o volume de água disponível no aquífero é de 3,3 mil m³/mês.

No aquífero poroso, no entanto, uma quadricula “superexplorada” retira água de seu entorno para suprir a própria demanda. Por esta razão e para homogeneizar os dados de exploração, que eram diferentes a cada quadricula, optou-se pela somatória dos valores de 9 quadriculas, conforme demonstrado na **Figura 4.1**.

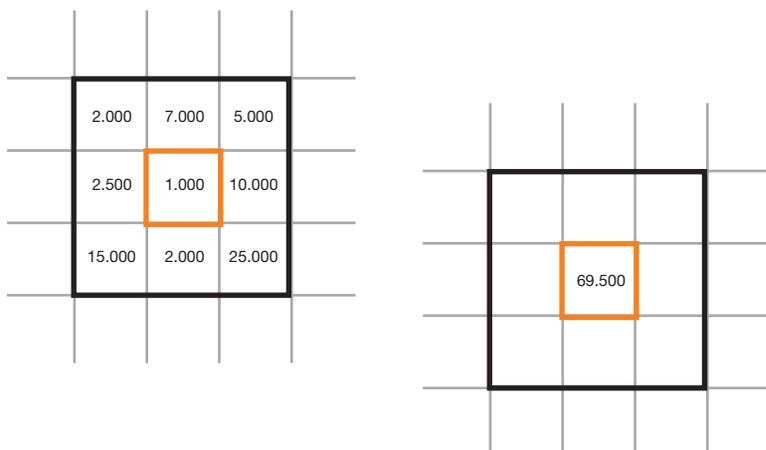


Figura 4.1 – Método da somatória das vazões de exploração

O método de somatória da quadricula com as quadriculas do entorno foi efetuado tanto para as vazões de exploração quanto para a disponibilidade. Somando os volumes disponíveis nas 9 células, calcula-se um total de 30 mil m³/mês disponíveis em cada quadricula. Do mesmo modo efetua-se a soma das vazões em cada célula e, posteriormente, a somatória das somas das vazões da célula central e suas circundantes.

A comparação entre os valores de disponibilidade e os valores de exploração, assim obtidos em cada quadricula, permitiu determinar os locais onde a exploração estava superando a disponibilidade. A partir da identificação dos locais com esta tendência pode-se estabelecer a proposta de

controle, determinando as medidas de restrição de uso, no sentido de promover o uso sustentável do recurso hídrico subterrâneo do Sistema Aquífero Bauru. Os elementos da proposta são apresentados a seguir.

Proposta de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea

A proposta de restrição e controle do uso das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto se baseia na comparação entre a exploração e disponibilidade, com fundamento nas diretrizes constantes na Deliberação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH nº 52 de 15 de abril de 2005.

Os critérios adotados para definição do modelo de restrição e controle visam o manejo do uso da água subterrânea do Sistema Aquífero Bauru, tendo a sustentabilidade como meta sem, no entanto, provocar um abrupto impedimento de seu uso em virtude da elevada pressão da demanda.

Vale salientar que, do total de água explorada do Sistema Aquífero Bauru, a maior parcela é utilizada por usuários privados (aproximadamente 55%) e que representa cerca de 35% de toda a água demandada no município de São José do Rio Preto. A exploração por particulares é muito relevante no sistema de fornecimento de água do município e não poderia ser desconsiderada ou impedida. Somado ao volume de água explorado pelo SEMAE, o Sistema Aquífero Bauru é responsável pelo abastecimento de cerca de 65% de toda a demanda de água na área.

Diante disso, reitera-se que os critérios de gestão devem ser, até certo ponto, tolerantes ao uso do recurso hídrico subterrâneo, pelo menos no estágio inicial de restrição e controle, para que não provoquem um colapso no abastecimento na região. No entanto, à medida que avançarem as ações de manejo e executadas as alternativas de abastecimento, deve-se permitir somente a captação do volume sustentável do aquífero.

O método de regionalização da exploração permitiu identificar que a maioria das quadrículas possui taxas de exploração inferiores à disponibilidade, por outro lado identificou diversas quadrículas onde as explorações superam a disponibilidade e existem locais onde os volumes explorados superam em mais de 100% o volume disponível.

Visando priorizar as ações de gerenciamento e balizar a adoção das medidas de controle, as taxas de exploração foram agrupadas em faixas e foram definidas três Zonas de Ações Prioritárias (ZAP), a saber:

- ZAP 1 – área de 42 km² constituída pelas quadrículas com taxa de exploração superior ao dobro da disponibilidade (exploração >60 mil m³/mês);
- ZAP 2 – área de 40 km² constituída pelas quadrículas com taxa de exploração superior à disponibilidade até o dobro da disponibilidade (exploração >30 mil m³/mês até 60 mil m³/mês);
- ZAP 3 – área de 10 km² constituída pelas quadrículas com taxa de exploração igual ou superior a 75% da disponibilidade até o volume disponível (Vazões de exploração ≥22,5 mil m³/mês até 30 mil m³/mês).

Vale lembrar que a somatória das disponibilidades da quadrícula de interesse com as de seu entorno resulta em um total da ordem de 30 mil m³/mês.

Os limites das Zonas de Ações Prioritárias 1, 2 e 3 podem ser visualizados na **Figura 4.2**.

A adoção do limite inferior de vazão de exploração para determinar as ZAPs baseia-se no Parágrafo 1º, do Artigo 10 da Deliberação CRH nº 52/05 que determina: “se a relação Consumo/Disponibilidade for maior ou igual a 0,75, a área será definida como área crítica quanto à disponibilidade da água subterrânea e passível de ser classificada como Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO) à captação e uso das águas subterrâneas”.

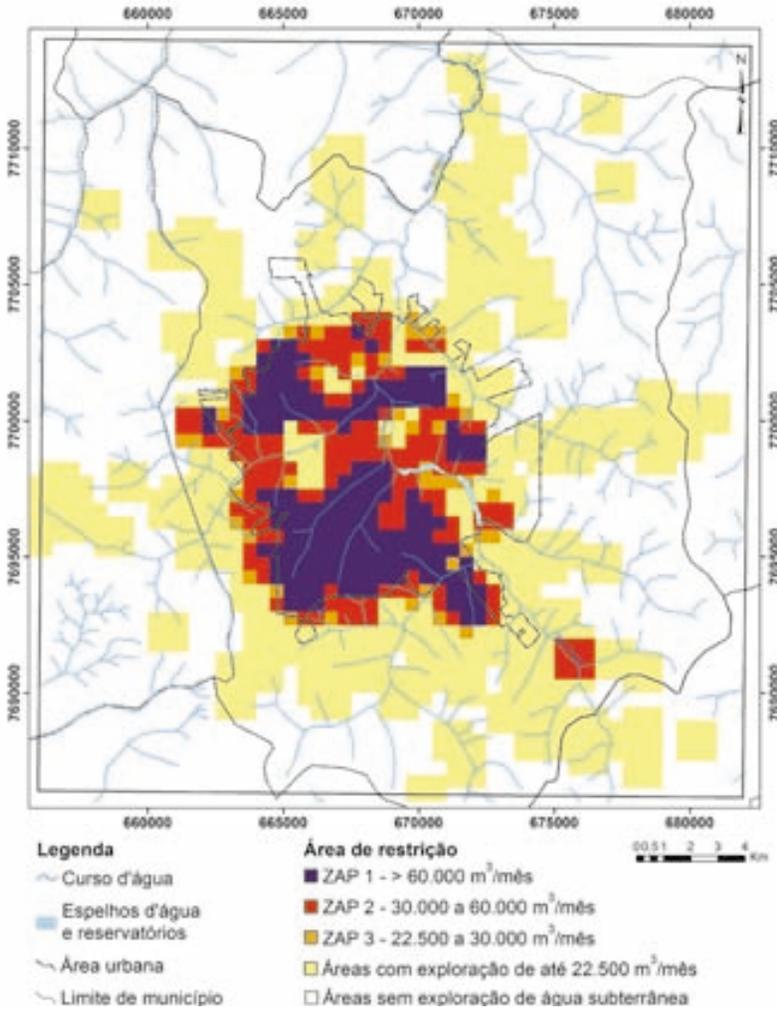


Figura 4.2 – Zonas de Ações Prioritárias (ZAP)

