



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Avaliação espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do
Município de São José do Rio Preto**

JOSIANE LOURENCETTI

Ilha Solteira - SP

setembro/2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Avaliação espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do
Município de São José do Rio Preto**

JOSIANE LOURENCETTI

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia –
UNESP – Campus de Ilha Solteira como requisito para
obtenção do título de mestre.

Área do Conhecimento: Recursos Hídricos e
Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira - SP

setembro/2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L892a Lourencetti, Josiane .
Avaliação espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do município de São José do Rio Preto / Josiane Lourencetti. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
132 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2013

Orientador: Jefferson Nascimento de Oliveira

Inclui bibliografia

1. Água subterrânea. 2. Aquífero Bauru. 3. São José do Rio Preto (SP).
4. Aspectos quantitativos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Análise espaço-temporal da disponibilidade hídrica subterrânea do município de São José do Rio Preto

AUTORA: JOSIANE LOURENCETTI

ORIENTADOR: Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL , Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. DOROTHY CARMEN PINATTI CASARINI
CETESB - Agência Ambiental do Estado de São Paulo

Data da realização: 13 de setembro de 2013.

Aos meus pais Rose e Dirceu, que sempre me deram força, nos momentos em que a vontade de desistir falava mais alto.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de força nos momentos difíceis, pela capacidade de aprendizagem, que mesmo em um curto período de tempo foi suficiente para a elaboração deste trabalho.

Ao meu namorado Marcelo, pela paciência, dedicação, transferência de conhecimento e sugestões que contribuíram para esta pesquisa.

Ao Professor Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira pela orientação, persistência, confiança e dedicação, que despertaram e revelaram o meu potencial.

Ao Professor Dr. José Augusto de Lollo pelo auxílio, apoio e sugestões que melhoraram os resultados aqui apresentados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil, que dispuseram de tempo e conhecimento para auxiliar esta dissertação, principalmente ao Aldir, Renato e José.

Aos funcionários do DAEE de Araraquara, que foram prestativos no fornecimento de dados e no esclarecimento de dúvidas, em especial ao Paulo e a Paula.

Aos membros do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria, companheiros próximos, com os quais foram divididos momentos de tensão e stress.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudo.

Por fim, aos meus amigos e familiares, pelo carinho e compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva.

RESUMO

Com o crescente aumento da utilização do recurso hídrico subterrâneo para diversos tipos de usos, verifica-se a necessidade de avaliar a variação progressiva do nível da água nas reservas subterrâneas. Em decorrência do processo de urbanização, modificam-se as características da paisagem natural, implicando na impermeabilização do solo em grandes áreas, diminuindo as condições de infiltração e recarga dos mananciais subterrâneos. Neste contexto, estudos almejam estabelecer um controle da extração de água subterrânea, visando à conservação dos aspectos quantitativos e qualitativos naturais dos aquíferos. A exploração excessiva de água subterrânea já apresenta riscos para o abastecimento público em alguns municípios brasileiros, sendo necessária a implantação de métodos adequados de gerenciamento para garantir o uso sustentável do recurso hídrico. Neste trabalho foi analisado o comportamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto, devido ao intenso aumento na perfuração de poços e à necessidade de delimitação de áreas potencialmente críticas de recursos hídricos subterrâneos. A pesquisa enfocou a manipulação de dados e informações necessárias para representar as variações do nível estático do aquífero Bauru, bem como quantificar o crescimento da malha urbana e da população do município. Os dados referentes ao aquífero foram coletados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de Araraquara, os dados referentes ao relevo do terreno e cobertura do solo, coletados junto à EMBRAPA, INPE, IBGE e visualizador de imagens de satélite Google Earth e, os dados populacionais junto ao IBGE. Com o auxílio dos softwares AutoCAD, Excel, Google Earth, Spring e Surfer, foram construídos mapas da cobertura do solo e MDEs (Modelos digitais de Elevação) do terreno e do nível estático do aquífero utilizando técnicas de interpolação, bem como gráficos ilustrativos, para representação e quantificação das variações ocorridas no período de 1972 a 2012. Os resultados demonstraram que o aumento desordenado da urbanização teve influência direta sob o potencial hídrico subterrâneo, como também, a extração excessiva de água subterrânea, que contribuíram para a ocorrência do rebaixamento de 10 metros do Aquífero Bauru, observado na década de 2000. O Aquífero Bauru, principal fonte de abastecimento municipal, se apresenta limitado, podendo comprometer diretamente o sistema de abastecimento público, que utiliza 41,2% dos 43.818 m³/d retirados do manancial.

Palavras-chave: Água subterrânea. Aquífero Bauru. São José do Rio Preto. Aspectos quantitativos.

ABSTRACT

With the growing increase use of underground water resources for different types of uses, verified the need to evaluate the progressive variation of the level of water in the underground reserves. Due of the urbanization process, modify the characteristics of the natural landscape, implying in the soil impermeability in large areas, reducing the conditions of infiltration and recharge of groundwater sources. In this context, studies aim to establish control of the extraction of groundwater, aiming at the conservation of the quantitative and qualitative aspects of natural aquifers. The excessive exploitation of groundwater already poses risks to the public water supply in some Brazilian municipalities, with the necessity of implementation of appropriate management to ensure the sustainable use of water resources. This work analyzed the behavior of the potentiometric level Bauru aquifer the municipality of Sao José do Rio Preto, due to the sharp increase in drilling wells and the need for delimitation of areas potentially critical groundwater resources. The research focused on the manipulation of data and information necessary to represent the variations of the static level of the Bauru aquifer, and quantify the growth of the urban and the population municipality. The data referring aquifer were collection in the Information System of Groundwater (SIAGAS) and the Department of Water and Electrical Energy (DAEE) Araraquara, data relating of the relief of the terrain and ground cover, collected by the EMBRAPA, INPE, IBGE and image viewer satellite Google Earth and, the population data by the IBGE. With the assistance of software AutoCAD, Excel, Google Earth, Spring and Surfer were constructed maps of land cover and DEMs (Digital Elevation Models) terrain and static level of the aquifer, as well as illustrative graphics, for representation and quantification of variations in the period 1972-2012. The results demonstrated that the uncontrolled increase of urbanization had a direct influence under the potential underground water, as well as, the excessive extraction of groundwater, which contributed to the occurrence of the downgrade of 10 meters from Bauru Aquifer, observed in the 2000s. The Bauru Aquifer, the main source of municipal supply, presents itself limited and may directly jeopardize the public supply system, which uses 41.2% of the 43,818 m³/d removed from the source.

Keywords: Groundwater. Aquifer Bauru. São José do Rio Preto. Quantitative aspects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da organização dos dados em tabelas	20
Figura 2 – Perfil construtivo-litológico de um poço.....	21
Figura 3 – Visualização dos poços através do mapa	22
Figura 4 – Consulta na web por estado e município.....	22
Figura 5 - Infra-estrutura de um SIG	25
Figura 6 - Divisão dos tipos de dados de um SIG	27
Figura 7 - Representação dos modelos da componente espacial.....	27
Figura 8 - Sobreposição de níveis de informação.....	28
Figura 9 - Cone de depressão em aquífero livre.....	34
Figura 10 - Poços captando em diferentes formações e diferentes profundidades.....	35
Figura 11 - Províncias Hidrogeológicas Brasileiras	36
Figura 12 – Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Paraná.....	37
Figura 13 – Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo	38
Figura 14 - Perfil esquemático dos aquíferos no Estado de São Paulo	39
Figura 15 – Vazão explotável do Aquífero Bauru.....	39
Figura 16 – Transmissividade do Aquífero Bauru	42
Figura 17 – Espessura saturada do Aquífero Bauru	43
Figura 18 - Capacidade específica do Aquífero Bauru.....	44
Figura 19 - Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos no Brasil.....	49
Figura 20 - Número de sedes e tipo de sistema de captação de água do abastecimento público no Brasil.....	55
Figura 21 - Área de recarga dos principais aquíferos do Brasil e percentual de exploração de suas reservas renováveis	56
Figura 22 - Áreas potencialmente críticas de recursos hídricos subterrâneos.....	58
Figura 23 - Aumento na profundidade média do nível potenciométrico do aquífero	59
Figura 24 – Representação das principais características de um variograma experimental.....	60
Figura 25 - Representação do efeito pepita em um variograma	61
Figura 26 – Vista aérea da área urbana de São José do Rio Preto.....	62
Figura 27 - Localização de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo e principais municípios vizinhos	63
Figura 28 - Divisão das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo e Sub-bacias da UGRHI 15.	64

Figura 29 - Mapa de solos de parte da área do Município de São José do Rio Preto.....	66
Figura 30 - Mapa hidrográfico de São José do Rio Preto.....	71
Figura 31 - Temperaturas médias, máximas e mínimas no período de 2000 a 2012	72
Figura 32 - Precipitação total anual no período de 2000 a 2012	73
Figura 33 - Uso e ocupação do solo no Município de São José do Rio Preto em 2002.....	74
Figura 34 - Porcentagem de utilização do solo em São José do Rio Preto em 2002.....	75
Figura 35 - Porcentagem de utilização do solo em São José do Rio Preto em 2011.....	75
Figura 36 - Crescimento populacional do Município de São José do Rio Preto	76
Figura 37 - Crescimento da malha urbana do Município de São José do Rio Preto	77
Figura 38 - Crescimento populacional e aumento de áreas urbanas do Município de São José do Rio Preto	78
Figura 39 - Relação entre o aumento do número de perfurações e o crescimento populacional	79
Figura 40 - Relação entre o aumento do número de perfurações e o desenvolvimento da malha urbana	80
Figura 41 - Modelo digital de terreno do Município de São José do Rio Preto com a localização dos poços catalogados e delimitação da área para estudo	81
Figura 42 - Altura potenciométrica média do aquífero nos intervalos de classes, para o período de 1991 a 2010.....	82
Figura 43 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (S-O) para as classes de 1991-1995 e 2006-2010.....	84
Figura 44 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (N-L) para as classes de 1991-1995 e 2006-2010	85
Figura 45 - Nível potenciométrico médio do aquífero em quatro classes de período.....	87
Figura 46 - Evolução dos tipos de uso da água na região central do município	88
Figura 47 – Região do Município de São José do Rio Preto estudada por Oliveira (2002).....	89
Figura 48 - Variação do nível potenciométrico do aquífero.....	90
Figura 49 - Localização dos poços na área estudada.....	91
Figura 50 - Variação do nível potenciométrico médio do Aquífero Bauru.....	92
Figura 51 – Localização dos poços analisados na pesquisa	93
Figura 52 - Total de perfurações anuais no período de 1950 a 2011.....	94
Figura 53 - Número de poços em décadas e por classe de profundidade.....	95
Figura 54 - Distribuição dos poços nas classes de profundidade	96
Figura 55 - Distribuição dos poços por tipo de uso da água.....	97

Figura 56 - Imagens de satélite (Google Earth) do Município de São José do Rio Preto, com detalhe de área caracterizada por pólo industrial.....	98
Figura 57 - Porcentagem de uso da água subterrânea no Município de São José do Rio Preto	99
Figura 58 - Crescimento do abastecimento público X abastecimento privado	100
Figura 59 - Tipo de utilização das captações de água por classes de profundidade.....	101
Figura 60 - Utilização da água subterrânea na profundidade de 20-90m.....	102
Figura 61 - Utilização da água subterrânea na profundidade de 161-230m.....	103
Figura 62 - Vazão dos poços do Município de São José do Rio Preto.....	104
Figura 63 - Distribuição dos poços no Município de São José do Rio Preto por classes de vazão nominal.....	105
Figura 64 – Evolução da vazão captada na profundidade de 20-90m.....	106
Figura 65 - Evolução da vazão captada na profundidade de 161-230m.....	107
Figura 66 - Avaliação do uso da água subterrânea nas captações inferiores a 5,1 m ³ /h	108
Figura 67 - Avaliação do uso da água subterrânea nas captações de 20,1 a 30 m ³ /h.....	109
Figura 68 - Número de poços perfurados no Município de São José do Rio Preto por manancial subterrâneo	110
Figura 69 - Profundidade dos poços perfurados no Aquífero Bauru.....	111
Figura 70 - Profundidade dos poços perfurados no Aquífero Serra Geral	111
Figura 71 - Vazão dos poços que captam no Aquífero Bauru.....	112
Figura 72 - Vazão dos poços que captam no Aquífero Serra Geral	112
Figura 73 - Vazão explotada no Município de São José do Rio Preto por tipo de uso (Aquífero Bauru)	113
Figura 74 - Vazão explotada no Município de São José do Rio Preto por tipo de uso (Aquíferos Bauru e Serra Geral).....	114
Figura 75 – Localização dos poços em São José do Rio Preto pela classe de vazão explotada que captam no Aquífero Bauru.....	115
Figura 76 - Localização dos poços por décadas de perfuração	117
Figura 77 - Relação entre o volume de água produzido, faturado e as perdas no sistema de distribuição no decorrer das décadas	118
Figura 78 - Porcentagem de perdas no sistema de abastecimento de água nas últimas décadas	119
Figura 79 - Perdas anuais no sistema de distribuição de água	120
Figura 80 - Volume de água produzido pelo sistema de abastecimento	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características gerais do Aquífero Bauru.....	40
Quadro 2 - População (a nível continental e escalas globais) e volume de água utilizado para abastecimento em 1985 e projeções para 2025.....	53
Quadro 3 - Potencial hídrico demandado e reserva explorável dos principais aquíferos brasileiros.....	57

LISTA DE SIGLAS

Agência Nacional das Águas	- ANA
Capacity Building for Sustainable Water Resources Management	- CAP-NET
Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas	- CIIAGRO
Clean Water Act	- CWA
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais	- CPRM
Agência Ambiental do Estado de São Paulo	- CETESB
Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act	- CERCLA
Conselho Nacional do Meio Ambiente	- CONAMA
Conselho Nacional de Recursos Hídricos	- CNRH
Departamento de Águas e Energia Elétrica	- DAEE
Food and Agriculture Organization	- FAO
Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados	- SEADE
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	- IBGE
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	- INPE
Instituto de Pesquisas Tecnológicas	- IPT
Knowledge Discovery in Databases	- KDD
Ministério do Meio Ambiente	- MMA
Política Estadual de Recursos Hídricos	- PERH
Política Nacional de Recursos Hídricos	- PNRH
Regional Water Supplies Group	- RWSG
Resource Conservation and Recovery Act	- ECRA
Safe Drinking Water Act	- SDWA
Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo	- SERHS
Secretaria de Estado de Saúde	- SES
Secretaria do Meio Ambiente	- SMA
Secretaria de Recursos Hídricos	- SRH
Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto	- SeMAE
Sistema Gerenciador de Banco de Dados	- SGBD
Sistema de Informações de Águas Subterrâneas	- SIAGAS
Sistema de Informação Geográfica	- SIG
Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos	- SIRGH

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos	- SINGREH
Structured Query Language	- SQL
Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos	- UGRHI
Universal Transverse Mercator	- UTM
Zona de Ações Prioritárias	- ZAP
World Bank Group	- WBG
World Geodetic System 1984	- WGS84

SUMÁRIO

1.	Introdução	16
2.	Objetivos	18
2.1.	Objetivos gerais.....	18
2.2.	Objetivos específicos	18
3.	Revisão bibliográfica	19
3.1.	Siagas	19
3.2.	DAEE.....	23
3.3.	SIG.....	24
3.4.	Propriedades hidráulicas do fluxo subterrâneo.....	29
3.5.	Bombeamento de poço.....	32
3.6.	Aquífero Bauru	36
3.7.	Exploração da água subterrânea	44
3.8.	Gerenciamento dos recursos hídricos.....	46
3.9.	Geoestatística	59
4.	Materiais e métodos	62
4.1.	Área de estudo.....	62
4.2.	Aspectos físicos.....	65
4.2.1.	Relevo e clima.....	65
4.2.2.	Geologia e hidrogeologia	65
4.2.3.	Pedologia e uso do solo.....	65
4.3.	Catálogo dos poços	66
4.4.	Delimitação da área urbanizada	67
4.5.	Avaliação do nível estático	68
4.5.1.	Análise comparativa.....	69
4.6.	Análise quali-quantitativa dos poços.....	69
5.	Resultados	71
5.1.	Aspectos físicos do município.....	71
5.2.	Malha urbana.....	76
5.3.	Nível estático.....	80
5.3.1.	Comparação com o rebaixamento constatado por Oliveira (2002).....	88
5.4.	Aspectos quali-quantitativo dos poços	92
6.	Conclusões e recomendações	121
	Referências	123

1 INTRODUÇÃO

Com o constante aumento da demanda pela utilização dos recursos hídricos, a exploração do manancial subterrâneo tem aumentado consideravelmente no mundo. Segundo a Agência Nacional das Águas - ANA, (2010a), 39% dos municípios brasileiros (2.153) são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas. Já o relatório da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, (2009) aponta que mais de 80% dos municípios do Estado de São Paulo são abastecidos parcial ou totalmente por água subterrânea.

Conforme o plano de bacia elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, (2009) dos 64 municípios localizados na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 15) do Comitê de Bacia Hidrográfica Turvo/Grande, 57 utilizam exclusivamente água subterrânea para abastecimento público, sendo que São José do Rio Preto apresentou o maior índice de consumo de água da UGRHI em 2011, no montante de 1,23 m³/s.

De acordo com informações da Agência Nacional das Águas, cerca de 43% do abastecimento público do Município de São José do Rio Preto provém de água subterrânea (ANA, 2010b), contudo segundo a Bolcone (2011) o manancial subterrâneo é responsável por 73,46% da fonte de captação de água da cidade e a outra parcela (26,54%) é retirada do Rio Preto. Neste município, os poços perfurados captam água do Sistema Aquífero Bauru e das formações Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani) (BARCHA, 2000).

A exploração excessiva de água subterrânea e a elevada quantidade de poços produtores já causam alguns problemas de disponibilidade hídrica em municípios do Estado de São Paulo, sendo eles: São José do Rio Preto, Capivari, Rafard, Indaiatuba e Ribeirão Preto (IRITANI; EZAKI, 2008; ROCHA, 2005; IRITANI et al., 2011). A superexploração, ou seja, o uso da reserva permanente do Aquífero Bauru, na cidade de São José do Rio Preto contribui para o rebaixamento dos níveis estáticos, provocando uma diminuição progressiva da produtividade dos poços e da capacidade hídrica do manancial.

Neste contexto, o monitoramento quantitativo da exploração, ou seja, do uso da reserva ativa do aquífero, é de extrema importância, seja no controle da perfuração de novos poços ou no estabelecimento de áreas de restrição, de forma a preservar as condições de recarga do manancial subterrâneo.

O monitoramento frequente do Aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto permite analisar a variação do nível e a direção do fluxo da água subterrânea, identificar áreas

de controle no processo de urbanização, contemplando locais para recarga do aquífero, objetivando garantir o uso sustentável do recurso hídrico.

O Município de São José do Rio Preto apresenta crescente processo de urbanização acompanhado pelo desenvolvimento industrial que causa o aumento na exploração do recurso hídrico subsuperficial e diminuição das condições de infiltração do solo, que compromete a recarga do aquífero, apresentando riscos ao sistema de abastecimento de água.

Assim, é de fundamental importância estabelecer o gerenciamento eficaz do manancial subterrâneo no município, analisando a finalidade de uso da água captada e o volume demandado. Com a identificação das regiões críticas de exploração, visa-se controlar o uso e ocupação do solo, bem como estabelecer limites para os volumes de água retirados, de forma a evitar o esgotamento do Aquífero Bauru.

O CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) estabelece várias resoluções sobre critérios e procedimentos para orientação, proteção e preservação dos recursos hídricos subterrâneos, almejando conservar os aspectos quantitativos e qualitativos naturais dos aquíferos.

Diante dos problemas de disponibilidade hídrica que o município já apresenta, constatados em diversos estudos realizados na região, como também pela empresa concessionária responsável pelo abastecimento de água, que não garante o fornecimento para novos loteamentos, obrigando-os a recorrerem à captação subterrânea, este trabalho contribui com novas informações acerca das atuais condições de disponibilidade hídrica do Aquífero Bauru em São José do Rio Preto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar quantitativamente a disponibilidade hídrica subterrânea do Aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto – SP, tendo como finalidade relacionar o aumento da malha urbana com o surgimento de novas perfurações, além de identificar a ocorrência de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero na área central do município no período de 2002 a 2012.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar e organizar dados de vazão, profundidade, nível dinâmico, nível estático e cota topográfica de cada poço, através do banco de dados do sistema de informação a nível estadual e federal.
- Identificar a ocorrência de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero no período de 2002 a 2012.
- Analisar o crescimento temporal da quantidade de poços e o aumento da malha urbana do município a partir da década de 1970.
- Comparar os dados de possível rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero no período de 2002 a 2012 com as estimativas previstas por Oliveira (2002).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SIAGAS

O SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) é um sistema de informações nacionais gerenciado por um banco de dados e controlado por um SIG (Sistema de Informação Geográfica), que foi criado em 1995 pelo Engenheiro Josias B. de Lima da Superintendência de Recife – SUREG/RE com o objetivo de armazenar e difundir informações sobre recursos hídricos subterrâneos (NASCIMENTO; CARVALHO; PEIXINHO, 2008). Em junho de 2013 o sistema apresentava 230.717 poços cadastrados no banco de dados central do Rio de Janeiro.

As informações referentes ao banco de dados central são provenientes de três fontes: dos órgãos gestores de recursos hídricos, do cadastramento e de projetos realizados por meio das Unidades Regionais da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e/ou empresas privadas (NASCIMENTO; CARVALHO; PEIXINHO, 2008).

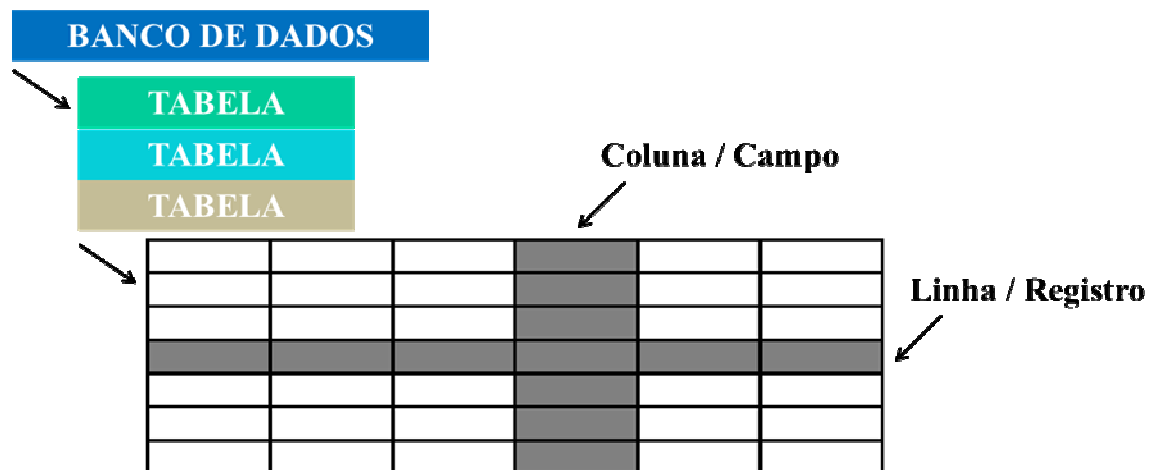
O sistema depende da existência dados, informações e conhecimentos para operação, manutenção e administração (GUIGUER; HORVATH, 2002). Os dados são a fonte primária, a partir destes a informação é transmitida aos usuários, e para relacionar os dados e as informações é necessário o conhecimento específico dos procedimentos exigidos pelo sistema.

As componentes de um sistema de informações estão inter-relacionadas desde a entrada, passando pelo processamento e indo até a saída de dados. Antes da saída destes, realiza-se o *feedback* na entrada ou no processamento da informação, para analisar a necessidade de executar ajustes ou modificações, visando atingir as metas e objetivos estabelecidos.

Os dados de um sistema ficam armazenados em um banco de dados, de maneira hierárquica e crescente. Para a existência de um banco de dados é necessário a presença dos seguintes itens: entidades, atributos e chaves de dados. A entidade é o local ou objeto do qual serão coletados os dados, no escopo do presente trabalho, o Município de São José do Rio Preto como sendo o local de estudo. O atributo é uma característica da entidade, por exemplo o número de habitantes ou o número de poços utilizados para abastecimento urbano no Município de São José do Rio Preto, dentre outros. Já a chave de dados é um número utilizado para identificar registros, pode ser primária (única, não se repetirá) número do poço, ou secundária (pode ser repetida) profundidade do poço.

O banco de dados é controlado por um conjunto de sistemas que realizam manutenções. Assim armazena informações relacionadas; os dados reais são organizados em tabelas, sendo que as linhas representam os registros (elementos estruturados de forma idêntica) e as colunas o campo (coleção de valores), conforme Figura 1 (PEIXINHO; LIMA, 2008).

Figura 1 – Representação da organização dos dados em tabelas



Fonte: Peixinho e Lima (2008).

O sistema de gerenciamento controla o acesso de programas aos dados, de forma que todas as consultas passem pelo sistema e os usuários não tenham acesso direto ao banco de dados.

O banco de dados relacional representa os dados por meio de relações, permite a criação de um modelo lógico da informação a ser armazenada, contudo precisa ser normalizado, ou seja, a aplicação de regras a todas as entidades do banco de dados para evitar falhas no projeto e redundância de dados (PEIXINHO; LIMA, 2008).

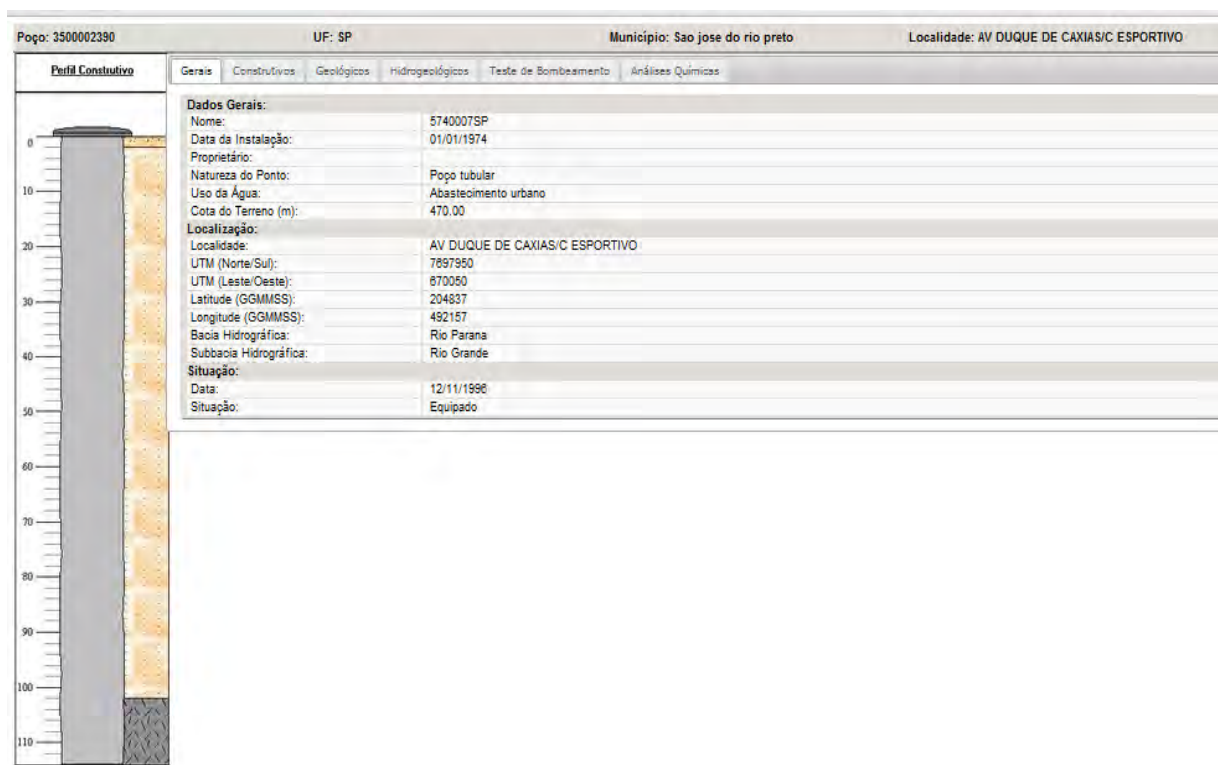
O sistema de informações de recursos hídricos controla informações sobre a disponibilidade hídrica, tendo como base os seguintes princípios: descentralização de dados, coordenação unificada do sistema e acesso garantido dos dados a toda sociedade.

O SIAGAS armazena e gerencia dados de poços por meio de SIGs, utilizando um servidor de banco de dados SQL (*Structured Query Language*), relacional e normalizado. O banco de dados relacional representa os dados por meio de relações, e a normalização evita a redundância de dados (LIMA; BRANCO, 2010).

A arquitetura do SIAGAS é do tipo cliente-servidor, ou seja, possui um servidor SQL para armazenar e gerenciar os dados e por meio de módulos aplicativos possibilita o usuário consultar os dados da web (RIBEIRO, 2008).

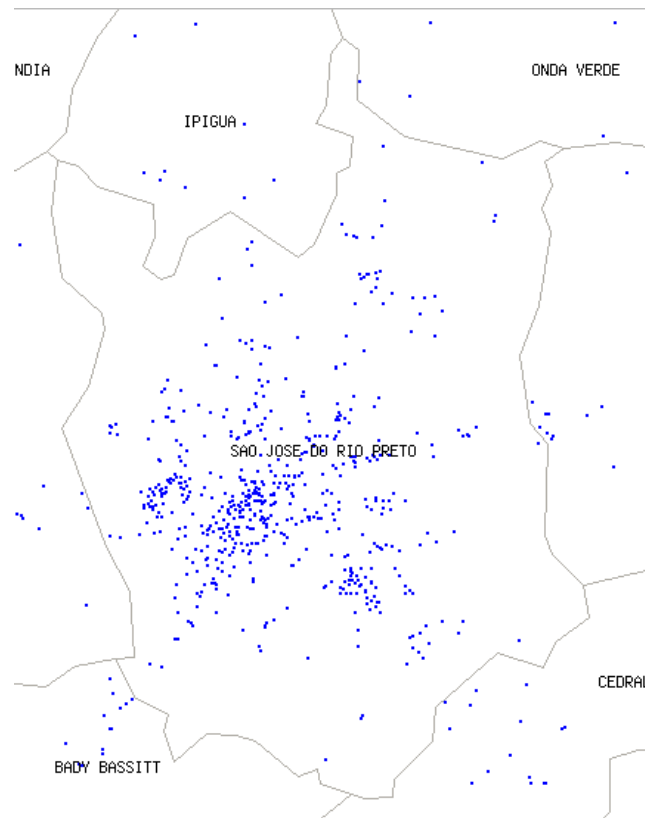
O SIAGAS é composto por três aplicativos, a entrada de dados, a consulta na web e pela análise e interpretação de dados. A saída de dados é de domínio público e uso irrestrito, disposta no formato de tabelas e formulários que permitem a criação do perfil construtivo-litológico do poço (Figura 2). A consulta na web permite a visualização da localização dos poços através de mapas (Figura 3), a realização de pesquisas pelo usuário, selecionando os locais de interesse por meio do estado, municípios ou bacia hidrográfica, para visualizar as informações dos poços, de acordo com a Figura 4. A análise e interpretação de dados permitem o gerenciamento destes, e possibilita a realização de pesquisas avançadas, a criação de mapas temáticos, a elaboração de gráficos e a exportação de dados.

Figura 2 – Perfil construtivo-litológico de um poço



Fonte: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (2012).

Figura 3 – Visualização dos poços através do mapa



Fonte: SIAGAS (2012).

Figura 4 – Consulta na web por estado e município

Superior Esquerdo		Inferior Direito	
S	Latitude 1 []° []' []"	S	Latitude 2: []° []' []"
	Longitude 1 []° []' []"		Longitude 2: []° []' []"
Bacia Hidrográfica	Região	Estado	Município
Selezione	<ul style="list-style-type: none"> Norte Nordeste Centro-Oeste Sudeste Sul 	<ul style="list-style-type: none"> Todos Esprito Santo Minas Gerais Rio de Janeiro São Paulo 	<ul style="list-style-type: none"> Selezione Adamantina Adolfo Aguai Agua da prata Agua de lindoia Agua de santa barbara Agua de sao pedro Agudos Alambari Alfredo marcondes Altair Altinopolis Alto alegre Aluminio Alvares florence Alvares machado Alvaro de carvalho Alvinlandia Americana
Campos	Condições		Valor
Selezione	Remover ()		

Fonte: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (2012).

O SIAGAS possui técnicas de consistência de dados que evitam a ocorrência da repetição de dados e garantem a validação da informação. Com as informações do SIAGAS é possível orientar futuras perfurações de poços tubulares, produzir mapas hidrogeológicos, dentre outras atividades.

O processo KDD (*Knowledge Discovery in Databases*) ou mineração de dados é a extração de informações armazenadas em um banco de dados, almejando ampliar determinado conhecimento.

Essa extração de dados pelo KDD possui três etapas, o pré-processamento, a mineração de dados e o pós-processamento. No pré-processamento ocorre a captação e o tratamento dos dados. Na mineração extrai-se o conhecimento para aplicação do KDD. E no pós-processamento se analisa a utilidade do conhecimento descoberto (PEIXINHO; LIMA, 2008).

3.2 DAEE

O DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) do estado de São Paulo é o órgão gestor da quantidade de recursos hídricos, cabendo a CETESB a gestão da qualidade dos mananciais de captação. Foi criado em 12 de dezembro de 1951 pelo Decreto nº 1.350 sancionado pelo Governador Lucas N. Garcez. Este órgão possui como objetivo a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos para diversas atividades, expedindo-a após obtenção de informações referentes à qualidade do manancial.

O usuário poderá utilizar o manancial por tempo determinado, sendo exigido documento de renovação de outorga para continuar usufruindo do recurso natural, além de atualizar o volume necessário para uso.

A concessão de licença de captação de água é necessária para a retirada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, sendo que para captações subterrâneas, deve-se elaborar estudos hidrogeológicos que demonstrem a influência de poços existentes na vazão demandada e na direção do fluxo subterrâneo.

O formulário para requerimento de outorga está disponível no endereço eletrônico do órgão gestor, após o preenchimento encaminha-se a ficha ao departamento que analisa o pedido, este pode ser deferido ou não. Emite-se um protocolo para o processo e efetua-se o arquivamento do mesmo (PENTEADO; PEREIRA, 2004).

Algumas informações do cadastramento de poços estão disponíveis eletronicamente, mas não apresentam todos os dados, como a data de perfuração, a profundidade, o nível

dinâmico, dentre outros. Assim, a coleta de informações deste trabalho foi realizada no órgão gestor, de forma manual e não por meio do banco de dados do sistema de informação.

3.3 SIG

O SIG (Sistema de Informação Geográfica) é um sistema computacional utilizado para gerenciar dados espaciais, desde a coleta até a distribuição de informações referentes ao fenômeno analisado em determinado local. O sistema possui várias componentes inter-relacionadas com diferentes funções que produzem o conhecimento utilizado na criação de mapas.

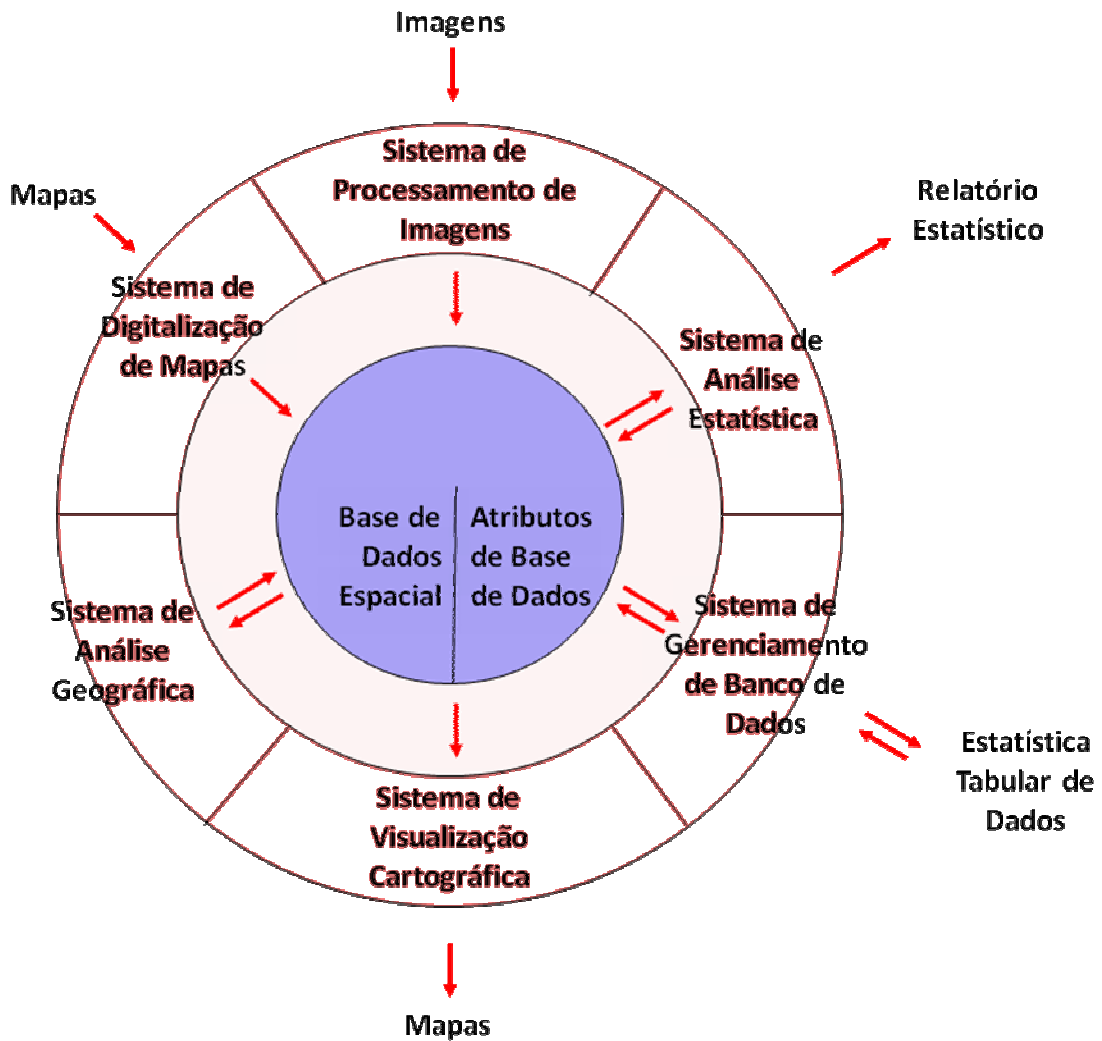
Os objetivos da implementação de um SIG são: as diversas formas de visualização da informação; a organização e o georreferenciamento da combinação de dados; a integração de dados vindos de diversas fontes, formatos, escalas e sistemas de projeção; a disponibilidade de análise de dados; e a predição de ocorrências (PINA; SANTOS, 2000).

Um SIG é composto de partes interativas que são pessoas, dados, métodos, programas de computador (software) e equipamentos de informática (hardware). As pessoas responsáveis por um projeto devem ser qualificadas para garantir o funcionamento do sistema. Os dados espaciais exigem um planejamento cuidadoso, possuem uma componente gráfica e uma componente textual ou numérica. Estes dados diferenciam dos não espaciais por apresentarem um relacionamento geográfico que os vinculam a um local conhecido na superfície. O método é composto por várias etapas, desde o planejamento até a correção de rumos, para o qual se recomenda a aplicação de práticas de controle dos processos. Através dos programas é possível o acesso e a consulta dos dados de um servidor e a realização de projetos. Os softwares podem ser comerciais, que implicam no pagamento de licença como o Idrisi, o ArcGIS, e o Hidro GeoAnalyst ou não comerciais, distribuídos gratuitamente como o Spring e o Grass (BERNARD; KUMAR, 1999).

O SIG é estruturado por uma base de dados geográfica que é composta de uma base de dados espacial, que armazena a posição dos objetos, e de uma base de dados de atributos alfanuméricos, que descreve os fatos e fenômenos dos objetos; este conjunto constitui o núcleo do sistema. Essas bases de dados são conhecidas como componentes dos dados espaciais e possuem características distintas, assim os dados espaciais ou gráficos são manuseados pelo SIG e os alfanuméricos ou não-gráficos são gerenciados pelo SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados). A Figura 5 ilustra o núcleo do sistema e ao redor

seis subsistemas, bem como suas funções e relacionamentos (PINA; SANTOS; 2000; GOMES, 2008).

Figura 5 - Infra-estrutura de um SIG



Fonte: Eastman (1998).

As componentes dos dados espaciais podem ser integradas através dos geocódigos, ou seja, um código comum aos registros nas duas bases. A tendência atual é utilizar esse código e não executar a distinção entre as bases (PINA; SANTOS, 2000).

Os SIGs exigem operações convencionais de bases de dados, como captura, armazenamento, manipulação e análise e apresentação de dados com a possibilidade de seleção, busca de informação e análise geográfica. Assim diferem dos Sistemas de

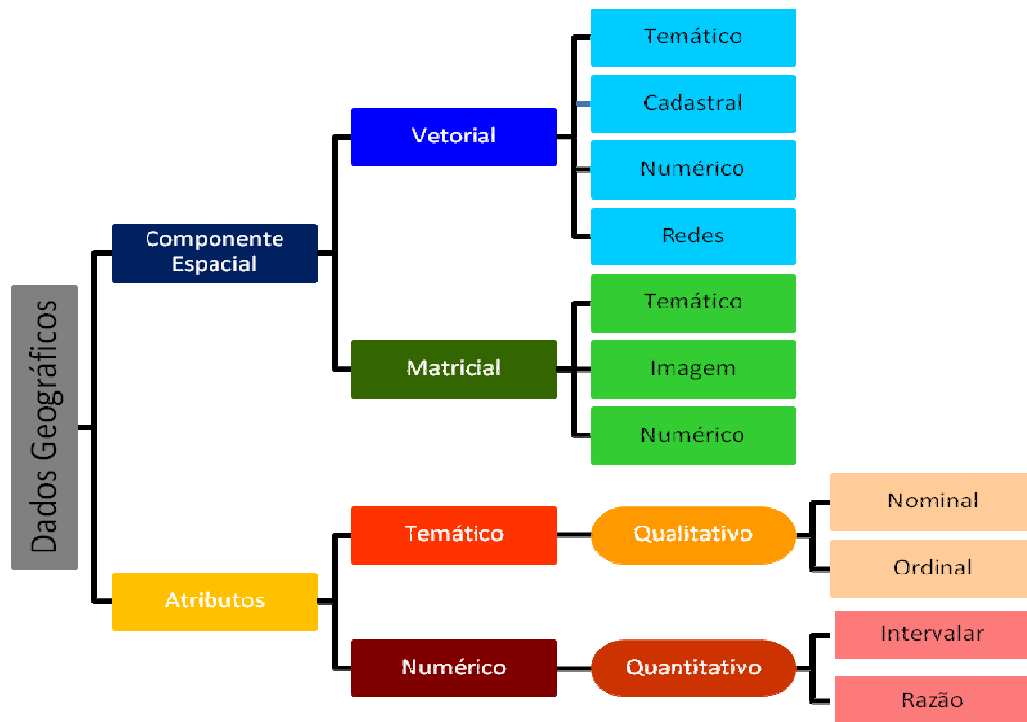
Informação, pois possibilitam o entendimento da ocorrência de eventos, predição e simulação de situações e o planejamento de estratégias (PINA; SANTOS, 2000).

A representação computacional dos dados geográficos aborda o paradigma dos quatro universos. No universo ontológico ou mundo do real são armazenados os conceitos e relacionamentos dos objetos, que serão identificados, descritos e inter-relacionados. O universo formal ou conceitual é o formalismo matemático, onde ocorre a discriminação do dado geográfico em contínuo ou discreto. No universo estrutural ou de representação ocorre a tradução das entidades definidas no universo formal em representações geométricas, como linha, ponto, grade regular ou irregular. E o universo de implementação define os algoritmos, as estruturas de dados, a codificação, a linguagem e o paradigma de programação (GOMES, 2008).