As quadrículas que apresentam taxas de vazões inferiores a 75% do volume disponível não foram incluídas em nenhuma zona de ações prioritárias, reconhecendo-se que neste cenário de exploração do aquífero não há necessidade de medidas de controles adicionais às já previstas na legislação vigente. A região fora das ZAPs corresponde a 636 km² e em 426 km² não há notícia de poço explorando o Sistema Aquífero Bauru.

Para efeito de visualização e comparação entre as ZAPs e a ocorrência de poços de produção e a ocupação urbana, foi elaborada a **Figura 4.3** que permite correlacionar o consumo das águas subterrâneas e os elementos urbanos.

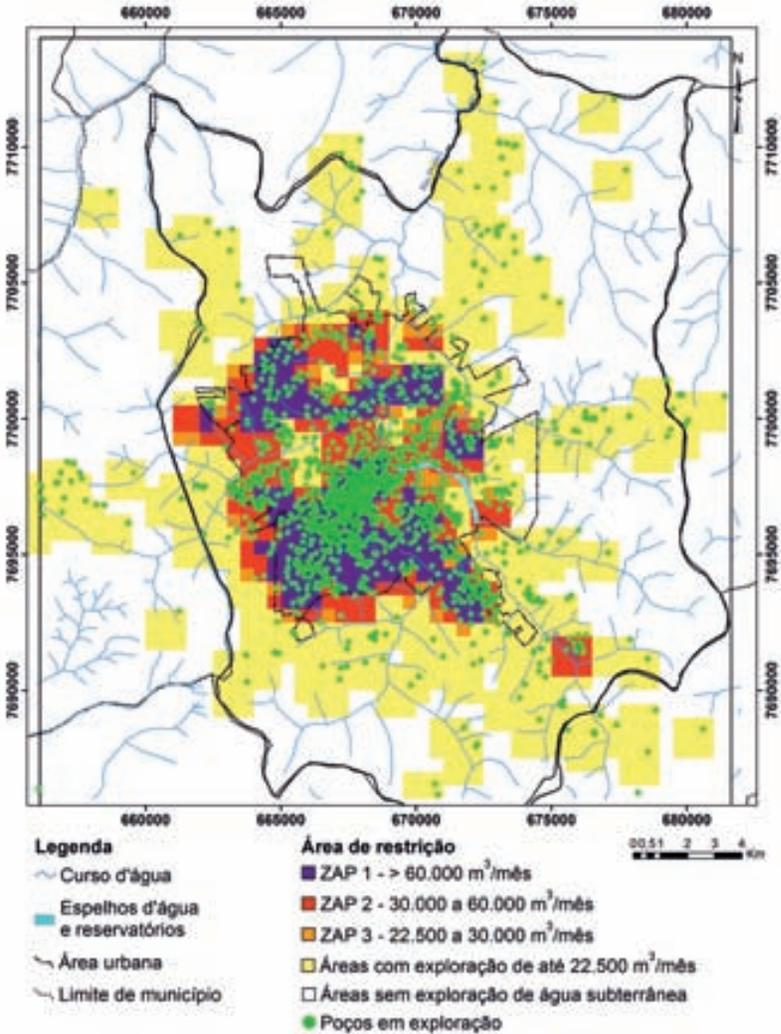


Figura 4.3 – Zonas de Ações Prioritárias, poços de produção existentes e a delimitação da zona urbana de São José do Rio Preto

Adicionalmente às ZAPs, foi adotada uma área de aproximadamente 2 km², correspondendo a um círculo de 800 m de raio, para garantir uma demanda média de 35 m³/h aos poços públicos.

O círculo de 800 m de raio no entorno dos poços públicos visa estabelecer um critério adicional ao controle da exploração da água subterrânea, priorizando seu uso para o abastecimento público. A esta área será dada a denominação de Área Prioritária para Abastecimento Público (APAP).

A partir da classificação das ZAPs e APAPs foram estabelecidas as propostas de medidas de restrição e controle, apresentadas na **Tabela 4.1**.

Tabela 4.1 – Proposta de medidas de restrição e controle

SITUAÇÃO DOS POÇOS	MEDIDAS DE RESTRIÇÃO		
	ALTA – ZAP 1	MÉDIA – ZAP 2	BAIXA – ZAP 3
Novos Poços	Não permitido	Não permitido, exceto substituição de PP	Permitido fora da APAP*
Poço Desativado	Tamponar	Tamponar	Tamponar
Poço público	AC e MA6	AC e MA6	AC e MA12
Poço particular fora da APAP	AC e MA6	AC e MA6	AC e MA12
Poço particular dentro da APAP	AC, MA6 e AEI	AC, MA6 e AEI	AC, MA12 e AEI
Poço contaminado (Portaria 518)	Paralisação 2 x MA3**	Paralisação 2 x MA3**	Paralisação 2 x MA3**

- APAP: Área Prioritária para Abastecimento Público.
- PP: Poço de Abastecimento Público, operado pela concessionária.
- AC: Atividades Condicionantes (descritas a seguir).
- MA: Amostragem e análise química dos parâmetros da Portaria MS nº 518 de 25/03/2004, com monitoramento trimestral (3), semestral (6) ou anual (12).
- AEI: Avaliação Específica de Interferência.
- (*) – Permitida a instalação de novos poços particulares ou para abastecimento público, desde que a vazão total de exploração fique limitada ao valor da disponibilidade.
- (**) – Poços contendo substâncias acima dos valores de referência de potabilidade, durante duas campanhas trimestrais, devem ser lacrados ou tamponados.

As medidas de restrição e controle destinadas aos poços futuros estabelecem que, na ZAP-1 não serão permitidas novas perfurações, na ZAP-2, somente em substituição de poços para abastecimento público e na ZAP-3 são permitidos novos poços, desde que as vazões outorgadas atendam ao limite de disponibilidade. Estas medidas visam inibir

a instalação de poços particulares nas áreas críticas, bem como direcionar futuros poços públicos em áreas sem comprometimento de disponibilidade.

A outorga de novos poços na ZAP 3 e, como sugestão, nos locais fora dos limites das ZAPs, porém dentro da área de estudo, deve seguir o mesmo critério de somatória das explorações da quadrícula de interesse (local do futuro poço). Assim, o limite a ser outorgado será a diferença entre a disponibilidade (30 mil m³/mês) e a somatória de vazões de exploração dos poços já existentes.

Os poços classificados como “Poço contaminado (Portaria 518)” correspondem a eventuais poços que, no processo de monitoramento analítico, identifiquem alguma variação de qualidade, em concentrações acima dos valores de referência para os parâmetros da Portaria MS nº 518. Neste caso, o bombeamento deverá ser imediatamente paralisado e propostas duas campanhas de monitoramento trimestrais para a confirmação do desvio de qualidade. Ocorrendo a permanência das concentrações, durante os monitoramentos, fica estabelecida a necessidade de lacrar ou tamponar o poço. A critério dos órgãos responsáveis pela qualidade de água (CETESB) e saúde pública (Vigilância Sanitária), outras medidas poderão ser adotadas.

As medidas de restrição e controle estabelecem que em todos os poços existentes nas ZAPs deverão ser executados pelos proprietários de poços as Atividades Condicionantes (AC) e os Monitoramentos Analíticos (MA). Adicionalmente, os proprietários de poços particulares situados nas APAPs deverão apresentar estudo técnico avaliando o grau de interferência no(s) poço(s) de abastecimento público da(s) APAP(s) em que estiver inserido.

A execução das AC e dos MA deverá ser comprovada a partir de relatórios técnicos, obedecendo a prazos de atendimento e local de protocolo definidos pelos órgãos públicos gestores - DAEE, CETESB e Vigilância Sanitária - e contemplados parâmetros relativos à quantidade e qualidade das águas subterrâneas, destinadas ao consumo humano. As AC são exigências adicionais às previstas na legislação

atualmente em vigor e visam a adequação dos poços às condições técnicas de interesse público à sociedade e aos órgãos gestores, contando com a conscientização e participação dos proprietários de poços. Tais atividades consistem no seguinte conjunto de ações:

- Instalação de hidrômetro no cavalete de saída da composição de bombeamento;
- Instalação de tubo guia para medição de nível de água com tubulação de PVC branco rosqueável com diâmetro mínimo de 1 (uma) polegada e profundidade abaixo do nível dinâmico de operação do poço;
- Instalação de dispositivo (torneira / válvula com saída) para amostragem, situado logo após o hidrômetro;
- Apresentação de medidas atualizadas de níveis estático e dinâmico, contendo a descrição do equipamento utilizado na medição, que deve ser realizada com periodicidade minimamente semestral;
- Apresentação de relatório da determinação de vazão ótima, contendo cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica em nome do profissional executante e comprovação do recolhimento junto ao CREA-SP;
- Apresentação de relatório de acervo fotográfico da proteção sanitária e dos instrumentos elencados nestas AC;
- Apresentação de relatório técnico de análise dos parâmetros constantes na Portaria MS nº 518 de 25/03/2004, com data de emissão dentro do período de 180 dias, contendo a cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica em nome do profissional técnico responsável pelas análises, e comprovação do recolhimento junto ao CRQ-SP.

As atividades condicionantes propiciarão: a ampliação e atualização de dados técnicos, bem como facilidade de acesso aos agentes públicos para efetuar a coleta de dados, durante as campanhas de fiscalização.

No caso dos poços desativados, independentemente das causas da desativação, é sugerido o tamponamento. No entanto, a critério dos órgãos gestores, DAEE, CETESB e/

ou Vigilância Sanitária, podem ser aproveitados como pontos de monitoramento de parâmetros hidrodinâmicos e hidrogeoquímicos do aquífero.

As medidas de restrição e controle, relativas aos poços existentes, deverão ser atendidas por todos os proprietários de poços. Os poços clandestinos correspondem a 82% (1.635) dos existentes e são responsáveis por 84% do volume explorado do Sistema Aquífero Bauru, totalizando 2,7 milhões de m³/mês. Diante deste cenário, para que as medidas alcancem seus objetivos, o fator determinante é que estes usuários sejam incluídos no universo de poços sob controle dos órgãos públicos gestores.

A adoção das medidas de restrição e controle é de extrema importância para o processo de gestão. A outorga é uma exigência legal dirigida a todos os poços existentes no Estado de São Paulo, sob pena de seus proprietários sofrerem as sanções previstas na lei, caso não providenciem a regularização.

Ressalta-se que podem ser encontrados poços clandestinos construídos sem critérios adequados, sobretudo, em relação à proteção sanitária. A notificação de adequação ou desativação dos poços com estas características deve ocorrer com a maior brevidade possível, visando à eliminação de potenciais focos de alteração da qualidade das águas subterrâneas.

A implantação das medidas de restrição e controle deverá inibir a proliferação de poços e a conseqüentemente reduzir as taxas de exploração do aquífero. Não se verifica diretriz específica ao fechamento de poços e/ou cassação de outorgas existentes, direcionadas ao controle do consumo em função da disponibilidade. Acredita-se que a diminuição do número de poços estará relacionada à intensificação do controle, fiscalização e exigências aos proprietários de poços.

O cenário encontrado na região de São José do Rio Preto, em relação à exploração do Sistema Aquífero Bauru, pode ser caracterizado como um estado de atenção, ainda não

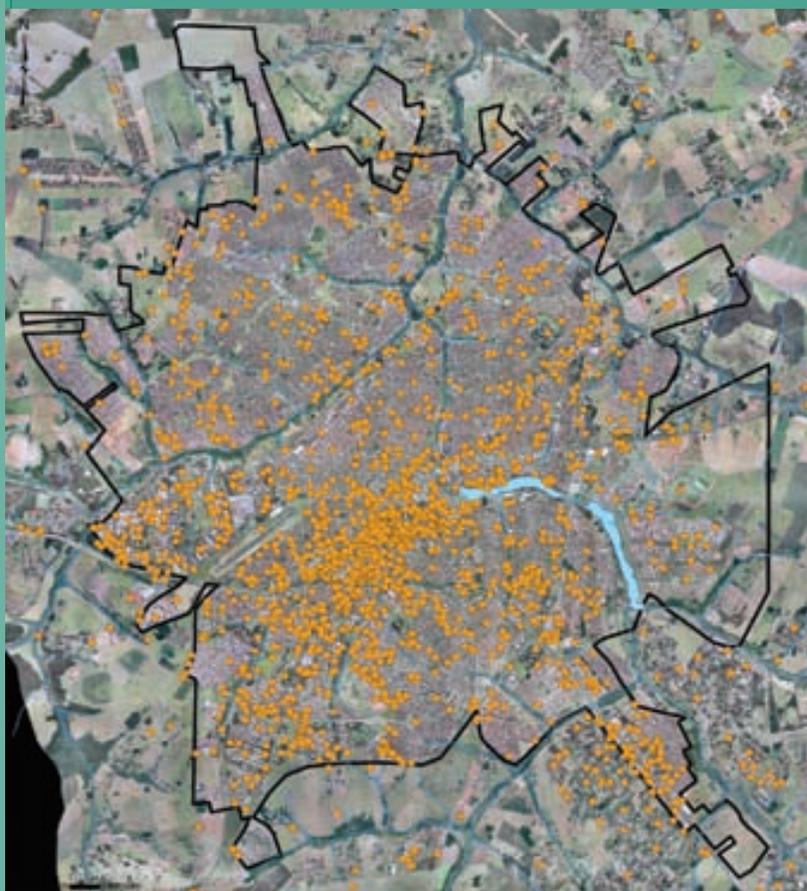
alarmante. Os primeiros passos rumo à gestão podem ser realizados com vistas a aumentar o controle da perfuração de novos poços e do uso das águas subterrâneas, melhorar o conhecimento das condições de recarga e extração, evitando proibir diretamente a exploração por um grupo de usuários.

No processo de controle o proprietário de poço é peça fundamental para o sucesso do gerenciamento, seja na conscientização do consumo de maneira adequada e sem desperdícios, seja no fornecimento das informações valiosas aos órgãos gestores da quantidade e qualidade das águas. Desse modo, a ampla divulgação dos resultados deste trabalho, dos instrumentos legais desenvolvidos, bem como o incentivo aos usuários para que adotem as medidas de regularização e adequação dos poços, são iniciativas que os órgãos competentes devem fomentar para obter o envolvimento dos usuários.