O sistema de funcionamento dos SIGs, em geral, baseia-se no armazenamento de dados em camadas ou níveis de informação, relacionados entre si por uma referência espacial (ALMEIDA, 2005). Os SIGs utilizam uma arquitetura dual, que gerencia dados gráficos e dados não gráficos em sistemas distintos.

As propriedades intrínsecas dos dados geográficos condizem com a representação da realidade, assim incorporam-se as características dos fenômenos estudados, como a localização, a geometria, os atributos e o tempo, utilizam dessas informações para descrever as condições atuais. Assim, os dados são divididos na componente espacial ou cartográfica, com as localizações e geometrias, e na componente não espacial ou atributos, descritos na Figura 6.

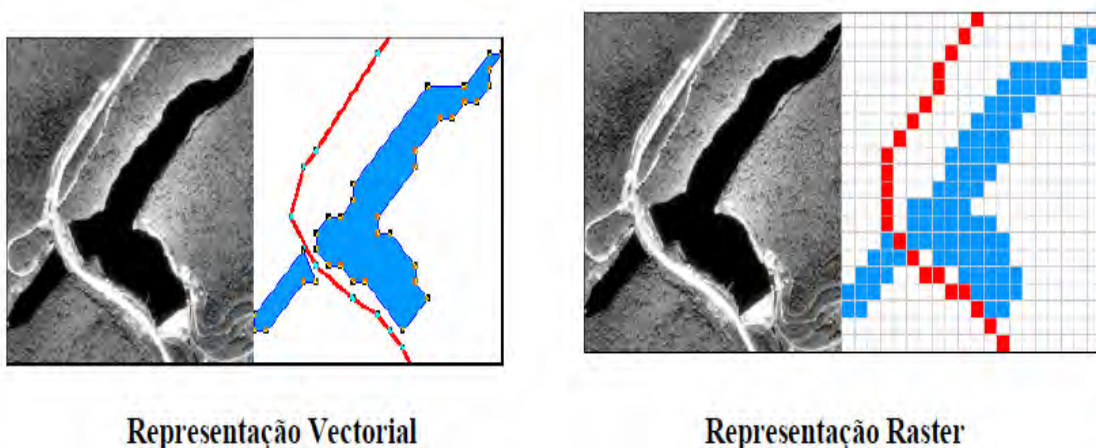
Figura 6 - Divisão dos tipos de dados de um SIG



Fonte: Gomes (2008).

A componente espacial pode ser representada por dois modelos distintos, o vetorial ou geo-objetos e o matricial ou raster (Figura 7). O primeiro apresenta uma estrutura de dados complexa e excelente qualidade gráfica em todas as escalas de apresentação. No segundo a estrutura de dados é simples, sendo adequado para álgebra de mapas e indicado para representações em pequenas escalas.

Figura 7 - Representação dos modelos da componente espacial

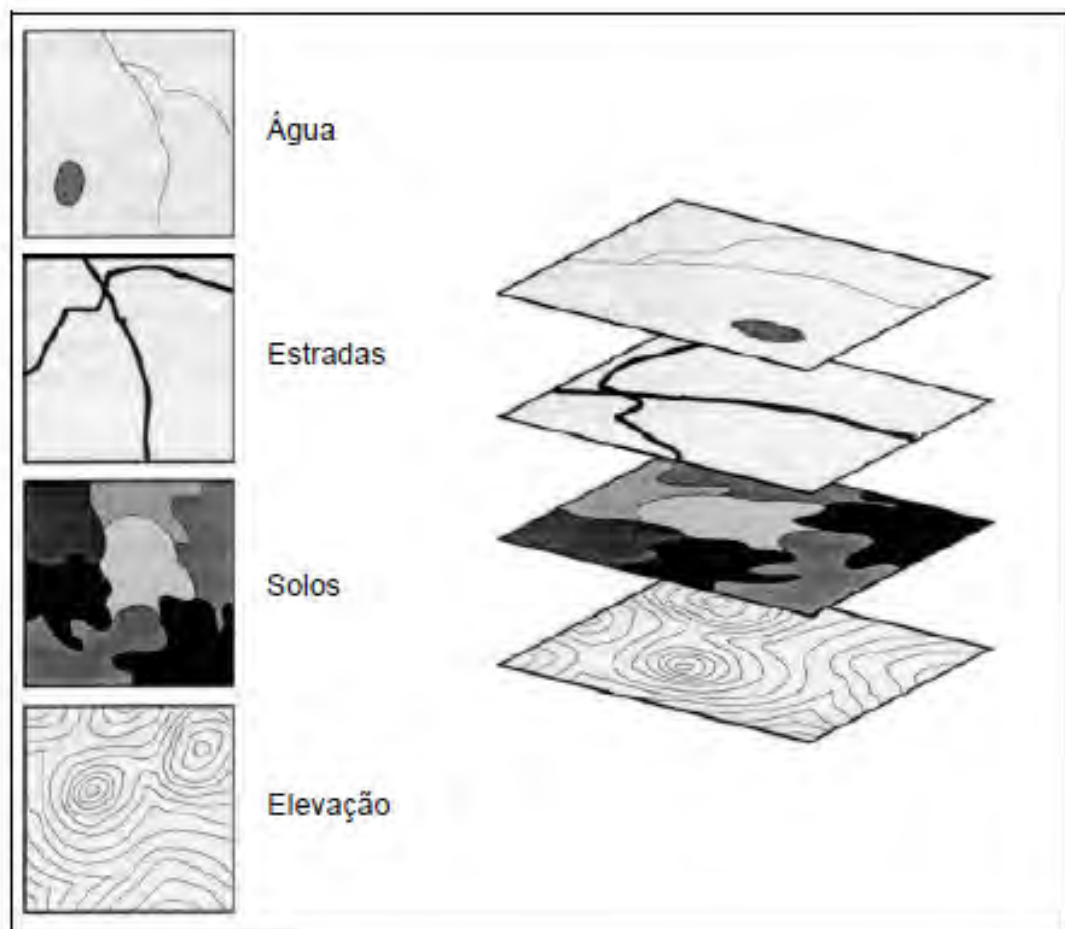


Fonte: Almeida (2005).

O modelo vetorial descreve fenômenos discretos com formas e limites bem definidos, estrutura compacta, representado por ponto, linha e polígono, armazenado em coordenadas bidimensionais (x,y) ou tridimensionais (x,y,z). Esse modelo vetorial pode ser temático, cadastral (representado por pontos, linhas e polígonos), numérico (representado por arcos de triângulos e isolinhas) e de redes (representado por arco-nó) (PINA; SANTOS, 2000).

O modelo matricial é indicado para representar fenômenos que variam continuamente no espaço. Os elementos são representados por células ou pixel organizados em uma matriz bidimensional composta de linhas e colunas. Cada célula armazena um valor que indica o tipo de objeto ou condição que é encontrada naquela localização. Este modelo pode ser temático (cada célula é associada a uma classe do tema considerado), numérico (cada célula é definida por sua localização no plano xy e por um valor numérico da variável z) e de imagem. Este modelo facilita a implementação das operações de sobreposição de níveis de informação, conforme ilustra a Figura 8 (CARDONA, 2007).

Figura 8 - Sobreposição de níveis de informação



Fonte: Eastman (1998).

Os atributos descrevem propriedades e qualidades do objeto, podem ser de escala nominal (os números são usados como rótulos e podem ser substituídos por letras), ordinal (os números representam um conjunto de classes ordenadas, que admitem comparações do tipo maior, menor ou igual), intervalar (os valores representam números reais ordenados em escala calibrada), razão (os valores representam números reais ordenados em escala definida) (GOMES, 2008).

3.4 PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A delimitação das bacias hidrográficas superficiais baseia-se no mapa topográfico da região. O fluxo superficial ocorre das regiões elevadas para as regiões baixas, acompanhando a inclinação da superfície do terreno. Assim, o divisor topográfico subterrâneo pode acompanhar o superficial, porém em algumas situações difere deste (FETTER, 1994).

O aquífero em condições naturais apresenta-se em equilíbrio dinâmico, ou seja, o volume de recarga é igual ao volume de descarga, além de exibir uma superfície potenciométrica estável e um volume armazenado constante. A quantidade de água transmitida pelo aquífero varia em função da transmissividade e do gradiente da superfície potenciométrica (FETTER, 1994).

Os aquíferos possuem função de mineração que consiste no armazenamento e transmissão de água em quantidades significativas, diferenciando-se uns dos outros pelas características da formação geológica, bem como da porosidade, permeabilidade, transmissividade e capacidade de armazenamento de cada estrutura aquífera. Sendo que a porosidade e a vazão específica são as propriedades responsáveis pela armazenagem de água no aquífero.

Outra função desenvolvida pelos aquíferos é a planta-filtro que é exercida pela zona insaturada, funciona como um filtro retendo bactérias, vírus, fósforo e metais pesados, melhorando a qualidade da água (FETTER, 1994).

Segundo CETESB (1978), a porosidade do aquífero consiste no volume ocupado pelas aberturas e poros, que indicam a quantidade de água que pode ser armazenada no material saturado; pode ser obtida pelo somatório da retenção específica e da vazão específica. A retenção específica é o volume de água retido pelo aquífero, assim quanto menor o tamanho do grão maior a retenção. E a vazão específica indica o volume de água que pode ser fornecido.

A porosidade expressa a relação entre o volume de vazios, ocupados por ar ou água e o volume total. Assim, nas rochas ela depende da natureza físico-química, granulometria, grau de cimentação ou compactação, efeitos de dissolução e fissuração (CUSTODIO; LLAMAS, 2001).

A porosidade pode ser dividida em primária e secundária. Na porosidade primária, os vazios e aberturas formaram-se junto com a rocha, enquanto que na porosidade secundária esses vazios originaram-se após a formação da rocha (CLEARY, 1989).

Segundo Manoel Filho (2008) em meio poroso pode ocorrer poros isolados e não interconectados, este tipo de porosidade não permite a fluência da água livremente, contudo não interfere no seu armazenamento.

O grau de compactação ou cimentação de uma formação influencia na porosidade, assim quanto mais compactada menor será a porosidade da formação geológica. Dos materiais comumente encontrados na natureza, o cascalho e a areia apresentam menores porosidades, enquanto que a argila e o silte exibem as maiores porosidades (CAICEDO, 2009).

A permeabilidade é a capacidade de transmissão de água de um meio poroso, ocorrendo devido a diferença de pressão. A Lei de Darcy descreve essa capacidade, pois estabelece a proporcionalidade direta entre a velocidade do fluxo em um meio poroso e o gradiente hidráulico. Desta forma, a transmissão de água do aquífero depende do tamanho e do arranjo das partículas, conforme simulado por Darcy na passagem da água por uma coluna de areia saturada (CETESB, 1978; CUSTODIO; LLAMAS, 2001).

Assim, utiliza-se para determinar o fluxo de recarga do aquífero, a Lei de Darcy em aquíferos confinados, e a equação de Dupuit para aquíferos livres. Esses métodos podem ser aplicados mesmo que o aquífero não se encontre em equilíbrio dinâmico, ou seja, volume de recarga igual ao volume de descarga (FETTER, 1994).

Para Custodio e Llamas (2001) os fatores que determinam a permeabilidade dos aquíferos podem ser intrínsecos (tamanho dos poros) e extrínsecos (viscosidade, peso específico). Desta maneira um terreno muito poroso pode ser permeável se os poros são grandes e bem interconectados, como nos cascalhos; e quase impermeável se os poros são muito pequenos, como nas argilas. Os terrenos com baixa porosidade são pouco permeáveis e possuem conexões difíceis e estreitas entre os poros.

Segundo Cleary (1989) a condutividade hidráulica corresponde a habilidade do aquífero na condução de água, assim quanto maior a condutividade, melhor a condução. Essa capacidade do aquífero relaciona-se com o tipo de formação geológica e com a porosidade, sendo que quanto maior a porosidade do material geológico, maior a condutividade.

A afirmação descrita por Cleary (1989) não é aplicável a todos os tipos de formação geológica, visto que as argilas possuem alta porosidade comparando-as com as areias, no entanto apresentam baixa condutividade, devido o preenchimento dos poros com materiais menos permeáveis e de baixa condutividade.

A condutividade hidráulica pode diferenciar de um local a outro na mesma rocha. Assim quando se apresentar a mesma em uma área o aquífero denomina-se homogêneo, e quando variar na área delimitada o aquífero será heterogêneo (HEATH, 1983).

A transmissividade representa a taxa de escoamento por meio de uma seção de largura unitária, cuja altura é igual a espessura do aquífero. Em outras palavras, equivale a condutividade do aquífero multiplicada pela espessura saturada do mesmo (LIMA, 2004; HEATH, 1983).

O coeficiente de armazenamento específico consiste no volume de água liberado ou adicionado ao armazenamento, e depende da compressão do aquífero. A compressão é considerada um processo irreversível, que com o passar do tempo causa diminuição no coeficiente de armazenamento específico em função dos ciclos de rebaixamento do aquífero. Contudo, quanto mais compressivo o aquífero, maior será o coeficiente (CLEARY, 1989).

Para Manoel Filho (2008) o coeficiente de armazenamento depende da compressibilidade e da elasticidade do aquífero, e compreende a atuação das forças de compressão sobre a água, e das forças de tensão sobre a estrutura geológica.

O coeficiente de armazenamento é o volume de água armazenado ou liberado pelo aquífero, por área superficial. Dessa maneira, volumes significativos de água serão fornecidos por aquíferos confinados quando ocorrer grandes quedas de carga sobre as áreas superficiais (CLEARY, 1989).

Em aquíferos livres o coeficiente de armazenamento é igual a porosidade efetiva (água liberada sob a ação da gravidade), sem a intervenção direta da espessura do aquífero, enquanto que nos aquíferos confinados a espessura é fator determinante dos efeitos elásticos da água no aquífero (CUSTODIO; LLAMAS, 2001).

Os fatores que determinam a quantidade de água que atinge um aquífero livre são: a parcela da precipitação que infiltra, o volume de água com capacidade descendente no aquífero (condutividade hidráulica vertical), a transmissividade e o gradiente potenciométrico do aquífero. A deficiência na recarga potencial do aquífero ocorre quando o nível potenciométrico do aquífero é profundo ou apresenta baixa condutividade hidráulica vertical (FETTER, 1994).

Os aquíferos confinados além de serem recarregados por meio da percolação, também podem ser recarregados em áreas de afloramento, contudo os fatores que afetam a recarga dos aquíferos freáticos incidem sobre os aquíferos confinados nas regiões de afloramento. Entretanto, em recargas por meio de camadas permeáveis sob influência de um gradiente hidráulico, a condutividade hidráulica vertical, a espessura da camada confinante e a carga hidráulica são os fatores incidentes. O fluxo de recarga dos aquíferos confinados pode ser descendente (de um aquífero sobreposto para um sotoposto) ou ascendente (de um aquífero sotoposto para um sobreposto) (FETTER, 1994).

3.5 BOMBEAMENTO DE POÇO

No estudo para perfuração de poços em um aquífero leva-se em consideração a demanda necessária para suprimento, e a partir desta analisa-se a disponibilidade da perfuração de um poço ou vários poços para atender aos requisitos de demanda, bem como se considera a economia na perfuração de uma quantidade maior de poços rasos que possam substituir um profundo. Contudo é necessário estabelecer uma distância mínima entre os poços para diminuir a ocorrência de rebaixamento do nível estático em função do bombeamento (CUSTODIO; LLAMAS, 2001).

Para obter-se a direção, a velocidade e o sentido do fluxo da água subterrânea basta inserir em um poço uma quantidade de traçador, e coletar amostras de água nos poços de observação, antes e após a inserção da substância (CUSTODIO; LLAMAS, 2001). Com uma análise das atividades desenvolvidas no entorno da instalação do poço, e com as características do fluxo subterrâneo na região será possível prevenir a ocorrência de contaminação da água ou estabelecer outro local para perfuração do poço.

O desempenho e a eficiência do poço são obtidos através de testes de bombeamento, que se subdividem em teste de aquífero e teste de produção. O teste de aquífero analisa os abaixamentos ocasionados pelo bombeamento de um poço, com vazão constante, determinando os parâmetros hidrodinâmicos do meio poroso (transmissividade, coeficiente de armazenamento, condutividade hidráulica). As medições do nível dinâmico devem ser feitas em intervalos curtos durante as primeiras horas do teste, acompanhando em um poço de observação os rebaixamentos produzidos (CETESB, 1978; FEITOSA; DEMÉTRIO, 2008).

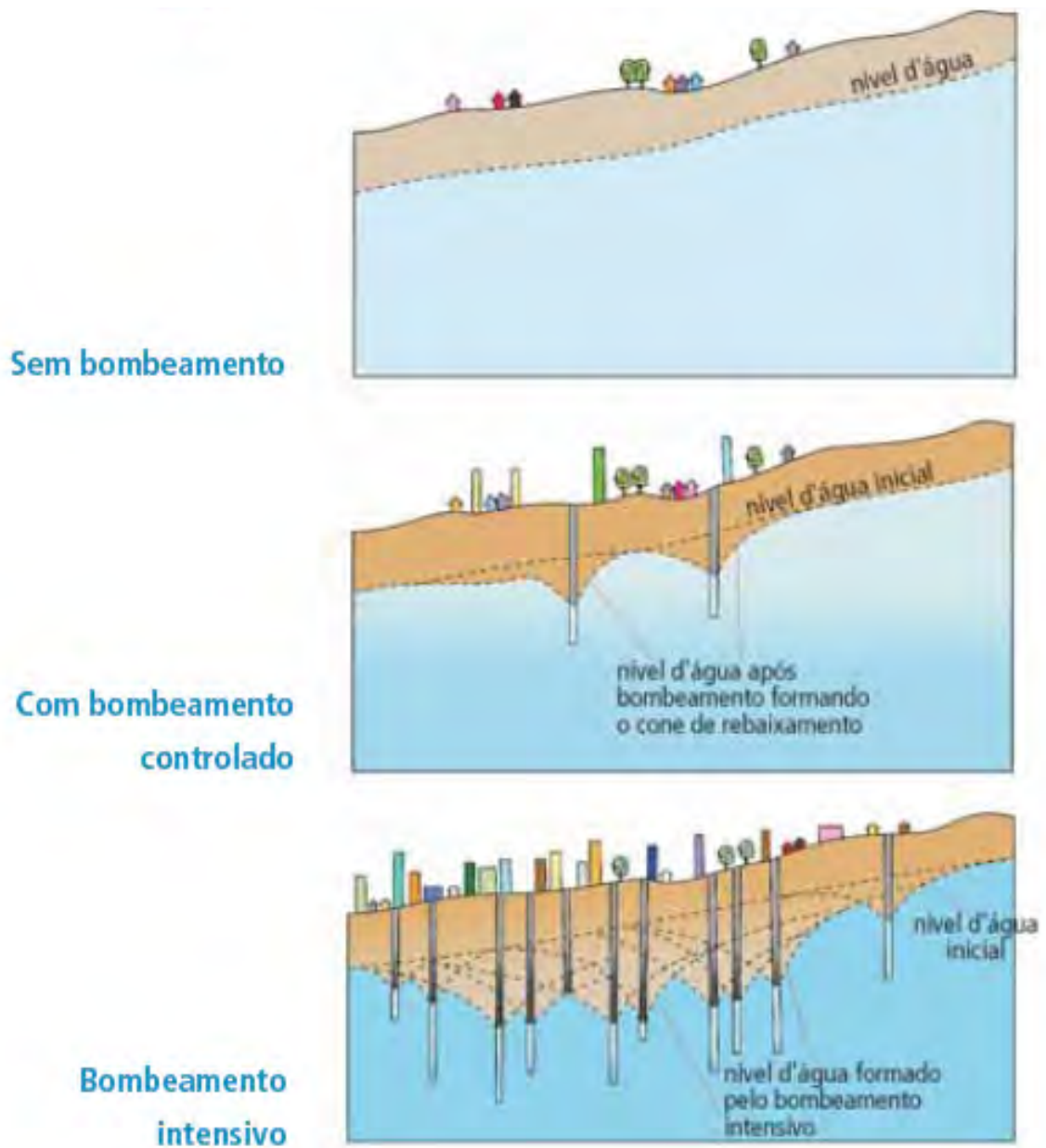
O teste de produção pode ser realizado em múltiplas etapas ou numa etapa única (escalonado) de bombeamento, determinando a vazão de exploração e as perdas de carga que

ocorrem no poço. Nos testes em etapas sucessivas, a bomba é desligada ao término de cada etapa e aguarda-se a recuperação do nível estático. Enquanto que no teste escalonado realiza-se um bombeamento contínuo e o registro dos rebaixamentos no próprio poço bombeado (FEITOSA; DEMÉTRIO, 2008).

De acordo com a CETESB (1978) em poços bombeando, o nível da água é menor que em qualquer outro ponto do aquífero em suas proximidades, visto que a água subterrânea move-se de áreas de alto potencial para áreas de baixo potencial; assim a água se move da formação para o interior do poço com a finalidade de repor a quantidade extraída.

Ao rebaixamento da superfície potênciométrica do poço durante o período de bombeamento denomina-se cone de depressão (Figura 9). Este varia a forma e a dimensão, de acordo com as características do aquífero, influência de poços vizinhos e período de bombeamento. A distância do centro do poço até o limite do cone de depressão estabelece o raio de influência do poço, que aumenta na medida em que o cone se expande (FEITOSA; DEMÉTRIO, 2006).

Figura 9 - Cone de depressão em aquífero livre



Fonte: Iritani e Ezaki (2008).

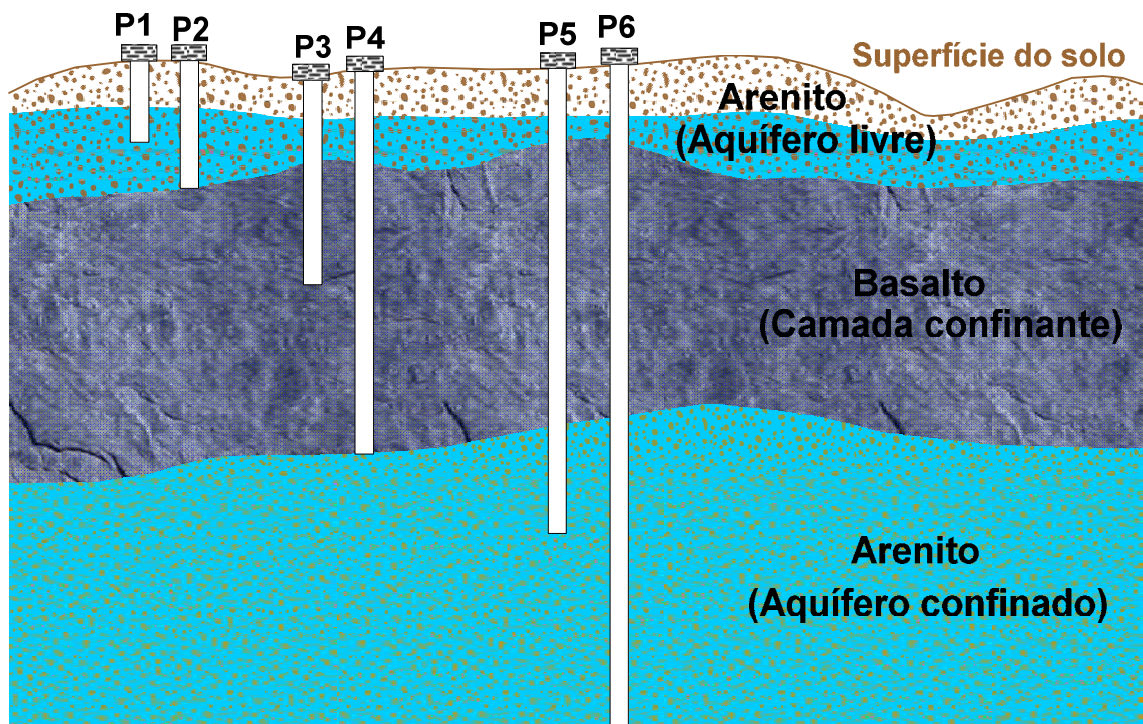
Os poços retiram água armazenada nos aquíferos, inicialmente captando-a ao seu entorno e com o aumento do cone de depressão, aumenta-se a área de contribuição. A descarga natural do aquífero é reduzida quando o cone de depressão atinge a área de descarga, contudo a recarga aumenta quando o cone atinge a região de afloramento. Dessa maneira a direção do fluxo pode ser invertida, como exemplo cita-se um rio que era abastecido pelo aquífero e atualmente recarrega o manancial subterrâneo (FETTER, 1994).

O cone de depressão sempre estará interferindo na recarga ou descarga do aquífero, buscando atingir uma condição de equilíbrio dinâmico para o volume captado. Contudo, para atingir esse equilíbrio parte da superfície potenciométrica será reduzida e, se a ação conjunta de bombeamento e descarga aquífera serem maiores que a recarga, haverá aumento potencializado do desequilíbrio, com maior diminuição da superfície potenciométrica (FETTER, 1994).

Os poços podem ser parcial ou totalmente penetrantes no aquífero. Um poço é totalmente penetrante quando a perfuração atinge a camada confinante inferior e o comprimento do filtro equivale a espessura saturada do aquífero. Os poços parcialmente penetrantes possuem a perfuração e o filtro inferiores a espessura saturada (CLEARY, 1989).

Na Figura 10 pode ser observado um campo de poços hipotético explotando água de diferentes formações aquíferas. No aquífero livre captam os poços P1 e P2, o primeiro parcialmente e o segundo totalmente penetrante. Os poços P3 (parcialmente penetrante) e P4 (totalmente penetrante) captam água em formação confinante, ou seja o basalto. E por fim os poços P4 e P5, parcial e totalmente penetrantes respectivamente, captando na camada confinada de arenito.

Figura 10 - Poços captando em diferentes formações e diferentes profundidades



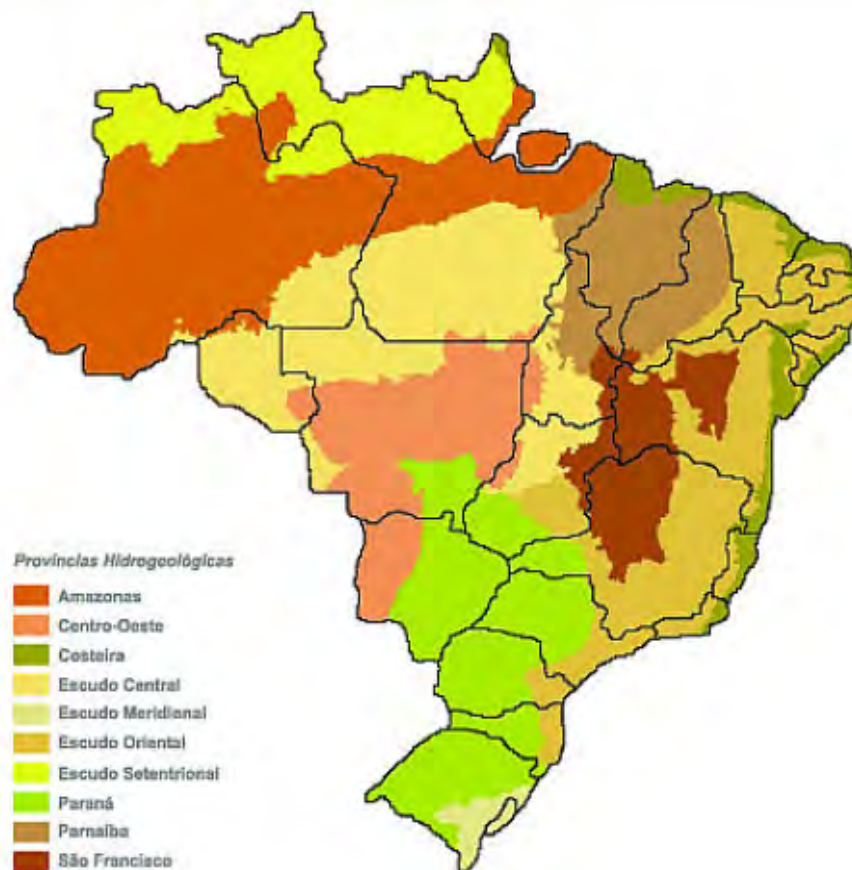
Fonte: Elaboração da própria autora.

Alguns poços com o passar do tempo apresentam problemas de natureza mecânica como obstruções no filtro, produção de areia, deterioração da estrutura do poço e defeitos na bomba. As principais causas dos problemas citados são a acumulação de silte, areia e argila no pré-filtro e no filtro; corrosão; bombeamento excessivo de areia em poços mal desenvolvidos e desregulagem de partes da bomba, devido desgastes por corrosão e uso intensivo, respectivamente (ROCHA; JORBA, 2007).

3.6 AQUÍFERO BAURU

O Brasil apresenta uma reserva total de água subterrânea da ordem de 112.000 km³, distribuídas nas Províncias Hidrogeológicas Brasileiras ilustradas na Figura 11. Das províncias descritas a que possui maior reserva de água subterrânea, representando 50.400 km³ é a Província Hidrogeológica do Paraná com uma área de 1.000.000 km² (REBOUÇAS, 2008).

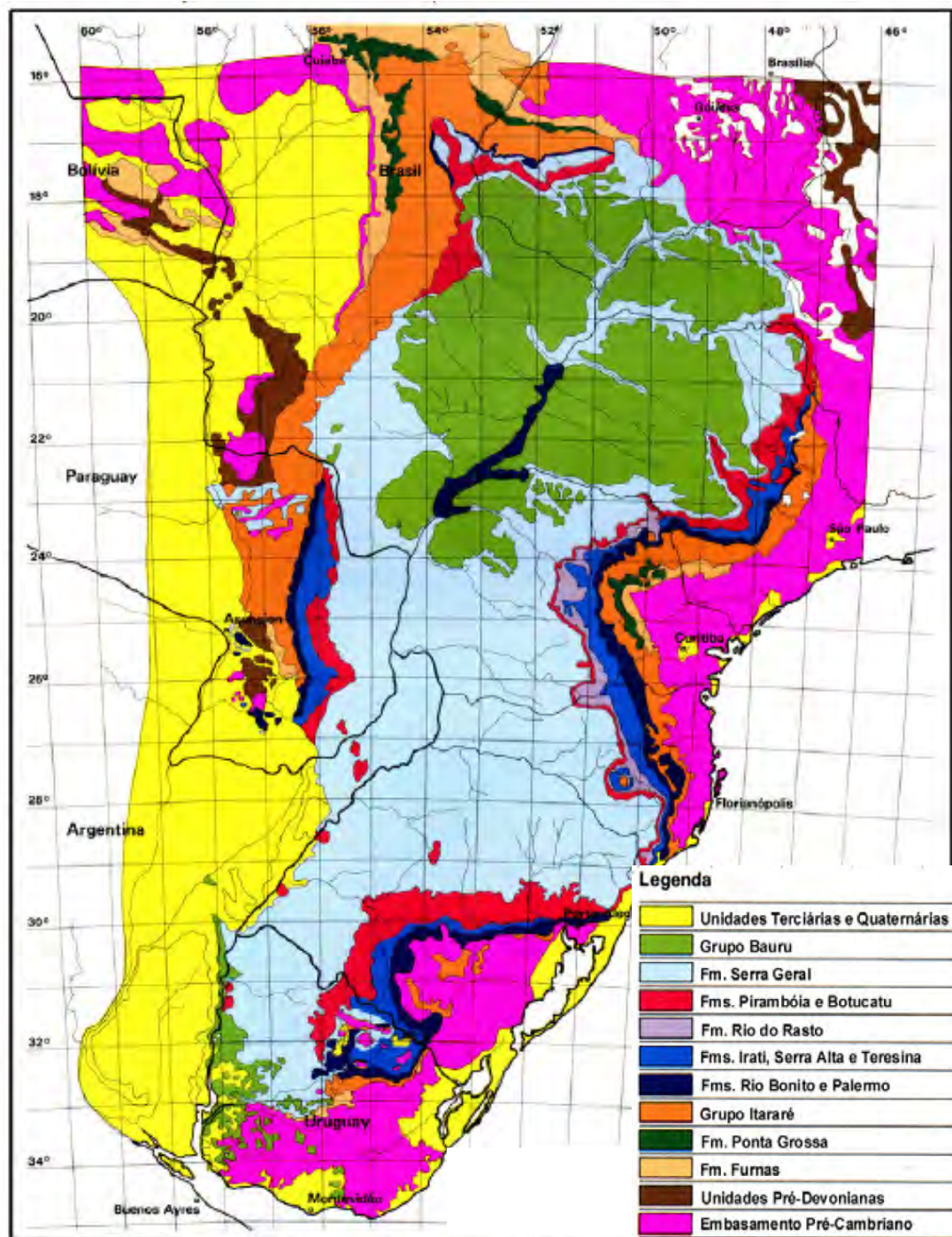
Figura 11 - Províncias Hidrogeológicas Brasileiras



Fonte: MMA (2003), citado por Zovoudakis (2007).

A bacia sedimentar do Paraná (Figura 12) foi preenchida por sedimentos, em geral clásticos, e intrusões e derrames básicos, atingindo uma espessura máxima de 7.800 m. O Aquífero Bauru, que engloba as Formações Bauru e Caiuá, classifica-se como o terceiro mais importante nesta bacia. Contudo no Estado de São Paulo este aquífero é o mais explorado e o que apresenta maior número de poços tubulares (MENTE, 2008).

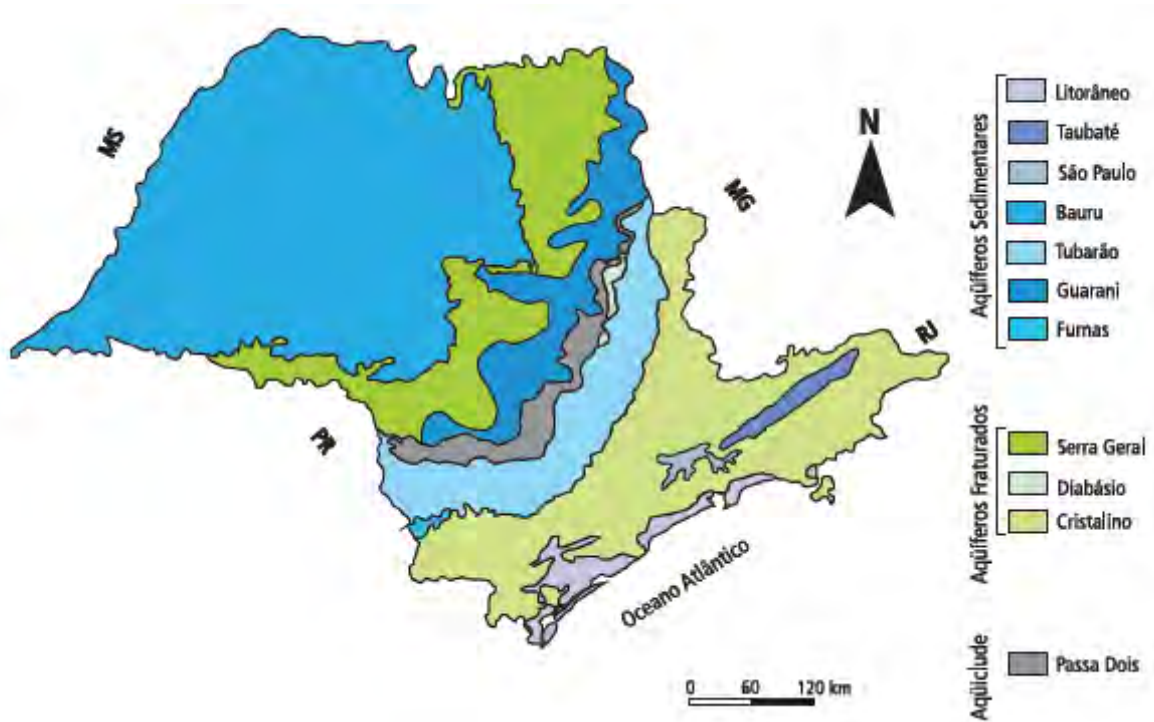
Figura 12 – Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Paraná



Fonte: Paulipetro (1981), citado por Rosa Filho et al. (2003).

O Aquífero Bauru é um aquífero sedimentar, permeável por porosidade granular que possui uma área aproximada de 96.880 Km² no Estado de São Paulo, ocupando a metade da porção oeste do estado (Figura 13).

Figura 13 – Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo



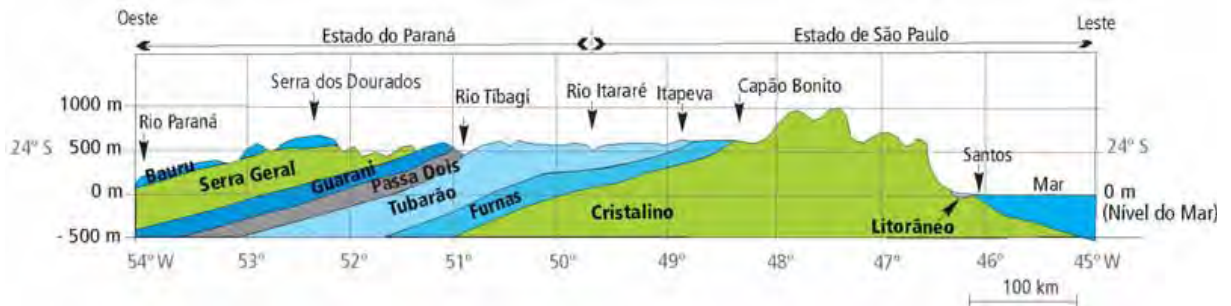
Fonte: Iritani e Ezaki (2008).

Em São José do Rio Preto a reserva permanente deste aquífero na bacia hidrogeológica é estimada em 40 bilhões de m³ (ARID, 1970 et al. citado por OLIVEIRA, 2002).

Lima (2004) a partir de informações de 355 poços estimou o consumo de água captado no Aquífero Bauru em um volume diário de 6.172 m³/h no Município de São José do Rio Preto. Considerando-se 6 horas diárias como período de funcionamento dos poços, tem-se uma extração de 37.032 m³ de água por dia.

Conforme Iritani e Ezaki (2008), o Aquífero Bauru é totalmente aflorante, isto é, em toda a sua extensão apresenta o comportamento de aquífero livre, conforme demonstrado na Figura 14 que ilustra o perfil dos aquíferos no Estado de São Paulo. Esta característica facilita a perfuração de poços, dessa maneira cerca de 240 municípios do interior paulista utilizam esse aquífero para captação de água subterrânea.

Figura 14 - Perfil esquemático dos aquíferos no Estado de São Paulo

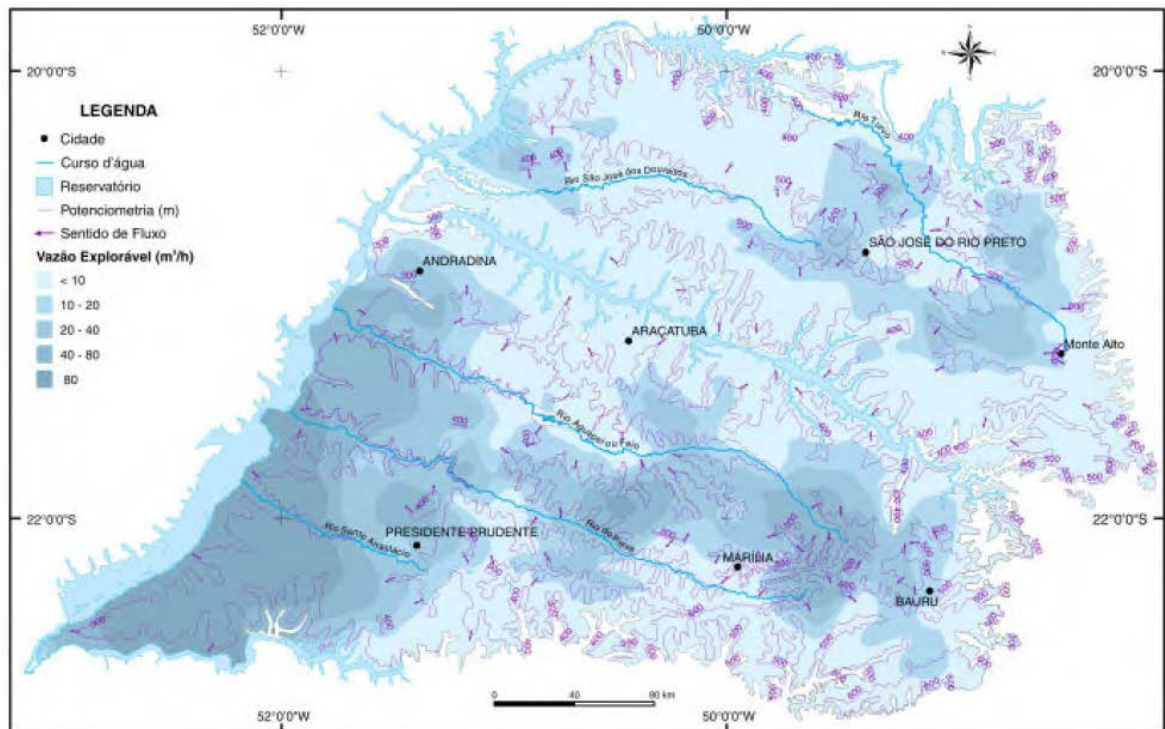


Fonte: Iritani e Ezaki (2008).

No Estado de São Paulo este aquífero era explotado por cerca de 12.000 poços tubulares que extraem $32.400 \text{ m}^3/\text{h}$ para o abastecimento público. A vazão explotável varia de acordo com a área em faixas de 5 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$, 20 a $30 \text{ m}^3/\text{h}$ e 30 a $50 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo as duas últimas classes de ocorrência nas porções onde o pacote sedimentar tem espessura da ordem de 100 m (CAMPOS, 2004).

A Figura 15 ilustra as classes de vazão explotável para o Aquífero Bauru que variam de valores inferiores a 10 até $80 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo que em São José do Rio Preto o potencial de explotação chega até $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (ROCHA, 2005).

Figura 15 – Vazão explotável do Aquífero Bauru



Fonte: Rocha (2005).

As unidades hidroestratigráficas do Aquífero Bauru são Bauru Médio/Superior e Bauru Inferior/Caiuá pertencendo as rochas sedimentares do Grupo Bauru e do Grupo Caiuá, respectivamente. O Quadro 1 apresenta as principais características dessas unidades hidroestratigráficas (ROCHA, 2005).

Quadro 1 - Características gerais do Aquífero Bauru

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

Fonte: Rocha (2005).

Silva et al. (2005) analisou a estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru no Estado de São Paulo e atribuiu as unidades litoestratigráficas de formações Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba, Adamantina, Marília, Pirapozinho e Birigui para este grupo. Entretanto nesse estudo será considerado a classificação de Fernandes (1998) citado por Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2000) que propôs a composição do Grupo Bauru pelas formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, Uberaba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília.

O Grupo Caiuá, de acordo com Fernandes (1998) citado por IPT (2000) é composto pelas formações Goio Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio. Contudo nesse trabalho serão descritas apenas as formações de ocorrência na área da UGRHI-15, região onde se insere o município em estudo.

A Formação Vale do Rio do Peixe caracteriza-se pela presença de estratos de arenitos com espessura inferior a um metro, maciços ou estratificados, aos quais se intercalam, subordinadamente, lamitos arenosos de aspecto maciço. Os arenitos são marrom-claro, rosado

a alaranjado, de granulação muito fina a fina e apresentam estratos tabulares de aspecto maciço. O ambiente deposicional dessa formação é essencialmente eólico, com a acumulação de depósitos de lençóis de areia com campos de dunas baixas, alternados com depósitos de lamitos com estratificação ondulada proveniente da ação do vento (IPT, 2000; OLIVEIRA, 2002).

A Formação São José do Rio Preto é constituída por uma sucessão de bancos arenosos com estratificação cruzada acanalada a tabular tangencial na base, intercalações subordinadas de bancos tabulares de arenitos a siltitos, com estratificação plano-paralela e estruturas de fluxo aquoso, e lamitos argilosos, em geral maciços. Os arenitos são de marrom-claro a bege, de granulação fina a muito fina, moderado a mal selecionados, com seixos silicosos, de nódulos carbonáticos, de lamitos e argilitos (IPT, 2000; OLIVEIRA, 2002).