Conforme será discutido a seguir, as Zonas de Ações Prioritárias definidas com base na Deliberação CRH nº 52/05 constituem uma Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO), com 92 km² de extensão. A **Figura 4.3** é uma ilustração da ARC-CO contendo os poços existentes e o contorno da zona urbana.

Capítulo 5

FUNDAMENTOS JURÍDICOS E ASPECTOS CONCEITUAIS DA PROPOSTA



5. FUNDAMENTOS JURÍDICOS E ASPECTOS CONCEITUAIS DA PROPOSTA

O arcabouço legal deve sempre ser observado para que não haja danos comprometendo os recursos hídricos subterrâneos. Por outro lado, o ordenamento legislativo também deve ser adequado à realidade local para efetividade da prevenção/precaução¹ buscada.

Numa discussão legal, deve-se iniciar a análise dos ordenamentos vigentes a partir do Texto Constitucional para uma visão sistêmica de todo arcabouço.

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, *caput*, encerra princípios que regem a questão ambiental. Dentre eles, o mais importante diz respeito à prevenção/precaução. E, é certo que, após as constatações técnicas no local de estudo, é imprescindível prevenir danos maiores aos já ocorridos. Por isso, as áreas de restrições propostas cumprem este papel.

Ainda no âmbito federal, destacamos a Lei nº 6.938/81, a lei da Política Nacional de Meio Ambiente, que embora anterior à Carta vigente, foi totalmente recepcionada pela Lei Maior, oferecendo de forma mais ampla, a devida proteção ao meio ambiente, agregando conceitos das ciências ao normativo jurídico.

No tocante aos recursos hídricos, a Lei Federal de nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, dita as regras gerais, e as resoluções e as portarias dos diversos órgãos federais buscam regulamentá-la. Porém, quanto aos recursos hídricos subterrâneos, cabe aos Estados membros legislarem sobre sua gestão, e por intermédio dos órgãos estaduais é que se tem a regulamentação dos diplomas estaduais, e porque não dizer, a efetividade da proteção legal almejada.

1 Usa-se a expressão **prevenção** quando se conhece as consequências dos danos/impactos ambientais, e **precaução** quando não se conhece tais consequências.

No Estado de São Paulo, de forma pioneira, a Lei nº 6.134/88 dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, sendo regulamentada pelo Decreto nº 32.955/91.

No estudo, onde houve a proposta de delimitação de restrição e controle de uso das águas subterrâneas no município de São José do Rio Preto, encontra-se a efetivação do artigo 9º da Lei nº 6.134/88, ora regulamentada pelo artigo 19 do Capítulo III do Decreto nº 32.955/91.

O artigo 9º da Lei nº 6.134/88 determina que *“sempre que necessário o Poder Público instituirá áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, a fim de possibilitar a preservação e conservação dos recursos hídricos subterrâneos.”*

No Capítulo III do Decreto nº 32.955/91 dá-se o estabelecimento de áreas de proteção:

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

Conforme o artigo 20 e seguintes do referido Decreto, as áreas de proteção podem ser classificadas como:

I - Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;

II - Área de Restrição e Controle (ARC): caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.

III - Área de Proteção de Poços e Outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo PPP, subdividido em:

- Perímetro Imediato de Proteção Sanitária: abrangendo um raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas, devendo o seu interior ficar resguardado da entrada ou penetração de poluentes.

- Perímetros de Alerta contra poluição: estabelecido através da simulação de uma zona de captura de partículas com até 50 dias de trânsito de trânsito.

Este estudo visou avaliar a necessidade de delimitar uma ARC adequando-se à descrita no item II, focando, sobretudo, na extração de água subterrânea, em análise à condição de eventual exploração intensiva.

Com o objetivo de efetivar os citados diplomas legais, a Deliberação CRH nº 52, de 15 de abril de 2005, institui diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas em regiões do Estado de São Paulo onde ocorrem problemas relacionados à superexploração da água e constatação ou riscos de contaminação.

O referido instrumento legal ainda determina um modelo de classificação das Áreas de Restrição e Controle (ARCs), a saber:

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

- c. As Áreas Confirmadas de Restrição e Controle (ARC-CO), que são aquelas onde foi constatada a super-exploração ou a contaminação das águas subterrâneas.

A partir de estudos de pesquisadores na região de São José do Rio Preto que apontaram rebaixamentos relevantes dos níveis dinâmicos do Sistema Aquífero Bauru, bem como levantamentos do DAEE sobre a utilização das águas subterrâneas, caracterizou-se a região com potencial cenário de superexploração. Já neste contexto de conhecimento do problema, poder-se-ia classificá-la em ARC-PO.

Diante desse cenário e, em atendimento ao artigo 1º da Deliberação CRH nº 52/05, o DAEE, mediante proposta da Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, contratou a empresa Servmar para realizar estudos hidrogeológicos, avaliar a ocorrência de superexploração e propor as medidas necessárias para controle do cenário existente e gerenciamento dos usos futuros.

Ao buscar correlacionar os resultados alcançados no estudo com as diretrizes de classificação das ARCs, descritas na Deliberação CRH nº 52/05, deparou-se com o conceito de super-exploração ou superexploração. A pesquisa bibliográfica sobre o assunto mostra que este conceito é pouco preciso, uma vez que apresenta variáveis devido a fatores sócio-econômicos, ecológicos e físicos, não podendo ser definido unicamente pela hidrogeologia.

Os termos vazão segura e super-exploração podem ser diferenciados entre si considerando-se que vazão segura se refere ao volume de água a ser extraído sem provocar prejuízos físicos, ecológicos ou sócio-econômicos relevantes, e a super-exploração significa extração de um volume superior à vazão segura, numa determinada região.

Segundo Llamas (2003), super-exploração de um aquífero é um conceito complexo que precisa ser bem entendido em termos de comparação de benefícios sociais, econômicos e ambientais ao custo de certa redução do nível d'água. É impraticável definir super-exploração em termos

puramente hidrogeológicos, dadas as incertezas nos valores de recarga e extração e ao fato de que a quantidade de recursos disponíveis na área de captura é variável e pode ser influenciada por ações humanas e decisões de gerenciamento. O erro de se considerar vazão segura como praticamente igual à recarga natural, conforme havia definido Theis, em 1940, tem sido defendido por diversos hidrogeólogos.

Llamas & Martinez (2003) apresentaram como as principais causas do crescimento acelerado do uso da água subterrânea, o desenvolvimento de técnicas de perfuração de poços e de bombeamento, o baixo custo para obtenção do suprimento e a falta de aplicação das normas que regulamentam esta utilização.

A ausência de gestão envolvendo uma distribuição adequada de pontos de captação e um conhecimento dos fluxos subterrâneos e a interação entre os fluxos superficiais e subterrâneos é um agravante do problema do uso intensivo desse recurso, uma vez que o uso não sustentável não se refere necessariamente à quantidade total de água extraída, mas também à má distribuição da extração da água.

As incertezas em caracterizar a efetiva superexploração também estão presentes no cenário da região de São José do Rio Preto e permanecem mesmo à luz do conhecimento adquirido neste trabalho.