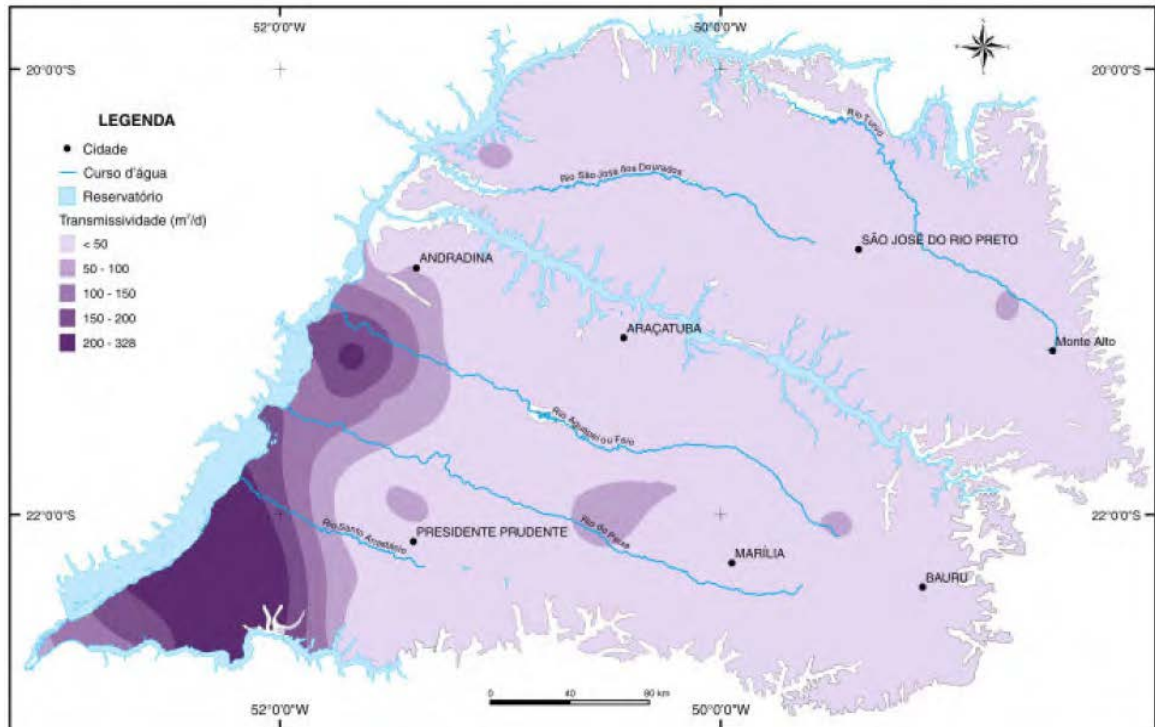
A Formação Marília apresenta estratos tabulares de arenito de aspecto maciço, com espessura de até pouco mais que 2 m, com intercalações de lamitos arenosos na sua porção superior. Os arenitos são bege a rosa, claros, de espessura fina a média, e podem apresentar cimentação intensa e nódulos carbonáticos (IPT, 2000).

A Formação Santo Anastácio é composta de estratos tabulares de arenitos de aspecto maciço, com espessura decimétrica e raras intercalações de lamitos e argilitos. Os arenitos são de cor marrom-arroxeadado, de granulação fina a muito fina, recobertos por película de óxido de ferro, com frequente cimentação e nódulos carbonáticos (IPT, 2000).

As principais características do Aquífero Bauru na UGRHI-15 são: extensão regional, porosidade granular, distribuição heterogênea e anisotrópica. Possui uma área aflorante de 90%, com transmissividade de 10 a 100 m²/d, porosidade efetiva de 5 a 15%, vazão média de 12 a 13 m³/h, vazão específica de 0,5 a 2,0 m³/h/m e profundidade média de 75 a 125 m (IPT, 2000; IPT, 2007).

De acordo com Rocha (2005), a transmissividade obtida para o Aquífero Bauru a partir de ensaios de recuperação realizados em 103 poços, varia de 0,14 a 328 m²/d. Conforme Figura 16 observa-se a predominância de valores inferiores a 50 m²/d, inclusive em São José do Rio Preto.

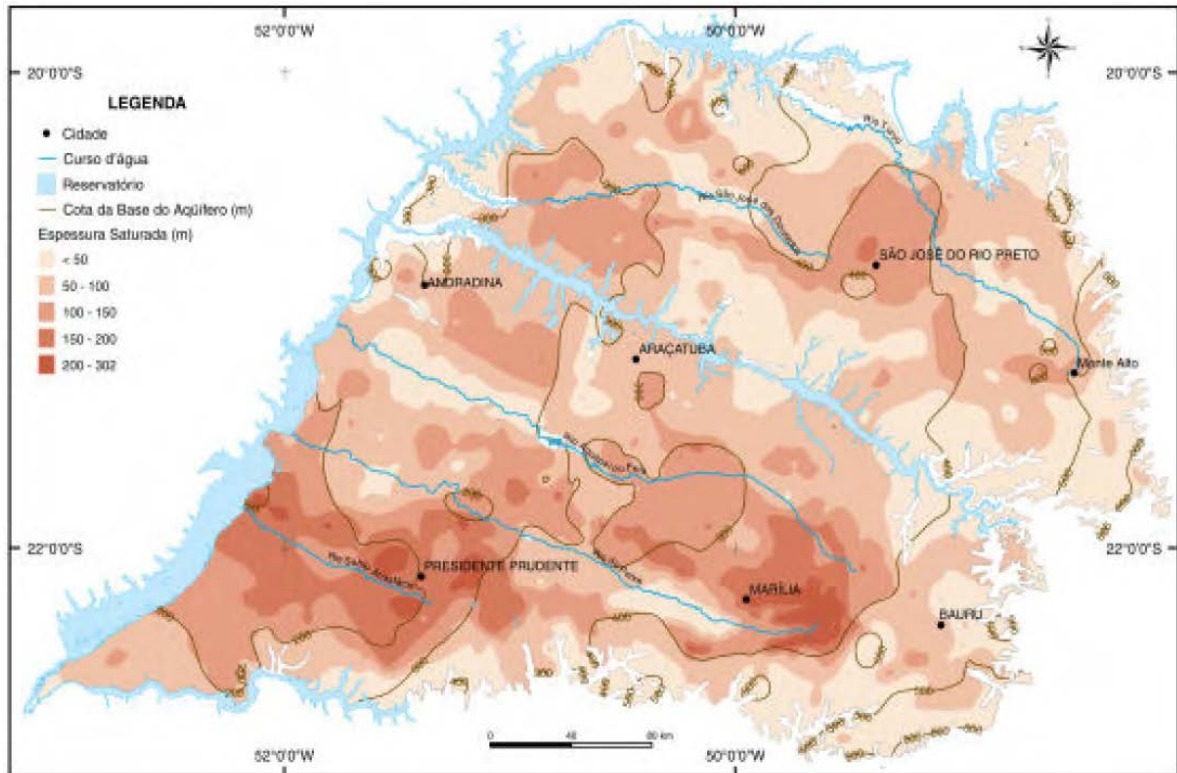
Figura 16 – Transmissividade do Aquífero Bauru



Fonte: Rocha (2005).

A Figura 17 ilustra a espessura saturada do Aquífero Bauru, apresentando espessuras máximas de 200 a 300 m no Planalto Residual de Marília e, em São José do Rio Preto e Presidente Prudente ocorrem espessuras de 150 a 200 m. As menores espessuras são observadas nos limites norte, leste e sul do aquífero, nas proximidades dos afloramentos basálticos da Formação Serra Geral (ROCHA, 2005).

Figura 17 – Espessura saturada do Aquífero Bauru



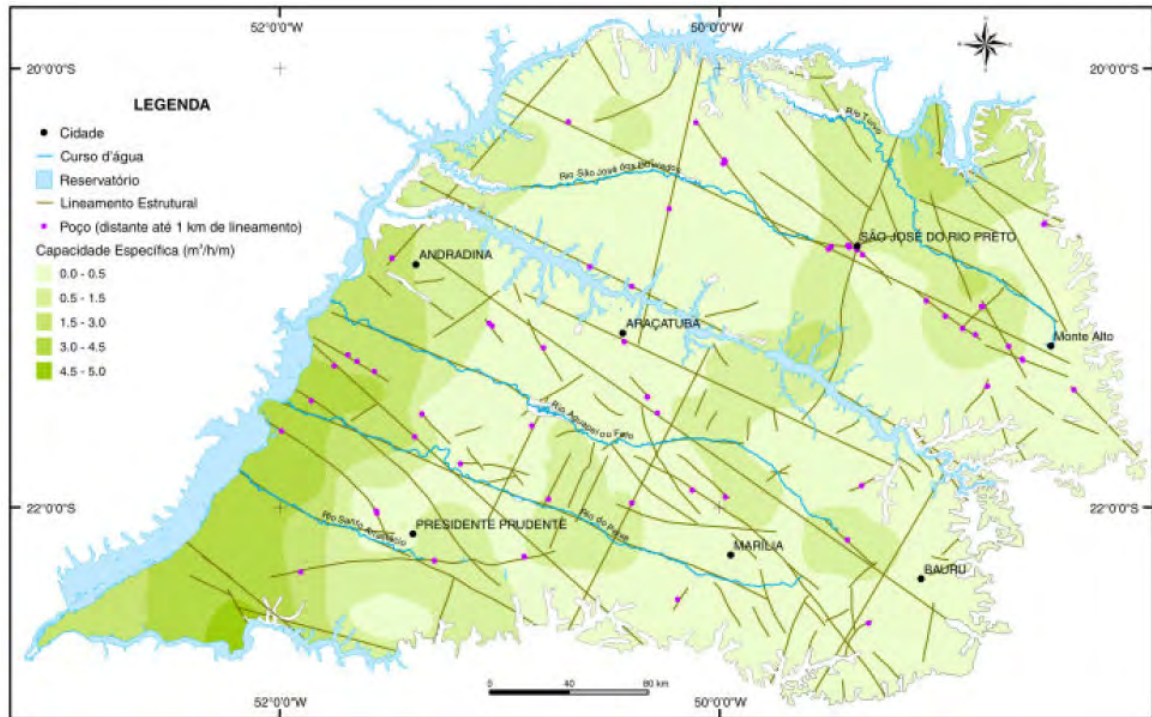
Fonte: Rocha (2005).

A porosidade granular predominante no Aquífero Bauru apresenta-se de forma homogênea, facilitando o fluxo em qualquer direção devido às diferenças de pressão hidrostáticas existentes. A recarga natural do aquífero ocorre a partir das precipitações sobre a área da bacia.

A produtividade desse aquífero é considerada de média a alta, apresentando água de boa qualidade, porém já foram encontradas concentrações de cromo e nitrato superiores aos padrões de potabilidade para o consumo humano (IRITANI; EZAKI, 2008).

Conforme estudo da potencialidade do Aquífero Bauru, realizado com 69 poços que apresentavam um tempo de bombeamento igual ou superior a 15 h, nota-se a predominância de capacidade específica inferior a 0,5 m³/h/m. Entretanto o Município de São José do Rio Preto é caracterizado em sua maior porção por capacidade específica entre 0,5 e 1,5 m³/h/m (Figura 18) (ROCHA, 2005).

Figura 18 - Capacidade específica do Aquífero Bauru



Fonte: Rocha (2005).

De acordo com Barcha (1980) os poços perfurados no Aquífero Bauru, em zonas topograficamente baixas não obtiveram os melhores resultados de produção, devido as estruturas sedimentares que atravessaram.

3.7 EXPLORAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O papel das águas subterrâneas tem sido reconhecido nos últimos 50 anos, sendo que sua ocorrência apresentou oportunidades para o desenvolvimento das comunidades rurais, centros urbanos e agricultura irrigada (**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2003**).

A água é fundamental para o abastecimento público, disposição dos efluentes domésticos e industriais, e desenvolvimento da infra-estrutura urbana. Nas cidades sob aquíferos produtivos a água subterrânea torna-se o primeiro recurso natural a ser aproveitado (FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998).

A extração de água subterrânea causa a rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero quando a retirada excede a capacidade de recarga do manancial. Este rebaixamento

encarece o processo de extração, de maneira que os poços precisam ser cada vez mais profundos para atender a demanda (FAO, 2003; FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998).

Ebraheem et al. (2004) identificou a ocorrência de um rebaixamento de 38 m no nível potenciométrico do Aquífero Núbio, no Egito, provocado pela taxa constante de exploração da água subterrânea em um período de 60 anos.

Além do rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, a extração excessiva de água subterrânea tem sido responsável pela subsidência do solo, principalmente em países como: Espanha, Índia, Tailândia, México, EUA e Itália (HUANG; SHU; YANG, 2012).

De acordo com Don et al. (2005), o controle da extração de água evita o rebaixamento de mananciais subterrâneos e a subsidência do solo, quando planejado corretamente. Para a Planície de Saga em Shiroishi no Japão, o volume ideal de extração que não causa danos ao aquífero é 5 milhões de m³/ano.

Além de proporcionar a mudança de direção do fluxo da água, com o surgimento de novas perfurações, o processo de extração pode causar a deterioração da qualidade da água, por meio de intrusão salina ou infiltração de poluentes (FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998; WBG, 2010).

O aumento da demanda por água é atendido com a perfuração de mais poços, dessa maneira torna-se necessário o acompanhamento dos níveis dos poços, para estabelecer a vazão máxima de exploração que viabilize a construção do poço.

A exploração da água subterrânea em loteamentos apresenta aumento crescente, devido o distanciamento da rede de distribuição, a busca pela redução de tarifas e a facilidade de acesso (REBOUÇAS, 2006).

De acordo com Rebouças (2008) a falta de fiscalização impossibilita estabelecer de maneira segura o número de poços em operação no Brasil, de forma que a quantidade de poços clandestinos continuam aumentando, tanto no auto-abastecimento doméstico, como no uso industrial e agrícola.

Esse aumento na utilização de águas subterrâneas relaciona-se as vantagens desse recurso quando comparadas as fontes superficiais. Como vantagens citam-se a filtragem natural que ocorre através da percolação, a redução nas etapas de tratamento, e não existência de perdas com evaporação e infiltração (LIMA, 2004; FETTER, 1994).

Embora apresente muitas vantagens, o uso descontrolado deste recurso causa a subsidência do solo ou abaixamento da superfície de um terreno gerando perturbações no sistema de transporte de água e esgoto. Além de interferir no sistema de drenagem de cidades

planas, podendo aumentar o risco de inundações (FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998; FETTER, 1994).

3.8 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Para elaboração de um gerenciamento eficiente, a lei nº 9.433/1997 dispõe sobre os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, sendo eles: a cobrança pelo uso da água, a outorga de direito de uso, o enquadramento dos mananciais conforme o uso preponderante estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008, o sistema de informação que visa à descentralização, unificação e participação da sociedade, e os planos de recursos hídricos que orientam a implementação da PNRH e do gerenciamento dos mananciais.

O aumento da utilização dos recursos hídricos decorre do aumento populacional e do crescimento econômico, que envolve diferentes maneiras de utilização da água, dentre as quais se cita o abastecimento público, industrial e agrícola.

A falta de água para o consumo humano, como também para produção de alimentos e demais finalidades, já é sentida em muitos países no mundo, podendo a escassez caracterizar-se tanto em quantidade como em qualidade.

Os usos da água ocorrem de duas maneiras distintas, de forma consuntiva e não consuntiva. No uso consuntivo o volume captado difere do volume devolvido e as principais atividades dessa categoria são: abastecimento humano, descendação animal, recreação e irrigação. No uso não consuntivo o aspecto quantitativo não é alterado, sendo o volume utilizado no início da atividade igual ao volume após a utilização, fazendo parte dessa classe: hidrelétricas, navegação, piscicultura e industrial (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000; ANA, 2001).

Logo, evidencia-se que o tipo de manancial estabelece qual o tipo de utilização dos recursos hídricos, sendo os subterrâneos utilizados somente aos usos consuntivos, enquanto que os superficiais destinam-se aos usos consuntivos ou não consuntivos (VARGAS, 1999).

Embora as águas superficiais apresentem menor custo de extração para utilização na agricultura, muitos proprietários optam pela utilização das águas subterrâneas devido a obtenção individualizada (ignorando as negociações com outros produtores ou o governo) e, à resiliência dos aquíferos em estações secas (LLAMAS; MARTINEZ-SANTOS, 2005).

Segundo FAO (2003) há um aumento da utilização dos aquíferos localizados em zonas áridas e semi-áridas para atender o sistema alimentício, devido a escassez ou inexistências de recursos hídricos superficiais.

Diante da crescente utilização dos recursos hídricos em função dos usos, que podem provocar impactos às reservas superficiais e subterrâneas, torna-se necessário o controle do uso da água, de forma a garantir a sua disponibilidade atual e futura.

Em decorrência do uso intensivo dos recursos hídricos, os poderes federais e estaduais contam com subsídios públicos para implantar a cobrança pela utilização dos mananciais, visando evitar conflitos de uso e administrar de forma racional sua exploração (BERRITTELLA et al., 2007). Essa cobrança depende da proporção de uso da água, da qualidade do efluente gerado, da sensibilidade ambiental referente ao período e local de extração, e da qualidade da água extraída.

Com foco no aumento da exploração dos mananciais subterrâneos e superficiais, o Brasil tem investido na elaboração de leis para melhor gerenciar a utilização dos recursos hídricos no aspecto federal e estadual.

Nos EUA o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos baseia-se na “English Rule ou Absolute Ownership” (Regra Inglesa ou Propriedade Absoluta), que possibilita a utilização do volume de água necessário para diversas finalidades. Contudo, surgiram doutrinas para solucionar conflitos de uso e de disponibilidade, como a “Reasonable Doctrine” (Doutrina Racional), os “Correlatives Rights” (Direitos Correlativos), e a “Prior Appropriation” (Posse Prévia) (DRISCOLL, 1986). Entretanto a aderência de uma ou outra doutrina pelos estados norte-americanos é facultativa, podendo seguir apenas a lei estadual elaborada por estes. Como exemplificação cita-se o Estado de Kansas que criou a “Minimum Desirable Streamflows” (Lei de Vazão Mínima Desejável) em 1980, para conter as extrações excessivas e controlar o nível potenciométrico do aquífero (SOPHOCLEOUS, 2012).

Em 1980, também nos EUA, foi instituída a Lei Federal CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act) que trata do monitoramento das águas subterrâneas, visando à proteção e conservação dos mananciais (VEIL et al., 1999).

Embora a aplicação dos dispositivos legais represente uma forma eficiente no controle do uso da água, como as resoluções do CNRH nº 48/2005 e 55/2005, outros aspectos também devem ser considerados no gerenciamento dos recursos hídricos, como o fator social, político, técnico e econômico (COSTA, 2008).

Vale ressaltar a necessidade da conceitualização e diferenciação entre planejamento e gestão dos recursos hídricos. O planejamento engloba diretrizes econômicas e orientações de

aprimoramento do conhecimento para atuações futuras, enquanto que a gestão deriva-se do planejamento e corresponde ao presente com visão de futuro. A gestão é direcionada a estruturação de sistemas gerenciais e a tomada de decisões que promovam o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos (COSTA, 2008; HAGER et al., 2002).

Os padrões de gestão das águas subterrâneas em locais urbanos diferem dos rurais, assim como os sistemas de direito de uso da água, conforme disposto nas resoluções CONAMA nº 357/2005 e 396/2008. Em áreas rurais o usuário é responsável pelo controle da extração e em áreas urbanas essa responsabilidade recai sobre organizações municipais (FAO, 2003).

Essa diferença tem implicações legais ao usuário no meio rural, estes captam água dos aquíferos locais, pois possuem o direito de uso da propriedade, enquanto que os usuários urbanos utilizam a água subterrânea sem compromisso com o recurso, cuja responsabilidade recai sobre a empresa concessionária de abastecimento (FAO, 2003).

De um modo geral, para realizar um gerenciamento eficaz dos recursos hídricos, alguns aspectos devem ser considerados durante a elaboração de propostas para administração dos mananciais, dentre estes se cita a análise dos extremos hidrológicos e da contaminação proveniente das atividades urbanas, agrícolas e industriais (TUNDISI, 2008).

Segundo Tucci, Hespanhol e Netto (2000) para a conservação dos sistemas naturais e manutenção dos recursos hídricos de forma sustentável, analisa-se a aplicabilidade do aspecto institucional, como também a relação demanda e disponibilidade hídrica, o desenvolvimento populacional urbano e rural, e os sistemas de monitoramento dos mananciais.

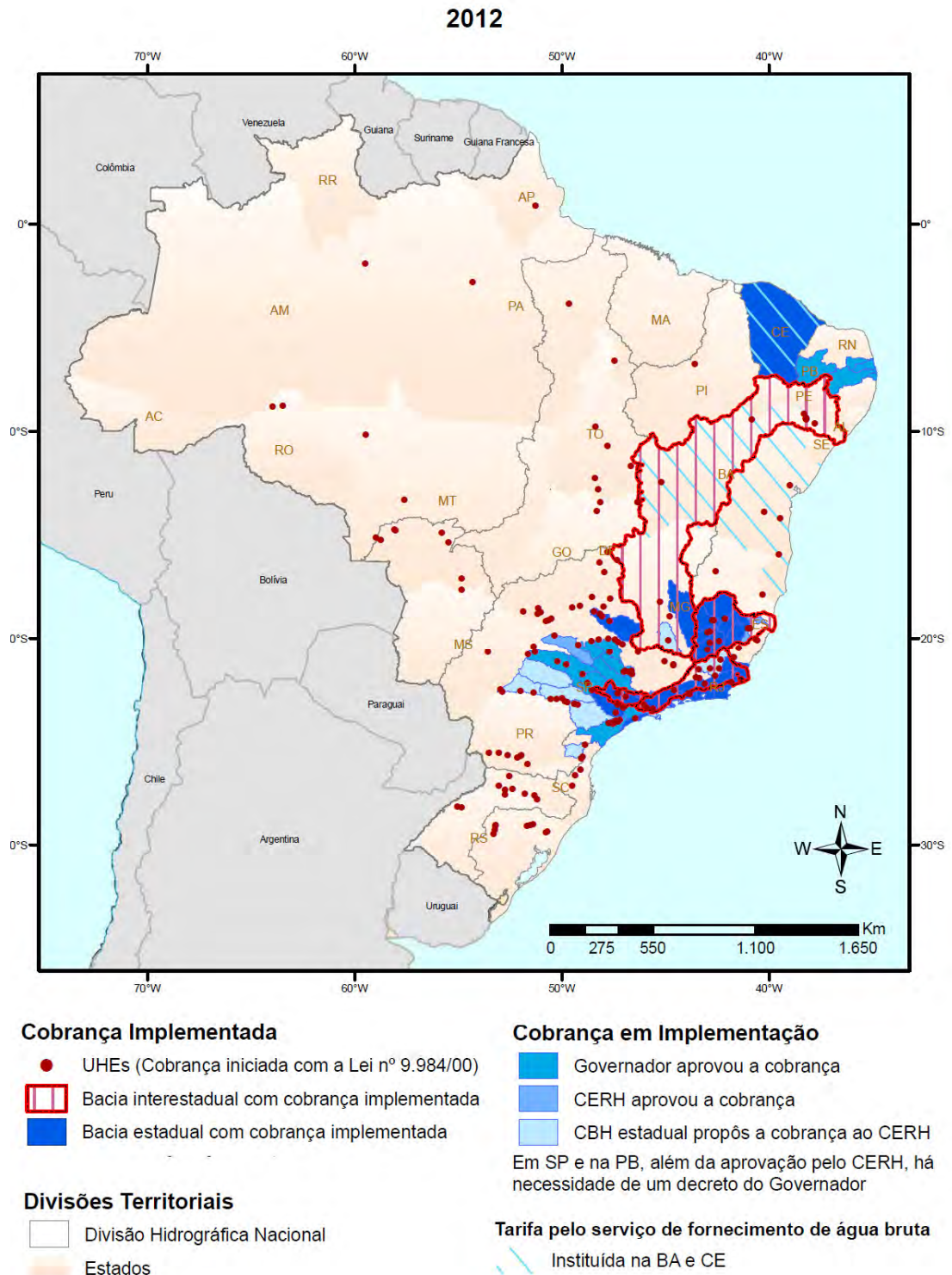
O Poder Legislativo Brasileiro elaborou dispositivos legais que visam o uso racional, o monitoramento, a conservação e a proteção das águas subterrâneas contra poluição e superexploração, dos quais se destacam os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituídos pela Lei 9.433/97.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos (instrumento da PNRH) é regulamentada pela Portaria do DAEE nº 717/1996, Lei Federal nº 9.433/1997, Resolução do CNRH nº 16/2001 e a Resolução do CNRH nº 29/2002.

Para Foster, Lawrence e Morris (1998) o sistema de gestão ideal deveria proporcionar uma definição dos direitos de uso da água por meio de concessão de licenças e implantação de taxas de cobrança pela exploração e requerimento de autorização para disposição de efluentes e resíduos sólidos no solo, bem como deveria ser criada uma agência nacional ou local para supervisionar os processos de licenciamento e garantir a sua execução.

No Brasil os dispositivos legais que dispõem sob a cobrança pelo uso dos recursos hídricos foram regulamentados desde 1997, os quais são aplicados atualmente somente em algumas localidades, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos no Brasil



Fonte: Agência Nacional de Água - ANA (2003).

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos diminui desperdícios do recurso natural, citando como exemplo, têm-se as tarifas cobradas pelos fornecedores de água, sendo usualmente destinadas ao abastecimento público. Contudo, o volume utilizado no setor agrícola, maior usuário deste recurso, dificilmente é medido (CAP-NET, 2010).

Bunu (1999), Foster, Lawrence e Morris (1998) e Zoby e Matos (2002) propõem o uso associado ou integração de uso entre os recursos superficiais e subterrâneos para atender os sistemas de abastecimento públicos e garantir o abastecimento na estação seca, contudo essa técnica torna-se inaplicável a todas as localidades, visto que a água de muitos mananciais superficiais são impróprios para consumo. Logo, um ferramental para equilibrar a demanda e a disponibilidade hídrica deve ser aplicado.

O uso associado dos recursos hídricos para abastecimento público requer estudo hidrológico, visto que se almeja evitar a escolha de mananciais superficiais e subterrâneos que sejam dependentes entre si para a recarga. A implantação de sistemas integrados é eficiente quando uma fonte de abastecimento independe da outra, ou seja, o aquífero não alimenta o rio ou vice-versa (FOSTER et al., 2010).

Segundo FAO (2003) a gestão das águas superficiais tem implicações tanto na quantidade quanto na qualidade das águas subterrâneas em todas as fases do ciclo hidrológico. Portanto é essencial examinar a gestão integrada dos recursos hídricos visto que pode estabelecer uma produção segura, ou seja, uma quantidade de água bombeada regularmente sem proporcionar o esgotamento do aquífero (FETTER, 1994).

A elaboração de um plano de gestão para os recursos hídricos subterrâneos é essencial ao estabelecimento da distância ideal entre os poços, do volume máximo de captação e do número de poços por região, almejando evitar o esgotamento do manancial subterrâneo (TODD; MAYS, 2005).

Sabe-se que os recursos hídricos possuem uma capacidade de regeneração limitada, assim quando se ultrapassa esse limite pode ocorrer desequilíbrio, escassez e degradação da qualidade da água; afetando diretamente no volume ofertado para consumo (REBOUÇAS, 2001).

O maior desafio do gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos decorre da área de ocorrência do aquífero, visto que na maioria das vezes ocupa-se mais de um estado. Assim, a gestão pode ser aplicada diferentemente em cada estado, contudo busca-se a união, para que a extração de água em um estado não prejudique a de outro. É necessária uma gestão única, descentralizada e que considere os aspectos interligados (HAGER et al., 2002).

O controle de retirada de água por meio do instrumento de outorga tornou-se a principal dificuldade dos órgãos gestores, devido à quantidade insuficiente de funcionários para este fim (FREIRE, 2002; RODRIGUES, 2004), desta forma não se consegue realizar uma análise precisa da disponibilidade hídrica, atual e futura.

Os municípios não possuem um sistema de gerenciamento dos recursos hídricos capaz de administrar e solucionar os problemas. Dessa maneira necessita-se de programas de apoio na esfera estadual e/ou federal para atender as necessidades municipais (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000).

Na Arábia Saudita foram elaboradas medidas de gestão da utilização dos recursos hídricos subterrâneos, em decorrência do volume demandado pelos setores doméstico, industrial e agrícola, que consumiram 260.000 milhões de m³ de água na década de 2000, visto que a recarga anual é de 2.762 milhões de m³. Assim, foram reduzidos o volume utilizado na irrigação e as perdas do sistema de abastecimento de água e, realizados investimentos no processo de dessalinização de água (ABDERRAHMAN, 2005).

Devido às crises enfrentadas pelos Estados Unidos no sistema de abastecimento público na década de 1980, principalmente nos estados localizados ao oeste do país, local em que a seca mais afetou, foi criada em 1992, em nível federal, a “National Energy Policy Act” (Lei da Política Nacional de Energia). Esta lei foi empregada inicialmente na redução do volume de água utilizado nos banheiros e posteriormente serviu de base para implantação de técnicas de redução da demanda hídrica (CONNOR; COX; LOHANI, 2007).

Na Alemanha além da taxa de esgoto, existe a cobrança pela retirada de água, sendo que ocorre variação no preço por m³, de acordo com a finalidade de utilização dos mananciais. No Estado de Baden-Wurttemberg a cobrança foi implantada em 1987, os valores variam de US\$ 6.000,00/ m³ a US\$ 60.000,00 (FREIRE, 2002).

Em Bangkok na Tailândia, a cobrança pelo uso da água juntamente com a redução da extração de água subterrânea e a proibição de novas perfurações em áreas críticas em potencial hídrico, foram aplicadas para conter o rebaixamento dos níveis potenciométricos do manancial subterrâneo (GUPTA; BABEL, 2005).

Na região de Altiplano em Murcia (SE Espanha), estabeleceu-se a cobrança de impostos e multas aos usuários que não reduzirem o consumo e a elaborou-se campanhas de conscientização ambiental para conter a exploração excessiva dos aquíferos Jumilla-Villena, Ascoy-Sopalmo, Serral-Salinas e Cingla (MOLINA et al., 2009).

No Estado de Kansas nos EUA, foram elaborados Distritos de Gestão das Águas Subterrâneas (Groundwater Management District), que dispõem dos mesmos requisitos dos

planos de gestão, competindo-lhe ainda, a concessão de uso da água e a fiscalização da vazão explorada (PECK, 1986; PFEIFFER; LIN, 2012).

Na Austrália, os governantes propõem o uso de recursos hídricos superficiais com o propósito de preservar e utilizar racionalmente as reservas de água subterrânea, além de evitar o esgotamento de alguns mananciais subsuperficiais (RWSG, 2012; CHEN et al., 2012). O gerenciamento da água subterrânea é realizado pelo Estado ou em escalas locais, sendo que os planos de gestão variam entre as jurisdições, podendo abranger vários aquíferos ou somente parte dos aquíferos (GA, 2013).

A falta de gerenciamento dos recursos hídricos configura-se como um grande problema de repercussão mundial, sendo que para se estabelecer uma utilização sustentável destes recursos, são necessários estudos do comportamento dos sistemas aquíferos e da evolução do desenvolvimento socioeconômico.

A preocupação da inter-relação entre urbanização e recursos hídricos surgiu no período de 1950 a 1960, decorrente da expansão do desenvolvimento urbano. Desta maneira apareceram algumas questões hidrológicas como o aumento da impermeabilização em uma bacia hidrográfica urbana que ocasiona redução da infiltração e aumento do escoamento (HOWARD; GELO, 2003; FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998).

Com o aumento da área urbanizada e conseqüente impermeabilização, proveniente do crescimento populacional, diminui-se a recarga direta dos aquíferos (áreas de afloramento e fissuras de rochas subjacentes). Entretanto a demanda pela utilização dos recursos hídricos mantém-se crescente, ocasionando um déficit hídrico em algumas regiões, decorrente do processo intensivo de exploração (OLIVEIRA, 2002).

A verificação da redução do volume armazenado nos mananciais subterrâneos é facilmente perceptível pela diminuição das áreas de recarga, promovida pelo desenvolvimento urbano, visto que as áreas impermeabilizadas aumentam crescentemente e diminuem as condições de infiltração (TODD; MAYS, 2005). Além de reduzir significativamente o aspecto quantitativo dos lençóis e aquíferos, depreciam a qualidade dos recursos hídricos (VARGAS, 1999).

De acordo com Knuppe (2011) e Llamas e Martinez-Santos (2005) a principal causa dos problemas mundiais associados à utilização da água decorre do uso intensivo dos recursos hídricos; do gerenciamento desassociado das águas superficiais e subterrâneas, bem como dos aspectos quantitativos e qualitativos e, da ausência de dados precisos sobre o aspecto climático e o desenvolvimento sócio-econômico.

A associação direta dos aspectos quantitativos e qualitativos na utilização dos recursos hídricos é percebida pela relação de que grandes volumes consumidos retornam ao meio através de efluentes, proporcionando o aumento na concentração de poluentes, devido a diminuição das condições de diluição (VARGAS, 1999).

Os maiores obstáculos na gestão das águas subterrâneas nos países em desenvolvimento são as estratégias de erradicação da pobreza e os apoios fornecidos ao setor agrícola que buscam a auto-suficiência nacional dos alimentos. Esses processos dificultam a redução dos volumes demandados e o controle na extração dos recursos hídricos subterrâneos (VILLHOLTH, 2006).

A intensa extração de água subterrânea compromete a capacidade de recarga do aquífero e provoca a redução dos níveis potênciométricos, causando o rompimento do intercâmbio cíclico das águas subsuperficiais e superficiais, proporcionando a redução da transferência entre mananciais subterrâneos e rios (BROMLEY et al., 2001).

A crescente exploração dos mananciais subterrâneos tem causado aumento nos custos de extração de água, diminuição na produção de poços e intrusão salina em zonas costeiras, decorrentes do rebaixamento dos níveis potênciométricos dos aquíferos (KNUPPE, 2011).

Quando a extração de água subterrânea se realiza de maneira descontrolada e intensiva, o seu gerenciamento é dificultado pelos órgãos federais e estaduais, dificultando também o estabelecimento do equilíbrio entre oferta/demanda (REBOUÇAS, 2002).

No Quadro 2 é apresentada uma comparação entre a demanda mundial de água e população para o ano de 1985 e dois cenários previstos para 2025 considerando a relação entre oferta e demanda segundo Danielopol et al. (2003). No cenário 2 têm-se o aumento da demanda de água em relação a 1985 e no cenário 3 é adicionado o fator das mudanças climáticas ao cenário 2.

Quadro 2 - População (a nível continental e escalas globais) e volume de água utilizado para abastecimento em 1985 e projeções para 2025

Área	População (milhões)		Água utilizada para abastecimento (Km ³ /ano)		Oferta/Demanda em 2025 (%)	
	1985	2025	1985	2025	Cenário 2	Cenário 3
Mundo	4830	8010	39300	37100	50	61
África	543	1440	4520	4100	73	92
Ásia	2930	4800	13700	13300	60	66
Austrália + Oceania	22	33	714	692	30	44
Europa	667	682	2770	2790	30	31
América do Norte	395	601	5890	5870	23	28
América do Sul	267	454	11700	10400	93	121

Fonte: Danielopol et al. (2003).

Danielopol et al. (2003) propôs que com o aumento demográfico mundial e a crescente demanda por água nos países em desenvolvimento, principalmente os localizados na Ásia, África e América do Sul, estes apresentaram maiores pressões sobre o consumo, causando sérios risco às águas subterrâneas.

A Índia enfrenta problemas no sistema de abastecimento público, decorrentes do crescimento populacional, que aumentou a impermeabilização de áreas de recarga dos aquíferos. Os centros urbanos localizados em regiões áridas e semi-áridas como Pune, Jaipur, Jodhpur, Ahmedabad, Hyderabad, Chennai, Delhi, Rajkot e Bangarole, não possuem um sistema de abastecimento seguro. O maior desafio para a gestão hídrica é conter o rápido crescimento de regiões urbanas nos locais de menor potencial hídrico (MUKHERJEE; SHAH; KUMAR, 2010).

O Aquífero Freático Haouz-Mejjate em Marrocos, localizado no extremo noroeste da África, é utilizado para o fornecimento de água na cidade de Marrakech e região. Este aquífero é explorado por mais de 24 mil poços, sendo que a taxa média de decaimento do nível potenciométrico do aquífero na estação seca varia de 1 a 3 m/ano, apresentando índices de superexploração (PAGE et al., 2012).

Problemas de disponibilidade hídrica foram evidenciados no abastecimento público da Turquia, precisamente na Bacia do Rio Gediz, que decorrem da exploração insustentável do manancial subterrâneo. Dessa maneira se almeja atingir a sustentabilidade hídrica no âmbito econômico, social e ambiental utilizando técnicas de reutilização da água e minimização das perdas no sistema de distribuição (HARMANCIOGLU; BARBAROS; CETINKAYA, 2012).

A ilha de Sri Lanka, localizada no sudeste da Índia no Oceano Índico, apresenta índices hídricos insustentáveis, decorrentes da aplicação de práticas inadequadas de extração, que visam o desenvolvimento agrícola e urbano, não se importando com os danos ocasionados. Enquanto não for implantado um monitoramento contínuo dos aspectos quantitativos e qualitativos dos mananciais subterrâneos neste local, o processo de rebaixamento dos aquíferos continuará e se intensificará (VILLHOLTH; RAJASOORIYAR, 2010).

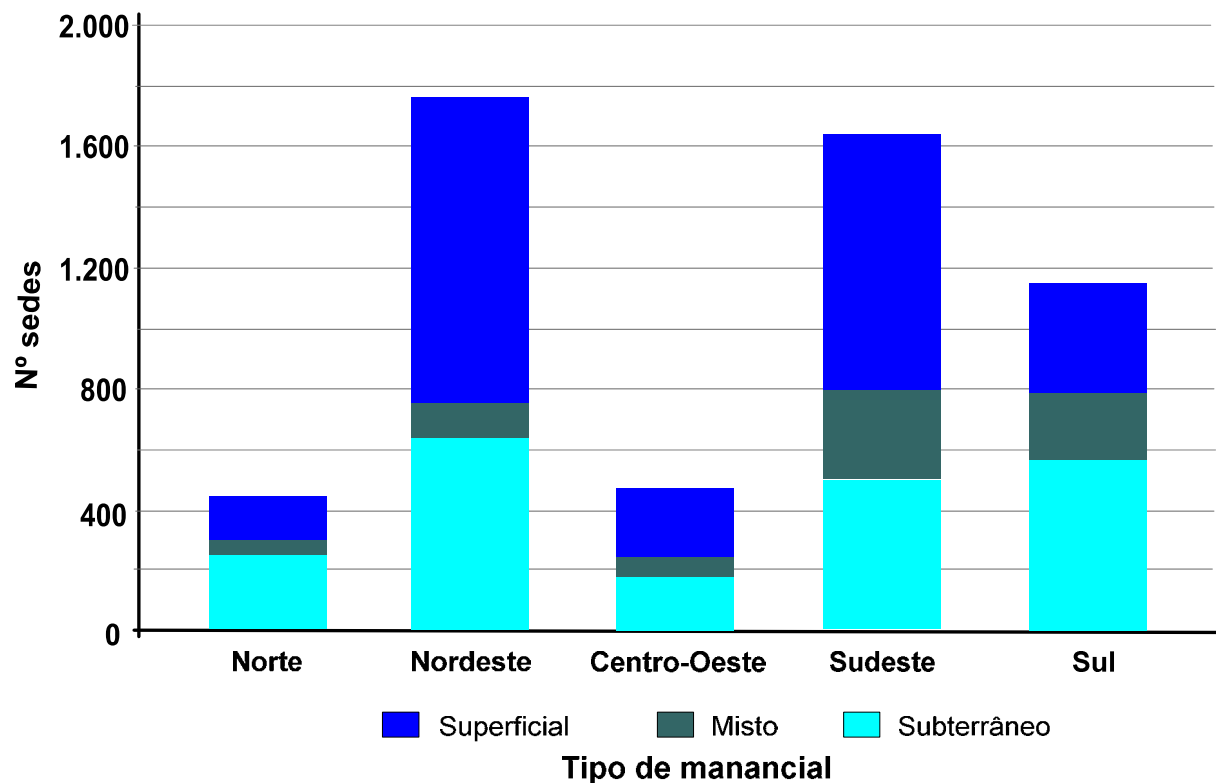
O Brasil é um dos países que possui as maiores reservas de água do planeta, porém a sua disponibilidade não se encontra distribuída igualmente por todo o território. Algumas regiões enfrentam sérios problemas de escassez, tanto em quantidade como em qualidade.

O Estado da Paraíba enfrenta sérios problemas de esgotamento dos mananciais subterrâneos, processo que decorre principalmente de uma gestão ineficiente dos recursos hídricos, e não somente de fatores climáticos, físicos e ambientais (ALBUQUERQUE; REGO, 1999).

Muitas cidades brasileiras dependem da água subterrânea, principalmente no abastecimento público, sendo o nordeste, a região que concentra o maior número de municípios que utilizam o manancial subterrâneo.

A Figura 20 ilustra a quantidade de municípios e o sistema de captação de água para o abastecimento público no Brasil, distribuídos de acordo com a região geográfica.

Figura 20 - Número de sedes e tipo de sistema de captação de água do abastecimento público no Brasil

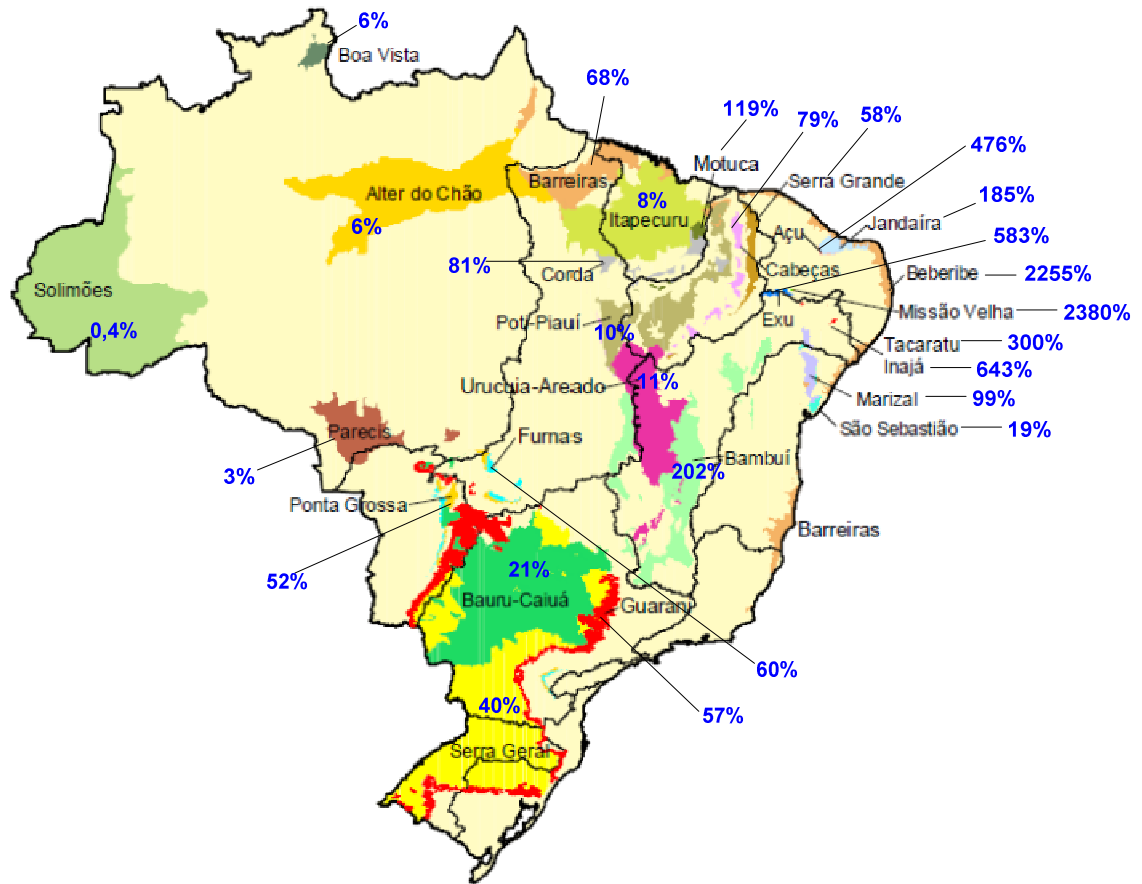


Fonte: ANA (2012).

Os estados brasileiros que possuem a predominância de municípios abastecidos por fonte subterrânea, são representados pelo Amazonas, Pará, Roraima e Tocantins na região norte, Mato Grosso do Sul na região centro-oeste e, no nordeste, pelo Piauí e Maranhão (ANA, 2012).

Na Figura 21 é demonstrada a porcentagem de retirada de água subterrânea dos principais sistemas aquíferos localizados no território brasileiro. Dentre os aquíferos mais explorados cita-se o Beberibe, Missão Velha, Inajá e Exu, todos localizados no nordeste, região que enfrenta sérios problemas de disponibilidade hídrica, superficial e subterrânea. Além de possuírem a menor reserva explorável, retiram 23 vezes a mais que a capacidade da reserva renovável do aquífero, conforme Quadro 3.

Figura 21 - Área de recarga dos principais aquíferos do Brasil e percentual de exploração de suas reservas renováveis



Fonte: ANA (2005).

Quadro 3 - Potencial hídrico demandado e reserva explotável dos principais aquíferos brasileiros

Sistema Aquífero	Vazão de Retirada Potencial (m ³ /s) ¹	Reserva Explotável (m ³ /s) ²	Vazão de Retirada Potencial/Reserva Explotável (%)
Solimões	3,3	896,3	0,4
Alter do Chão	15,5	249,5	6
Boa Vista	1,9	32,4	6
Parecis	13,2	464,8	3
Jandaíra	11,2	6,1	185
Açu	9,8	2,1	476
Itapecuru	17,9	214,8	8
Corda	7,4	9,2	81
Motuca	3,6	3,0	119
Poti-Piauí	13,5	130,0	10
Cabeças	5,7	7,2	79
Serra Grande	7,3	12,7	58
Barreiras	147,2	217,0	68
Beberibe	9,4	0,4	2.255
Marizal	7,1	7,2	99
São Sebastião	1,6	8,2	19
Inajá	2,0	0,3	643
Tacaratu	8,7	2,9	300
Exu	3,7	0,6	583
Missão Velha	4,5	0,2	2.380
Urucuia-Areado	26,7	236,4	11
Bambuí	81,4	40,3	202
Bauru-Caiuá	123,7	587,9	21
Serra Geral	298,8	746,3	40
Guarani	91,8	161,1	57
Ponta Grossa	15,1	29,1	52
Furnas	17,2	28,6	60
TOTAL	949,2	4.094,6	23

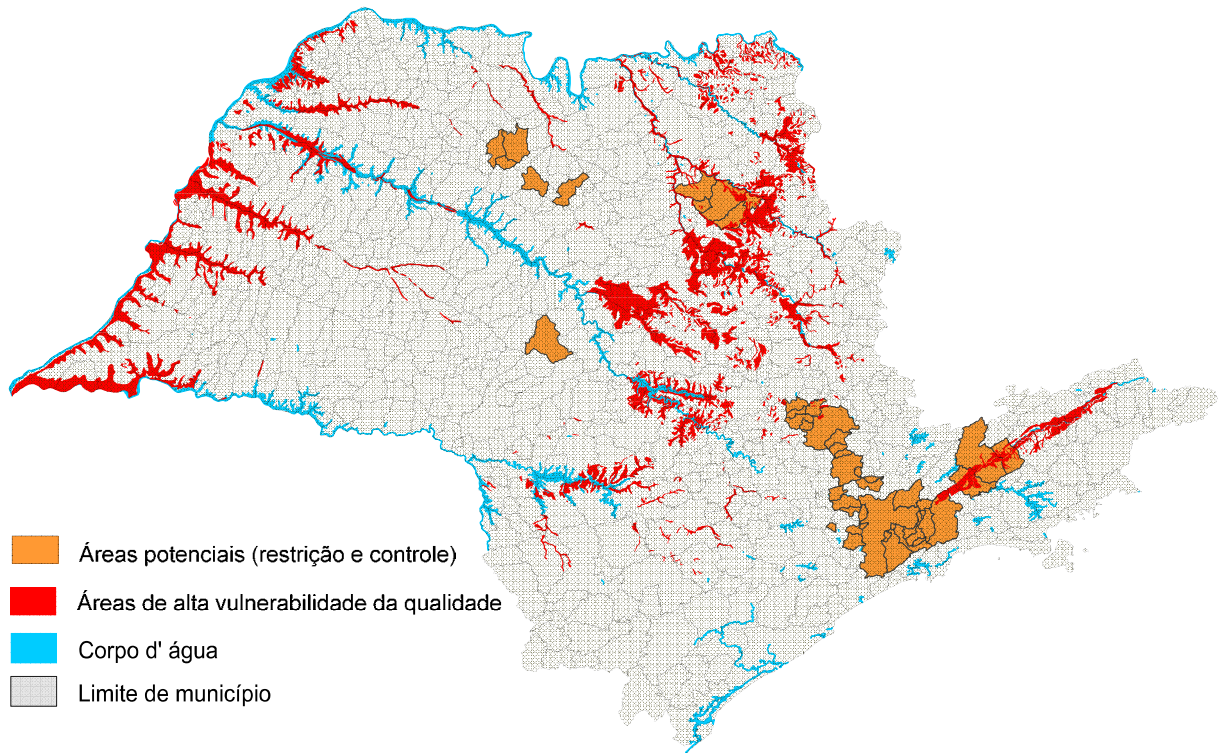
¹: Consumo total de água dos municípios situados sobre a área de recarga do sistema aquífero. ²:20% das reservas renováveis.

Fonte: ANA (2005).

A Figura 22 ilustra as áreas potencialmente críticas de recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo, que são utilizadas na definição de técnicas para licenciamento de empreendimentos segundo a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) nº 14, de 05

de março de 2010. Dentre os municípios paulistas estabelecidos como área potencial de restrição e controle encontra-se São José do Rio Preto.

Figura 22 - Áreas potencialmente críticas de recursos hídricos subterrâneos



Fonte: Resolução SMA nº 14 (2010).

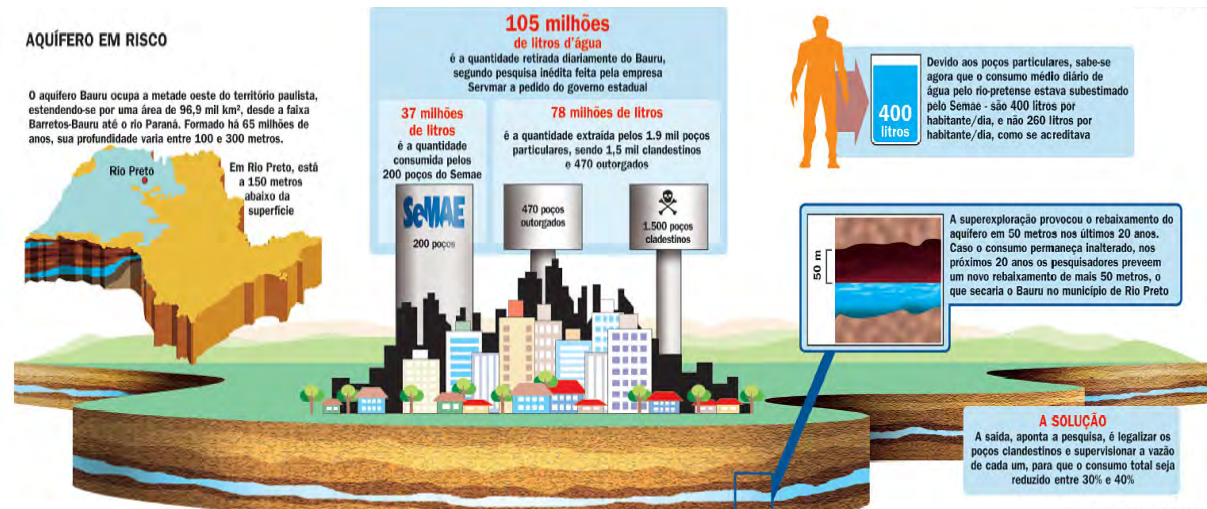
No Município de São José do Rio Preto foi comprovado a ocorrência de um rebaixamento de 10 m entre a década de 1970 e 1990, no nível estático de poços situados na área urbana (OLIVEIRA; WENDLAND, 2004). Após 06 anos do primeiro estudo, o Aquífero Bauru continuava a apresentar índices de rebaixamento dos níveis estático de poços em regiões de elevada exploração de água subterrânea, devido à grande concentração de poços que captam água acima da capacidade de recarga do aquífero (OLIVEIRA; WENDLAND, 2010).

O Aquífero Bauru em São José do Rio Preto apresentará risco de esgotamento em 20 anos caso a extração de água não seja reduzida em pelo menos um terço, fazendo com que o nível potenciométrico do aquífero fique cada vez mais profundo. Em um período de 20 anos de exploração, o nível d'água rebaixou aproximadamente 50 m (Figura 23) (ABREU; BERTI, 2012).

A Lei Municipal nº 5.919, de 29 de agosto de 1995 dispõe sobre a preservação e a conservação dos depósitos de águas subterrâneas na área do Município de São José do Rio

Preto. Segundo a lei cabe ao município dispor sobre a utilização racional dos recursos hídricos subterrâneos, assegurando seu uso prioritário para abastecimento das populações (Parágrafo único do Art. 2º).

Figura 23 - Aumento na profundidade média do nível potenciométrico do aquífero



Fonte: Abreu e Berti (2012).

3.9 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística analisa a ocorrência de um fenômeno no espaço ou no tempo, visando determinar a dependência espacial das observações de uma variável e o comportamento espacial das variáveis regionalizadas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Inicialmente, a aplicação da técnica era em situações de geologia mineira, sendo usada atualmente no monitoramento de águas subterrâneas, na estimativa de nutrientes do solo, na velocidade de propagação de poluentes, dentre outros. Desta maneira aplica-se no entendimento de fenômenos regionais, na estimação de variáveis regionais a partir de um conjunto de amostras e na avaliação dos erros de estimação.

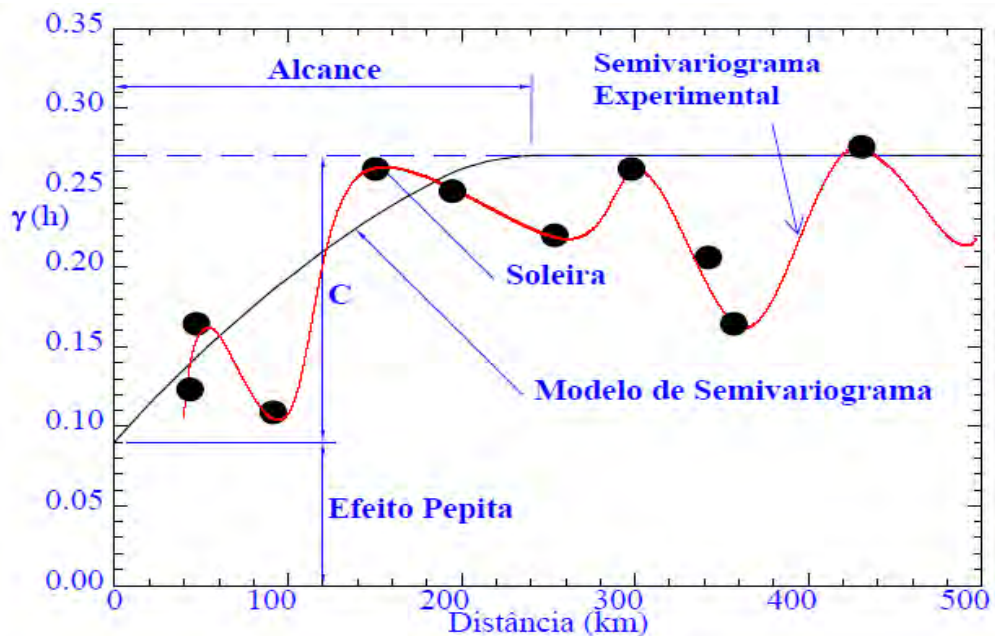
A técnica se baseia nos princípios de ergodicidade, estacionariedade e hipótese intrínseca. A ergodicidade analisa se a média de todas as possíveis realizações da variável é igual a média de uma única realização dentro de um domínio. Na estacionariedade a variável se apresenta de forma homogênea no tempo ou no espaço. E na hipótese intrínseca as diferenças entre os valores são estacionárias, apresentando média constante (LANDIM, 1998).

As ferramentas utilizadas para estudar o comportamento das variáveis regionalizadas são o semivariograma e a krigagem.

O semivariograma demonstra o grau de dependência espacial entre as amostras. Desta maneira a influência entre os pontos é maior quando a distância entre eles for menor, assim em pontos próximos a variância será pequena. E só poderá ser calculado se os resíduos (valor erros) forem estacionários (LANDIM, 1998).

As componentes de um semivariograma são: alcance, patamar (C) e efeito pepita (C_0) (Figura 24). O alcance representa a distância em que as amostras possuem correlação espacial. O patamar equivale ao intervalo de alcance das amostras (estabilização do variograma). E o efeito pepita consiste na descontinuidade da variável em estudo, intervalo em que não ocorre distribuição de amostras (LANDIM, 1998; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

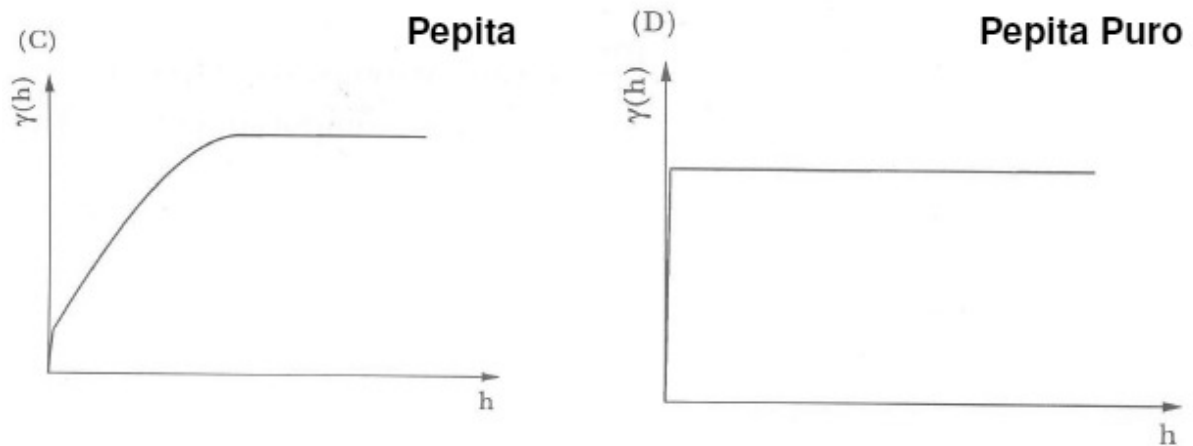
Figura 24 – Representação das principais características de um variograma experimental



Fonte: Oliveira (2002).

A análise semivariográfica não poderá ser aplicada quando ocorrer efeito pepita puro (fenômeno de transição), pois não há covariância entre os valores (Figura 25). Na elaboração do variograma utilizam-se técnicas de krigagem, desta maneira o modelo pode ser isotrópico (variáveis na mesma direção) ou anisotrópico (variáveis em diferentes direções) (KITANIDUS, 1999).

Figura 25 - Representação do efeito pepita em um variograma



Fonte: Yamamoto (2001).

O variograma pode ser de diferentes modelos, sendo escolhido com base nas informações prévias e nas observações, almejando a melhor maneira de representar a função estudada. Posteriormente, deve ser testado e comparado com os resultados determinados (GUIMARÃES, 2004).

A krigagem consiste em um processo de estimação de valores de variáveis distribuídas no espaço, que considera todos os valores estimados, aplicado por meio de técnicas de análise de regressão que procuram minimizar a variância estimada. Fornece além dos valores estimados em posição espacial não observada, o erro associado a tal estimação (GENÚ, 2004).

Há diversos tipos de krigagem, como: linear, simples, média, ordinária, sendo esta a técnica mais utilizada, devido à simplicidade e os resultados proporcionados.

Na krigagem ordinária a média das variáveis é desconhecida, consiste em uma estimação linear de uma variável regionalizada que satisfaz a hipótese intrínseca. Se os erros apresentarem valores próximos de zero, os estimadores serão de confiança, mas o melhor estimador apresenta a soma dos pesos igual a 1 e sem tendência local (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O Município de São José do Rio Preto está situado na região noroeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 20°49'11'' de latitude Sul e 49°22'46'' de longitude Oeste. A cidade ocupa uma área territorial de 431 km² (IBGE, 2010), e uma área urbanizada que passou de 81 km² em 2002 para 123 Km² em 2012. Com uma população de 407.816 habitantes, estando 24.741 habitantes residindo na área rural (SEADE, 2012). A Figura 26 ilustra uma foto panorâmica da área urbana do município.

Figura 26 – Vista aérea da área urbana de São José do Rio Preto

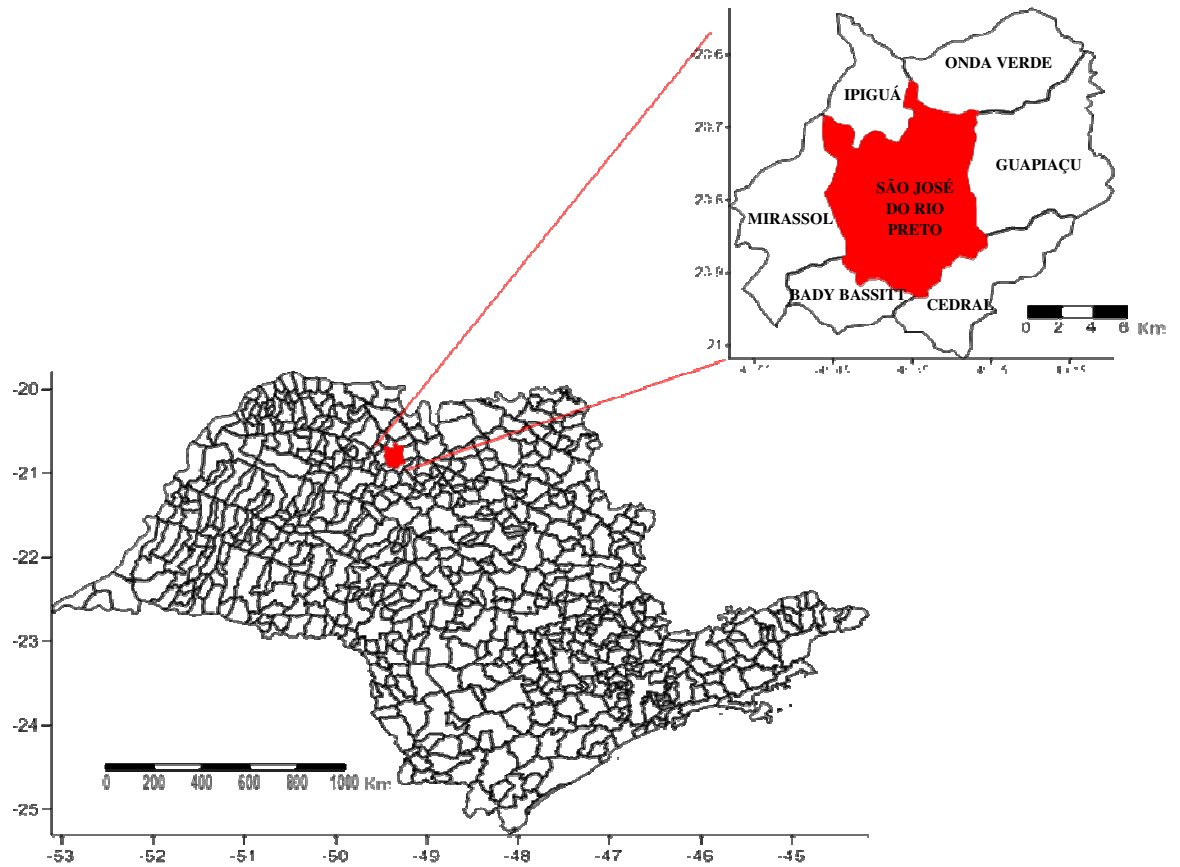


Fonte: Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto (2013).

A Figura 27 apresenta a localização do Município de São José do Rio Preto que faz divisa a oeste com Mirassol, a leste com Guapiaçu, ao norte com Ipiranga e Onda Verde e ao sul com Bady Bassitt e Cedral. O município pertence a Unidade de Gerenciamento de

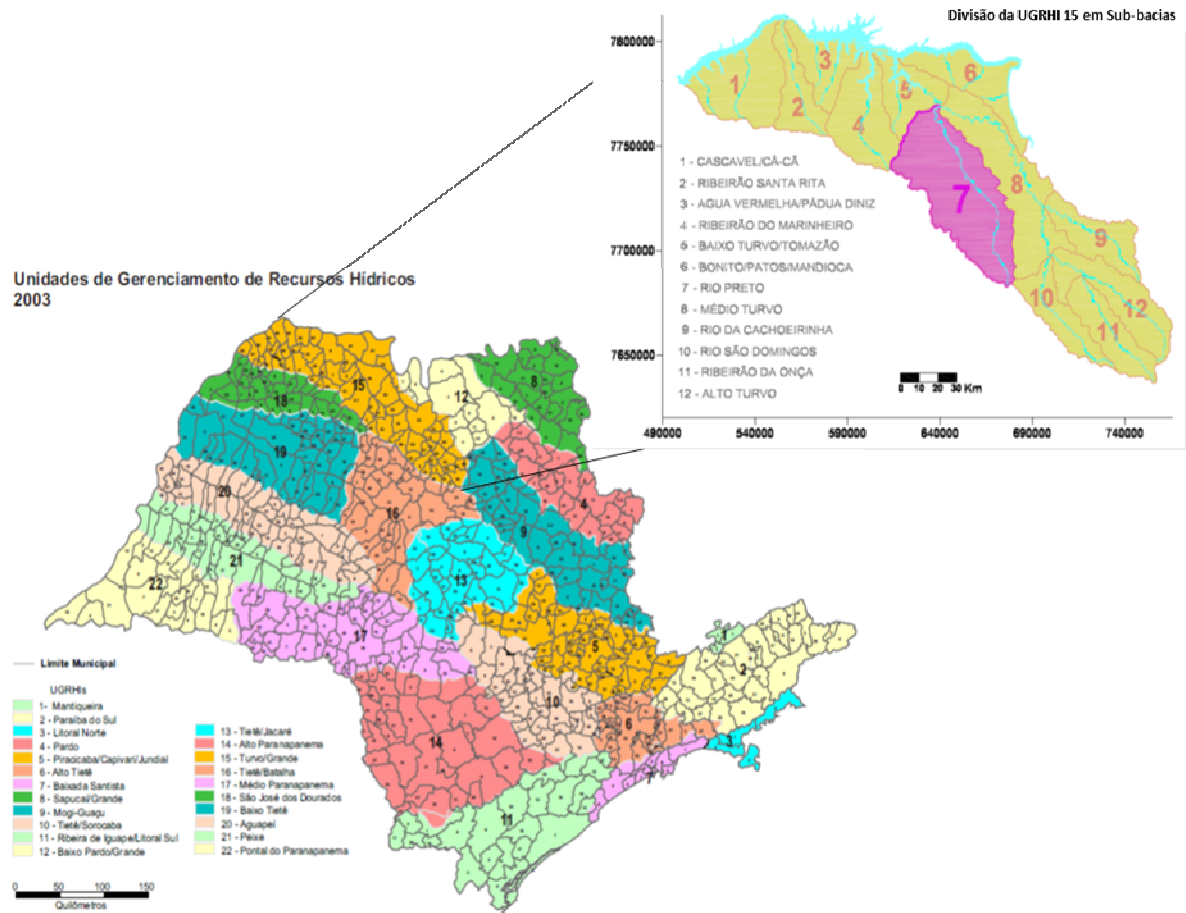
Recursos Hídricos da Bacia do Turvo/Grande (UGRHI 15), a 4ª maior UGRHI do estado de São Paulo, estando inserido na sub-bacia do Rio Preto (Figura 28).

Figura 27 - Localização de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo e principais municípios vizinhos



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011).

Figura 28 - Divisão das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo e Sub-bacias da UGRHI 15



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente - SMA (2009) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2000).

A principal drenagem da cidade ocorre pelo Córrego Rio Preto, do qual se deriva o nome do município. Este córrego contribui com parte do abastecimento da cidade utilizando-se para tal a represa municipal nele construída.

Para a elaboração do mapa hidrográfico do município foi utilizado a Carta Planialtimétrica do IBGE, folha SF-22-X-B-IV-3 de 1972, na identificação dos corpos d'água. No Google Earth foi delimitada a rede hidrográfica e as rodovias, posteriormente esses dados foram importados no Spring 5.1 e exportados no formato dxf para a confecção final do mapa no Surfer 10.

4.2 ASPECTOS FÍSICOS

4.2.1 RELEVO E CLIMA

O Município de São José do Rio Preto tem a maior parte da área urbana situada entre as cotas 470 a 510 metros de altitude. Apresenta relevo pouco ondulado relativamente uniforme, com espigões duplos, colinas médias a amplas e altitude em torno de 489 m acima do nível do mar.

Na análise do comportamento das temperaturas, bem como da precipitação no município, foram obtidos dados no CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas) para o período de 2000 a 2011, e no Software Excel realizou-se a confecção dos gráficos.

4.2.2 GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

A área urbana situa-se sobre as rochas do Grupo Bauru, do qual na região de estudo há ocorrência das formações Vale do Rio do Peixe e São José do Rio Preto. A Formação Vale do Rio do Peixe situa-se nos vales dos rios da região e apresenta um ambiente deposicional predominantemente eólico, com acumulação em áreas planas, enquanto que na Formação São José do Rio Preto predomina a deposição em barras fluviais.

A unidade hidrogeológica presente na região é o Sistema Aquífero Bauru, que apresenta espessura saturada variando entre 100 e 150 m e uma reserva permanente de 40 bilhões de m³ na bacia hidrogeológica de São José do Rio Preto.

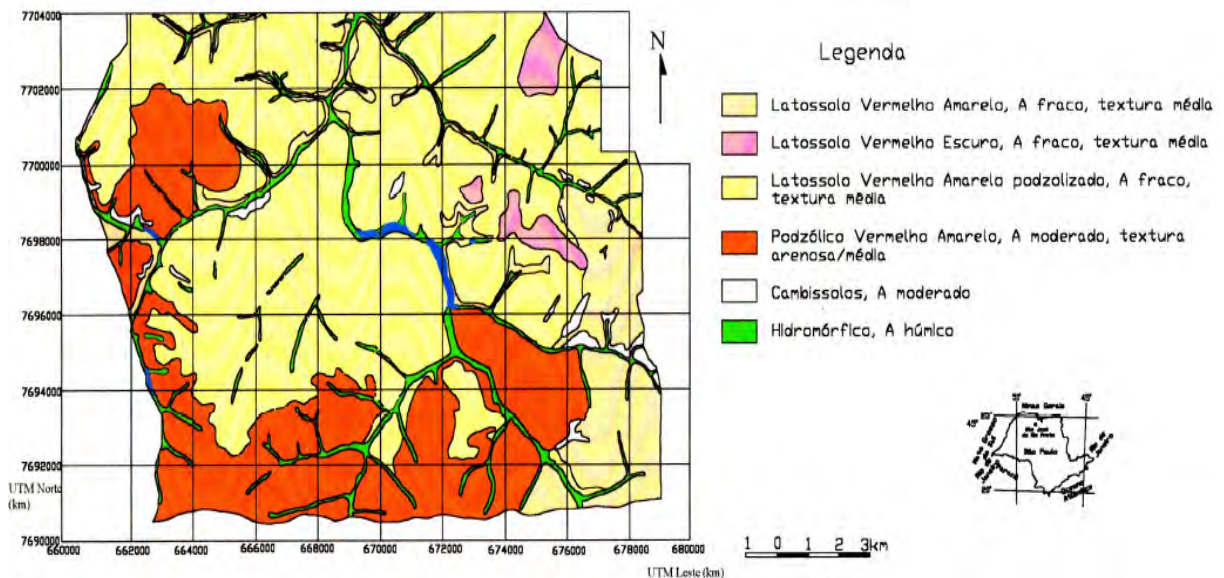
As zonas de recarga do Aquífero Bauru são os espigões e os locais de descargas são os vales, portanto a circulação subterrânea se faz dos interflúvios para os vales dos rios.

4.2.3 PEDOLOGIA E USO DO SOLO

Os solos característicos da região de estudo são arenosos, com aproximadamente 70% de areia e 30% de silte-argila. O Latosolo Vermelho Amarelo Podzolizado, A fraco, textura média predomina na região, havendo ocorrência do solo Podzólico Vermelho Amarelo, A

moderado, textura arenosa médio/fraco; do Latossolo Vermelho Amarelo, A fraco, textura média; do Latossolo Vermelho Escuro, A fraco, textura média; do Cambissolo, A moderado e do solo Hidromórfico, A húmico (Figura 29) (IPT, 2000).

Figura 29 - Mapa de solos de parte da área do Município de São José do Rio Preto



Fonte: Aguiar (2001).

Para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo no município foram utilizadas imagens do Landsat 5, composição das bandas espectrais 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) de 2002 e 2011. Foi utilizada essa composição devido o melhor resultado apresentado na identificação de áreas verdes, áreas urbanas e corpos d' água. No Spring 5.1 fez-se o tratamento, a segmentação (com similaridade 12 e área do pixel 15), a classificação (Bhattacharya com 99% de aceitação) e o mapeamento das imagens, sendo que a edição gráfica e a elaboração final do mapa realizaram-se no Surfer 10.

4.3 CATALOGAÇÃO DOS POÇOS

A coleta dos dados, referentes aos poços catalogados no município em estudo foi realizada em duas bases de dados, no SIAGAS e no DAEE de Araraquara.

A atualização dos poços no SIAGAS ocorre mensalmente, porém no Município de São José do Rio Preto, em média, variou um período de 6 meses.

No SIAGAS foram encontrados 636 poços catalogados para o município, e no DAEE de Araraquara 727 poços. Os 1363 poços foram comparados e conferidos criteriosamente pelas coordenadas geográficas, desta maneira encontrou-se 411 poços em comum para as duas bases de dados.

Dos 411 poços em comum, 84 pertencentes a base de dados do SIAGAS não traziam informações como tipo de formação, vazão, nível estático, nível dinâmico e cota e, 194 poços apresentam dados incompatíveis com os fornecidos pelo DAEE.

Neste estudo utilizaram-se somente os poços que captam água no Aquífero Bauru e no Serra Geral, assim foram excluídos 9 poços que captam água em outro sistema aquífero e 44 poços que não apresentavam o tipo de formação geológica.

Conforme verificação por coordenadas geográficas dos poços, 28 não estavam inseridos no limite do Município de São José do Rio Preto, sendo estes excluídos do trabalho. Assim utilizaram-se na pesquisa 873 poços, sendo 702 coletados no DAEE e 171 no SIAGAS.

4.4 DELIMITAÇÃO DA ÁREA URBANIZADA

Para delimitação e quantificação da malha urbana do Município de São José do Rio Preto, região que apresenta grande concentração de poços e elevada urbanização, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 7, banda 8 encontradas no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), de 1999, 2003. Na confecção da malha de 1972 utilizou-se Carta Planialtimétrica do IBGE e, a malha de 2012 foi elaborada diretamente na tela do software Google Earth.

As imagens do Landsat foram inseridas e recortadas no software Spring 5.1, no retângulo envolvente pelas coordenadas 655845E-7683106N e 685062E-7718236N, sendo utilizada a projeção UTM (Universal Transverse Mercator) e o datum WGS84 (World Geodetic System 1984). Posteriormente, após serem inseridas no software AutoCAD 2010, foram delimitadas e quantificadas as áreas urbanizadas, sendo o arquivo digitalizado pós-processado no software Surfer 10.

Similarmente ao processo utilizado para as imagens Landsat, um arquivo digital na extensão tiff da carta topográfica de 1972 foi plotado na tela do AutoCAD, realizada a correção de escala e o georeferenciamento. Posteriormente com o uso das ferramentas do software efetuou-se a digitalização da malha urbana. Com o arquivo digitalizado, na extensão dxf, foi possível o processamento final no Surfer 10.

A digitalização da área urbana de 2012 foi realizada no Google Earth, sendo o arquivo exportado na extensão kml, importado pelo Spring nesta extensão e exportado no formato dxf.

O software Surfer 10 foi utilizado no processamento final dos arquivos, sendo elaborado do mapa de expansão urbana do Município de São José do Rio Preto, no período de 1972 a 2012.

4.5 AVALIAÇÃO DO NÍVEL ESTÁTICO

Para analisar o comportamento do nível estático dos poços perfurados no Município de São José do Rio Preto foi escolhida a região contida no retângulo envolvente pelas coordenadas 663540E-7692680N e 670070E-7698580N onde se localizava a maior quantidade de poços. No software Excel selecionou-se os poços inseridos nesta região e foi realizada uma separação em intervalos de 5 em 5 anos.

Foram excluídos os poços dos intervalos de classes de 1951-1955, 1966-1970, 1971-1975, 1976-1980, 1981-1985, 1986-1990, pois as classes possuíam poucos poços para a interpolação da variável nível estático na região. Os poços correspondentes ao ano de 2011 não foram utilizados, pois a avaliação compreende intervalos de 5 em 5 anos.

Nesta avaliação foram utilizados 270 poços divididos em quatro classes, sendo estas: 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005 e 2006-2010. No Surfer 10 por meio da técnica de krigagem, foi realizada a modelagem do nível potenciométrico do aquífero, utilizando-se para tal os níveis estáticos dos poços e modelo digital de elevação (MDE) do município.

Inicialmente foram geradas grades retangulares regulares (formato grd) com os níveis estáticos dos poços e, modelos digitais de elevação (MDE) do terreno. As grades foram obtidas por interpolação da variável nível estático e o MDE por meio de processamento de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtida pela Embrapa, que foi pré-processada no Spring, exportada na extensão dat para o Surfer 10, onde foi elaborado o Modelo Digital de Elevação.

No Surfer 10 foram realizadas operações aritméticas entre as grades referentes ao MDE e o nível estático, resultando em nova grade retangular, correspondente a cota do nível estático, ou seja, o nível potenciométrico do aquífero, que se deram subtraindo o nível estático da cota do terreno.

Tais operações foram necessárias para a geração de isolinhas do nível potenciométrico, pois se fossem consideradas somente as isolinhas do nível estático, as regiões interpoladas

poderiam ocultar as feições do terreno, expressando um resultado de ocorrência não real, como exemplo o nível estático acima da superfície do solo.

Metodologia semelhante foi utilizada por Hoque, Hoque e Ahmed (2007), Ahmadi e Sedghamiz (2007), Ta'any, Tahboub e Saffarini (2009), Shamsudduha et al. (2009) e por Bui et al. (2012) no mapeamento da superfície potenciométrica de mananciais subterrâneos.

4.5.1 ANÁLISE COMPARATIVA

Oliveira (2002) observou um rebaixamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru, na área central do Município de São José do Rio Preto, abrangendo uma região de 227 km².

Com a modelagem do aquífero propôs dois cenários que intensificariam a diminuição da superfície potenciométrica. O primeiro evidenciado com o crescimento da cidade, aumentando a impermeabilização do solo nas regiões sul e noroeste. E o segundo corresponderia à diminuição do volume precipitado sobre a região.

Desta maneira, foi realizada uma comparação da variação do nível potenciométrico constatada por Oliveira (2002) referente ao primeiro cenário. Com informação de 625 poços que foram classificados em três períodos: 1951-1992, 1993-2002 e 2003-2012, a variação do nível estático foi analisada, utilizando-se dos softwares AutoCAD, Excel e Surfer.

A região comparada no estudo situa-se entre as coordenadas do retângulo envolvente 660000E-7686000N e 683000E-7707000N. No AutoCAD foram calculadas as áreas urbanas correspondentes a região e no Surfer foi efetuado o cálculo da altura média do nível potenciométrico, posteriormente utilizado na elaboração de gráficos no Excel.

4.6 ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DOS POÇOS

Com auxílio do software Excel, os dados dos poços foram organizados de acordo com os parâmetros avaliados (década em que os poços foram perfurados, profundidade, vazão e tipo de uso da água após captação) e, em seguida, divididos em grupos, separados por década de construção de cada um. Posteriormente os dados foram utilizados para confecção dos gráficos a serem analisados.

Na análise de exploração segundo a classe de profundidade, vazão explorada e uso destinado, foram considerados também no estudo, os poços que penetravam parcialmente o Aquífero Serra Geral. Tal consideração se deu pelo fato de que a profundidade média do

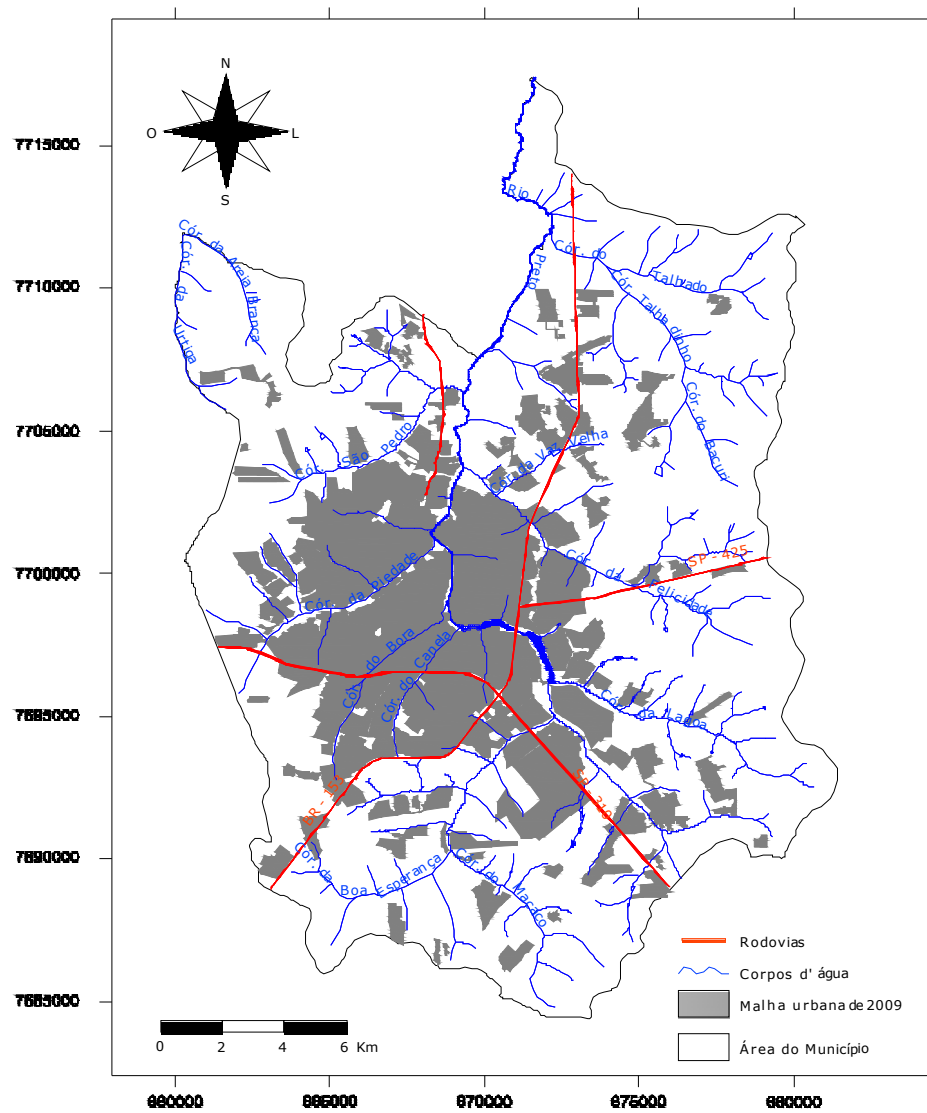
Aquífero Bauru na região é de aproximadamente 150 metros, existindo quantidade significativa de poços explorando simultaneamente ambos os aquíferos. Em alguns registros o poço penetrava totalmente o Aquífero Bauru e poucos metros do Serra Geral, em outros a profundidade era maior, sendo encontrado registro de poços à profundidade de até 330 metros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ASPECTOS FÍSICOS DO MUNICÍPIO

Na Figura 30 têm-se uma representação planimétrica do Município de São José do Rio Preto, destacando a rede hidrográfica, composta pelos cursos d'água: Córrego da Felicidade, do Borá, do Macaco, dentre outros, bem como a área urbana referente ao ano de 2009 e o eixo viário principal.

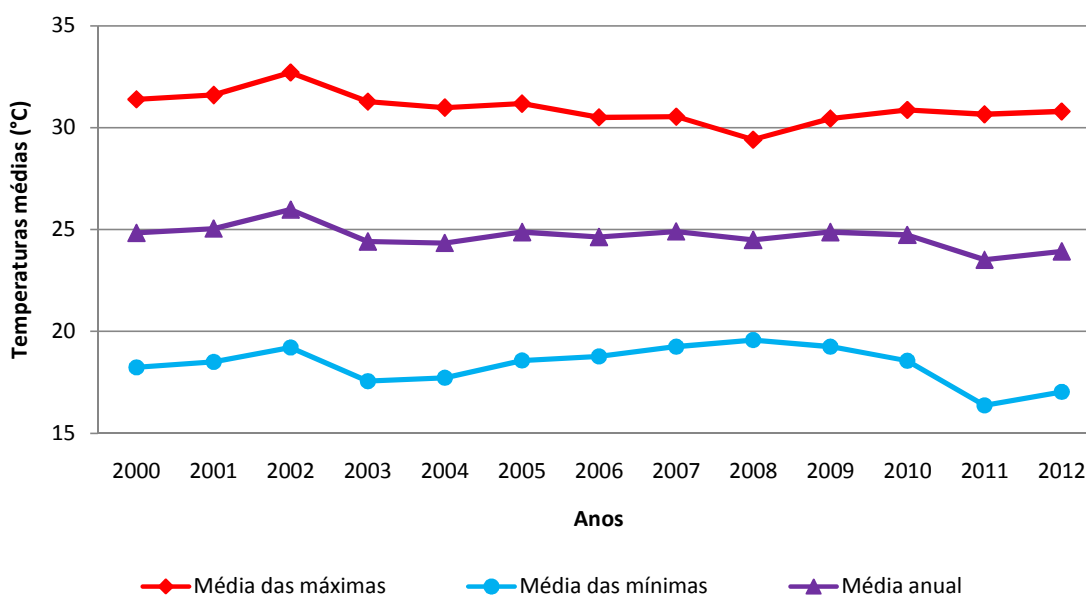
Figura 30 - Mapa hidrográfico de São José do Rio Preto



Fonte: Elaboração da própria autora.

O clima caracteriza-se por temperaturas médias anuais que variam entre 23 e 26°C, com máximas anuais de 29 a 33°C e as mínimas anuais ficam na faixa de 16 a 20°C, considerando o período de 2000 a 2012, conforme demonstrado na Figura 31.

Figura 31 - Temperaturas médias, máximas e mínimas no período de 2000 a 2012



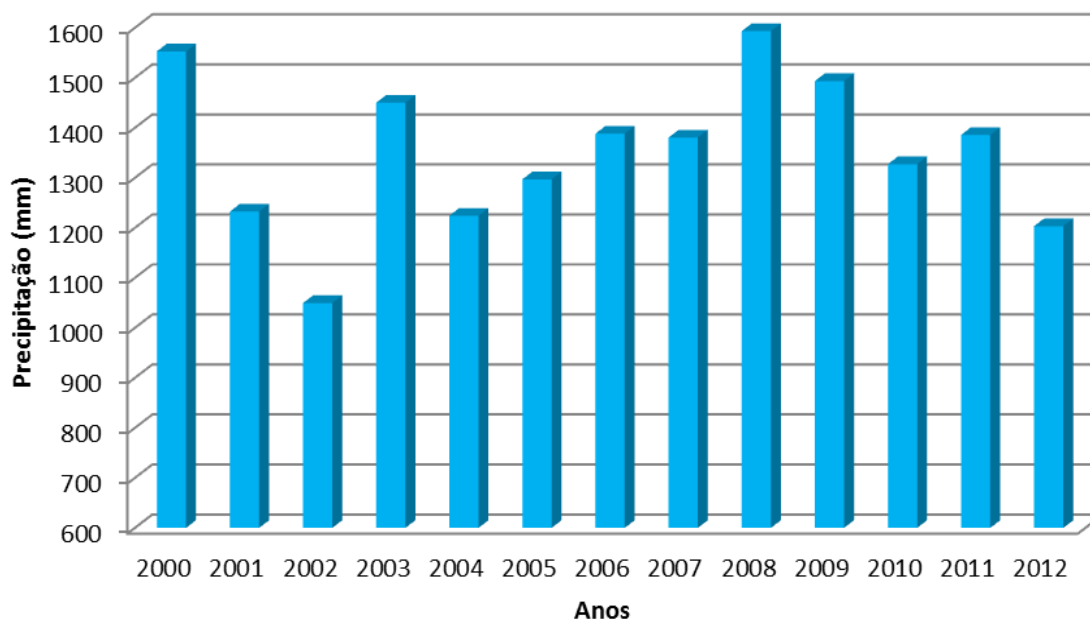
Fonte: Elaboração da própria autora.