Os resultados alcançados que permitiram a definição das chamadas Zonas de Ações Prioritárias (ZAPs), foram baseados fundamentalmente no balanço hídrico entre recarga e exploração, considerado um fator de segurança (Q_{7-10}) para determinação dos volumes disponíveis. Desse modo, o estudo se apóia fortemente nos parâmetros hidrogeológicos e que, segundo os autores citados, caracterizar uma superexploração, neste contexto, poderia se incorrer numa abordagem muito conservadora.

O cenário exploratório da água subterrânea, sobretudo na zona urbana de São José do Rio Preto, demonstra uma

elevadíssima densidade de poços, comprovadamente interferindo entre si, com indícios de rebaixamento regional dos níveis estáticos e dinâmicos. Por outro lado não se verificam sérios danos de perdas de poços, inviabilidade econômica ou física de exploração, conflitos reais entre usuários e/ou problemas agudos de qualidade de água relacionados à exploração.

Ao analisar conjuntamente a disponibilidade *versus* a exploração e o cenário exploratório descrito, verifica-se uma situação conceitualmente conflitante para a caracterização de superexploração.

Em contrapartida, considerando que as taxas de resposta das águas do aquífero levam da ordem de décadas e que o cenário atual poderia constituir um período transitório com tendência de um futuro mais crítico, sobretudo devido ao estágio incipiente no gerenciamento da exploração, é que as medidas de restrição e controle foram atribuídas às ZAPs.

O princípio da precaução para a sustentabilidade que postula a capacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de atendimento das necessidades das gerações futuras (WCED, 1987 *apud* Magalhães Júnior, 2007), também pautou a proposição das medidas de restrição e controle.

Ainda que não se possa confirmar a efetiva ocorrência de superexploração, as taxas de exploração em patamares acima dos 75% da disponibilidade hídrica justificam a adoção de propostas de restrição e controle nas ZAPs. De acordo com a classificação definida na Deliberação CRH nº 52/05, as Zonas de Ações Prioritárias podem ser classificadas como uma Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO).

Em complemento aos ordenamentos legais citados, a Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de junho de 2006, dispõe sobre “procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais

subterrâneos, estabelece procedimentos entre os órgãos e entidades dos Sistemas Estaduais do Meio Ambiente, Saúde e Recursos Hídricos para compatibilização das autorizações, licenças ambientais e do cadastro e monitoramento com as outorgas de recursos hídricos subterrâneos”.

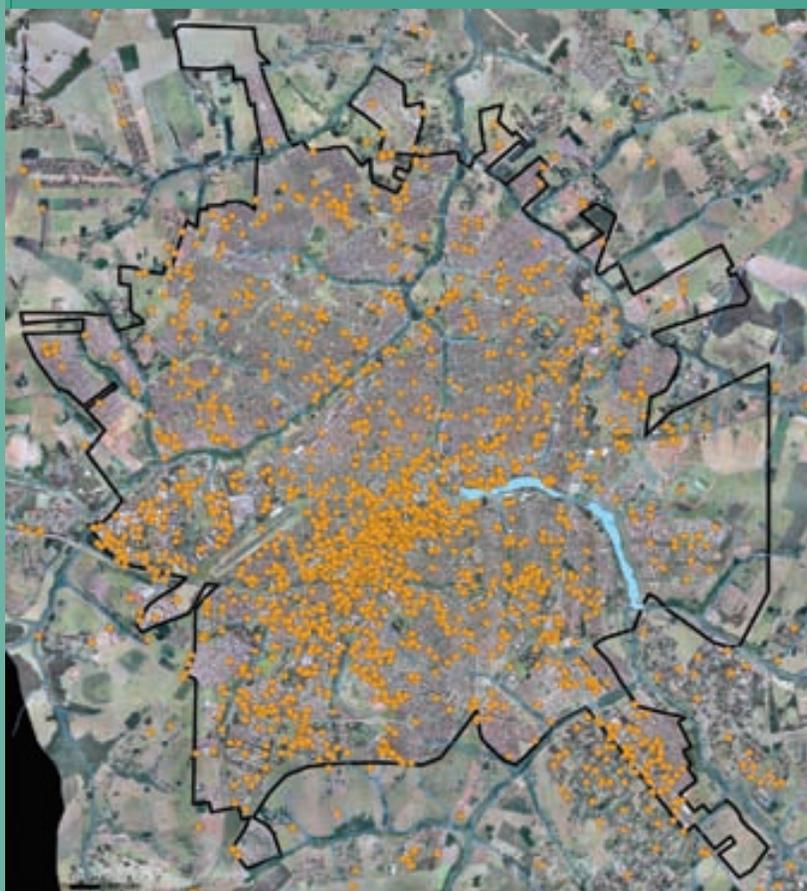
O artigo 3º da referida Deliberação determina que o ato declaratório de Áreas de Restrição e Controle (ARCs) será do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (CRH) e o artigo 2º prevê que a proposta de restrição e controle deverá ser submetida à apreciação do Comitê de Bacias Hidrográficas.

Como a maior parte das águas do Aquífero Bauru é destinada ao consumo humano, as determinações constantes na Resolução Conjunta nº 3/06 devem ser obedecidas, atentando-se à contínua integração dos dados entre o DAEE, CETESB e Vigilância Sanitária para que cada instituição possa cumprir a missão no âmbito de sua competência em sintonia com os demais.

Outrossim, do exposto acima, depreende-se que os dispositivos legais vigentes são suficientes para oferecer a devida proteção às águas subterrâneas do município, e que para sua real efetividade, se faz necessário intensificar a fiscalização, no sentido de coibir condutas e atividades que comprometam a quantidade e a qualidade do manancial hídrico subterrâneo existente.

Capítulo 6

CONCLUSÕES



6. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste projeto atenderam aos objetivos propostos, principalmente na avaliação da necessidade de aplicar medidas de restrição e controle na região de São José do Rio Preto. Os cálculos de balanço hídrico indicaram locais com desequilíbrio entre a exploração e a disponibilidade, coincidindo com a ocorrência de elevada densidade de poços e rebaixamentos dos níveis de água do Sistema Aquífero Bauru, de acordo com o modelo numérico desenvolvido.

A taxa de extração superou 75% da disponibilidade. Este cenário, associado a grande quantidade de poços clandestinos, constitui fator determinante na decisão de aplicar medidas de restrição e controle para o local.

Nas áreas onde a relação consumo/disponibilidade é >2 , >1 e $>0,75$ foram definidas as Zonas de Ações Prioritárias ZAP-1, ZAP-2 e ZAP-3 e estabelecidas propostas de restrição e controle. Em concordância com o parágrafo 1º, do artigo 10 da Deliberação CRH nº 52/05, as ZAPs podem ser consideradas como Área Confirmada de Restrição e Controle (ARC-CO) do uso das águas subterrâneas.

As medidas de restrição e controle propostas para as ZAPs visam inibir a proliferação de novos poços, bem como obter dados atualizados sobre os poços em operação, possibilitando, ao mesmo tempo, ampliar o conhecimento e revisar eventuais desvios oriundos das incertezas provenientes das lacunas de informação. As propostas são direcionadas ao universo de poços existentes, indistintamente, se públicos ou particulares, se outorgados ou clandestinos.

O cadastro de poços unificado e georreferenciado em ArcGIS versão 9.2, totaliza 2.003 poços, sendo apenas 368 (18%) outorgados. Estima-se que o cadastro integre quase a totalidade de poços da região, sobretudo em relação à zona urbana.

O incremento significativo de poços em relação aos cadastros pré-existentes deve-se ao banco de dados do SEMAE

que possui registros de endereço e vazão de exploração, obtidos em 902 poços particulares. Somados ao número de poços operados pelo SEMAE totalizaram 1.113 poços com vazões de exploração hidrometradas, o que permitiu definir critérios consistentes para estimar o volume total explorado no aquífero Bauru.