No ano de 2012, as temperaturas médias mensais variaram de 27,2°C nos meses mais quentes (novembro a janeiro) a 19,5°C nos meses mais frios (maio a julho).

De acordo com a classificação de Koeppen o clima no município enquadra-se em dois tipos climáticos, o tropical úmido com inverno seco (Aw) e o quente úmido com estação seca, com verão quente e inverno não muito frio (Cwa).

A precipitação apresenta comportamento variável ao longo do tempo. A Figura 32 ilustra o total anual precipitado no período de 2000 a 2012, sendo o ano mais chuvoso de 2008 com 1593 mm e o menos chuvoso ocorreu em 2002 com 1049 mm.

Figura 32 - Precipitação total anual no período de 2000 a 2012



Fonte: Elaboração da própria autora.

A distribuição temporal da precipitação não é homogênea, havendo forte concentração nos meses de outubro a março e déficit de abril a setembro. A maior precipitação média mensal para o período de 2000 a 2012 ocorreu em janeiro, sendo 349 mm e a menor foi 19,3 mm no mês de julho. Essa característica, conforme descrito por Barcha (1980) garante a existência de duas estações distintas uma sensivelmente seca e fria, e outra chuvosa e quente.

O uso e ocupação do solo na região de São José do Rio Preto, nos anos de 2002 e 2011, são representados na Figura 33. Este foi classificado em 7 classes de uso nos dois períodos avaliados.

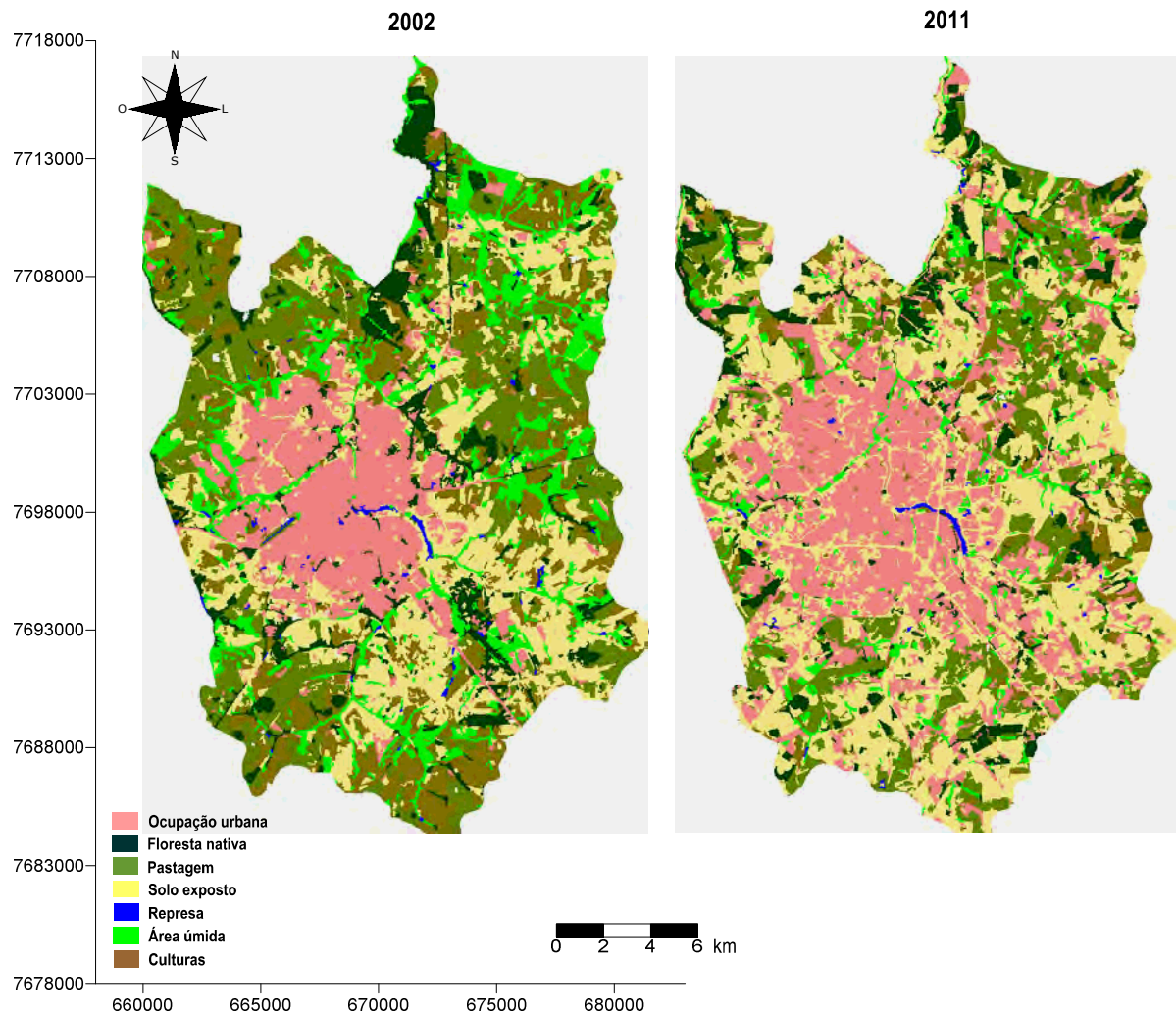
No período de 2002 a 2011, o Município de São José do Rio Preto apresentou um crescente processo de urbanização, que resultou na diminuição das reservas de floresta nativa, pastagem, áreas úmidas e cultivo de culturas, sendo que esta última classe obteve a maior redução, com 13,2%.

Em 2002, a classe que representava a maior porção do município foi o solo exposto com 23,9% (103 km²), seguido pela pastagem com 20,0% (86 km²), culturas com 17,6% (76 km²), e a área urbanizada com 16,2% (70 km²) (Figura 34).

No ano de 2011, o solo exposto continuou representando a maior porção do município com 37,1% (160 km²), seguido pela área urbanizada com 27,8% (120 km²) e a pastagem passou a representar 17,2% (74 km²) (Figura 35).

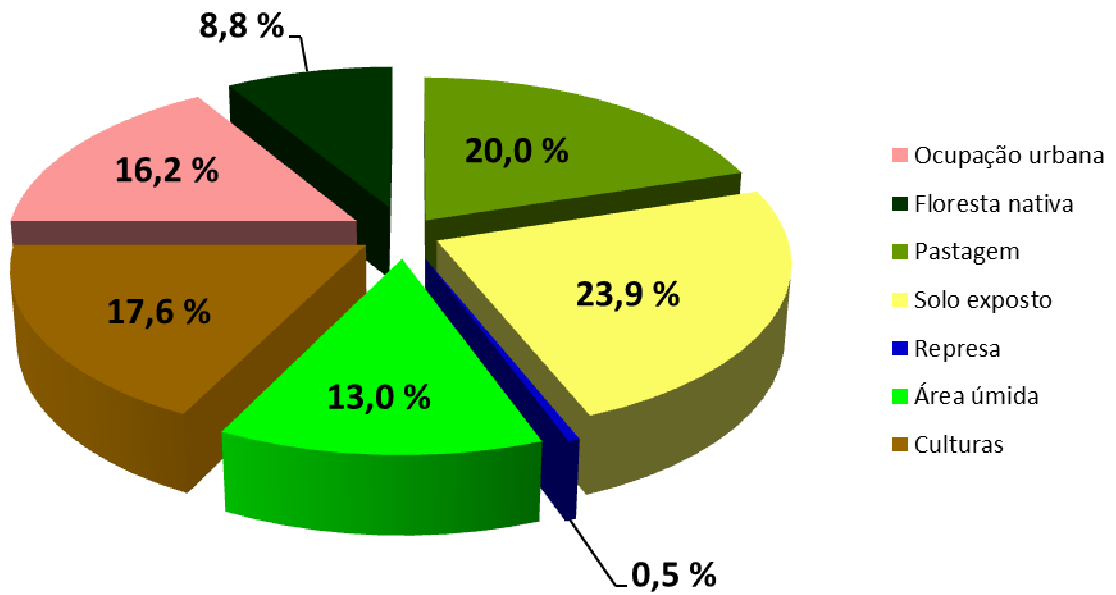
Pelas informações apresentadas nas Figuras 33, 34 e 35 se pode notar que a área urbanizada cresceu sobre todas as classes de uso do solo. A classe de culturas foi a que mais diminuiu no município, entretanto não se pode afirmar que a área urbana cresceu somente sobre a mesma, levando em consideração que a classe de solo exposto também aumentou consideravelmente.

Figura 33 - Uso e ocupação do solo no Município de São José do Rio Preto em 2002



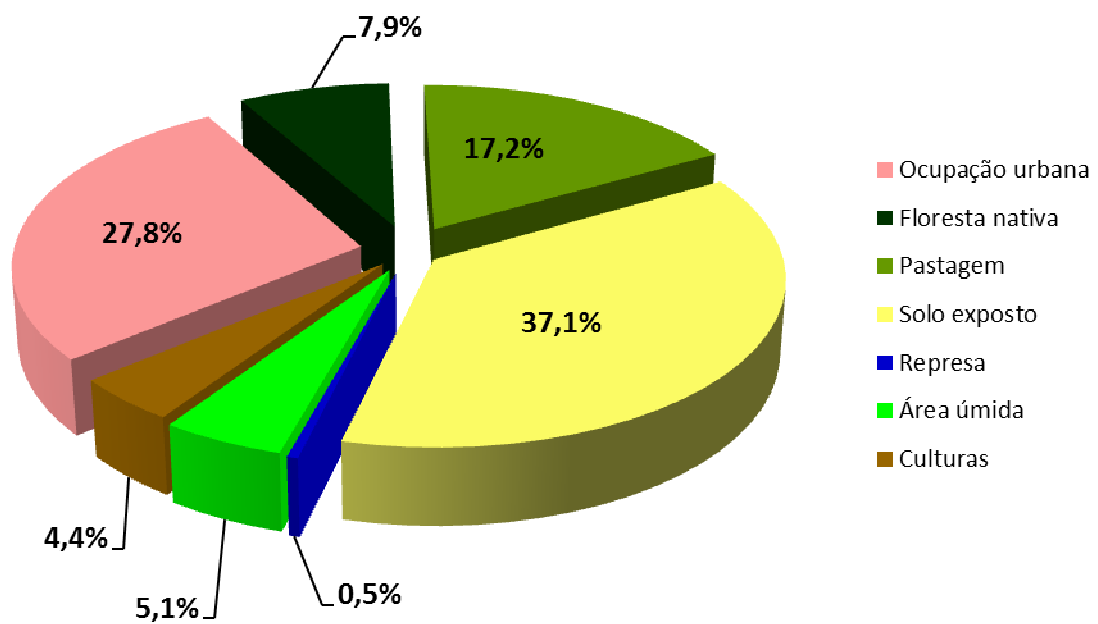
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 34 - Porcentagem de utilização do solo em São José do Rio Preto em 2002



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 35 - Porcentagem de utilização do solo em São José do Rio Preto em 2011

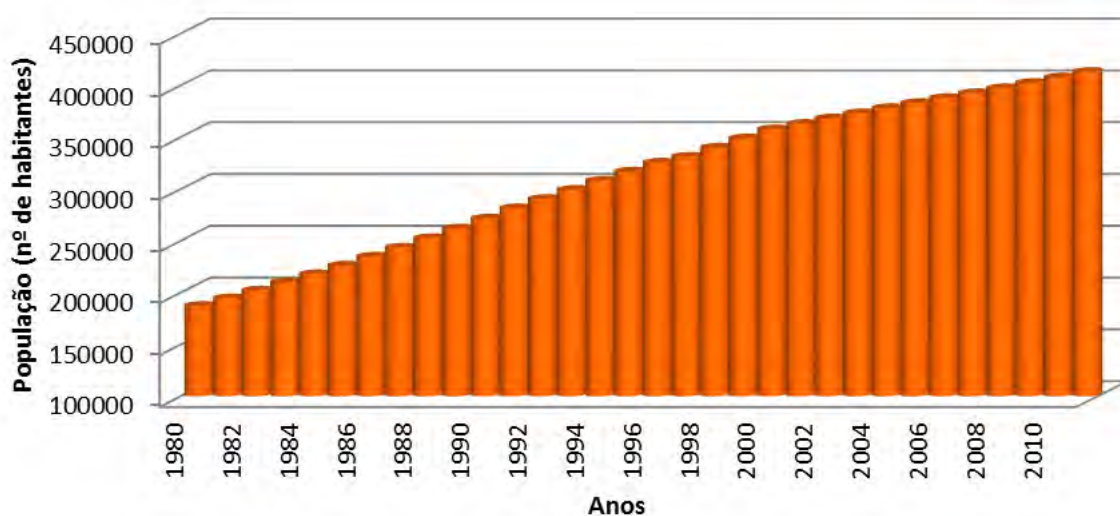


Fonte: Elaboração da própria autora.

5.2 MALHA URBANA

São José do Rio Preto apresentou uma taxa de crescimento anual de 1,32% a.a. no período de 2000 a 2010, sendo que evolução populacional pode ser observada na Figura 36. Esse desenvolvimento ocorreu devido às condições sócio-econômicas apresentadas município.

Figura 36 - Crescimento populacional do Município de São José do Rio Preto



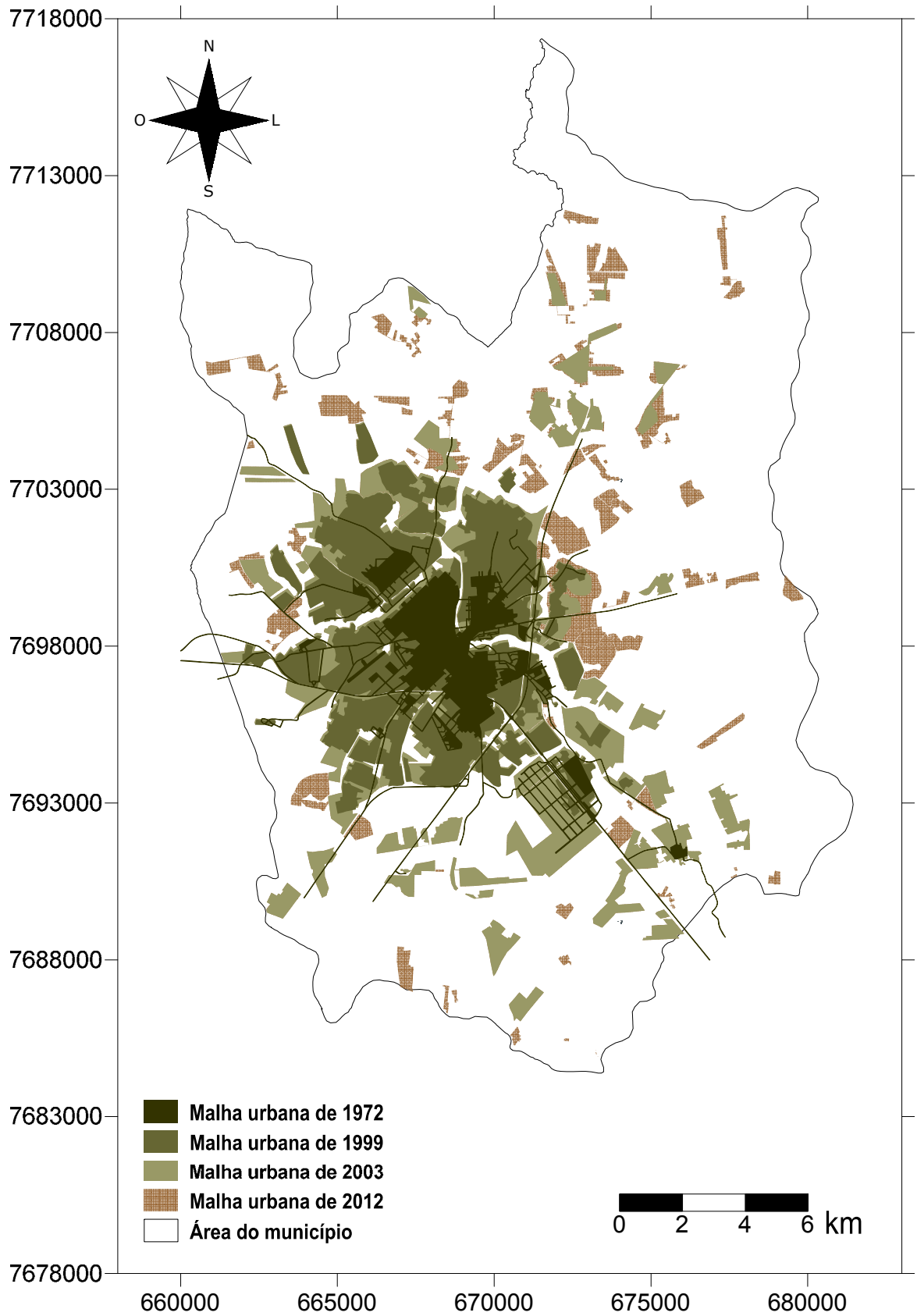
Fonte: Elaboração da própria autora.

O rápido crescimento populacional de 12% e o desenvolvimento econômico, no período de 2002 a 2012, intensificaram o processo de expansão urbana do município, proporcionando o aumento de 34% nas áreas impermeabilizadas, que refletiu na diminuição das condições de recarga do Aquífero Bauru.

O aumento de áreas urbanas de São José do Rio Preto entre os anos de 1972 e 2012 pode ser visualizado na Figura 37. Nota-se que a evolução do município ocorreu com intensidade maior ao nordeste e ao sudeste e não ao sul da cidade, como proposto pelo Plano Diretor Municipal de 1992.

No ano de 1972 o município apresentava uma área urbana de 17 km², em 1999 atingiu 60 km² aumentando para 102 km² em 2003 e, em 2012 chegou a 123 km² sua área urbanizada.

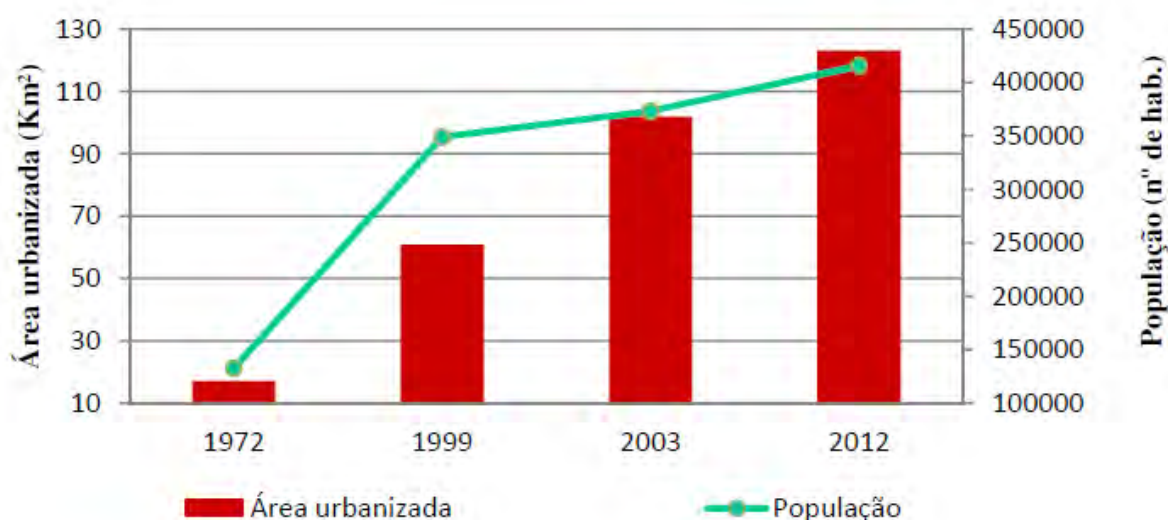
Figura 37 - Crescimento da malha urbana do Município de São José do Rio Preto



Fonte: Elaboração da própria autora.

O aumento da malha urbana de 1972 a 1999 acompanhou proporcionalmente o crescimento populacional, entretanto a partir de 1999 o aumento na urbanização ultrapassou o aumento populacional (Figura 38). Pode-se admitir como justificativa desse crescimento, que o processo de impermeabilização do solo além de se relacionar com o aumento populacional, depende de outros fatores como desenvolvimento econômico, com surgimentos de distritos industriais.

Figura 38 - Crescimento populacional e aumento de áreas urbanas do Município de São José do Rio Preto

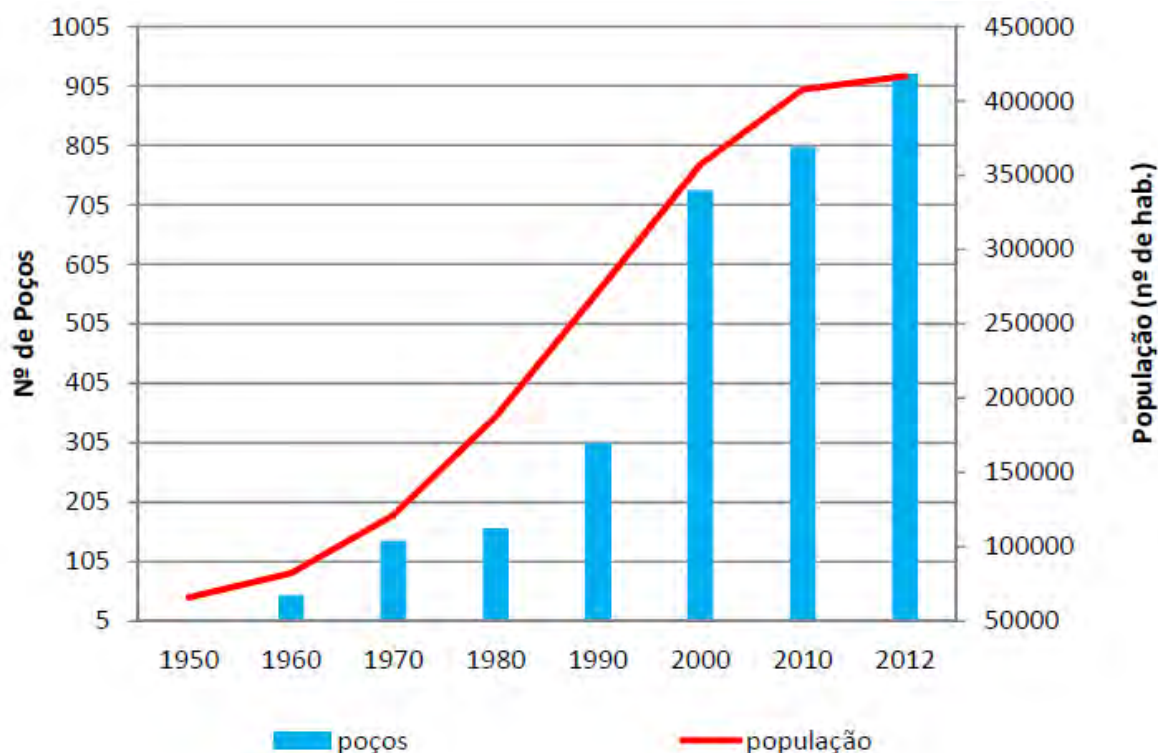


Fonte: Elaboração da própria autora.

O aumento na perfuração de poços para o suprimento da demanda hídrica acompanhou o crescimento populacional, demonstrando a crescente utilização da água subterrânea. A partir da década de 1970 (Figura 39), verifica-se um aumento significativo da quantidade de poços, sendo nítida a correlação entre o crescimento populacional e econômico com o consumo de água subterrânea.

Vale ressaltar que número de poços apresentado no ano de 2012 foi estimado, visto que as informações dos poços utilizados neste trabalho possuem registro até o ano de 2011, não havendo poços catalogados em 2012.

Figura 39 - Relação entre o aumento do número de perfurações e o crescimento populacional



Fonte: Elaboração da própria autora.

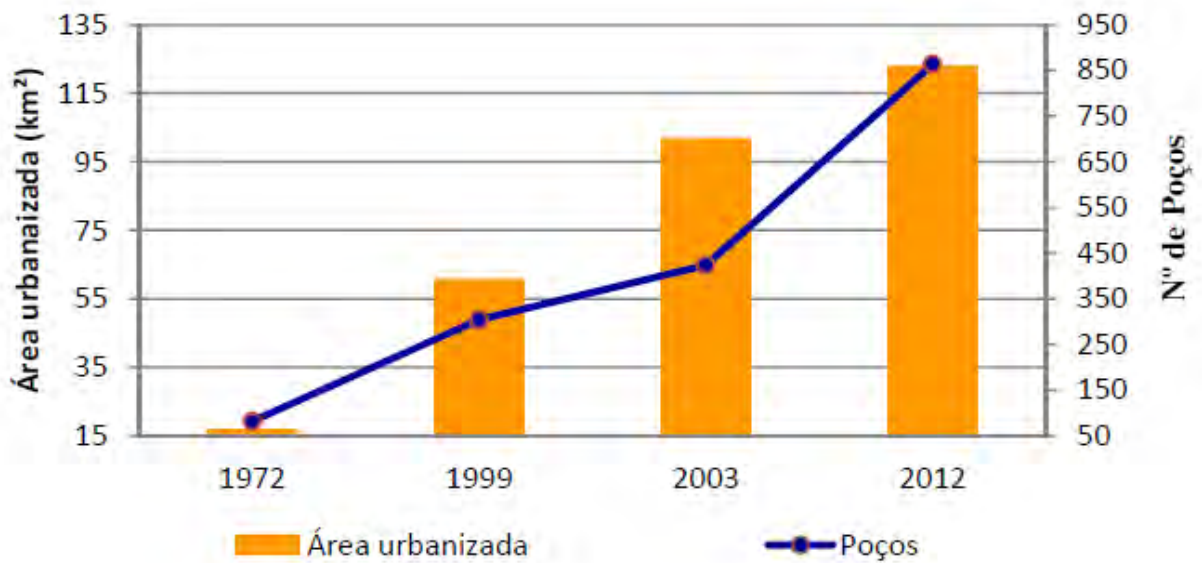
O crescente aumento da malha urbana no Município de São José do Rio Preto intensificou em 55% o surgimento de novas perfurações, no período de 2002 a 2012, com a finalidade de atender a demanda de abastecimento dos novos loteamentos.

Na Figura 40 têm-se um comparativo entre o crescimento da área urbanizada com a quantidade de poços perfurados entre 1972 e 2012, verificando-se novamente correlação entre o desenvolvimento do município com o consumo de água subterrânea, este com a maior porcentagem de aumento, representando 61% no período de 2002 a 2012.

O aumento desordenado da urbanização tem influência direta no potencial hídrico subterrâneo, visto que reduz a área de recarga do aquífero com a impermeabilização do solo, como também diminui o volume da reserva em função da extração da água, podendo ainda o manancial subterrâneo ter seu potencial reduzido em função da alteração da qualidade.

O gerenciamento da extração da água subterrânea, assim como das áreas a serem ocupadas proporcionam uma segurança no fornecimento deste recurso. Medidas como restrições de captação em locais críticos e implementação de áreas verdes em novos loteamentos podem e devem ser aplicadas.

Figura 40 - Relação entre o aumento do número de perfurações e o desenvolvimento da malha urbana



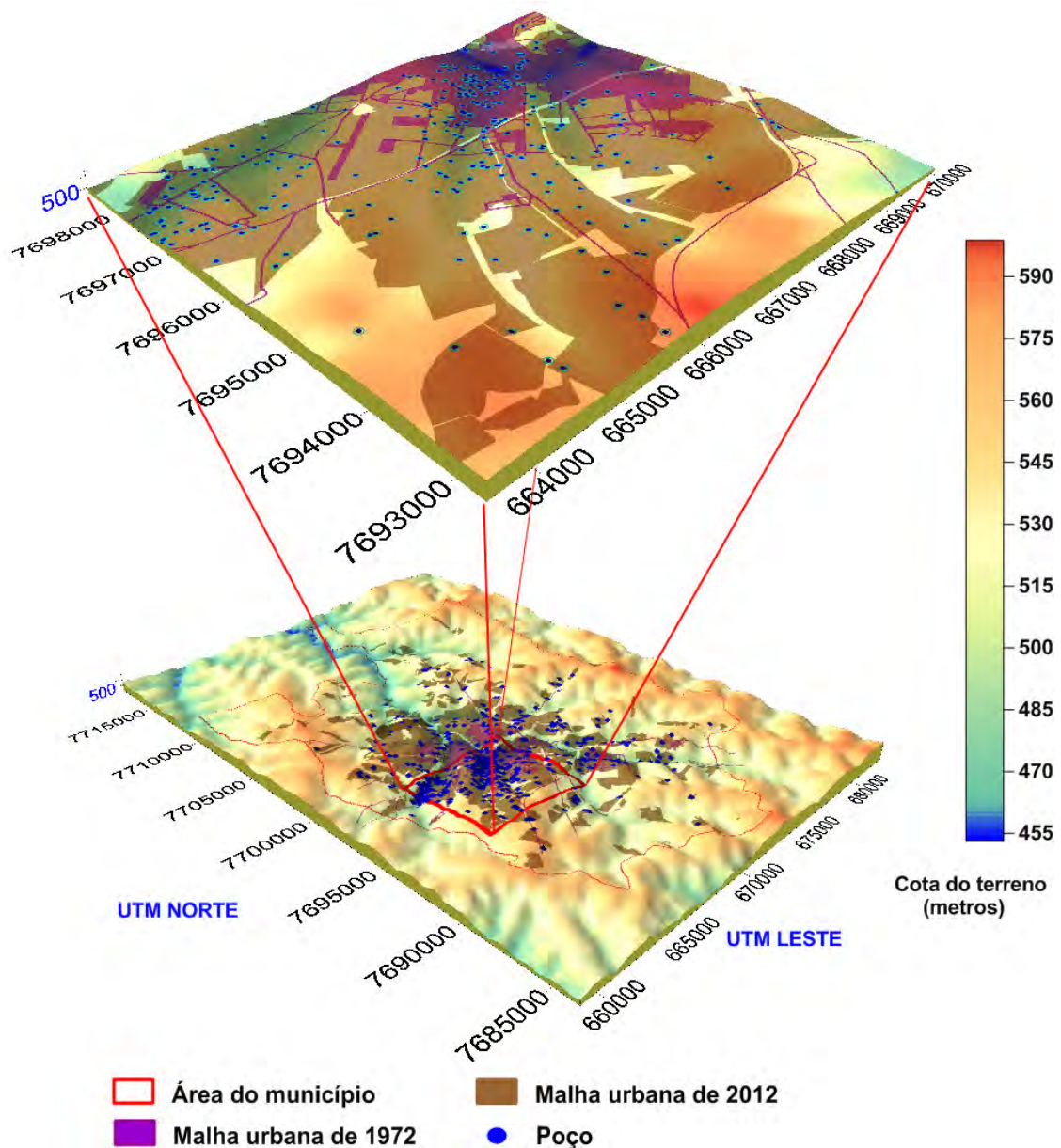
Fonte: Elaboração da própria autora.

5.3 NÍVEL ESTÁTICO

Na Figura 41 é ilustrado o modelo digital de terreno do Município de São José do Rio Preto com a malha urbana no ano de 1972 e os poços cadastrados, com destaque para a região delimitada na análise do nível potenciométrico médio do aquífero no período de 1991 a 2010, região cuja cota varia de 475 a 575 m. Percebe-se também o grande avanço da área urbanizada no sentido sul e sudoeste, cobrindo parcela significativa de áreas de recarga do aquífero (Figura 41).

A avaliação do nível potenciométrico do Aquífero Bauru se iniciou no ano de 1991, pois o período que antecede não possui um número significativo de poços que possibilite a interpolação dos dados.

Figura 41 - Modelo digital de terreno do Município de São José do Rio Preto com a localização dos poços catalogados e delimitação da área para estudo



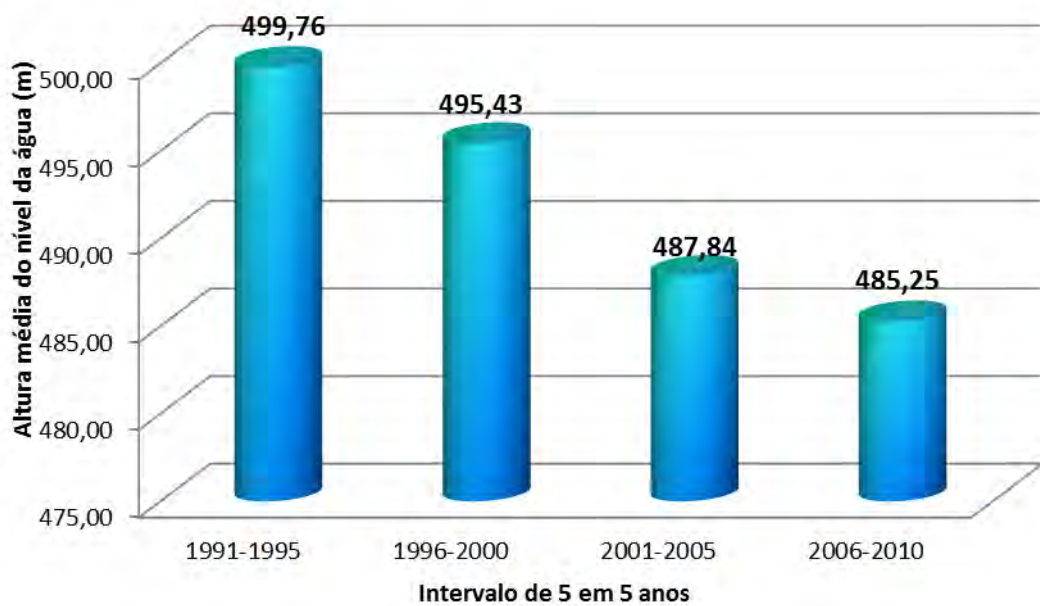
Fonte: Elaboração da própria autora.

A variação da altura potenciométrica média do aquífero no período de 1991 a 2010 está representado na Figura 42, percebendo-se um rebaixamento progressivo do nível potenciométrico do aquífero a cada intervalo de 5 anos. Do período de 1991-1995 a 1996-2000 ocorreu um rebaixamento de 4,33 m, intensificando-se no período seguinte em 7,59 m e, entre os dois últimos períodos o rebaixamento foi de 2,59 m.

O rebaixamento mais intenso ocorreu entre os intervalos de 1996-2000 a 2001-2005, possivelmente devido ao crescente número de perfurações e as taxas abusivas de extração de água.

Embora o nível potenciométrico do aquífero varie sazonalmente no decorrer do ano, pôde ser comprovado com a interpolação dos valores para cada intervalo de cinco anos, que o rebaixamento foi progressivo, expressando assim em um déficit do volume permanente do aquífero.

Figura 42 - Altura potenciométrica média do aquífero nos intervalos de classes, para o período de 1991 a 2010



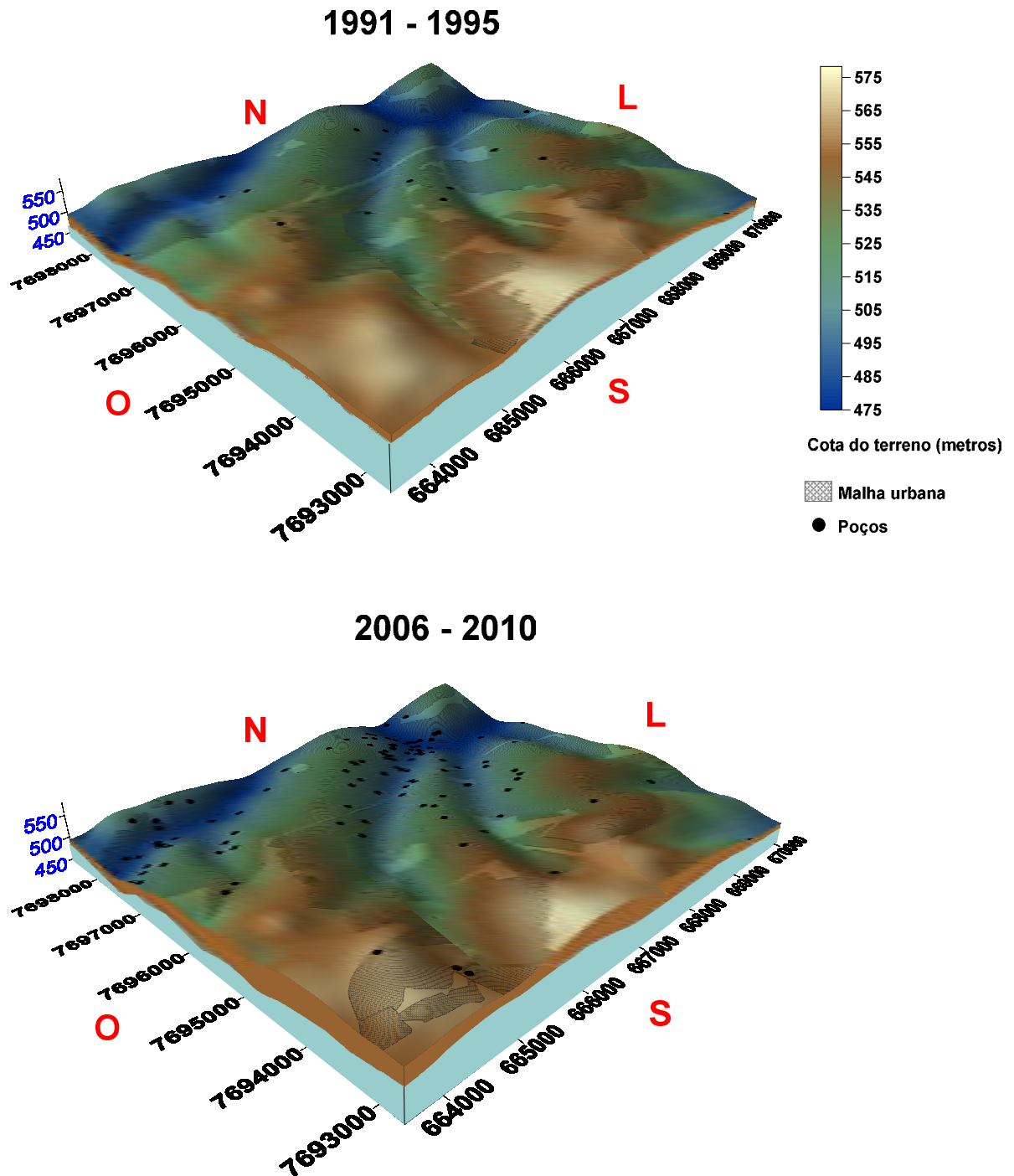
Fonte: Elaboração da própria autora.

Na Figura 43 e 44 foi ilustrado o rebaixamento do nível potenciométrico médio do aquífero nos intervalos de 1991-1995 e 2006-2010, sendo comparado o rebaixamento ocasionado em cada um dos extremos geográficos (S-O e N-L) para cada período descrito. Nota-se que o rebaixamento ocorreu de forma não homogênea sob a área analisada, contudo apresentou-se mais acentuado ao sul e ao oeste da região.

Percebe-se na Figura 44 que no extremo (N-L) praticamente não houve o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, razão explicada pela diferença de altura do terreno, visto que o fluxo da água subterrânea ocorre das cotas mais elevadas para as mais baixas. Portanto o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero neste extremo apresenta-se menor, considerando que o fluxo da água converge para esta região.

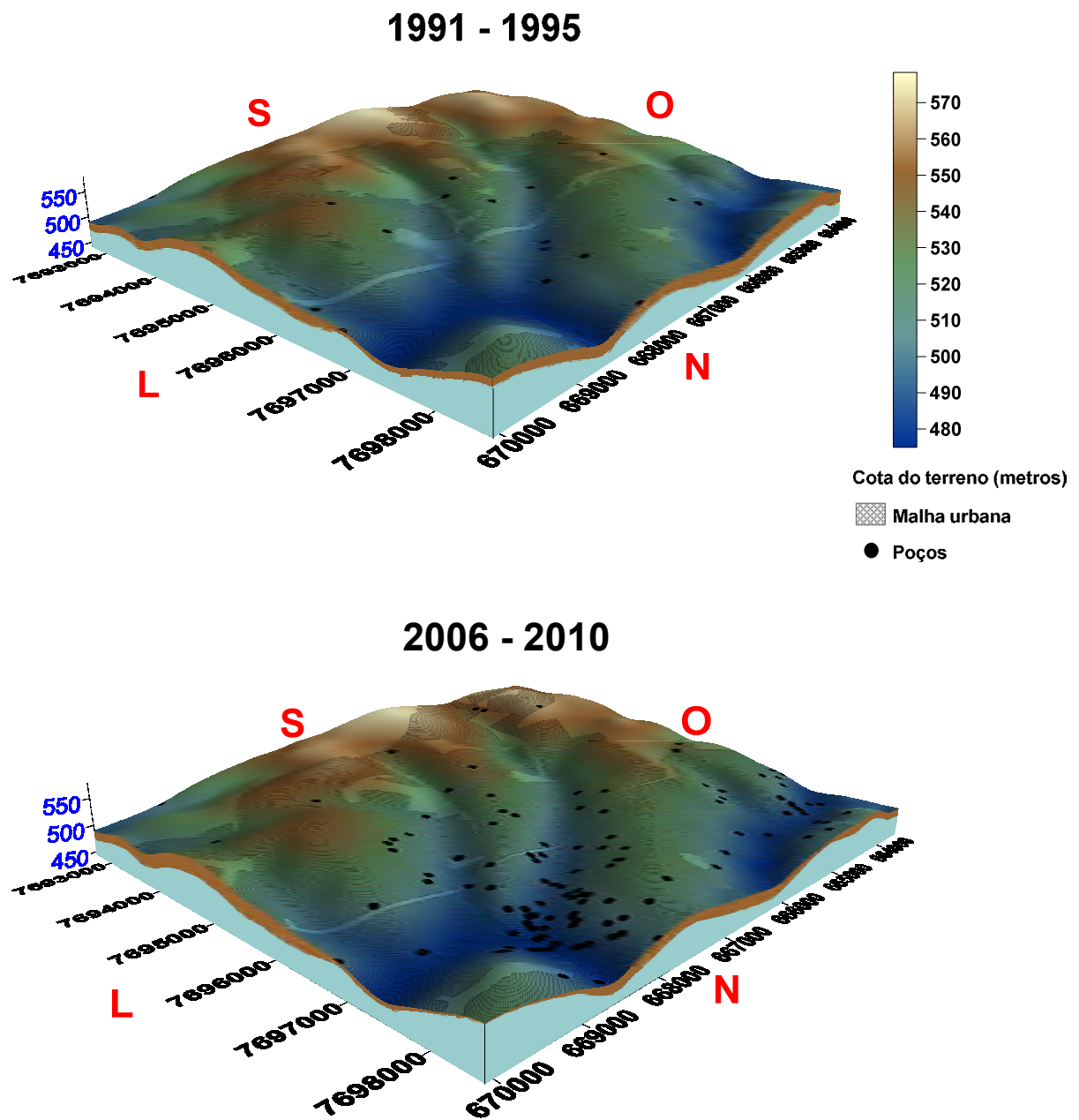
A rebaixamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru na região se deu, além da impermeabilização de áreas de recarga, pela extração excessiva de água subterrânea, que passou de 875 m³/d (18 poços) no período de 1991-1995 para 15.437 m³/d (252 poços) em 2006-2010, na área delimitada para estudo.

Figura 43 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (S-O) para as classes de 1991-1995 e 2006-2010



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 44 - Comparação do nível potenciométrico médio do aquífero no extremo geográfico (N-L) para as classes de 1991-1995 e 2006-2010



Fonte: Elaboração da própria autora.