A vazão total, dos 1.953 poços que exploram o Aquífero Bauru é da ordem de 3,2 milhões de m³/ano ou 8,7 mil m³/mês. Somado aos volumes provenientes do Sistema Aquífero Guarani e da captação de água superficial no Rio Preto, distribuídos pelo SEMAE, totalizam 4,8 milhões de m³/ano, representando cerca de 400 L/hab/dia. É um consumo diário per capita da população rio pretense bastante elevado, indicando prováveis níveis de desperdício e/ou perdas da rede de distribuição.

O abastecimento público representa 45% do volume total extraído do Aquífero Bauru, predominando sobre os demais tipos de uso. Cabe destacar, entretanto, que os outros 55% explorados por particulares para as diversas finalidades, representam 35% de todo o volume de água utilizado considerando-se todas as matrizes hídricas. Diante deste cenário verificou-se que a exploração por particulares é muito relevante no sistema de fornecimento de água do município e não pode ser desconsiderada ou impedida abruptamente, sem planejamento adequado.

Ao longo das últimas décadas houve um aumento do número de poços, principalmente nas décadas de 1990 e 2000 que interferiu na superfície potenciométrica do Aquífero Bauru na área. O cruzamento dos mapas potenciométricos das décadas de 1970 e 2000 permitiu a identificação de rebaixamentos na área central urbana, enquanto os ensaios de bombeamento e monitoramento de níveis d'água permitiram verificar interferências entre poços. Nessa região existe um elevado adensamento de poços, podendo ocorrer mais de 40 poços em uma área de 500 x 500 m.

As rochas sedimentares do Sistema Aquífero Bauru afloram em toda extensão da área de estudo e suas características engendram um aquífero poroso, de média-alta a alta-baixa

vulnerabilidade à contaminação. Tem espessuras variando de 100 a 200 m, pertencentes às unidades geológicas da Formação Adamantina na parte superior e a Formação Santo Anastácio na parte inferior. O modelo hidrogeológico conceitual de fluxo admite áreas de recargas naturais situadas nos altos topográficos e áreas de descargas nas drenagens (rios e córregos), considerando que, na zona urbana, a recarga é acrescida pela recarga artificial (recarga induzida).

O modelo numérico estacionário que abrange uma área de 385 km² mostrou áreas rebaixadas por cones sobrepostos, configurando áreas de bombeamento mais intenso. As recargas naturais e induzidas foram setorizadas e a calibração, efetuada principalmente com dados de nível dinâmico dos poços de bombeamento, atingiu condição de equilíbrio para uma recarga específica de $71,24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

A recarga específica obtida no modelo numérico é equivalente à recarga específica responsável pela manutenção do nível de base do Rio Preto (4,1 m³/s), medido no posto fluviométrico de Ipiruá, situado 4 km a jusante da área do estudo, cuja área de contribuição é de 576 km². A correlação entre as recargas específicas levou à adoção destes valores nos cálculos do balanço hídrico que identificou um volume total de recarga de 153 milhões m³/ano para toda a área de estudo (728 km²).

A disponibilidade hídrica foi obtida da diferença entre a recarga e a vazão mínima de referência, Q_{7-10} , regionalizada para a área de 728 km², identificando um volume de 116 milhões de m³/ano, equivalente a 9,7 milhões de m³/mês. A adoção da $Q_{7,10}$ debitada da disponibilidade visa garantir as funções ecológicas do rio. A relação consumo/disponibilidade para toda a área estudo é cerca de 30%. Por outro lado, na zona urbana de São José do Rio Preto a exploração supera 75% da disponibilidade numa área de cerca de 80 km².

O método de regionalizar o resultado do consumo/disponibilidade foi desenvolvido especificamente para este projeto de forma inédita, considerando a exploração *versus* a disponibilidade hídrica, em células de 500 x 500 m. Em

decorrência da heterogeneidade das explorações em cada célula (quadrícula), bem como da capacidade do aquífero em atrair água do seu entorno, a partir da extração local, a relação consumo/disponibilidade foi avaliada a partir da somatória da célula de interesse com as 8 quadrículas do entorno, totalizando uma área de 2.250 mil m².

Monitoramentos de nível d'água realizados em poços na região central da cidade, bem como os ensaios de bombeamento confirmaram a ocorrência de interferência entre poços. Por este motivo foram definidos perímetros no entorno dos poços públicos, cujo volume disponível correspondente no aquífero pudesse suprir a demanda de produção. Esta área denomina-se Área de Priorização para o Abastecimento Público (APAP) e tem 800 m de raio.

A compilação e avaliação dos laudos analíticos do nitrato nas águas subterrâneas indicaram a existência de contaminação por esta substância, sobretudo na região central da cidade, por onde se conclui da necessidade de intensificação do conhecimento sobre a qualidade de água do aquífero, em função da profundidade de captação das águas nos poços.

As análises químicas existentes em trabalhos anteriores demonstram a ocorrência de contaminação por nitrato na região central da cidade coincidentes com os locais de ocupação mais antiga e que, de fato, são as regiões com maior tendência em ocorrer problemas relacionados às infiltrações de esgoto, por fossas antigas, por vazamentos da rede coletora e pelas interações dos córregos com o aquífero. Estes locais possuem também as maiores taxas de rebaixamento do aquífero, conforme demonstrado pelo modelo numérico. Os dois cenários coexistentes potencializam os problemas relativos à qualidade das águas subterrâneas, pois níveis mais profundos do aquífero podem ser afetados.

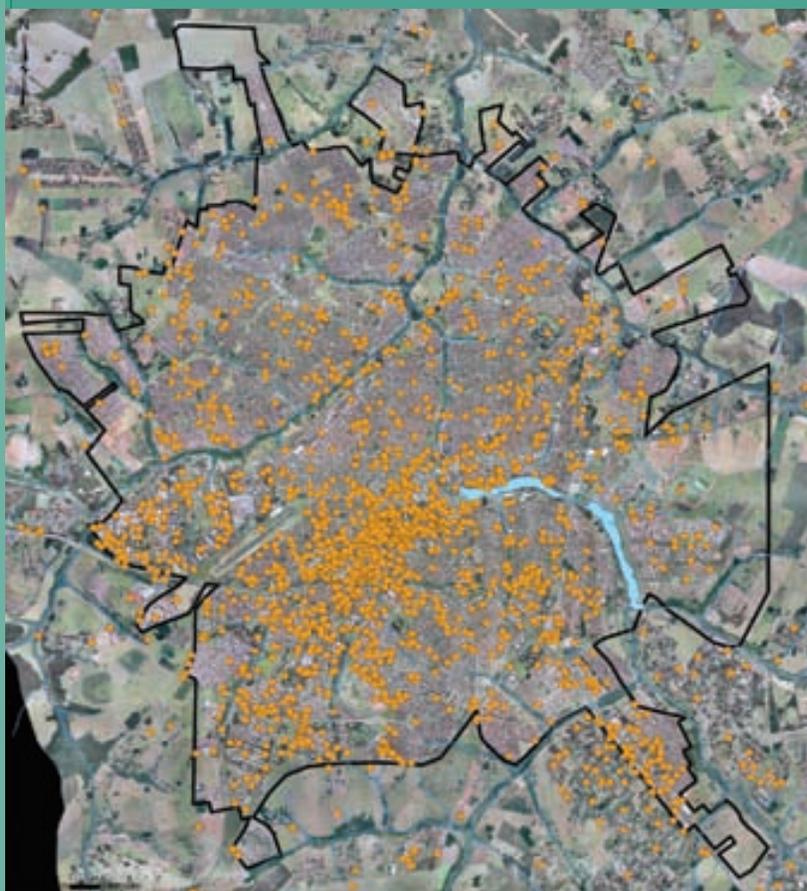
Os laudos analíticos das amostras coletadas neste projeto, de um modo geral, não apontaram problemas na qualidade da água subterrânea. Ressalta-se, entretanto, que pelas razões específicas dos estudos hidrodinâmicos, os

poços selecionados e amostrados se encontravam adequadamente construídos e bem conservados. Fato que reforça a necessidade dos poços em operação terem características construtivas adequadas à captação de águas com qualidade, provenientes, geralmente, de maior profundidade.

O cenário encontrado na região de São José do Rio Preto relativo à qualidade e quantidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru caracteriza-se como tendendo a crítico, demandando por maiores gestão e controle. Este cenário não é alarmante, visto que ainda não se observam sérios danos de perdas de poços, inviabilidade econômica ou física de exploração, conflitos entre usuários e/ou agudos problemas de qualidade de água em poços adequadamente construídos e captação de água em maiores profundidades do aquífero. É um cenário de desequilíbrio da exploração das águas subterrâneas, no entanto, não passível de caracterizar a ocorrência de superexploração.

Por fim, independentemente da efetiva caracterização de superexploração, propõe-se a adoção de medidas de restrição e controle pelo poder público, que deve considerar os proprietários de poços como atores muito importantes para o sucesso na gestão da água. O poder público também terá como desafio e condição preliminar à implantação de quaisquer medidas de gerenciamento, alcançar o envolvimento dos usuários no processo.

RECOMENDAÇÕES



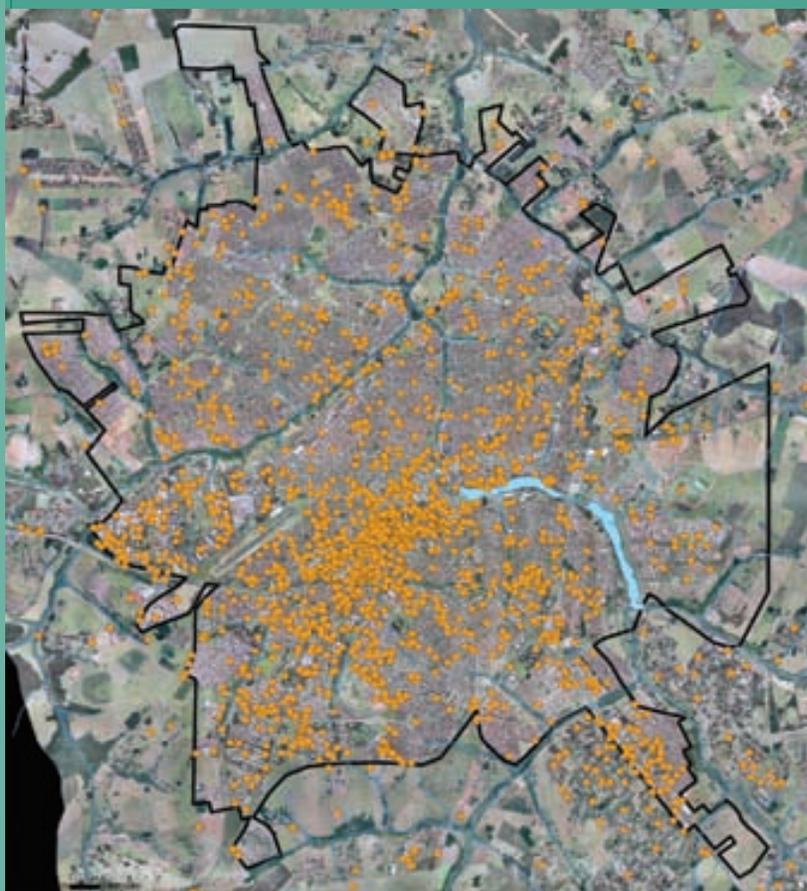
7. RECOMENDAÇÕES

Considerando os estudos realizados e as conclusões obtidas, recomenda-se:

- o gerenciamento da exploração da água subterrânea nas Zonas de Ações, a partir da adoção de medidas de gestão adequadas para evitar um agravamento das condições de ocorrência da quantidade e da qualidade do recurso hídrico e a existência de potenciais conflitos futuros pelo uso da água;
- a implantação de medidas práticas de adequação de poços, atrativas aos usuários e efetivas para a ampliação e atualização dos dados cadastrais. Devem ser medidas que facilitem o monitoramento de quantidade e qualidade da água explotada, visando ampliar o conhecimento sobre as condições de uso da água subterrânea e possibilitar o gerenciamento sustentável do recurso;
- a partir da definição e regulamentação das medidas indicadas, incentivar a regularização dos poços clandestinos e promover desativação (lacratação ou tamponamento) de poços construídos inadequadamente pelos quais há riscos de contaminação do aquífero e que não implementaram as medidas de adequação ou que não são passíveis de fazê-lo;
- a criação de um sistema em ambiente SIG, utilizando a base de dados construída neste trabalho, integrando os futuros dados técnicos sobre a área de interesse, gerados pelo poder público, em especial pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, a Vigilância Sanitária, o SEMAE e a Prefeitura Municipal para controlar conjuntamente os usos da água, poluição, saúde e planejamento urbano em tempo suficiente para a tomada de decisão de medidas efetivas de gestão;
- a adoção de políticas públicas que promovam a conscientização, envolvimento e regularização dos poços, visando

facilitar aos gestores públicos a aplicação de medidas de controle necessárias, bem como viabilizar a comunicação e interação com os usuários diretos do recurso hídrico subterrâneo, buscando um ambiente participativo de gerenciamento do bem comum a proteger.

REFERÊNCIAS



8. REFERÊNCIAS

- Arid, F.M. 1966. 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, 93 p.
- Arid, F.; Castro, P.R.M.; Barcha, S.F.1970. Estudos hidrogeológicos no Município de São José do Rio Preto. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 19(1), 43-69.
- 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 na área de geociências do Departamento de Geociências, Instituto de Biociências. Letras e Ciências Exatas de São José do Rio Preto, São Paulo. UNESP.
- Barcha, S.F. 1997. Água e abastecimento urbano em São José do Rio Preto. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 11 p.
- 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 de São José do Rio Preto, 68-101.
- Bartlett, R.J. & James, B.R. 1979. Behavior of chromium in soils: III Oxidation. Journal Environmental Quality. 8:31 – 35.
- Campos, H.C.N.S. 1987. Contribuição ao estudo hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. São Paulo, 134 p. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo)
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2008. Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo 2007. São Paulo

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. 2005 – Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. www.cetesb.sp.gov.br

Coelho, R.O. 1996. Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo. São Paulo. (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH. 2.000. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (www.sigrh.sp.gov.br).

Custodio E. & Llamas, M.R. 2001. Hidrologia Subterrânea. Ediciones Omega. Espanha.

Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. www.dae.gov.br.

Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. 1976. Estudo de Águas Subterrâneas: Região administrativa 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba. Execução: ENCO – Engenharia, consultoria e planejamento Ltda.

Eary, L.E. & Rai, D. (1987). Kinetics of chromium (3), oxidation to chromium (6) by reaction with manganese dioxide. Environmental Science Technology, 21:1187 – 1193.