Na Figura 45 pode-se observar o comportamento do nível potenciométrico médio do aquífero entre os anos de 1991 a 2010, divididos em 4 intervalos de 5 anos, do extremo (S-O) ilustrado nas Figuras 43 e 44. Ao compararmos o rebaixamento médio do nível

potenciométrico nos diferentes períodos, percebe-se que o processo intensificou-se nos últimos anos, em particular nas classes de 2001-2005 e 2006-2010.

Conforme previsto por Oliveira (2002), o processo de rebaixamento do nível potenciométrico na região central do Município de São José do Rio Preto foi intensificado com o aumento da impermeabilização do solo e da extração hídrica subterrânea.

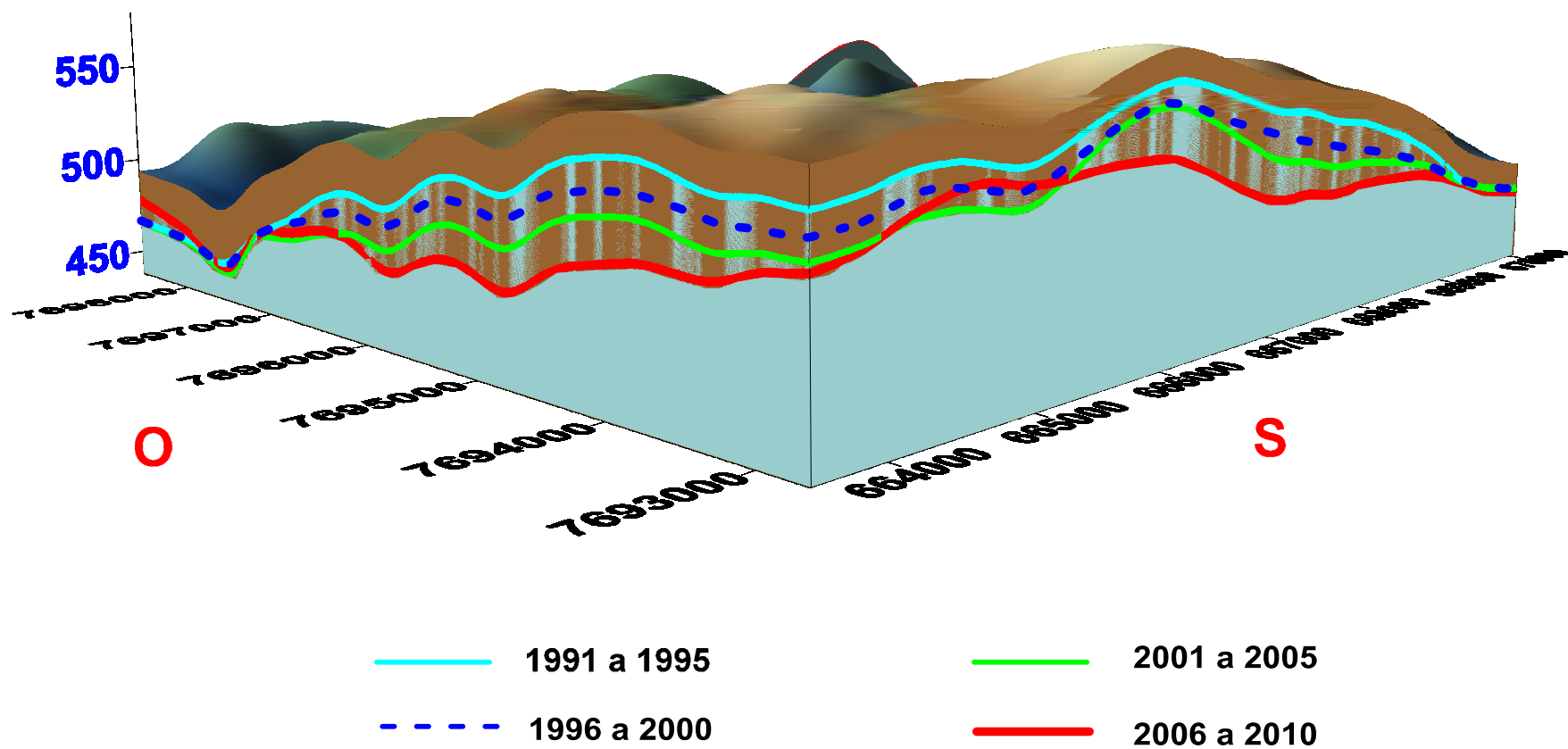
Hoque, Hoque e Ahmed (2007) obtiveram um rebaixamento aproximado de 5 m do nível de água de poços no Aquífero Dhaka em Bangladesh, na década de 1980, que no ano de 2003 chegou a atingir 45 m, com uma taxa anual de rebaixamento que passou de 1 m/ano para 2,5 m/ano na área urbana.

A influência da impermeabilização do solo na capacidade de recarga dos mananciais subterrâneos foi comprovada por Hoque, Hoque e Ahmed (2007), quando constataram que o nível da água dos poços localizados na área rural não apresentou rebaixamento, ao contrário dos poços que se localizavam na área urbana que apresentaram queda do nível potenciométrico do aquífero. Segundo os autores, o aumento da impermeabilização do solo em 2002 reduziu em 84 % a capacidade de recarga do manancial subterrâneo.

Ahmadi e Sedghamiz (2007) obtiveram uma redução de 1,05 m/ano no nível potenciométrico do aquífero na Planície de Darab, no sul do Irã, proporcionada pela exploração excessiva associada aos baixos índices de precipitação.

A extração excessiva de água subterrânea também ocasionou rebaixamento médio de 0,5 m/ano no Delta do Rio Vermelho – Vietnã, de 1,0 m/ano em Amman-Zarqa na Jordânia e no Delta do Ganges-Brahmaputra-Meghna (SHAMSUDDUHA et al., 2009; TA'ANY; TAHBOUB; SAFFARINI, 2009; BUI et al., 2012).

Figura 45 - Nível potenciométrico médio do aquífero em quatro classes de período

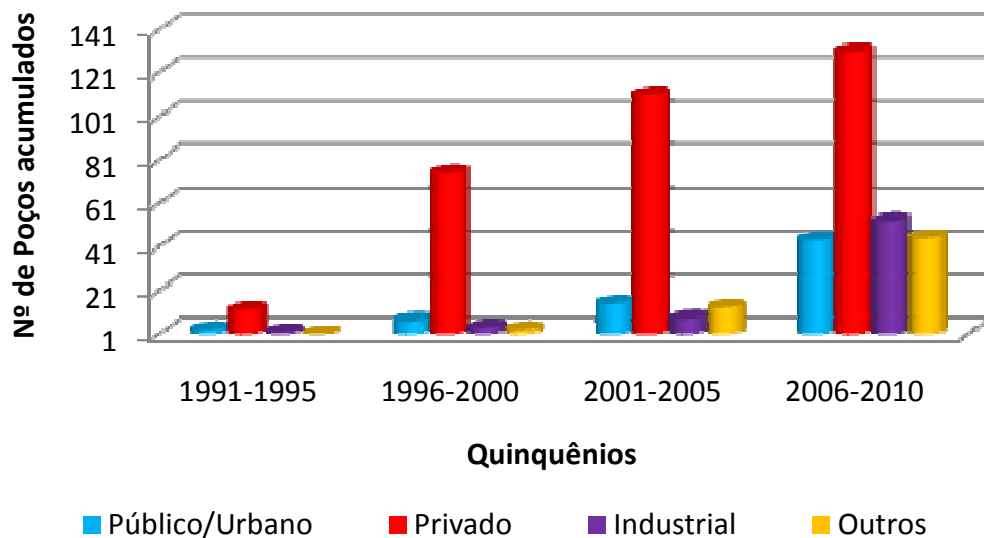


Fonte: Elaboração da própria autora.

Dos 270 poços cadastrados na região central do município, nota-se que 131 são destinados ao abastecimento privado, e 53 ao uso industrial, representando os principais usuários da água subterrânea nessa região (Figura 46).

O fato que pode justificar a quantidade acentuada de poços destinados ao uso doméstico no município consiste no surgimento de novos condomínios a partir da década de 1990.

Figura 46 - Evolução dos tipos de uso da água na região central do município



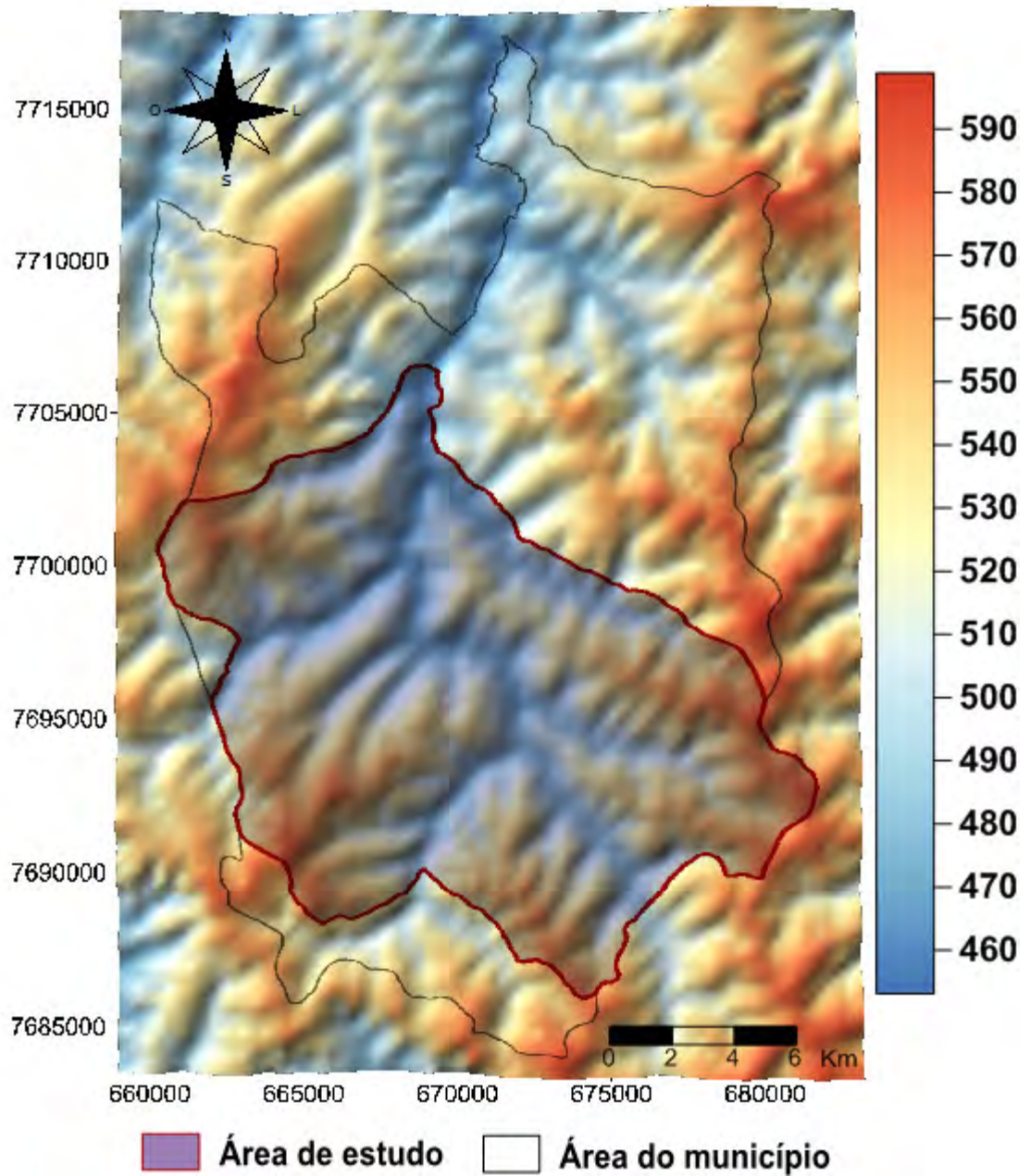
Fonte: Elaboração da própria autora.

5.3.1 COMPARAÇÃO COM O REBAIXAMENTO CONSTATADO POR OLIVEIRA (2002)

Oliveira (2002) estudou o comportamento do Aquífero Bauru em São José do Rio Preto e, considerando os fatores de captação de água, descarga e recarga do aquífero na época, observou uma taxa de rebaixamento de aproximadamente 0,15 m/ano do nível potenciométrico do manancial, pressupondo que esse índice aumentaria com o surgimento de novas aglomerações urbanas.

Na Figura 47 têm-se um MDE (Modelo Digital de Elevação) da região de São José do Rio Preto, com ilustração do limite municipal, bem como da localização da área de estudo do nível potenciométrico do Aquífero Bauru, proposta por Oliveira (2002).

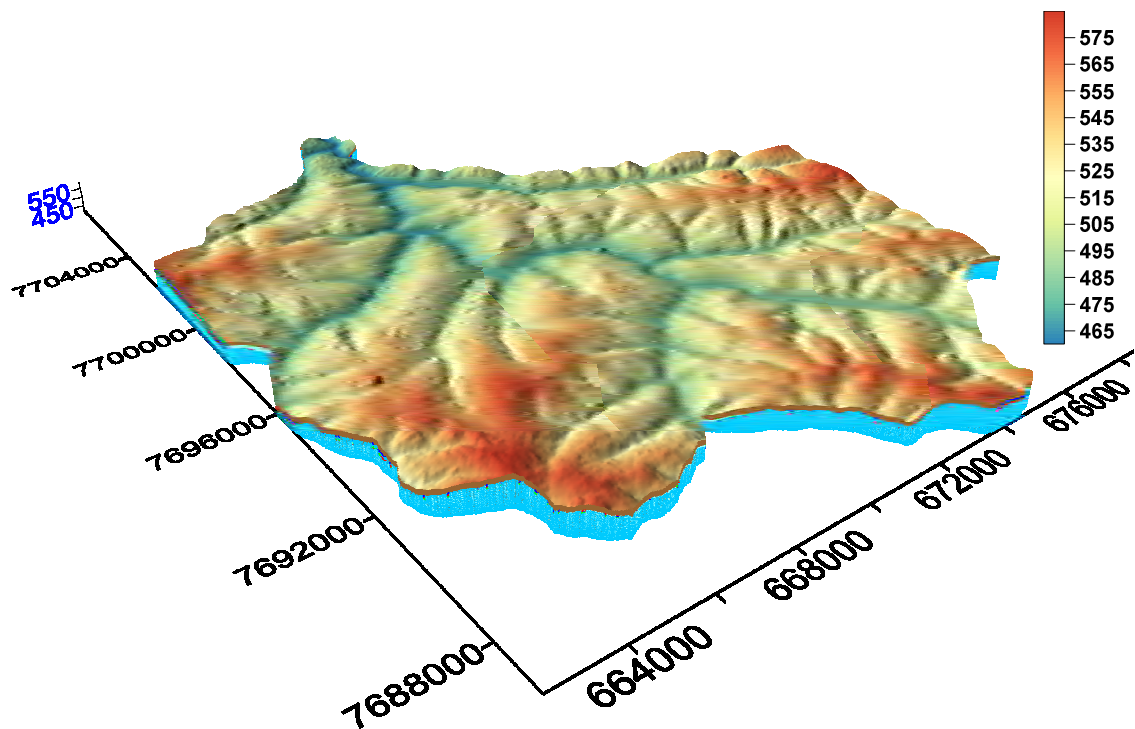
Figura 47 – Região do Município de São José do Rio Preto estudada por Oliveira (2002)



Fonte: Elaboração da própria autora.

Conforme ilustrado na Figura 48 foi utilizado o mesmo método da constatação do rebaixamento do nível potenciométrico descrito anteriormente e aplicado nesta área, porém foram escolhidos 3 intervalos de tempo: poços construídos até 1992, de 1993 a 2002 e de 2003 a 2012.

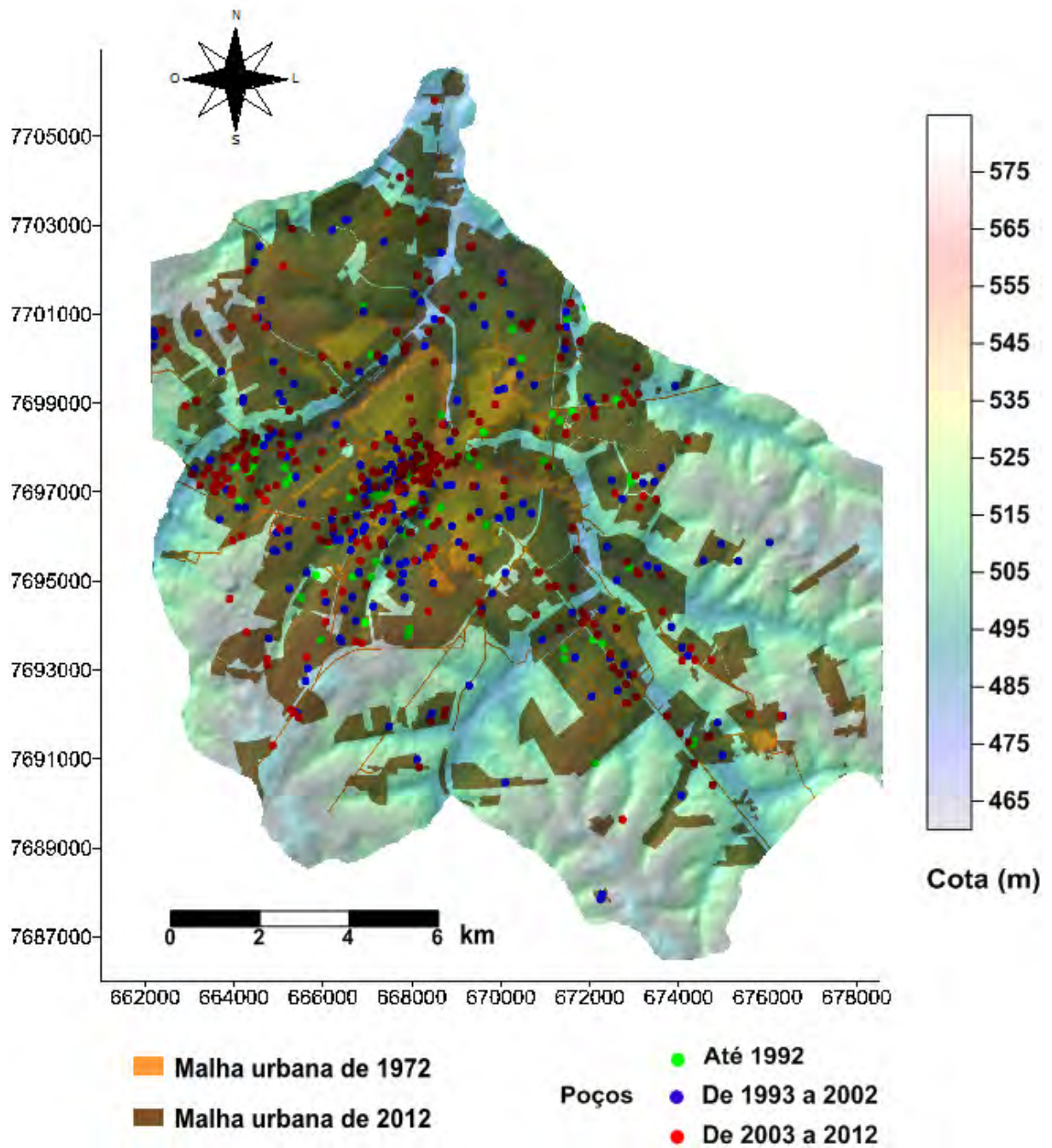
Figura 48 - Variação do nível potenciométrico do aquífero



Fonte: Elaboração da própria autora.

A interpolação das cotas do nível estático foi realizada com informações de 625 poços, sendo que para o intervalo de tempo até 1992 foram usados 78, no intervalo de 1993 a 2002 um total de 214 e, 333 poços para o período de 2003 a 2012 (Figura 49).

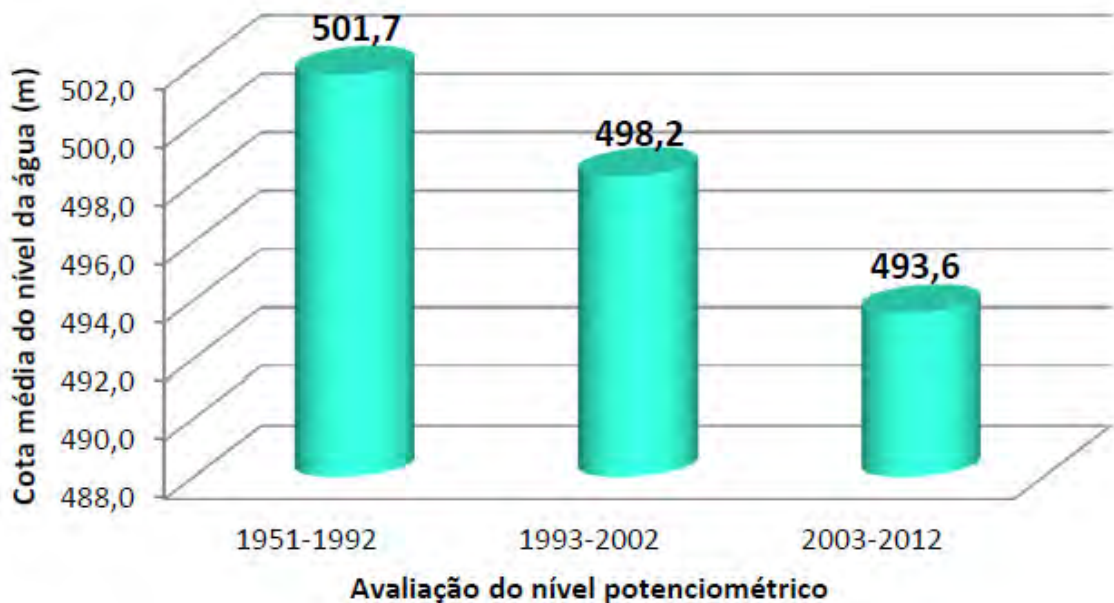
Figura 49 - Localização dos poços na área estudada



Fonte: Elaboração da própria autora.

Do período até 1992 para 1993-2002 foi constatado uma redução de 3,5 m no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, que se ampliou na década seguinte para 4,7 m, conforme Figura 50.

Figura 50 - Variação do nível potenciométrico médio do Aquífero Bauru



Fonte: Elaboração da própria autora.

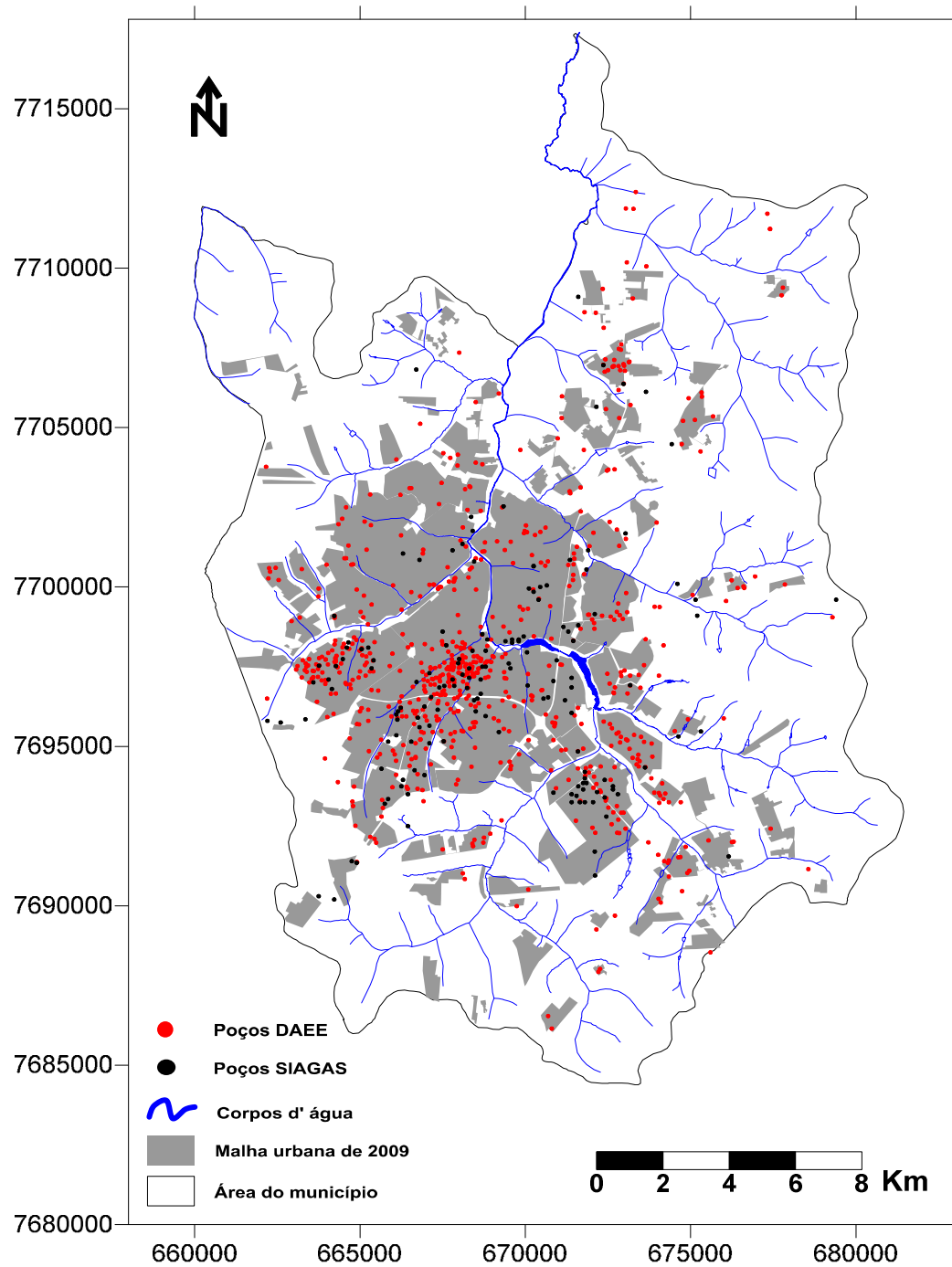
A taxa de rebaixamento observada por Oliveira (2002) de 0,15 m/ano na região ampliou-se para 0,47 m/ano no ano de 2012, sendo que após uma década a área urbana aumentou em 9,1 km² (9%) e a vazão explorada passou de 19.922 m³/d para 50.938 m³/d, apresentando um crescimento de 61% na extração de água.

O número de poços na região saltou de 292 para 625, sendo 53% de ampliação, reflexo do aumento de 40% da demanda de água, face ao aumento populacional e desenvolvimento econômico da região. Tais fatores contribuíram de forma significativa para intensificar o processo de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, conforme previsto em 2002, considerando a interferência do aumento da malha urbana e da extração de água.

5.4 ASPECTOS QUALI-QUANTITATIVO DOS POÇOS

A localização dos 873 poços analisados nesta pesquisa pode ser visualizada na Figura 51, demonstrando ainda a origem dos poços coletados, ou seja, 702 poços no DAEE de Araraquara e 171 no SIAGAS.

Figura 51 – Localização dos poços analisados na pesquisa

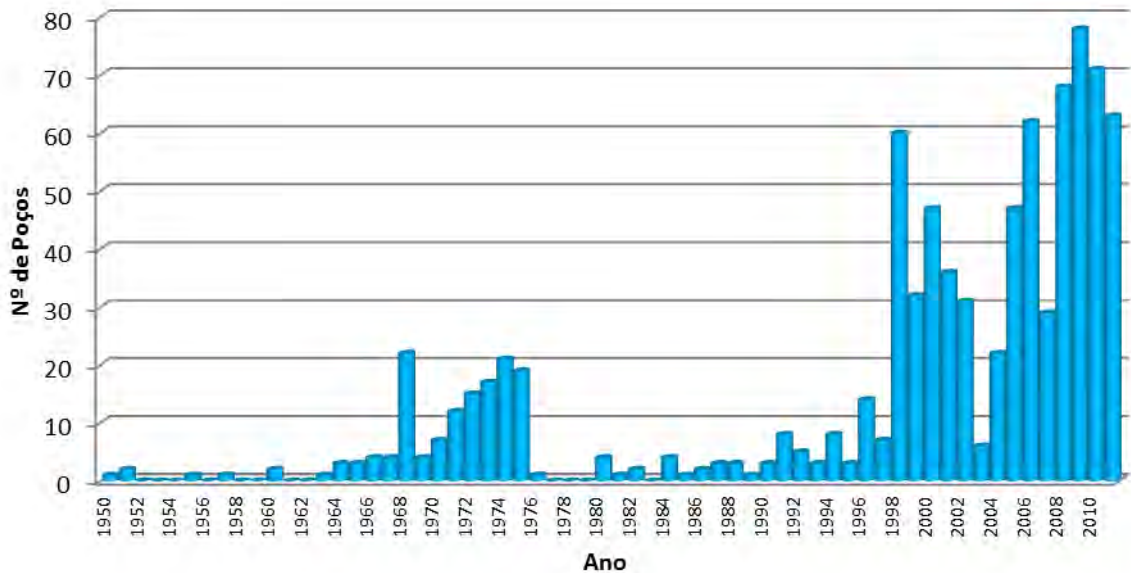


Fonte: DAEE e SIAGAS (2013).

Conforme demonstrado na Figura 52 a perfuração de poços no Município de São José do Rio Preto iniciou-se em 1950 e apresentou registros até 2011, sendo que 2009 foi o ano com maior número de perfurações, cerca de 78 poços. Entretanto nos anos de 1952, 1953, 1954, 1956, 1958, 1959, 1961, 1962, 1977, 1978, 1979 e 1983 não foram encontrados

registros de perfurações. Nesta análise foram excluídos 9 poços que não possuíam data de perfuração, utilizando-se 864 poços.

Figura 52 - Total de perfurações anuais no período de 1950 a 2011



Fonte: Elaboração da própria autora.

O estudo permitiu identificar que, dos períodos analisados, a década de 2000 apresentou o maior número de perfurações de poços (378), seguida pela década de 1990, com 138 perfurações (Figura 52 e Figura 53). Vale ressaltar que a década de 2010 é compreendida por apenas dois anos, 2010 e 2011, não sendo encontrados registros de poços perfurados em 2012 e, mesmo assim apresentou uma quantidade significativa de perfurações. Esse aumento, ocorrido nas últimas décadas, se deve à crescente demanda hídrica dos diversos usuários.

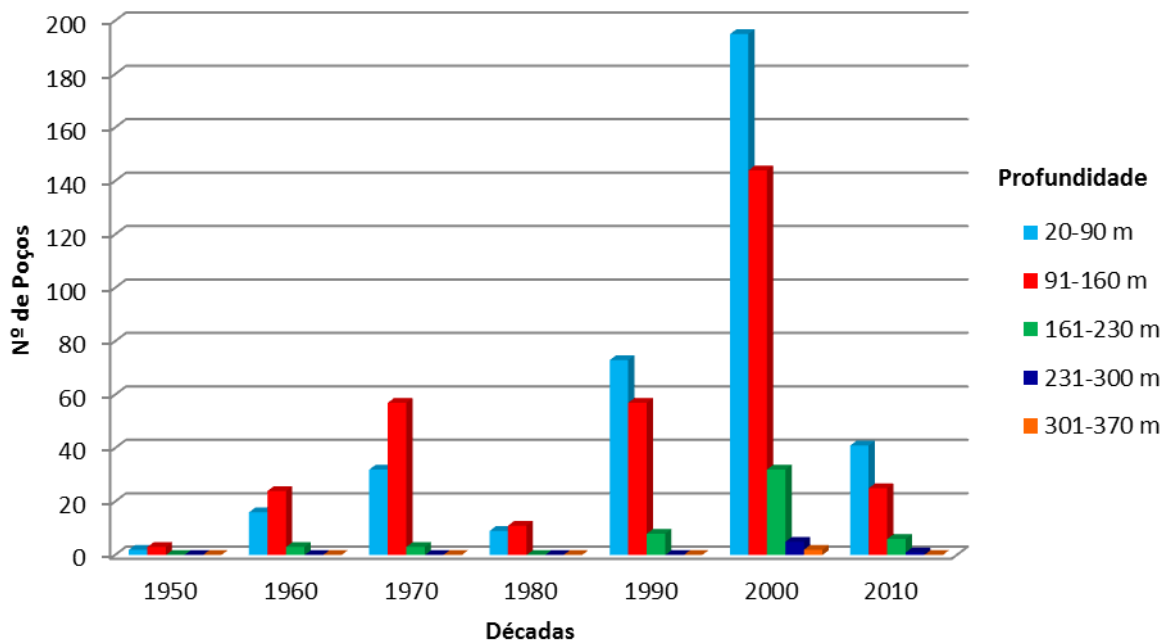
O número de perfurações aumentou consideravelmente em todas as classes de profundidade, porém nas classes mais rasas (20-90m e 91-160m) demonstrou-se mais acentuada (Figura 53).

Os poços perfurados nas profundidades mais rasas geralmente se devem à menor vazão requerida e ao menor custo de construção e instalação, porém deve ser observado que o reflexo do rebaixamento do nível potenciométrico terá maiores implicações nas menores classes de profundidade, podendo até o poço vir a secar.

Um fator também a ser considerado é que devido a facilidade de perfuração nas profundidades mais rasas, muitos poços são construídos clandestinamente, trazendo sérias

consequências, não só pelo fato do bombeamento influenciar em poços vizinhos, mas também por causar risco de alteração da qualidade da água do manancial.

Figura 53 - Número de poços em décadas e por classe de profundidade

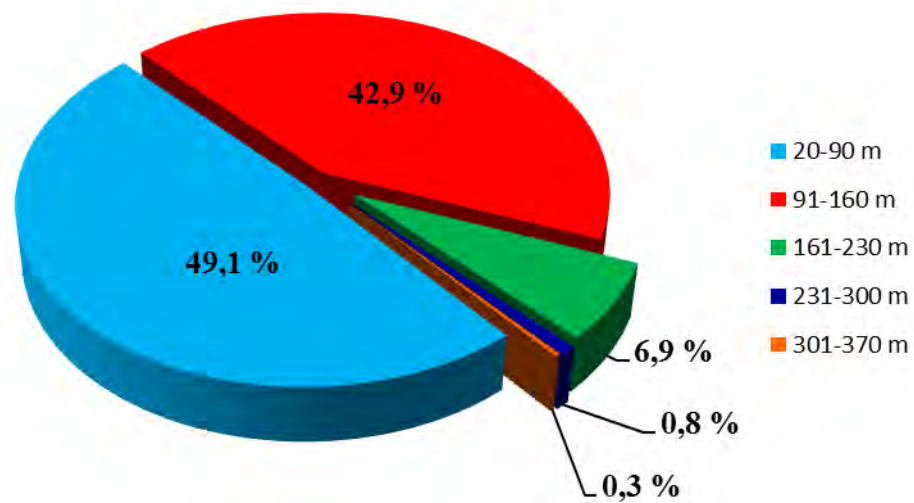


Fonte: Elaboração da própria autora.

A classe de profundidade de 20-90 m representa 49,1% (368 poços) do total perfurado na região de estudo, a classe de 91-160 m possui 42,9% (321 poços) e, os 8% restantes correspondem às classes acima de 161 m (Figura 54). Nesta avaliação foram utilizados 749 poços que apresentavam dados de profundidade e data de perfuração, sendo excluídos 126 pela ausência destas informações.

Embora as classes acima de 231 m representem em percentagem menor quantidade de poços, é justamente nestas classes que se encontram os poços utilizados para o abastecimento público do município, devido ao uso requerer maiores vazões.

Figura 54 - Distribuição dos poços nas classes de profundidade



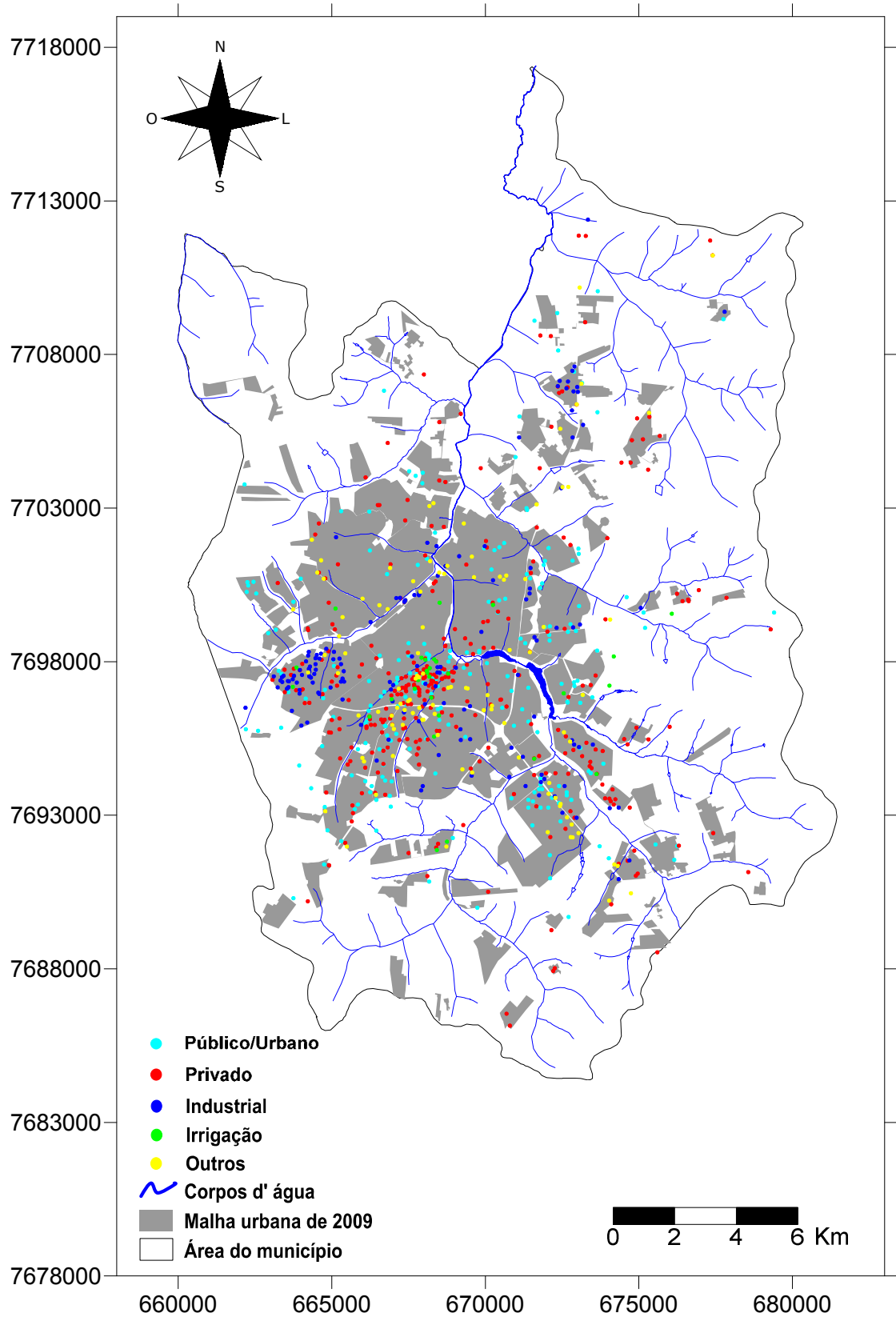
Fonte: Elaboração da própria autora.

Verificou-se também diversos tipos de usos para a água subterrânea captada no Município de São José do Rio Preto, como público/urbano (poços do SeMAE e da prefeitura), privado (poços em chácaras, lojas, postos de combustível, residências e condomínios), industrial, irrigação e outros.

A distribuição dos poços de acordo com o uso da água pode ser visualizada na Figura 55. Nota-se a concentração dos poços de uso industrial na porção oeste do município e uma distribuição homogênea para os demais usos.

A grande quantidade de poços destinados ao uso industrial, explica-se pela caracterização da área localizada na porção oeste, ou seja, configura-se como um pólo industrial, conforme observado na Figura 56.

Figura 55 - Distribuição dos poços por tipo de uso da água



Fonte: Elaboração da própria autora

Figura 56 - Imagens de satélite (Google Earth) do Município de São José do Rio Preto, com detalhe de área caracterizada por pólo industrial

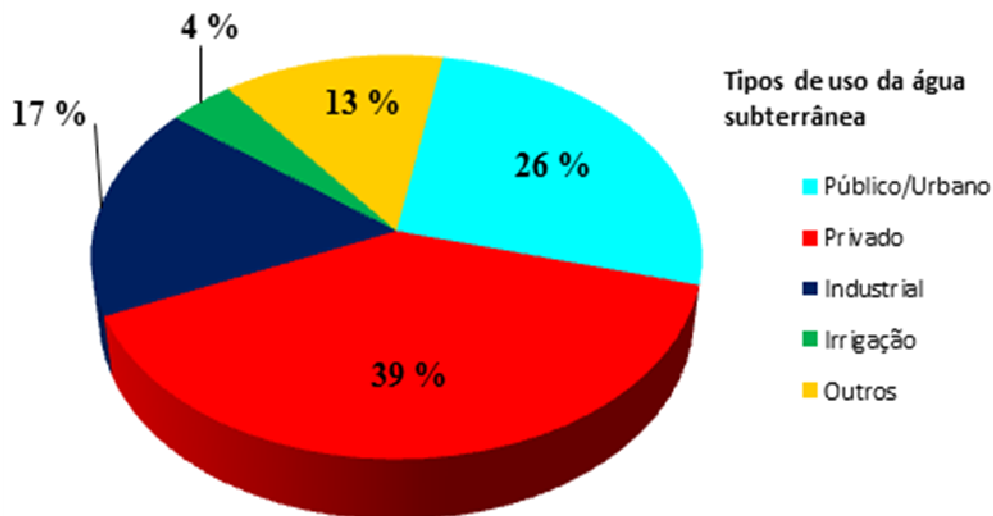


Fonte: Elaboração da própria autora.

O uso preponderante do município representado por 39% do total (288 poços) é o abastecimento privado, seguido pelo abastecimento público/urbano com 26% (195 poços) (Figura 57). A quantidade de poços com informações de profundidade e tipo de uso da água utilizada foi de 737 poços, sendo excluídos 136 que não continham essas informações.

O aumento de perfurações destinadas ao abastecimento privado na última década deve-se, dentre outros fatores, ao fato do SeMAE (Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto) não se responsabilizar pelo fornecimento de água aos novos loteamentos e empreendimentos. Assim, na ausência de disponibilidade técnica, econômica e financeira, a responsabilidade da operação e manutenção do sistema de abastecimento será dos novos usuários, conforme Art. 130 do Decreto Municipal nº 13.265 de 2006.

Figura 57 - Porcentagem de uso da água subterrânea no Município de São José do Rio Preto

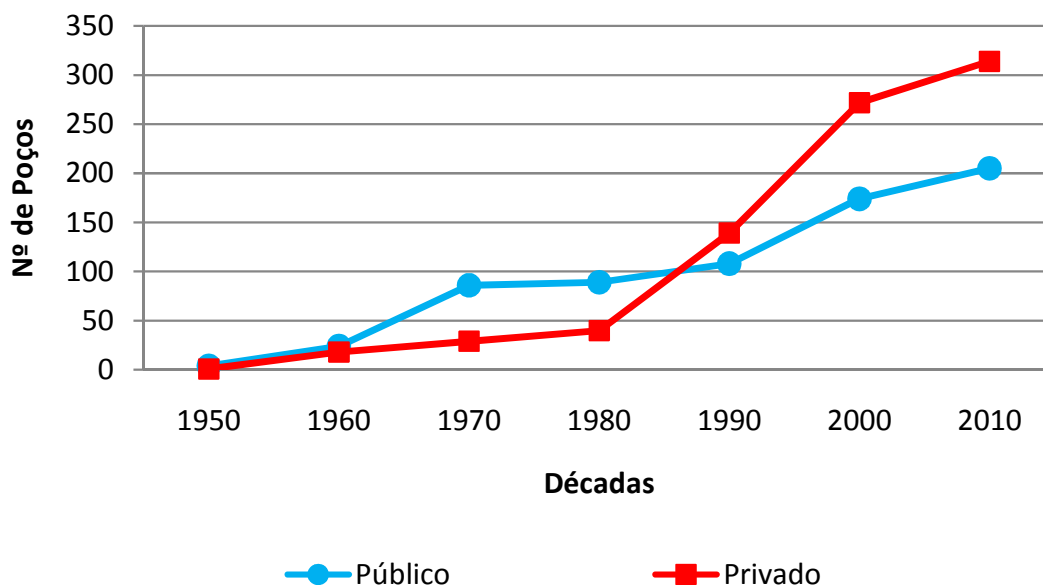


Fonte: Elaboração da própria autora.

Observando a quantidade das perfurações destinadas ao abastecimento público e ao abastecimento privado, nota-se que nas décadas de 1950 e 1960 havia pouca diferença entre esses tipos de uso, que equivalia a quantidade de 3 poços a mais destinados ao abastecimento público. Na década de 1970, o abastecimento público apresentou 62 novas perfurações, destacando-se em relação às 11 perfurações do uso privado, contudo a partir da década de 1990 o surgimento das perfurações destinadas ao abastecimento privado foram superiores às do abastecimento público (Figura 58).

Um fator que pode ter contribuído para o aumento das perfurações destinadas ao abastecimento privado, é a tarifação do abastecimento público, tarifa de água cobrada pelo SeMAE (Serviço Municipal Autônomo de Água e Esgoto), visto que os proprietários de poços outorgados no uso privado, não pagam pelo uso da água.

Figura 58 - Crescimento do abastecimento público X abastecimento privado



Fonte: Elaboração da própria autora.

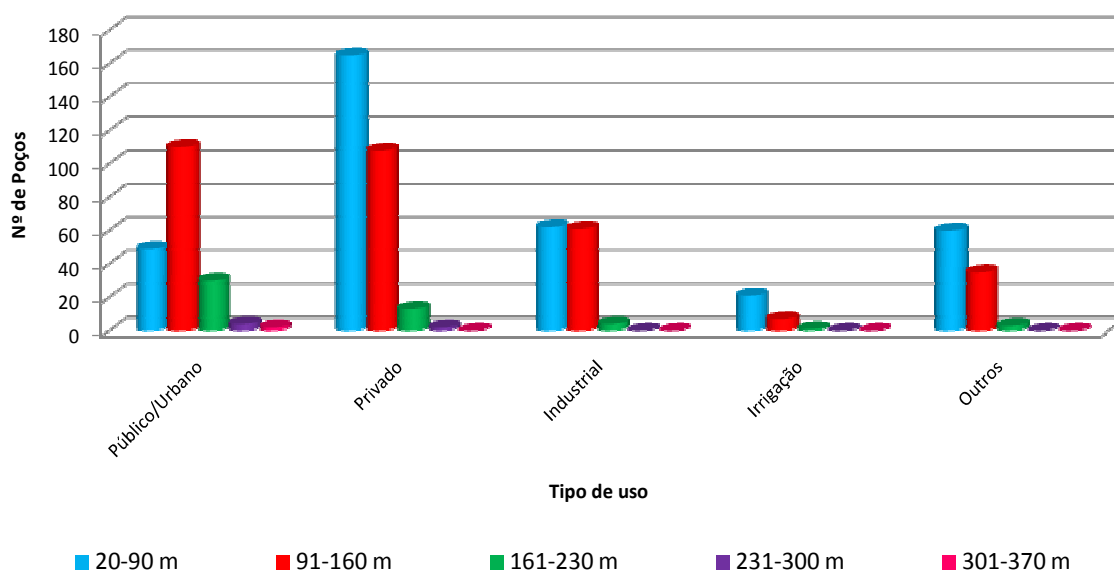
Analisando os tipos de uso da água e as profundidades desses poços, verifica-se que as classes mais profundas (231-300m e 301-370m) não englobam poços com a finalidade de utilização industrial, para irrigação e demais usos, sendo perfurados apenas para suprir as demandas de abastecimento público/urbano e privado (Figura 59).

A grande quantidade de poços em profundidades mais rasas pode ser explicada pela facilidade de construção, associada ao menor custo de perfuração e instalação. Dessa maneira muitos proprietários quando necessitam maior volume de água, preferem fazer dois poços mais rasos ao invés de um poço mais profundo.

O abastecimento público/urbano apresenta a maior concentração de poços na classe de profundidade de 91-160m (110 poços), enquanto que no abastecimento privado a classe predominante é de 20-90m (165 poços), já no abastecimento industrial estas classes dividem-se igualmente (Figura 59).

A variabilidade das perfurações destinadas ao abastecimento público, privado e industrial se deve a vazão requerida por cada usuário de determinada classe de uso, pois quanto mais profundo o poço maior a possibilidade do volume de água captado, podendo ser explorado mais de um aquífero.

Figura 59 - Tipo de utilização das captações de água por classes de profundidade



Fonte: Elaboração da própria autora.

Em decorrência da maior concentração de poços na profundidade de 20-90 m foi analisada a tendência de uso da água para as novas perfurações desenvolvidas nessa classe de profundidade. O comportamento na classe de 91-160 m assemelha-se a classe anterior, devido esse fato não foi descrito no trabalho, sendo a última classe avaliada a de 161-230 m, pois em profundidade superior não havia dados significativos para representação.

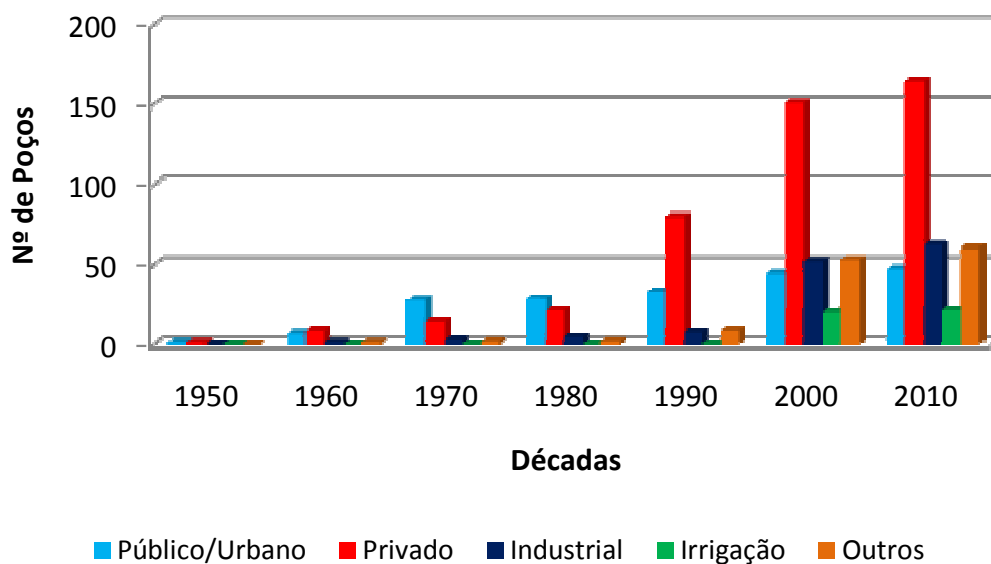
O surgimento das novas perfurações para extração de água subterrânea na classe de profundidade de 20-90 m em todo o período de tempo analisado (décadas de 1950 a 2010) é apresentado na Figura 60. O Município de São José do Rio Preto possui 355 poços cadastrados nessa classe de profundidade, que continham informações de tipo de uso da água, data de instalação e profundidade.

Nessa classe de profundidade, predomina-se a utilização de água no abastecimento privado com 165 poços, nota-se a pequena evolução das perfurações destinadas ao abastecimento público/urbano da década de 1970 a 2010, com um aumento gradativo das demais classes de uso nas últimas décadas (Figura 60).

A pouca evolução da utilização da água para abastecimento público/urbano nessa classe de profundidade ocorreu possivelmente em decorrência do aumento pela demanda hídrica, visto que se buscam poços mais profundos para garantir o sistema de abastecimento. Outro

fator relevante é o baixo custo de perfuração nessa classe, que facilita a construção de poços para os demais tipos de uso.

Figura 60 - Utilização da água subterrânea na profundidade de 20-90m

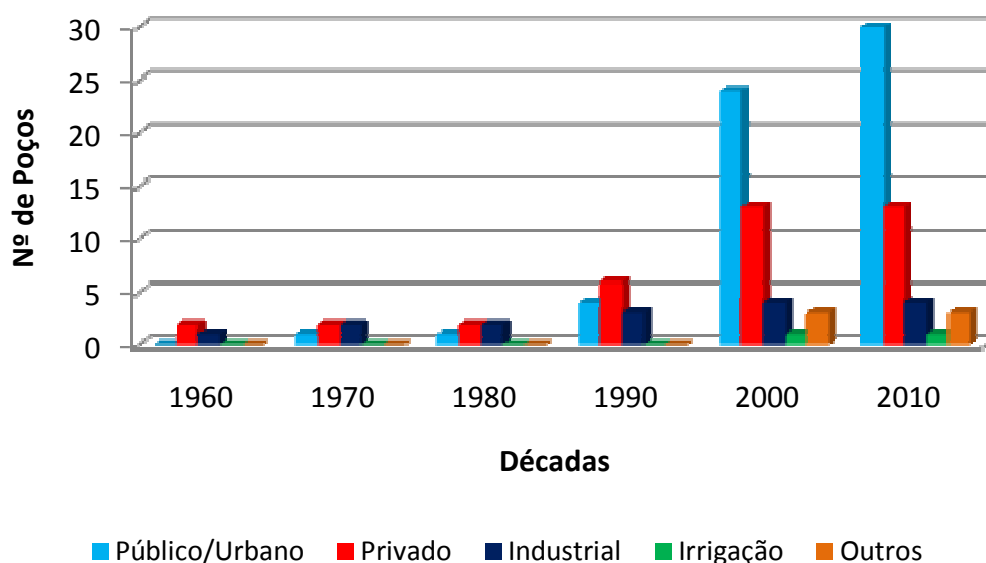


Fonte: Elaboração da própria autora.

Para a classe de profundidade de 161-230 m utilizou-se 51 poços, sendo o uso predominante o abastecimento público/urbano. Não foi possível analisar os usos da água subterrânea nas décadas de 1950 e 1980, devido à ausência de dados para esta classe de profundidade.

Observa-se um constante aumento da quantidade de poços para o abastecimento público nas últimas décadas em decorrência do aumento na vazão demandada, havendo pouca variação da quantidade utilizada para os demais usuários (Figura 61).

Figura 61 - Utilização da água subterrânea na profundidade de 161-230m



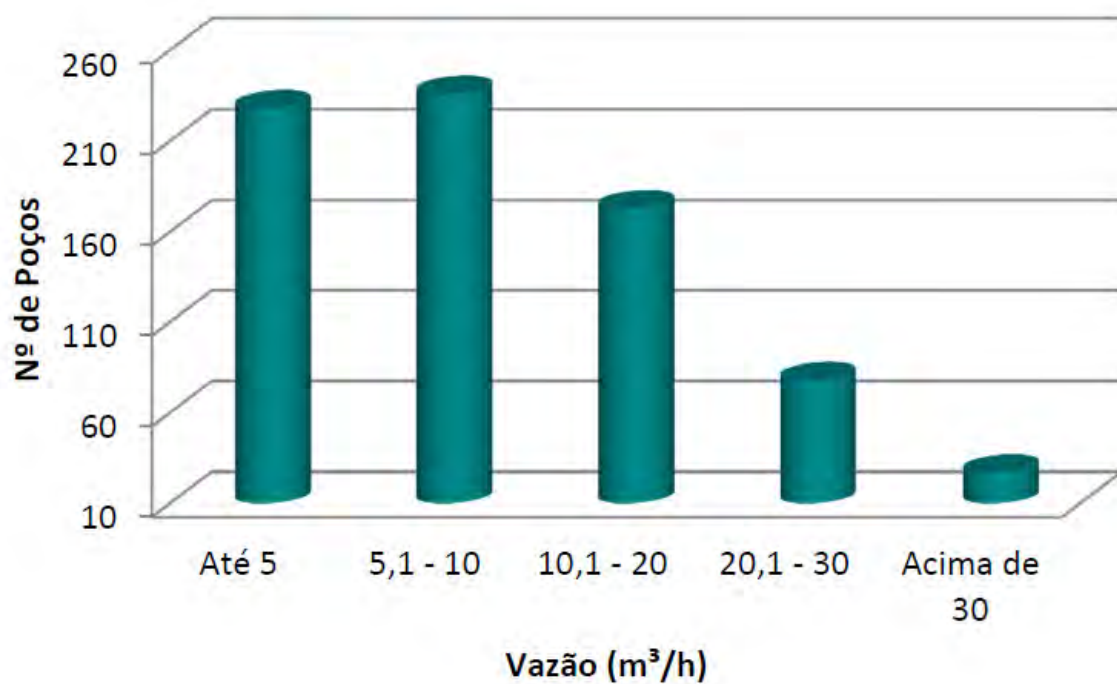
Fonte: Elaboração da própria autora.

A vazão dos poços que captam no Aquífero Bauru e no Serra Geral em São José do Rio Preto, varia entre 0,16 a 100 m³/h, sendo que a maioria dos poços apresentam menores vazões nas classes de 5,1-10 m³/h (236 poços) e até 5 m³/h (228 poços) (Figura 62). Dos 873 poços cadastrados no município, 742 apresentam dados de vazão, portanto foram excluídos 131 poços pela falta desta informação.

O fato da grande maioria dos poços apresentarem vazões baixas pode-se relacionar com a concentração deles nas classes de profundidade mais rasas, seja pelo fato do usuário não necessitar de grandes vazões ou mesmo pela facilidade de construção e instalação do poço.

Portanto, novamente deve ser focado o problema da falta de gerenciamento da exploração, visto que muitas perfurações, clandestinas ou não, podem estar sendo realizadas sem que se respeite um limite seguro entre poços, ou mesmo, sem respeitar as normas de segurança de construção para proteção do aquífero.

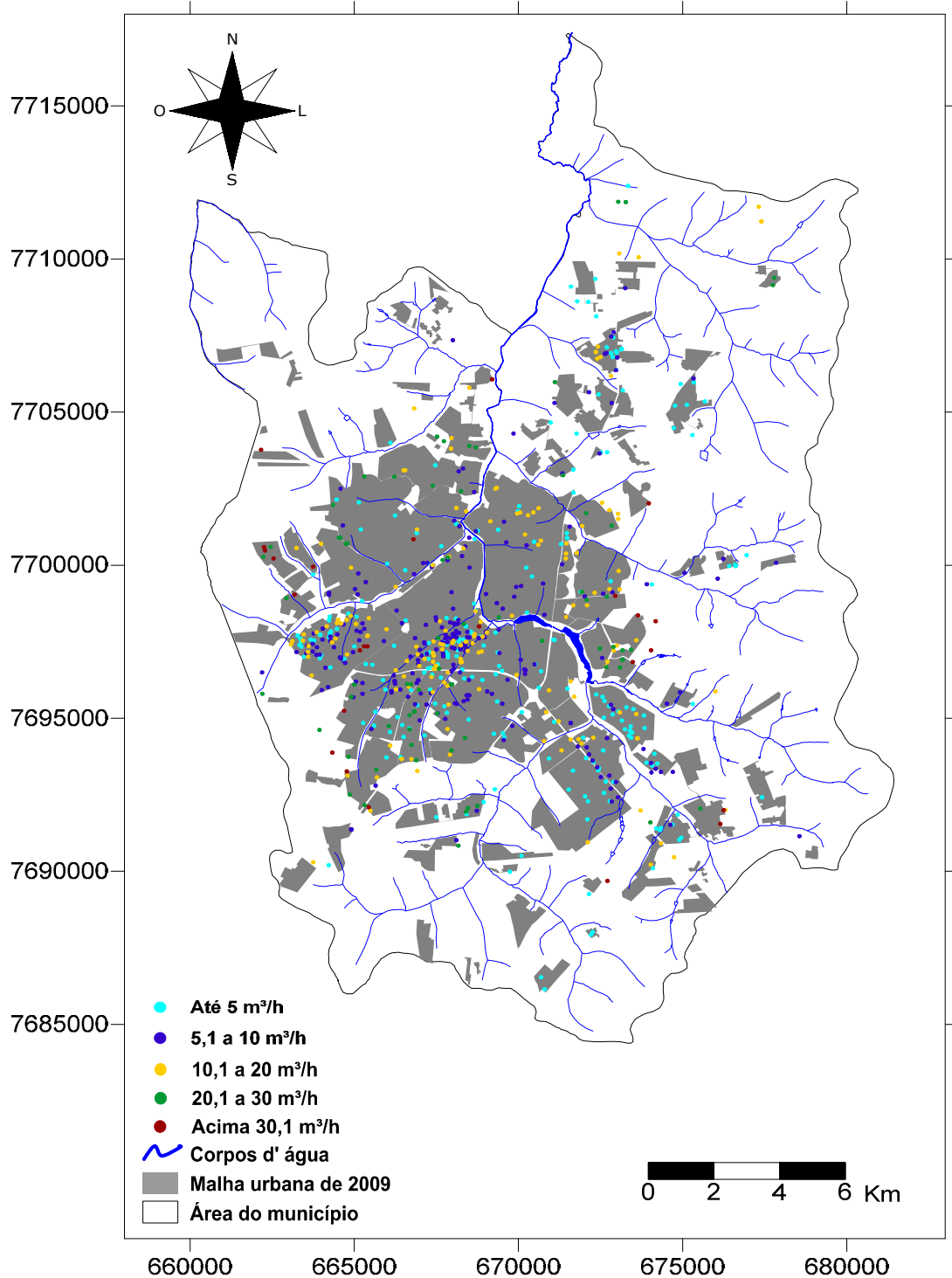
Figura 62 - Vazão dos poços do Município de São José do Rio Preto



Fonte: Elaboração da própria autora.

A localização dos poços por classes de vazão nominal está representada na Figura 63.

Figura 63 - Distribuição dos poços no Município de São José do Rio Preto por classes de vazão nominal



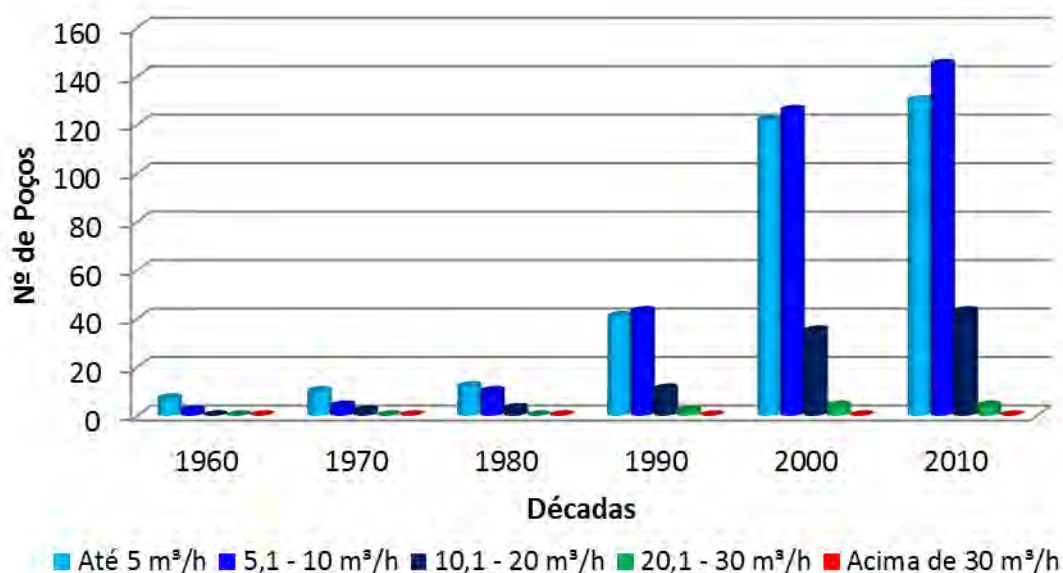
Fonte: Elaboração da própria autora.

Analisando a distribuição das vazões por classes de profundidade, verificou-se que a classe de 20-90 m de profundidade era a que continha o maior número de poços cadastrados.

A classe de 91-160 m também apresentou grande quantidade de poços cadastrados, sendo que a classe de 161-230 m houve menor quantidade e, acima de 231 m poucos poços cadastrados, portanto nessa profundidade não foi possível análise.

Nota-se na profundidade de 20-90 m a predominância das vazões de 5,1-10 m³/h, sendo utilizados 322 poços nessa avaliação. Essas vazões destacaram-se principalmente nas últimas décadas (1990, 2000 e 2010), seguidas pelas vazões inferiores a 5 m³/h. As demais classes mostram uma estabilidade nas duas últimas décadas, não havendo registro de poços com vazões acima de 30 m³/h (Figura 64).

Figura 64 – Evolução da vazão captada na profundidade de 20-90m

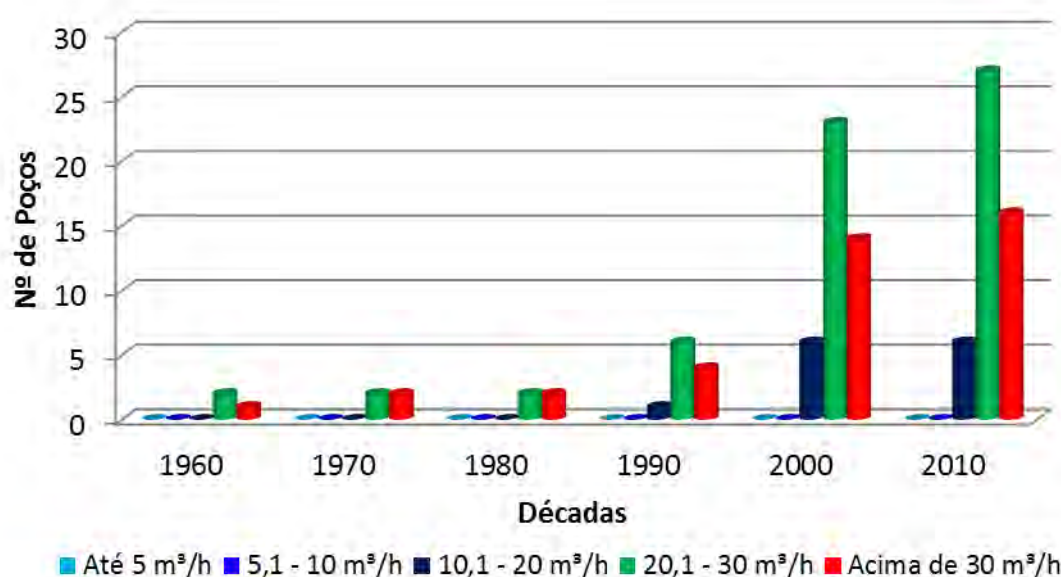


Fonte: Elaboração da própria autora.

Para a classe de profundidade de 161-230 m foram utilizados 49 poços, sendo que para a década de 80 não ocorreu registros de perfurações. As vazões acima de 20 m³/h destacaram-se nessa classe de profundidade nas últimas décadas (1990, 2000 e 2010), podendo ser observado que não houve registro de poços com vazões inferiores a 5 m³/h e de 5,1 a 10 m³/h (Figura 65).

Logo, a crescente demanda pela água nas décadas atuais contribuiu para o aumento das vazões captadas, fazendo com que as perfurações se dessem a profundidades cada vez maiores.

Figura 65 - Evolução da vazão captada na profundidade de 161-230m



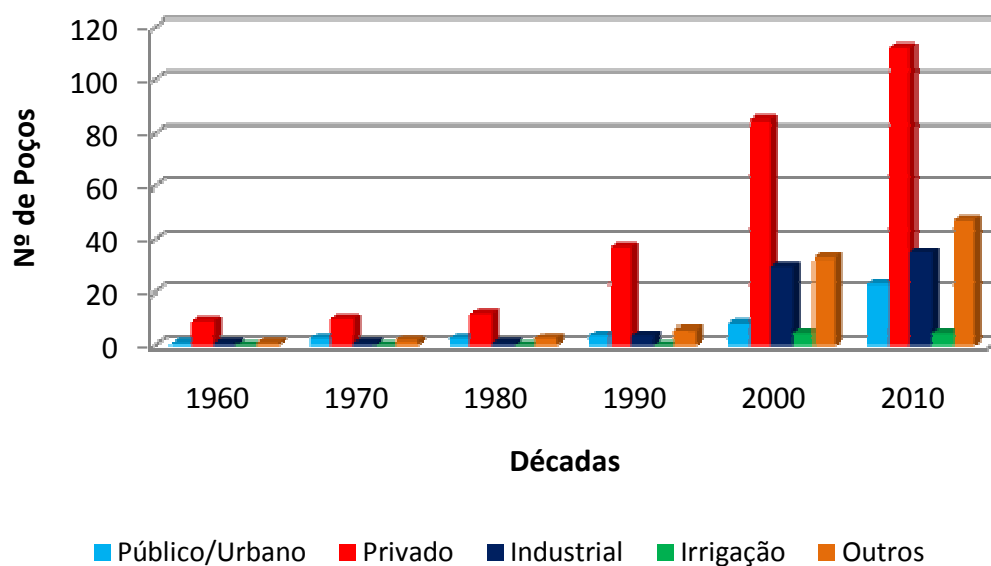
Fonte: Elaboração da própria autora.

O tipo de utilização da água foi analisado em cinco classes de vazão, bem como a sua variação de acordo com a década.

O tipo de uso da água subterrânea na classe de vazões inferiores a 5,1 m³/h foi analisado devido à predominância dessas vazões, sendo que os resultados das classes de 5,1-10 m³/h e de 10,1-20 m³/h, por demonstrarem comportamento semelhante ao da classe até 5,1 m³/h não foram apresentados, sendo também apresentada a classe de 20,1-30 m³/h e, excluída a acima de 30 m³/h, por haver poucos dados.

Na classe inferior a 5,1 m³/h utilizou-se 222 poços, notando-se o destaque do abastecimento privado, seguido por outros tipos de utilização. Com essa vazão são poucos os poços destinados ao abastecimento público/urbano cadastrados (Figura 66).

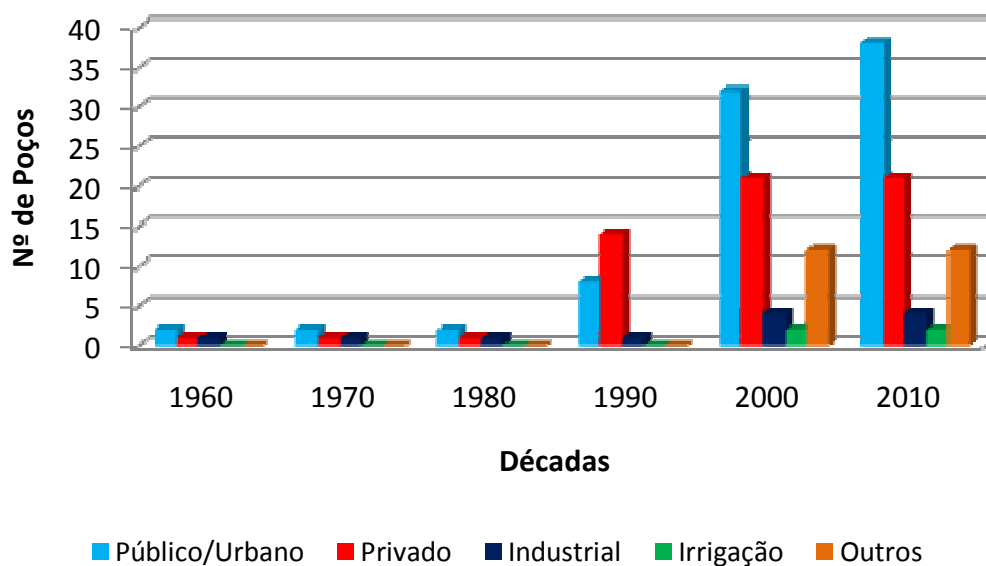
A quantidade de poços destinados aos usos que são facilmente supridos por vazões menores aumentou notadamente, enquanto aqueles que necessitam de maiores vazões apresentaram pouca evolução.

Figura 66 - Avaliação do uso da água subterrânea nas captações inferiores a 5,1 m³/h

Fonte: Elaboração da própria autora.

Com informações de 77 poços foram analisadas as vazões de 20,1 a 30 m³/h, que apresentaram comportamento diferente da classe anterior, tendo-se como uso predominante o abastecimento público/urbano, com crescente evolução a partir da década de 2000. Os demais tipos de uso apresentam-se estáveis na última década. Não foram demonstradas alterações nas décadas de 1970 e 1980, devido ausência de dados (Figura 67).

Figura 67 - Avaliação do uso da água subterrânea nas captações de 20,1 a 30 m³/h

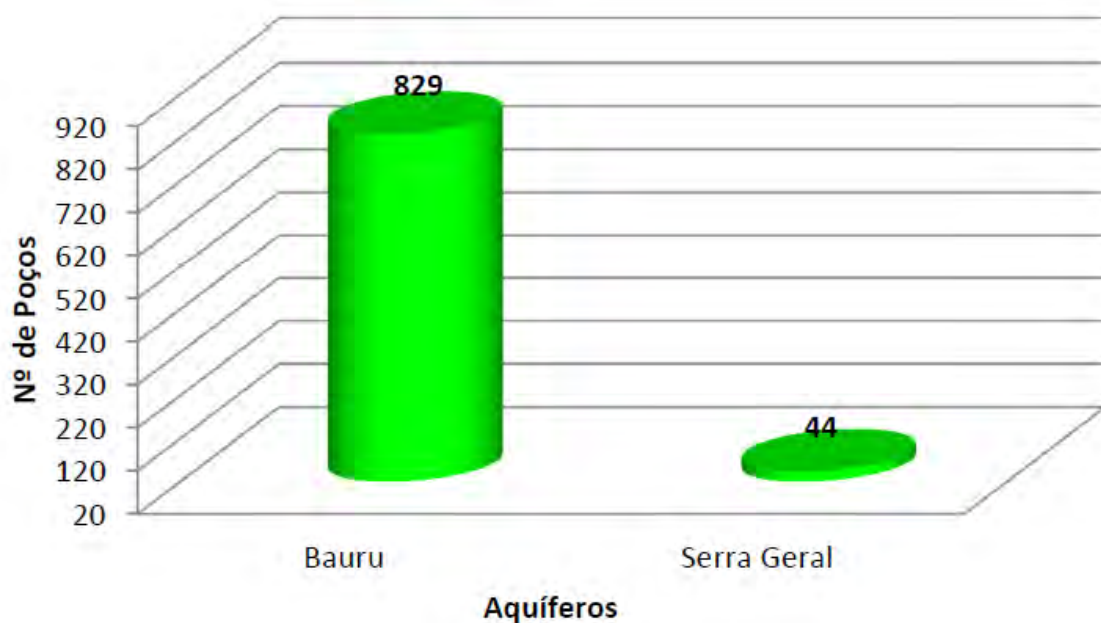


Fonte: Elaboração da própria autora.

O aumento da quantidade de poços cadastrados no uso público/urbano nas duas últimas classes relaciona-se diretamente com a busca por uma vazão maior, tendo em vista a demanda crescente em virtude do aumento populacional e do desenvolvimento do município.

Dos poços catalogados em São José do Rio Preto e utilizados nesta pesquisa, 829 captam água do Aquífero Bauru e 44 do Aquífero Serra Geral (Figura 68). Esse fato se deve às condições estratigráficas e geológicas destas formações, que proporcionam maior facilidade de construção e perfuração de poços no Aquífero Bauru, sendo que na procura por uma maior vazão, os poços penetram parcialmente o Aquífero Serra Geral.

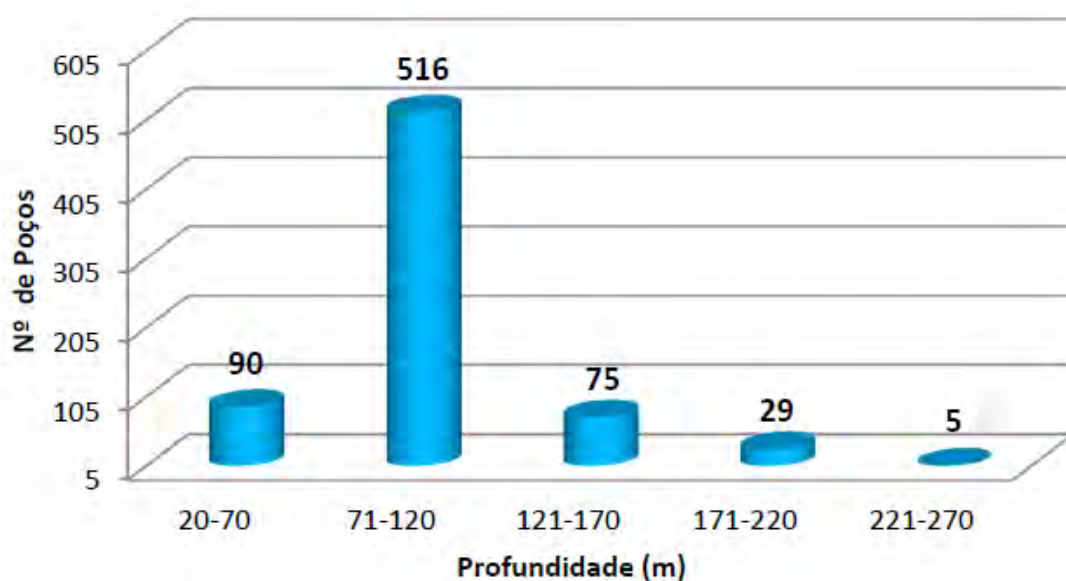
Figura 68 - Número de poços perfurados no Município de São José do Rio Preto por manancial subterrâneo



Fonte: Elaboração da própria autora.

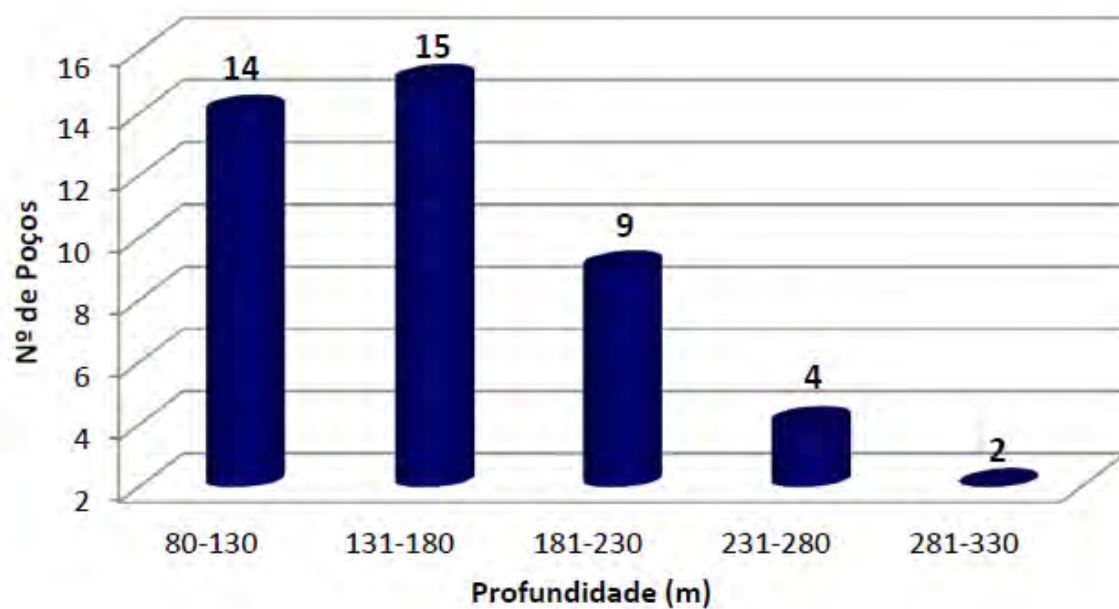
A profundidade dos poços que exploram o Aquífero Bauru concentra-se na faixa de 71-120 m, sendo que para esta análise foram utilizados 715 poços com esta informação (Figura 69). No Aquífero Serra Geral varia entre 131-180 m e todos os poços que captam água nesta formação possuem dados de profundidade (Figura 70).

Figura 69 - Profundidade dos poços perfurados no Aquífero Bauru



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 70 - Profundidade dos poços perfurados no Aquífero Serra Geral

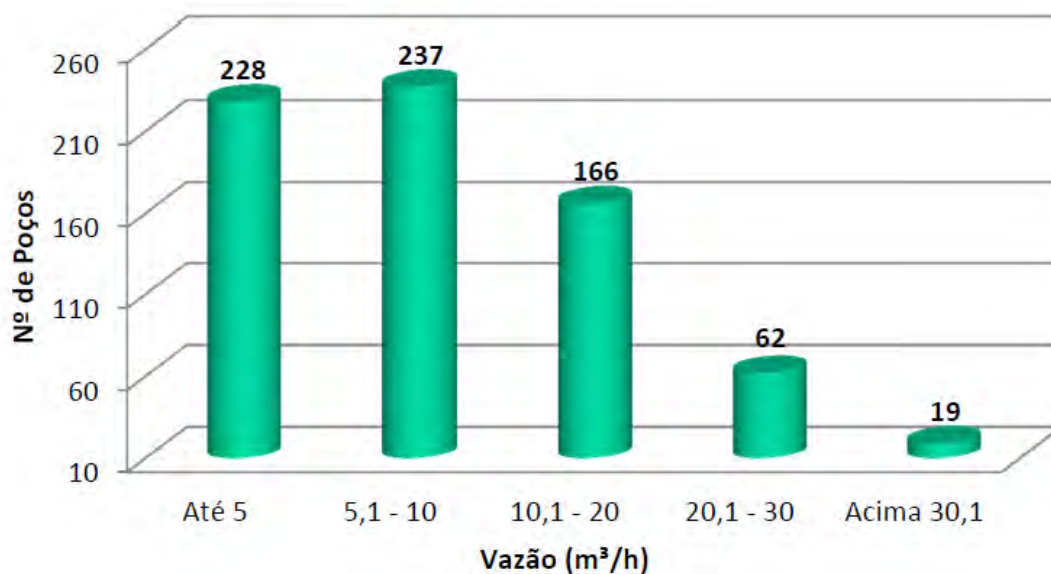


Fonte: Elaboração da própria autora.

No Aquífero Bauru a maioria dos poços apresentam vazão de até 10 m³/h (Figura 71), sendo que acima de 30 m³/h são poucos que explotam na região, enquanto que no Serra Geral

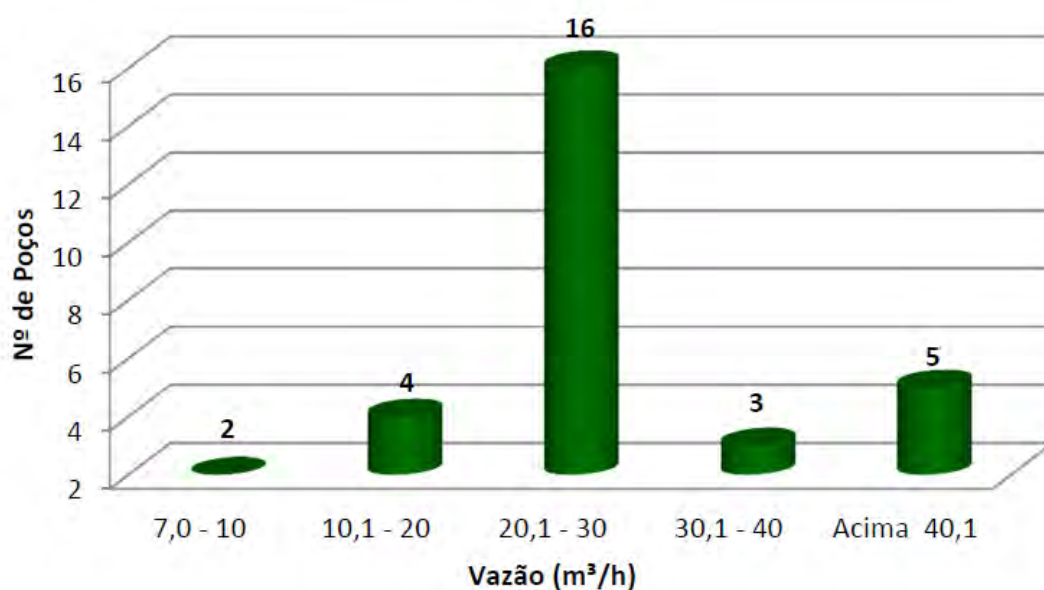
a maioria se concentra na classe de vazão entre 20,1 a 30 m³/h (Figura 72), porém este total é inferior ao encontrado na menor classe de vazão do Bauru.

Figura 71 - Vazão dos poços que captam no Aquífero Bauru



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 72 - Vazão dos poços que captam no Aquífero Serra Geral



Fonte: Elaboração da própria autora.

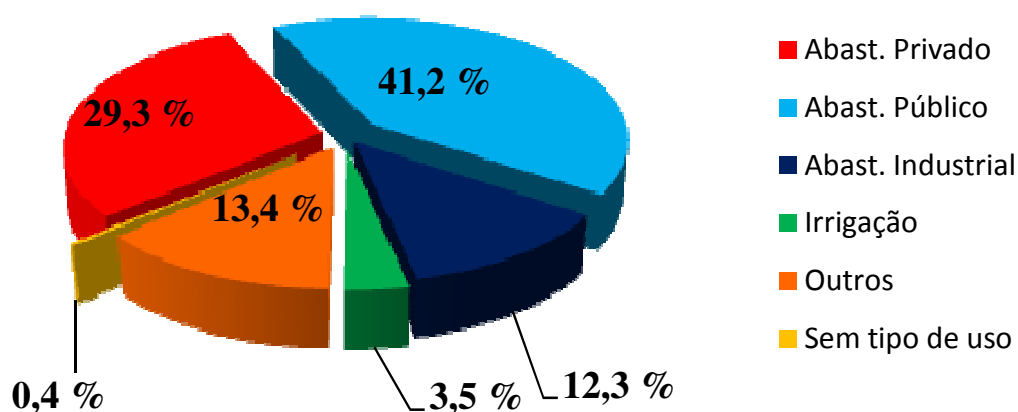
A vazão total explorada do Aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto pelos 681 poços com informações de vazão e período de bombeamento é 43.818 m³/d. Sendo

que 41,2% (18.064 m³/d) da vazão captada por 116 poços é destinada ao abastecimento público, enquanto que o abastecimento privado representa 29,3% (12.830 m³/d) com 283 poços em funcionamento. E os demais tipos de utilização somam 29,5% (12.924 m³/d) (Figura 73). Os poços que não possuíam o período de bombeamento, foi elaborado um tempo médio de acordo com o funcionamento dos demais poços, desta maneira se adotou 5 h/d.

Considerando também os poços que exploram conjuntamente o Aquífero Bauru e o Serra Geral, a vazão total é de 64.113 m³/dia, sendo a distribuição segundo o tipo de usuário demonstrado na Figura 74, cujo comportamento se assemelha a captação do Aquífero Bauru, o maior usuário é o abastecimento público.

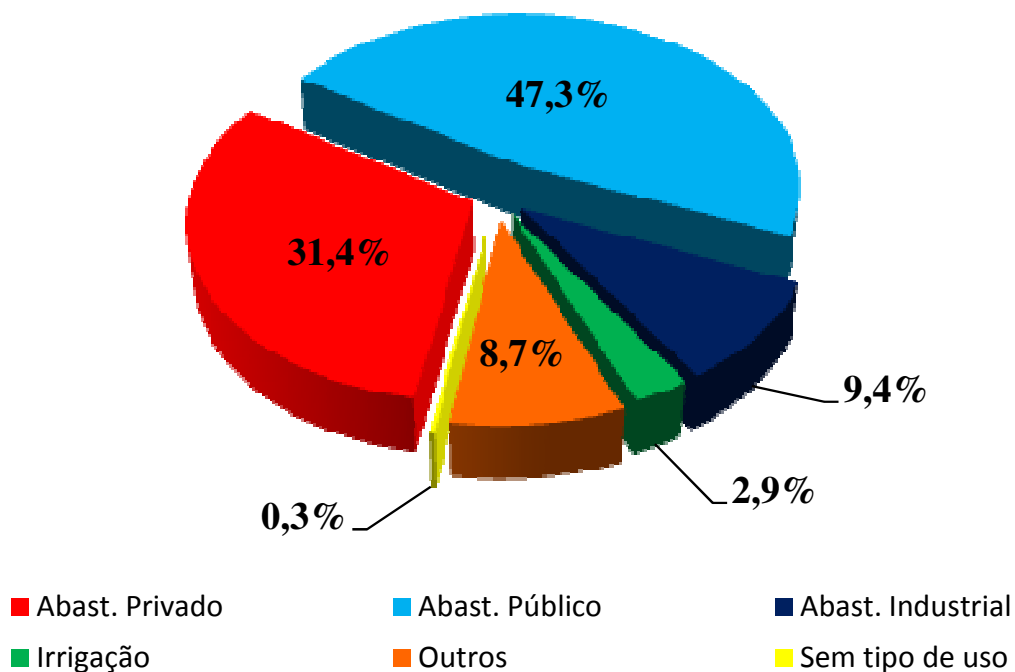
Pela análise da vazão explorada no município, nota-se que o abastecimento público representa, quantitativamente, o principal usuário da água subterrânea, desta maneira na ocorrência de um déficit hídrico, o sistema de abastecimento urbano poderá enfrentar sérios problemas.

Figura 73 - Vazão explorada no Município de São José do Rio Preto por tipo de uso (Aquífero Bauru)



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 74 - Vazão explotada no Município de São José do Rio Preto por tipo de uso (Aquíferos Bauru e Serra Geral)



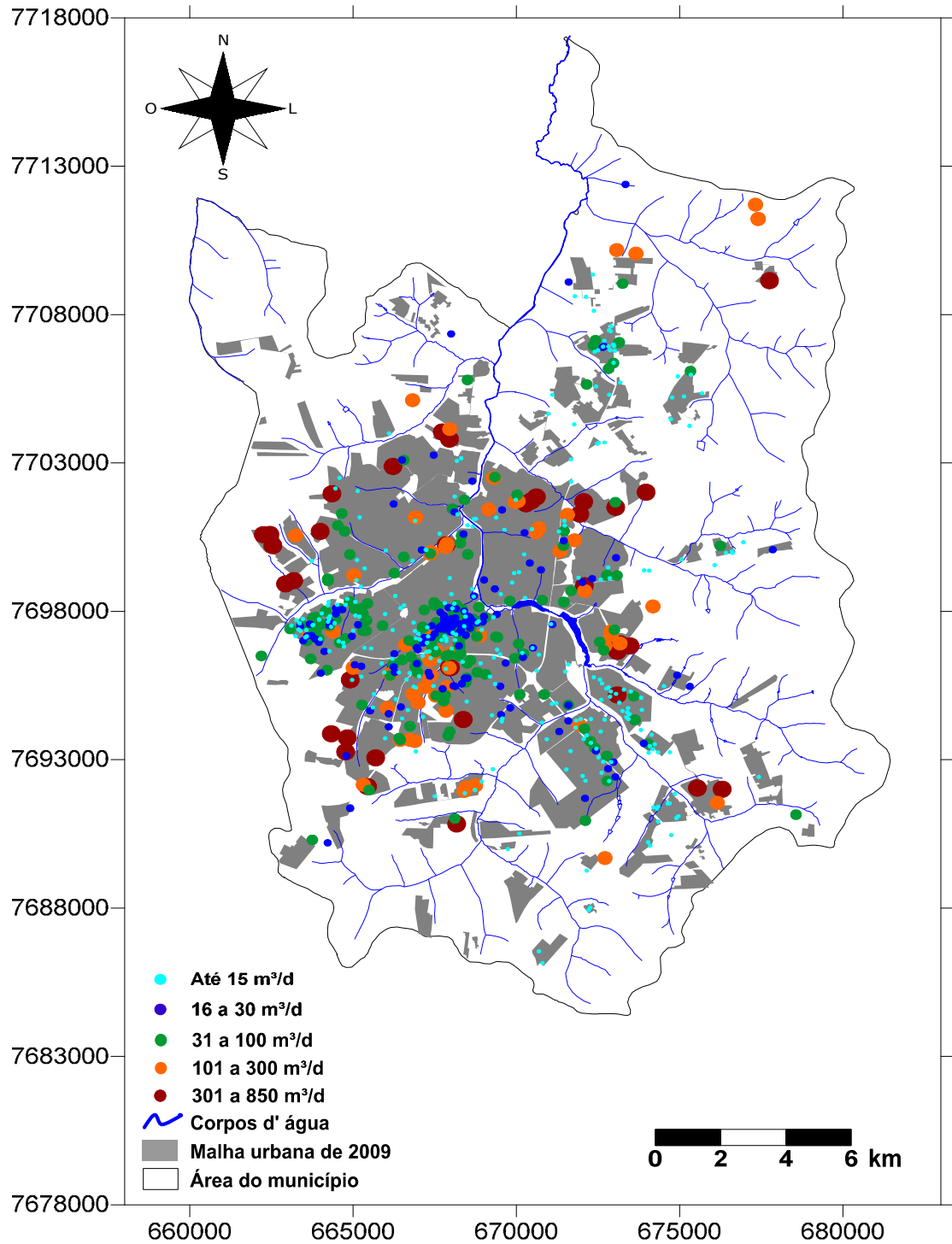
Fonte: Elaboração da própria autora.

Na Figura 75 têm-se a distribuição dos poços que explotam o Aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto, classificados de acordo com a vazão diária.

Verifica-se que os poços que explotam acima de 301 m³/d, maior classe amostrada, localizam-se no entorno da malha urbana, região de maior recarga do Aquífero Bauru que segundo Oliveira (2002) varia de 350 a 400 mm/ano.

O abastecimento público detém 72 % da vazão total da classe que explota acima de 301 m³/d no Aquífero Bauru, 26 dos 36 poços que compõem essa classe são para o uso público, portanto ressalta-se a importância do gerenciamento de novas perfurações no entorno da localização destes poços.

Figura 75 – Localização dos poços em São José do Rio Preto pela classe de vazão explorada que captam no **Aquífero Bauru**



Fonte: Elaboração da própria autora.

O surgimento dos poços com o passar das décadas é ilustrado na Figura 76, notando-se que na região central do município, embora já apresentasse grande quantidade de poços desde

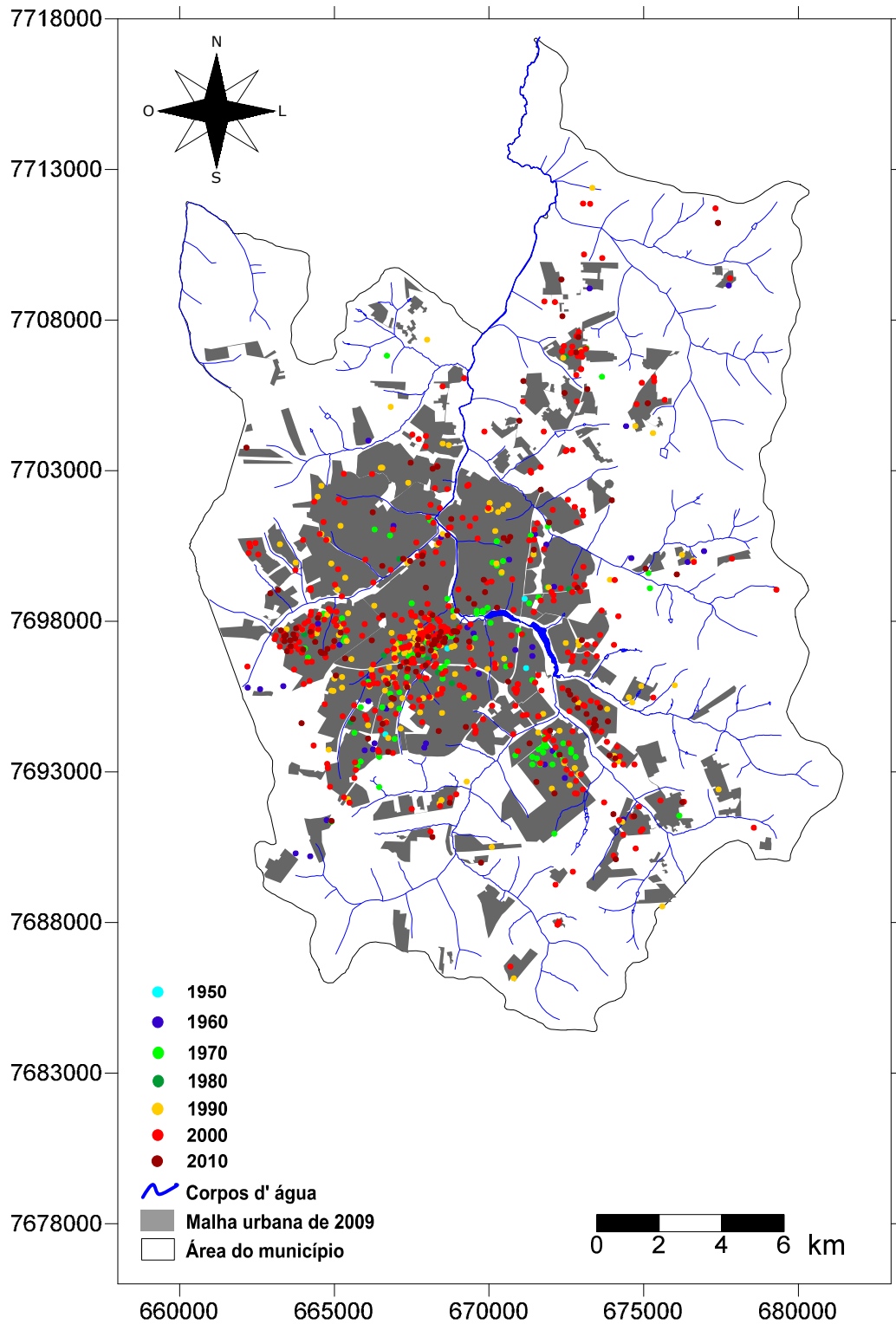
as primeiras décadas, em 2000 e 2010 ocorreu a construção de muitos poços, razão pela qual enfrenta problemas em função do rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero.

O aumento de perfurações na área central deve-se a crescente demanda de recursos hídricos nessa região, o distrito industrial (ao oeste) apresentou um grande aumento no número de poços na década de 2010, assim como bairros mais isolados.

O município apresenta um forte adensamento de poços na área central da cidade, chegando a atingir 43 poços por km² e, a na porção oeste cujo local caracteriza-se por um pólo industrial, possuiu adensamento de até 30 poços por km².

Entretanto a interferência entre as perfurações não se relaciona diretamente com a concentração dos poços, mas com a distância entre eles. Nas áreas de forte adensamento citadas, essa distância não ultrapassa 50 metros entre alguns poços.

Figura 76 - Localização dos poços por décadas de perfuração



Fonte: Elaboração da própria autora.

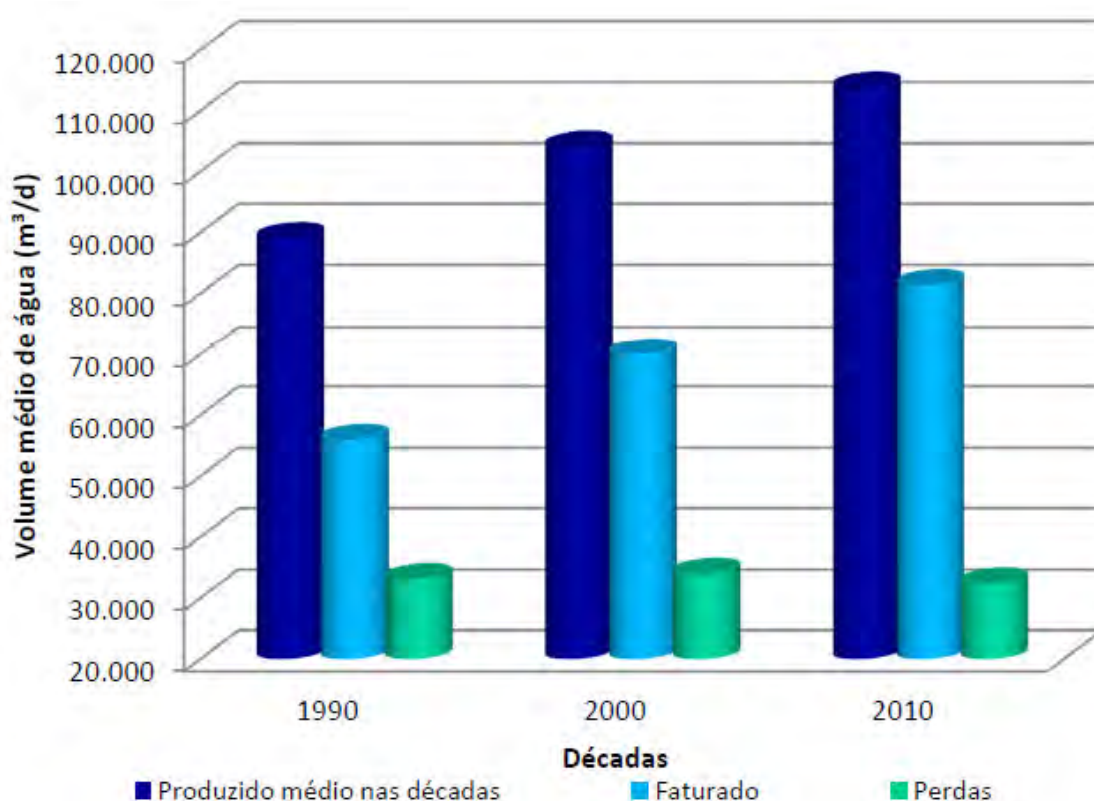
De acordo com a Bolcone (2011), a vazão retirada do Aquífero Bauru e destinada ao abastecimento público é estimado em 46.112 m³/d.

Na Figura 77 pode ser observado o aumento do volume médio produzido e faturado dos 213 poços de uso público que captam o Aquífero Bauru, de acordo com informações da Bolcone (2011) e do SeMAE (2008), bem como as perdas no sistema de distribuição. Embora, na década de 2000 o sistema tenha apresentado um maior volume de perdas, em percentagem, foi menor que na década anterior, pois o volume produzido foi maior que na década de 1990.

Na década de 2010, as perdas foram menores tanto em volume como em percentagem, reflexo da melhora da eficiência do sistema. Desta maneira houve uma redução gradativa da perda nas décadas, que passou de 37,2% (33.986 m³/d) na década de 1990 para 28,5% (32.425 m³/d) na de 2010, conforme Figura 78.

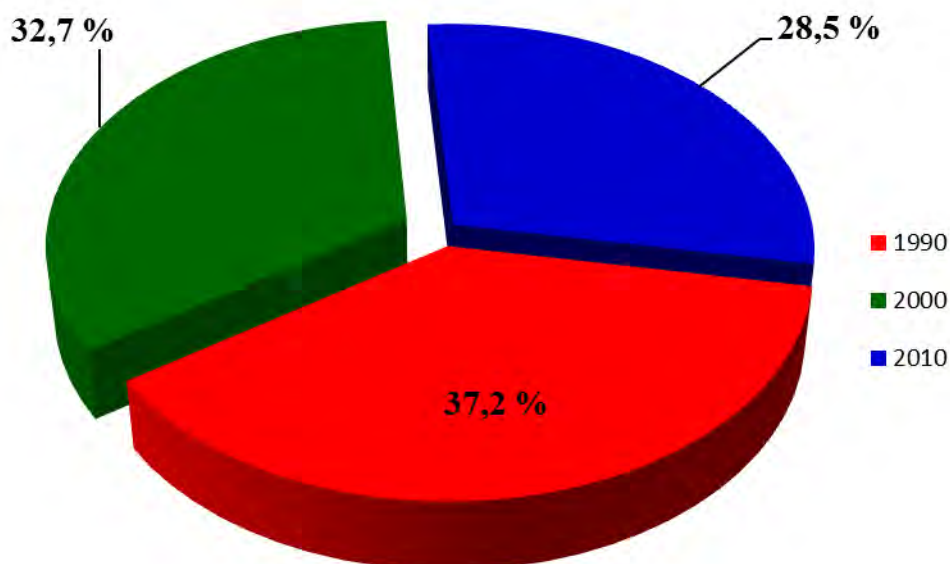
Para o município foi uma grande conquista reduzir as perdas no sistema de distribuição de água, a partir da década de 1990, visto que a demanda hídrica aumentou consideravelmente nas décadas seguintes.

Figura 77 - Relação entre o volume de água produzido, faturado e as perdas no sistema de distribuição no decorrer das décadas



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 78 - Porcentagem de perdas no sistema de abastecimento de água nas últimas décadas



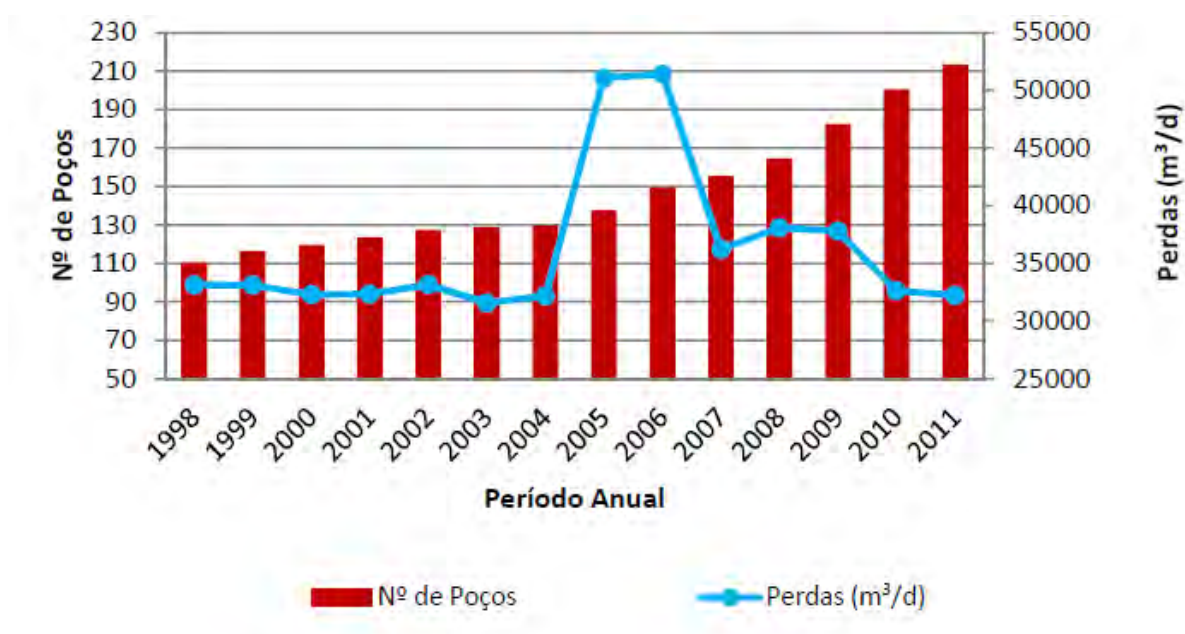
Fonte: Elaboração da própria autora.

Caso o sistema de distribuição não apresentasse perdas, 32.425 m³/dia poderiam ser economizados do manancial subterrâneo e, somente 13.687 m³/dia bastariam para suprir a demanda, pois segundo a Bolcone (2011), a exploração do Aquífero Bauru para o abastecimento público corresponde a 46.112 m³/dia.

Na Figura 79 têm-se um comparativo entre as perdas anuais no sistema de abastecimento público com a quantidade de poços construídos entre 1998 e 2011, sendo observado aumento na quantidade de poços no decorrer do tempo e redução das perdas. Nota-se que nos anos de 2005 e 2006 ocorreram às maiores perdas, em torno de 51.250 m³/d, contudo em 2007 esse volume foi reduzido em 30%, apresentando em 2011 uma redução de mais 12%.

Percebe-se uma discrepância entre os valores das perdas de 2005 e 2006 em relação aos demais anos analisados, porém não foi apontado qualquer motivo que justificasse tal fato, ocasionando o maior pico de perdas.

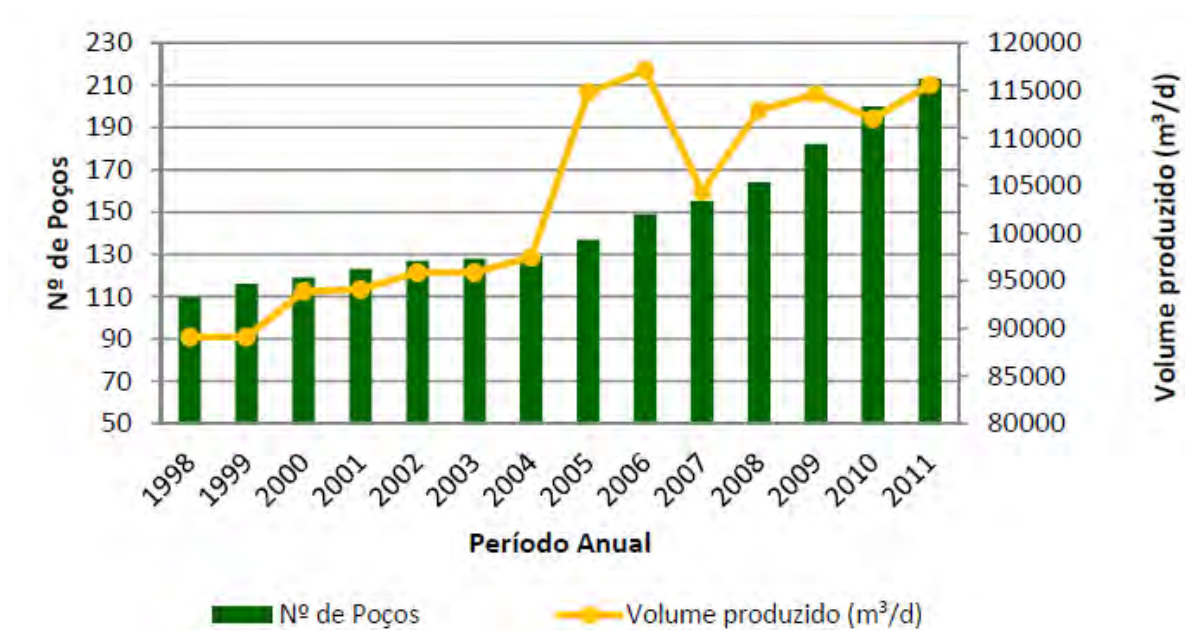
Figura 79 - Perdas anuais no sistema de distribuição de água



Fonte: Elaboração da própria autora.

Embora o maior número de poços destinados ao abastecimento público ocorreu em 2011, foi em 2006 que se obteve o maior volume produzido, seguido por uma redução brusca em 2007 (Figura 80).

Figura 80 - Volume de água produzido pelo sistema de abastecimento



Fonte: Elaboração da própria autora.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtidos pode-se afirmar que o Aquífero Bauru, principal manancial de abastecimento do Município de São José do Rio Preto, apresenta disponibilidade hídrica de água subterrânea limitada devido ao constante processo de rebaixamento do nível potenciométrico. Medidas que visem à gestão da captação de água por novas perfurações podem e devem ser aplicadas de forma a evitar a exaustão do manancial.

A coleta de informações dos poços cadastrados no Município de São José do Rio Preto foi suficiente para a realização do trabalho. Entretanto há divergências entre as duas bases de dados, sendo que 278 poços apresentam dados incomuns, 44 não possuem o tipo de formação geológica e, 28 têm coordenadas UTM que não abrangem o limite do município.

O estudo apontou um rebaixamento de 10 m, no nível potenciométrico do Aquífero Bauru, ocorrido na década de 2000, na região central do Município de São José do Rio Preto.

O aumento da malha urbana e o crescimento populacional contribuíram de forma significativa na redução do nível potenciométrico do aquífero, seja pela redução da recarga em função do aumento de áreas impermeáveis ou pelo aumento da captação de água em função da demanda crescente.

Em 2002, Oliveira observou um rebaixamento de 0,15 m/ano do nível potenciométrico do Aquífero Bauru na área central do município, prevendo que o aumento de aglomerações urbanas intensificaria a rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero. No período de 2002 a 2012 foi obtida uma redução de 0,47 m/ano, em contrapartida um aumento de 9% da área urbanizada, retratando a previsão de Oliveira.

O principal usuário da água subterrânea no Município de São José do Rio Preto, de acordo com os resultados apresentados, é o abastecimento público, que capta as maiores vazões e a mais de 231 m de profundidade. Desta maneira, se conclui que o uso público é o principal responsável pelo rebaixamento do nível potenciométrico do Aquífero Bauru. Cabendo a administração pública municipal a elaboração de alternativas para o abastecimento do município, podendo optar por mananciais superficiais.

O consumo de água subterrânea demonstrou um aumento de 40%, no período de 2002 a 2012 no município, sendo que para atendê-lo o número de perfurações foi ampliado em 55%, e a captação subterrânea em 61%. A demanda por água diretamente associada ao desenvolvimento social, econômico e industrial busca maiores profundidades em decorrência do rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero.

O SeMAE cobra pelo abastecimento de água e pelo tratamento do esgoto gerado pelos usuários públicos, dos usuários privados é cobrado apenas o tratamento de esgoto. Cabe ressaltar que no trabalho foram utilizados poços outorgados, quanto aos poços clandestinos, estes ficam sobre a responsabilidade do SeMAE que deverá realizar vistoria e identificação para posterior cobrança, do contrário os demais usuários pagarão pelo tratamento de esgoto por eles gerado.

Esse sistema de exploração do manancial se mostra insustentável, se não for gerenciado poderá ocasionar o esgotamento do Aquífero Bauru e, levando a área central do município a um colapso, devendo o SeMAE efetuar um Programa de Gerenciamento do Uso dos Recursos Hídricos, considerando a integração dos mananciais superficiais e subterrâneos.

Pelo desenvolvimento do trabalho, identifica-se a necessidade da implantação de técnicas de gestão, para evitar a clandestinidade de poços, assim como problemas futuros no sistema de abastecimento público (principal usuário), e proporcionar a preservação do manancial subterrâneo, com a implementação dos seguintes instrumentos de gestão: outorga (para controlar os usos preponderantes e manter a quantidade para todos os usos), cobrança (para vender água com qualidade) e o enquadramento (para efetuar o zoneamento do uso e ocupação do solo com áreas de campos de poços).

O Município de São José do Rio Preto demonstra a necessidade de implantação de um sistema de gestão integrada, visando abordar os aspectos quantitativos e qualitativos dos mananciais subterrâneos e superficiais, assim como a implantação de instrumento legal que regulamente a Lei Municipal nº 5.138/1992 sobre o parcelamento do solo urbano, almejando manter as condições de recarga do Aquífero Bauru nos futuros loteamentos.

REFERÊNCIAS

- ABDERRAHMAN, W. A. Groundwater management for sustainable development of urban and rural areas in extremely arid regions: a case study. **Water Resources Development**, Routledge, v. 21, n. 3, p. 403-412, 2005.
- ABREU, A.; BERTI, M. Uso irracional ameaça reserva de água. **Diárioweb.com**, São José do Rio Preto, 29 mar. 2010. Disponível em: <<http://www.diarioweb.com.br/novoportal/noticias/Meio+Ambiente/7186,,Uso+irracional+a+meaca+reserva+de+agua.aspx>>. Acesso em: 21 mar. 2012.
- AGUIAR, M. C. P. **Avaliação quantitativa de propriedades geotécnicas e hidrogeológicas com vista à vulnerabilidade do Aquífero Bauru em São José do Rio Preto**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- AHMADI, S. H.; SEDGHAMIZ, A. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. **Environ Monit Assess**, Zarghan, v. 1, n. 129, p. 277-294, 2007.
- ALBUQUERQUE, J. P. T.; REGO, J. C. Subsídios para o gerenciamento racional e integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. 24 p.
- ALMEIDA, A. M. G. P. **Modelo de sistemas de informação técnica baseado numa plataforma SIG**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Apreciação do PNRH e visão prospectiva dos programas e ações**. Brasília: ANA, 2001. 53 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Cadernos de recursos hídricos: disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, MMA, 2005. 134 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília: ANA, 2010a. 72 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape, 2010b. 92 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2012. 218 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS** - ANA. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

BARCHA, S. F. **Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da formação bauru na região norte-ocidental do estado de São Paulo**. 1980. 209 f. Tese (Livre Docência em Geociências) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 1980.

BARCHA, S. F. Água e abastecimento urbano em São José do Rio Preto, S.P. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2000. 11 p.

BERNARD, A. E.; KUMAR, C. S. N. The role of geographical information systems in groundwater engineering. In: DELLEUR, J. W. **The handbook of groundwater engineering**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. p. 1-17.

BERRITTELLA, M. et al. The economic impact of restricted water supply: a computable general equilibrium analysis. **Water research**, Routledge, v. 1, n. 41, p. 1799-1813, 2007.

BOLCONE, O. J. (Org.). Conjuntura econômica de São José do Rio Preto. 26. ed. São José do Rio Preto: Secretaria Municipal de Planejamento Estratégico, Ciência, Tecnologia e Inovação, 2011.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 09 fev. 2012.

BRASIL. Lei no. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 470, 1997.

BROMLEY, J. et al. Problems of sustainable groundwater management in an area of over-exploitation: the upper guadiana catchment, central spain. **Water Resources Development**, Routledge, v. 17, n. 3, p. 379-396, 2001.

BUI, D. D. et al. Spatio-temporal analysis of recent groundwater-level trends in the Red River Delta, Vietnam. **Hydrogeology Journal**, Routledge, v. 1, n. 20, p. 1635-1650, 2012.

BUNU, M. Z. Groundwater management perspectives for Borno and Yobe States, Nigeria. **Journal of Environmental Hydrology**, Routledge, China, v. 7, n. 22, p. 19, nov. 1999.

CAICEDO, N. L. Água subterrânea. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. v. 4, p. 289-333. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

CAMPOS, H. C. N. S. Águas subterrâneas na Bacia do Paraná. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 19, n. 37, p. 47-65, jan./jun. 2004.

CAP-NET. Capacity Building for Sustainable Water Resources Management. **Groundwater management in IWRM: training manual**. [S.l.]: GW-MATE, 2010. 116 p.

CARDONA, L. F. M. **Desarrollo de una metodología para ingeniería de requerimientos em aplicaciones de sistemas de información geográfica**. 2007. 31 f. Tesis (Maestría Ingeniería de Sistemas y Computación) – Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Água subterrânea e poços tubulares**. São Paulo: CETESB, 1978. 482 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo – 2009**. São Paulo: CETESB, 2009. 211 p.

CHEN, Y. et al. Three dimensional conceptualization of hydrogeological environment to underpin groundwater management in irrigation area. **Water Resour Manage**, Routledge, v. 1, n. 26, p. 3077-3093, 2012.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS – CIIAGRO **Resenha agrometeorológica**. São Paulo: Edusp, 2011. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/menuresenha.htm>>. Acesso em: 18 abr. 2012.

CLEARY, R. Águas subterrâneas. In: RAMOS, F. et al. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1989. v. 2, p. 293-404. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos).

CONNOR, J. B.; COX, W. E.; LOHANI, V. K. Public water supply in the United States: trends in surface storage capacity. In: WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS, 5., 2007. Tampa. **Anais...** Tampa: Curran Associates, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/res39608.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Moção nº 25, de 26 de março de 2004. Solicita que os editais do Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro) contemplem o desenvolvimento de estudos e projetos relacionados a procedimentos metodológicos de gestão integrada da qualidade e quantidade de água subterrânea. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=101>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Moção nº 38, de 7 de dezembro de 2006. Recomenda a adoção do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS pelos órgãos gestores e os usuários de informações hidrogeológicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=101>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Moção nº 56, de 16 de dezembro de 2010. Recomenda a implementação de ações de combate a clandestinidade na construção de poços e exploração das águas subterrâneas e o fomento aos mecanismos de mobilização, comunicação, informação e educação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010.

Disponível em:<

http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=101>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 9, de 21 de junho de 2000. Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2000. Disponível

em:<www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman...55>. Acesso em: 26 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2001. Disponível em:<http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/gt-aguas/docs_legislacao/resolucao_15.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2001. Disponível em:<

http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 09 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Plano de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2002. Disponível em:<

http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/Resolucao_CNRH%2022_2002.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 29, de 11 de dezembro de 2002. Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2002.

Disponível em:<

http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 09 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 48, de 21 de março de 2005. Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005. Disponível em:<

http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14>. Acesso em: 10 fev. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre critérios e procedimentos para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2008.

Disponível em:<

http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=25&limit_start=40>. Acesso em: 23 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 107, de 13 de abril de 2010. Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo das Águas Subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010. Disponível em:<
http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=25&limit_start=40>. Acesso em: 23 nov. 2011.

COSTA, W. D. Uso e gestão das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 725-742.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterranea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 2001. 1157 p. Tomos I e II.

DANIELOPOL, D. L. et al. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. **Environmental Conservation**, Routledge, v. 2, n. 33, p. 1-27, 2003.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Portaria nº 717, de 12 de dezembro de 1996 - Dispõe sobre o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo. **Diário Oficial**, São Paulo, 1996. Disponível em:<
http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/850/portariadaee_717.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2011.

DON, N. C. et al. Groundwater resources management under environmental constraints in Shiroishi of Saga plain, Japan. **Environ Geol**, Routledge, v. 1, n. 49, p. 601-609, 2005.

DRISCOLL, F. G. **Groundwater and wells**. 2. ed. St Paul: Johnson Screens, 1986. 1089 p.

EASTMAN, J. R. **IDRISI for windows**: introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Recursos Idrisi, 1998. 245 p.

EBRAHEEM, A. M. et al. A local-scale groundwater flow model for groundwater resources management in Dakhla Oasis, SW Egypt. **Hydrogeology Journal**, Routledge, v. 1, n. 12, p. 714-722, 2004.

FAO, C. D. R. **Groundwater management the search for practical approaches**. Rome: Natural Resources Management and Environment Department, 2003. 55 p.

FEITOSA, F. A. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidráulica de aquíferos e eficiência de poços. In: GONÇALVES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. São Paulo: Signus Editora, 2006. p. 305-352.

FEITOSA, F. A. C.; DEMETRIO, J. G. A. Testes de bombeamento em poços tubulares. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 507-523.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1994. 691 p.

FOSTER, S.; LAWRENCE, A.; MORRIS, B. **Groundwater in urban development**: assessing management needs and formulating policy strategies. The World Bank: Washington, 1998. 74 p.

FOSTER, S. et al. Conjunctive use of groundwater and surface water: from spontaneous coping strategy to adaptive resource management. **The World Bank**, Routledge, v. 1, n. 2, p. 1-26, 2010.

FREIRE, C. C. Outorga e cobrança: instrumentos de gestão aplicados à água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 16 p.

GEOSCIENCE AUSTRALIA - GA. Sustainable groundwater management. Available in: <<http://www.ga.gov.au/groundwater/governance/sustainable-groundwater-management.html>>. Accessed on: 12 aug. 2013.

GENÚ, A. M. **Geoestatística multivariada**. Piracicaba: USP, 2004. 17 p.

GOMES, F. E. M. Geoprocessamento em ambiente SIG aplicado à hidrogeologia. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 293-319.

GUIGUER, N.; HORVATH, M. Desenvolvimento e implementação de sistemas de informações de águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 7 p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: UFU/FAMAT, 2004. 78 p.

GUPTA, A.; BABEL, M. S. Challenges for sustainable management of groundwater use in Bangkok, Thailand. **Water Resources Development**, Routledge, v. 21, n. 3, p. 453-464, 2005.

HAGER, F. P. V. et al. A problemática da gestão das águas subterrâneas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. 17 p.

HARMANCIOGLU, N. B.; BARBAROS, F.; CETINKAYA, C. P. Sustainability issues in water management. **Water Resources Management**, Routledge, v. 1, n. 10, p. 1-25, 2012.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de água subterrânea**. São Paulo: UFRGS/CRD/ABAS, 1983. 173 p.

HOQUE, M. A.; HOQUE, M. M.; AHMED, K. M. Declining groundwater level and aquifer dewatering in Dhaka metropolitan area, Bangladesh: causes and quantification. **Hydrogeology Journal**, Routledge, v. 1, n. 15, p. 1523-1534, 2007.

HOWARD, K. W. F.; GELO, K. K. Intensive groundwater use in urban areas: the case of megacities. In: LLAMAS, R. et al. **Intensive use of groundwater challenges and oportunites**. Lisse: A.A. Balkema Publishers, 2003. p. 35-58.

HUANG, B.; SHU, L.; YANG, Y. S. Groundwater overexploitation causing land subsidence: hazard risk assessment using field observation and spatial modeling. **Water Resource Management**, Routledge, v. 1, n. 26, p. 4225-4239, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010. São Paulo: Edusp, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default_uf.shtm>. Acesso em: 13 dez. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande**. São Paulo: Edusp, 2000. 299 p. (Relatório, 40.515).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Relatório um de situação dos recursos hídricos da bacia Turvo/Grande**. São Paulo: Edusp, 2007. 252 p. (Relatório, 90.644-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Plano de bacia da unidade de gerenciamento de recursos hídricos da bacia do Turvo/Grande – 2009**. São Paulo: Edusp, 2009, 318 p. (Relatório Técnico, 397).

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2008. 104 p.

IRITANI, M. A. et al. **Projeto ambiental estratégico aquíferos**: síntese das atividades período 2007/2010. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 134 p.

KITANIDUS, P. K. Geostatistics: interpolation and inverse problems. In: DELLEUR, J. W. **The handbook of groundwater engineering**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. p. 1-21.

KNUPPE, K. The challenges facing sustainable and adaptive groundwater management in South Africa. **Water SA**, Routledge, v. 37, n. 1, p. 67-79, 2011.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da Unesp, 1998. 225 p.

LIMA, A. A. **Hidrogeologia do sistema aquífero Bauru no Município de São José do Rio Preto (SP)**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

LIMA, J. B.; BRANCO, P. C. M. P. A. SIAGAS – uma evolução em plataforma de softwares livres. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2010, São Luís. **Anais...** São Luís: ABAS, 2010. 16 p.

LLAMAS, M. R.; MARTINEZ-SANTOS, P. Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Spain, v. 1, n. 15, p. 337-342, 2005.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 53-75.

MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 31-48.

MOLINA, J. L. et al. Aquifers overexploitation in SE Spain: a proposal for the integrated analysis of water management. **Water Resources Management**, Routledge, v. 1, n. 23, p. 2737-2760, 2009.

MUKHERJEE, S.; SHAH, Z.; KUMAR, M. D. Sustaining urban water supplies in India: increasing role of large reservoirs. **Water Resources Management**, Routledge, v. 1, n. 24, p. 2035-2055, 2010.

NASCIMENTO, F. M. F.; CARVALHO, J. E.; PEIXINHO, F. C. Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS histórico, desafios e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008. 18 p.

OLIVEIRA, J. N. **Ferramental de gestão de águas subterrâneas para a cidade de São José do Rio Preto, SP**. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

OLIVEIRA, J. N.; WENDLAND, E. Estudo sobre a mudança dos NE em São José do Rio Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 10 p.

OLIVEIRA, J. N.; WENDLAND, E. Modelo numérico para análise do comportamento do Aquífero Bauru, com base nas cargas hidráulicas de poços existentes na cidade de São José do Rio Preto, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 1-17, 2010.

PAGE, M. L. et al. An integrated DSS for groundwater management based on remote sensing: the case of a semi-arid Aquifer in Morocco. **Water Resour Manage**, Routledge, v. 1, n. 26, p. 3209-3230, 2012.

PECK, J. C. Groundwater management institutions in Kansas. **J. Irrig. Drain Eng**, Routledge, v. 1, n. 112, p. 203-209, 1986.

PEIXINHO, F. C.; LIMA, J. B. Sistemas de Informações em Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 743-760.

PENTEADO, A. H. D. G.; PEREIRA, S. Y. Sistema de cadastramento de poços perfurados – uma ferramenta para administração pública e integrada de recursos hídricos subterrâneos e superficiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 20 p.

PFEIFFER, L.; LIN, C. Y. C. Groundwater pumping and spatial externalities in agriculture. **Journal of environmental economics and management**, Routledge, v. 1, n. 64, p. 16-30, 2012.

PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde**. 20. ed. Brasília: OPAS, 2000. 121 p.

REBOUÇAS, A. C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 1, n. 15, p. 327-344, 2001.

REBOUÇAS, A. C. A inserção da água subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 39-50, 2002.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 111-144.

REBOUÇAS, A. C. Importância da água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 13-29.

RESOLUÇÃO CONJUNTA SMA/SERHS/SES 3, 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. Disponível em:<

http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2006_Res_Conj_SMA_SERHS_SES_03.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2011.

RIBEIRO, J. A. O SIAGAS e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008 Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008. p. 11 .

ROCHA, G. A. (Coord.). **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2005. Escala 1: 1.000.000.

ROCHA, G. A.; JORBA, A. F. **Manual de operação e manutenção de poços**. 3. ed. São Paulo: DAEE, 2007. 87 p.

RODRIGUES, V. R. Uma reflexão sobre dois importantes instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos: licença para perfuração de poços tubulares e a outorga de direito de uso de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2004. p. 7 .

ROSA FILHO, E. F. et al. Sistema Aquífero Guarani – considerações preliminares sobre a influência do arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. **Revista de Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 1, n. 17, p. 91-112, mai. 2003.

REGIONAL WATER SUPPLIES GROUP - RWSG. North west queensland draft regional water supply strategy. Queensland: Department of Environment and Resource Management, 2012. 12 p.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. Prefeitura Municipal. Câmara Municipal. **Lei Nº. 5919 - de 29 de agosto de 1995. Dispõe sobre a preservação e a conservação dos depósitos de águas subterrâneas na área do Município de São José do Rio Preto**. Publicada e arquivada pelo Departamento de Atividades Auxiliares do Gabinete do Prefeito, 1995.

SÃO PAULO (Estado). Lei no. 6.134, de 02 de junho de 1988 - Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. **Diário Oficial**, São Paulo, p. 48, 1988.

SÃO PAULO (Estado). Decreto no. 32.955/91, de 07 de fevereiro de 1991 - Regulamenta a Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988 que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. **Diário Oficial**, São Paulo, v. 101, n. 26, 1991.

SÃO PAULO (Estado). Lei no. 7.663, de 30 de dezembro de 1991 - Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIRGH). **Diário Oficial**, São Paulo, n. 7133, 1991.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. População e estatísticas vitais. São Paulo: Edusp, 2011. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 6 fev. 2012.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 14, de 05 de março de 2010. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos em áreas potencialmente críticas para a utilização de águas subterrâneas. **Diário Oficial**, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2010_res_est_sma_14.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2011.

SERVIÇO MUNICIPAL AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SeMAE. **Plano diretor do sistema de abastecimento de água de São José do Rio Preto**. São José do Rio Preto: Consórcio Planágua, 2008. 224 p.

SHAMSUDDUHA, M. et al. Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: the Ganges-Brahmaputra-Meghna Delta. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, Routledge, v. 1, n. 13, p. 2373-2385, 2009.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - SIAGAS. Serviço geológico do Brasil. Brasília: Brasília, 2012. Disponível em: <<http://SIAGASweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 29 jun. 2012.

SILVA, F. P. et al. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-88, mar. 2005.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. Governo do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Recursos Hídricos. **Relatório de situação dos recursos hídricos do estado de São Paulo**. São Paulo: Edusp, 2009. 149 p.

SOPHOCLEOUS, M. The evolution of groundwater management paradigms in Kansas and possible new steps towards water sustainability. **Journal of Hydrology**, Routledge, v. 1, n. 414, p. 550-559, 2012.

SOUZA, C. D. et al. Desafios e dificuldades na gestão integrada das águas subterrâneas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009. p.13 .

TA'ANY, R. A.; TAHBOUB, A. B.; SAFFARINI, G. A. Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman-Zarqa basin, Jordan: a case study. **Environ Geol**, Routledge, v. 1, n. 57, p. 525-535, 2009.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. 636 p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025**. São Paulo: IPH, 2000. 145 p.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 1, n. 22, p. 7-16, 2008.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 1, n. 5, p. 109-134, 1999.

VEIL, J. A. et al. U.S. Laws and regulations. In: DELLEUR, J. W. **The handbook of groundwater engineering**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. p. 22.

VILLHOLTH, K. G. Groundwater assessment and management: implications and opportunities of globalization. **Hydrogeology Journal**, Routledge, v. 1, n. 14, p. 330-339, 2006.

VILLHOLTH, K. G.; RAJASOORIYAR, L. D. Groundwater resources and management challenges in Sri Lanka-an overview. **Water Resources Management**, Routledge, v. 1, n. 24, p. 1489-1513, 2010.

WORLD BANK GROUP - WBG. **Sustaining water for all in a changing climate: implementation progress report of the water resources sector strategy**. Washington: Morton, 2010. 117 p.

YAMAMOTO, J. K. Análise geoestatística. In: YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: Edusp, 2001. p. 49-68.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

ZOBY, J. L. G.; MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na política nacional de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002. p. 19 .

ZOVOUDAKIS, E. **Impactos da urbanização sobre a qualidade da água freática em áreas de Vitória, ES**. 2007. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2007.