Feitosa, F.A.C. & Filho, J.M. 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM / REFO, LABHID-UFPE. 2ª ed. 389 p.

Fetter, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 598 pp.

Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington, 104 p.

- Foster, S.; Morris, B.L.; Chilton, P.J. 1999. Groundwater in urban development – a review of linkages and concerns. In: Ellis, J.B. (ed.) impacts of urban growth on surface water and groundwater quality. IAH publ. 259 p.
- Freeze, R. A. & Cherry, J. A. 1979. Groundwater. Prentice Hall Inc. EUA.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2007. www.ibge.gov.br
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 1999. Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande - Relatório nº 40.515.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 2004. Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Turvo/Grande. Coordenação: José Luiz Albuquerque Filho, Antonio Gimenez Filho; São Paulo.
- Kruseman, G.P. & de Ridder, N.A. 1991. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Second Edition, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 377p.
- Lawrence, A.R.; Geol, C.; Stuart, M.E.; Barker, J.A.; Tester, D.J. 1996. Contamination of chalk groundwater by chlorinated solvents: Case study of deep penetration by non-aqueous phase liquids. J. CIWEM, 10, 263–272.
- Llamas, M.R. 2003. Lessons Learnt from the impact of the neglected role of groundwater in Spain's water policy. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands p 63-81.
- Llamas, M.R. & Martínez Cortina, L., 2003. Coping With the Silent Revolution of Intensive Groundwater Use. In: Challenges and Opportunities. Balkema Publishers. The Netherlands. 478 p.

- Lima, A.A. 2004. Hidrogeologia do sistema aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto (SP). Dissertação de Mestrado – UNESP, Rio Claro (SP), 82 p.
- Magalhães Jr, A.P. 2007. Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. v. 1. 686 p.
- Merian, E. 1991. Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis and biological relevance. New York, VCH Publishers, 1.438 p.
- Ministério da Saúde – Portaria nº 518, de 25 de Março de 2004.
- National Cancer Institute, <http://dceg.cancer.gov/oeeb/research/generalenvironmental>).
- Oliveira, J.N. 2002. Ferramental de Gestão de Águas Subterrâneas para a cidade de São José do Rio Preto, SP. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP.
- Palmer, C.D. & Wittbrodt, P.R. 1994. Processes affecting the remediation of chromium contaminated sites. *Environmental Health Perspective*, 92:25 – 40.
- Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto - PMSJRP. 2006. Conjuntura econômica de São José do Rio Preto. Organizador: Orlando José Bolçone. Coordenação: Emilia Maria Martins de Toledo Leme. 21 ed. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Estratégica.
- Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto - PMSJRP. 2007. Conjuntura econômica de São José do Rio Preto. Organizador: Orlando José Bolçone. Coordenação: Emilia Maria Martins de Toledo Leme. 22 ed. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Estratégica.
- Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto - PMSJRP. 2008. Conjuntura econômica de São José do Rio Preto. Organizador:

- Orlando José Bolçone. Coordenação: Emilia Maria Martins de Toledo Leme. 23 ed. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Estratégica.
- Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto - PMSJRP. 2009. Conjuntura econômica de São José do Rio Preto. Organizador: Orlando José Bolçone. Coordenação: Emilia Maria Martins de Toledo Leme. 24 ed. Secretaria Municipal de Planejamento e Gestão Estratégica.
- DAEE, IG, IPT, CPRM. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000. São Paulo.
- Schoreoeder, D.C. & Lee, G.F. 1975. Potential transformations of chromium in natural waters. *Water Air Soil Pollution*, 4:255 – 365.
- Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto - SEMAE: www.rio-preto.sp.gov.br/cpub/pt/Semae/home.php
- Silva, C.S. & Pedroso, M.F.M. 2001. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. *Cadernos de Referência ambiental*. V. 5. Centro de Recursos Ambientais – Salvador, Bahia.
- Silva, F.P. 2003. Geologia de Subsuperfície e Hidroestratigrafia do Grupo Bauru no estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências; Área de Concentração em Geologia Regional. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, UNESP, São Paulo.
- 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. Rio Claro. SP.
- Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SIGRH: www.sigrh.sp.gov.br
- Souza, L.C. de. 2005. Mudanças de paradigmas no uso e ordenação do solo em face da necessária proteção da qualidade

das águas subterrâneas. São Paulo. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 370 p.

Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. Publications in climatology, v.8, n.1, p.1-86.

Viviani, J.B.; Lojkasek-Lima, P.; Hirata, R.; Bertolo, R.A.; Valle, P. de T.A. 2004. A interferência antrópica nos padrões naturais de fluxo de água subterrânea: um estudo de caso na bacia de São Paulo, São Paulo, Brasil. The antropic influence on natural groundwater flow pattern: a case study in São Paulo basin, São Paulo, Brazil. Boletín Geológico y Minero, Espanha, v. 115, n. Especial, p. 391-398.

Wendland, E.; Barreto, C.E.A.G.; Gomes, L.H.; Paiva, J.B.D. 2007. Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. In: Luiz Amore; Jorge Néstor Santa Cruz; Alberto Manganelli; Roberto Montes. (Org.). Aquífero Guarani - Avanços no conhecimento para sua gestão sustentável. 1 ed. Montevideo, Uruguai: ALHSUD, v. 1, p. 139-155.

9. EQUIPE TÉCNICA

Coordenação do Projeto

Gerente de Contrato

Mateus Simonato – Geólogo

Coordenador Técnico Geral

Dr. Edson Wendland – Engenheiro

Consultor em Hidrogeologia

Dr. Ricardo Hirata – Geólogo

Equipe do Projeto – Servmar

Diretor Técnico

Maurício Prado Alves

Chefe de Projeto

Emanuel L'Apicciarella – Geólogo

Consultora em Direito Ambiental e Recursos Hídricos

Dra. Luciana Cordeiro de Souza – Advogada

Equipe de Execução

Marcio Costa Abreu – Geólogo

Dra. Célia Surita – Física

Bruno Pirilo Conicelli – Geógrafo

Ana Maciel de Carvalho – Geóloga

Marcus Sangiorgio Ucci – Geólogo

Alessandra Escarante – Desenhista

Rodrigo Borges - Técnico de Campo

Alexandre Silva - Técnico de Campo

André Pillon – Estagiário de Eng. Ambiental

Vitor Campos – Estagiário de Geografia

Produção Executiva

José Eduardo Campos – DAEE / SSRH

Luciana Martin Rodrigues Ferreira – IG / SMA

Capa

Sandra Moni de Souza – IG / SMA

Editoração eletrônica

Teresa Lucinda Ferreira de Andrade – Imprensa Oficial

CTP, Impressão e Acabamento

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

Secretaria de Estado do Meio Ambiente

Avenida Frederico Hermann Jr., 345

São Paulo – SP – 05459-900

Tel.: (11) 3133-3000

www.ambiente.sp.gov.br

Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos

Rua Bela Cintra, 847

São Paulo – SP – 01415-000

Tel.: (11) 3218-5399

www.saneamento.sp.gov.br

Instituto Geológico

Avenida Miguel Stéfano, 3900

São Paulo – SP – 04301-903

Tel.: (11) 5073-5511

www.igeologico.sp.gov.br

Departamento de Águas e Energia Elétrica

Rua Boa Vista, 170 – 11º andar

São Paulo - SP - 01014-000

Tel.: (11) 3293-8200

www.dae.sp.gov.br



SECRETARIA DE SANEAMENTO
E RECURSOS HÍDRICOS

SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE

