

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**OCORRÊNCIA DE NITRATO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**  
**NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS**  
**HÍDRICOS TIETÊ-JACARÉ**

**LUCAS ANTONIO RIBAS CASAGRANDE**

São Carlos

2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**OCORRÊNCIA DE NITRATO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS  
HÍDRICOS TIETÊ-JACARÉ**

**LUCAS ANTONIO RIBAS CASAGRANDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador

São Carlos

2009

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C334on

Casagrande, Lucas Antonio Ribas.

Ocorrência de nitrato em águas subterrâneas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré / Lucas Antonio Ribas Casagrande. -- São Carlos : UFSCar, 2012.

144 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Águas subterrâneas. 2. Contaminação difusa. 3. Nitrato. 4. Atividade agrícola. 5. Tietê/Jacaré, Bacia (SP). I. Título.

CDD: 553.79 (20<sup>a</sup>)

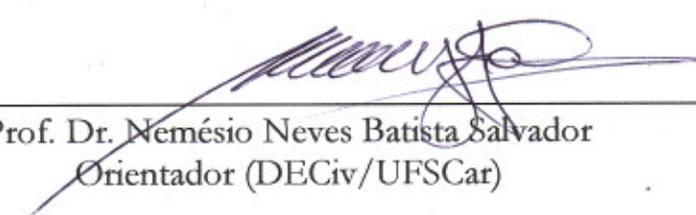


## FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS ANTONIO RIBAS CASAGRANDE

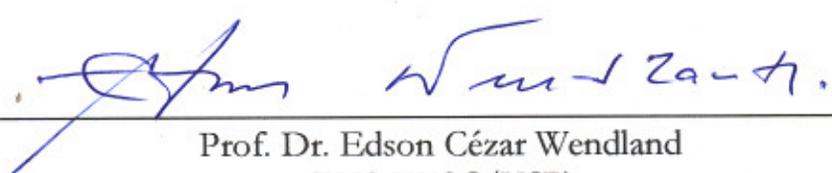
Dissertação defendida e aprovada em 29/10/2009  
pela Comissão Julgadora

---



Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador  
Orientador (DECiv/UFSCar)

---



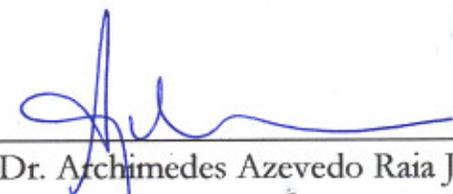
Prof. Dr. Edson César Wendland  
(SHS-EESC/USP)

---



Prof. Dr. Edson José de Arruda Leme  
(CCA/UFSCar)

---



Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.  
Presidente da CPG-EU

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Nemésio, por sua paciência e confiança em meu trabalho.

Aos meus pais Lisete e Aildo Casagrande, pela sabedoria, incentivo e ensinamentos transmitidos.

À Universidade Federal de São Carlos - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho, e também pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

À CAPES, pelo auxílio financeiro concedido, no período de março/2007 a junho/2008.

Aos Professores do PPGEU: Reinaldo Lorandi, Bernardo, Cordeiro e Ademir, pelo incentivo e conhecimentos transmitidos.

À Sônia, da Secretaria de Pós-Graduação do PPGEU, pela compreensão e incentivo.

Ao André, pelo carinho, incentivo e compreensão constantes.

Aos amigos e colegas do Mestrado, Patrícia Papani e Márcio Pontes, pelo apoio e incentivo constantes.

Ao Carlinhos, José Luiz e Milton do DAEE de Araraquara, que me auxiliaram na coleta de dados.

À CETESB (Setor de Qualidade de Águas Subterrâneas), Eng. Cláudio Dias, Arquiteto Fabiano Toffoli e Geógrafa Rosângela Modesto, pela atenção e principalmente pelo fornecimento de valiosos dados, imprescindíveis para a pesquisa.

Aos amigos e colegas de trabalho do Centro de Gerenciamento de Recursos Hídricos do DAEE de Ribeirão Preto: Graziela, Freitas, Mariângela e Irene, pelo incentivo e também pela compreensão nas ocasiões de ausência.

## RESUMO

Palavras-chave: águas subterrâneas, contaminação difusa, nitrato, atividade agrícola, bacia do Tietê-Jacaré

As práticas agrícolas apresentam-se como potencialmente poluidoras às águas subterrâneas. As áreas de recarga, onde os aquíferos tendem a ser mais vulneráveis, coincidem com importantes áreas agrícolas, e ainda são escassos os trabalhos que avaliam o impacto da atividade agrícola sobre a qualidade das águas subterrâneas. A ocorrência de altas concentrações de nitrato, como efeito da aplicação intensiva e prolongada em extensas áreas de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados, além da prática da disposição de resíduos agro-industriais no solo, principalmente a vinhaça, rica em nitrogênio, são umas das maiores preocupações devido à atividade agrícola. Considerando a existência de extensas áreas de plantio de cana-de-açúcar, bem como a necessidade de preservação de áreas de recarga ocorrentes na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13 (Tietê-Jacaré), a presente pesquisa **teve por objetivo principal a realização de um levantamento e sistematização** da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Serra Geral, Bauru e Guarani, a partir de dados existentes de qualidade da água, na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. Foram consolidados os dados existentes, quanto ao parâmetro nitrato, do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas realizado pela CETESB na bacia e, além disso, fez-se um levantamento da ocorrência de nitrato em águas de poços profundos localizados em áreas rurais da mesma. Assim, foram estudados resultados de análises de água subterrânea, quanto ao parâmetro Nitrato, de um conjunto total de 151 poços particulares localizados em áreas rurais da bacia do Tietê-Jacaré, cadastrados junto ao DAEE. Os dados integrados, agrupados por aquífero, foram submetidos à análise estatística básica, calculando-se as suas médias, medianas, máximos e mínimos. As medianas foram utilizadas como referência, para comparação com os valores orientadores de referência de qualidade, prevenção e intervenção. De forma geral, a partir dos resultados das análises existentes, observa-se que as concentrações de Nitrogênio-Nitrato são baixas, encontrando-se valores mais elevados em poços que exploram os Aquíferos Bauru e Serra Geral. Nenhuma das concentrações levantadas foi superior ao padrão de potabilidade, no entanto, merecem atenção as concentrações de nitrato que estão acima do valor de prevenção, indicando alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica. Através das Coordenadas UTM dos poços e suas respectivas concentrações de Nitrato levantadas junto ao DAEE, os mesmos foram locados em um mapa georreferenciado de uso do solo da bacia do Tietê-Jacaré, através do qual foram identificados aqueles que se localizam em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Os dados integrados dos poços em área de cultivo agrícola de cana-de-açúcar foram submetidos, em separado, a nova análise estatística básica, calculando-se as médias, medianas, máximos e mínimos, para efeito de comparação com os demais poços localizados em áreas com diferentes classes de uso do solo. Em média, as concentrações dos poços em área de cana são superiores às encontradas para as concentrações dos demais poços, tanto para o Aquífero Guarani, como para o Aquífero Bauru. De uma forma geral, observa-se a existência de uma tendência de aumento das concentrações ao longo do tempo, indicando a necessidade de continuidade do monitoramento do referido parâmetro, além do estabelecimento de ações de prevenção à poluição por nitrato.

## ABSTRACT

Key-words: groundwater, diffuse contamination, nitrate, agricultural activities, Tietê-Jacaré hydrographic basin

Agricultural practices present themselves as potentially polluting to groundwater. The recharge areas, where the aquifers tend to be more vulnerable, are under important agricultural areas, and there are not many researches that evaluate the impact of agricultural activity on groundwater quality. The occurrence of high nitrate concentrations, as an effect of the intensive use of fertilizers and nitrogen-rich agricultural products, along with the disposal of agro-industrial residues on the ground, such as nitrogen-rich vinasse, are some of the biggest concerns due to agricultural activity. Considering the existence of extensive areas of sugar cane production, as well as the need for preserving the recharge areas occurring at the Water Resources Management Unit n° 13 (Tietê-Jacaré), this research has as its main goal the accomplishment of a survey and systematization, from water quality existing data, of nitrate occurrence in Serra Geral, Bauru and Guarani Aquifer Systems groundwater, at the Tietê-Jacaré hydrographic basin. Thus, the existing data from groundwater quality monitoring performed by the São Paulo State Environmental Agency were consolidated, for the nitrate parameter, and, moreover, there had been analyzed results from groundwater analyses, for the Nitrate parameter, of a total of 151 private deep wells located in agricultural areas at the Tietê-Jacaré basin, registered at the São Paulo State Water Department. The integrated data, grouped for each Aquifer, has been submitted to basic statistics analysis, calculating its averages, medium, maximum and minimums. The medium ones were used as a reference, for comparison to the orientating values of quality reference, prevention and intervention. Of general form, from the results of the existing analyses, it is observed that the Nitrate concentrations are low, finding higher values in wells that take water from Bauru and Serra Geral Aquifers. None of the raised concentrations were above the national drinking water standard, however, the occurrence of nitrate concentrations above the prevention value deserves attention, indicating alteration on natural balance, mainly for human influence. The wells and their nitrate concentrations were located on a Tietê-Jacaré land use map, through which the ones located in sugar cane areas were identified. The nitrate data for those wells on sugar cane production areas were submitted, separately, to another basic statistics analysis, calculating the averages, medium, maximum and minimum, for comparison with the other wells located in areas with different land use types. On average, the concentrations of the wells in sugar cane area are higher than the concentrations for other wells, especially for the Bauru and Guarani Aquifers. In general, there are increasing concentrations throughout time, indicating the need for continuous monitoring for the nitrate parameter, beyond the establishment of preventive actions to avoid nitrate pollution.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo.....	8
Figura 2 - Mapa das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.....	9
Figura 3 – Uso de Águas Subterrâneas para abastecimento público.....	11
Figura 4 - Esquema conceitual do risco de contaminação de águas subterrâneas.....	14
Figura 5 - Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas.....	17
Figura 6 - Disponibilidade de Águas Superficiais e Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas.....	18
Figura 7 - Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo.....	18
Figura 8 - Situação das águas subterrâneas por meio de indicadores de qualidade e quantidade.....	20
Figura 9 - Localização dos municípios que apresentam nitrato no poço monitorado pela CETESB acima do valor de alerta ou do padrão de potabilidade.....	26
Figura 10 – Potabilidade da água subterrânea por UGRHI, 2009.....	31
Figura 11 - Distribuição da Proporção da Potabilidade das Águas Subterrâneas por UGRHI no Estado, 2009.....	32
Figura 12 - Áreas de Afloramento do Sistema Guarani no Estado de São Paulo.....	34
Figura 13 - Mediana das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Bauru.....	48
Figura 14 - Concentrações máximas de N-Nitrato por período de monitoramento.....	48
Figura 15 – Comparativo dos resultados de nitrato em Bauru: 2000, 2006 e 2008.....	54
Figura 16 - Evolução da produção de álcool e vinhaça ao longo das safras.....	63
Figura 17 - Distribuição geográfica de área cultivada de cana-de-açúcar, 2007/2008.....	64
Figura 18 - Evolução da área de cana-de-açúcar plantada no Estado de São Paulo.....	65
Figura 19 - Evolução da área de cana-de-açúcar colhida e bisada no Estado de São Paulo.....	65
Figura 20 - Ocupação das terras pela cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo – Situação Atual.....	79
Figura 21 - Ocupação das terras pela cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo – Projeção 2010.....	79
Figura 22 – Municípios da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13).....	84
Figura 23 - Aquíferos da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13).....	86
Figura 24 – Potencialidade de Águas Subterrâneas na UGRHI 13.....	87
Figura 25 - Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Serra Geral.....	88
Figura 26 - Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Bauru.....	89
Figura 27 - Modelo geológico conceitual do Aquífero Guarani.....	91
Figura 28 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos na UGRHI 13.....	94
Figura 29 - Distribuição percentual das classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, com base em IPT, 2000.....	99
Figura 30 - Distribuição percentual do uso e ocupação do solo para o ano de 2005.....	99

## Lista de Quadros, Tabelas e Gráficos

Quadro 1 - Definição das classes de vulnerabilidade de aquíferos.....	15
Quadro 2 - Indicadores dos recursos hídricos subterrâneos da UGRHI 13.....	21
Quadro 3 - Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – parâmetro Nitrogênio Nitrato.....	27
Quadro 4 – Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – parâmetro Nitrogênio Nitrato (2007-2009).....	28
Quadro 5 – Indicador da Potabilidade da Água Subterrânea do Estado de São Paulo e por UGRHI, 2006-2008.....	31
Quadro 6 – Porcentagem de aproveitamento dos nutrientes e o fator de correção.....	42
Quadro 7 - Valores de Referência de Qualidade para os aquíferos ocorrentes na bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI 13).....	60
Quadro 8 - Municípios da UGRHI 13 que apresentam mais de 40% de sua área no Afloramento do Sistema Aquífero Guarani.....	91
Quadro 9 – Estimativa da demanda global de água para a UGRHI 13.....	93
Quadro 10 – Descrição dos pontos de monitoramento da CETESB na UGRHI 13 no período 1998-2009.....	96
Quadro 11 – Atividades agropecuárias por município da UGRHI 13.....	98
Quadro 12 - Ponto com indício de alteração de qualidade da água subterrânea por Nitrato na UGRHI 13.....	103
Quadro 13 - Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB: Estado de São Paulo e UGRHI 13 (2007-2009).....	109
Quadro 14 – Características de qualidade dos poços de monitoramento na bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI 13).....	114
Quadro 15 - Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB na UGRHI 13, com os resultados obtidos no levantamento realizado junto ao DAEE para a UGRHI 13 (zona rural).....	122
Quadro 16 - Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB (Estado de São Paulo), com os resultados obtidos no levantamento realizado junto ao DAEE para a UGRHI 13 (zona rural).....	122
Quadro 17 - Poços com indício de alteração de qualidade da água subterrânea por Nitrato na zona rural da UGRHI 13.....	124

Tabela 1 - Cana-de-açúcar, por Município, UGRHI 13, 2007/08.....	101
Tabela 2 - Cana-de-açúcar, por Município, UGRHI 13 (Maiores Produtores), 2007/08.....	102
Tabela 3 - Área cultivada, Escritórios de Desenvolvimento Regional, 2007/08.....	102
Tabela 4 - Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas por Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR), Ano Agrícola 2008/09, Levantamento final, Novembro de 2009.....	103
Tabela 5 - Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas por Região Administrativa (RA), Ano Agrícola 2008/09, Levantamento final, Novembro de 2009.....	103
Tabela 6 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, monitoramento da CETESB (1998-2000).....	104
Tabela 7 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (1998-2000).....	105
Tabela 8 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, monitoramento da CETESB (2001-2003).....	105
Tabela 9 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2001-2003).....	106
Tabela 10 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, monitoramento da CETESB (2004-2006).....	106
Tabela 11 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2004-2006).....	107
Tabela 12 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período 2007-2009.....	107
Tabela 13 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2007-2009).....	108
Tabela 14 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período total de monitoramento da CETESB (1998-2009).....	110
Tabela 15 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (1998-2009).....	111
Tabela 16 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré.....	119
Tabela 17 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré.....	120
Tabela 19 - Comparação dos resultados obtidos na interpretação estatística das concentrações levantadas para os poços localizados em área de cultivo de cana-de-açúcar, e os demais poços localizados em áreas rurais da UGRHI 13.....	129
Tabela 21 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré – área de cultivo de cana-de-açúcar.....	131
Tabela 22 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré – demais classes de uso do solo.....	131

Gráfico 1 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (1998-2009).....	111
Gráfico 2 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Guarani na bacia do hidrográfica Tietê-Jacaré (1998-2009).....	112
Gráfico 3 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (1998-2009).....	112
Gráfico 4 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Guarani (UGRHI 13): 1998-2009.....	115
Gráfico 5 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Guarani (UGRHI 13): 1998-2009.....	115
Gráfico 6 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009.....	116
Gráfico 7 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009.....	117
Gráfico 8 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009.....	117
Gráfico 9 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas de poços da zona rural da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	119
Gráfico 10 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Bauru na zona rural da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	120
Gráfico 11 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Guarani na zona rural bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	121
Gráfico 12 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na zona rural bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	121
Gráfico 13 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007).....	125
Gráfico 14 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007).....	126
Gráfico 15 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007).....	126
Gráfico 16 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007).....	127
Gráfico 17 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007).....	127
Gráfico 18 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007).....	128
Gráfico 19 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (zona rural) – área de cana-de-açúcar.....	129
Gráfico 20 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia do Tietê-Jacaré (zona rural) – demais classes de uso do solo.....	130

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
- CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
- CEPIS – Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos (São Paulo)
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil
- DRASTIC – Depth to groundwater; Recharge rates; Aquifer media; Soil media; Topography; Impact of the vadose zone; Hydraulic Conductivity
- GOD – Groundwater Hydraulic Confinement; Overlaying strata; Depth groundwater table
- IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
- IG – Instituto Geológico
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LQ – Limite de Quantificação
- IEA – Instituto de Economia Agrícola
- NTA – Norma Técnica Alimentar
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
- SAA – Secretaria de Agricultura e Abastecimento
- SERHS – Secretaria de Energia e Recursos Hídricos
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
- UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
- UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar
- UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- VI – Valor de Intervenção
- VMP – Valor Máximo Permitido
- VP – Valor de Prevenção
- VRQ – Valor de Referência de Qualidade

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE QUADROS, TABELAS E GRÁFICOS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização.....	5
1.2 Objetivos.....	6
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>8</b>
2.1 Disponibilidade, qualidade e vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas.....	8
2.1.1 Indicadores de situação das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.....	20
2.1.2 Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.....	23
2.1.3 Vulnerabilidade do Aquífero Guarani.....	33
2.2 Poluição de origem agrícola das águas subterrâneas.....	36
2.3 Nitrato e alteração da qualidade das águas subterrâneas.....	43
2.4 Aspectos legais e institucionais da gestão das águas subterrâneas.....	57
2.5 Aplicação da vinhaça no solo e impacto nas águas subterrâneas.....	62
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>81</b>

<b>4. CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>84</b>
4.1 Recursos hídricos subterrâneos.....	84
4.2 Uso e ocupação do solo e atividade agrícola.....	97
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>104</b>
5.1 Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré: consolidação dos dados existentes, quanto ao parâmetro Nitrato.....	104
5.2 Levantamento da ocorrência de nitrato em águas de poços profundos localizados em áreas rurais da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	118
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>133</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>
ANEXO 1 – TABELAS COM OS RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (PARÂMETRO NITROGÊNIO-NITRATO) NOS PONTOS MONITORADOS PELA CETESB NA UGRHI 13 NO PERÍODO 1998-2007	
ANEXO 2 – TABELA COM OS RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DA OCORRÊNCIA DE NITRATO EM POÇOS DA ZONA RURAL DA BACIA DO TIETÊ-JACARÉ	
ANEXO 3 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO TIETÊ-JACARÉ, COM A LOCAÇÃO DOS POÇOS LEVANTADOS E SUAS RESPECTIVAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO	

## 1 – INTRODUÇÃO

Do volume total de água no planeta, apenas 2,7% constituem-se de água doce, sendo que a maior parte do volume total de água doce não está disponível, por se encontrar concentrada nas calotas polares. Da água doce total disponível, cerca de 22,4% são de água subterrânea e apenas 0,01% da água doce está nos rios, de acordo com dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE).

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e há indicações de que esta tendência deverá continuar, o que explica o crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos e do número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas, tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico, como no administrativo e legal.

A água de poços e fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do Brasil a água subterrânea representa o principal manancial hídrico. Ela desempenha importante papel no desenvolvimento socioeconômico do país e permite o atendimento de comunidades pobres ou distantes das redes de abastecimento público (ANA, 2009).

No Brasil, a falta de controle na utilização da água subterrânea provavelmente não permite fazer estimativas precisas. Ainda assim, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2003), aproximadamente 61% da população brasileira eram abastecidos, para fins domésticos, com água subterrânea, sendo que 6% se auto-abastecem das águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos, sendo São Paulo o estado com maior número de poços perfurados.

Em muitas cidades do Brasil, torna-se cada vez mais freqüente encontrar publicidade da existência de poço nos empreendimentos imobiliários. Cidades importantes como Belém (AM), São Luís (MA), Natal e Mossoró (RN), Recife (PE), Maceió (AL) e Ribeirão Preto (SP) são abastecidas, total ou parcialmente, por poços tubulares. Em alguns Estados da Federação, entre 70 e 90% das cidades e 95% das indústrias já vêm sendo abastecidas por poços. Cerca de 90% das cidades do Paraná e Rio Grande do Sul são abastecidas por águas subterrâneas. No Piauí, o percentual é superior aos 80%, No Maranhão, este número supera 70% das cidades.

No Estado de São Paulo, a utilização das águas subterrâneas tem crescido rapidamente nas últimas décadas em virtude das vantagens que apresenta em relação às águas superficiais, que, por sua vez, demandam investimentos cada vez maiores devido ao alto nível de degradação da qualidade das mesmas. Em pelo menos 2/3 do Estado a condição de acesso aos mananciais subterrâneos é muito boa, graças a importantes aquíferos de extensão regional e local. Em virtude desta abundância, da qualidade de suas águas, que dispensam tratamentos custosos e ao seu baixo custo de extração, as águas subterrâneas vêm adquirindo um crescente valor econômico, sendo amplamente utilizadas para abastecimento público e industrial (SMA, 2010).

O Sistema Aquífero Bauru e o Sistema Aquífero Guarani concentram a maior proporção da exploração de água subterrânea (SMA, 2010). A água subterrânea no Estado de São Paulo é utilizada total ou parcialmente para abastecimento público por cerca de 80% dos municípios, além de ser usada na irrigação e em processos industriais, sendo a principal fonte de abastecimento para a região oeste do Estado (CETESB, 2007). Na Região Metropolitana de São Paulo, a água subterrânea é utilizada em hospitais, indústrias e hotéis.

Na agricultura brasileira, a demanda pelas águas subterrâneas vem crescendo fortemente nas últimas décadas. Esta já é amplamente utilizada na irrigação em diversas regiões, como o oeste baiano e a Chapada do Apodi (RN/CE). Estima-se que foram perfurados no Brasil cerca de 416 mil poços tubulares a partir do ano de 1958, sendo 40.000 no Estado de São Paulo (10.894 poços cadastrados).

Embora toda a água encontrada abaixo da superfície da Terra seja evidentemente subterrânea, na Hidrogeologia a denominação água subterrânea é atribuída apenas à água que circula na zona saturada, isto é, na zona situada abaixo da superfície freática. As formações permeáveis, como as areias e os arenitos, são exemplos de aquíferos (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997). As águas subterrâneas dos aquíferos regionais são águas armazenadas que se acumulam ao longo de milhares de anos e que se encontram em condições naturais, equilibradas por um mecanismo de recarga e descarga. Além dessas águas não se encontrarem diretamente expostas às influências climáticas, o seu movimento é bastante lento, implicando em um tempo de trânsito muito longo. Denomina-se aquífero a uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais. As rochas mais importantes como aquíferos são as que apresentam porosidade para o armazenamento e permeabilidade para possibilitar a movimentação da água no meio rochoso. Assim sendo, os arenitos, entre outros, formam

aquíferos regionais com grandes quantidades de água potável, sendo motivo de estudos, tanto para sua exploração, como preservação (DAEE, 1999).

De acordo com o Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente (CEPIS), a poluição das águas subterrâneas pode se dar por duas vias distintas: pelo transporte dos poluentes pelas águas de chuva, que rapidamente se infiltram até alcançar os níveis de água subterrânea; ou quando os poluentes já atingiram o aquífero, e se locomovem lateralmente. Os poluentes das águas subterrâneas são produtos da ação do homem nas atividades domésticas, industriais, agrícolas e de extração mineral. Além destas fontes, os próprios poços podem constituir focos potenciais de contaminação, se no momento de sua construção, operação e/ou manutenção, não forem tomadas as devidas precauções.

A migração dos poluentes, a partir da superfície até os poços, tende a ser um processo lento em muitos aquíferos e pode demorar muitos anos ou até décadas, antes que o impacto total de um evento contaminante, causado por um poluente persistente, se torne perceptível nas fontes de águas subterrâneas. Entre os constituintes inorgânicos, mencionados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como nocivos à saúde (efeito tóxico, carcinogênico ou mutagênico), o nitrato é aquele que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática, devido à sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas. Outros constituintes, tais como fluoreto e, em menor grau, arsênico, podem ser encontrados nas águas subterrâneas, mas freqüentemente associados à origem natural (CEPIS, 1993).

As práticas agrícolas atuais apresentam-se como potencialmente poluidoras devido às formas mecanizadas de manejo do solo, à aplicação intensiva e prolongada em extensas áreas de fertilizantes inorgânicos, assim como ao uso de agrotóxicos. Soma-se a isto a irrigação excessiva do solo, que contribui com o arraste e infiltração de nutrientes (especialmente nitratos), sais e traços de compostos orgânicos (CEPIS, 2007). No Brasil, de acordo com a ANA (2007), o desenvolvimento da agricultura nas duas últimas décadas está diretamente relacionado ao aumento da área cultivada e da produtividade. A este último fator está associado diretamente o uso de fertilizantes e agrotóxicos. A contaminação por fertilizantes inorgânicos, nitrato principalmente, é uma das maiores preocupações em razão da atividade agrícola. O uso desses insumos agrícolas tem grande potencial de contaminação difusa. Esse é o caso, especialmente, das áreas com solos relativamente pouco espessos e de drenagem rápida (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997). No entanto, outros nutrientes essenciais para a planta, como o potássio e o fósforo, tendem a ficar retidos no solo e sua lixiviação para a água subterrânea não é muito significativa (FOSTER *et al.*, 2006). As fontes de contaminação

difusa não geram plumas de contaminação claramente definidas, mas normalmente afetam uma área (e, portanto, um volume) muito maior do aquífero.

Os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são o nitrogênio ( $\text{NO}_3$ ), o potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e o fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). As quantidades anuais aplicadas desses elementos variam muito de um lugar para outro, de acordo com as colheitas. Como os fertilizantes são usados todos os anos, é de se esperar que, em muitas áreas, os excessos infiltrem e alcancem o nível freático, contaminando os aquíferos (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997). Entre esses elementos, o nitrogênio é aquele que apresenta maior impacto sobre a água subterrânea, ocorrendo principalmente na forma de nitrato. O nitrato apresenta alta mobilidade no solo e na água subterrânea por ser muito pouco adsorvido e, por isso, pode contaminar extensas áreas.

No Brasil, para exemplificar, entre as diversas origens propostas para ocorrência de elevadas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru-Caiuá, está o uso de fertilizantes. No país, são ainda escassos os trabalhos que avaliam o impacto da atividade agrícola sobre a qualidade das águas subterrâneas, considerando a presença de fertilizantes e agrotóxicos em áreas de agricultura e, em especial, nas áreas de recarga, onde os aquíferos tendem a ser mais vulneráveis (ANA, 2005).

Os tipos de atividades agrícolas que geram contaminação difusa mais preocupante das águas subterrâneas são as relacionadas com extensas áreas de monocultura. Os cultivos rotativos mais tradicionais, o pasto extensivo e os sistemas de agricultura ecológica normalmente apresentam menos probabilidade de carga contaminante no subsolo. O cultivo de produtos perenes também produz menos perdas por lixiviação do que nos locais onde se pratica a agricultura sazonal, pois há menos perturbação e aeração do solo e a plantação tem uma necessidade mais contínua de nutrientes. Quando, porém, se renovam os cultivos perenes e o solo precisa ser aerado, pode ocorrer maior liberação e lixiviação de nutrientes (FOSTER *et al.*, 2006).

Um dos fatores preocupantes é o efluente principal da indústria do álcool, a vinhaça de cana-de-açúcar. Cada litro de álcool fabricado gera **cerca de** treze litros de vinhaça, com diferentes teores de potássio e **nitrogênio** de acordo com a origem. A vinhaça, ou vinhoto, possui altas concentrações de potássio, cloreto, nitrogênio total, cálcio, sulfato, fósforo total, concentração significativa de alguns metais e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) elevada, que podem causar sérios danos aos cursos superficiais de água. Devido a esse problema, optou-se pela disposição da vinhaça no solo, **como fertilizante**, por aspersão ou irrigação por canais, como fertilizante. Desta forma, a vinhaça é amplamente utilizada como substituto parcial ou total de adubos minerais. A vinhaça também é disposta em lagoas e valas

de infiltração. Tais áreas são conhecidas como “áreas de sacrifício”. Ambas as práticas representam uma ameaça local à qualidade da água subterrânea.

### 1.1 – Contextualização

O nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea. A sua presença em concentrações excessivas é cada dia maior e está se ampliando e ameaçando muitos sistemas aquíferos em várias partes do mundo. Isto é consequência das atividades agrícolas e do lançamento indiscriminado de esgotos sobre e abaixo da superfície do solo. Concentrações superiores aos limites permissíveis para água potável são encontradas em muitas regiões agrícolas, como por exemplo, na Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos. Em áreas onde existem componentes verticais de fluxo, a contaminação por nitrato pode atingir grandes profundidades (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997).

De acordo com a CETESB (2007), o parâmetro Nitrato tem sido mundialmente utilizado como indicador de contaminação das águas subterrâneas, principalmente porque apresenta alta mobilidade e persistência, podendo contaminar extensas áreas. No Estado de São Paulo, a avaliação da evolução das concentrações dos compostos nitrogenados nos poços monitorados pela Rede CETESB mostra aumento desses contaminantes nos aquíferos em geral.

No período de 2001 a 2003, foram identificados 11 pontos de monitoramento com N-Nitrato em concentrações acima do valor de alerta de 5,0 mg/L de N-NO<sub>3</sub>, apontando assim indícios de alteração antrópica. Já no período de 2004 a 2006, identificaram-se 29 pontos nessa condição. Além do aumento do número de pontos com N-Nitrato acima de 5,0 mg/L, há também uma nítida tendência de aumento das concentrações ao longo do tempo (CETESB, 2007).

Para a UGRHI (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) n°13 (Tietê-Jacaré), em termos de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos, o trabalho conjunto do Instituto Geológico/Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo/Departamento de Águas e Energia Elétrica (IG/CETESB/DAEE, 1997), constatou nível predominantemente médio, encontrando níveis altos nas áreas de exposição do Aquífero Guarani.

Na UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), as águas subterrâneas dos aquíferos Serra Geral e Guarani foram monitoradas em dezessete pontos no período de 1998 a 2009, todos poços tubulares utilizados para abastecimento público.

Sob a denominação de Aquífero Guarani são incluídas as formações Botucatu e Pirambóia. O Aquífero Guarani apresenta área de afloramento em apenas 13% da área total da bacia, mas ocorre em sua totalidade em sub-superfície, tendo os basaltos da Formação Serra Geral como unidade confinante.

O Aquífero Guarani, sendo constituído por arenitos relativamente permeáveis, devido à sua origem fundamentalmente eólica, apresenta na sua zona de recarga a maior vulnerabilidade à contaminação. A vulnerabilidade do Guarani diminui à medida que a formação se aprofunda e adquire condições de confinamento, subjacente aos basaltos da Formação Serra Geral. Estudos têm revelado que as águas do Aquífero Guarani ainda estão livres de contaminação. Contudo, considerando que a área de recarga coincide com importantes áreas agrícolas brasileiras, é de se esperar que sejam necessárias medidas urgentes de monitoramento e redução da carga de fertilizantes e agrotóxicos, para evitar a possível contaminação do mesmo devido ao uso inadequado desses agentes (BORGUETTI *et al.*, 2004).

Na UGRHI 13, no ponto Cetesb nº 111, localizado no município de Ribeirão Bonito, há presença de N-Nitrato acima de 5,0 mg/L, indicando alteração de qualidade da água subterrânea. Além disso, no Ponto 13, localizado no município de Bauru, no ponto 15, município de Boracéia, e no ponto 33, localizado no município de Dourado, foram observados picos de concentrações de N-Nitrato acima de 5,0 mg/L.

Quanto ao uso e ocupação do solo na UGRHI 13, pode-se verificar a predominância das atividades agrícolas em relação aos demais temas (CPTI/IPT, 2008). Nesse contexto, verifica-se a representatividade da cana-de-açúcar, com participação percentual de cerca de 34% no uso e ocupação do solo da bacia para o ano de 2005. Considerando as extensas áreas de plantio de cana-de-açúcar, fonte para o complexo sucroalcooleiro, destaque para a economia regional, esta pesquisa procura contribuir para minorar a carência de informações técnico-científicas a respeito da influência das práticas agrícolas no nível de ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas da UGRHI 13, tendo em vista o uso intensivo de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados, bem como a necessidade de preservação de áreas de recarga ocorrentes na bacia, principalmente para o Aquífero Guarani, pela sua importância regional, nacional e para o Cone Sul do continente.

## **1.2 – Objetivos**

A presente pesquisa tem como objetivo principal a realização de um levantamento e sistematização, a partir de dados existentes de qualidade da água (CETESB e DAEE), da

ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Serra Geral, Bauru e Guarani, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13 (Tietê-Jacaré).

Objetivos Específicos:

- verificar a ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas, em poços localizados em áreas rurais, como possível efeito da prática da disposição de resíduos agro-industriais no solo, principalmente a vinhaça, e da aplicação intensiva de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados, em áreas de cultivo agrícola de cana-de-açúcar, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13 (Tietê-Jacaré);
- verificar alterações regionais de qualidade das águas subterrâneas, ocasionadas por concentrações de nitrato superiores ao Valor de Prevenção (VP) de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  estabelecido pela CETESB, indicando alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica;
- identificar alterações na qualidade da água subterrânea, ocasionadas por concentrações de nitrato superiores ao recomendado pela Portaria Federal nº 518/2004 que estabelece o Valor Máximo Permissível (VMP) de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Hipóteses testadas:

- as análises de água dos poços apontam indícios de contaminação que afetam a qualidade das águas subterrâneas, na bacia do Tietê-Jacaré;
- os valores de concentrações de nitrato em águas subterrâneas, encontrados através de análises químicas realizadas em poços da bacia Tietê-Jacaré, encontram-se abaixo do padrão de potabilidade para este parâmetro;
- os valores de nitrato encontrados nas análises ultrapassam um valor de alerta, indicando alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica;
- há poços que apresentam problemas quanto à potabilidade para o parâmetro de concentração de nitrato em águas subterrâneas, na bacia do Tietê-Jacaré;
- a presença do contaminante nitrato em áreas rurais se dá como efeito da aplicação intensiva de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados e da disposição de resíduos agro-industriais no solo, principalmente a vinhaça.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Disponibilidade, qualidade e vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas

A potencialidade de água subterrânea no território nacional não é uniforme, ocorrendo regiões de escassez e outras com relativa abundância, havendo localidades com significativa disponibilidade hídrica, como aquelas abrangidas pelo Aquífero Guarani, e aquíferos sedimentares em geral, e outras com disponibilidade baixa, como aquelas de ocorrência das rochas cristalinas, no semi-árido brasileiro. Com relação aos sistemas aquíferos, os melhores estão localizados nos terrenos sedimentares, que ocupam 48% da área do Brasil e que têm grande potencial para a água subterrânea, pois estão aliados a condições climáticas favoráveis, onde estima-se um reserva explorável total no valor de 4.095 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2009). As principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo são apresentadas na Figura 1:

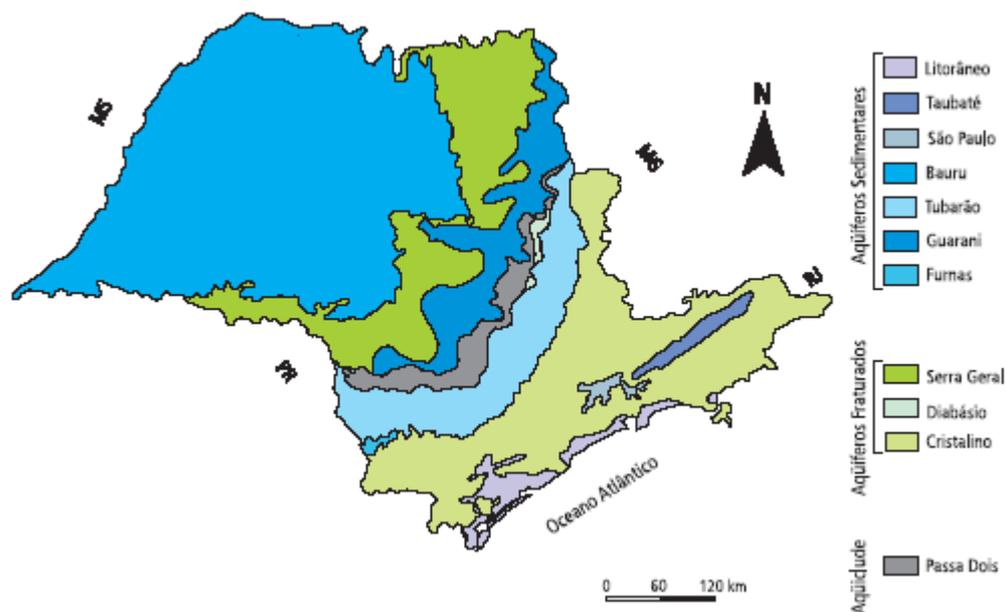


Figura 1 – Principais unidades aquíferas do Estado de São Paulo (IRITANI & EZAKI, 2008)

Pode-se afirmar que, em pelo menos 2/3 do estado, o potencial explorável é muito bom, conforme Figura 2 a seguir e, mesmo nas áreas menos favoráveis do ponto de vista hidrogeológico, quando as demandas são compatíveis com vazões menores, o suprimento de pequenas comunidades, propriedades rurais e pequenas indústrias com água subterrânea pode ser atraente.

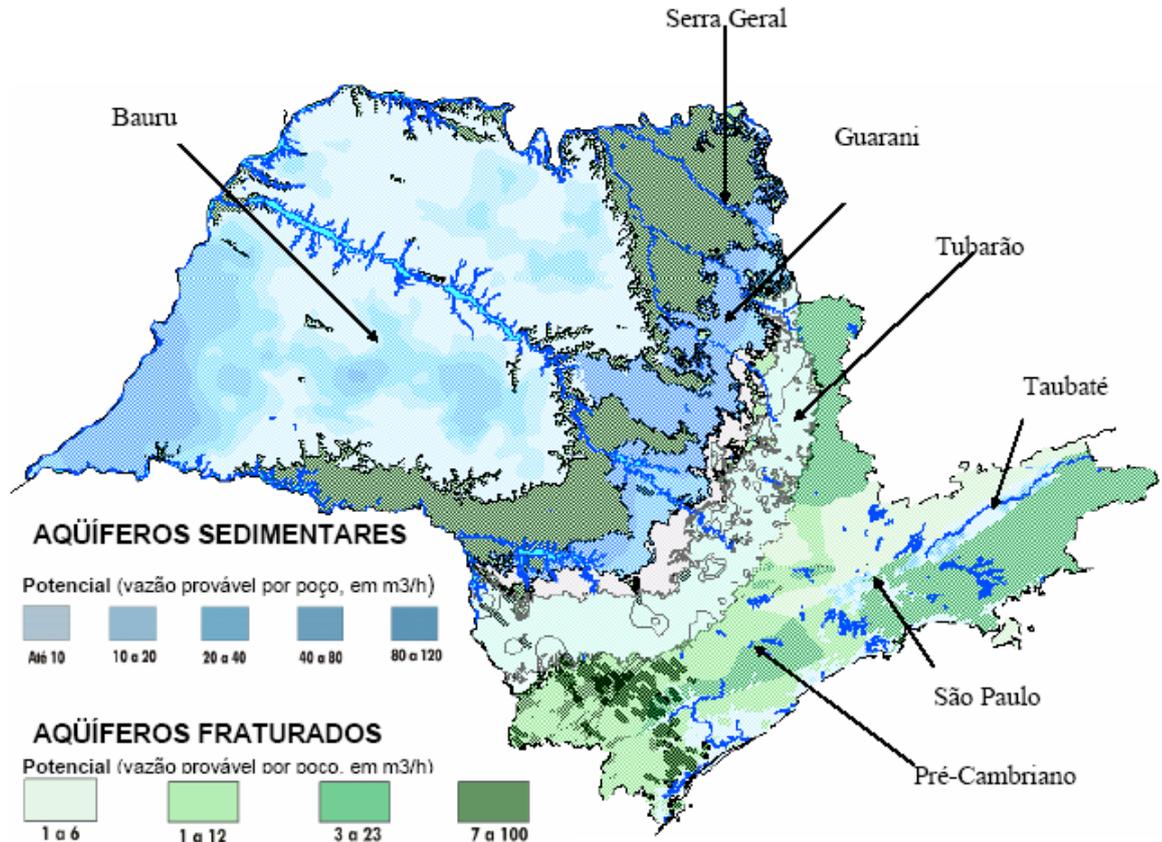


Figura 2 - Mapa das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005)

Em virtude da abundância e qualidade de suas águas (que dispensam tratamentos custosos), baixo custo de extração, grau de deterioração da qualidade das águas superficiais (cujo uso vem exigindo investimentos cada vez maiores), as águas subterrâneas vêm adquirindo um crescente valor econômico, sendo amplamente utilizadas para abastecimento público e industrial.

De acordo com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH, 2006), o conceito básico do gerenciamento integrado de uma bacia hidrográfica já não é de escolha entre águas superficiais ou subterrâneas para atendimento das diferentes demandas, mas de articulação dos mananciais disponíveis para garantir a regularidade da oferta, sua qualidade e ao menor custo possível. As retiradas sustentáveis totais de águas subterrânea no Estado, envolvendo os aquíferos livres ou freáticos, são avaliadas grosso modo em 340 m<sup>3</sup>/s, e muito embora existam estimativas de distribuição desse recurso pelas diversas bacias, elas são imprecisas. Estima-se, também, que as reservas exploráveis do Sistema Guarani confinado, em território paulista, atinjam um valor em torno de 150 m<sup>3</sup>/s.

O Estado de São Paulo apresenta o seguinte panorama geral quanto à disponibilidade de recursos hídricos:

- em termos globais, há abundância de água, ocorrendo escassez apenas em áreas localizadas, de excessiva concentração de demandas. Nestes casos, as águas subterrâneas podem representar um importante recurso complementar;
- os recursos hídricos subterrâneos, onde presentes, representam a mais flexível das fontes permanentes d'água, devido à extensão dos aquíferos, às vazões por poço e à sua boa qualidade;

A utilização das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado tem crescido rapidamente nas últimas décadas, em virtude das vantagens que apresentam em relação aos mananciais de superfície, cujo uso vem exigindo, em alguns casos, investimentos cada vez maiores, sobretudo para tratamento das suas águas, em face do alto nível de degradação da qualidade das mesmas (CRH, 2006).

Em treze das vinte e duas UGRHIs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) do Estado de São Paulo (4, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22) o recurso hídrico subterrâneo é a fonte primária para abastecimento público, principalmente na região oeste do estado. Nesse quadro, acrescenta-se a UGRHI 02, correspondente, praticamente, ao domínio paulista da bacia do Paraíba do Sul, onde importantes cidades são abastecidas por mananciais subterrâneos. Embora essa utilização predomine nos municípios com menos de 10.000 habitantes, cidades como Ribeirão Preto, Fernandópolis, Tupã, Catanduva, Matão, Jacareí, Jales e Lins dependem totalmente desse recurso para o seu abastecimento público. Outras, como Lorena, Bauru, Araraquara, São Carlos e São José do Rio Preto, dependem entre 50% e 100% do manancial subterrâneo para seu abastecimento, sendo que as águas do Aquífero Bauru são largamente utilizadas e, na maioria dos casos, é o único recurso hídrico aproveitado para esse fim, conforme mostrado na Figura 3:

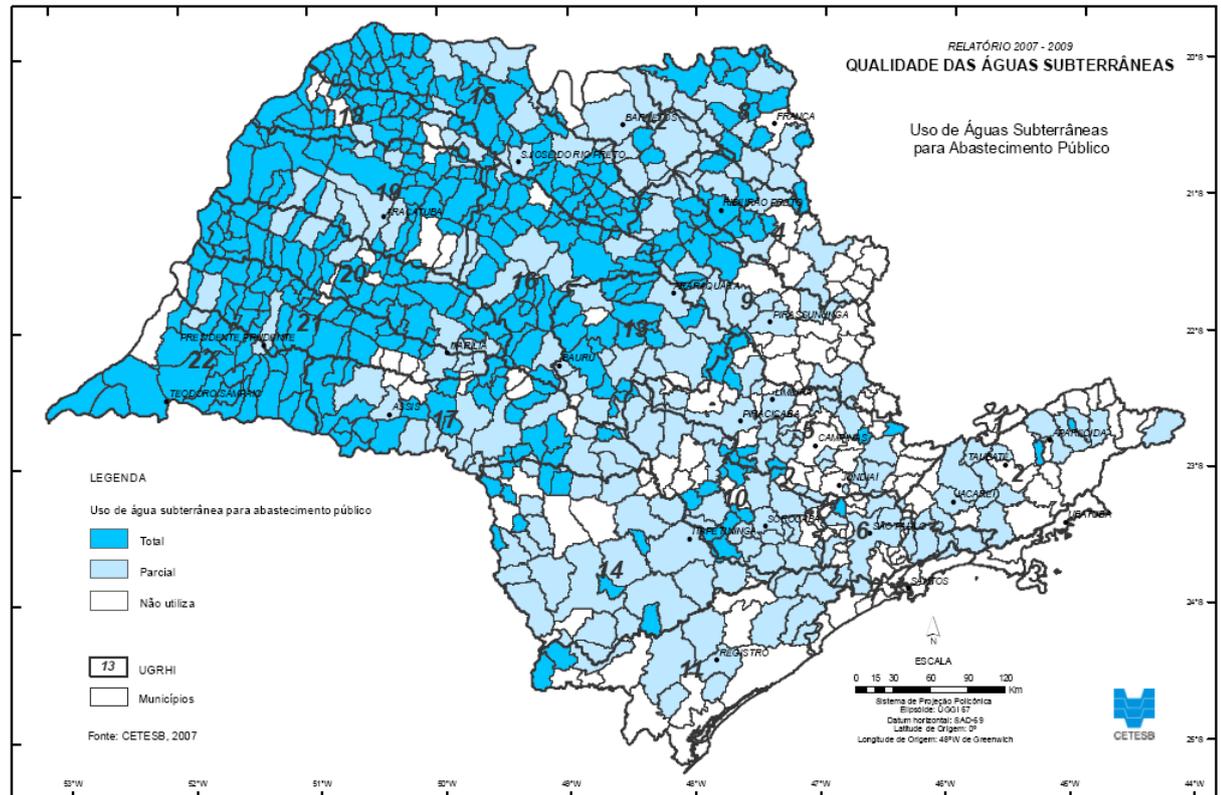


Figura 3 – Uso de Águas Subterrâneas para abastecimento público (CETESB, 2010)

Além disso, mesmo nas cidades com rede de abastecimento de água superficial que atende mais de 90% da população, tal como na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), grande é o número de poços utilizados para auto-abastecimento, como forma de contornar os déficits de água em determinadas regiões e como forma mais econômica de abastecimento, em relação aos preços cobrados pelo serviço público (SMA, 2010)

A partir dos dados compilados pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), estima-se que o total explorado de água subterrânea para abastecimento público no Estado, atinge uma vazão em torno dos 22,5 m<sup>3</sup>/s. A maior parte dessa exploração encontra-se no noroeste paulista e está centrada no Sistema Aquífero Bauru (Aquífero Adamantina e Caiuá) e, em cidades de maior porte, no Sistema Aquífero Guarani, com poços de grandes profundidades.

Embora, por um lado, existam estimativas de volumes explorados de aquíferos para o abastecimento público no Estado, não ocorre o mesmo com os dados disponíveis para o uso privado. Estes são limitados e pouco confiáveis. Vale assinalar, ainda, que mesmo nas UGRHIs localizadas nos terrenos cristalinos, relativamente os menos promissores em termos de vazões obtidas por poços, há um uso intensivo para abastecimento industrial e para consumo doméstico autônomo. Estima-se que existam aproximadamente 30 mil poços

tubulares em atividade e várias dezenas de milhares de poços cacimbas e mini-poços no território paulista. É evidente a falta de controle na exploração do recurso subterrâneo quando são comparados os prováveis poços existentes em operação no Estado e aqueles outorgados. Considerando-se que haja 30 mil poços, somente 27% deles estão outorgados (CRH, 2006).

Uma estimativa tentativa dos volumes explorados de águas subterrâneas nas 22 unidades de gerenciamento de recursos hídricos, foi empreendida com dados dos Relatórios de Situação e Planos de Bacia das UGRHIs, os quais geralmente baseiam-se no cadastro de outorgas do DAEE. Os dados mostram que, grosso modo, uma vazão em torno dos 42 m<sup>3</sup>/s de água subterrânea é extraída de aquíferos no Estado de São Paulo. Desta, uma vazão de 22,5 m<sup>3</sup>/s seria utilizada para abastecimento público. Considerando-se a precariedade dos dados referentes à extração de águas subterrâneas, não foram feitas, no contexto do trabalho, projeções quanto à utilização desse recurso.

A qualidade natural das águas subterrâneas está diretamente relacionada às suas características físico-químicas e sua vulnerabilidade a contaminações externas. As principais restrições ao uso resultam, de alguma forma, da ação antrópica. Há amplos indícios de contaminação bacteriológica em poços rasos (cacimbas) e em poços tubulares, conseqüência de má construção ou contaminação dos mesmos (CRH, 2006).

De um modo geral, todos os sistemas aquíferos do Estado estão expostos a uma progressiva deterioração, decorrente da ocupação urbana, da expansão industrial e do crescimento da atividade agrícola. Apesar de todo o esforço dos órgãos públicos, no sentido de estabelecer o controle e a conservação do meio ambiente (e, no caso em pauta, dos recursos hídricos) persiste a má utilização do solo, especialmente nas áreas urbanas, com reflexos diretos sobre os recursos hídricos subterrâneos: superexploração, rebaixamentos crescentes do nível piezométrico, abundância de vetores e agentes de contaminação devido à infiltração de esgotos não tratados e disposição inadequada de resíduos sólidos. Nas áreas rurais, o crescente emprego de agroquímicos acelera a poluição das águas subterrâneas, substituindo o papel desempenhado pelos esgotos nas cidades (CRH, 2006).

Durante o percurso no qual a água percola entre os poros do subsolo e das rochas, ocorre a depuração da mesma através de uma série de processos físico-químicos (troca iônica, decaimento radioativo, remoção de sólidos em suspensão, neutralização de pH em meio poroso, entre outros), e bacteriológicos (eliminação de microorganismos devido à ausência de nutrientes e oxigênio que os viabilizem), que agindo sobre a água, modificam as suas características adquiridas anteriormente, tornando-a particularmente mais adequada ao consumo humano. Sendo assim, a composição química da água subterrânea é o resultado

combinado da composição da água que adentra o solo e da evolução química influenciada diretamente pelas litologias atravessadas, sendo que o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento (SMA, 2003).

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação ao das águas dos rios: são filtradas e tratadas naturalmente através da percolação, determinando excelente qualidade e dispensando tratamentos prévios; não ocupam espaço em superfície; sofrem menor influência das variações climáticas; são passíveis de extração perto do local de uso; possuem temperatura constante; têm maior quantidade de reservas; necessitam de custos menores como fonte de água; as suas reservas e captações ocupam área superficial reduzida; apresentam grande proteção contra agentes poluidores; o uso do recurso aumenta a reserva e melhora a qualidade; possibilitam a implantação de projetos de abastecimento à medida da necessidade (WREGE, 1997).

De acordo com REBOUÇAS (1996), o manancial subterrâneo acha-se relativamente melhor protegido dos agentes de contaminação que afetam rapidamente a qualidade das águas dos rios, na medida em que ocorre sob uma zona não saturada (aquífero livre), região entre o nível d'água e a superfície, ou está protegido por uma camada relativamente pouco permeável (aquífero confinado). Segundo o autor, mesmo assim, está sujeito a impactos ambientais, tais como a contaminação.

A vulnerabilidade de um aquífero refere-se ao seu grau de proteção natural às possíveis ameaças de contaminação potencial, e depende das características litológicas e hidrogeológicas dos estratos que o separam da fonte de contaminação (geralmente superficial), e dos gradientes hidráulicos que determinam os fluxos e o transporte das substâncias contaminantes através dos sucessivos estratos e dentro do aquífero (CALCAGNO, 2001). A contaminação ocorre pela ocupação inadequada de uma área que não considera a sua vulnerabilidade, ou seja, a capacidade do solo em degradar substâncias tóxicas introduzidas no ambiente, principalmente na zona de recarga dos aquíferos. A contaminação pode se dar por fossas sépticas e negras; infiltração de efluentes industriais; fugas da rede de esgoto e galerias de águas pluviais; vazamentos de postos de serviços; por aterros sanitários e lixões; uso indevido de fertilizantes nitrogenados; depósitos de lixo próximos dos poços mal construídos ou abandonados.

O termo risco de contaminação pode ser definido como a probabilidade de ocorrência de alterações na qualidade das águas subterrâneas devido à presença de determinadas cargas poluidoras. Segundo FOSTER & HIRATA (1988), a caracterização mais apropriada para este

termo consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície, conforme esquema mostrado na Figura 4. Desta forma, pode-se configurar uma situação de alta vulnerabilidade, porém, sem risco de contaminação se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero.

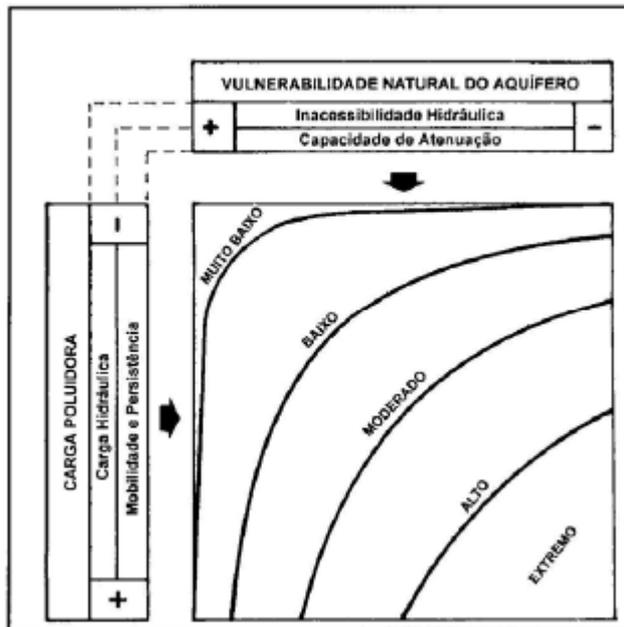


Figura 4 - Esquema conceitual do risco de contaminação de águas subterrâneas (FOSTER & HIRATA, 1988)

As classes de vulnerabilidade são definidas conforme o Quadro 1:

Quadro 1 - Definição das classes de vulnerabilidade do aquífero (FOSTER *et al.*, 2006)

<b>Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Definição Correspondente</b>
<b>Extrema</b>	vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
<b>Alta</b>	vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente absorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
<b>Moderada</b>	vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
<b>Baixa</b>	vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
<b>Insignificante</b>	presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

Segundo FOSTER & HIRATA (1988), o termo vulnerabilidade natural é aplicado para representar determinadas características intrínsecas ao meio aquífero, que condicionam sua maior ou menor suscetibilidade a ser adversamente afetado por uma carga poluidora imposta. No estudo de vulnerabilidade natural dos aquíferos do Estado de São Paulo, utilizou-se como sistema de avaliação a proposta metodológica desenvolvida pelos autores.

O método GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi amplamente testado na América Latina e no Caribe, durante a década de 1990 e, para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados dois fatores básicos:

- o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero;
- a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero;

Esses fatores, no entanto, não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros. Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável, se o objetivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (FOSTER *et al.*, 2006).

Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade GOD caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, tendo em conta os seguintes parâmetros (geralmente disponíveis ou facilmente determinados):

- o confinamento hidráulico da água subterrânea (tipo de confinamento) no aquífero em questão;

- especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero (selecionar a litologia predominante ou limitante, em termos de permeabilidade), em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação (portanto, porosidade indiretamente dinâmico-efetiva, permeabilidade da matriz e teor de umidade da zona não-saturada ou retenção específica) que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante;

- a profundidade até o lençol freático (dos aquíferos não confinados), ou a profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados).

Esse sistema foi aplicado utilizando-se dados e levantamentos existentes, de modo a compor o mapa de vulnerabilidade em nível de reconhecimento regional, apresentado na escala 1:1.000.000.

Pode-se dizer que, nas áreas de afloramento das formações geológicas, ou seja, onde a rocha está exposta ou recoberta apenas por camadas de solo, a recarga dos aquíferos, isto é, a infiltração de água, é direta. Por isso, nessas áreas a vulnerabilidade ao risco de poluição é maior (CRH, 2006). A aplicação dos critérios foi realizada de forma sucessiva, com pontuações definidas por parâmetro, resultando em um índice de vulnerabilidade para cada aquífero avaliado. Foram definidas zonas de índices relativos de vulnerabilidade natural dos aquíferos, onde a gradação se estendeu de índices baixo, médio e alto, subdivididos em dois subníveis (alto e baixo), resultando em seis classes, conforme a Figura 5 a seguir:

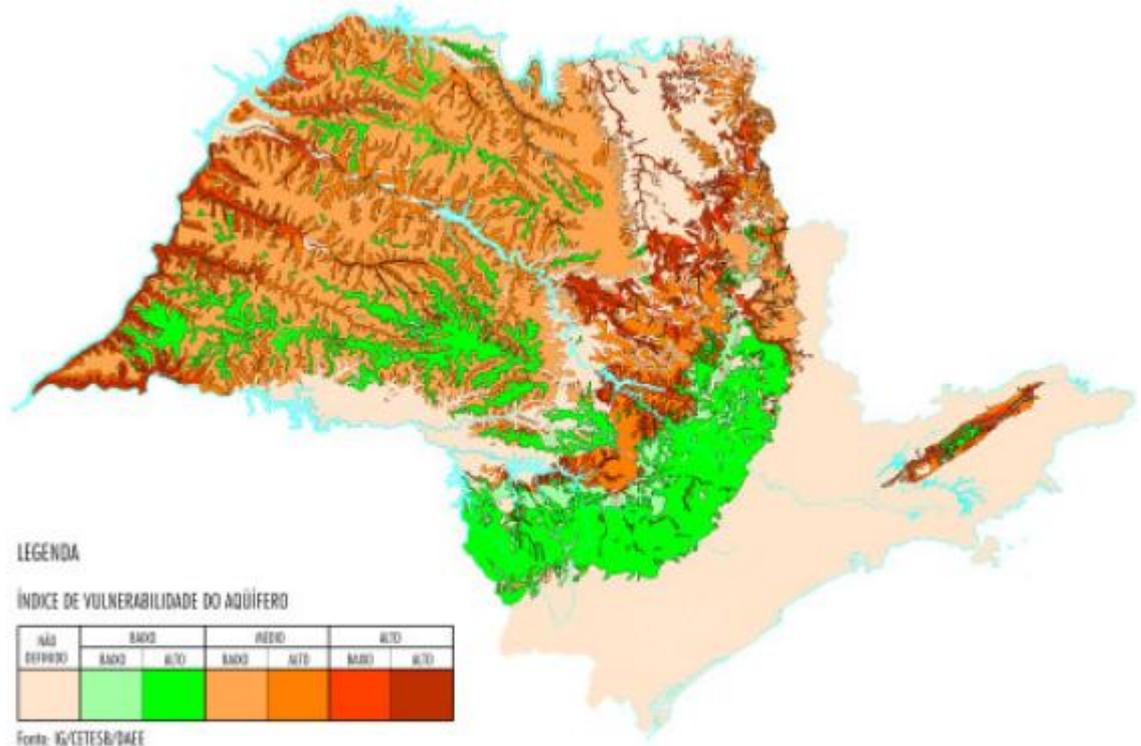


Figura 5 - Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas (IG/CETESB/DAEE, 1997)

A aplicação do método de vulnerabilidade não se estendeu aos domínios dos aquíferos cristalinos (embasamento cristalino Pré-Cambriano e basaltos Serra Geral), devido à disponibilidade de informações e à grande heterogeneidade hidráulica dessas unidades aquíferas. Também não foi avaliado o Aquífero Botucatu em suas porções confinadas. O estudo sugere que a análise de tais aquíferos seja realizada em linhas gerais de proteção, voltadas para o ponto de captação e para as condições geológicas locais das obras.

Recentemente, considerando a importância da atividade canavieira no Estado de São Paulo e sua crescente expansão, cumprindo os termos do Protocolo Agroambiental firmado entre o Governo Paulista e o setor, e considerando a necessidade de regulamentação dos critérios técnicos para a fixação de condicionantes e exigências diferenciadas em processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos sucroalcooleiros, e visando aprimorar a gestão das áreas agricultáveis, as Secretarias de Estado do Meio Ambiente e de Agricultura e Abastecimento publicaram a Resolução Conjunta SMA-SAA nº 04, de 18 de setembro de 2008, que dispõe sobre o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (alterado pela Resolução Conjunta SMA/SAA nº 06, de 24/09/2009). As áreas classificadas como “adequadas com restrições ambientais” (conforme Figura 7), correspondem, inclusive, às áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, mostradas na Figura 6, conforme publicação IG/DAEE/CETESB (1997).

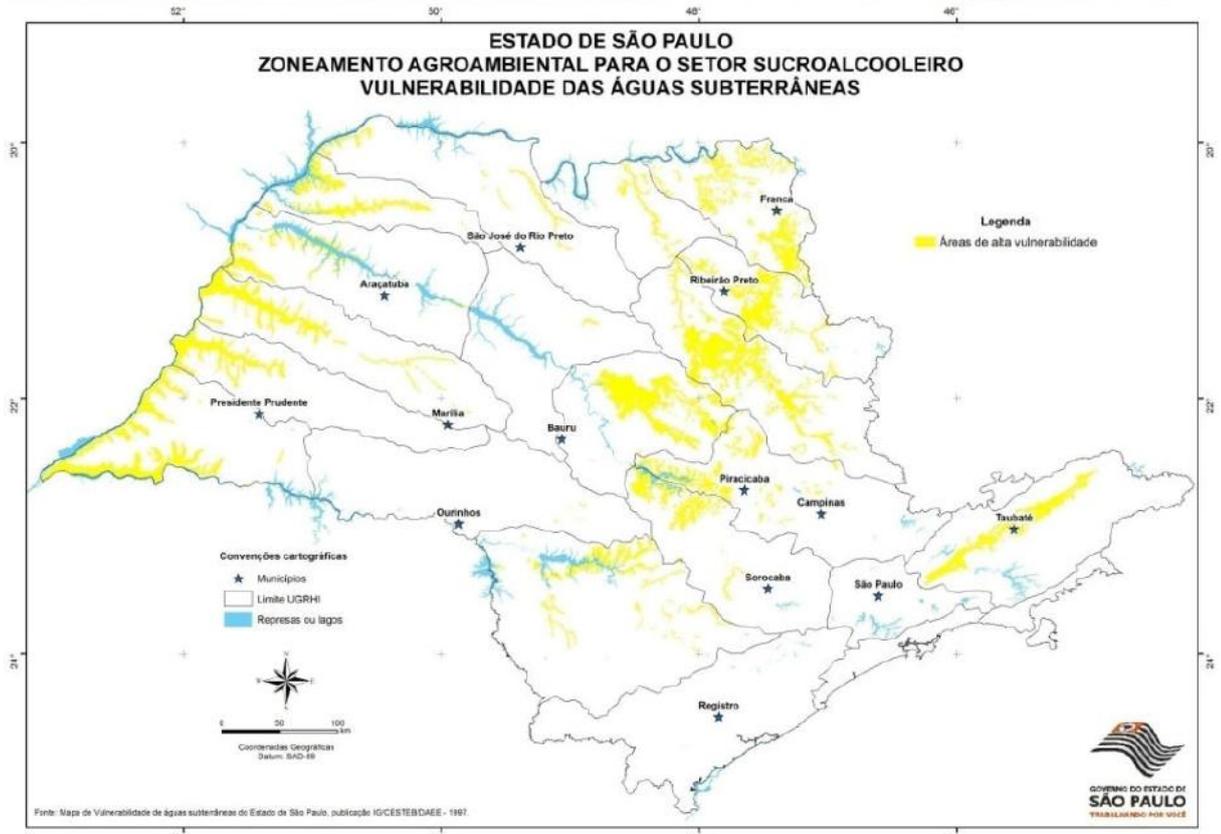


Figura 6 - Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas (SMA/SAA, 2009)

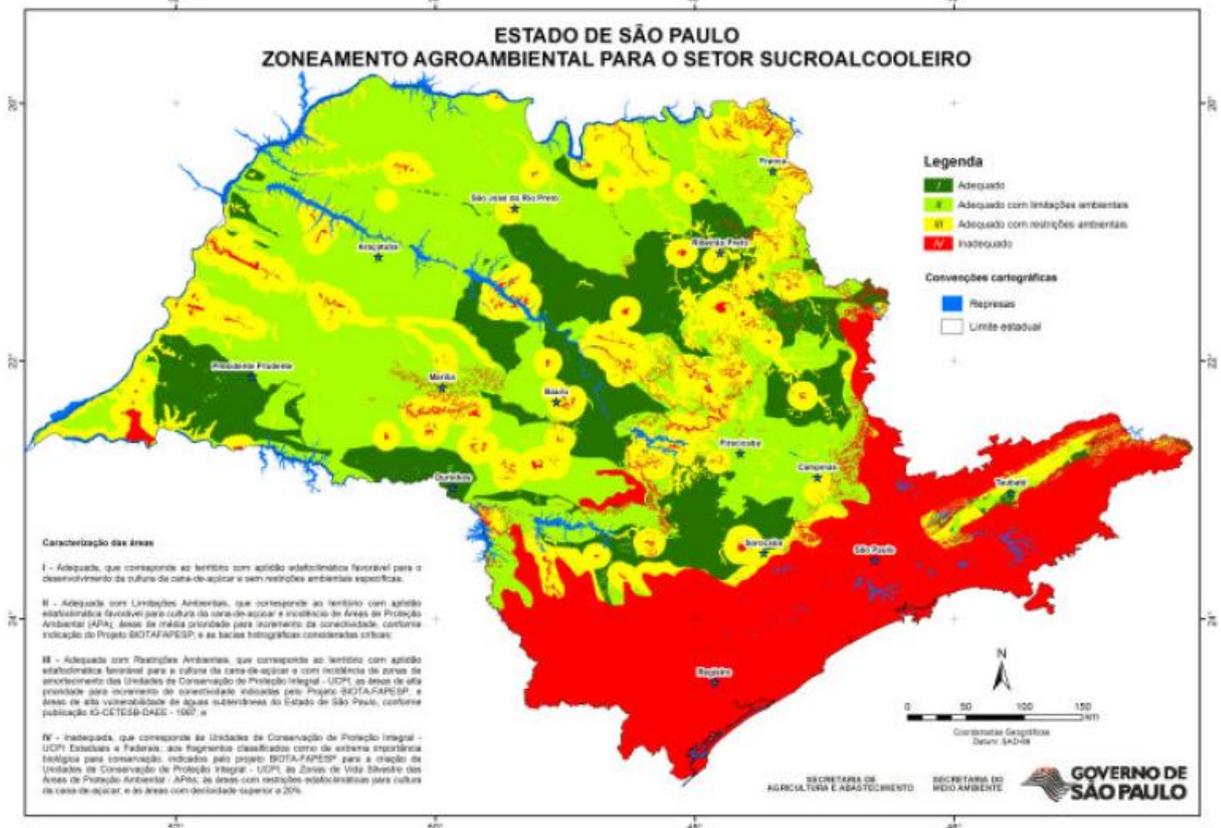


Figura 7 - Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo (SMA/SAA, 2009)

Nesse contexto, deve-se destacar a publicação da Resolução SMA nº 88, de 19 de dezembro de 2008 (republicada em 26/03/2009), que define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, segundo a qual, o tipo de Estudo Ambiental a ser apresentado para demonstrar a viabilidade do empreendimento sucroalcooleiro será definido de acordo com a localização da unidade industrial no Mapa “Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo”

Segundo FOSTER *et al.* (2006), o esquema de vulnerabilidade GOD original não incluía um estudo explícito do solo, no sentido agrícola. No entanto, a maioria dos processos que provocam a atenuação e/ou eliminação dos contaminantes no subsolo ocorre com muito mais frequência na zona biologicamente ativa do solo, como resultado do maior teor de matéria orgânica, do maior conteúdo de mineral argiloso e da presença mais numerosa de populações bacterianas. Uma possível modificação ao método (GODS) inclui um índice de suscetibilidade de lixiviação do solo (baseado em classificação feita de acordo com a textura e o conteúdo orgânico do solo), como um quarto passo capaz de reduzir a pontuação geral em algumas áreas de alta vulnerabilidade hidrogeológica. Dentro de áreas urbanas, o solo com frequência é removido durante as construções ou em escavações (como poços, valas ou lagos), e a carga poluente no subsolo é aplicada abaixo de sua base, razão por que se deve assumir que a zona do solo é ausente e utilizar a vulnerabilidade hidrogeológica não corrigida.

Segundo os autores, encontram-se, na bibliografia sobre o assunto, outros esquemas de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, os quais podem ser classificados em três grupos principais:

- **Ambientes hidrogeológicos:** baseiam a avaliação da vulnerabilidade, em termos qualitativos, nas características gerais do ambiente, usando mapas temáticos;
- **Modelos análogos:** utilizam expressões matemáticas para os parâmetros essenciais (como tempo de trânsito médio na zona não-saturada) como indicadores do índice de vulnerabilidade;
- **Sistemas paramétricos:** usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para produzir algum tipo de índice de vulnerabilidade relativo ou absoluto. O mais conhecido dentre esses métodos é o DRASTIC, que tenta quantificar a vulnerabilidade relativa pela soma dos índices ponderados obtidos para sete variáveis hidrogeológicas: aspecto topográfico, solo, meio aquífero, condutividade hidráulica da zona saturada, taxas de recarga natural, distância até a água subterrânea, e impacto (efeito) da zona vadosa.

### 2.1.1 - Indicadores de situação das águas subterrâneas no Estado de São Paulo

No trabalho conjunto do Departamento de Águas e Energia Elétrica/Instituto Geológico/Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Serviço Geológico do Brasil (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005), foram aplicados diferentes indicadores de qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos para cada uma das vinte e duas UGRHIs no Estado de São Paulo. Os indicadores propostos, junto com informações disponíveis para cada UGRHI, são apropriados para verificar a situação das águas subterrâneas no Estado em escala regional. A utilização conjunta destes indicadores permite a avaliação das águas subterrâneas em relação a: (1) dependência, (2) disponibilidade e (3) qualidade natural e alterada por atividade antrópica, conforme a Figura 8 a seguir:

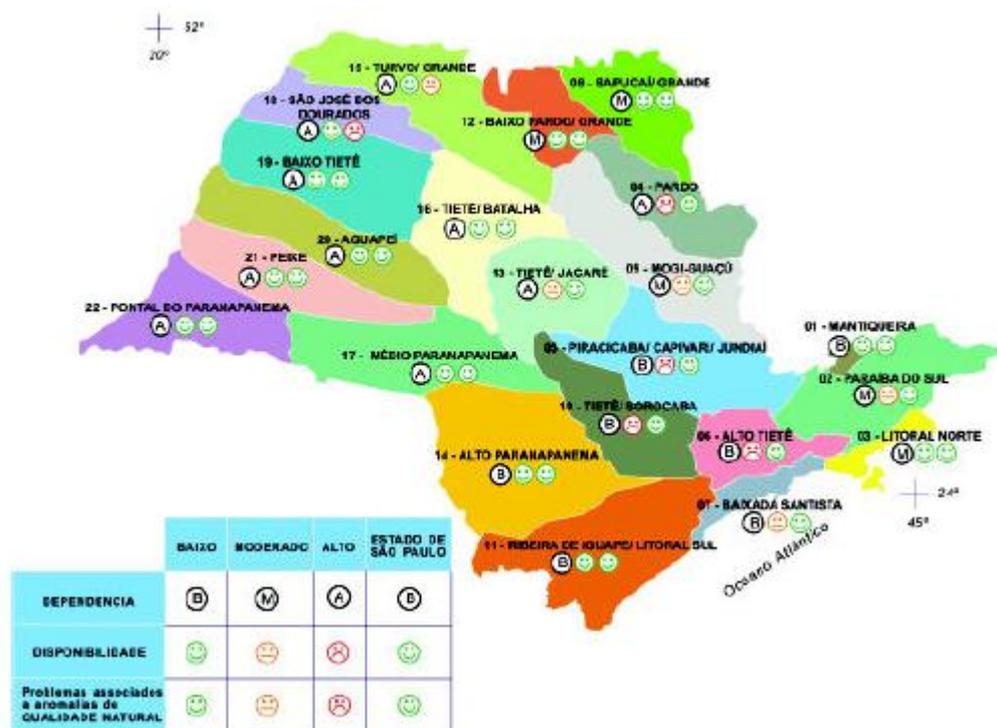


Figura 8 - Situação das águas subterrâneas por meio de indicadores de qualidade e quantidade (IG/DAEE/IPT/CPRM, 2005)

A dependência das águas subterrâneas é nítida no Estado de São Paulo, como denotam os Indicadores 1 e 2. Com referência ao abastecimento público, observa-se que nove UGRHIs mostram alta dependência em relação à água subterrânea (>50% da população abastecida); 6, intermediária (49 a 25%); e 7, baixa (<24%). A maior demanda está situada nas porções norte, central e oeste do Estado. Por outro lado, considerando-se o uso da água subterrânea para outros fins em relação ao recurso hídrico total (superficial + subterrâneo), a dependência é

expressivamente menor (11% para todo o Estado), denotando o uso preferencial das águas subterrâneas para abastecimento público.

Os indicadores obtidos para a UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), objeto de estudo da presente pesquisa, são resumidos no Quadro 2 e descritos logo a seguir:

Quadro 2 - Indicadores dos recursos hídricos subterrâneos da UGRHI 13 (IG/DAEE/IPT/CPRM, 2005)

UGRHI	Dependência		Disponibilidade		Qualidade		
	Indicador 1 (%)	Indicador 2 (%)	Indicador 3 (L/hab/dia)	Indicador 4 (%)	Indicador 5 (%)	Indicador 6 (%)	Indicador 7 (%)
13. Tietê/Jacaré	61	29	843	28	5% B; 60% M; 25% A; 10% ND	0,2	0

Indicador 1 = Abastecimento público por água subterrânea/população total da UGRHI: 61% (alta dependência em relação à água subterrânea (> 50% da população abastecida)

A maioria das bacias situa-se na categoria baixa ( $I2 < 25\%$ ), três na moderada ( $25\% \leq I2 < 50\%$ ), e uma na alta ( $I2 = 50\%$ ), UGRHI São José dos Dourados.

Indicador 2 = Demanda total de água subterrânea (todos os usos)/demanda total dos recursos hídricos: 29% (Quantidade de água explorada para múltiplos usos (doméstico, agrícola, industrial) em relação os recursos hídricos totais extraídos (subterrâneos e superficiais); Categoria moderada ( $25\% \leq I2 < 50\%$ ))

A disponibilidade das águas subterrâneas pode ser mensurada pelos indicadores 3 e 4. Estima-se pelo Indicador 3 uma disponibilidade de 787 L/hab/dia.

Indicador 3 = Reservas exploráveis de água subterrânea/População total da UGRHI: 843 L/hab/dia (Quantidade total de água subterrânea potável para consumo que existe na UGRHI. O volume de água por habitante constitui um fator importante para o desenvolvimento sócio-econômico de uma região);

O Indicador 4 mostra ainda seu pouco uso (<12% de sua potencialidade), apresentando-se como uma grande reserva estratégica para futuras captações na maioria das UGRHIs.

Indicador 4 = Demanda total de água subterrânea/Reservas exploráveis de água subterrânea: 28%. (Problemas de exploração excessiva e de impactos sócio-econômicos são identificados). O termo “reservas exploráveis” significa o volume de água subterrânea que pode ser extraído

anualmente de um dado aquífero sob as condições sócio-econômicas, políticas e ecológicas vigentes de cada região. O estudo não considerou as reservas exploráveis do Aquífero Guarani em sua porção confinada (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005).

A qualidade das águas subterrâneas é definida pelos Indicadores 5, 6 e 7.

Indicador 5 = Área total de alta vulnerabilidade à contaminação/Área total da UGRHI: 5% B; 60% M; 25% A; 10% ND (Área da UGRHI sensível à contaminação por qualquer substância). Baseia-se no mapa de vulnerabilidade do Estado (Hirata *et al.*, 1997) elaborado segundo o método GOD (Foster & Hirata, 1988).

O mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos do Estado (Hirata *et al.*, 1997), elaborado com base na metodologia GOD (FOSTER & HIRATA, 1988), mostra que as UGRHIs 2, 4, 8, 13, 14 e 18 a 22 são as que contém áreas mais extensas com alta vulnerabilidade à contaminação/área total da UGRHI. Algumas destas bacias contêm partes da área de recarga do Aquífero Guarani.

Indicador 6 = Casos de contaminação antrópica/Área total da UGRHI: 0,2 casos/km<sup>2</sup> (Número de casos de contaminação de solo e água subterrânea oriundos de atividades antrópicas (relacionados a postos de gasolina, indústrias, aterros e lixões, áreas comerciais e acidentes) por km<sup>2</sup> de UGRHI).

Indicador 7 = Número de municípios da UGRHI com água subterrânea de qualidade natural comprometida/Número total de municípios da UGRHI: 0% (Status atual e tendências futuras para a qualidade natural das águas subterrâneas; ajuda a analisar e visualizar problemas relacionados a este aspecto, espacial e temporalmente). A área da UGRHI com problemas de qualidade refere-se à somatória das áreas dos municípios nos quais foi constatada a presença de um dado contaminante.

Com relação à qualidade natural, o Indicador 7 mostra que de um modo geral, as águas apresentam excelente qualidade, ressaltando-se alguns casos, como os das UGRHIs São José dos Dourados e Turvo/Grande. Convém lembrar que as áreas dos municípios, bem como o número de ocorrências de contaminação natural dentro de cada um deles, são distintas e, portanto, estudos mais detalhados são necessários para determinar a real extensão das áreas comprometidas.

Como conclusão, nota-se que as águas subterrâneas no Estado de São Paulo são ainda pouco utilizadas para a maioria das UGRHIs, constituindo um grande potencial para suprir as necessidades de água com boa qualidade natural e ainda pouco contaminada (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005).

### **2.1.2 - Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**

A CETESB executa o monitoramento regional da qualidade da água subterrânea visando aprimorar o conhecimento sobre sua qualidade natural e sua condição de qualidade atual, de forma a subsidiar ações de prevenção e controle da poluição e de proteção deste recurso hídrico. Em 1990, a rede estadual de monitoramento ambiental de qualidade de águas subterrâneas começou a ser efetivamente operada, em atendimento também à Lei Estadual 6.134 de 02/07/1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas, regulamentada pelo Decreto Estadual 32.955 de 07/02/1991.

Além do critério de vulnerabilidade dos aquíferos, foi considerada a utilização da água subterrânea para abastecimento público. Assim, os primeiros pontos de amostragem foram poços de abastecimento selecionados do cadastro do DAEE ou consultando-se a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Dessa forma, iniciou-se o monitoramento em poços que captavam água do Aquífero Guarani, que apresenta extensa área de afloramento e excelente potencial de abastecimento, tanto em quantidade como em qualidade, do Aquífero Bauru, que ocupa 42% da área do Estado e do Aquífero Serra Geral, em função de sua viabilidade econômica de abastecimento.

Posteriormente, foram adotados os seguintes critérios complementares para a seleção de poços:

- distribuição espacial dos poços no aquífero em estudo, procurando-se evitar a escolha de vários numa mesma região;
- construção adequada do poço e “perfil geológico confiável”, representativo de cada aquífero;
- poços com captação de águas de apenas uma Formação ou “horizonte aquífero” (este critério é particularmente difícil de ser aplicado no Grupo Bauru, porque a grande maioria dos poços captam águas de distintas profundidades).

Atualmente os pontos utilizados para o monitoramento são poços tubulares e nascentes, selecionados de forma a abranger os diferentes aquíferos do Estado, em suas diversas áreas e forma de ocorrência. São consultados os Cadastros de Poços do DAEE, SABESP, Prefeituras Municipais e os cadastros de empreendimentos licenciados pela CETESB. Preferencialmente são escolhidos os poços utilizados para abastecimento público de água, os que possuem o nível d'água mais próximo da superfície e aqueles instalados a montante de fontes potenciais de poluição. De acordo com a CETESB, de forma geral, os poços da rede de monitoramento estão localizados em grande parte nas áreas urbanas, no

entanto, alguns encontram-se em áreas rurais, principalmente em municípios ou distritos com área urbana de pequena extensão. Além das informações obtidas em cadastro, as vistorias de campo são necessárias para a avaliação do uso e ocupação do solo no entorno dos poços, das condições locais dos poços e nascentes quanto à acessibilidade e condições de amostragem da água (CETESB, 2010).

A seleção de parâmetros considerou a necessidade de estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade para as águas subterrâneas, a experiência da CETESB em caso de áreas contaminadas e os parâmetros definidos pelo Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade.

O monitoramento da qualidade da água subterrânea bruta permite identificar as concentrações de substâncias acima do padrão de potabilidade cuja origem pode ser natural, devido às características das rochas constituintes do aquífero, ou antrópica, devido à contaminação por fontes de poluição como sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos, atividades industriais, disposição de resíduos no solo, uso de fertilizantes e aplicação de resíduos industriais na agricultura (SMA, 2009).

Os resultados obtidos por meio das campanhas sistemáticas de amostragem constituem o banco de dados do monitoramento das águas subterrâneas da CETESB. Os dados são tratados e interpretados estatisticamente a cada três anos, que corresponde a uma série de seis resultados analíticos. Dessas informações é possível determinar as características geoquímicas basais das águas subterrâneas, bem como avaliar as variações de qualidade e tendências, comparando-se com os resultados de campanhas anteriores. Desde 2001, o 3º quartil (75%) tem sido adotado como representativo do conjunto de amostras, ou seja, da qualidade da água do período analisado, servindo como referência para comparação entre diferentes períodos e para a definição de valores de referência de qualidade (CETESB, 2010), expurgados aqueles resultados com valores superiores a soma da mediana e três vezes o desvio padrão (CETESB, 2007).

Os resultados analíticos são agrupados em função dos sistemas aquíferos monitorados. É realizada a análise estatística descritiva de todos os parâmetros, com a determinação de mínimos, máximos, medianas, 3º quartil e porcentagem de valores abaixo de limite de quantificação. As informações são tabuladas por aquífero para o Estado e para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos nas quais os pontos de monitoramento se localizam, uma vez que a UGRHI é o espaço territorial para gestão do recurso hídrico e que a Resolução nº 22, de 24/05/2002, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabeleceu

diretrizes para a inserção das águas subterrâneas no instrumento Plano de Recursos Hídricos, elaborado por bacia hidrográfica.

Em 2009, foram monitorados semestralmente mais de quarenta parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea em 167 poços tubulares, totalizando 331 amostras ao longo do ano, com a inclusão de novos pontos em substituição a outros que, por motivos técnicos, foram desativados. Nascentes e fontes de água mineral, localizadas na UGRHI 06 (Alto Tietê), foram incluídas no monitoramento no período de 2004 a 2006. A qualidade das águas subterrâneas foi avaliada por Sistema Aquífero e por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Os poços da rede de monitoramento da CETESB, distribuídos em 151 municípios (em quase todas as UGRHIs), estão localizados em grande parte nas áreas urbanas (principalmente para abastecimento público), no entanto, alguns encontram-se em áreas rurais, principalmente em municípios ou distritos com área urbana de pequenas extensões.

A avaliação dos resultados obtidos no triênio 2004-2006 demonstraram que houve pouca alteração em relação ao triênio anterior (2001-2003). De forma geral, as águas subterrâneas do Estado de São Paulo apresentam boa qualidade para consumo humano, uso prioritário que apresenta padrões mais restritivos para a maioria dos parâmetros analisados em comparação com outros usos. Entretanto, como reportado no triênio anterior, persistem casos de não conformidade frente aos padrões de potabilidade para nitrato, cromo, bário e fluoretos. Foi verificado também que o uso da água subterrânea para abastecimento público em 2006 aumentou em relação a 1997, de 72% passou a 80% o percentual de municípios abastecidos parcial ou exclusivamente por esse recurso (CETESB, 2007).

Quanto à origem das substâncias em desacordo com os padrões de potabilidade, sabe-se que, no Estado de São Paulo, o nitrato tem origem antrópica cuja fonte potencial são os esgotos sanitários e/ou adubações nitrogenadas de diversas origens na área rural. As demais substâncias inorgânicas como bário, cromo e fluoretos podem ter origens naturais ou antrópicas (CETESB, 2004).

No primeiro período de monitoramento das águas subterrâneas, de 1990 a 1994, já foi constatada alteração nas concentrações de nitrato (acima de 2,5 mg/L) em alguns poços do Aquíferos Bauru e Guarani, mostrando indícios de alteração da qualidade da água em função de atividade antrópica. O Relatório de Qualidade do triênio 1994 a 1997 demonstrou contaminação por nitrato em alguns poços, principalmente no Aquífero Bauru. Esse relatório apontou ainda que 72% dos municípios do estado de São Paulo eram abastecidos total ou



água por nitrato, identificou-se uma tendência de aumento nas concentrações desse parâmetro, principalmente no Aquífero Bauru e na porção livre do Aquífero Guarani.

A tabela a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos nos períodos 2001 a 2003 e 2004 a 2006, para os Aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani, para todo o Estado de São Paulo, contendo para o parâmetro Nitrogênio-Nitrato, as concentrações máximas e mínimas e a mediana. Deve-se ressaltar que o Valor Máximo Permitido – VMP é de 10 mg/L N, sendo este o valor de intervenção estabelecido pela CETESB, bem como o Padrão de Potabilidade estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Quadro 3 - Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – parâmetro Nitrogênio Nitrato (CETESB, 2004/2007)

Sistema Aquífero	2001-2003			2004-2006		
	Variação	Mediana	nº de Poços	Variação	Mediana	nº de Poços
Bauru	<0,001 - 5,0	0,98	63	<0,05 - 28,6	0,95	65
Guarani	0,01 - 6,0	0,06	19	<0,003 - 11,7	0,20	42
Serra Geral	0,01 - 2,43	0,30	10	<0,05 - 8,88	0,30	12

Apesar da atual tendência de aumento das concentrações de N-Nitrato nas águas subterrâneas, apenas 15 análises dentre as 1224 realizadas no período 2004 a 2006, resultaram em concentrações acima de 10 mg/L, o que significa que menos de 1% das amostras apresentaram contaminação por N-Nitrato (CETESB, 2007).

No monitoramento do triênio 2007-2009, a avaliação da evolução das concentrações dos compostos nitrogenados nos poços monitorados pela Rede CETESB mostra aumento das concentrações desse contaminante nos Aquíferos Bauru, Serra Geral, Pré-Cambriano e Taubaté (CETESB, 2010). O nitrato é um dos parâmetros que continuam apresentando desconformidades em maior número, além dos parâmetros microbiológicos, coliformes totais e bactérias heterotróficas, que ocorreram de forma sistemática em todas as UGRHIs. A análise do 3º quartil dos triênios permite concluir o aumento tanto de nitrogênio nitrato, nitrogênio Kjeldhal e carbono orgânico dissolvido, ao mesmo tempo em que houve redução do pH, o que, segundo a CETESB (2010), pode indicar contribuição antrópica, principalmente relativa aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e também disposição de resíduos em solos.

Os poços contaminados, no período 2007-2009, representam 8% do total dos poços monitorados no estado. O Aquífero Bauru, por apresentar-se principalmente como um aquífero livre e possuir grande área de afloramento, é o que tem apresentado maior número de

pontos com concentrações acima do valor de intervenção e os resultados mais elevados, sendo que 16,4% dos seus poços ultrapassaram o valor de intervenção em alguma amostragem, e 46% deles ultrapassaram o valor de prevenção. Embora em concentrações bem menores, os aquíferos Pré-Cambriano e Serra Geral também apresentam tendência de aumento das concentrações de nitrato (CETESB, 2010).

Quadro 4 - Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – parâmetro Nitrogênio Nitrato (CETESB, 2010)

Sistema Aquífero	2007-2009		
	Varição	Mediana	nº de Poços
Bauru	<0,10 - 20,0	2,08	61
Guarani	<0,10 - 13,7	<0,20	41
Serra Geral	<0,10 - 7,03	0,57	14

No período total de monitoramento de 1998 a 2009, os valores de mediana para o Aquífero Bauru variaram de 1 a 2 mg/L, enquanto o 3º quartil variou de 3 a 5 mg/L, o que mostra a concentração elevada em alguns pontos monitorados. Segundo a CETESB (2010), a análise estatística permite concluir que a contribuição de nitrato nos últimos 12 anos é proveniente de fontes antropogênicas, principalmente relativas aos sistemas de tratamento de esgotos domésticos, considerando que a maioria dos pontos está localizada em área urbanas. Entretanto, pontos localizados em áreas rurais também mostram desconformidades em relação aos valores de prevenção e intervenção, como nos municípios de Botucatu, Floreal e Quatá. Nos aquíferos Pré-Cambriano e Serra Geral, os valores de mediana e 3º quartil variaram entre 0 e 1 mg/L, entre 1998 e 2009, indicando que apesar das concentrações baixas, há tendência de aumento.

Deve-se ressaltar que nos relatórios de qualidade dos triênios 1998-2000, 2001-2003 e 2004-2006, os resultados considerados anômalos com relação à série histórica ou que ultrapassaram o padrão de potabilidade foram excluídos do conjunto de dados para elaboração da análise estatística básica. Segundo a CETESB (2010), a decisão de retirada desses valores foi tomada em função da necessidade de se estabelecer valores de referência de qualidade e do pressuposto de que esses valores refletiam a alteração da qualidade da água em função de atividades antrópicas. Já no relatório de qualidade do triênio 2007-2009, as análises estatísticas dos três períodos anteriores foram refeitas, considerando-se todos os dados, com o

objetivo de avaliar a tendência de qualidade com base nos parâmetros utilizados como indicadores (CETESB, 2010).

Para o Aquífero Bauru em especial, a CETESB (2009) avaliou a evolução das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em 70 pontos de monitoramento, constituídos de poços de abastecimento público localizados em 67 municípios do estado de São Paulo, durante o período compreendido entre 1992 e 2007 (campanhas semestrais de coleta e análise de água), por ser um bom indicador de pressão antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas, principalmente em aquíferos livres. As concentrações de dez poços ultrapassaram o valor de intervenção de 10 mg/L N-NO<sub>3</sub> em pelo menos uma campanha de amostragem; em 31 poços foram encontradas concentrações entre 5 e 10 mg/L em pelo menos uma campanha, e em 29 poços não houve resultado acima de 5 mg/L.

Apesar de não haver oscilação nas concentrações de nitrato ao longo do monitoramento, é nítida a tendência de elevação das mesmas nas águas subterrâneas. No período de 1992-1997 a amplitude de variação da concentração de nitrato foi de <0,02 a 11,2 mg/L, de 1998-2000 foi de <0,01 a 23,1 mg/L, de 2001 a 2003 foi de <0,01 a 22,1 mg/L, e de 2004-2007 foi de <0,05 a 28,6 mg/L. Verifica-se que até 1996 nenhuma amostra tinha ultrapassado o Valor de Intervenção, fato que se tornou constante após 1997. Além disso, nos anos 2006 e 2007, há um significativo aumento da porcentagem de amostras com resultados acima de 5 mg/L para nitrato (CETESB, 2009).

De acordo com a pesquisa, observa-se uma tendência de aumento do número de poços monitorados que apresentam concentrações de nitrato acima de 5 mg/L, e há tendência de aumento também das concentrações máximas de nitrato no período entre 1997 e 2007. A avaliação da série histórica dos resultados analíticos de cada poço permitiu concluir que na sua maioria os poços apresentam tendência de aumento das concentrações de nitrato, inclusive aqueles com resultados inferiores a 5 mg/L. Poucos poços apresentam tendência de manutenção da concentração de nitrato ao longo do tempo, e nesses casos é comum a ocorrência de picos isolados durante o período de monitoramento. E, finalmente, na minoria dos poços foi verificada tendência de diminuição da concentração de nitrato na água, após vários anos de concentrações elevadas, em torno de 10 mg/L.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA, 2010) divulgou o indicador de potabilidade de água subterrânea bruta, considerando os parâmetros medidos nas duas campanhas semestrais da rede CETESB. A potabilidade das águas subterrâneas brutas é um dos indicadores de qualidade e qualquer desconformidade representa

a necessidade de tratamentos adicionais da água, além da cloração, antes de ser distribuída para consumo humano.

O indicador de potabilidade da água subterrânea representa a proporção de amostras de água subterrânea bruta que podem ser classificadas como potáveis, ou seja, quando todos os parâmetros analisados estiveram em conformidade com os padrões de potabilidade e de aceitação ao consumo humano estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde. Assim, a proporção média anual de potabilidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo para 2006, 2007, 2008 e 2009, anos com dados disponíveis, é de 86,9%, 77,7%, 79,7% e 80,1%, respectivamente.

Após uma queda do índice de potabilidade de 2006 para 2007, verifica-se um aumento na qualidade das águas subterrâneas do Estado, nos pontos onde existe monitoramento, entre os anos de 2007 a 2009 (SMA, 2010). A maior parte das não conformidades com os padrões de potabilidade está relacionada com a existência de ferro, manganês, bactérias heterotróficas e coliformes, parâmetros que podem ser tratados de forma simples para o consumo humano (SMA, 2009). Esporadicamente, têm sido detectadas as substâncias alumínio, arsênio, bário, e chumbo. Em algumas regiões do Estado, principalmente na região oeste, é persistente a presença de cromo, fluoreto e nitrato em concentrações acima do padrão de potabilidade, requerendo tratamento de maior custo e complexidade.

A ocorrência de não conformidades tem como principais causas as fontes difusas, decorrentes de esgoto doméstico não tratado, fossas sépticas e insumos utilizados na agricultura. A má conservação e/ou construção dos poços e o uso inadequado do interior do perímetro imediato de proteção sanitária também contribui para a contaminação da água (SMA, 2009).

Em 2009 foram monitorados semestralmente mais de quarenta parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea em 167 poços, totalizando 331 amostras ao longo do ano. Os poços avaliados são principalmente para abastecimento público e localizados em diferentes aquíferos em praticamente todas as UGRHI's. O Quadro 4 a seguir apresenta o Indicador de Potabilidade da Água Subterrânea para os anos de 2006 e 2008, por UGRHI e para o Estado de São Paulo, com indicação da substância que possui concentração acima do padrão de potabilidade do Ministério da Saúde. São apresentados, também, o mapa e o gráfico (Figuras 10 e 11) com a qualificação de potabilidade das águas subterrâneas por UGRHI em 2009:

Quadro 5 – Indicador da Potabilidade da Água Subterrânea do Estado de São Paulo e por UGRHI, 2006-2008 (SMA, 2009)

UGRHI	PROPORÇÃO POTÁVEL (%) 2006	PARÂMETROS EM NÃO CONFORMIDADE	PROPORÇÃO POTÁVEL (%) 2008	PARÂMETROS EM NÃO CONFORMIDADE
2 Paraíba do Sul	75,0	bact, ferro, manganês	92,9	ferro, manganês
4 Pardo	100,0	--	91,3	alumínio
5 Piracicaba, Capivari e Jundiá	91,3	fluoreto	66,7	fluoreto, manganês, bactérias e coliformes
6 Alto Tietê	79,4	bact, ferro, manganês, nitrato	51,7	alumínio, chumbo, ferro, fluoreto, manganês, nitrato, bactérias e coliformes
8 Sapucaí/grande	100,0	--	91,7	coliformes
9 Mogi-guaçu	95,5	ferro	79,2	ferro, manganês, bactérias e coliformes
10 Sorocaba/médio Tietê	100,0	--	66,7	arsênio, manganês, nitrato, sódio e bactérias
12 Baixo Pardo/grande	100,0	--	100	
13 Tietê / Jacaré	100,0	--	80,8	ferro, chumbo e bactérias
14 Alto Paranapanema	100,0	--	87,5	nitrogênio amoniacal
15 Turvo / Grande	100,0	--	100	
16 Tietê / Batalha	75,0	chromo	77,8	chromo e bactérias
17 Médio Paranapanema	75,0	bário	87,5	bário
18 São José dos Dourados	28,6	chromo	50	chromo e nitrato
19 Baixo Tietê	81,8	nitrato	50	chromo, nitrato, bactérias e coliformes
20 Aguapeí	92,9	nitrato e chromo	88,5	chromo, bário e coliformes
21 Peixe	58,8	nitrato e chromo	70,8	chromo, ferro e coliformes
22 Pontal do Paranapanema	83,3	chromo	75	ferro e chromo
ESTADO DE SÃO PAULO	86,9		76,8	

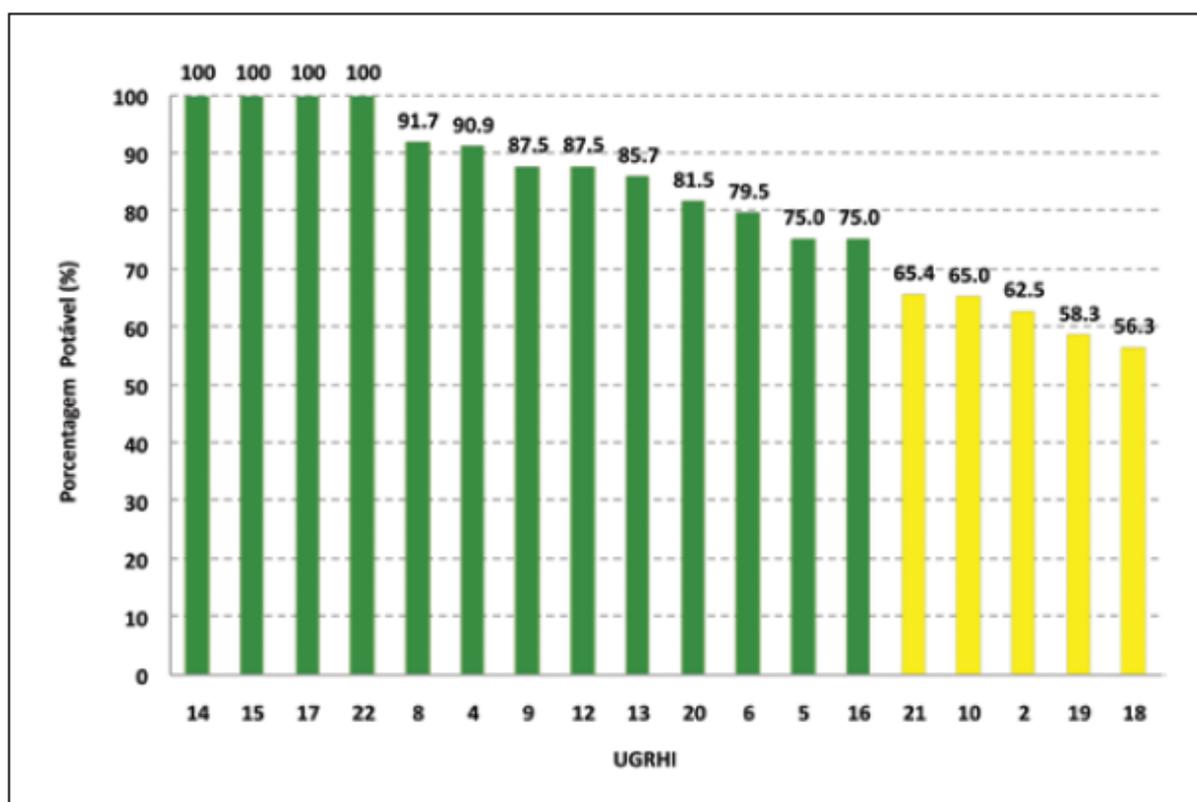


Figura 10 – Potabilidade das águas subterrâneas por UGRHI em 2009 (SMA, 2010)

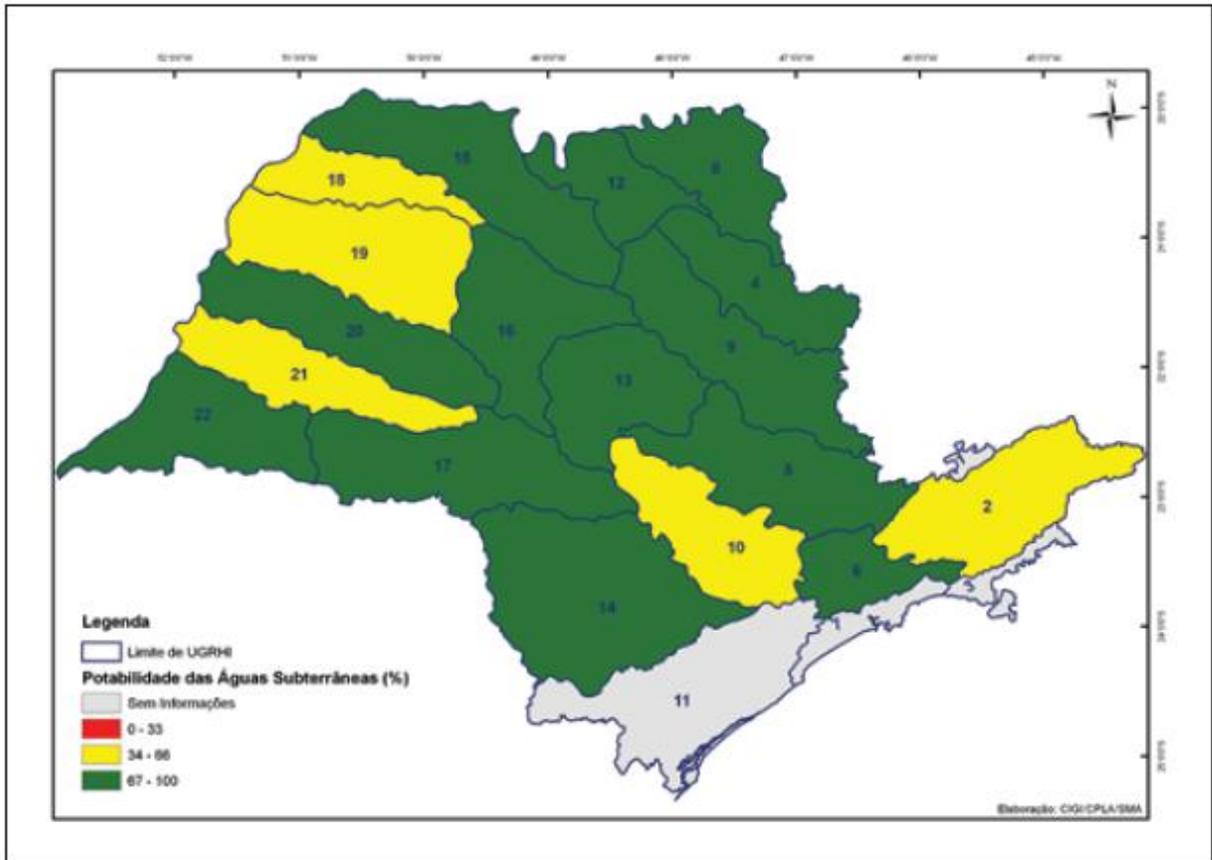


Figura 11 - Distribuição da Proporção da Potabilidade das Águas Subterrâneas por UGRHI no Estado em 2009 (SMA, 2010)

Estudos vêm sendo realizados para definir diretrizes de utilização e proteção de águas subterrâneas no Estado de São Paulo, identificando seus pontos mais vulneráveis, como os Projetos Bacias de Leste e Bacias de Oeste, ambos financiados pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), e em execução pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), que poderão contribuir com melhorias significativas na qualidade das águas subterrâneas.

De acordo com a SMA (2010), além destas regras de uso e ocupação do solo nas áreas de captação das águas subterrâneas, a melhoria do indicador tem como premissas o aumento da proporção de coleta e tratamento de esgoto doméstico, a adequação dos perímetros imediatos de proteção sanitária de poços e lajes e do perímetro de alerta de poços, conforme o Decreto Estadual nº 32.955/91, e a definição e implementação de normas e regulamentos para a disposição e aplicação de efluentes e resíduos sólidos no solo.

Há perspectivas de melhoras do indicador para os próximos anos, caso sejam adotadas as regras de uso e ocupação do solo definidas nos projetos citados, realizada a delimitação de perímetros imediatos de proteção e de alerta dos poços e contando que haja aumento da coleta

e tratamento de esgotos. Para 2020 a meta é que o índice atinja um valor acima de 85% (SMA, 2010).

### **2.1.3 - Vulnerabilidade do Aquífero Guarani**

O Aquífero Guarani constitui uma das maiores reservas subterrâneas de água doce do planeta, se estendendo nos territórios do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai, ocupa uma área total de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, abrigados pela Bacia Sedimentar do Paraná. Cerca de 90% está recoberta por derrames basálticos, o que lhe dá característica de um aquífero regional confinado.

Cerca de 70% (840.000 km<sup>2</sup>) do aquífero localiza-se no Brasil e este ocorre em 76% do território do Estado de São Paulo, abrangendo uma área de aproximadamente 155.800 km<sup>2</sup>, ocorrendo na região centro-oeste, limitada ao Norte pelo Rio Grande, a oeste pelo Rio Paraná, ao sul pelo Rio Paranapanema e à leste pelo contato entre os grupos São Bento e Passa Dois, sendo responsável pela totalidade do abastecimento de água de cidades como Ribeirão Preto, Pradópolis, Matão e Boa Esperança do Sul, além de contribuir para o abastecimento de aproximadamente 50% de cidades como Araraquara, Bauru, São José do Rio Preto, São Carlos e outras localidades na região oeste do Estado.

A área de afloramento dessa formação ocorre próximo à borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná em uma faixa no sentido sudoeste-nordeste, na região Central do Estado de São Paulo, abrangendo uma área que vai desde as imediações da cidade de Ribeirão Preto, passando por Araraquara, Boa Esperança do Sul, indo até próximo à divisa com o Estado do Paraná, conforme mostrado na Figura 12 a seguir:



vazão, como os Rios do Peixe e São José dos Dourados. As zonas de fissuras dos basaltos da Formação Serra Geral, que confinam o Guarani na parte oeste do estado, também contribuem para essa recarga. A água infiltrada para o aquífero apresenta um fluxo geral para oeste e a maior parte do escoamento subterrâneo é drenada para os rios como escoamento básico, ainda na área de recarga (CETESB, 2007).

Deve-se destacar que, segundo RABELO (2006), a recarga sobre uma certa área é, comumente, igualada à infiltração excessiva sobre essa mesma área. Entretanto, a água decorrente desse excesso, não necessariamente atinge o nível freático e/ou passa a compor o aquífero, podendo se converter em escoamento subsuperficial, em seguida, superficial e, posteriormente, evapotranspirada. Segundo o autor, este processo determina a quantidade potencial de água que, através do solo, pode (ou não) alcançar a zona saturada (recarga potencial), e a que realmente atinge o aquífero (recarga real).

Já segundo a CETESB (2007), a água existente hoje nas porções confinadas do Aquífero Guarani é oriunda da infiltração da água meteórica ocorrida há centenas ou milhares de anos nas áreas de afloramento. Devido ao longo tempo de contato entre a água e as rochas, espera-se maior mineralização das águas à medida que se distancia das áreas de recarga. Esse fato só não é mais intenso devido aos arenitos que formam o aquífero não serem ricos em sais e minerais.

A área de recarga, que se estende por cerca de 16.000 km<sup>2</sup> no Estado de São Paulo, inserida na Depressão Periférica, concentra a maioria dos mais de mil poços que retiram água do aquífero. Trata-se da área mais vulnerável que deve ser objeto de programas de planejamento e gestão ambiental permanentes para se evitar a contaminação da água subterrânea e a sobreexploração do aquífero com o conseqüente rebaixamento do lençol freático e o impacto nos corpos d'água superficiais.

O Estado de São Paulo destaca-se por concentrar a maior densidade populacional e atividade econômica da região, número elevado de poços em exploração e taxas de utilização da água do aquífero para abastecimento urbano e industrial e também nos cultivos de cítricos e cana-de-açúcar (indústria do álcool). Ribeirão Preto, Araraquara, Piracicaba e Franca, são regiões desse estado identificadas como críticas em termos de vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas (BORGUETTI *et al.*, 2004).

De acordo com GOMES *et al.* (2003), a área de recarga do Aquífero Guarani está exposta a riscos de degradação em conseqüência das práticas e do manejo agrícola, por ser uma área altamente vulnerável à contaminação e susceptível à erosão. Segundo os autores, o ordenamento agroambiental das áreas de recarga do Aquífero Guarani envolve a utilização de

informações referentes à geologia, solo, profundidade do lençol freático, relevo, precipitação, uso agrícola atual, vulnerabilidade natural, estimativa de risco de contaminação do lençol freático, avaliação da capacidade de uso do solo e determinação de áreas de conflito, além do perfil sócio-econômico dos agricultores ou proprietários rurais.

O aquífero Guarani, sendo constituído por arenitos relativamente permeáveis, devido à sua origem fundamentalmente eólica, apresenta na sua zona de recarga a maior vulnerabilidade à contaminação. A vulnerabilidade do Guarani diminui à medida que a formação se aprofunda e adquire condições de confinamento, subjacente aos basaltos da Formação Serra Geral. Nas zonas onde se localiza a maior espessura de basaltos recobrando o Guarani, cuja potenciométrica é superior à cota do terreno, o aquífero é surgente. Nesse caso, o fluxo vertical é ascendente, ou seja, as águas do Guarani recarregam a Formação Serra Geral, sobrejacente. Estando as águas do Guarani com elevadas concentrações de sais, elas podem contaminar as águas daquela formação. Outras áreas de grande vulnerabilidade, identificáveis e georeferenciáveis são as correspondentes às áreas de afloramento (CALCAGNO, 2001).

O principal fator de risco da utilização das águas subterrâneas resulta do grande número de poços rasos e profundos que são construídos, operados e abandonados sem tecnologia adequada, devido à falta de controle e fiscalização nas esferas federal, estaduais e municipais (ABAS, 2002). Portanto, torna-se necessária a orientação junto à população, para que todos os poços abandonados, que atinjam ou não o Aquífero Guarani, sejam convenientemente selados para evitar a entrada direta de águas poluídas; e que os poços em uso sejam corretamente vedados para evitar a entrada de água contaminada no espaço anelar existente entre o revestimento dos poços e as paredes da perfuração (ZIMBRES, 2000). Em relação à sustentabilidade do uso em termos de qualidade, o maior problema pode ocorrer nas zonas aflorantes onde não existe saneamento e onde o recurso é utilizado para o abastecimento da população. (GREGORASCHUCK, 2001).

Estudos têm revelado que as águas do Aquífero Guarani estão livres de contaminação. Contudo, considerando que a área de recarga coincide com importantes áreas agrícolas brasileiras, onde se tem usado intensamente herbicidas, é de se esperar que sejam necessárias medidas urgentes de monitoramento e redução da carga de agrotóxicos, para evitar a possível contaminação do mesmo com esses agentes poluentes (ZIMBRES, 2000).

## **2.2 - Poluição de origem agrícola das águas subterrâneas**

O cultivo e o manejo do solo exercem grande influência na qualidade das águas subterrâneas e nas taxas de recarga de alguns aquíferos. Algumas práticas agrícolas são

capazes de causar contaminação difusa por nutrientes e pesticidas, especialmente em áreas com solos pouco espessos e com boa drenagem, e ocasionar um aumento da salinidade das águas, especialmente em regiões mais áridas (FOSTER & HIRATA, 1991).

De acordo com FEITOSA & MANOEL FILHO (1997), o uso de fertilizantes e pesticidas nas atividades agrícolas é responsável pela degradação da qualidade da água subterrânea em muitas áreas de cultivo intenso. Nos países industrializados é mais freqüente o uso de fertilizantes inorgânicos, quimicamente manufaturados, enquanto que nos países em desenvolvimento geralmente empregam-se dejetos humanos ou de animais como fertilizantes orgânicos. O cultivo agrícola do solo exerce importante influência sobre a qualidade da recarga da água subterrânea. Já as áreas irrigadas, ademais da qualidade, apresentam alterações também nas taxas totais de recarga.

Segundo os autores, geralmente existe alguma correlação entre a quantidade de fertilizantes e pesticidas aplicados e os índices de lixiviação do solo para a água subterrânea. Contudo, somente uma parcela de agroquímicos aplicados é lixiviada, sendo que a lixiviação resulta de uma complexa interação entre: tipo de cultivo, propriedades do solo; regime pluvial e de irrigação, e manejo do solo e aplicações de agroquímicos. Dessa forma, é difícil propor métodos simples para calcular os índices de lixiviação.

Os tipos de atividades agrícolas que geram contaminação difusa mais preocupante das águas subterrâneas são as relacionadas com extensas áreas de monocultura. Agricultura envolvendo o cultivo de culturas perenes apresenta menor perda por lixiviação do que em locais onde as plantações sazonais são praticadas, devido ao menor distúrbio e aeração do solo, e também pelo aumento da demanda de nutrientes pelas plantas. O impacto das atividades agrícolas modernas sobre a qualidade das águas subterrâneas tornou-se conhecido em alguns países industrializados durante a década de 1970, principalmente em relação ao uso de fertilizantes, com destaque para os compostos nitrogenados. (FOSTER *et al.*, 1993). Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio (N) na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). O nitrato move-se com a água subterrânea e pode atingir extensas áreas.

De acordo com FEITOSA & MANOEL FILHO (1997), somente uma pequena parcela dos nitratos lixiviados do solo derivam diretamente da aplicação de fertilizantes na estação de cultivo anterior. No entanto, os níveis de fertilização influenciam o nível de nitrogênio orgânico do solo; a partir desse nível, os nitratos são liberados proporcionalmente por oxidação, em especial durante certas épocas do ano, e depois do uso de arado e de irrigação. Os valores das perdas por lixiviação encontrados na bibliografia indicam que até 75% do N

total aplicado pode ser oxidado e lixiviado para a água subterrânea (embora valores de 50% sejam mais comuns).

Devido à dificuldade de fazer estimativas precisas das perdas por lixiviação, a classificação do solo agrícola em termos de seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo deve começar com o mapeamento da distribuição dos cultivos mais importantes, juntamente com o inventário de suas aplicações de fertilizantes e agrotóxicos. Com esses dados, geralmente é possível classificar a área de solo cultivado, com base na probabilidade de que a atividade agrícola venha potencialmente a gerar, no subsolo, uma carga contaminante reduzida, moderada ou elevada.

De acordo com IG/CETESB/DAEE (1997), são conhecidos vários casos de poluição de aquíferos no Estado de São Paulo por fontes pontuais geradas pelas atividades industriais, pela disposição de resíduos e pelo vazamento de tanques de combustíveis; em contrapartida, o impacto causado pela atividade agrícola tem hoje poucos estudos. Fontes dispersas de poluição de aquíferos apresentam dificuldades para caracterização, pois associam grandes áreas, exigindo numerosos pontos de monitoramento, e poluentes com baixas concentrações, que necessitam muitas vezes de cuidadosos métodos de amostragem e sofisticadas e caras técnicas analíticas. Estudos regionais da hidroquímica dos aquíferos paulistas detectaram, em vários poços tubulares no Sistema Aquífero Bauru, concentrações elevadas de nitrato, atribuídas à atividade agrícola.

Com base no trabalho de FOSTER & HIRATA (1988), foi desenvolvido um método de avaliação de geração de carga potencial poluidora, onde, partindo-se de informações secundárias normalmente disponíveis em órgãos governamentais e em centros de pesquisa, definem-se as concentrações relativas de nitrato e pesticidas, que seriam produzidas pelo manejo de uma dada cultura, em uma área específica, num ano agrícola. O cálculo da concentração final esperada é o resultado da relação entre a quantidade de produtos aplicados em cada cultura, do volume de água que ingressa no sistema - resultado da infiltração de chuvas - e de um índice de perdas, relacionados principalmente ao mecanismo de adsorção dos produtos à fração orgânica do solo.

A falta de informações atualizadas da localização geográfica e temporal das principais culturas no Estado fez com que se adotasse, como unidade geográfica básica para avaliação de impactos, o município. Nesta unidade, foram calculadas as concentrações relativas de todas as culturas de área superior a 50 ha, com base na área de plantio, na taxa de lotação de pastagem (nº de cabeças/ha), teor médio de carbono orgânico do solo (importante fator de adsorção de pesticidas), média do teor de nitrogênio total no solo (para estimativa da carga natural

lixiviada como nitrato), e taxa de infiltração de água, na forma de excedente hídrico, além dos pesticidas indicados para cada uma das culturas selecionadas, bem como as principais características físico-químicas (para os pesticidas).

Para cada cultura, sempre em nível do município, foram computados: a área cultivada (ha), a produtividade (kg/ha), transformada depois em uma constante de nível tecnológico (J) para ponderação da proporção de insumos recomendados possivelmente utilizada, bem como a perenidade das culturas, importante para a caracterização das práticas agrícolas adotadas em cada cultura, e os insumos recomendados. E uma taxa de incorporação de nitrogênio resultante da pecuária, constando de média de excreção por cabeça.

A partir dos cálculos de concentração de pesticidas e nitratos para cada cultura, totalizado em cada município, definiu-se por procedimento estatístico descritivo (SAS), três classes, segundo o perigo de geração de cargas poluidoras, em elevado, moderado e reduzido.

As áreas destinadas ao uso agropecuário encontram-se distribuídas em matas naturais e reflorestadas, pastagens naturais, pastagem cultivada e área cultivada. As áreas de pastagem natural funcionam como uma reserva para as culturas de ciclo curto ou área de solo em descanso, enquanto que as pastagens cultivadas, aquelas que possuem algum trato para seu manejo, são destinadas efetivamente para a criação de bovinos de corte e de leite, possuindo maior extensão e melhor qualidade. Desta forma, na prática, toda a superfície de solo apta ao uso agrícola desempenha um papel na produção, participando da rotatividade no cultivo, ora com culturas anuais, ora com hortaliças ou temporariamente com pastagens.

Os produtos de maior importância relativa na formação da renda foram: cana-de-açúcar, *citrus*, pecuária, aves e ovos, milho, tomate, café, feijão, soja e outros. São Paulo é o Estado com maior consumo de fertilizantes.

Desses 563 municípios, em 87 (15,5%) o nitrato mostrou elevado índice, em 123 (21,8%) moderado e em 353 (62,7%) reduzido, associado às culturas da cana-de-açúcar e *citrus*, concentradas nas regiões de Campinas, Piracicaba, Ribeirão Preto, Araraquara e Matão, bem como em áreas de intensa atividade pastoril, na região nordeste do Estado.

O risco de poluição das águas subterrâneas entendido como o cruzamento dos mapas de vulnerabilidade natural e de carga poluidora de origem agrícola, permitiu que se definissem as áreas críticas, onde programas de monitoramento, ou mesmo estudo de maior detalhe, deveriam ter prioridade:

- alta vulnerabilidade e elevada carga potencial de nitrato: i) Sistemas Aquíferos Botucatu-Pirambóia e Bauru, associados com a cultura de cana-de-açúcar e citricultura e pastagens;

- média vulnerabilidade e elevada carga de herbicida e nitrato: i) região norte e central do Estado, com intenso uso do solo para a plantação de *citrus* na área do Sistema Aquífero Bauru.

Em Portugal, um diagnóstico e uma caracterização da qualidade das águas subterrâneas realizados no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica mostraram claramente níveis de concentração preocupantes de nitratos de origem agrícola em alguns sistemas aquíferos do país, ultrapassando em muitos casos o Valor Máximo Admissível que é de 50 mg/L de NO<sub>3</sub>. RIBEIRO *et al.* (2007) apresentam uma metodologia para uso na delimitação das zonas vulneráveis aos nitratos de origem agrícola, tal como se encontra estipulado na Diretiva 91/676/CE. Segundo os autores, quando a informação disponível assim o permitir, é possível ainda utilizar metodologias de avaliação do risco que tomem em conta a variabilidade espacial do fenômeno de poluição difusa, como são os casos das técnicas geoestatísticas não paramétricas. Como ilustração da aplicação destes métodos são apresentados casos de estudo situados no Algarve e no Alentejo. Por fim, os autores tecem algumas considerações sobre o Código de Boas Práticas Agrícolas e o seu impacto na prevenção da poluição das águas subterrâneas.

Na Austrália, elevadas concentrações de nitrato em águas subterrâneas têm sido identificadas em todos os estados e territórios sob diferentes usos de solo (Thorburn *et al.*, 2003). Esses autores também concluíram que ocorrem elevadas concentrações de nitrato na água subterrânea da costa noroeste da Austrália, além de salinidade acima do limite recomendado; contudo verificaram que, nesta região, uma das maiores fontes de contaminação era a utilização de fertilizantes minerais e, em apenas oito de 1031 poços, a maior fonte de contaminação era de origem orgânica.

Costa *et al.* (1999) observaram, em estudo realizado em colunas de solo, que após fertilização com nitrato de cálcio ocorreu certa defasagem entre a frente de umidecimento e a frente de contaminação, fato este atribuído à presença de cargas positivas no solo, favorecendo a adsorção de nitrato junto à fase sólida deste solo; o fenômeno, comum em solos com carga variável e altamente intemperizados, pode minimizar o impacto que o excesso de ânions pode causar às águas. Já Brouyère *et al.* (2004) estudando o solo de carga permanente e a água de um aquífero na Bélgica, notaram que houve alta variação entre as concentrações de nitrato nos poços de monitoramento, as quais variaram de 10 a 217 mg/L sendo que as menores concentrações de nitrato foram encontradas na profundidade de 9,50 m (18 mg/L). Esses autores sugerem que, nesta área, esteja ocorrendo uma migração de nitrato para as camadas mais profundas, da ordem de 1,0 m/ano.

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2007), a contaminação por fertilizantes inorgânicos, nitrato principalmente, é uma das maiores preocupações devido à atividade agrícola. O uso de insumos agrícolas, como agrotóxicos e fertilizantes, tem grande potencial de contaminação difusa. De acordo com a ANA, o impacto da atividade agrícola sobre a qualidade das águas subterrâneas no país ainda é desconhecido, em função dos poucos estudos realizados sobre o tema. O comportamento em subsuperfície de muitos agroquímicos, em termos de mobilidade e biodegradação, ainda não foi adequadamente avaliada (ANA, 2007).

Entre as culturas com cultivo em grandes extensões de áreas, a cana-de-açúcar ocupa o segundo lugar (o primeiro é a soja) em consumo de fertilizantes, contando com cerca de 15% da comercialização total de fertilizantes no Brasil, em 2005 (ANANDA, 2005). De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANANDA), em 2004, o consumo de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar foi de 2,6 milhões de toneladas, com previsão de consumo de 3,8 milhões de toneladas para 2010, representando um crescimento anual de 6,7%. Em 2005, o Estado de São Paulo respondeu por 15,4% das vendas de fertilizantes no país, ou seja, cerca de 3,1 milhões de toneladas. Os fertilizantes nitrogenados representam 29,4% do consumo total de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar.

Entretanto, se considerarmos a intensidade de uso, em termos de quilograma de fertilizantes por hectare cultivado, a cana ocupa a 4ª colocação, atrás do algodão herbáceo, café e laranja. Utiliza-se em média para a cana planta e para as soqueiras, cerca de 274 a 229 kg de fertilizantes por hectare, respectivamente. A adubação é um importante fator de produtividade. É também um elemento da planilha de custos, responsável em geral entre 17 e 25% de todos os custos do plantio da cana (IAC, 2008).

De acordo com o IAC (2008), uma das principais questões para a adubação e a nutrição das culturas é saber quanto o solo pode fornecer de nutrientes, e avaliar o estado nutricional da cultura, numa fase em que correções e adições de nutrientes possam ser realizadas sem prejudicar a produtividade. Para saber quanto o solo apresenta de determinado elemento, a principal ferramenta é a análise do solo. A adubação deve então fornecer a diferença entre o que a planta precisa e o que o solo fornece. Mas ainda há um detalhe: após saber a quantidade de determinado elemento que deve ser adicionado ao solo, deve-se lembrar que a eficiência do uso do elemento que se está colocando na adubação não é 100%, ou seja, o adubo pode ser perdido no perfil do solo, as plantas podem ter o sistema radicular pouco desenvolvido ou confinado numa camada de solo, enfim é necessário estimar um índice de eficiência e compensá-lo. Considerando-se as principais perdas, as porcentagens médias de

utilização dos nutrientes N, P e K e o respectivo fator F são apresentados no Quadro 3 a seguir:

Quadro 6 – Porcentagem de aproveitamento dos nutrientes e o fator de correção (IAC, 2008)

<b>Elemento</b>	<b>% de aproveitamento</b>	<b>F</b>
N	50	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20 a 30	3 a 5
K <sub>2</sub> O	70	1,5

O fósforo é o nutriente que apresenta a menor eficiência de utilização. Além do fato de que os solos brasileiros em geral apresentam baixo teor desse elemento, ao colocá-lo, ocorrem reações que diminuem sua disponibilidade, como a fixação do fósforo. Já para o potássio, praticamente 70% do aplicado, são utilizados pela planta. Contribuem para a maior eficiência: a escolha da fonte de fertilizante, a época de aplicação e a forma em que foi aplicado o adubo (IAC, 2008).

Para a adubação da cana-de-açúcar, em geral entre 400 a 600 kg/ha do formulado são suficientes para aplicar quantidades próximas às recomendadas pela análise de solo, tanto em cana planta como em soqueiras. De acordo com essas formulações, observa-se que a quantidade de nitrogênio e fósforo aplicada difere para cana plantada e cana soca. Em cana planta, utiliza-se pouco nitrogênio, ao passo que a cana soca é bastante exigente, aplicando-se maiores quantidades. Já o fósforo difere do nitrogênio, por aplicar maior quantidade no plantio e pouco ou inexistente em cana soca (IAC, 2008).

O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais absorvido em maior quantidade pela cana-de-açúcar, geralmente perdendo apenas para o potássio. Sua absorção ocorre basicamente nas formas minerais, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, e/ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e através do fluxo de massa (99%) sendo apenas 1% pela interceptação do sistema radicular. Embora constitua em torno de 1% da matéria seca da cana-de-açúcar, tem um papel fundamental no desenvolvimento da planta, uma vez que é constituinte obrigatório de proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de diversos processos bioquímicos e enzimáticos, entre outros, e fazendo parte da molécula de clorofila (IAC, 2008).

A cana-de-açúcar é uma planta eficiente para aproveitar o nitrogênio do solo, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Um grande número de estudos com fertilizantes marcados com N tem mostrado que a maior parte do nitrogênio absorvido pela planta vem do solo (e, em menor proporção, talvez, da deposição com a água da chuva,

fixação biológica de N<sub>2</sub>, etc.), uma vez que a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao nitrogênio total absorvido é geralmente baixa: 10 a 16% (IAC, 2008).

### 2.3 - Nitrato e alteração da qualidade das águas subterrâneas

O nitrogênio é o gás mais abundante na atmosfera, representando 78% do ar da biosfera. O aumento acentuado da população humana e, principalmente, da taxa de crescimento populacional após a Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX, implicou um aumento da produtividade agrícola para fazer frente à demanda crescente de alimentos. O nitrogênio, assim como o fósforo, são fatores importantes do crescimento dos vegetais e tornaram-se por isso alguns dos principais fertilizantes utilizados hoje na agricultura. O nitrogênio desempenha um importante papel na constituição das moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas e hormônios, elementos vitais aos seres vivos (BRAGA *et al.*, 2002).

A fixação por meio biológico do nitrogênio é feita por bactérias de vida livre, por bactérias fotossintéticas, por algas (cianofíceas) e por bactérias associadas às raízes de plantas leguminosas. Os vegetais fixam o nitrogênio a partir do ar atmosférico, do solo e da água, e servem de alimento para os animais (consumidores). A partir das excreções dos seres superiores e da decomposição de resíduos vegetais e animais, bem como de organismos mortos, os compostos nitrogenados são transformados em amônia (NH<sub>3</sub>), a qual passa à forma de nitrito e depois a nitrato, por ação de bactérias quimiossintetizantes. Os nitratos são absorvidos pelas plantas, para a formação de novos compostos orgânicos. As bactérias desnitrificantes transformam o nitrato em nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>), que retorna à atmosfera (MOTA, 1997).

A síntese industrial da amônia (NH<sub>3</sub>), a partir do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>), desenvolvida durante a Primeira Guerra Mundial pelo alemão Fritz Haber, possibilitou o aparecimento dos fertilizantes sintéticos, com um conseqüente aumento da eficiência da agricultura. Entretanto, como foi mostrado, o ciclo equilibrado do nitrogênio depende de um conjunto de fatores bióticos e abióticos determinados, portanto nem sempre está apto a assimilar o excesso sintetizado artificialmente. Esse excesso, carregado para os rios, lagos e lençóis de água subterrâneos, assim como os lançamentos de esgoto, tem provocado o fenômeno da eutrofização, com a proliferação excessiva de algas e de vegetação aquática, comprometendo a qualidade das águas (BRAGA *et al.*, 2002).

De acordo com FEITOSA & MANOEL FILHO (1997), o nitrogênio dissolvido na forma de íon nitrato, substância que representa o estágio final da degradação da matéria

orgânica, é o contaminante mais comum encontrado na água subterrânea. A sua presença em concentrações excessivas é cada dia maior e está se ampliando e ameaçando muitos sistemas aquíferos em muitas partes do mundo. Segundo os autores, isto é consequência das atividades agrícolas e do lançamento indiscriminado de esgotos sobre e abaixo da superfície do solo.

Fertilizantes minerais, esgotos e resíduos de plantas encontrados na superfície do solo, no próprio solo ou em zonas pouco profundas do subsolo, são as principais fontes diretas do nitrato presente nas águas subterrâneas. O nitrato também pode ser gerado por fontes indiretas, isto é, por conversão do nitrogênio orgânico (N) através de dois processos:

- amonificação, pelo qual o N é convertido em amonium ( $\text{NH}_4^+$ );
- nitrificação, pelo qual o amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) é transformado em nitrito ( $\text{NH}_2^-$ ), e daí em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

Devido à sua forma aniônica, o  $\text{NO}_3^-$  move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, motivo pelo qual pode ser considerado como a forma estável do nitrogênio dissolvido. Isto acontece principalmente em ambientes fortemente oxidantes, como é o caso das águas subterrâneas muito pouco profundas, em sedimentos de alta permeabilidade ou em rochas fraturadas, que possuem altos teores de oxigênio gasoso ( $\text{O}_2$ ) dissolvido (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997).

O ânion nitrato  $\text{NO}_3^-$  ocorre em geral em pequeno teor nas águas subterrâneas. É muito móvel e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água (Bower, 1978). O nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais). Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes, etc., são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na presença de oxigênio, de acordo com o ciclo do nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato). A oxidação do amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) para nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) ocorre com a participação de bactérias especializadas do grupo nitrosomonas. A oxidação do nitrito para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) requer a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias.

De acordo com a CETESB (2007), as águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1.000 mg/L. A título de comparação, a água do mar possui em torno de 1 mg/L. Altas concentrações de nitrato podem produzir intoxicação em crianças ou até levá-las à morte por metahemoglobinemia (cianose) em casos extremos. O nitrato também tem ação na produção de nitrosaminas e nitrosamidas no estômago do homem, substâncias essas

conhecidas como carcinogênicas (FEITOSA & MANOEL FILHO, 1997). Hill *et al.* (1973) mostraram correlações positivas entre câncer gástrico e populações que ingeriam águas com altas taxas de nitrato. É prejudicial à saúde humana, porém trata-se de um composto favorável para a agricultura.

De acordo com a CETESB (2007), o desenvolvimento da metahemoglobinemia, a partir do nitrato em águas potáveis, depende da sua conversão bacteriana para nitrito durante a digestão, o que pode ocorrer na saliva e no trato gastrointestinal. As crianças, principalmente os menores de três meses de idade, são bastante susceptíveis ao desenvolvimento desta doença devido às condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal. O nitrito, que é um indicador de poluição recente, quando presente na água de consumo humano, tem um efeito mais rápido e pronunciado que o nitrato. Se o nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metahemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor.

O nitrogênio de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos, sendo que a ocorrência de rochas fornecedoras de nitrato no Estado de São Paulo ainda não foi apontada; dessa forma, pode-se dizer que o nitrato observado nas águas subterrâneas tem origem no ciclo bioquímico desse elemento na natureza, incluindo as atividades humanas. As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas de origem antrópica são difusas, destacando-se a aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços (CETESB, 2007).

Este parâmetro tem sido utilizado mundialmente como indicador de contaminação das águas subterrâneas, principalmente porque apresenta alta mobilidade na água subterrânea e persistência, podendo contaminar extensas áreas.

A Comunidade Européia promulgou em 1991 uma Diretiva para nitrato de origem agrícola (*Nitrate Directive 91/676/EEC*) que tem os seguintes objetivos:

- redução da poluição da água causada ou induzida por fontes agrícolas;
- prevenção contra poluição.

Avaliação realizada em 1995 indicava, com base em cálculo-modelo, que 87% da superfície agrícola da Europa continham concentrações de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) nas águas subterrâneas, superiores ao valor máximo recomendado (25 mg  $\text{NO}_3/\text{L}$ ), e que 22% se encontravam acima do valor máximo admissível (50 mg  $\text{NO}_3/\text{L}$ ). Em muitas regiões, estes níveis vinham aumentando, especialmente em regiões de elevada densidade de gado, requerendo o encerramento ou tratamento das fontes de água potável. De acordo com o relatório anual “Sinais Ambientais 2002”, realizado pela Agência Européia do Ambiente

(EEA – sigla em inglês), o uso de fertilizantes diminuiu na década de 90. No entanto, o excesso de nutrientes em terrenos agrícolas continua a constituir um problema ao nível da poluição das águas e de eutrofização dos ecossistemas aquáticos.

De acordo com a Comissão Europeia (2002), em julho de 2002, todos os estados-membros tinham cumprido a Diretiva, criado uma rede de controle, instituído um código de boas práticas e designado as zonas vulneráveis (à exceção da Irlanda). As redes de controle mostram que mais de 20% das águas subterrâneas da EU, e entre 30 a 40% dos lagos e rios, têm concentrações de nitratos excessivas.

Nos Estados Unidos, a Lei Federal *Clean Water Act*, de 1996, em sua seção 305(b), estabelece a necessidade de monitoramento das águas subterrâneas para determinar se o recurso hídrico atende aos critérios e padrões estabelecidos. Os resultados do monitoramento das águas subterrâneas são apresentados em relatórios bianuais da Agência Americana de Proteção Ambiental – USEPA que publica, periodicamente, um relatório sumarizando os dados recebidos. Dentre as conclusões do relatório emitido em 2000, destaca-se que o principal indicador de contaminação é o nitrato, cuja presença em concentrações superiores às consideradas como de referência de qualidade é um indício de impacto antrópico na qualidade das águas subterrâneas (USEPA, 2000). Segundo a USEPA (2000), vastas contaminações de nitrato causadas por fossas sépticas individuais e lagoas de tratamento de esgoto têm sido um significativo problema nos Estados de Colorado e Arizona.

Foster *et al.* (2002) constataram que, na maioria das cidades de países em desenvolvimento, o rápido crescimento da população urbana tem resultado em grandes áreas com fossas sépticas para tratamento de esgotos. Os contaminantes comumente associados a estes sistemas são os compostos nitrogenados (inicialmente há a formação de amônia, que normalmente se oxida a nitrato), contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas, vírus e protozoários) e, em alguns casos, substâncias orgânicas sintéticas. Dentre estes, o nitrato é o mais móvel e estável (persistente), dadas as condições normalmente oxidantes dos aquíferos superficiais.

No Brasil, segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2005), a falta de saneamento na zona urbana vem acarretando elevadas concentrações de N-Nitrato na água subterrânea, além de bactérias patogênicas e vírus. O índice médio de domicílios com esgotamento sanitário é de cerca de 50,6%, e o tratamento é de 28,2%. Além disso, nas duas últimas décadas houve grande aumento das áreas cultivadas, onde o uso intensivo de fertilizantes e insumos nitrogenados tem favorecido o aparecimento desse composto nas áreas

rurais, onde outras fontes também são consideradas, como currais, pocilgas, granjas e áreas de pastagens.

Para a CETESB, a fim de executar sua ação de prevenção e definir regras para aplicação de resíduos em solos agrícolas, nos processos de licenciamento e fiscalização ambiental, concentrações de nitrogênio nitrato acima de 5,0 mg/L indicam uma alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas. Assim, essa concentração foi adotada como um valor de prevenção, ou seja, aquele que indica que devem ser iniciadas ações para reverter a tendência de aumento, evitando que seja atingido o Valor de Intervenção (risco à saúde humana). Aquelas que ultrapassam 10 mg/L, valor estabelecido como padrão de potabilidade pela Portaria nº. 518/2004 do Ministério da Saúde, são consideradas contaminadas. O Aquífero Bauru, por comportar-se principalmente como um aquífero livre e possuir grande área de afloramento, condição que lhe confere potencial explorável elevado, mas também uma maior vulnerabilidade à contaminação antrópica, é o aquífero que vem apresentando os valores mais elevados para esta substância.

No período de 2001 a 2003 foram identificados 11 pontos de monitoramento com N-Nitrato em concentrações acima de 5,0 mg/L de  $N-NO_3$ , apontando assim indícios de alteração antrópica. Já no período de 2004 a 2006, identificaram-se 29 pontos nessa condição. Dos 11 pontos de monitoramento listados no período 2001-2003, apenas os pontos 10 e 59, localizados nos municípios de Avaí e Jales respectivamente, apresentaram redução das concentrações de N-Nitrato abaixo de 5,0 mg/L de  $N-NO_3$ . De acordo com a CETESB (2004), é preciso avaliar a localização e a construção dos poços que apresentam concentrações de nitrato acima de 5 mg/L, bem como o uso e ocupação de seu entorno, como uma primeira etapa da investigação da origem dessa contaminação.

Além do aumento do número de pontos com N-Nitrato acima de 5,0 mg/L, há também uma nítida tendência de aumento das concentrações ao longo do tempo, conforme pode ser observado nas Figuras 13 e 14 a seguir:

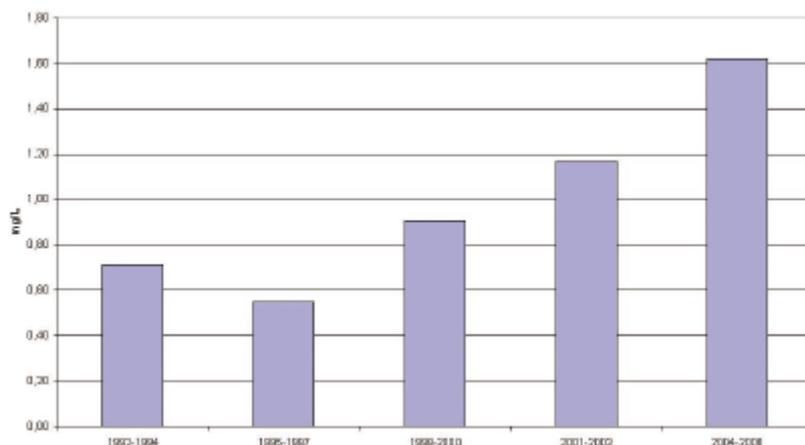


Figura 13 - Mediana das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Bauru (CETESB, 2007)

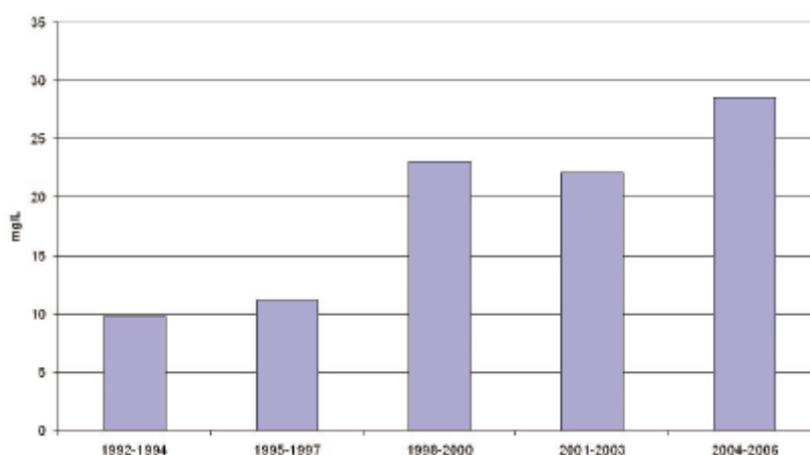


Figura 14 - Concentrações máximas de N-Nitrato por período de monitoramento (CETESB, 2007)

De acordo com ALABURDA & NISHIHARA (1998), a presença de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias. Segundo as autoras, o nitrito e o nitrato estão associados a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metahemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. Assim, foi verificada a contaminação das águas subterrâneas por compostos de nitrogênio, através da determinação de nitrogênio amoniacal, nitrogênio albuminóide, nitrito e nitrato, e avaliada a adequação da legislação vigente.

Foram analisadas 607 amostras de águas de poços localizados predominantemente na Região Metropolitana da Grande São Paulo, através de técnicas espectrofotométricas na região do visível. Os resultados analíticos foram avaliados com base na legislação federal e estadual paulista. Das amostras avaliadas, 91 (15%) apresentaram teores de pelo menos uma

forma do nitrogênio em desacordo com a legislação estadual, e 24 (4,0%) apresentaram teores de nitrato em desacordo com a legislação federal.

Segundo ALABURDA & NISHIHARA (1998), apenas o nitrato apresenta valor máximo permissível na legislação federal, enquanto que a estadual contempla os quatro compostos nitrogenados. Com base nos resultados da presença significativa desses derivados nas amostras analisadas, os quais comprometem a qualidade das águas e apresentam riscos potenciais à saúde humana, as autoras sugerem a sua inclusão na legislação federal.

GIACOMETTI (2001) verificou a qualidade higiênico-sanitária e a concentração de nitratos em águas engarrafadas e de poços particulares utilizados pela população de Jaboticabal (SP). Foram analisadas águas de sete poços, sendo quatro rasos e três profundos, todos localizados no perímetro urbano do município. As águas de poços foram analisadas em períodos de seca e chuva. Segundo a autora, nos resultados obtidos para a concentração de nitrato, pode-se observar que para o fator período, em chuva, a concentração é maior e difere estatisticamente das águas coletadas em seca, mostrando influência das precipitações pluviométricas sobre a qualidade química dessas águas. Suspeita-se que o fator responsável pelo elevado teor de nitrato em dois dos poços, com relação aos demais, devia-se a vazamentos crônicos na rede pública de esgotamento sanitário em pontos próximos a esses poços. Apesar disso, nenhuma amostra excedeu o limite de 10 mg/L N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, estabelecido pela Portaria 1469/01. Ainda assim, existe a necessidade de implantação de monitoramento constante nesses pontos, uma vez que o processo de contaminação de águas subterrâneas é dinâmico (GIACOMETTI, 2001).

Um estudo de corte transversal, de SILVA & ARAÚJO (2003), avaliou a qualidade bacteriológica e físico-química da água subterrânea utilizada para consumo humano em duas áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Selecionou-se uma amostra estratificada proporcional por área e número de unidades prediais nas áreas de estudo. Os resultados das análises das 120 amostras de água coletadas foram comparados aos valores máximos permissíveis para consumo humano nas legislações federais vigentes no Brasil. A concentração de nitrato estava acima do recomendado em 88,2% das amostras analisadas e a de amônia, em 32,7% das amostras. Segundo as autoras, o elevado percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade representa risco à saúde dos consumidores de água deste manancial subterrâneo.

O objetivo da pesquisa de MEAULO (2004) foi elaborar um documento cartográfico temático, que enfocasse qualitativamente a vulnerabilidade natural à poluição das águas subterrâneas. A área de estudo de 270 km<sup>2</sup> abrange a zona urbana e parte da zona rural do

município de Araraquara (SP), região central do Estado de São Paulo, onde ocorrem litologias das formações Botucatu, Serra Geral, Adamantina, sedimentos correlatos e sistemas aquíferos correspondentes. O trabalho de campo incluiu o mapeamento geológico e cadastramento de poços escavados, levantamento de feições estruturais e geológico-geotécnicas, aplicado ao mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos, e o levantamento de fontes potenciais a contaminação de aquíferos. Os índices de vulnerabilidade natural das formações geológicas são: Botucatu e Serra Geral (Alta), Adamantina (Baixa e Moderada) e os sedimentos rochosos (Extrema).

Segundo o autor, o mapa de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP, 1:50.000) e o ensaio de aplicação do mapa são instrumentos que reúnem um conjunto de informações capaz de subsidiar todo tipo de intervenção antrópica no meio físico, contribuindo para as tomadas de decisões governamentais e para a elaboração de programas de políticas públicas ambientais.

WAKIDA & LERNER (2005) realizaram um estudo comparativo entre a zona rural e urbana da cidade de Nottingham (UK), devido à proximidade de ambas. Os autores cadastraram e monitoraram todas as fontes potenciais de nitrato na zona urbana e rural. A conclusão obtida foi que as diferenças entre ambas são pequenas, mas que, por vezes, na zona urbana, a concentração de nitrato é maior, o que foi atribuído ao maior número de fontes potenciais de contaminação, ocasionado pela alta densidade populacional que gera grandes quantidades de efluentes domésticos e industriais. Wakida & Lerner (2005) estimam que são lançados no aquífero cerca de 21 kg N ha/ano, sendo que, deste total, 37% são oriundos dos vazamentos da rede coletora do esgoto.

No Brasil, onde a rede de coleta e tratamento de esgoto é muitas vezes ausente ou precária nas periferias das grandes cidades, os estudos são comparativamente reduzidos.

BARBOSA (2005) investigou uma das fontes mais comuns de contaminação de aquíferos por nitrato, que é o uso de sistemas de saneamento *in situ*, do tipo fossas e valas negras. O trabalho foi desenvolvido no bairro Piranema, limítrofe às cidades de Itaguaí e Seropédica, estado do Rio de Janeiro, onde se situa o aquífero Piranema. Os principais objetivos foram determinar a variação espacial e temporal da concentração de nitrato no aquífero Piranema e as conseqüentes alterações na composição e qualidade da água subterrânea. Catorze poços rasos (com até 15 metros de profundidade), de residências do bairro, foram monitorados por um ano, com a medida mensal de parâmetros físico-químicos e a análise química de amostras de água de três coletas distintas. Na primeira amostragem, em cinco poços foram medidas concentrações de nitrato superiores a de 45 mg/L, o Valor

Máximo Permissível (VMP), enquanto nas duas outras coletas, somente dois poços excederam este limite. A presença de  $\text{NH}_4^+$  em alguns poços indica que a contaminação pode ser recente, não tendo transcorrido tempo suficiente para sua oxidação. Segundo a autora, o monitoramento demonstrou que as concentrações de nitrato variam sazonalmente com os níveis potenciométricos e a direção do fluxo subterrâneo local.

MIGLIORINI *et al.* (2006) descrevem os resultados das análises físico-químicas, químicas e bacteriológicas realizadas nas águas subterrâneas do Cemitério Municipal de São Gonçalo e do Cemitério Parque Bom Jesus de Cuiabá, que estão localizados na região metropolitana de Cuiabá (MT). O trabalho teve como objetivo estudar os impactos gerados pela localização de cemitérios em meio urbano, particularmente no que diz respeito às águas subterrâneas. Para isso foram obtidas amostras de água em poços de monitoramento construídos na área dos cemitérios. A partir dos resultados das análises, não foi comprovada a contaminação das águas subterrâneas dos dois cemitérios por produtos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônia) e por metais. Ainda assim, são enfatizados no trabalho, os riscos de saúde pública representados pela contaminação das águas subterrâneas de áreas de cemitérios.

A pesquisa de BARRETO (2006) foi desenvolvida no município de Tianguá, Ceará. Na primeira etapa, foi realizado o estudo investigatório e quantitativo da contaminação da água subterrânea, pertencente ao Aquífero Serra Grande, por pesticidas e nitrato a partir do monitoramento de uma bateria de poços. Na segunda etapa, foi avaliada a vulnerabilidade do aquífero, aplicando os índices DRASTIC e DRASTIC pesticidas, associados às técnicas de Sistema de Informações Geográficas. O índice DRASTIC se destaca entre os vários sistemas de avaliação e de mapeamento da vulnerabilidade. Este índice é formado por parâmetros hidrogeológicos e morfológicos, que estão relacionados às características dos aquíferos de modo bem definido. Finalmente, na terceira etapa, foi realizada análise multivariada das medidas de pesticidas e nitrato, a partir da aplicação do método de classificação hierárquica de Ward e correlacionada com as classes de vulnerabilidade delineadas nos mapas DRASTIC e DRASTIC pesticidas. O nitrato foi detectado nos 31 poços monitorados, e apresentou, com exceção de um poço, concentrações médias de acordo com o limite da legislação. O índice DRASTIC agrupou quatro classes de vulnerabilidade: insignificante, muito baixa, baixa e moderada, predominando a classe moderada (553,2 km<sup>2</sup>, ou 59,1%). As medidas dos pesticidas e nitrato foram agrupadas nos grupos I, II e III, levando em consideração o nível de contaminação da água subterrânea. Constatou-se correlação para a maioria dos grupos, tanto para as medidas de pesticidas quanto para nitrato, com as classes de vulnerabilidade dos índices DRASTIC e FRASTIC pesticidas.

De acordo com MELO *et al.* as águas subterrâneas que abastecem a zona sul da cidade de Natal estão sendo afetadas pelo sistema de saneamento com disposição local de efluentes. O tipo de contaminante envolvido é o íon nitrato, resultado da biodegradação dos excrementos humanos. Em geral, nos setores mais habitados, os teores de nitrato são inferiores ao nível geral de base, ou seja 10 mg/L, enquanto que nos setores de elevada densidade populacional, o teor de nitrato atinge mais de 100 mg/L. As exceções se verificam no caso de potencialização do fluxo subterrâneo oriundo de áreas já contaminadas, que afetam setores até mesmo não habitados. O setor norte da área estudada dispõe de uma rede de esgotamento sanitário. Entretanto, em grande parte do seu domínio, os teores de nitrato nas águas subterrâneas continuam elevados e até mesmo crescentes ao longo do tempo, notadamente nos bairros mais antigos e de elevada densidade populacional. Segundo os autores, isto se atribui ao caráter cumulativo e praticamente irreversível do processo de contaminação.

Em 2000, foi aprovada no município de Bauru/SP a Lei Municipal nº 4553, de 08 de junho de 2000, que permite ao DAE (Departamento de Água e Esgoto) fiscalizar poços particulares, exigindo a licença de perfuração, ou outorga, cadastramento do poço e a instalação de hidrômetro para acompanhamento da vazão explorada e análises para o controle da qualidade da água do aquífero. De acordo com a Lei, todos os imóveis que dispõem de suprimento próprio de água (poço profundo), e que estão em operação, deverão providenciar análises anuais completas, ou seja, físico-químicas, inorgânicos, orgânicos, agrotóxicos e bacteriologia, ou a critério do DAE, em laboratório idôneo, de água com coleta diretamente na saída do poço, antes de qualquer tratamento, tendo como referência os parâmetros da Portaria 518/2004 do MS, devendo o usuário apresentar cópia do respectivo laudo ao DAE para avaliação, sob pena de multas, caso não cumpra com os prazos solicitados. Caso os resultados estejam fora dos valores máximos permitidos pela Portaria, o DAE comunica através de ofício o responsável pelo poço, o Departamento de Saúde Coletiva Municipal (para providências em casos de contaminação por bactérias coliformes), e ao DAEE em casos de outras contaminações que necessitem de lacração do poço ou quando não há outorga do mesmo.

GIAFFERIS & OLIVEIRA (2006) efetuaram uma pesquisa de campo para estudar a ocorrência de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos em Bauru, mediante análise das águas dos principais pontos existentes. No município de Bauru, 60% do abastecimento público de água são provenientes do Aquífero Guarani. O trabalho teve como objetivos, elaborar a classificação das águas dos principais poços, segundo o grau de contaminação, além de definir áreas de possíveis fontes de risco de contaminação e sugerir medidas

preventivas. Das vinte e seis amostras analisadas, 69,23% deram resultados preocupantes quanto à qualidade das águas subterrâneas por presença de nitrato, sendo 19,23% com concentrações acima do permitido pela legislação, 50% com valores dentro dos padrões permitidos pela Portaria do Ministério da Saúde 518 (10 mg/L  $\text{NO}_3^-$ -N ou 45 mg/L  $\text{NO}_3^-$ ), mas com indicação de início de contaminação por nitrato, e somente 30,77% das amostras não apresentaram comprometimento.

Analisando-se os pontos, observou-se que a área mais crítica está na região central da cidade, sugerindo fontes de poluição urbana. Observou-se valores de nitrato acima de 10 mg/L, fora dos Valores Máximos Permissíveis (VMP) da legislação, em quatro poços, acompanhados de contaminação por bactérias coliformes totais. A alta concentração de cloreto de sódio (22,8 mg/L) enfatiza a contaminação dos poços, sugerindo que pode ser ocasionado por redes de esgotos. Observa-se que 80,77% das amostras de água apresentaram os resultados de pH entre 5,2 e 7,32, demonstrando, devido às características regionais apresentadas, serem estas provenientes do aquífero Bauru. Nos outros pontos, o pH teve valores acima de 8,0 caracterizando pelas mesmas circunstâncias ser do aquífero Pirambóia/Botucatu. Em treze amostras, considerando valores a partir de 3,0 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , quatro delas apresentaram quantidades significativas de nitrato, porém dentro dos VMP, e ainda a presença de bactérias do tipo coliformes totais ou fecais; em outras dez amostras, a presença de nitrato permaneceu dentro dos VMP, porém sem contaminação por bactérias coliformes de qualquer tipo. Nos resultados de nitrato, pode-se verificar valores de até 25 mg/L, considerados elevados pela legislação, podendo caracterizar poluição urbana.

Os mesmo autores mapearam em 2007 os poços particulares que captam águas nos aquíferos Bauru e Guarani no município de Bauru (326 poços cadastrados), e realizaram uma nova avaliação, a partir de análises de água existentes, da ocorrência de nitrato e coliformes. Verificou-se que dos 229 resultados analisados, 31,88% são preocupantes com início de contaminação por nitrato, onde 10,44% tiveram valores acima de 5,0 mg/L, sendo que 3,93% apresentaram valores acima do permitido pela Portaria 518/04 do MS, e 54,15% com valores abaixo de 1,0 mg/L.

Assim, através do levantamento de várias análises de poços particulares cadastrados pela autarquia municipal foi verificada a contaminação por nitrogênio nas águas subterrâneas do aquífero Bauru. Os resultados obtidos demonstraram o comprometimento do aquífero Bauru, colocando em risco o aquífero Guarani, por apresentar possibilidade de existência de falhas geológicas de sistemas de fraturamento, determinados por vários trabalhos geológicos feitos na cidade e da sua grande exploração, uma vez que abastece atualmente 60% da cidade

de Bauru. A maioria dos poços contaminados se encontra na região mais antiga e central da cidade.

Considerando também o levantamento realizado em 2008, a Figura 15 a seguir mostra um comparativo dos resultados de nitrato nas avaliações realizadas nos anos de 2000, 2006 e 2008:

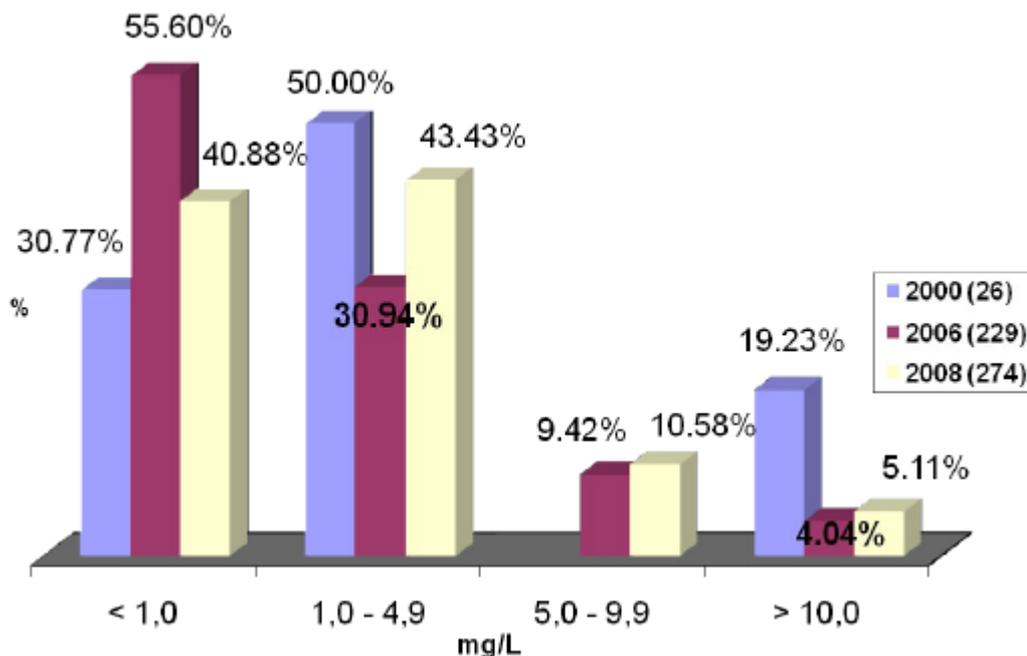


Figura 15 – Comparativo dos resultados de nitrato: 2000, 2006 e 2008 (GIAFFERIS, 2009)

Além de Bauru, estudos realizados nas áreas urbanas de São José do Rio Preto, Urânia e Presidente Prudente apontam as fossas negras, utilizadas como tratamento e disposição de esgotos no início do processo de urbanização, como fontes prioritárias para contaminação das águas subterrâneas do Aquífero Bauru por nitrato. Mesmo com a implantação de redes coletoras de esgoto nessas áreas, o nitrogênio remanescente no solo proveniente das fossas permanece em grande quantidade, e devido a persistência do nitrato, a contaminação tem se agravado, e em alguns casos atingindo porções mais profundas do aquífero (CETESB, 2009).

O objetivo principal do trabalho de FERREIRA *et al.* (2006) foi realizar uma avaliação preliminar, a partir de dados existentes, da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto. Foram obtidos resultados de análises químicas deste íon para os períodos secos e chuvosos dos anos de 1997 a 2001. A maior parte das amostras (60 a 90%) apresentou valores de nitrogênio-nitrato entre 0 e 1,0 mg/L. Somente em uma pequena proporção (2 a 5%) dos poços, foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N}^-\text{NO}_3^-$ . Destes, apenas 1% apresentou problemas quanto à potabilidade para este parâmetro (valores acima de 10mg/L de  $\text{N}^-\text{NO}_3^-$ ). Os valores mais

elevados foram encontrados em poços localizados ao longo dos principais córregos da cidade, indicando que as águas superficiais são a possível fonte de contaminação.

Mais recentemente, a ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas tem preocupado administradores dos recursos hídricos em diversos municípios do Estado de São Paulo, dado que este é o contaminante mais comumente encontrado. Dentre as fontes potenciais, são os sistemas de saneamento, dos quais se destacam as fossas sépticas e negras, bem como redes coletoras mal projetadas e executadas, que contribuem para a contaminação em áreas urbanas, sobretudo nos locais de grande densidade populacional. Outra origem está associada às práticas agrícolas, incluindo o uso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e de resíduos derivados da criação intensiva de animais (SMA, 2009).

Altas concentrações deste contaminante, acima do padrão de potabilidade, foram determinadas em vários poços tubulares e cacimbas, situados nas áreas urbanas e agrícolas de diversos municípios das regiões noroeste e centro-oeste do interior paulista. Tais municípios são parcial ou totalmente abastecidos pelas águas do Sistema Aquífero Bauru, considerado a maior unidade hidrogeológica em área exposta do Estado de São Paulo. Este aquífero, por comportar-se principalmente como livre e possuir grande área de afloramento, é o que apresenta maior vulnerabilidade à contaminação antrópica, com os mais elevados valores de nitrato nas águas subterrâneas no Estado (SMA, 2009).

Este fato ressalta a necessidade de um esforço conjunto de diversos setores para conter a evolução deste problema e proteger a qualidade da água subterrânea. No âmbito do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA), durante as discussões realizadas nas reuniões periódicas entre os parceiros, apontou-se a necessidade de elaboração de possíveis medidas a serem tomadas pelos órgãos competentes, para minimizar os efeitos deste contaminante nas águas subterrâneas.

Em busca deste esforço, em março de 2009, foi criado um grupo de trabalho formado por pesquisadores e técnicos do Instituto Geológico (IG/SMA), Instituto de Geociências (IGc/USP), IPT, DAEE, CETESB, Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi), e do Centro de Vigilância Sanitária, para a elaboração de um Plano de Ação visando evitar a contaminação e fornecer subsídios para a gestão de áreas que já apresentam contaminação por nitrato no Sistema Aquífero Bauru. O trabalho, apresentando em agosto de 2009 em reunião do Conselho Científico de Pesquisa Ambiental, em São Paulo/SP, inclui recomendações de curto e médio prazos, “que permitam nortear o poder público na elaboração de um programa de proteção” do Aquífero Bauru no Estado de São Paulo (SMA, 2009).

Entre as metas de curto prazo, com relação ao problema da falta de informação quanto à carga de nitrogênio lançada pelos sistemas de saneamento e atividades agropecuárias, por exemplo, o plano sugere como ação o cadastramento das fontes potenciais de contaminação e estabelece como produto a delimitação das zonas potenciais de contaminação. O documento indica ainda a necessidade de elaboração de novas normas ou portarias, revisão de resoluções, produção de folhetos explicativos e orientativos e diversas outras ações. De acordo com a SMA (2009), as diversas ações e produtos sugeridos deverão ser implementados em parceria pelas instituições envolvidas na gestão de recursos hídricos subterrâneos e em conformidade com as atribuições de cada órgão.

Em função da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas, a Secretaria do Meio Ambiente – SMA, por meio do Instituto Geológico, vem desenvolvendo o projeto “Padrões de Ocupação Urbana e Contaminação por Nitrato nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, Centro-Oeste do Estado de São Paulo” com objetivo de avaliar as tendências de incremento nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, ao longo do espaço e tempo, frente aos padrões de ocupação urbana nos municípios de Bauru, Marília e Presidente Prudente, com auxílio financeiro da FAPESP.

De forma a reverter esse quadro de tendência de incremento nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, ao longo do tempo e espaço, algumas ações estão sendo discutidas e realizadas no âmbito do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos (SMA), como a elaboração de projeto para a avaliação das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em áreas rurais, além da elaboração de cartilhas orientativas, como o “Roteiro Orientativo para Delimitação de Área de Proteção de Poço”, cujo objetivo é auxiliar os municípios do estado de São Paulo na implementação da delimitação de área de proteção de poços de abastecimento público, importante instrumento de proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

A Rede de Monitoramento Integrado de Qualidade e Quantidade (DAEE-CETESB), iniciada em 2009 e constituída por poços dedicados ao monitoramento dos aquíferos livres, considerando a mensuração do nível d’água natural (piezometria) e da determinação de parâmetros indicadores de qualidade, deverá contribuir também para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas rurais, pois os poços dessa rede estão sendo instalados nessas áreas.

## **2.4 – Aspectos legais e institucionais da gestão das águas subterrâneas**

Em relação à gestão do recurso hídrico subterrâneo, o artigo 26 da Constituição Federal (1988) define como de domínio dos Estados “as águas subterrâneas, excetuadas as decorrentes de obras da União”. A Resolução do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) nº. 15, de 11 de janeiro de 2001, estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas, e a Resolução CNRH nº. 22 (24/05/2002), estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos Estaduais (deverão considerar o monitoramento da qualidade e quantidade de águas subterrâneas, estudos hidrogeológicos e a inter-relação com as águas superficiais, visando a gestão integrada dos recursos hídricos). Mais recentemente, foram publicadas as Resoluções CNRH nº 91 (dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos), e nº 92 (estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro), ambas de 05 de novembro de 2008.

No âmbito do Estado de São Paulo, a Constituição Estadual de 05/10/1989 define, em seu Artigo 206, que as águas subterrâneas são reservas estratégicas para o desenvolvimento econômico-social, e valiosas para o suprimento de água às populações, e deverão ter programa permanente de conservação e proteção contra poluição e super exploração, com diretrizes estabelecidas em lei. A Lei Estadual nº 7663, de 30/12/1991, estabeleceu diretrizes e instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento das Águas Superficiais e Subterrâneas. A Lei Estadual nº 9034 (27/12/1994) estabeleceu as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's) e os Programas de Duração Continuada (PDC), destacando-se o PDC4, que trata do Desenvolvimento e Proteção das Águas Subterrâneas.

O Decreto Estadual 32.995 (07/02/1991) regulamenta a Lei Estadual 6.134 (02/07/1988), que trata da preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas estaduais, estabelece que para o gerenciamento das águas subterrâneas são necessárias ações correspondentes à avaliação, planejamento e conservação do uso dos recursos hídricos subterrâneos por meio de outorgas e fiscalização do uso. Esse Decreto, além de outras disciplinas, estabelece atribuições específicas aos órgãos e instituições do estado, sendo que à CETESB cabe prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, para o que manterá os serviços indispensáveis.

Segundo o mesmo Decreto 32.995, cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) a administração das águas subterrâneas do Estado, nos campos da pesquisa, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com águas superficiais e com o

ciclo hidrológico. À Secretaria da Saúde, através da Vigilância Sanitária, cabe a fiscalização das águas subterrâneas destinadas a consumo humano, quanto ao atendimento dos padrões de potabilidade. E finalmente, ao Instituto Geológico cabe a execução de pesquisa e estudos geológicos e hidrogeológicos, o controle e arquivo de informações dos dados geológicos dos poços, no que se refere ao desenvolvimento do conhecimento dos aquíferos e da geologia do Estado.

A outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos é um ato administrativo – autorização, concessão (quando a captação ocorrer em terreno de domínio público) ou licença – pelo qual se defere qualquer execução de atividade, empreendimento ou uso que interfira ou possa alterar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos. A outorga das águas subterrâneas é de atribuição dos Estados, sendo que em São Paulo, é realizada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), seguindo o estabelecido no Decreto Estadual nº. 41.258 (31/10/1996) e na Portaria DAEE nº 717 (12/12/1996). Tradicionalmente, a captação de água subterrânea corresponde a cerca de 30% do número total de outorgas concedidas pelo DAEE no Estado de São Paulo para diversos usos. No que se refere à qualidade, o artigo 5º do Decreto 41.258/96 estabelece que o ato de outorga não exime o usuário da responsabilidade pelo cumprimento das exigências da CETESB, no campo de suas atribuições, bem como das que venham a ser feitas por outros órgãos e entidades aos quais esteja afeta a matéria.

Em 2005, a Resolução Conjunta SMA-SERHS nº 01, de 23 de fevereiro de 2005 regulou o procedimento para o Licenciamento Ambiental integrado às Outorgas de Recursos Hídricos e, em 21 de junho de 2006, foi publicada a Resolução Conjunta SMA-SERHS-SES nº. 3, que dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos, complementando a Portaria DAEE nº 717, de 12/12/96.

Em 2008, foi publicada a Resolução SMA nº 88/2008 que define as diretrizes técnicas para o licenciamento ambiental de empreendimento do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e, recentemente, foi publicada a Resolução SMA nº 14, de 05 de março de 2010, que define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos em áreas potencialmente críticas para a utilização de água subterrânea. Além disso, encontra-se em discussão minuta de projeto de lei específica que dispõe sobre a Área de Proteção e Recuperação da zona de afloramento do Manancial Sistema Aquífero Guarani – APRM-SAG.

No que se refere à adequada Gestão dos Recursos Hídricos, deve ser destacado que os municípios têm a possibilidade, na implementação de suas políticas urbanas, de estabelecerem normas específicas de gestão urbana e de uso do solo, de forma a proteger as áreas de recarga

e garantir a qualidade e quantidade das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. Vale lembrar que o Estatuto da Cidade – Lei Federal nº. 10.257 (2001) proporciona o uso de diversos instrumentos de gestão urbana a serem aplicados no município como um todo (CETESB, 2007).

Nas análises de água, o íon nitrato pode ser referido ao próprio ânion ou ao seu equivalente em nitrogênio, isto é, uma parte de nitrogênio corresponde a 4,4 partes de nitrato. As concentrações de nitrato podem ser expressas em mg/L de N-nitrato (mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ ) ou em mg/L de nitrato (mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ). O limite imposto pela Organização Mundial da Saúde em águas de consumo humano é de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  e 50 mg/L expresso em  $\text{NO}_3^-$ . Como resultado de evidências da presença de nitritos em águas, a OMS propôs, em 1993, o limite provisório de 3 mg/L para o nitrito (OMS, 1993).

Na legislação do Estado de São Paulo, a Norma Técnica Especial (NTA 60), sobre águas de consumo alimentar, aprovada pelo Decreto Estadual nº 12.486, de 20 de outubro de 1978, considera como águas potáveis, “as águas próprias para a alimentação” e como águas de poço, “as captadas por qualquer processo e que não sofrem qualquer tratamento”. Determina ainda que, as águas de poço deverão satisfazer, quanto aos itens nitrato e nitrito as seguintes exigências:

- Nitrogênio nitroso – ausente. Poderá ser tolerado um teor de até 0,02 mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$ , em face de exames bacteriológicos satisfatórios;
- Nitrogênio nítrico – até 2 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Poderá ser tolerado um teor de até 6 mg/L em face de exames bacteriológicos satisfatórios;
- As águas destinadas ao consumo, que tiverem teor de nitrogênio nítrico superior a 10 mg/L em  $\text{N-NO}_3^-$ , serão consideradas impróprias para o consumo alimentar.

A Portaria Federal nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde aprova normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, determinando o Valor Máximo Permissível (VMP) de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  e 1 mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$ .

De acordo com a Decisão de Diretoria CETESB nº 195, de 23 de novembro de 2005, os valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo são definidos e têm sua utilização como segue:

Valor de Referência de Qualidade - VRQ: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea, e é determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos e amostras de águas subterrâneas de diversos

aquíferos do Estado de São Paulo. Deve ser usado utilizado como referência nas ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e de controle de áreas contaminadas;

A tabela de Valores de Referência de Qualidade (VRQ), elaborada em complementação aos valores orientadores publicado em 2005 e baseada em características físico-químicas dos aquíferos do Estado de São Paulo, tem caráter orientativo, existindo casos de concentração significativamente elevadas, podendo, no entanto, não ser decorrentes contaminação antrópica, mas uma característica hidrogeoquímica local, o que deve ser avaliado caso a caso. No âmbito do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008 dispõe sobre a “classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas”, segundo os usos preponderantes. Um dos critérios do sistema de classes é o VRQ, que deverá ser estabelecido em cada Estado da Federação, para a água subterrânea em cada corpo hídrico subterrâneo, de acordo com as diretrizes desta resolução. Foram estabelecidos valores máximos permitidos para as substâncias de interesse de forma a garantir água com qualidade adequada a cada uso específico (CONAMA, 2008). Os valores de referência de qualidade para águas subterrâneas foram estabelecidos apenas em 2007 para cada um dos sistemas aquíferos do estado de São Paulo, com base na série de dados obtidas pela Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas no período de 1994 a 2006. Segundo a CETESB (2010), esses valores devem ser considerados como valores-base (*background*) para o estado de São Paulo, de forma a orientar ações de prevenção e controle de contaminação das águas subterrâneas. Para os principais aquíferos ocorrentes na bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI 13), os VRQ's são os seguintes:

Quadro 7 - Valores de Referência de Qualidade para os aquíferos ocorrentes na UGRHI 13 (CETESB, 2007)

Parâmetro	Unidade	Valor de Referência de Qualidade (VRQ) por Aquífero, no Estado de São Paulo			VMP
		Guarani	Bauru	Serra Geral	
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	0,3	1,5	0,5	10

Valor de Prevenção – VP: é a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Este valor indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os

receptores ecológicos e a qualidade das águas subterrâneas. Para o Nitrato (como N), o Valor de Prevenção em águas subterrâneas é de 5 mg/L. A referida concentração tem sido utilizada pela CETESB para definir ações preventivas e regras para aplicação de resíduos em solos agrícolas, nos processos de licenciamento e fiscalização ambiental.

Valor de Intervenção - VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. Para a água subterrânea, considerou-se como valores de intervenção as concentrações que causam risco à saúde humana, listadas na Portaria 518 (2004), do Ministério da Saúde (MS), complementada com os padrões de potabilidade do Guia da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2004), ou calculados segundo adaptação da metodologia da OMS utilizada na derivação destes padrões. Em caso de alteração dos padrões da Portaria 518 do MS, os valores de intervenção serão conseqüentemente alterados. A área será classificada como Área Contaminada sob Investigação, quando houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea em concentrações acima dos Valores de Intervenção, necessitando de uma investigação detalhada e avaliação de risco específica, e indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco. Para o Nitrato (como N), o Valor de Intervenção em águas subterrâneas é de 10 mg/L. Em 2009, a Resolução CONAMA nº 420, de 28/12/2009 publicou uma lista de valores orientadores para proteção de qualidade dos solos e águas subterrâneas visando o gerenciamento de áreas contaminadas em todo o território nacional. Os valores de intervenção do estado de São Paulo, com algumas alterações, serviram de base para definição dos valores de investigação dessa lista (CONAMA, 2009).

Dentre as leis e decretos que devem ser obedecidos para a utilização de resíduos agroindustriais na agricultura, podem ser citados o Código das Águas (1934) que, entre outros, resguarda os corpos d'água contra a disposição de poluentes. Para o caso específico da vinhaça existem, ainda, a Portaria do Ministério do Interior nº 323 (1978), que dita que, a partir da safra 1979/1980, fica proibido o lançamento direto ou indireto do vinhoto, em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool instaladas ou que venham a se instalar no país; a Portaria do Ministério do Interior nº 158 (1980), que dispõe sobre seu lançamento em coleções hídricas e sobre efluentes de destilarias de usinas de açúcar; a Resolução do CNRH nº 15 (2001), que dá as diretrizes para a gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas; a Portaria do Ministério da Saúde nº 518 (2004), que estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo

humano e seu padrão de potabilidade, além de outras providências. Aplica-se aos sistemas de abastecimento sob a responsabilidade do poder público e às soluções alternativas, tais como fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais e verticais.

Há ainda a Lei nº 9.605 (1998), que dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente; a Lei nº 7.960 (1989), que dispõe sobre a prisão temporária para crime de envenenamento de água potável, dentre outros; o Decreto-Lei nº 1.413 (1975), que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais; a Portaria do Ministério do Interior nº 124 (1980), que baixa norma no tocante à prevenção de poluição hídrica, para localização de indústrias, construções ou estruturas potencialmente poluidoras e para dispositivos de proteção. E finalmente, a resolução do CONAMA nº 357 (2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e estabelece, ainda, condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

## **2.5 - Aplicação da vinhaça no solo e impacto nas águas subterrâneas**

Além do uso intensivo de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados, um outro fator preocupante é o efluente principal da indústria do álcool, a vinhaça de cana-de-açúcar, rica em nitrogênio, líquido derivado da destilação de uma solução alcoólica chamada vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar, ou melaço, para a obtenção do álcool. Portanto, a vinhaça é o resíduo da produção de álcool, cuja matéria prima pode ser o caldo de cana, o melaço ou a mistura de proporções, ou de diluições destes.

Com o advento do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), e conseqüente expansão da indústria alcooleira do país, ocorreu um aumento significativo da produção de álcool, e também da geração de vinhaça, o que, na safra de 2006/2007 gerou cerca de 190 bilhões de litros de vinhaça. A Figura 16 representa a evolução da produção de álcool e da geração da vinhaça, ao longo dos anos.

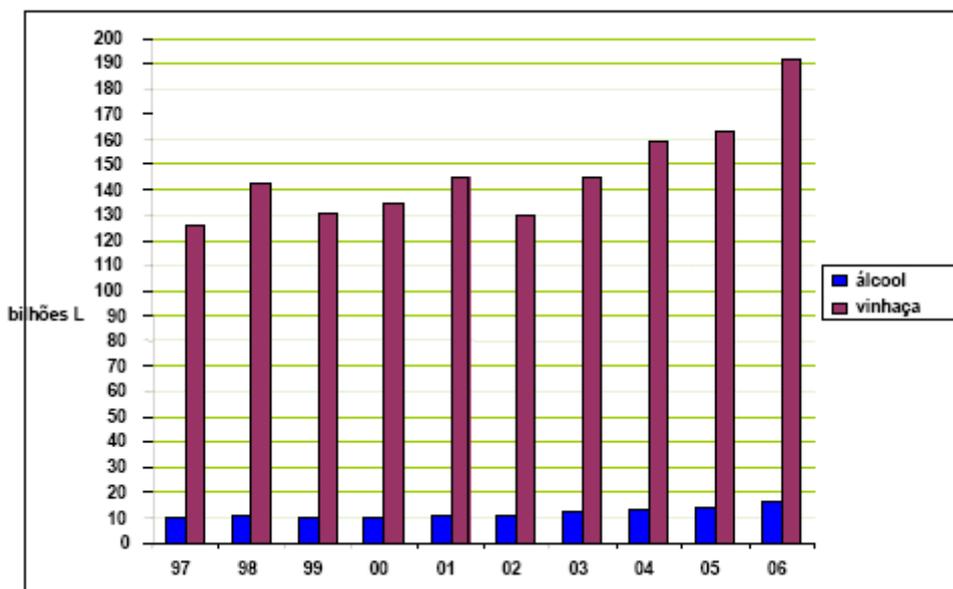


Figura 16 - Evolução da produção de álcool e vinhaça ao longo das safras (MUTTON *et al.*, 2007)

No país, os Estados de Alagoas, Minas Gerais, São Paulo e Paraná são grandes produtores de cana-de-açúcar, e a fertirrigação é amplamente usada nessas áreas. Cada litro de álcool fabricado gera entre 10 e 15 litros de vinhaça, com diferentes teores de potássio de acordo com a origem.

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em cooperação com a UNICA (União da Indústria da Cana de Açúcar) e o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), realiza desde 2003 as avaliações da área cultivada com cana-de-açúcar, nos principais estados produtores da região centro-sul do Brasil, por meio de imagens de satélites de sensoriamento remoto. Os resultados referem-se à área disponível para colheita na safra 2008/09, incluindo as diferentes finalidades, como indústria sucroalcooleira, produção de aguardente, forragem, etc. Eventualmente, parte da cana inicialmente disponível para colheita pode não ser processada na safra, devido a fatores como regime de chuvas e disponibilidade de equipamentos de colheita e transporte, entre outros.

Na região Centro-Sul, a área de cana disponível para colheita na safra 2008/09 foi estimada em 6,53 milhões de hectares (ha), representando um aumento de 15,7% (917,9 mil ha) em relação à safra anterior. O Estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar com uma área de 4,45 milhões de hectares disponíveis para colheita, representando 66% de toda a área de cana da região centro sul, apresentando um crescimento de 12,2% (483,2 mil hectares) de área em relação à safra anterior (INPE/UNICA/CTC, 2009).

A cultura da cana é a principal atividade agrícola do Estado de São Paulo. Segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), a área de plantio de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo cresceu 15,9% na safra 2006/07, atingindo 4,25 milhões de hectares. A produção atingiu 284,91 milhões de toneladas, crescimento de 11,8% em relação à safra anterior. O IEA apontou crescimento de cana em todas as regiões, com destaque para as áreas que tradicionalmente não são canavieiras. No Estado de São Paulo, as usinas passaram de setenta para cerca de 160, em um espaço de tempo relativamente curto. Com base nas estimativas de produção, em 2008 o setor deveria gerar 120 bilhões de litros de vinhaça, como subproduto da produção de 11 bilhões de litros de álcool (SMA, 2008). A distribuição geográfica de área cultivada no Estado de São Paulo é mostrada na Figura 17:

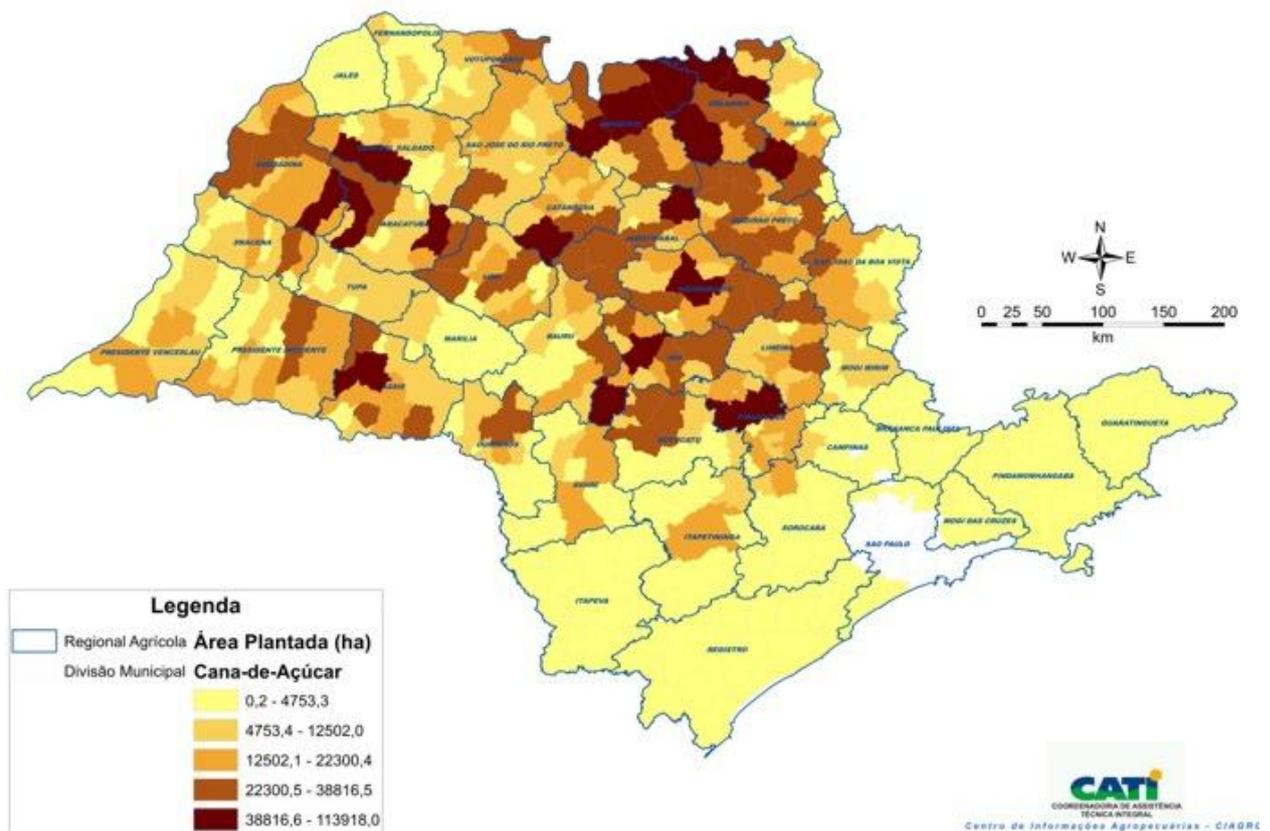


Figura 17 - Distribuição Geográfica de área cultivada, 2007/2008 (SAA/CATI/IEA, 2009)

De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA, 2009), a evolução da área plantada de cana-de-açúcar entre as safras 2006/07 a 2008/09 foi de 1,09 milhões de hectares, sendo 470 mil hectares na última safra, conforme a Figura 18:

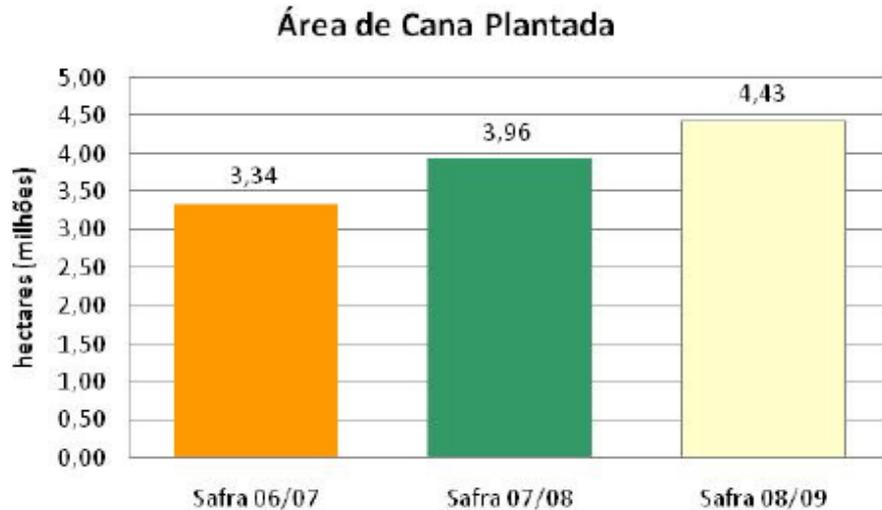


Figura 18 - Evolução da área de cana-de-açúcar plantada no Estado de SP (SMA, 2009)

A área de cana colhida aumentou em 670 mil hectares entre as safras 2006/07 e 2008/09, tendo um aumento de 120 mil hectares na última safra. Notou-se, na última safra, um aumento de cana bisada, ou seja, de cana-de-açúcar que estava planejada para colheita, mas que ficou no campo, conforme mostrado na Figura 19:

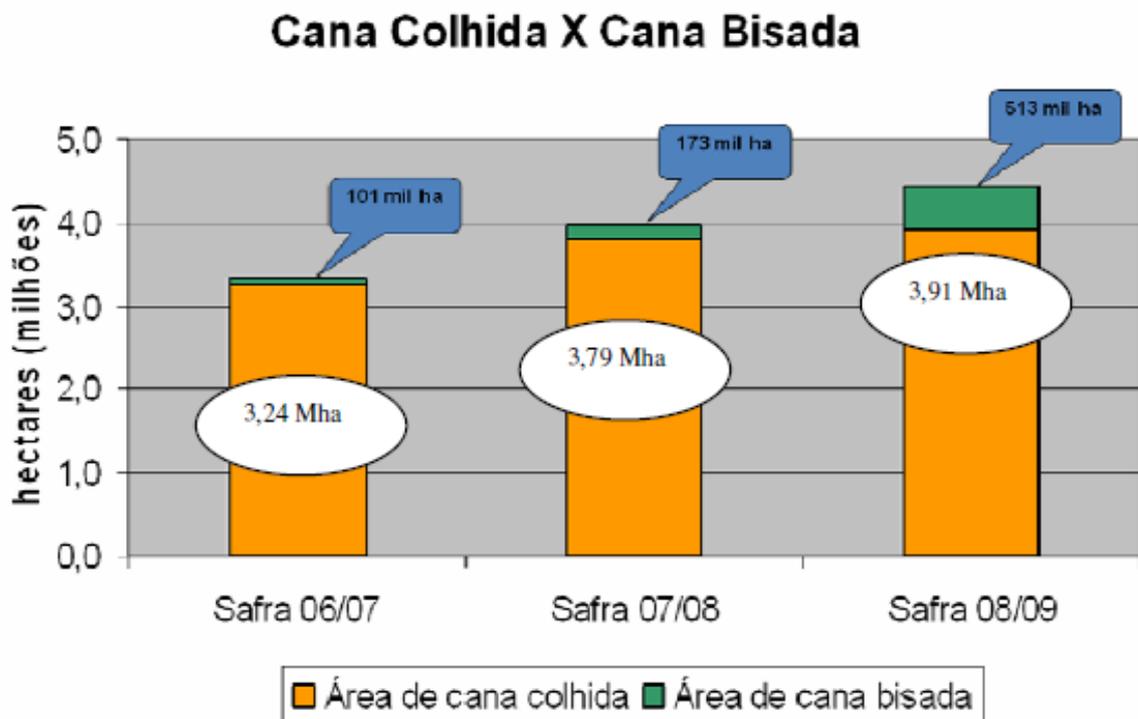


Figura 19 - Evolução da área de cana-de-açúcar colhida e bisada no Estado de SP (SMA, 2009)

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2009), na atual safra agrícola, a área estimada com plantio de cana-de-açúcar, apresenta estabilidade, perfazendo 5,4 milhões de

hectares. Este levantamento mostra que, de 2008 a 2009, houve contenção na expansão da cultura no Estado, em quase todas as regionais. Espera-se produção crescente na atual safra, comparada à anterior, de 5,7%, atingindo 414,3 milhões de toneladas produzidas, e rendimento de 86,2 toneladas por hectare.

Dados do INPE referentes à safra de 2008/2009 indicam que a área plantada de cana ocupa aproximadamente 4,8 milhões de hectares, que representa 18% da área total do Estado e 23% da área agropecuária. A produção paulista na safra 2008/09 foi de 364 milhões de toneladas de cana moída (equivalente a 61% da produção brasileira na mesma safra), com uma média de rendimento de 86 toneladas por hectare e uma média de 86 litros de álcool por tonelada processada ou 140 kg de açúcar por tonelada processada. Já segundos dados do IEA (2009), a estimativa final da safra agrícola 2008/09 de cana-de-açúcar para indústria indica que o volume produzido, de 423,1 milhões de toneladas, foi 8,0% superior ao estimado em 2007/08, em consequência de ganhos de produtividade (0,5%) e ampliação da área cultivada em 2,8%, correspondendo a 5,5 milhões de hectares plantados. No entanto, segundo informações do setor, aproximadamente 12% não foi colhida na safra.

A composição da vinhaça é muito variável, em função de diversos fatores. Um deles diz respeito à sua origem. Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação, a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que a vinhaça proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto. Além disto, a concentração da vinhaça varia de usina para usina, e dentro de cada usina, existem variações nos diversos dias da safra e mesmo num mesmo dia, em função da moagem de diferentes variedades, com diferentes índices de maturação, provenientes de diferentes solos, de diferentes níveis de fertilidade (MUTTON *et al.*, 2007).

De acordo com LEME (2008), a vinhaça, em geral, é um resíduo composto com cerca de 93% de água e 7% de constituintes sólidos. Destes 7% sólidos, cerca de 75% são substâncias orgânicas (correspondendo a 5,25% do total), enquanto os 25% restantes são minerais representados pelo potássio, sulfato, cálcio, magnésio, fósforo e outros. As Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, responsáveis por 70% do total da produção de álcool, geram a vinhaça no período de maio a outubro, coincidindo com a estação seca, na qual os recursos hídricos superficiais apresentam-se com vazão mínima ou volume mínimo e mais susceptíveis a poluição. Normalmente, a produção de vinhaça é uniforme e contínua, uma vez que ela é um subproduto da destilação do caldo de cana fermentado e evaporado na coluna de destilação.

Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora, apresentando DBO variando de 20.000 a 35.000 mg/L (SILVA *et al.*, 2007). Devido a esse problema, optou-se pela disposição da vinhaça no solo, por aspersão ou

irrigação por canais, como fertilizante. A vinhaça também era disposta em lagoas e valas de infiltração. Tais áreas são conhecidas como “áreas de sacrifício”, áreas muito próximas às destilarias, que sofriam a deposição de grande quantidade de vinhaça, ano após ano. Ambas as práticas representam uma ameaça local à qualidade da água subterrânea. Estas áreas ficavam praticamente inutilizadas para a agricultura, principalmente pelo efeito de salinidade do solo, tornando-o improdutivo e de difícil remediação.

De acordo com LEME (2008), por sua riqueza em nutrientes, a vinhaça tem-se transformado em importante fonte de nutrientes. Atualmente, a principal utilização da vinhaça no Brasil é sua disposição na forma bruta no solo, em áreas de soqueiras de cana-de-açúcar (de forma geral, logo após o corte do canavial), para substituição parcial ou total dos adubos minerais, na forma de fertirrigação por sistemas de irrigação por aspersão (autopropelido com carretel giratório), caminhão extensão e caminhões-tanque. O sistema de disposição por sulcos ou curvas de infiltração ainda é usado, porém em pequenas áreas.

Estima-se que atualmente a aplicação de vinhaça por sistemas de aspersão na Região Centro-Sul tenha expandido para uma área de aproximadamente 400.000 ha, dispersa sobre as superfícies de 818.000 km<sup>2</sup> do aquífero Guarani e de 315.000 km<sup>2</sup> do aquífero Bauru. Segundo o autor, essa expansão ocorreu com o uso do sistema autopropelido com carretel giratório, popularmente chamado de rolão. De acordo com Orlando Filho *et al.* (1995), o Brasil produz anualmente 144.000 mil m<sup>3</sup> de vinhaça, sendo estimada para a região Centro-Sul a produção de um volume de vinhaça de 96.000 mil m<sup>3</sup>, que resulta na aplicação de uma dosagem teórica média de 240 m<sup>3</sup>/ha. De forma geral, a dosagem de aplicação de vinhaça nas agroindústrias não é padronizada e varia principalmente conforme a disponibilidade da área de aplicação, do teor de potássio do solo e dos custos de aplicação (LEME, 2008, p. 563).

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos na cultura da cana-de-açúcar, mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e o lençol freático (LYRA *et al.*, 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA *et al.*, 1981).

De acordo com FREIRE & CORTEZ (2000), embora estudos demonstrem a atenuação no solo quanto aos principais indicadores de poluição (nitrogênio, carga orgânica) é necessário continuar com tais estudos por tempo prolongado e realizá-los em solos mais permeáveis, antes de se chegar a uma conclusão final. Já segundo LEME (2008), embora alguns estudos tenham levantado a questão dos vários aspectos ambientais da aplicação de

vinhaça e, principalmente, da adição acumulativa do nitrato no aquífero, pelas áreas de vinhaça, essa questão ambiental nunca foi considerada nos projetos de aplicação dessa água residuária no campo.

De acordo com MUTTON *et al.* (2007), dentre as várias alternativas apresentadas para o uso da vinhaça, a que mais se mostrou econômica e eficiente do ponto de vista agrícola, e que, portanto, passou a ser difundida e adotada pela maioria das usinas, foi o uso na fertirrigação de canaviais. O termo fertirrigação, embora muito utilizado no setor, não é bem empregado, por não se tratar exatamente de uma irrigação no sentido do controle sobre as lâminas de água e na frequência que seria necessária. No caso da vinhaça, refere-se à aplicação do resíduo líquido que também causa o molhamento do solo (FREIRE & CORTEZ, 2000). Numa pesquisa realizada em 54 usinas do Brasil (25 no Estado de São Paulo), representando 22,5% da cana moída no Brasil, NUNES Jr. *et al.* (2005), verificaram que atualmente a vinhaça é distribuída preferencialmente por canais (82,%), e aplicada por aspersão através do sistema de carretel-rolão (52,2%).

Segundo os autores, a vinhaça é recomendada através da análise do solo para potássio e do teor desse nutriente contido na vinhaça, da mesma forma que um fertilizante químico. Deve-se aplicar quantidades relativas à necessidade da cana no ano de cultivo, descontando o que o solo pode fornecer. Em geral, para as soqueiras, a dose varia entre 120 e 180 kg de  $K_2O/ha$  o que significa doses de vinhaça entre 50 e 300  $m^3/ha$ . Inicialmente, a vinhaça era transportada e aplicada através de caminhões tanques. Existiam também duas situações, que permanecem até hoje: aplicação da vinhaça *in natura* ou diluída com água e outros efluentes das usinas (águas de lavagem de cana, água de condensação, água de colunas barométricas, água de lavagem de pisos, etc; conhecidas como águas residuárias).

Classificada como resíduo não-inerte (classe IIA) de acordo com a Norma 10.004/2004 da ABNT pelo fato de não ter tratamento convencional que possibilite o lançamento, a vinhaça ou vinhoto (ou restilo, conforme a região) possui altas concentrações de potássio, cloreto, nitrogênio total, cálcio, sulfato, fósforo total, concentração significativa de alguns metais e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada, que podem causar sérios danos aos cursos superficiais de água. Em caracterização físico-química da vinhaça (média de 64 amostras de 28 usinas do Estado de São Paulo) realizada pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 1995), as concentrações de Nitrogênio encontradas foram: mínimos de 90 mg/L, média de 357 mg/L (3,84 g N/L.álcool) e máximos de 885 mg/L.

Em 2005, uma Decisão de Diretoria da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Decisão de Diretoria 35, de 09 de março de 2005)

homologou a Norma Técnica P4.231 – Vinhaça – Critérios e Procedimentos para aplicação no solo agrícola da cultura de cana-de-açúcar (CETESB, 2005). Esta norma dispõe sobre os critérios e procedimentos de cana de açúcar, no solo do Estado de São Paulo. A norma suspende, imediatamente, a prática de armazenamento e/ou disposição de vinhaça ou lodo em áreas de sacrifício, eliminando-se aquelas que ainda estão sendo utilizadas nas unidades produtoras. Outra consideração é sobre a impermeabilização dos canais mestres ou primários, de uso permanente para distribuição de vinhaça durante o período da safra, que deverá ser feita com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito. A decisão apresenta uma equação para o cálculo da dosagem de vinhaça a ser aplicada para o enriquecimento do solo agrícola. O cálculo considera a profundidade e a fertilidade do solo, a concentração de potássio na vinhaça e a extração média desse elemento pela cultura (PIACENTE, 2005).

Em novembro de 2005, ocorreu a publicação da Portaria nº. 1 da Diretoria de Controle da CETESB, sobre prazos para impermeabilização de tanques e canais. A Norma Técnica P4.231 determinou a entrega à CETESB do Plano de Aplicação de Vinhaça, até 02 de abril de cada ano. A Norma foi revisada em dezembro de 2006, a partir de sugestões do setor sucroalcooleiro.

No solo, a vinhaça poderá ser aplicada em dosagens maiores apenas se a saturação de potássio na CTC (Capacidade de Troca Catiônica) do solo estiver abaixo de 5%. Quando este limite for atingido, a aplicação de vinhaça ficará restrita à reposição desse nutriente, em função da extração média pela cultura, que é de 185 kg de  $K_2O$  por hectare por corte. Com a normativa em vigor para o uso da vinhaça, muitas áreas sofrerão restrições, sendo que o setor já se prepara para transportar a vinhaça a distâncias maiores. Um das soluções em estudo trata da concentração da vinhaça (MUTTON *et al.*, 2007).

Dentre os critérios técnicos da Norma P4.231, a CETESB determina o monitoramento do solo e de poços da área dos tanques. Assim, a caracterização, para fins de fertilidade do solo agrícola, das áreas que receberão a aplicação da vinhaça, deverá ser realizada antes do início da safra, com uma amostra composta para cada gleba homogênea de até 100 hectares. Quatro poços de monitoramento devem ser instalados nas áreas de tanques (um a montante e três a jusante), localizados de acordo com o mapa potenciométrico ou drenos testemunhos, com coleta de amostras de águas subterrâneas em frequência semestral, para determinação de parâmetros como N-nitrato, N-nitrito, N-amoniaco e N-Kjeldhal.

A utilização contínua da vinhaça nos mesmos solos, mesmo que em dosagens baixas, ano após ano, pode gerar a saturação de cátions, principalmente de potássio na CTC dos solos,

ocasionando problemas de lixiviação de seus constituintes para as águas subterrâneas. A lixiviação de potássio para a subsuperfície não é um problema ambiental, uma vez que o mesmo não é poluente das águas. O problema é que a alta concentração de potássio favorece a formação de complexos químicos, que com carga neutra, são facilmente lixiviados. O complexo formado entre o  $(K)^+$  e o  $(NO_3)^-$  é essencialmente preocupante do ponto de vista ambiental, porque o nitrato é grande poluente de águas (MUTTON *et al.*, 2007).

Segundo os autores, embora existam algumas indicações da presença de íons provenientes da vinhaça no lençol freático, a exemplo de  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ , a contaminação do lençol freático pelo uso da vinhaça nas doses atualmente empregadas, como fertirrigação, sobre a palhada da cana, talvez seja um caso com possibilidade remota e restrita a algumas condições, como solos marginais, arenosos e rasos. Caso ocorra, é provável que o processo de contaminação demore muitos anos para ocorrer. Mas o simples fato de existir essa possibilidade já demanda cautela.

Quando depositada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade; todavia, quando usada para este fim, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, sobretudo o nitrato e o potássio. Atualmente, a visão ambiental vem sendo enfatizada e, em alguns casos, a aplicação de vinhaça tem sido contestada pelos seus efeitos no solo e nas águas subterrâneas (MUTTON *et al.*, 2007).

De acordo com CASARINI (2007), os efeitos da aplicação da vinhaça no solo variam em função do tipo de solo e de sua capacidade de trocar e reter íons, e também da composição da vinhaça, o que exige monitoramentos e avaliações caso a caso, pois podem causar:

- modificação das propriedades químicas e microbiológicas do solo, favorecendo a disponibilidade de alguns elementos químicos para a cana-de-açúcar;
- modificação das propriedades físicas do solo: melhorando a agregação do solo, aumentando a infiltração de água e lixiviando íons para as águas subterrâneas, podendo alterar sua qualidade; ou promovendo a dispersão de partículas no solo, reduzindo a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial, podendo alterar a qualidade das águas subterrâneas.

Embora não se tenha elementos seguros que mostrem a área efetivamente irrigada no Estado de São Paulo, é possível admitir que, por fatores econômicos e dificuldade de acesso, não é utilizada a área total necessária para dispor, de forma equilibrada, o total de vinhaça gerado na safra, resultando a aplicação da vinhaça em áreas mais reduzidas e conseqüente

aumento na concentração de elementos potencialmente contaminantes de solo e água subterrânea (MAGADIN SOBRINHO, 2007).

O autor apresentou uma releitura de pesquisas sobre a influência da aplicação de vinhaça no solo e na água subterrânea, buscando identificar uma metodologia comum que seja mais adequada ao monitoramento dos potenciais impactos da fertirrigação. Segundo ele, os trabalhos realizados tratam das alterações das características de campo, sendo realizados a partir de medições e coletas de amostras de solo e águas, efetuadas com aparelhos e equipamentos instalados com essa finalidade específica. Nesse sentido, questiona o alcance da Norma orientativa do processo de fertirrigação, em promover o monitoramento como um procedimento de prevenção, ou apenas de constatação da contaminação dos solos e das águas subterrâneas.

Na tentativa de avaliar o impacto do lançamento da vinhaça no solo, vários trabalhos foram realizados, buscando caracterizar basicamente o seguinte:

- as alterações na qualidade físico-química do solo e da água subterrânea nas áreas de lançamento;
- determinar a taxa de remoção das várias substâncias contidas na vinhaça, pelo solo;
- desenvolvimento de metodologia de campo e do volume a ser aplicado para orientar o lançamento da vinhaça;
- elementos para subsidiar uma legislação que garanta proteção às águas subterrâneas.

O autor concluiu que parte desses trabalhos apresenta nitidamente, ora a tendência de repudiar a todo custo a aplicação de vinhaça no solo, como se este fosse o mal maior do processo, e ora a posição de defesa incontestada de sua aplicação a qualquer solo, apresentando resultados de retenção total dos elementos da vinhaça, sem indicações de que possam atingir o lençol de água subterrânea. Segundo ele, em geral esses trabalhos apresentam lacunas relacionadas, dentre outras, a:

- realização dos trabalhos em escala de laboratório ou em estufas, em condições que dificilmente seriam possíveis de serem transferidas para o campo ou que se assemelhassem à cultura de cana-de-açúcar;
- desconsideração ou omissão voluntária do tipo de solo;
- omissão da taxa de aplicação ou, quando não, a referência ao emprego de taxas que mais se parecem às de "áreas de sacrifício";
- omissão das características da vinhaça empregada.

De outra parte, existe uma extensa gama de trabalhos que, se individualmente não abrangem a totalidade das questões a serem respondidas para a disposição segura da vinhaça no solo, em conjunto possibilitaram que, atualmente, seja de aceitação pacífica que a destinação à fertirrigação promove a adição de nutrientes no solo, elevação da umidade e do pH e melhora da resistência do solo à erosão, resultando em efeitos altamente positivos na produtividade agrícola e na amortização do impacto da poluição provocada pelo antigo descarte da vinhaça em cursos d'água ou em "áreas de sacrifício". Também têm o mérito da conscientização de que o lançamento indiscriminado de vinhaça no solo deve estar sujeito a restrições, não só devido à possibilidade de poluição pela alteração da qualidade das águas subterrâneas, mas também pelo comprometimento da qualidade da cana para a produção de açúcar: cana irrigada com elevados teores de potássio apresenta altos teores de amido, prejudicial à qualidade do açúcar (MAGADIN SOBRINHO, 2007).

A salinização do solo e a alteração de suas características físicas seriam dois outros efeitos indesejáveis do lançamento excessivo de vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar ou do uso de vinhaça concentrada na fertirrigação. Entretanto, independente das ressalvas que possam ser feitas a alguns trabalhos de pesquisa sobre o comprometimento da qualidade ambiental, causado pelo lançamento de vinhaça no solo, os procedimentos de controle e monitoramento são conduzidos com a finalidade de se avaliar a sensibilidade do lençol freático à contaminação. Com a mesma frequência são empregados procedimentos de análises de solo, em conjunto com as de água, para determinar a distribuição dos contaminantes em profundidade.

Porém, de acordo com o autor, são limitados os trabalhos que abordam a efetiva ou potencial contaminação das águas subterrâneas e dos solos, como resultado de um universo mais variado de fatores, que inclui: composição da vinhaça, características físicas, químicas e biológicas do solo, fisiografia da área, existência de vinhaça residual, taxa de lançamento da vinhaça e existência de vegetação ou cobertura no lançamento.

Outros dois fatores relevantes a serem observados, segundo MAGADIN SOBRINHO (2007), são os métodos de coleta de amostras de água que, baseados quase sempre em poços de monitoramento, permitem identificar apenas a situação pós-contaminação, e os elementos analisados nas amostras de água, que raramente apresentam correspondência entre dois trabalhos distintos.

ORLANDO FILHO *et al.* (1995) estudaram a lixiviação de espécies nitrogenadas,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  em solo arenoso, com aplicação de nitrogênio mineral (60 kg/ha) e doses de vinhaça (0, 150, 300 e 500 m<sup>3</sup>/ha). Os resultados de quatro períodos de amostragens e em três

profundidades de solo (até 2 metros) mostraram que não houve lixiviação de nitrogênio até 25 semanas após a aplicação. CRUZ *et al.* (1990) relatam os resultados de estudo de longa duração sobre a influência da vinhaça aplicada na dosagem de 300 m<sup>3</sup>/ha/ano, nas propriedades do solo (até 1,5 m de profundidade) e água de sub-superfície. O experimento avaliou períodos de 0, 5, 10 até 15 anos. Verificaram a melhoria da fertilidade do solo ao longo dos anos. Foi encontrado nitrato na água de sub-superfície, porém em concentração abaixo do limite prejudicial à saúde humana.

De acordo com SILVA *et al.* (2007), estudos de monitoramento são conduzidos com a finalidade de se avaliar a sensibilidade do lençol freático e do aquífero à contaminação. Com bastante frequência são utilizados métodos relativamente empíricos para diferenciar zonas no lençol freático da bacia hidrográfica, com respeito à sua vulnerabilidade a contaminações ocorrendo na superfície do solo. A vulnerabilidade, associada a um local na bacia, é tão maior quanto menor for o tempo de trânsito de um contaminante da fonte de poluição ao aquífero, e quanto menor também for a atenuação da concentração durante o trânsito no perfil ou, ainda, quando a duração da contaminação foi potencialmente maior (Brouyère *et al.*, 2004).

Os autores citam, por outro lado, que as variações no nível do lençol freático afetam a evolução da contaminação, já que, durante períodos de elevação do nível freático, os contaminantes migram em profundidade no perfil do solo, na zona anteriormente insaturada, a qual é lavada após saturação, induzindo a um aumento na concentração desses elementos na água subterrânea. Contrariamente, quando o nível do lençol freático baixa, a frente de contaminação é desconectada da zona saturada, e as concentrações desses elementos diminuem. Ressalta-se que o lençol freático é uma significativa ou única fonte de água em regiões áridas; sua contaminação poderia, em razão das atividades agrícolas, colocar em risco severo a sobrevivência nesses ambientes hostis (Oren *et al.*, 2004), mas esta contaminação é expressa, em geral, em aumento na salinidade e na concentração de nitrato, que é um poluente mineral comum das águas subterrâneas em áreas agrícolas. Cabe lembrar aqui, que o excesso de água ocasiona lixiviação de sais para o lençol freático (Oren *et al.*, 2004), ou seja, no caso do nitrato ocorre acúmulo no perfil do solo em períodos secos, e pode haver lixiviação em períodos chuvosos.

A vinhaça, largamente utilizada nas lavouras canavieiras, possui, em grandes quantidades, elementos que, dependendo da concentração, segundo Meurer *et al.* (2000), se destacam como contaminantes de águas superficiais e subterrâneas, como o fosfato e o nitrato, respectivamente. Esses elementos, conforme Resende *et al.* (2002), têm gerado, nos últimos anos, grande preocupação acerca dos efeitos, principalmente do nitrato, na saúde da

população humana e animal. STEVENSON (1986) afirma que o impacto dos nitratos atinge não só a saúde humana e animal como, também, o crescimento (diminuto ou excessivo) das plantas e a qualidade do ambiente (eutrofização).

HASSUDA (1989) foi o pioneiro no estudo dos impactos da aplicação de vinhaça em áreas de sacrifício, definindo o comportamento dos principais íons nas zonas saturada e não-saturada. A cidade de Novo Horizonte, no interior de São Paulo, no interior de São Paulo, foi a área escolhida para o desenvolvimento do estudo. Neste local, afloram sedimentos do Grupo Bauru, Formação Adamantina, definindo o aquífero livre de mesmo nome. Este aquífero possui uma espessura de 20 a 50m e encontra-se localizado abaixo dos basaltos da Formação Serra Geral. Os tipos litológicos são, predominantemente, arenitos muito finos, e secundariamente, siltitos e argilitos siltosos, exibindo pobre seleção, imaturidade textural e apresentando cores vermelhas e cinzas. A espessura da zona saturada não ultrapassava a 5,5m.

Na área estudada (27ha) foram aplicados 348.000 m<sup>3</sup>/ano de vinhaça entre os anos de 1975 a 1984, de forma contínua; esporadicamente, a partir de 1984. A instalação da rede de monitoramento, que incluiu 20 poços, e coletas e análises das águas da zona saturada, foram implementados de junho de 1985 a setembro de 1987.

A infiltração da vinhaça através da camada de solo e da zona não-saturada, atenua ou elimina grande parte da carga poluidora do efluente, através de reações de troca iônica, oxirredução, complexação e biodegradação. A aplicação da vinhaça na área de sacrifício solubilizou e carregou para o aquífero, ferro, alumínio e manganês da zona não-saturada, devido à acidez do efluente e às modificações nas condições de pH do meio. A degradação do material carbônico, a adsorção de nutrientes, como o potássio e o fósforo, e a retenção dos cátions sódio, cálcio, magnésio e hidrogênio, foram as principais atenuações sofridas na zona não-saturada. As condições de ambiente anaeróbico a partir de 3m de profundidade e a disponibilidade de carbono orgânico, geradas pela aplicação da vinhaça no solo, permitiram processos de denitrificação do nitrato.

Os resultados das análises físico-químicas possibilitaram verificar as alterações sofridas na qualidade das águas do aquífero. O efluente modificou os valores de pH, elevou as concentrações de cloreto, ferro, manganês, alumínio e amônio nas águas subterrâneas. A biodegradação da matéria orgânica, alta retenção de sulfatos e fosfatos na zona não-saturada, por mecanismos de adsorção e complexação, atenuaram fortemente as maiores parcelas da carga poluidora. À exceção de parâmetros estéticos, o amônio, em baixas concentrações (< 9,8 mg/l), pareceu ser o poluente de maior preocupação, ocasionado pela aplicação de vinhaça em áreas de sacrifício.

A fertirrigação, outra prática de infiltração de vinhaça no solo, foi estudada por GLOEDEN *et al.* (1991). Em uma área de recarga do Aquífero Botucatu, no município de Serrana (SP), foi analisado o comportamento de íons nas zonas saturada e não-saturada, a partir da aplicação de vinhaça em taxas de 150 a 300 m<sup>3</sup>/ha. O Aquífero Botucatu, na área de estudo, é constituído por arenitos médios e arenitos finos, homogêneo e com espessura da zona não-saturada inferior a 2,5m. O solo que recobre essa unidade é classificado como vermelho-amarelo, predominando o quartzo.

As análises químicas, realizadas a partir de amostras da água na zona saturada (profundidades de 2,9m e 4,5m), indicam que, após a aplicação da vinhaça, as concentrações de cloreto, carbono orgânico, amônio e nitrogênio orgânico se elevaram, reduzindo-se drasticamente e atingindo valores naturais depois de dois meses. Acompanhando o potássio na zona não-saturada, verificou-se que são remotas as chances de degradação da qualidade das águas subterrâneas, mesmo em solos com baixa capacidade de troca catiônica. Contudo, os autores alertam para o fato de formas orgânicas de nitrogênio terem sido encontradas, e de que estas poderiam ter gerado nitratos.

A partir dos resultados dos estudos realizados, ainda que escassos, este projeto definiu que indústrias e destilarias que geram quantidades menores que 100 m<sup>3</sup>/dia fossem classificadas como de reduzido perigo potencial de geração de cargas poluidoras aos aquíferos; entre 100 a 1.000m<sup>3</sup>/dia, índices moderados, e elevados, acima de 1.000m<sup>3</sup>/dia. A prática de disposição em áreas de sacrifício foi condenada, recomendando-se a disposição controlada com uso de fertirrigação. Com base nestes critérios, as maiores plantas de produção sucro-alcooleira do Estado (192) foram classificadas em índices elevados (39), moderados (36) e reduzidos (117).

Segundo os autores, é preciso salientar, contudo, que a falta de acompanhamento de longo prazo não permite ainda garantir que não haja risco para as águas subterrâneas, quando é adotada a prática da fertirrigação.

CAMBUIM (1983), em experimento em colunas com amostras de Neossolo Quartzarênico e com duas doses de vinhaça, afirmou que a lixiviação de cálcio, magnésio e potássio, ocorreu quase na mesma proporção das doses aplicadas, havendo, ainda, redução nos teores de micronutrientes no lixiviado quando o tempo de incubação da vinhaça no solo foi maior, ou seja, quanto maior o intervalo entre a aplicação de vinhaça e a ocorrência de chuvas, maior também será a absorção de micronutrientes nos sítios de troca do solo.

De acordo com a CETESB (1994), a vinhaça, também denominada vinhoto, restilo ou garapão é muito usada na fertirrigação da lavoura canavieira, entretanto, além dos nitratos e

nitritos, apresenta elevados valores de DBO, constituindo-se em um forte poluidor dos aquíferos superficiais e subterrâneos. Estudos efetuados sobre a infiltração da vinhaça no solo concluem pela minimização do seu potencial poluidor quando utilizada na fertirrigação, em doses adequadas, pela apropriação da planta dos elementos nutritivos que ela contém, antes que atinja o lençol freático, e pela sua maximização quando infiltrada nas chamadas áreas de sacrifício ou sob os tanques de armazenamento da vinhaça.

Visando comprovar a efetiva infiltração de vinhaça sob os tanques de armazenamento, a CETESB efetivou trabalhos de campo, em solo do Grupo Bauru, no município de Dobrada e da Formação Serra Geral, no município de Pontal, constatando em análises químicas nas amostras de solo e água, a poluição causada pela vinhaça (FRAGA *et al.*, 1994).

Na região de Alagoas, os excedentes da vinhaça são acumulados em lagoas, que recebem um grande volume na época da safra, para infiltração através de sulcos no terreno. No município de Rio Largo, da Grande Maceió, foram observadas alterações físico-químicas em poços tubulares do sistema aquífero Barreiras. A contaminação pela vinhaça foi evidenciada por altas concentrações de elementos como potássio (126 mg/L) e magnésio (154 mg/L). A contaminação da água subterrânea em área cultivada com cana-de-açúcar também foi constatada em Paripueira (AL), conforma análises físico-químicas realizadas durante o período de 1983 a 1996, que apresentavam valores de pH decrescentes de 6,4 a 4,24 e valores crescentes de nitratos entre 0,20 e 8,25 mg/L (CAVALCANTE *et al.*, 1996 *apud* FERREIRA NETO *et al.*, 2002).

PEREIRA (2003) apresentou um levantamento bibliográfico sobre os impactos provocados pela disposição de vinhaça no solo, sobre a qualidade da água subterrânea, expondo resultados encontrados nas pesquisas. Os impactos da aplicação da vinhaça no solo e na água subterrânea variam de acordo com as condições fisiológicas da área, da composição química da vinhaça e do volume e da periodicidade de aplicação. Notadamente, são contaminadoras as disposições em áreas de sacrifício, em canais de transporte de vinhaça, lagoas de acumulação e tanques de rejeitos sem impermeabilização (PEREIRA, 2003). De acordo com a autora, são necessários incentivos ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, redução e usos alternativos da vinhaça, em detrimento da fertirrigação, pois a elevada e crescente geração desse efluente não comportará apenas uma forma de destinação.

SILVA *et al.* (2007) analisaram os trabalhos relacionados ao uso de vinhaça e impactos nas propriedades químicas do solo e lençol freático, contribuindo para a discriminação dos efeitos benéficos e adversos sobre as mesmas. O levantamento

bibliográfico realizado permitiu que se dividisse a abordagem em quatro tópicos básicos: características da vinhaça, alterações na composição química do solo, recarga do lençol freático e alterações nas propriedades das águas subterrâneas.

Segundo os autores, de maneira geral, a vinhaça apresenta elevadas concentrações de nitrato, potássio e matéria orgânica; sua utilização pode alterar as características do solo promovendo modificações em suas propriedades químicas, favorecendo o aumento da disponibilidade de alguns elementos para as plantas. Por outro lado, a vinhaça também pode promover modificações das propriedades físicas do solo, de duas formas distintas: essas alterações podem melhorar a agregação, ocasionando a elevação da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de lixiviação de íons, de forma a contaminar as águas subterrâneas quando em concentrações elevadas, além de promover a dispersão de partículas do solo, com redução da sua taxa de infiltração de água e elevação do escoamento superficial, com possível contaminação de águas superficiais.

De acordo com SILVA *et al.* (2007), pelo fato de haver diferentes tipos de solo e composições de vinhaça, os resultados dos trabalhos são bastante variáveis; contudo existe consenso de que sua disposição deve ser efetuada de acordo com a capacidade do solo em trocar e reter íons.

SILVA *et al.* (2007) concluíram que, embora a bibliografia acerca dos efeitos da vinhaça no solo e nas águas subterrâneas seja ainda bastante limitada, com poucos trabalhos com vinhaça de cana-de-açúcar e de beterrada, é possível verificar que os resultados são bastante variáveis em razão da grande diversidade de solos e composição das vinhaças. Além disso, verificou-se unanimidade em relação à dosagem aplicada que apresentaria menores chances de contaminação das águas subterrâneas devendo ser relacionada ao tipo e condições do solo local, isto é, de acordo com o conteúdo de matéria orgânica, classe textural, e existência de vinhaça residual, uma vez que esses exercem influência sobre a CTC e capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, além da profundidade do lençol freático, proximidade de nascentes e intensidade de atividade vegetal na área.

Já para LEME (2008), a taxa ou dosagem de nitrogênio a ser aplicada por meio da vinhaça (kg/ha.ano) pode ser obtida utilizando qualquer valor menor que 10 mg/L para a concentração de nitrato na água percolada pelo perfil de solo, com garantia da potabilidade da água dos aquíferos Guarani, Bauru e outros. Quanto menor o valor adotado (abaixo de 10 mg/L), maior será a segurança da proteção do aquífero. Para o cálculo da concentração de nitrato percolado no solo devem ser considerados também dados de precipitação (recomenda-

se usar a precipitação com período de retorno de 10 anos) e evapotranspiração real da cana-de-açúcar, das respectivas regiões.

De acordo com o autor, observa-se que, de forma geral, a equação estabelecida pela Norma Técnica P4.231 da CETESB conduz a um resultado de nitrato percolado no perfil de solo que recebeu vinhaça mais baixo que a concentração-limite de 10 mg/L, que deverá assegurar a qualidade dos aquíferos subterrâneos localizados nas regiões de aplicação com relação à potabilidade para consumo humano.

As máximas dosagens volumétricas de vinhaça, obtidas por meio da norma técnica da CETESB, estão, de forma geral, semelhantes às dosagens usadas na prática para fertirrigação das socarias de cana-de-açúcar. O mesmo ocorre com as dosagens máximas para a aplicação de potássio, na forma de  $K_2O$ . Com relação à dosagem de nitrogênio total, a mesma resulta em uma concentração de nitrato percolado no perfil de solo adequada e compatível para a preservação dos aquíferos. No entanto, poderá ocorrer a situação da necessidade da aplicação sucessiva de vinhaça em uma mesma área, fato que poderá reduzir a margem de segurança existente para uma única aplicação. Para esses casos, a P4.231 não estabelece limites anuais de aplicação. Assim, recomenda-se às unidades sucroalcooleiras atenderem a essa condição nos planos anuais de aplicação exigidos pela P4.231 (LEME, 2008).

Recentemente, a ampliação do cultivo da cana em todo o Estado de São Paulo e o crescimento da produção do setor, conforme mostrado nas Figuras 20 e 21 a seguir, motivaram o desenvolvimento de um trabalho ligado ao Projeto de Pesquisas Ambientais, que visa a avaliação dos impactos da atividade sucroalcooleira sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, apresentado em março de 2008, em reunião do Conselho Científico, integrado por pesquisadores de instituições vinculadas à Secretaria Estadual do Meio Ambiente, e de outras entidades de pesquisa que têm interface com as questões ambientais.



Figura 20 - Ocupação das terras pela cultura da cana-de-açúcar – Situação Atual (SMA, 2008)

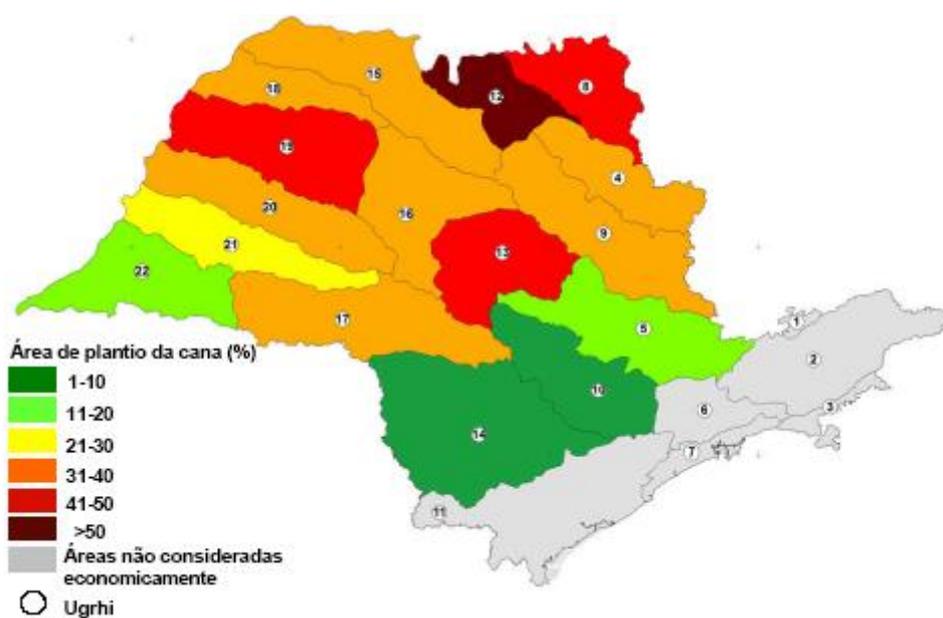


Figura 21 - Ocupação das terras pela cultura da cana-de-açúcar – Projeção 2010 (SMA, 2008)

A proporção da geração de vinhaça em relação à cana é estimada em  $300 \text{ ml/m}^2$ . Além do uso da vinhaça sem controle adequado, a CETESB listou como fonte de poluição do solo e águas, o manuseio e uso inadequado de agrotóxicos, assim como o armazenamento e disposição inadequados de efluentes líquidos e dos resíduos sólidos. Entre os desafios a serem enfrentados, inclui-se a necessidade de se rever o controle dos resíduos sólidos e líquidos,

estabelecer a caracterização química desses resíduos e levantar as informações sobre os efeitos de sua disposição na qualidade das águas, diante do crescimento da produção do açúcar e do álcool, assim como da área plantada. A Bacia do Piracicaba-Capivari-Jundiá foi a escolhida como a área para a implementação do projeto. Destaca-se ainda a necessidade de padronizar as metodologias analíticas e de integrar os dados de monitoramento da qualidade das águas, realizados por diferentes instituições.

Em 2008, foram estabelecidas as áreas e pontos para coletas de amostras de indicadores do impacto, realizados os levantamentos do uso e destino de agroquímicos na região escolhida, assim como a instalação de poços de monitoramento em área com cultivo de cana e em área ainda não plantada. A coleta de amostras e a realização das análises continuaram em 2009, e a previsão era que a avaliação estivesse concluída em 2010, quando seus resultados seriam publicados e divulgados.

Deve-se destacar também que, de acordo com a Resolução SMA nº 88, de 19/12/2008, nas áreas classificadas como “Adequadas com Restrições Ambientais”, definidas a partir do estabelecimento do Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, as exigências para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos e de ampliações de empreendimentos existentes do setor sucroalcooleiro, incluem, entre outras, a adoção da melhor tecnologia prática disponível visando a minimização da geração de vinhaça. Além disso, nas áreas “Adequadas com Restrições Ambientais” nas áreas de alta vulnerabilidade das águas subterrâneas, a aplicação de vinhaça fica condicionada à apresentação de relatório contendo a caracterização hidrogeológica, com o objetivo de determinar a vulnerabilidade do aquífero local. Para as áreas onde se comprovar a alta vulnerabilidade do aquífero local, deverá ser apresentado um Plano de Manejo, elaborado de acordo com as diretrizes da Norma Técnica CETESB 4.231, contemplando a taxa de aplicação, frequência de aplicação, monitoramento de solo e águas subterrâneas.

### 3 – METODOLOGIA

Considerando a constatação de concentrações anômalas de nitrato na água subterrânea observadas no monitoramento da CETESB (2007/2010), selecionou-se este parâmetro, por ser um potencial contaminante, para análise da situação dos poços cadastrados junto ao DAEE, localizados em áreas rurais da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13). Assim, foram obtidos resultados de análises de água subterrânea (realizadas tanto em estações secas como em estações chuvosas), compreendidas durante o período de 1998 a 2008. Os poços com resultados das análises (parâmetro nitrogênio-nitrato) foram locados em um mapa georreferenciado de uso do solo da bacia para o ano de 2005 (CPTI/IPT, 2008) e relacionados com a classe de uso do solo identificada na área, identificando-se aqueles poços localizados em áreas de cultivo agrícola de cana-de-açúcar.

A caracterização inicial da área de estudo compreendeu a coleta de dados básicos sobre uso e ocupação do solo, geologia, hidrogeologia, além das fontes potenciais à contaminação das águas subterrâneas devido a práticas agrícolas. O trabalho foi realizado conforme as seguintes etapas:

- a) revisão bibliográfica geral sobre o tema: ciclo natural e mobilidade do nitrogênio no solo; disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo; vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação; vulnerabilidade/susceptibilidade das áreas de recarga com relação à qualidade da água subterrânea; informações existentes sobre a ocorrência de nitrato de origem antrópica em águas subterrâneas (contaminação difusa); uso intensivo de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados e disposição de resíduos agro-industriais no solo e os impactos nas águas subterrâneas; legislação nacional e internacional em relação ao parâmetro Nitrato em águas para consumo (valores máximos permitidos);
- b) caracterização da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré em relação a:
  - recursos hídricos subterrâneos: disponibilidade, demandas, utilização (abastecimento, indústria e irrigação), reservas exploráveis, vulnerabilidade à contaminação, monitoramento da qualidade; Sistema Aquífero Bauru, Aquífero Serra Geral e Aquífero Guarani (hidrogeologia, espessura, características hidráulicas, área aflorante, potencial de exploração, poços cadastrados, vazões e profundidades médias);
  - atividade agrícola: área cultivada (ha) e produtividade (kg/ha) das principais culturas (cana-de-açúcar e laranja);
- c) localização de informações sobre os poços profundos localizados na bacia do Tietê-Jacaré, nos Relatórios de Qualidade de Águas Subterrâneas da CETESB (triênios 1998-2000, 2001-

2003, 2004-2006, e 2007-2009): integração dos resultados das análises do monitoramento da qualidade dos Sistemas Aquíferos (Serra Geral, Bauru e Guarani), para a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13);

d) levantamento de informações sobre os poços profundos particulares localizados em áreas rurais na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (coordenadas geográficas, características hidráulicas, aquífero explorado e os principais usos da água extraída), através do acesso ao cadastro de poços profundos do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) de Araraquara/SP, por possuir centralização e maior quantidade de informação;

e) coleta de dados, junto ao DAEE, referente aos resultados das análises físico-químicas - parâmetro Nitrato -, realizadas como exigência dos procedimentos de outorga para captação de água subterrânea, para os poços profundos localizados em áreas rurais na bacia do Tietê-Jacaré (período de 1998 a 2008);

f) Em um mapa de uso do solo da bacia do Tietê-Jacaré (2005), georeferenciado a partir do Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Relatório Zero (IPT, 2000), localizam-se os poços com concentrações de Nitrogênio-Nitrato levantadas anteriormente junto ao DAEE, relacionando as mesmas com o uso do solo identificado na área, identificando aqueles localizados em áreas de cultivo agrícola de cana-de-açúcar;

g) integração dos dados, análise estatística básica (estatística descritiva), interpretação e discussão dos resultados.

A interpretação estatística da ocorrência de Nitrato seguiu a metodologia proposta pela CETESB (2007), sendo que os dados obtidos para o parâmetro Nitrato foram agrupados por aquífero, identificando aqueles considerados discrepantes do conjunto.

Para a realização da interpretação estatística, verificou-se a necessidade de tratamento dos resultados apresentados como menor que o limite de quantificação (<LQ). Para o parâmetro Nitrato, foram reportados mais de dois limites de quantificação (0,20; 0,30; 0,13 e 2,0), em função do laboratório executor e da data da análise. Optou-se por retirar do conjunto de dados aqueles com LQ muito elevado em relação a outros limites reportados para o mesmo parâmetro; assim os resultados informados como <2,0 mg/L foram descartados. Para os demais resultados informados como <LQ, utilizou-se o próprio valor do LQ. Assim, após a retirada de dados com LQ muito elevado, bem como do tratamento do conjunto de dados, foi analisado, quanto ao parâmetro Nitrato o conjunto total de 151 poços particulares localizados em áreas rurais da bacia do Tietê-Jacaré. Os demais foram descartados por possuírem inconsistências quanto a posicionamento (em coordenadas UTM), fora dos limites da bacia, após a utilização do georeferenciamento.

Os dados integrados, agrupados por Aquífero, foram submetidos à análise estatística básica, calculando-se as suas médias, medianas, máximos e mínimos. Utilizou-se a mediana como referência, pois esta é uma medida estatística mais robusta, sofrendo menor influência de dados anômalos do que a média (CETESB, 2007). As medianas obtidas para os poços que exploram os Aquíferos Bauru, Guarani e Serra Geral na zona rural da bacia foram comparadas com os valores orientadores de referência de qualidade, prevenção e intervenção, quanto ao parâmetro Nitrogênio-Nitrato, estabelecidos pela CETESB (2005).

## 4 – CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

### 4.1 - Recursos hídricos subterrâneos

Com área total de 11.803,87 km<sup>2</sup>, a Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré foi definida como a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRHI 13) pela Lei Estadual nº 9.034/94. Localiza-se na porção central do Estado de São Paulo. É definida pelas bacias hidrográficas de cursos d'água afluentes ao rio Tietê no trecho de cerca de 140 km entre as barragens da Usina Hidrelétrica de Ibitinga, a jusante, e a Usina de Barra Bonita a montante, dos quais se destacam os rios Jacaré-Pepira, Jacaré-Guaçu e Jaú pela margem direita e os rios Bauru e Lençóis pela margem esquerda. Esta unidade de gerenciamento de recursos hídricos inclui 34 municípios, conforme Figura 22 a seguir, abriga cerca de 3,6% da população do Estado, sendo que 96% dos habitantes vivem em áreas urbanas. Os municípios de Araraquara, Bauru, Jaú e São Carlos respondem juntos por mais da metade (cerca de 61%) da população de UGRHI (CPTI, 2008).

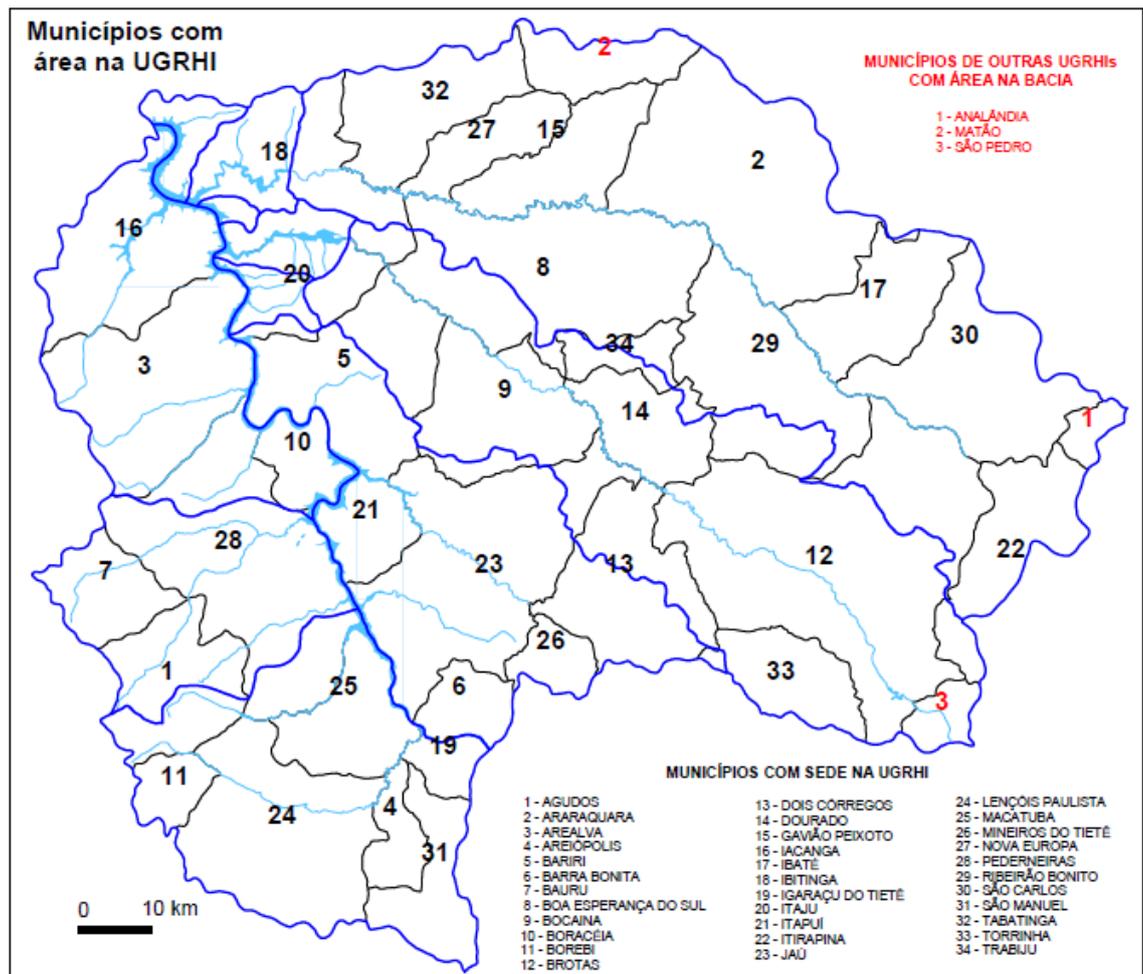


Figura 22 – Municípios da bacia do Tietê-Jacaré (IPT, 2007)

Nela estão localizados os reservatórios de Bariri, Ibitinga e Lobo. Na agroindústria, evidenciam-se as grandes usinas de açúcar e destilarias de álcool. A cultura da laranja e a pecuária extensiva também são significativas, e estão voltadas para o abastecimento da indústria agroalimentar. Os quatro municípios maiores (Bauru, Araraquara, São Carlos e Jaú) concentram cerca de 61% da população total da bacia, de pouco mais de um milhão e quinhentos mil habitantes.

Para a UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), que se encontra em fase de transição da vocação agropecuária para a industrial, o balanço hídrico tanto das águas superficiais como das águas subterrâneas, é considerado crítico já que a demanda superficial representa 60,75% de sua disponibilidade e a demanda por águas subterrâneas representa 75,96% de sua disponibilidade. Os principais usos da água são para irrigação e uso industrial, seguidos pelo uso urbano (SMA, 2009).

As unidades geológicas que afloram na área da bacia são os sedimentos clásticos predominantemente arenosos, as rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento, as rochas sedimentares do Grupo Bauru, os sedimentos cenozóicos e depósitos correlatos, pelos depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos coluviões e eluviões.

A ocorrência das águas subterrâneas na bacia é condicionada pela presença de quatro unidades aquíferas, a saber: em superfície, observa-se o Sistema Aquífero Bauru, que ocupa 37%, o Aquífero Serra Geral com 35%, o Aquífero Guarani com 23% (e presente em todo o restante do subsolo, na forma confinada), conforme Figura 23, e o Aquífero Cenozóico, com 6% da UGRHI.

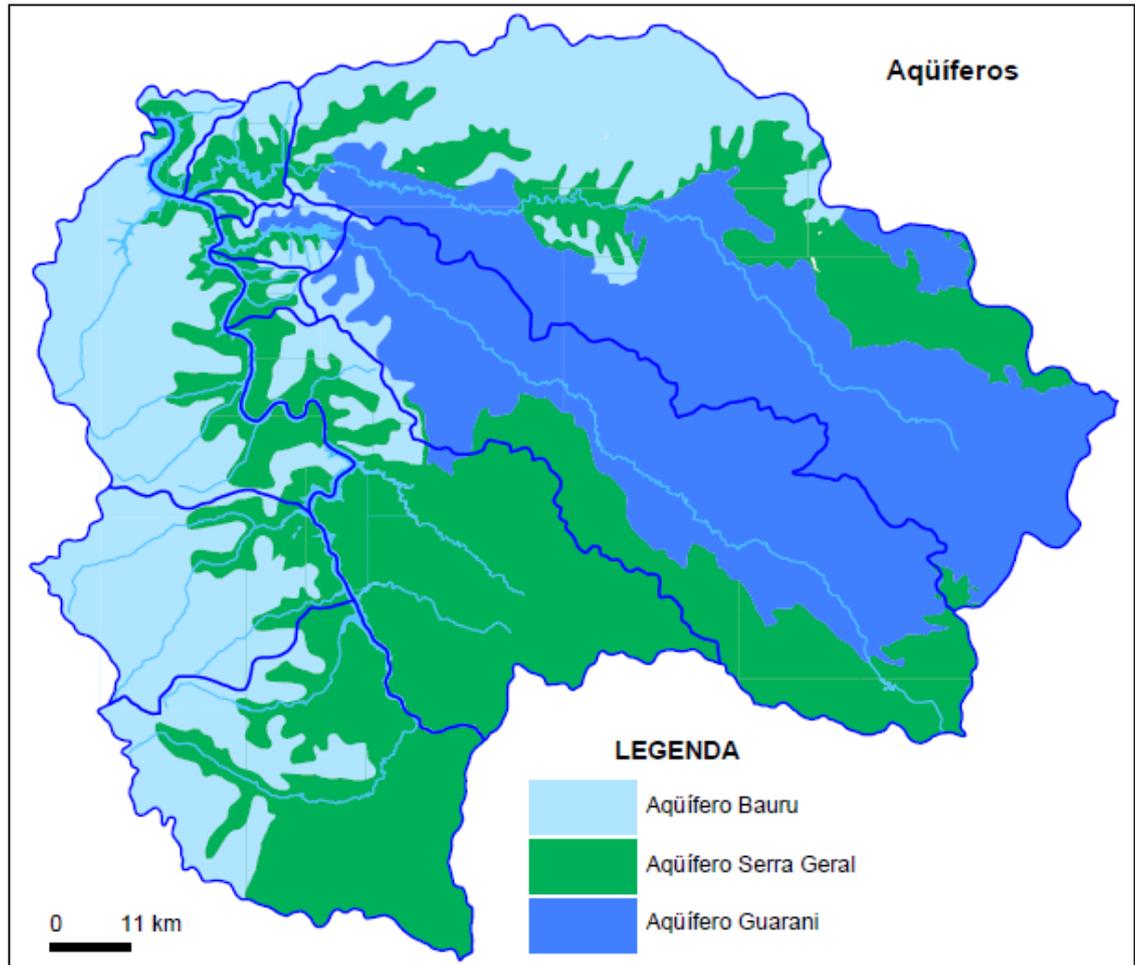


Figura 23 - Aquíferos da UGRHI 13 (IPT, 2007)

São dezesseis os municípios que se abastecem totalmente por meio de águas subterrâneas, enquanto que quinze deles usam fontes mistas e apenas três utilizam exclusivamente de águas superficiais. Foram cadastrados 557 poços que, porém, devem representar apenas uma parcela pequena do que ocorre na realidade (IPT, 2000). Atualmente, de acordo com o Cadastro de Poços Profundos do DAEE (2009), há aproximadamente 1.133 poços cadastrados na bacia do Tietê-Jacaré, sendo que cerca de 43,5% dos poços exploram o Aquífero Bauru, 28% o Aquífero Guarani, e 21,5% o Aquífero Serra Geral. Os três maiores municípios da bacia (Bauru, São Carlos e Araraquara) concentram cerca de 70% dos poços cadastrados na UGRHI.

A disponibilidade hídrica subterrânea pode ser avaliada pelas características hidráulicas e geométricas dos aquíferos existentes, além de considerações quanto à facilidade de extração dos recursos e a produtividade obtida. Assim, a potencialidade de água

subterrânea para os principais aquíferos ocorrentes na UGRHI 13 é mostrada na Figura 24:

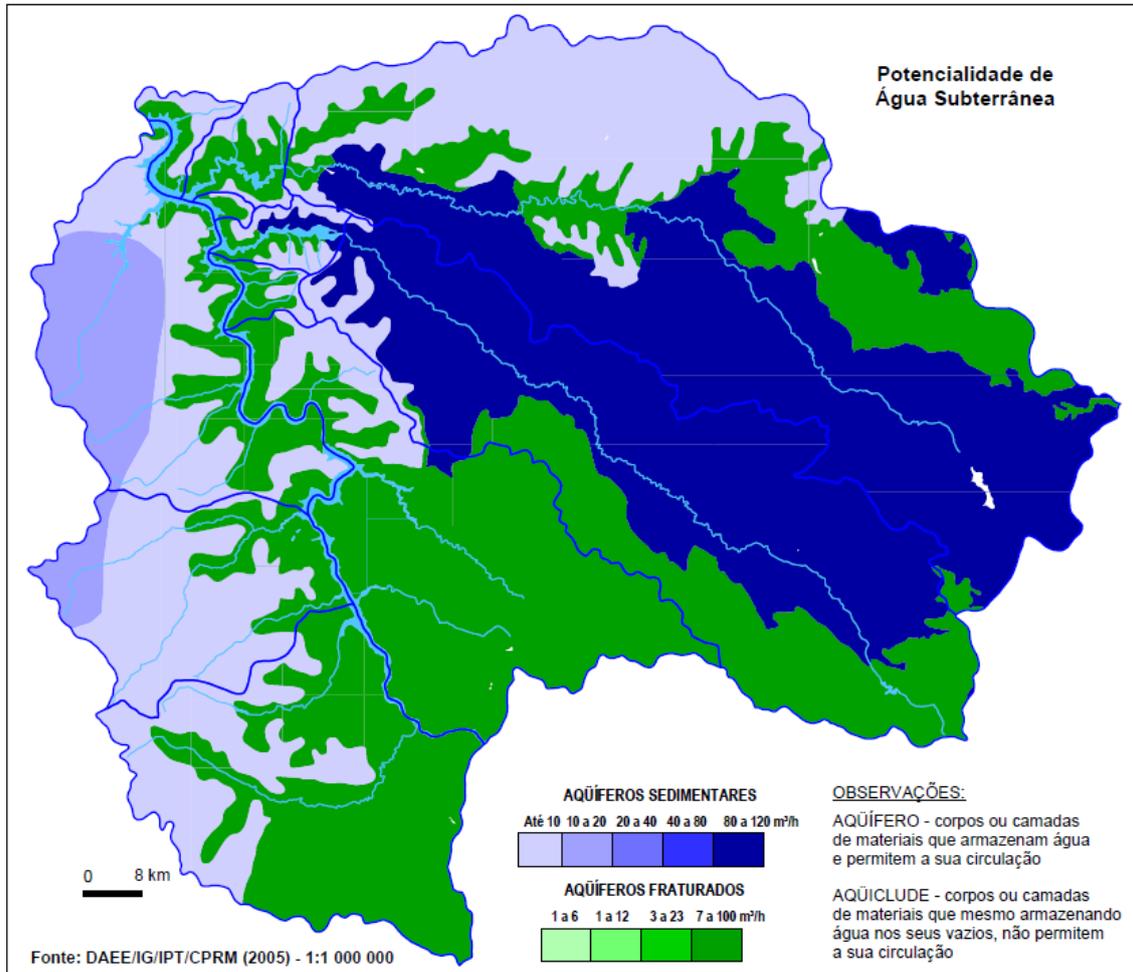


Figura 24 – Potencialidade de Águas Subterrâneas (IPT, 2007)

A Formação Serra Geral aflora principalmente na porção sudoeste da bacia do Tietê-Jacaré, região ao longo do vale do rio Tietê, numa faixa que se estende desde São Manuel e a barragem de Barra Bonita, a sudeste, até a jusante da barragem de Ibitinga, então já com reduzida expressão em área. Outra faixa expressiva de afloramento situa-se ao longo da bacia do Rio Jacaré-Guaçu, em faixa nem sempre contínua, mas que se estende para oeste desde a cidade de São Carlos até a barragem de Ibitinga (IPT, 2000).

Os basaltos da Formação Serra Geral constituem um aquífero de extensão regional, porém com condições aquíferas restritas, definidas em função de discontinuidades (juntas, fraturas e falhas), e/ou pela presença de pacotes de arenitos inter-derrames, conforme modelo conceitual mostrado na Figura 25:

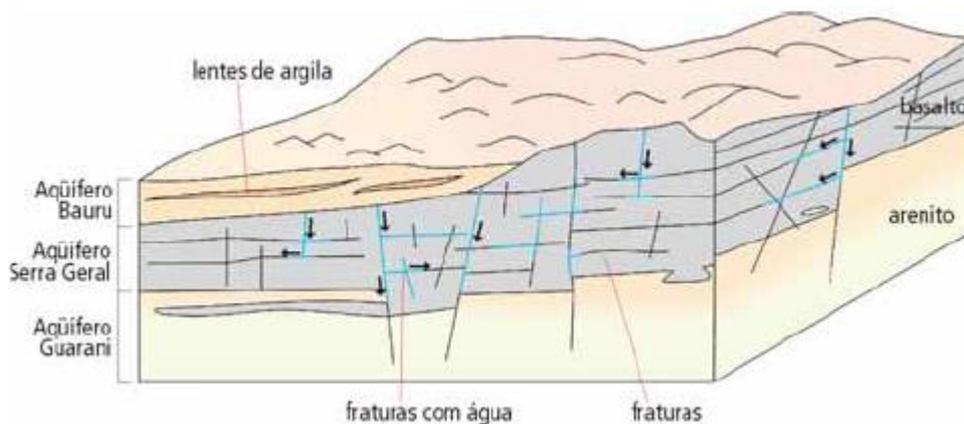


Figura 25 - Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Serra Geral  
(IRITANI & EZAKI, 2008)

Segundo estudos do DAEE (1976), os basaltos apresentam espessuras variáveis de 100 m a 1200 m, sendo mais espessos no sentido do Rio Paraná. As transmissividades extremamente baixas na direção vertical, aliadas à sua grande espessura, condicionam os basaltos como o substrato hidrogeológico do Aquífero Bauru e a camada confinante do Aquífero Botucatu subjacente. Como o fluxo das águas subterrâneas ocorre, essencialmente, nas fraturas das rochas, as quais são usualmente descontínuas, os parâmetros hidráulicos do aquífero (transmissividade, permeabilidade, porosidade) não possuem o mesmo significado que nos aquíferos granulares, não servindo, portanto, para previsões de disponibilidade hídrica.

O DAEE relatou a presença de grupos de transmissividades muito baixas ( $1$  a  $9 \text{ m}^2/\text{d}$ ) ou muito altas ( $100$  a  $200 \text{ m}^2/\text{d}$ ) na área estudada, com porosidade efetiva entre 1% e 5% e vazões extremamente variáveis. Embora a área aflorante dos basaltos seja de apenas 35% em toda a bacia, a ocorrência em subsuperfície abrange a sua totalidade.

Os poços cadastrados na bacia que captam unicamente deste aquífero, apresentam vazões bastante variáveis, entre  $1,0$  e  $145,0 \text{ m}^3/\text{h}$ , com média de  $19,7 \text{ m}^3/\text{h}$ . As profundidades variam entre 40 e 364 m e a vazão específica média é de  $3,99 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , extremamente variável desde  $0,041 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  até máxima de  $67,215 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . São frequentes os poços com captação tanto no Aquífero Bauru como no Serra Geral, apresentando vazão média de  $27,6 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,25$  a  $340,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ), superior aos poços que captam unicamente no Aquífero Bauru. A vazão específica média é de  $1,171 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  ( $0,063$  a  $13,365 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) e as profundidades variam entre 45 e 202 m, com média de 99,2 m (IPT, 2000).

O Sistema Aquífero Bauru caracteriza-se como uma unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, conforme modelo conceitual mostrado na Figura 26, destacando-se pela sua extensa área de afloramento no Estado de São Paulo.

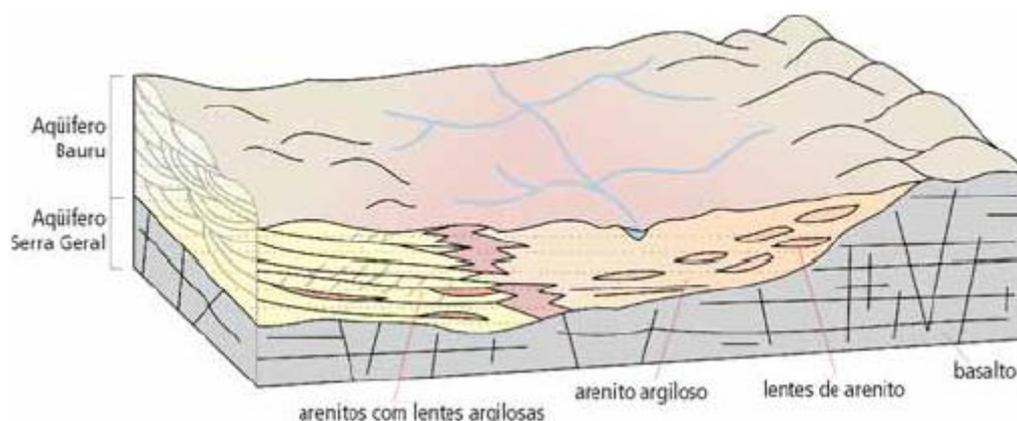


Figura 26 - Modelo hidrogeológico conceitual do Aquífero Bauru (IRITANI & EZAKI, 2008)

Na área da bacia, apresenta regionalmente comportamento de aquífero livre, com recarga natural diretamente de infiltração de água das chuvas. Os níveis d'água são relativamente rasos, acompanhando o relevo e com sentidos de fluxo principais rumo às drenagens. Estudos realizados pelo DAEE (1976) nas regiões administrativas de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba, apresentam a espessura saturada do aquífero variável entre 100 m e 150 m, condicionada pela morfologia de superfície e pelo substrato rochoso, representado pelos basaltos da Formação Serra Geral. O DAEE considera o Aquífero Bauru como moderadamente permeável, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e siltoso. Os valores de transmissividade variam de  $10 \text{ m}^2/\text{d}$  a  $100 \text{ m}^2/\text{d}$ , com média de  $35 \text{ m}^2/\text{d}$ , e porosidade efetiva entre 5% e 15%. Coeficientes de armazenamento entre  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  indicam localmente condições de semi-confinamento e confinamento do aquífero. Essas características hidráulicas resultam em vazões consideradas pequenas, com médias entre 12 e  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ , porém de grande importância devido à sua extensa distribuição no Estado e facilidade de captação por poços relativamente rasos (75 a 125 m de profundidade). Segundo a CETESB (1998), a área aflorante do Aquífero Bauru na UGRHI corresponde a 37% do total.

No município de Bauru, SILVA & CAVAGUTI (1992) identificaram o potencial de exploração do Aquífero Bauru apenas para utilização por particulares e área rural. O Aquífero apresenta, nesta região, espessura média de 120 m (entre 10 e 190 m), coeficiente de condutividade médio de  $0,4 \text{ m/d}$ , transmissividade entre 5 e  $75 \text{ m}^2/\text{d}$  e vazão específica de 0,1 a  $2 \text{ m}^3/\text{h/m}$ , resultando em produção média dos poços inferior a  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ . O levantamento de

poços cadastrados, realizado no âmbito da análise de demandas da bacia, indica que o aquífero produz vazões desde 1,3 até 135 m<sup>3</sup>/h, em poços com profundidade entre 37 e 300 m, total ou parcialmente penetrantes. As vazões específicas resultantes variam de 0,0034 a 5,0 m<sup>3</sup>/h/m, com média de 1,06 m<sup>3</sup>/h/m.

Os sedimentos arenosos da Formação Pirambóia afloram na área da bacia, principalmente na região de Ribeirão Bonito, em duas manchas principais, ao longo das sub-bacias do Baixo e Médio Jacaré-Guaçu. Manchas menores são observadas a leste e sudeste, geralmente junto aos vales das drenagens, onde já foram erodidas as unidades superiores. Os arenitos da Formação Botucatu afloram em uma expressiva área nas sub-bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, que se estende desde a região de Itirapina, a leste, até as proximidades da barragem de Ibitinga, a oeste, onde aqueles rios de afunilam para desaguar no Rio Tietê (reservatório de Ibitinga). Dali para oeste, os arenitos ainda encontram-se recobertos pela capa representada pelos basaltos da Formação Serra Geral e pelos sedimentos do Grupo Bauru.

Sob a denominação de Aquífero Guarani são incluídas as formações Botucatu e Pirambóia. O Aquífero Guarani apresenta área de afloramento em apenas 13% da área total da UGRHI, mas ocorre em sua totalidade em sub-superfície, tendo os basaltos da Formação Serra Geral como unidade confinante. O Quadro 8 lista os municípios da bacia com significativa porcentagem de sua área no afloramento do Aquífero Guarani:

Quadro 8 - Municípios da UGRHI 13 que apresentam mais de 40% de sua área no Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (Modificado de CETESB, 2004)

Município	Porcentagem da Área do Município sobre o Afloramento (%)
Boa Esperança do Sul	82
Bocaina	84
Brotas	85
Dourado	61
Ibaté	45
Itirapina	87
Ribeirão Bonito	90
São Carlos	72
São Manuel	43
Trabiju	100

O Aquífero Guarani apresenta características de unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, com substrato formado pelas camadas argilosas do Grupo Passa Dois, e mergulhos suaves no sentido oeste, conforme modelo conceitual mostrado na Figura 27:

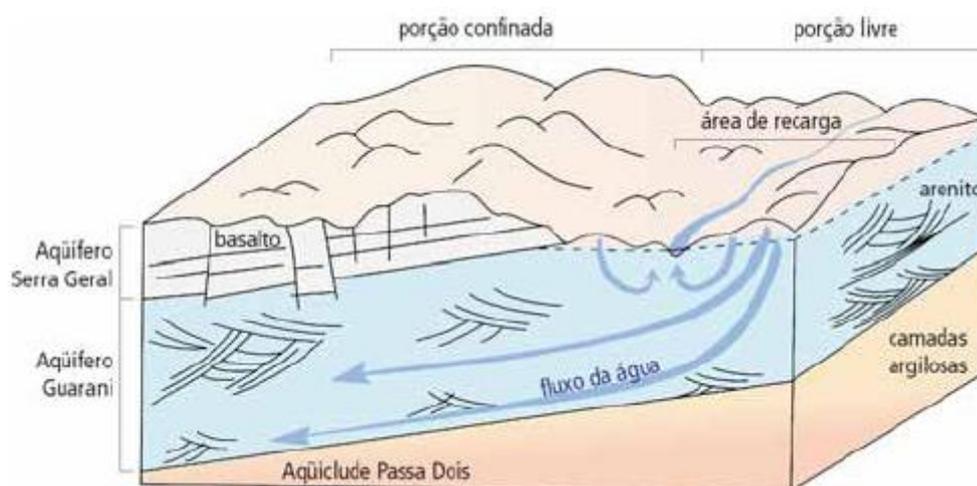


Figura 27 - Modelo geológico conceitual do Aquífero Guarani (IRITANI & EZAKI, 2008)

Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), a espessura do Aquífero Guarani varia entre 250 e 580 m, com médias em torno de 350 a 400 m. A recarga

ocorre principalmente nas áreas de afloramento das formações, situadas a leste da bacia, induzindo ao fluxo das águas essencialmente horizontal.

As contribuições ou perdas por meio dos basaltos são bastante restritas, resultando em altas pressões de confinamento, capazes de gerar artesianismo em determinados locais.

O Aquífero apresenta condutividade média de 3,5 m/d, coeficiente de transmissividade entre 350 m<sup>2</sup>/d e 500 m<sup>2</sup>/d, e porosidade total entre 16% e 24%. As pressões de confinamento resultam em coeficientes de armazenamento extremamente baixos, de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-6</sup>. Estas características hidráulicas, associadas à sua grande extensão e espessura, evidenciam a extrema importância do Aquífero Guarani como reserva estratégica de água, inclusive em caráter continental (IPT, 2000).

Os poços do Aquífero Guarani cadastrados na bacia, localizados em suas porções livres, apresentam vazões entre 1,3 e 377 m<sup>3</sup>/h, com média de 75,7 m<sup>3</sup>/h. As vazões específicas resultantes variam de 0,148 a 8,314 m<sup>3</sup>/h/m, com média de 2,316 m<sup>3</sup>/h/m. A profundidade dos poços varia de 50 a 371 m, resultando em média de 176,4 m.

No aquífero confinado, as vazões são relativamente maiores, entre 6,5 e 352 m<sup>3</sup>/h, com média de 153,9 m<sup>3</sup>/h. As vazões específicas obtidas situam-se entre 0,6 e 10,8 m<sup>3</sup>/h/m, com média de 3,529 m<sup>3</sup>/h/m. As profundidades dos poços são bastante variáveis, a depender das espessuras dos basaltos sobrejacentes. Foram observados poços desde 62 m até 608 m, resultando em média de 348,3 m. Os poços com captação tanto no Aquífero Serra Geral quanto no Guarani apresentam vazão média de 47,9 m<sup>3</sup>/h, variando de 4 até 230 m<sup>3</sup>/h, com profundidades entre 73 e 552 m e média de 201,6 m. As vazões específicas resultantes variam de 0,001 a 30,0 m<sup>3</sup>/h/m, com média de 2,7 m<sup>3</sup>/h/m.

Em relação à situação atual do saneamento e saúde pública, os 34 municípios com sede na Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré são assim administrados:

- 9 municípios têm seus sistemas de água e esgoto operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp;
- 25 municípios apresentam serviços autônomos de água e esgoto ligados à Administração Municipal.

O abastecimento público de água na bacia do Tietê-Jacaré é feito, principalmente, a partir de mananciais subterrâneos, com 60,2% do total. Com relação ao esgotamento sanitário, pode-se dizer que apresenta uma condição típica do saneamento básico no interior do Estado, com um alto percentual de atendimento de coleta de esgotos (97%) e distribuição de água potável. Entretanto, quando se enfoca o tratamento e disposição final dos efluentes líquidos, o

quadro agrava-se substancialmente, pois o índice de tratamento é da ordem de 33% do total do esgoto gerado (CETESB, 2007).

A estimativa das demandas (fontes superficiais e subterrâneas) em 2004, efetuada no âmbito do PERH 2004-2007, chegou aos seguintes resultados:

Quadro 9 – Estimativa da demanda global de água para a UGRHI 13 (CRH, 2006)

<b>Categoria de Uso</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>/s)</b>
Urbano	4,53
Industrial	7,55
Irrigação	10,61
<b>Total</b>	<b>22,69</b>

Entre os usos de águas subterrâneas identificados para a bacia do Tietê-Jacaré, estão: abastecimento (3,0 m<sup>3</sup>/s) e público (0,3 m<sup>3</sup>/s), com um uso total de aproximadamente 3,7 m<sup>3</sup>/s (valores extraídos do Relatório Zero e Planos de Bacia, sendo que a soma dos valores de demanda por setor não coincidem com o valor total). Ainda para a bacia do Tietê-Jacaré, a reserva explorável de água subterrânea é estimada em 12,9 m<sup>3</sup>/s. Assim, o índice de utilização em relação à reserva explorável é de cerca de 28%.

Em termos de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos para a bacia do Tietê-Jacaré, no trabalho de IG/CETESB/DAEE (1997), foram caracterizados apenas os aquíferos Cenozóico, Bauru e Botucatu Livre. Os índices obtidos na bacia foram variáveis desde a classe Baixo-alto até a classe Alto-alto. Observa-se que as zonas de maior vulnerabilidade (Alto-alto e Alto-baixo) localizam-se ao longo dos rios Jacaré-Pepira, Boa Esperança e Jacaré-Guaçu, enquanto que as zonas de menor vulnerabilidade (Baixo-Alto) correspondem aos espigões, a sudoeste e sul da bacia. O índice de vulnerabilidade predominante na área da bacia do Tietê-Jacaré é o Médio (Médio-baixo e Médio-alto). Registre-se que existem porções de área onde não se definiu o grau de vulnerabilidade, principalmente ao longo dos vales dos rios Tietê (na região de Jaú ocorre a maior área não definida) e Jacaré-Guaçu, conforme verificado na Figura 28:

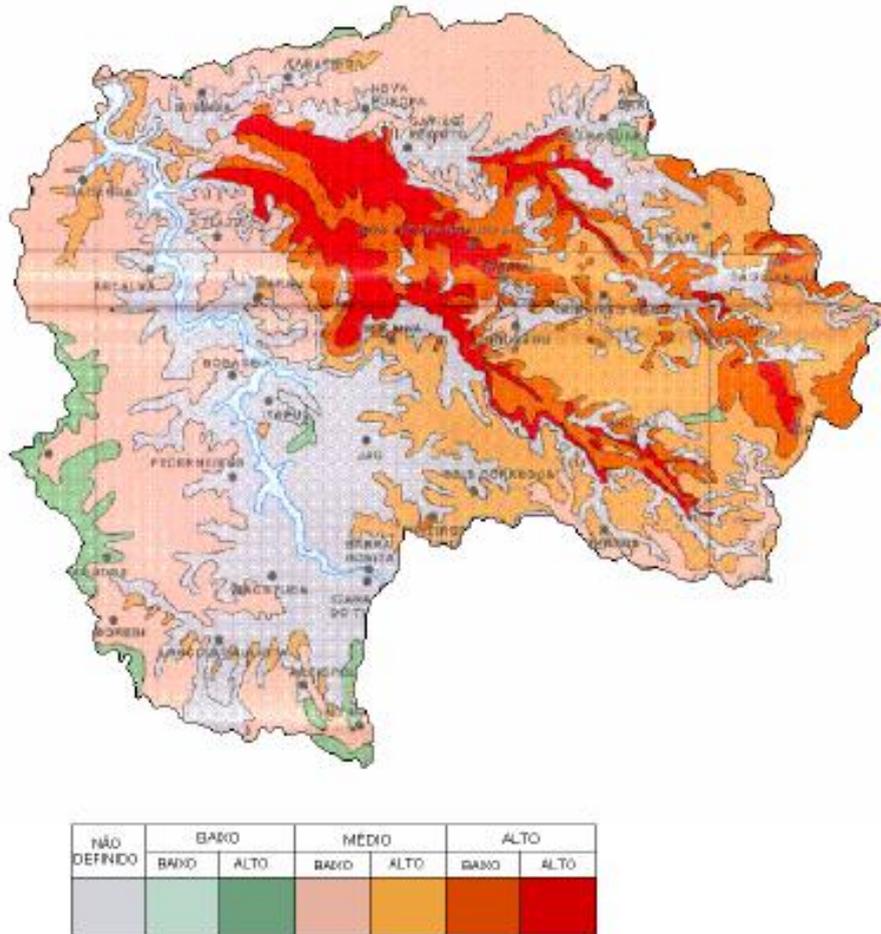


Figura 28 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos na UGRHI 13 (compilado de IG/DAEE/CETESB, 1997)

Em resumo, em termos de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos para a bacia do Tietê-Jacaré, o IG/CETESB/DAEE (1997) constatou nível predominantemente Médio, encontrando níveis altos nas áreas de exposição do Guarani.

O Relatório Zero (IPT, 2000) aponta os principais problemas da bacia, destacando dentre eles: elevadas demandas de água devido à irrigação e ao setor sucroalcooleiro, principalmente no médio Jacaré-Guaçu e ribeirão dos Lençóis; riscos de rebaixamento acentuado da superfície do lençol subterrâneo nas áreas urbanas de Bauru e Araraquara; risco de poluição das águas subterrâneas nas regiões de Bauru, Araraquara, Brotas e arredores; além de baixo índice de cobertura de tratamento de esgotos.

Entre as propostas definidas pela Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CTAS, 2004) do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) para a bacia do Tietê-Jacaré, pode-se destacar:

- aplicação de técnicas e metodologias que permitam caracterizar e cartografar o zoneamento da água nas rochas da Formação Serra Geral e seu potencial armazenador e produtor de água,

possibilitando a locação criteriosa de poços tubulares e melhor aproveitamento das suas potencialidades;

- efetuar estudos geológicos de detalhamento da distribuição geográfica e espacial das unidades do aquífero Bauru, bem como da sua natureza e características, que permitam conhecer o papel desempenhado pelas mesmas em relação ao contexto hidrogeológico geral;
- desenvolver projeto de identificação de unidades de relevo favoráveis à infiltração de água que coincidam com locais de grande extração de água subterrânea e/ou agricultura irrigada extensiva com uso de agroquímicos. Este projeto deverá estabelecer diretrizes de proteção e de monitoramento da quantidade e qualidade das águas subterrâneas, nos perímetros selecionados;
- desenvolver projeto de estudo da relação custo/benefício e outros aspectos que influenciam as águas subterrâneas, nas extensas áreas de plantio de cana, fonte para o complexo sucroalcooleiro, destaque para a economia regional;
- cadastrar todos os poços perfurados, em operação e abandonados, no âmbito da UGRHI;
- estudar mecanismos que viabilizem com maior eficácia a aplicação da legislação, normas e portarias pertinentes ao licenciamento e autorização da exploração das águas subterrâneas;
- execução de estudos hidrogeológicos em locais de grande concentração de poços para avaliação de interferências entre os mesmos, assim como para proposição de instrumentos de gerenciamento da exploração de água subterrânea;
- discutir e estabelecer mecanismos eficazes e facilitadores da aplicação da legislação, portarias e normas de proteção das águas subterrâneas;
- desenvolver projeto multi-institucional (órgãos técnicos de hidrogeologia, OAB, CREA e SEBRAE) com vistas ao estudo de alternativas para a atual situação de construção de poços sem os devidos cuidados de proteção sanitária, sem critérios hidrogeológicos de locação, e perfuração em áreas já com grande concentração de poços;
- cadastrar e executar um programa de controle das fontes reais e potenciais de poluição (difusas e pontuais), inserindo e integrando com outros planos ou programas já existentes;
- estabelecimento de diretrizes para recuperação e preservação de áreas de recarga dos aquíferos ocorrentes na bacia, notadamente para o aquífero Guarani, pela sua importância regional e para o continente.

Quanto ao monitoramento da qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13), as águas subterrâneas dos aquíferos Serra Geral e Guarani foram monitoradas por meio de dezessete pontos no período considerado na presente pesquisa (1998-2009), sendo que todos são poços tubulares utilizados para abastecimento público e

encontram-se localizados nos municípios de Agudos, Araraquara, Bauru, Boracéia, Dois Córregos, Dourado, Ibaté, Itirapina, Macatuba, Pederneiras, Ribeirão Bonito e São Manuel. Destaca-se que catorze poços monitorados na bacia correspondem a captações no Aquífero Guarani e, três poços, no Aquífero Serra Geral, conforme Quadro 10 a seguir:

Quadro 10 – Descrição dos pontos de monitoramento da CETESB na UGRHI 13 (CETESB, 2001/2004/2007/2010)

Ponto	Município	Descrição do ponto	Aquífero	Formação ou tipo	Prof. da Bomba (m)	Nível Estático (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Tempo Bomb. (h/d)	Coordenadas UTM	
									km N	km E
9	Araraquara	P6, Prefeitura (Desativado)	Guarani	Botucatu livre	256	32	180	20	7586,250	797,300
205	Araraquara	Poço Santana	Guarani	-	390	91	-	-	7587,550	790,010
33	Dourado	P3, SABESP	Serra Geral	fissurado	120	0	-	-	7550,800	777,500
48	Ibaté	P7, DAEE/Pref. (Desativado)	Guarani	Botuc/Piram Conf.	338	123	170	20	7569,250	190,150
57	Itirapina	Pedágio km 216, DER	Guarani	Botucatu livre	100	28	70	10	7549,200	210,900
58	Itirapina	P1, DAEE/Pref.	Guarani	Pirambóia livre	110	0	132	24	7536,550	210,200
111	Ribeirão Bonito	J. Centenário, Pref.	Guarani	Botucatu livre	85	52	-	-	7557,150	790,600
-	Agudos	P21, DAEE/SAEE (Desativado)	Guarani	Botucatu confinado	183	-	35	20	7513,500	709,600
160	Agudos	P15	Guarani		96	71			7513,550	707,900
13	Bauru	Poço do DAE	Guarani	Botuc/Piram Conf.	310	59	250	17	7530,850	709,900
15	Boracéia	P1, SABESP	Serra Geral	fissurado	200	0	-	-	7544,300	728,500
32	Dois Córregos	P3, DAEE/Pref.	Guarani	Botuc/Piram Conf.	558	175	140	24	7523,200	769,750
64	Macatuba	Matadouro, SABESP	Guarani	Botuc/Piram Conf.	258	19	88	20	7511,750	735,500
92	Pederneiras	Distr. Vanglória, SABESP	Guarani	Botuc. Conf.	170	31	22	20	7516,050	728,850
93	Pederneiras	P2 Santelmo, SABESP	Serra Geral	fissurado	237	2,5	-	-	7543,900	718,950
-	São Manuel	P2, SABESP (Desativado)	Guarani	Botuc/Piram semi-confinado	386	-	200	20	7484,300	749,000
159	São Manuel	P3	Guarani	-	197	115	-	-	7485,400	749,450

De acordo com a CETESB (2010), no Aquífero Serra Geral, as águas mostraram-se pouco mineralizadas com aumento das concentrações de cloreto e sódio. O bário continua concentrações próximas ao valor de intervenção no ponto P33, localizado no município de Dourado. Nesse ponto e no P15, município de Boracéia, foram observados picos de concentrações de nitrato acima de 5,0 mg/L. No período 2007-2009 ocorreram desconformidades em relação ao padrão de potabilidade para bactérias heterotróficas nos poços P33 – Dourado e P93 – Pederneiras, destacando-se o poço de Dourado que mostrou desconformidade em metade das amostras. Os resultados, em geral, desses poços indicam contribuição de matéria orgânica.

Os resultados para o Aquífero Guarani mostram pH com grande amplitude de variação, indicando águas ácidas e alcalinas. O bário no ponto P111, localizado no município de Ribeirão Bonito, que apresentava concentrações acima do valor de intervenção no período anterior mostrou tendência de redução, embora ainda com concentrações ao redor de 0,6 mg/L, próxima ao valor de intervenção de 0,70 mg/L. Nesse ponto, também há presença de nitrato acima de 5,0 mg/L, bem como no ponto P58, localizado no município de Itirapina. Neste período ocorreram desconformidades em relação ao padrão de potabilidade para bactérias heterotróficas em quatro poços. Segundo a CETESB (2010), de todos os pontos monitorados, o ponto P111 – Ribeirão Bonito, é o que possui mais claramente a alteração da qualidade da água subterrânea, como indicam as concentrações dos parâmetros determinados.

#### **4.2 - Uso e ocupação do solo e atividade agrícola**

Quanto ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré para o ano de 2005, deve-se ressaltar que as feições vetorizadas foram obtidas da identificação das mesmas visualmente sem o trabalho de conferência e complementação em campo (CPTI/IPT, 2008).

Mesmo com esse limitante, pode-se verificar a predominância das atividades agrícolas em relação aos demais temas (CPTI/IPT, 2008). As culturas temporárias, com predomínio da cana-de-açúcar, são tão significantes quanto as pastagens. A silvicultura e a fruticultura também têm presença marcante no território dessa bacia. O quadro a seguir apresenta um agrupamento de atividades agropecuárias em hectare por município (CETESB, 2007):

Município	Pastagens	Culturas Temporárias	Fruticultura	Horticultura	Silvicultura
AGUDOS	59770	11064	172		21242
ARARAQUARA	9793	45146	9456		9284
AREALVA	32906	2951	1697		633
AREIOPOLIS	370	7786	448		34
BARIRI	16050	16711	4708		122
BARRA BONITA	363	10424	37	19	196
BAURU	46304	1555	2303		8434
BOA ESPERANCA DO SUL	9509	21127	13189		6639
BOCAINA	13340	21032	1219		940
BORACEIA	1834	7010	141		19
BOREBI	9308	6961	11		15357
BROTAS	39408	16366	11191		16053
DOIS CORREGOS	13255	33054	3346		1829
DOURADO	8256	6955	1343		201
GAVIAO PEIXOTO	2478	6390	9928		312
IACANGA	35189	6335	3213		169
IBATE	6304	15987	1479		6333
IBITINGA	27104	11945	16120		411
IGARACU DO TIETE	206	9138	5	2	34
ITAJU	12425	2803	1075		
ITAPUI	1428	11333	179		31
ITIRAPINA	24366	5935	2680		6865
JAU	7802	44815	867		150
LENCOIS PAULISTA	8847	44525	671		13878
MACATUBA	940	16801	230		145
MINEIROS DO TIETE	3140	13314	430		402
NOVA EUROPA	600	8210	3620		74
PEDERNEIRAS	13707	34634	1335		6727
RIBEIRAO BONITO	15699	14928	3636		525
SAO CARLOS	29639	32141	7534		3626
SAO MANUEL	14738	28546	2202		2062
TABATINGA	7048	8260	15402		173
TORRINHA	14222	7199	2481		2606
TRABIJU	1384	2702	457		26

Fonte: SÃO PAULO (Estado). SAA, CATI, IEA, Projeto LUPA, Campinas, 2005

Quadro 11 – Atividades agropecuárias por município da UGRHI 13 (CETESB, 2007)

O Relatório Zero apresenta um mapa de uso e ocupação do solo produzido a partir de uma classificação automática, na qual foram definidas as categorias de uso e ocupação das terras: vegetação natural, reflorestamento, pastagens e campos antrópicos, água e atividades agrícolas, distribuídas conforme a Figura 29:

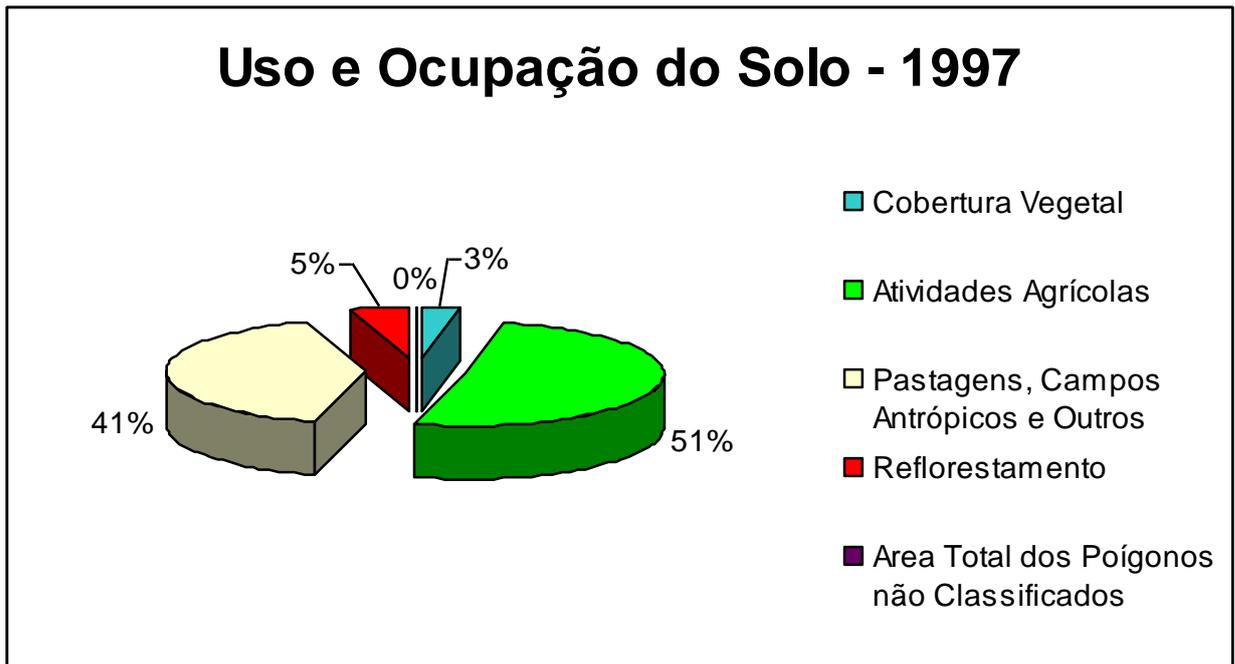


Figura 29 - Distribuição percentual das classes de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, com base em IPT, 2000.

Já no mapa de 2005 (Anexo 3), a escolha das classes diferenciou-se dos temas apresentados no Mapa de Uso e Ocupação do Solo, no que se refere à atividade agrícola, separando a mesma em áreas de plantio de cana e laranja. Nesse contexto, verifica-se a representatividade da cana-de-açúcar, com participação percentual de cerca de 34% no uso e ocupação do solo da bacia, conforme distribuição mostrada na Figura 30:

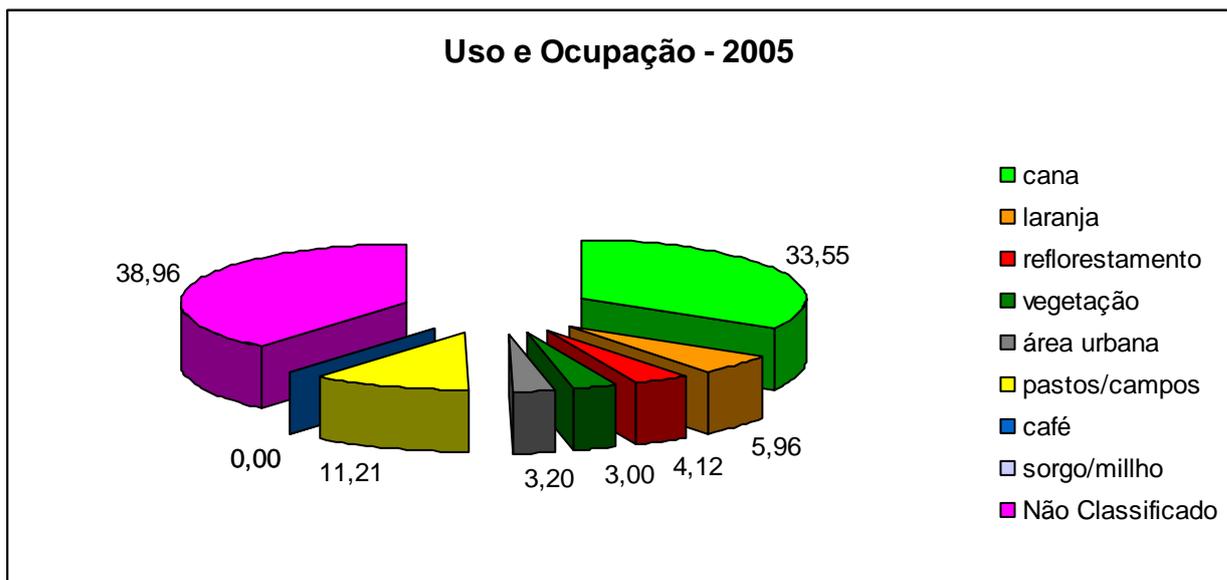


Figura 30 - Distribuição percentual do uso e ocupação do solo para o ano de 2005.

Deve-se ressaltar que a ocupação “Não classificado” (38,96%) refere-se a pastos ou culturas anuais em estágio inicial de desenvolvimento, que se confundem e, cuja distinção, só pode ser feita com supervisão de campo (CPTI/IPT, 2008).

O cultivo da cana-de-açúcar destaca-se como predominante em várias regiões. Ao longo do vale do Rio Tietê, de Bariri em direção a montante, alargando-se desde Bocaina até Lençóis Paulista, essa região encontra-se praticamente toda ocupada por cana-de-açúcar. Também é predominante ao longo do Rio Jacaré-Guaçu, principalmente na porção norte, entre São Carlos e Nova Europa. Deve-se ressaltar também a crescente expansão da atividade canavieira, avançando, principalmente, sobre áreas de pastagens.

Recentemente, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA) do Estado de São Paulo disponibilizou um novo censo agropecuário, denominado Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuárias, mais conhecido por Projeto LUPA. O levantamento teve como período de referência o ano agrícola de 2007/2008, tendo o trabalho de campo sido iniciado em julho de 2007 e concluído em setembro de 2008.

A metodologia incluiu o preenchimento de um questionário para cada Unidade de Produção Agropecuária (UPA) de todos os 645 municípios do Estado de São Paulo, abrangendo as explorações vegetais e animais. De acordo com a SAA (2009), em princípio, uma UPA significa exatamente o mesmo que um imóvel rural. Ela se afasta desse conceito somente nas seguintes situações: quando o imóvel rural se estende por mais de um município, considerou-se cada uma das partes em município diferente como uma UPA; ou quando não foi possível levantar o imóvel rural como tal, sendo necessário repartí-lo ou agrupá-lo com outros.

A seguir são apresentados os resultados para a cultura da cana-de-açúcar por município da UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), através das Tabelas 1 e 2 (com destaque para as municípios da bacia com maior número de Unidades de Produção).

Tabela 1 - Cana-de-Açúcar, por Município, UGRHI 13, 2007/08 (SAA/CATI/IEA, 2008)

	UPAs		Área (ha)		Ranking (Área)
	Número	Percentual	Hectare	Percentual	
Agudos	157	0,16	15.622,70	0,28	120
<b>Araraquara</b>	<b>827</b>	<b>0,83</b>	<b>48.951,60</b>	<b>0,89</b>	<b>8</b>
Arealva	360	0,36	7.644,90	0,14	245
Areiópolis	125	0,13	8.778,60	0,16	216
Bariri	602	0,60	25.000,60	0,45	57
Barra Bonita	251	0,25	10.528,50	0,19	184
Bauru	214	0,21	1.705,53	0,03	404
Boa Esperança do Sul	226	0,23	25.179,20	0,46	55
Bocaina	153	0,15	18.575,20	0,34	98
Boracéia	165	0,17	8.086,20	0,15	231
Borebi	59	0,06	12.306,10	0,22	150
Brotas	353	0,35	24.010,30	0,44	64
<b>Dois Córregos</b>	<b>619</b>	<b>0,62</b>	<b>36.959,60</b>	<b>0,67</b>	<b>22</b>
Dourado	103	0,10	7.947,00	0,14	236
Gavião Peixoto	90	0,09	6.371,70	0,12	276
Iacanga	162	0,16	16.826,50	0,31	111
Ibaté	95	0,10	17.818,50	0,32	100
Ibitinga	423	0,42	23.872,30	0,43	65
Igaraçu do Tietê	178	0,18	7.296,90	0,13	254
Itaju	251	0,25	7.344,10	0,13	253
Itapuí	175	0,18	9.841,10	0,18	198
Itirapina	218	0,22	8.569,10	0,16	218
<b>Jaú</b>	<b>652</b>	<b>0,65</b>	<b>46.454,90</b>	<b>0,85</b>	<b>11</b>
<b>Lençóis Paulista</b>	<b>735</b>	<b>0,74</b>	<b>47.658,80</b>	<b>0,87</b>	<b>9</b>
Macatuba	415	0,42	17.344,40	0,32	106
Mineiros do Tietê	271	0,27	13.686,80	0,25	141
Nova Europa	120	0,12	7.821,00	0,14	239
<b>Pederneiras</b>	<b>623</b>	<b>0,62</b>	<b>37.687,80</b>	<b>0,69</b>	<b>20</b>
Ribeirão Bonito	314	0,31	19.801,90	0,36	84
<b>São Carlos</b>	<b>432</b>	<b>0,43</b>	<b>33.914,50</b>	<b>0,62</b>	<b>26</b>
<b>São Manuel</b>	<b>165</b>	<b>0,17</b>	<b>32.447,50</b>	<b>0,59</b>	<b>28</b>
Tabatinga	252	0,25	7.686,80	0,14	244
Torrinha	311	0,31	9.382,80	0,17	206
Trabiju	45	0,05	3.348,10	0,06	359

Tabela 2 - Cana-de-açúcar, por Município (Maiores Produtores), UGRHI 13, 2007/08 (SAA/CATI/IEA, 2008)

	UPAs		Área (ha)	
	Número	Percentual	Hectare	Percentual
Araraquara	827	0,83	48.951,60	0,89
Lençóis Paulista	735	0,74	47.658,80	0,87
Jaú	652	0,65	46.454,90	0,85
Pederneiras	623	0,62	37.687,80	0,69
Dois Córregos	619	0,62	36.959,60	0,67
São Carlos	432	0,43	33.914,50	0,62
São Manuel	165	0,17	32.447,50	0,59
Estado de São Paulo	99.799	100	5.497.139,08	100

A Tabela 3 mostra o levantamento do número de Unidades de Produção e o respectivo total de áreas (em hectares), para as três regionais de gerenciamento agrícola, relacionadas à área de abrangência da UGRHI 13 (Tietê-Jacaré).

Tabela 3 - Área cultivada, Escritórios de Desenvolvimento Regional, 2007/08 (SAA/CATI/IEA, 2008)

	Cana-de-açúcar	
	Número de UPAs	Total (ha)
Araraquara	3.826	279.558,50
Jaú	5.131	282.170,20
Bauru	2.602	114.527,00

Ainda que as informações oficiais sobre as atividades agrícolas não sejam fornecidas segundo a divisão em UGRHI's, as estimativas de safra agrícola (2008/09), para os Escritórios de Desenvolvimento Rural e Regiões Administrativas relacionadas à área de abrangência da UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), são mostradas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas por Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR), Ano Agrícola 2008/09, Levantamento Final, Novembro de 2009 (IEA, 2010)

	<b>Cana para indústria</b>		
EDR	<b>Área nova (ha)</b>	<b>Área em produção (ha)</b>	<b>Produção (t)</b>
Araraquara	25.252	198.204	15.620.815
Jaú	19.628	270.987	22.608.483
Bauru	13.683	107.090	8.846.650
Estado	601.000	4.937.903	423.087.216

Tabela 5 - Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas por Região Administrativa (RA), Ano Agrícola 2008/09, Levantamento Final, Novembro de 2009 (IEA, 2010)

	<b>Cana para indústria</b>		
RA	<b>Área nova (ha)</b>	<b>Área em produção (ha)</b>	<b>Produção (t)</b>
Bauru	42.324	471.640	40.275.561
Central	50.492	342.019	28.701.575
Estado	601.002	4.937.908	423.087.217

## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 - Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré: consolidação dos dados existentes, quanto ao parâmetro Nitrato

Na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13), as águas subterrâneas dos aquíferos Serra Geral e Guarani foram monitoradas por meio de dezessete pontos no período 1998-2009, sendo que todos são poços tubulares utilizados para abastecimento público. Destaca-se que catorze poços monitorados na bacia correspondem a captações no Aquífero Guarani e, três poços, no Aquífero Serra Geral.

Os resultados do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (UGRHI 13), agrupados por aquífero, para o parâmetro Nitrogênio-Nitrato, a partir dos dados extraídos dos Relatórios de Qualidade das Águas Subterrâneas (triênios 1998-2000, 2001-2003, 2004-2006 e 2007-2009) são apresentados no Anexo 1. De acordo com a CETESB (2009), devido à dinâmica de operação e manutenção de poços tubulares, alguns dos pontos de monitoramento foram desativados e substituídos por outros poços em condições semelhantes.

Observando a distribuição da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$ , não foi possível estabelecer um padrão geral quanto aos períodos secos e chuvosos, uma vez que os valores apresentaram-se muito variáveis.

A Tabela 6 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos para a UGRHI 13 no período 1998-2000, referentes aos resultados de análises físico-químicas – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aquíferos Serra Geral e Guarani, contendo para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a média, a mediana, e o desvio padrão. Deve-se ressaltar que o Valor Máximo Permitido – VMP é de 10 mg/L N, sendo este o valor de intervenção estabelecido pela CETESB, bem como o Padrão de Potabilidade estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Tabela 6 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período 1998-2000

Sistema Aquífero	1998-2000 (UGRHI 13)				
	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	n° de Poços
Guarani	< 0,01 - 6,32	0,44	0,08	1,20	11
Serra Geral	0,15 - 2,96	0,58	0,33	0,70	3

De acordo com a Tabela 7 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (88 a 93%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 1,0 mg/L, ao longo do período analisado (1998-2000). Somente em uma pequena proporção (cerca de 3%) das amostras do Aquífero Guarani foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Destes, nenhum apresentou problemas eventuais quanto à potabilidade para este parâmetro (valores acima de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  segundo Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde).

Tabela 7 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (1998-2000)

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	nº de Ocorrências		% de Ocorrências	
	Guarani	Serra Geral	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	55	13	90,16	76,47
0,51 - 1,00	2	2	3,28	11,76
1,01 - 2,50	0	1	0,00	5,88
2,51 - 5,00	2	1	3,28	5,88
5,01 - 10,00	2	0	3,28	0,00
Total	61	17	100,00	100,00

A Tabela 8 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos para a UGRHI 13 no período 2001-2003, referentes aos resultados de análises físico-químicas – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aquíferos Serra Geral e Guarani, contendo para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a média e a mediana.

Tabela 8 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período 2001-2003

Sistema Aquífero	2001-2003 (UGRHI 13)				
	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	nº de Poços
Guarani	< 0,01 - 6,60	0,83	0,30	1,58	11
Serra Geral	< 0,05 - 1,82	0,61	0,40	0,53	3

De acordo com a Tabela 9 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (78 a 86%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 1,0 mg/L, ao longo do período analisado (2001-2003). Somente em uma pequena proporção (cerca de 4%) das amostras do Aquífero Guarani foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Destes, nenhum apresentou problemas eventuais quanto à potabilidade para este parâmetro.

Tabela 9 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2001-2003)

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	n° de Ocorrências		% de Ocorrências	
	Guarani	Serra Geral	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	45	14	80,36	77,78
0,51 - 1,00	3	0	5,36	0,00
1,01 - 2,50	1	4	1,79	22,22
2,51 - 5,00	5	0	8,93	0,00
5,01 - 10,00	2	0	3,57	0,00
Total	56	18	100,00	100,00

Em comparação aos resultados obtidos no triênio anterior (1998-2000), deve-se destacar a elevação dos valores das medianas obtidas para ambos os aquíferos. Para o Aquífero Guarani, cuja mediana no triênio 1998-2000 era de apenas 0,08 mg/L, verifica-se que esta atingiu o Valor de Referência de Qualidade estabelecido pela CETESB para o referido Aquífero (0,30 mg/L), no triênio 2001-2003.

A Tabela 10 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos para a UGRHI 13 no período 2004-2006, referentes aos resultados de análises físico-químicas – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aquíferos Serra Geral e Guarani, contendo, para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a média e a mediana.

Tabela 10 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período 2004-2006

Sistema Aquífero	2004-2006 (UGRHI 13)				
	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	n° de Poços
Guarani	<0,08 - 6,93	0,62	0,30	1,25	12
Serra Geral	<0,20 - 7,91	1,15	0,30	1,90	3

De acordo com a Tabela 11 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (88 a 92%) também apresentou valores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre 0 e 1,0 mg/L ao longo do período analisado (2004-2006). Somente em uma pequena proporção (2 a 6%), foram detectados teores acima de 5 mg/L de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Tabela 11 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2004-2006)

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	nº de Ocorrências		% de Ocorrências	
	Guarani	Serra Geral	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	51	11	85,00	64,71
0,51 - 1,00	4	4	6,67	23,53
1,01 - 2,50	1	1	1,67	5,88
2,51 - 5,00	3	0	5,00	0,00
5,01 - 10,00	1	1	1,67	5,88
Total	60	17	100,00	100,00

Entretanto, deve-se ressaltar que no ponto 33, localizado no município de Dourado, foi determinada concentração de N-Nitrato de 7,91 mg/L (março de 2006), o que elevou sensivelmente o desvio padrão, considerando que nenhuma das amostras do Aquífero Serra Geral havia apresentado indício de alteração de qualidade (> 5 mg/L), no monitoramento realizado nos períodos anteriores (1998-2000 e 2001-2003).

Além disso, no Ponto 13, localizado no município de Bauru, foi determinada concentração de Nitrato de 11,7 mg/L (março de 2004), valor acima do padrão de potabilidade para este parâmetro, sendo este o valor máximo obtido para o aquífero Guarani em todo o Estado de São Paulo.

Entretanto, tal resultado foi considerado como discrepante pela CETESB e retirado do conjunto para a análise regional, pois tal condição não se repetiu nas campanhas anteriores ou subsequentes, no triênio 2004-2006. O procedimento de retirada do referido valor discrepante não interferiu no resultado da mediana para o Aquífero Guarani, mas diminuiu sensivelmente o desvio padrão.

A Tabela 12 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos para a UGRHI 13 no período 2007-2009, referentes aos resultados de análises físico-químicas – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aquíferos Serra Geral e Guarani, contendo, para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a média e a mediana.

Tabela 12 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período 2007-2009

Sistema Aquífero	2007-2009 (UGRHI 13)				
	Varição	Média	Mediana	Desvio Padrão	nº de Poços
Guarani	<0,10 – 7,10	1,03	0,27	1,93	11
Serra Geral	0,17 – 7,03	1,54	0,76	1,94	3

Em comparação aos resultados obtidos no triênio anterior (2004-2006), deve-se destacar a elevação do valor da mediana obtida para o aquífero Serra Geral, cuja mediana no triênio 2004-2006 era de apenas 0,30 mg/L. Verifica-se inclusive que esta foi, no triênio 2007-2009, superior ao Valor de Referência de Qualidade estabelecido pela CETESB para o referido Aquífero (0,50 mg/L). Além disso, os pontos 15 (Boracéia) e 33 (Dourado) apresentaram concentrações de nitrato acima do valor de prevenção no período de 2007 a 2009: 5,25 mg/L e 7,03 mg/L, respectivamente. Para o Aquífero Guarani, deve-se ressaltar que o ponto 13 (Bauru) voltou a apresentar concentração de nitrato acima do valor de prevenção (5,32 mg/L), no período de 2007 a 2009. Entretanto, a mediana obtida no último triênio para o Aquífero Guarani na UGRHI 13 (0,27 mg/L) é ainda inferior ao Valor de Referência de Qualidade estabelecido pela CETESB para o referido Aquífero (0,30 mg/L)

De acordo com a Tabela 13 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (71 a 84%) ainda apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 1,0 mg/L ao longo do período analisado (2007-2009). Entretanto, houve aumento considerável na proporção de amostras (10 a 12%) onde foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ , em relação ao período anterior (2004-2006).

Tabela 13 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (2007-2009)

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	nº de Ocorrências		% de Ocorrências	
	Guarani	Serra Geral	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	48	4	77,42	23,53
0,51 - 1,00	4	8	6,45	47,06
1,01 - 2,50	1	2	1,61	11,76
2,51 - 5,00	3	1	4,84	5,88
5,01 - 10,00	6	2	9,68	11,76
Total	62	17	100	100

Deve-se destacar que, no ponto CETESB nº 111, localizado no município de Ribeirão Bonito, em área de afloramento do Aquífero Guarani, há presença de N-Nitrato acima de 5,0 mg/L, em todos os períodos de monitoramento, conforme mostrado no Quadro 12 a seguir:

Quadro 12 - Ponto com indicio de alteração de qualidade da água subterrânea por Nitrato na UGRHI 13 (CETESB, 2007/2010)

Município	Aqüífero	Concentrações mínimas e máximas por período (mg/L)			
		1998-2000	2001-2003	2004-2006	2007-2009
Ribeirão Bonito - ponto 111	Guarani	0,57 - 6,33	2,44 - 6,60	<0,20 - 6,93	0,50 – 7,10

Comparando-se os resultados do levantamento dos dados para a UGRHI 13 (período 2007-2009), quanto ao parâmetro Nitrogênio-Nitrato, com os resultados gerais obtidos pelo monitoramento da CETESB quanto ao parâmetro Nitrogênio-Nitrato, para todo o Estado de São Paulo, tem-se o Quadro 13 a seguir:

Quadro 13: Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB: Estado de São Paulo e UGRHI 13 (2004-2006)

Sistema Aqüífero	2007 - 2009 (Estado de São Paulo)			2007 - 2009 (UGRHI 13)		
	Variação	Mediana	nº de Poços	Variação	Mediana	nº de Poços
Bauru	<0,10 - 20,0	2,08	61	-	-	-
Guarani	<0,10 - 13,7	0,20	41	<0,10 – 7,10	0,27	11
Serra Geral	<0,10 - 7,03	0,57	14	0,17 – 7,03	0,76	3

Verifica-se que a mediana obtida para o Aqüífero Guarani na UGRHI 13 (0,27 mg/L) para o triênio 2007-2009, é superior à mediana estadual (0,20 mg/L), sendo que o mesmo se verifica para a mediana obtida para o Aqüífero Serra Geral na UGRHI 13.

A Tabela 14 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos para a UGRHI 13 no período total do monitoramento realizado entre os anos de 1998 e 2009, referentes aos resultados de análises físico-químicas – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aqüíferos Serra Geral e Guarani, contendo, para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a média e a mediana. Verifica-se que os valores medianos de concentração de nitrogênio-nitrato são inferiores a 0,50 mg/L. As médias são cerca de 2 a 3 vezes superiores à mediana, devido a algumas concentrações anômalas que elevam estes valores.

Tabela 14 – Médias, medianas e concentrações máximas e mínimas, por aquíferos, na UGRHI 13, no período total de monitoramento (1998-2009)

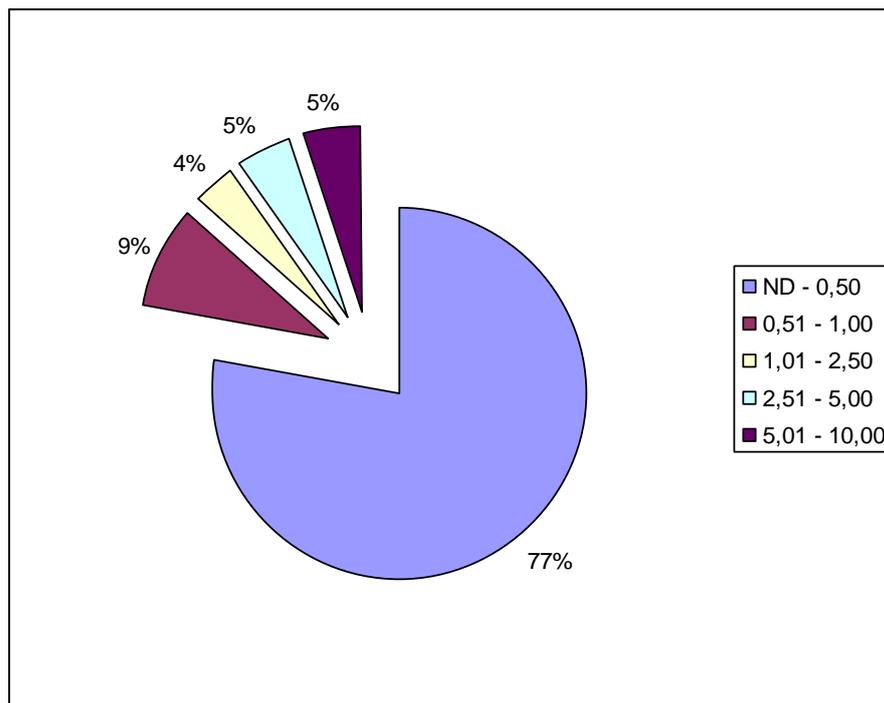
Sistema Aquífero	1998-2009 (UGRHI 13)				
	Varição	Média	Mediana	Desvio Padrão	n° de Poços
Guarani	<0,01 – 11,7	0,78	0,30	1,68	14
Serra Geral	<0,05 - 7,91	0,89	0,395	1,81	3

As concentrações máximas de Nitrogênio-Nitrato registradas em cada ponto de monitoramento, considerando o período total de monitoramento (1998-2009), para os Aquíferos Guarani (14 poços) e Serra Geral (3 poços), são mostradas na tabela geral (Anexo 2), juntamente com os poços levantados junto ao DAEE (zona rural).

Deve-se ressaltar que a concentração de Nitrato de 11,7 mg/L (março de 2004), registrada no Ponto 13, localizado no município de Bauru, foi incluída no conjunto de dados para a interpretação estatística do período total de dez anos de monitoramento (1998-2009), pois tal condição ( $> 5$  mg/L) se repetiu em campanha subsequente, sendo registrada uma concentração de Nitrato de 5,32 mg/L em março de 2007 no mesmo ponto. O procedimento de inclusão do referido valor no conjunto não interferiu no resultado da mediana para o Aquífero Guarani, mas elevou sensivelmente a média e o desvio padrão, em relação aos resultados da análise estatística realizada para o triênio 2004-2006.

Avaliando-se, de forma geral, os resultados das análises existentes, observa-se que as concentrações de Nitrogênio-Nitrato são baixas. Verifica-se que a maior parte das amostras (77%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 0,50 mg/L, ao longo do período total analisado (1998-2009), conforme Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (1998-2009).



De acordo com a Tabela 15 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (81 a 88%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 1,0 mg/L, ao longo do período total analisado (1998-2009). Somente em uma pequena proporção (4 a 5%) das amostras foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Destes, apenas um apresentou problema eventual quanto à potabilidade para este parâmetro.

Tabela 15 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 (1998-2009)

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	nº de Ocorrências		% de Ocorrências	
	Guarani	Serra Geral	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	197	42	82,77	60,87
0,51 - 1,00	13	14	5,46	20,29
1,01 - 2,50	3	8	1,26	11,59
2,51 - 5,00	13	2	5,46	2,90
5,01 - 10,00	12	3	5,04	4,35
Total	238	69	100,00	100,00

A distribuição dos resultados nas respectivas faixas de concentrações, por Aquífero (Guarani e Serra Geral), são mostradas nos Gráficos 2 e 3, respectivamente:

Gráfico 2 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Guarani na bacia do hidrográfica Tietê-Jacaré (1998-2009).

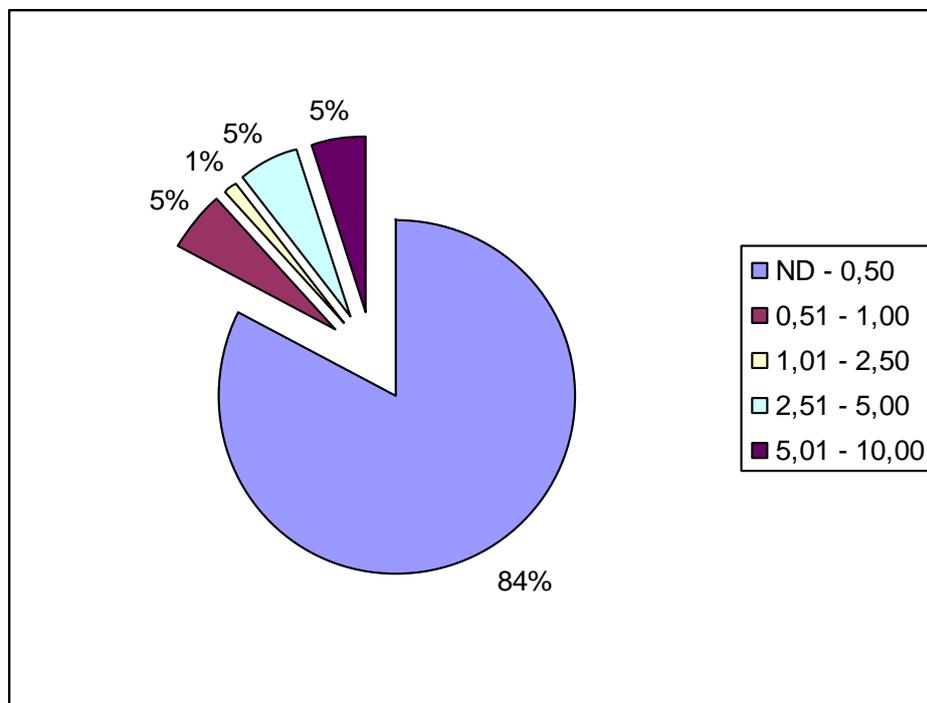
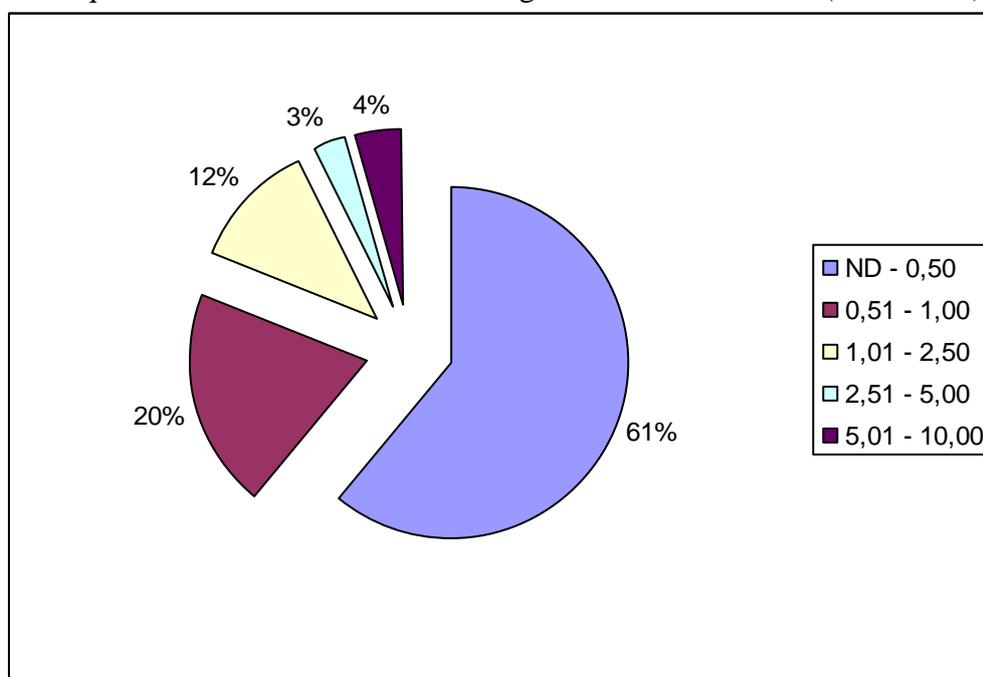


Gráfico 3 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (1998-2009).



Comparando-se a distribuição dos resultados dos dois aquíferos, verifica-se que o Aquífero Serra Geral apresenta menor proporção de amostras com concentrações abaixo de 0,50 mg/L (61%), enquanto que no Aquífero Guarani 84% das amostras foram enquadradas

no referido intervalo. Além disso, deve-se ressaltar que a mediana das concentrações de nitrato, obtida para os poços que exploram o Aquífero Serra Geral na bacia do Tietê-Jacaré (0,39 mg/L) é inferior à mediana encontrada pelo monitoramento da CETESB (0,57 mg/L), para o triênio 2007-2009, para o Estado de São Paulo como um todo. Além disso, a mediana encontrada é inferior ao Valor de Referência de Qualidade (VRQ) definido pelo CETESB para o referido aquífero (0,50 mg/L).

Apesar da alta proporção de amostras com concentrações bastante reduzidas (até 0,50 mg/L), o Aquífero Guarani apresentou maior número de amostras com concentrações acima de 5,0 mg/L (cerca de 5%). Quanto à mediana encontrada para o Aquífero Guarani (0,30 mg/L), verifica-se que a mesma é também superior à mediana estadual (0,20 mg/L), e equivalente ao Valor de Referência de Qualidade estabelecido pela CETESB (0,30 mg/L) para o referido aquífero.

Deve-se ressaltar que nos períodos de 1998 a 2000 e 2001 a 2003 foi identificado apenas um ponto de monitoramento com N-Nitrato em concentrações acima de 5,0 mg/L de N-NO<sub>3</sub> na UGRHI 13 (ponto nº 111), apontando assim indícios de alteração antrópica. Já no período de 2007 a 2009, identificaram-se quatro pontos nessa condição, sendo dois no Aquífero Guarani e dois no Aquífero Serra Geral.

A avaliação dos resultados analíticos para nitrato mostram que no período de 1998 a 2009, em apenas uma amostragem a concentração em um dos poços (Aquífero Guarani) ultrapassou o valor de intervenção de 10 mg/L N-NO<sub>3</sub>; em três poços (um no Aquífero Guarani e dois no Aquífero Serra Geral), foram encontradas concentrações entre 5 e 10 mg/L N-NO<sub>3</sub> em pelo menos uma campanha, e em 13 poços não houve resultados acima de 5 mg/L, conforme o Quadro 14 a seguir:

Quadro 14 – Características de qualidade dos poços de monitoramento na bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI 13)

Município	Poço CETESB	Aqüífero explorado	Prof. (m)	N.E. (m)	N-Nitrato (mg/L)		
					< 5	5 a 10	> 10
São Manuel	-	Guarani	386	-	x		
Agudos	-	Guarani	183	-	x		
Araraquara	9	Guarani	256	32	x		
Bauru	13	Guarani	310	59			x
Boracéia	15	Serra Geral	200	0		x	
Dois Córregos	32	Guarani	558	175	x		
Dourado	33	Serra Geral	120	0		x	
Ibaté	48	Guarani	338	123	x		
Itirapina	57	Guarani	100	28	x		
Itirapina	58	Guarani	110	0	x		
Macatuba	64	Guarani	258	19	x		
Pederneiras	92	Guarani	170	31	x		
Pederneiras	93	Serra Geral	237	2,5	x		
Ribeirão Bonito	111	Guarani	85	52		x	
São Manuel	159	Guarani	197	115	x		
Agudos	160	Guarani	96	71	x		
Araraquara	205	Guarani	390	91	x		

Além do aumento do número de pontos com N-Nitrato acima de 5,0 mg/L observado principalmente a partir do ano de 2004, há também uma tendência de aumento das concentrações ao longo do tempo, conforme pode ser observado nos Gráficos 4 e 6 a seguir, que mostram a variação das médias das concentrações de N-Nitrato nos Aqüíferos Guarani e Serra Geral, respectivamente, e também nos Gráficos 5 e 8, que apresentam a evolução das máximas concentrações de N-Nitrato, também para ambos os aqüíferos, observadas ao longo dos anos de monitoramento.

Gráfico 4 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Guarani (UGRHI 13): 1998-2009

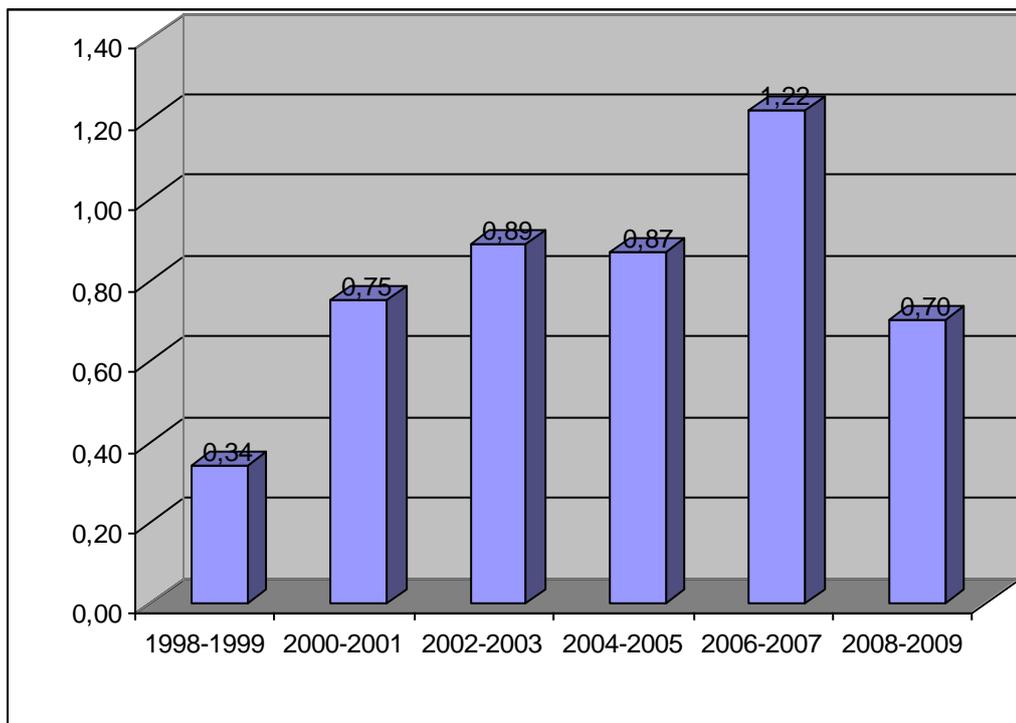
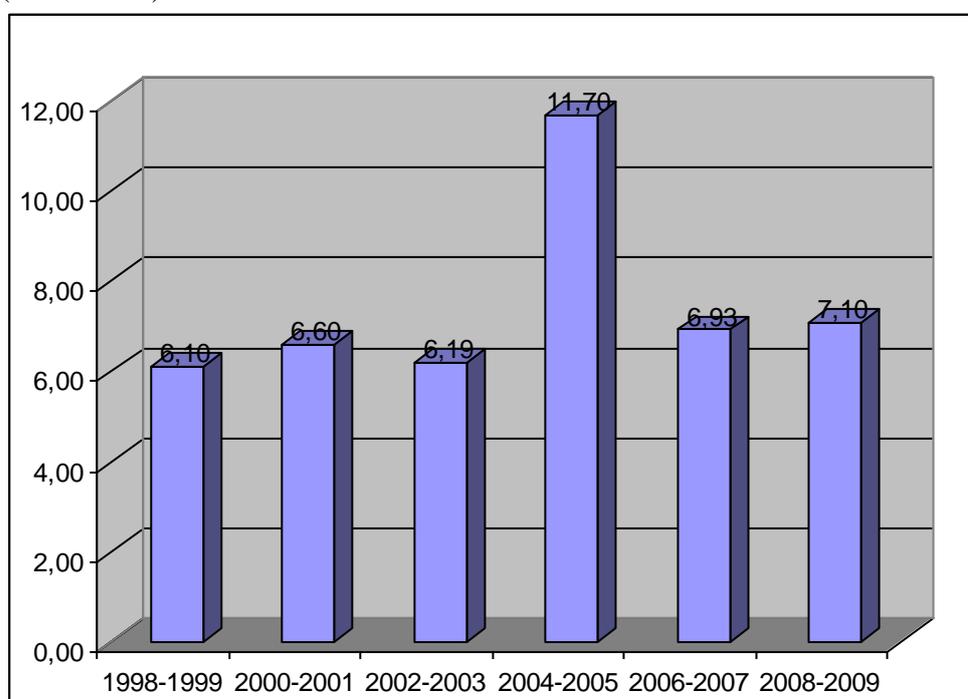


Gráfico 5 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Guarani (UGRHI 13): 1998-2009



Deve-se destacar que não houve variação significativa nas medianas registradas para o Aquífero Guarani ao longo do tempo, sendo mantido o valor de 0,30 mg/L a partir do período 2000-2001. Entretanto, as concentrações máximas registradas ao longo de todo o período de

monitoramento (1997-2009) se mantiveram acima do valor de alerta (5 mg/L) estabelecido pela CETESB, indicando indícios de alteração antrópica, inclusive com uma amostra (11,7 mg/L) apresentando concentração acima do padrão de potabilidade, no ano de 2004.

Gráfico 6 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009

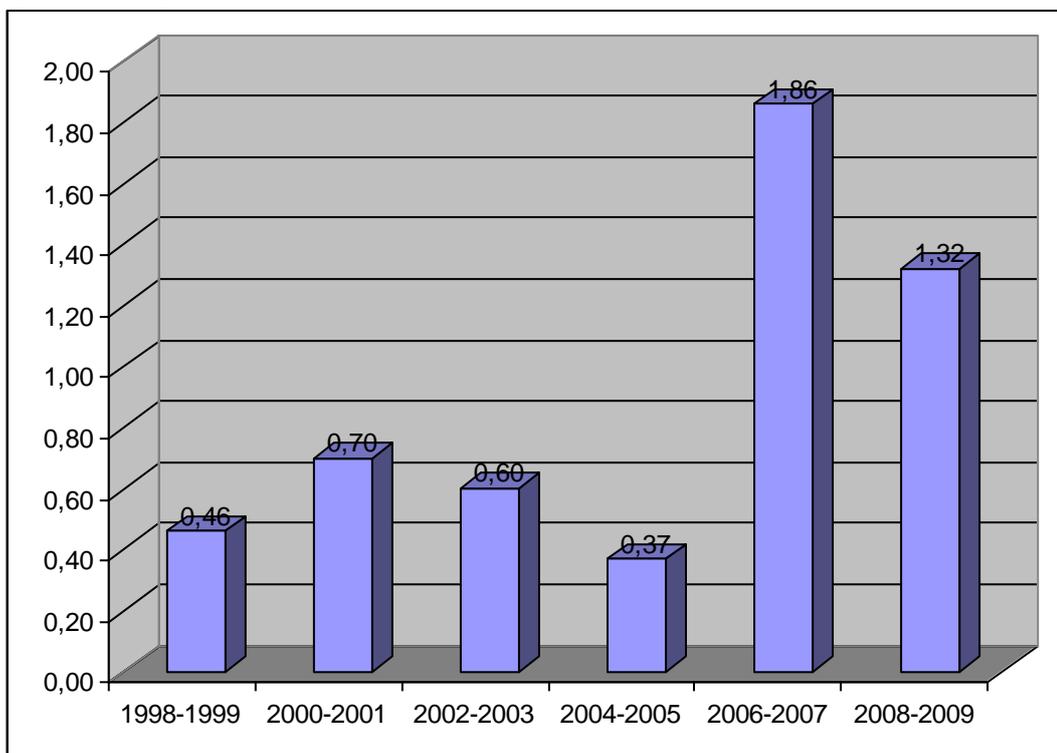


Gráfico 7 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009

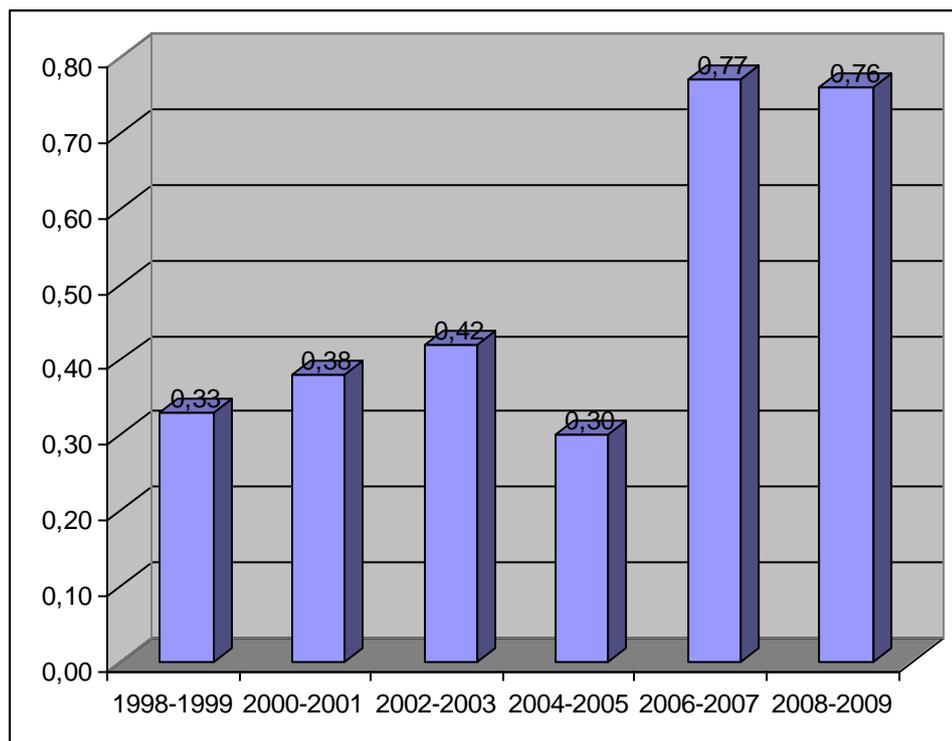
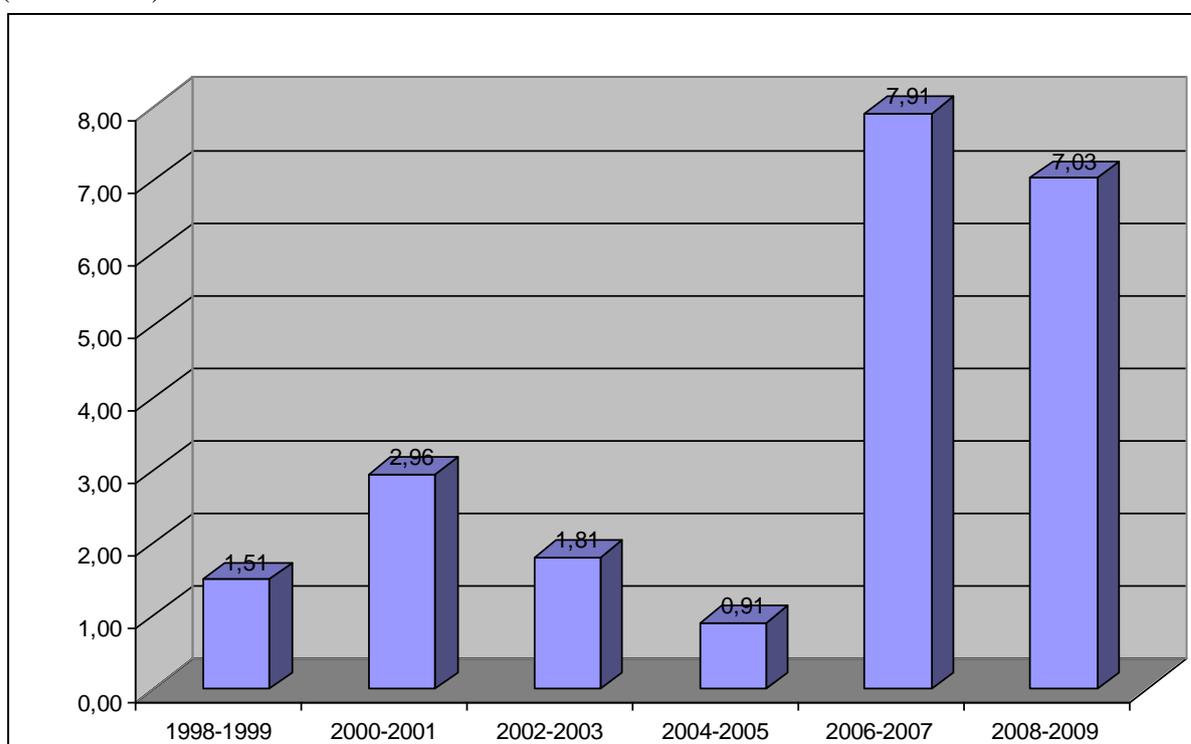


Gráfico 8 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo no Aquífero Serra Geral (UGRHI 13): 1998-2009



Para o Aquífero Serra Geral, deve-se destacar o aumento das concentrações no período 2006-2007, sendo a mediana elevada para 0,77 mg/L (acima do VRQ de 0,50 mg/L),

conforme mostrado no Gráfico 7, inclusive com o registro de uma concentração máxima de 7,91 mg/L, sendo que até 2007 nenhuma amostra havia ultrapassado o Valor de Prevenção de 5 mg/L.

Apesar da atual tendência de aumento das concentrações de N-Nitrato nas águas subterrâneas da UGRHI 13, apenas uma análise dentre as 307 realizadas no período 1998 a 2009, resultou em concentrações acima de 10 mg/L, o que significa que menos de 0,5% das amostras apresentaram contaminação por N-Nitrato. Ainda assim, verifica-se a necessidade de continuidade do monitoramento do referido parâmetro, além do estabelecimento de ações de prevenção à poluição por nitrato.

Ainda que o presente trabalho não tenha o propósito de avaliar a qualidade da água subterrânea destinada ao abastecimento público na UGRHI 13, a consolidação dos dados referentes ao monitoramento realizado pela CETESB particularmente em áreas urbanas da bacia, quanto ao parâmetro N-Nitrato, contribui para a avaliação da ocorrência da referida substância nas águas subterrâneas dos aquíferos ocorrentes na bacia como um todo, inclusive procurando identificar possíveis alterações regionais de qualidade das águas subterrâneas, além de contribuir para a investigação de fontes potenciais de contaminação, principalmente em casos onde é constatado o não atendimento aos valores orientadores de referência, prevenção e intervenção estabelecidos pela CETESB.

Deve ser ressaltado que o monitoramento realizado pela CETESB refere-se à qualidade da água bruta, coletada diretamente dos poços, sendo de atribuição da Secretaria de Saúde e dos Centros de Vigilância Sanitária, a fiscalização da potabilidade da água distribuída à população para consumo. Deve-se destacar também que, considerando-se a quantidade de poços utilizados para o abastecimento público em funcionamento na bacia, os poços que compõem a rede de monitoramento correspondem a apenas uma pequena parcela do total. Verifica-se ainda que a periodicidade das coletas e análises não é fixa, sendo registradas, usualmente, uma ou duas análises por ano.

## **5.2 – Levantamento da ocorrência de nitrato em águas de poços profundos particulares, localizados em áreas rurais da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré**

A Tabela 16 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos na coleta de dados efetuada junto ao DAEE, referente aos resultados de análises físico-químicas realizadas em poços da zona rural – parâmetro Nitrogênio-Nitrato (mg/L) - para os Aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani, contendo, para o referido parâmetro, as concentrações máximas e mínimas, a

média e a mediana. A tabela mostra que os valores medianos de concentração de nitrogênio-nitrato são inferiores a 0,80 mg/L. As médias são cerca de 2 a 4 vezes superiores à mediana, devido a algumas concentrações anômalas que elevam estes valores.

Tabela 16 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato (mg/L) determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré

Sistema Aquífero	Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão	n° de Poços
Bauru	0,021 - 10,0	1,26	0,69	1,96	37
Guarani	<0,01 - 6,1	0,80	0,20	1,42	87
Serra Geral	0,03 - 9,4	1,19	0,76	1,75	32

Avaliando-se os resultados das análises existentes, observa-se que, de forma geral, as concentrações de Nitrogênio-Nitrato são baixas. Verifica-se que a maior parte das amostras (86%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^- \leq 2,0$  mg/L, ao longo do período analisado, conforme mostrado no Gráfico 9 a seguir.

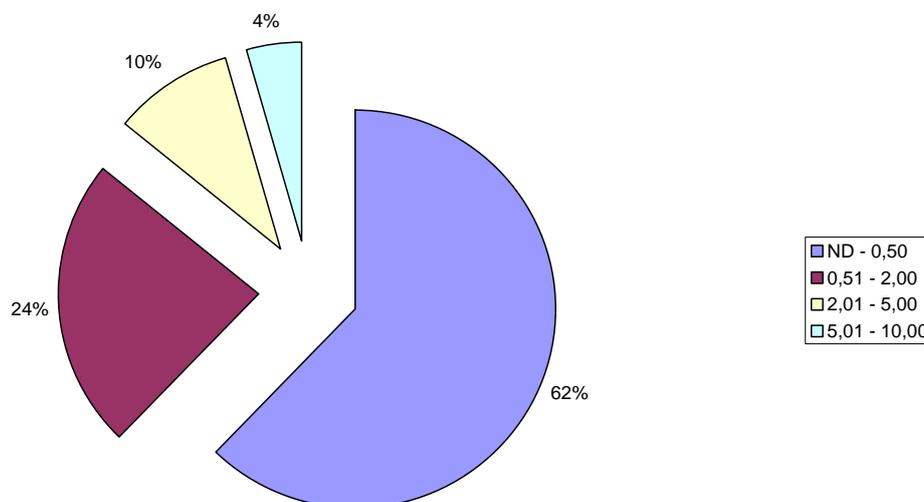


Gráfico 9 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas de poços da zona rural da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

De acordo com a Tabela 18 abaixo (dados agrupados por aquífero), verifica-se que a maior parte das amostras (84 a 87%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 2,0 mg/L, ao longo do período analisado. Somente em uma pequena proporção (3 a 6%) dos poços, foram detectados teores acima de 5 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Destes, nenhum apresentou problemas

eventuais quanto à potabilidade para este parâmetro (valores acima de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  segundo Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde).

Tabela 17 – Distribuição dos resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré.

N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	n° de Poços			% de Poços		
	Bauru	Guarani	Serra Geral	Bauru	Guarani	Serra Geral
ND - 0,50	17	66	14	45,9	75,9	43,8
0,51 - 2,00	14	10	13	37,8	11,5	40,6
2,01 - 5,00	4	7	4	10,8	8,0	12,5
5,01 - 10,00	2	4	1	5,4	4,6	3,1
Total	37	87	32	100,0	100,0	100,0

A distribuição dos resultados nas respectivas faixas de concentrações, por Aquífero (Bauru, Guarani e Serra Geral), são mostradas nos Gráficos 10, 11 e 12, respectivamente:

Gráfico 10 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Bauru na zona rural da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

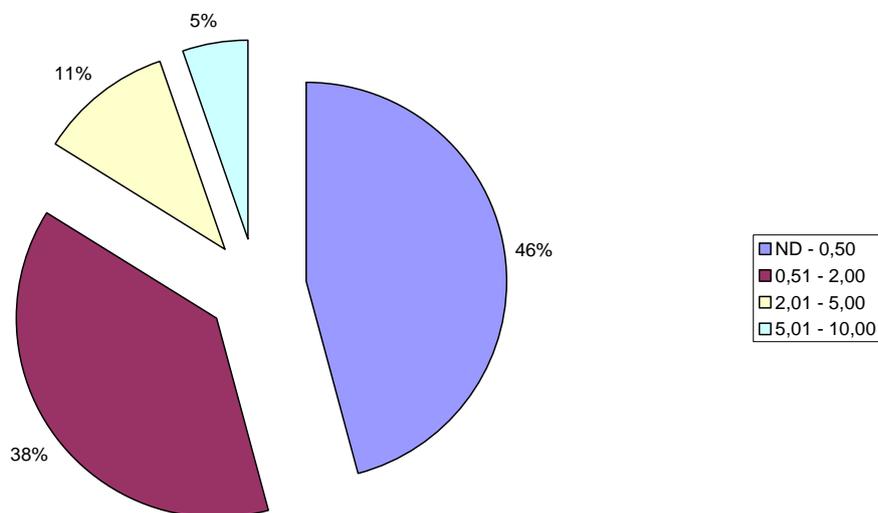


Gráfico 11 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Guarani na zona rural da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

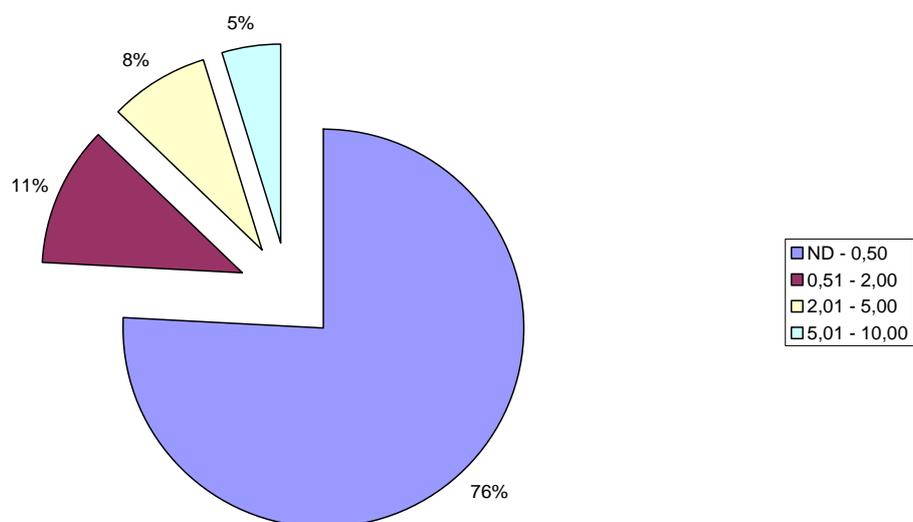
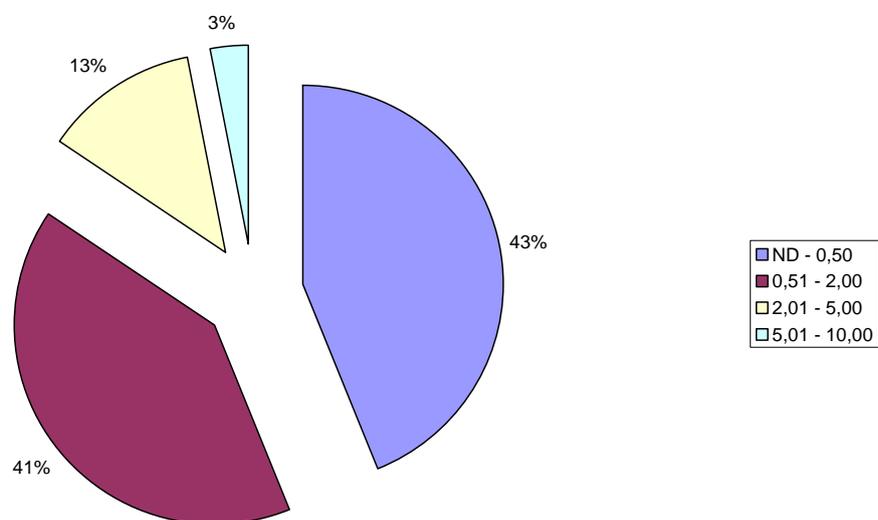


Gráfico 12 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na zona rural bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.



Na Tabela 18 seguinte são comparados os resultados obtidos no levantamento de poços profundos particulares localizados em áreas rurais na bacia do Tietê-Jacaré a partir do Cadastro de Poços do DAEE, com os resultados do monitoramento realizado pela CETESB para poços utilizados para o abastecimento público na UGRHI 13 (1998-2009):

Tabela 18: Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB na UGRHI 13, com os resultados obtidos no levantamento realizado junto ao DAEE para a UGRHI 13 (zona rural)

Sistema Aquífero	CETESB – UGRHI 13			UGRHI 13 (Zona Rural) - DAEE		
	Variação	Mediana	nº de Poços	Variação	Mediana	nº de Poços
Bauru	-	-	-	0,021 - 10,0	0,69	37
Guarani	< 0,01 – 11,7	0,30	14	<0,001 - 6,1	0,20	87
Serra Geral	< 0,05 - 7,91	0,395	3	0,03 - 9,4	0,76	32

Comparando-se os resultados da coleta de dados realizada para a UGRHI 13 (zona rural) junto ao DAEE, com os resultados gerais obtidos pelo monitoramento da CETESB quanto ao parâmetro Nitrogênio-Nitrato, para o Estado de São Paulo como um todo, tem-se a Tabela 19 a seguir:

Tabela 19: Comparação dos resultados do monitoramento da CETESB (Estado de São Paulo), com os resultados obtidos no levantamento realizado junto ao DAEE para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)

Sistema Aquífero	2007 - 2009 (Estado de São Paulo)			UGRHI 13 (Zona Rural)		
	Variação	Mediana	nº de Poços	Variação	Mediana	nº de Poços
Bauru	<0,10 - 20,0	2,08	61	0,021 - 10,0	0,69	37
Guarani	<0,10 - 13,7	0,20	41	<0,001 - 6,1	0,20	87
Serra Geral	<0,10 - 7,03	0,57	14	0,03 - 9,4	0,76	32

Deve-se ressaltar que a mediana das concentrações de nitrato, obtida para os poços que exploram o Aquífero Serra Geral, localizados em áreas rurais da UGRHI 13 (0,76 mg/L) é superior à mediana encontrada pelo monitoramento da CETESB (0,57 mg/L), para o triênio 2007-2009, para o Estado de São Paulo como um todo, e equivalente à mediana obtida para os poços monitorados na UGRHI 13, utilizados para abastecimento público.

Verifica-se também que a concentração máxima obtida para o Aquífero Serra Geral (9,40 mg/L), também é consideravelmente superior às concentrações máximas obtidas pela CETESB para o triênio 2007-2009, tanto no monitoramento estadual (7,03 mg/L), como as obtidas para a UGRHI 13 (7,91 mg/L). A mediana encontrada para o Aquífero Serra Geral na zona rural da UGRHI 13 (0,76 mg/L) é também superior ao Valor de Referência de Qualidade (VRQ) definido pelo CETESB para o referido aquífero (0,50 mg/L). De acordo com a CETESB (2004), concentrações acima dos VRQ e abaixo dos padrões de potabilidade indicam que a água tem qualidade boa. Deve-se ressaltar que as eventuais fraturas dos basaltos da Formação Serra Geral podem representar estruturas rúpteis e caminhos preferenciais para a infiltração do Nitrato para o Aquífero Guarani.

Quanto à mediana encontrada para o Aquífero Guarani (0,20 mg/L), verifica-se que a mesma é equivalente à mediana estadual (0,20 mg/L), mas inferior à mediana encontrada através dos poços de monitoramento na UGRHI 13 (0,39 mg/L), no triênio 2007-2009, utilizados para abastecimento público. A mediana encontrada para o Aquífero Guarani na zona rural da UGRHI 13 (0,20 mg/L) é também inferior ao Valor de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela CETESB (0,30 mg/L) para o referido aquífero e, de acordo com a CETESB (2004), considera-se que concentrações abaixo do VRQ indicam que a água subterrânea tem qualidade excelente.

Assim, a qualidade das águas subterrâneas no Aquífero Guarani em geral pode ser considerada como muito boa. Entretanto, também como observado pela CETESB (2007) para a UGRHI 13, merecem atenção algumas concentrações de N-Nitrato que, apesar de não ultrapassarem o VMP, estão acima do valor de prevenção adotado pela CETESB, que é de 5 mg/L, inclusive em poços localizados em área de afloramento do Aquífero Guarani, que apresenta alta vulnerabilidade.

As áreas de confinamento do Aquífero Guarani caracterizam-se por apresentar vulnerabilidades baixa a nula; entretanto a espessura dos basaltos (< 100 m), quando associadas a fraturas abertas, poderia permitir o ingresso de contaminantes de superfície até o Guarani, assim como contaminação advinda da área de afloramento, induzida pelo bombeamento, criando fluxos laterais. Deve-se ressaltar que o Aquífero Guarani apresenta área de afloramento em apenas 13% da área total da UGRHI, mas ocorre em sua totalidade em sub-superfície, tendo os basaltos da Formação Serra Geral como unidade confinante. Dez, dos 34 municípios da UGRHI 13, apresentam mais de 40% de sua área sobre o afloramento do Sistema Aquífero Guarani.

Quanto ao Aquífero Bauru, apesar da mediana obtida para os poços da zona rural da UGRHI 13 (0,69 mg/L) ser inferior à mediana estadual (2,08 mg/L) obtida pelo monitoramento da CETESB (triênio 2007-2009), foi registrada uma concentração máxima igual ao valor máxima permitido (10 mg/L). Ainda assim, a mediana encontrada é inferior ao Valor de Referência de Qualidade estabelecido pela CETESB para o Aquífero Bauru (1,50 mg/L). Deve-se ressaltar que a CETESB não possui poços de monitoramento que explorem o Aquífero Bauru na UGRHI 13, portanto não foi possível a comparação de resultados do monitoramento com os resultados obtidos para os poços que exploram o referido aquífero na zona rural da bacia.

Deve-se ressaltar, também, que o Aquífero Bauru é o de mais fácil captação de água, com poços relativamente rasos com até 200 m de profundidade, é poroso, e praticamente de

ocorrência livre em toda a sua extensão, havendo localmente regimes de semi-confinamento ou confinamento. Essas condições o tornam uma importante fonte de exploração de água subterrânea da região e do Estado de São Paulo como um todo, com importância equivalente à do Aquífero Guarani, ao mesmo tempo em que lhe conferem maior vulnerabilidade à influência de cargas poluidoras advindas principalmente de fontes difusas de origem antrópica.

O fato de o Aquífero Bauru ser mais vulnerável à poluição, com elevação das concentrações de nitrato na água já constatada pela CETESB, tem levado alguns municípios do oeste paulista, com condições financeiras, a perfurar poços com mais de 1.000 m de profundidade, atravessando extensa camada de rocha basáltica, para captar água do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Entretanto, deve-se ressaltar a não sustentabilidade de tal prática, considerando que a recarga da porção confinada do Guarani é bastante lenta e limitada, o que reforça ainda mais a necessidade de proteção da qualidade das águas do Aquífero Bauru, que também é um importante suprimento de pequenas comunidades, propriedades rurais e pequenas indústrias com água subterrânea.

Do conjunto total de 151 poços analisado quanto à concentração de Nitrato na água subterrânea, apenas oito poços (cerca de 5% do total) apresentaram concentrações de nitrato igual ou acima do valor de alerta estabelecido pela CETESB (5 mg/L), como indicativo de alteração do equilíbrio natural por influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas, para as condições geológicas do Estado de São Paulo. As ocorrências pontuais de concentrações de nitrogênio-nitrato acima deste valor (5 mg/L) nos resultados das análises obtidos, sendo 3 no Aquífero Bauru, 4 no Aquífero Guarani (área de afloramento), e 1 no Aquífero Serra Geral, são apresentadas no Quadro 17 a seguir:

Quadro 17 - Poços com início de alteração de qualidade da água subterrânea por Nitrato na zona rural da UGRHI 13

Poço	Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Profundidade (m)	Concentração de Nitrato (mg/L)	Data da Análise
		km N	km E				
160	Nova Europa	7590,24	752,98	Serra Geral	229	9,40	25/8/2000
5	Araraquara	7578,24	801,25	Bauru	60,0	10,00	10/12/2001
30	Boa Esperança do Sul	7576,25	768,67	Bauru	18,0	5,00	21/7/2004
99	Brotas	7537,88	195,40	Guarani	96,17	6,10	29/3/2007
24	Agudos	7512,53	710,23	Bauru	72,0	6,00	13/4/2007
134	Ribeirão Bonito	7564,71	788,46	Guarani	173,00	6,00	14/7/2007
135	Ribeirão Bonito	7564,73	788,39	Guarani	150,00	5,50	14/7/2007
113	Dourado	7558,85	773,49	Guarani	80,00	5,64	14/8/2007

Além da identificação da presença de poços com indício de alteração de qualidade por influência antrópica, foram elaborados gráficos de série histórica, visando identificar tendências aumento de concentrações ao longo do tempo, conforme pode ser observado nos Gráficos 13, 14 e 15 a seguir, que mostram, respectivamente, a variação das médias, medianas, e concentrações máximas de N-Nitrato. Apesar de haver oscilações nas concentrações de nitrato ao longo dos anos das análises, inclusive com a ocorrência de picos isolados durante o período considerado (1998-2007), pode-se verificar uma tendência de elevação das mesmas nas águas subterrâneas, para a zona rural da UGRHI 13.

Gráfico 13 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007)

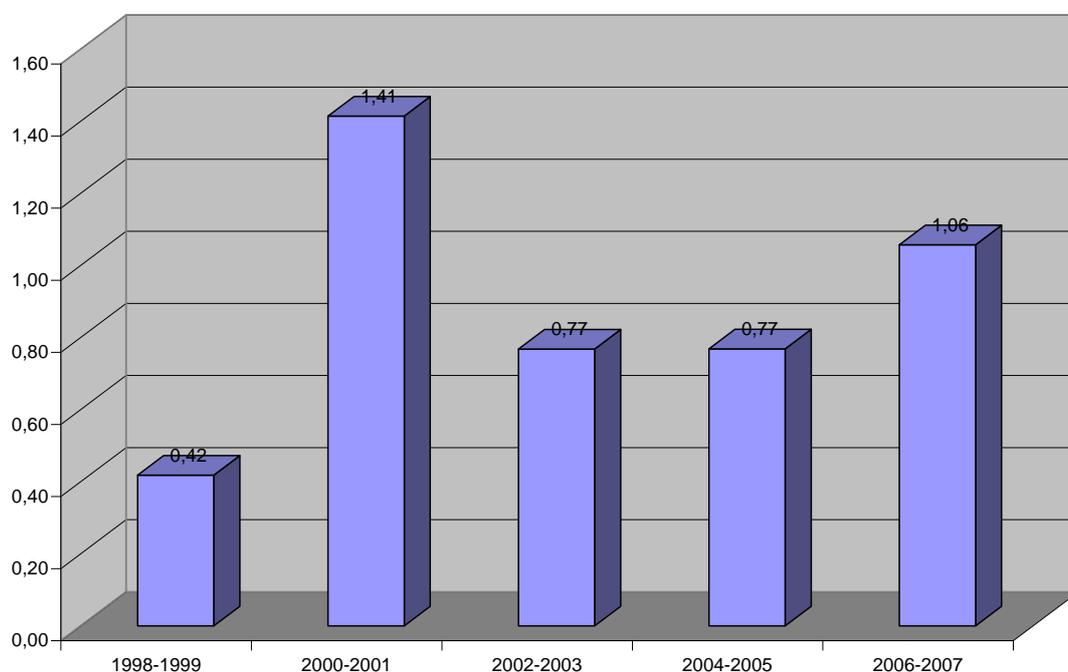


Gráfico 14 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007)

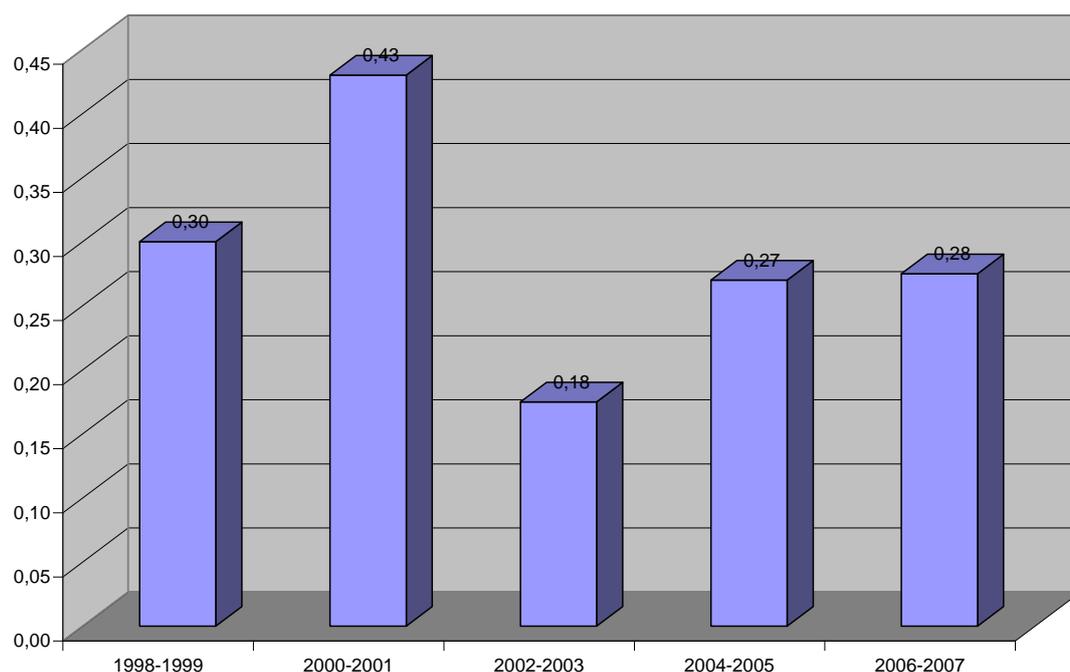
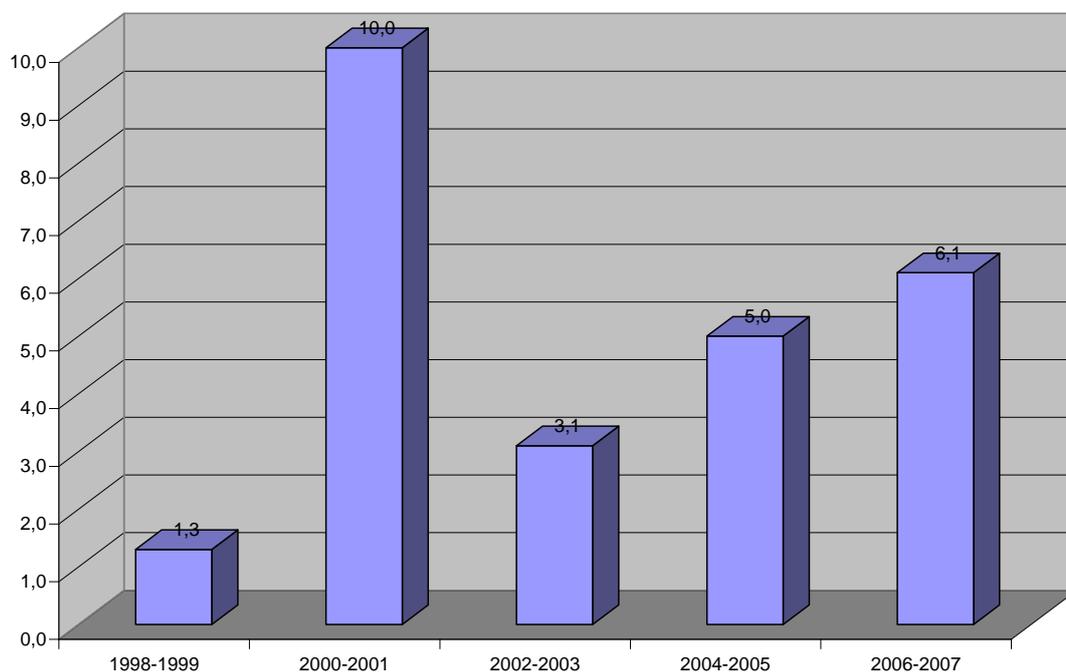


Gráfico 15 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 (1998-2007)



Observa-se no gráfico acima uma tendência de aumento das concentrações máximas de nitrato nos poços da zona rural da UGRHI 13. Também foram elaborados gráficos de série histórica, visando identificar tendências aumento de concentrações ao longo do tempo no Aquífero Guarani, devido à sua importância regional e também por apresentar um número significativo de poços cadastrados na zona rural da bacia. Assim, os Gráficos 16, 17 e 18 a

seguir, mostram, respectivamente, a variação das médias, medianas, e concentrações máximas de N-Nitrato para os poços que exploram o referido Aquífero na zona rural da UGRHI 13:

Gráfico 16 – Médias das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007)

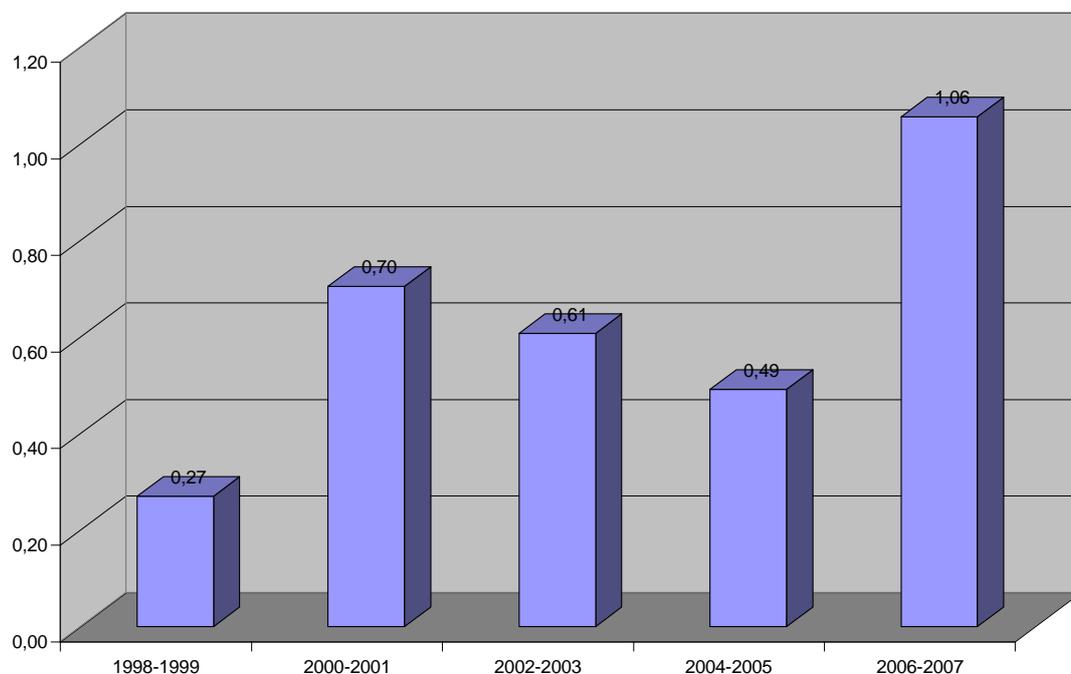


Gráfico 17 – Medianas das concentrações de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007)

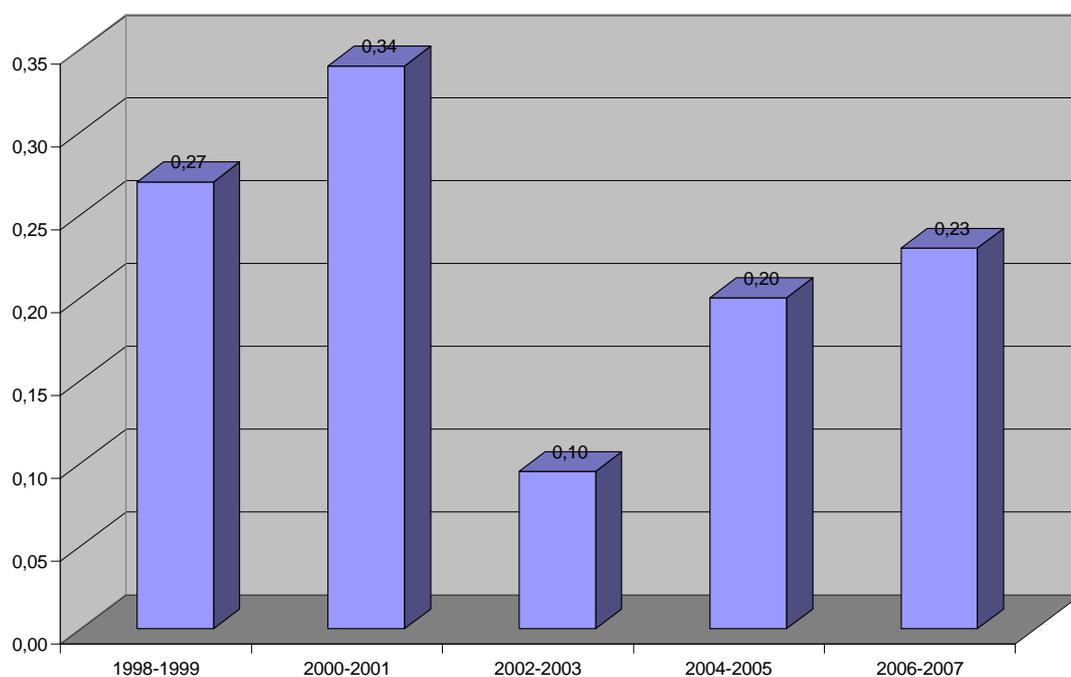
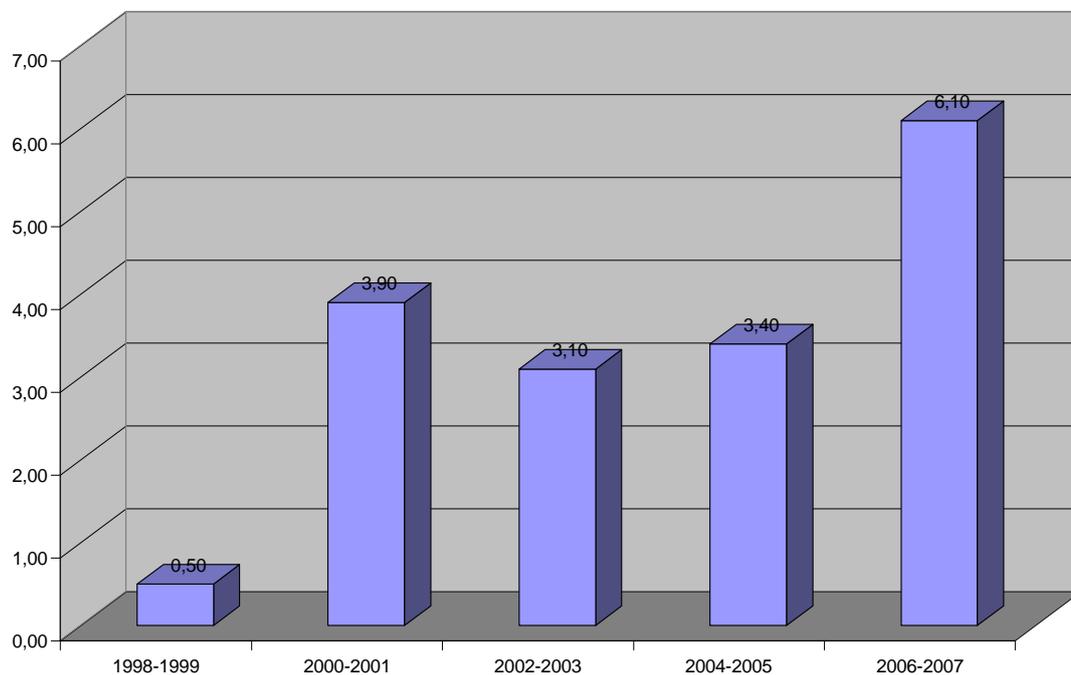


Gráfico 18 – Concentrações máximas de N-Nitrato ao longo do tempo na zona rural da UGRHI 13 – Aquífero Guarani (1998-2007)



O gráfico acima mostra que há tendência de aumento também das concentrações máximas de nitrato nos poços da zona rural da UGRHI 13 que exploram o Aquífero Guarani, no período entre 1998 e 2007. Deve-se destacar que, até 2006, nenhum poço do Aquífero Guarani havia apresentado concentração acima do Valor de Prevenção (5 mg/L), fato que ocorreu em quatro poços em 2007, indicando também a necessidade de continuidade do monitoramento para a referida substância nos poços da zona rural da bacia.

Apesar da identificação de tendência de aumento ao longo dos anos, deve-se ressaltar que, ao contrário do monitoramento da CETESB, onde as campanhas de coleta se repetem para os mesmos poços, o que permite a avaliação da evolução das concentrações ao longo do tempo, para cada um dos poços levantados junto ao DAEE, localizados em áreas rurais da bacia, há apenas um resultado analítico quanto ao parâmetro Nitrato, ou seja, trata-se de uma avaliação pontual da situação da ocorrência da referida substância na zona rural da bacia, para um número bastante limitado de poços, ficando assim prejudicada a avaliação da evolução das concentrações ao longo do tempo.

Através das Coordenadas UTM dos poços e suas respectivas concentrações de Nitrato levantados junto ao DAEE, os mesmos foram locados no mapa georreferenciado de uso do solo da bacia do Tietê-Jacaré (Anexo 3), através do qual foram identificados aqueles que se localizam em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Verifica-se que os poços identificados em área de cana localizam-se principalmente nas regiões produtoras dos municípios de

Araraquara, Brotas, Dois Córregos, Jaú, Lençóis Paulista e Pederneiras, sendo que inclusive, de acordo com o Cadastro de Poços Profundos do DAEE (2009), alguns deles pertencem a empreendimentos do setor sucroalcooleiro localizados na área de estudo.

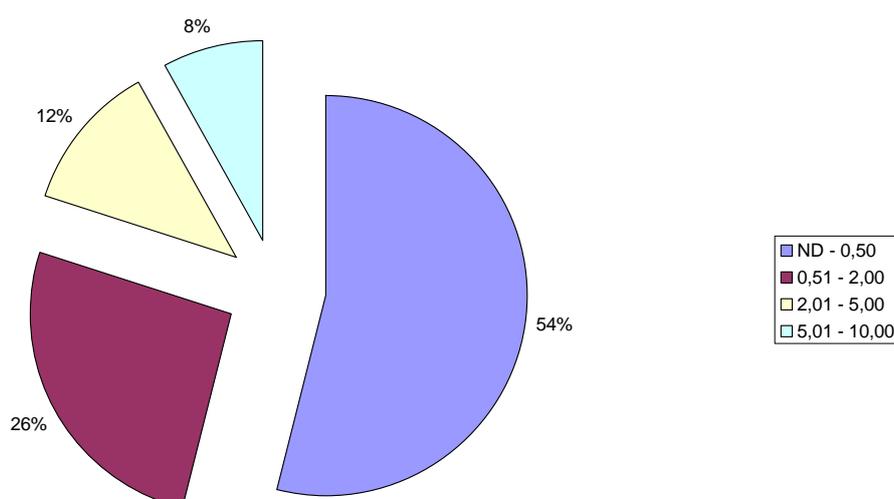
Os dados integrados dos poços em área de cultivo agrícola de cana-de-açúcar foram submetidos, em separado, a nova análise estatística básica, calculando-se as médias, medianas, máximos e mínimos, quanto ao parâmetro Nitrogênio-Nitrato. A síntese dos resultados obtidos é mostrada na Tabela 20 a seguir:

Tabela 20: Comparação dos resultados obtidos na interpretação estatística das concentrações levantadas para os poços localizados em área de cultivo de cana-de-açúcar, e os demais poços localizados em áreas rurais da UGRHI 13

Uso do Solo	nº de Poços	Nitrogênio-Nitrato (mg/L)			
		Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão
Cana-de-açúcar	50	0,008 – 10,0	1,31	0,30	2,03
Outros	101	0,001 – 9,4	0,82	0,27	1,42

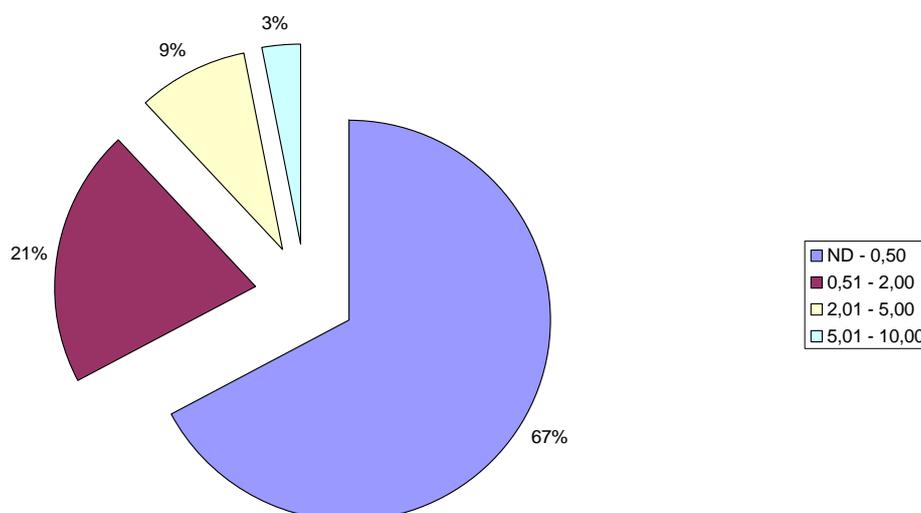
Avaliando-se os resultados das análises existentes para os poços localizados em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, observa-se que, de forma geral, a maior parte dos poços (80%) apresentou valores de  $\text{N-NO}_3^-$  entre 0 e 2,0 mg/L, ao longo do período analisado, conforme Gráfico 19 a seguir:

Gráfico 19 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (zona rural) – área de cana-de-açúcar



Entretanto, para os poços identificados em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, as concentrações são, em média, mais elevadas, e há um maior número de poços com concentrações acima de 2,0 mg/L (20%), comparando-se com a situação dos demais poços localizados em áreas com diferentes classes de uso do solo, cuja distribuição é mostrada no Gráfico 20 a seguir:

Gráfico 20 – Distribuição dos resultados de Nitrogênio-Nitrato (mg/L) analisados nas águas subterrâneas da bacia do Tietê-Jacaré (zona rural) – demais classes de uso do solo



Além disso, cinco dos oito poços com concentração  $\geq 5$  mg/L (valor de prevenção) estão localizados em área de cultivo de cana-de-açúcar, sendo três no Aquífero Bauru e dois no Aquífero Guarani (área de afloramento).

De acordo com a Tabela 21 seguinte (dados agrupados por aquífero), verifica-se que os valores medianos de concentrações de nitrogênio-nitrato para os poços em área de cultivo de cana-de-açúcar são inferiores a 0,80 mg/L. As médias são cerca de 2 a 5 vezes superiores à mediana, devido a algumas concentrações anômalas que elevam estes valores.

Tabela 21 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré – área de cultivo de cana-de-açúcar

Sistema Aquífero	nº de Poços	Nitrogênio-Nitrato (mg/L)			
		Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão
Bauru	09	0,021 – 10,0	2,57	0,69	3,58
Guarani	24	0,008 – 6,0	1,08	0,23	1,69
Serra Geral	18	< 0,05 – 3,7	0,93	0,74	0,97

Para os demais poços, os resultados são os seguintes (Tabela 22):

Tabela 22 - Valores médios e medianos de nitrogênio-nitrato determinados com base em análises de água existentes de poços da zona rural da bacia do Tietê-Jacaré – demais classes de uso do solo

Sistema Aquífero	nº de Poços	Nitrogênio-Nitrato (mg/L)			
		Variação	Média	Mediana	Desvio Padrão
Bauru	28	0,06 – 2,49	0,84	0,61	0,75
Guarani	63	0,001 – 6,1	0,70	0,20	1,30
Serra Geral	14	0,03 – 9,4	1,51	0,91	2,42

A mediana das concentrações de nitrato, obtida para os poços que exploram o Aquífero Serra Geral (0,74 mg/L) em área de cultivo de cana é inferior à mediana encontrada para os demais poços (0,91 mg/L), pois foi registrada uma concentração de 9,4 mg/L em um poço localizado em área de cultivo de laranja (poço nº 160), o que elevou sensivelmente também a média e o desvio padrão. Além disso, há outros poços em áreas de cultivo de laranja e áreas de pastagem com concentrações entre 0,51 e 2,0 mg/L, localizados nos municípios de Itaju e Iacanga, e um outro poço com concentração acima de 2,0 mg/L (poço nº 141), bastante próximo à área urbana de São Carlos.

Ainda assim, a mediana encontrada para os poços em área de cana (0,74 mg/L) é mais de três vezes superior à mediana encontrada pelo monitoramento da CETESB para o Estado de São Paulo como um todo no triênio 2007-2009 (0,20 mg/L), como é também superior à mediana encontrada para os poços monitorados na UGRHI 13 no período 1998-2009 (0,39 mg/L), utilizados para abastecimento público.

A mediana encontrada para o Aquífero Serra Geral na área de cana da UGRHI 13 (0,74 mg/L) é também superior ao Valor de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela CETESB para o referido aquífero (0,50 mg/L). Já a mediana encontrada para o Aquífero Guarani (0,23 mg/L) é inferior ao VRQ estabelecido pela CETESB (0,30 mg/L) para o referido aquífero, ratificando a ótima qualidade das águas subterrâneas no Aquífero Guarani.

A mediana encontrada para o Aquífero Bauru (0,69 mg/L) é também inferior ao VRQ estabelecido pela CETESB para o Aquífero Bauru (1,50 mg/L).

De uma forma geral, as médias das concentrações dos poços em área de cana são superiores às médias encontradas para as concentrações dos demais poços, tanto para o Aquífero Guarani como para o Aquífero Bauru. Entretanto, para o Aquífero Bauru em especial, deve-se destacar a identificação de quantidade significativa de poços bastante próximos à área urbana do município de Bauru, particularmente onde há outras fontes potenciais difusas de nitrato de origem antrópica para as águas subterrâneas, como a utilização de fossas negras, vazamento de redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação dos poços.

Diante do exposto, de uma forma geral, pode-se inferir que a ocorrência de concentrações mais elevadas de nitrogênio-nitrato nas águas dos poços destacados pode estar associada à proximidade dos mesmos às áreas de cultivo agrícola de cana-de-açúcar, onde há aplicação intensiva de fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados, além da disposição no solo de resíduos agro-industriais, principalmente a vinhaça, rica em nitrogênio. Outras causas para a ocorrência de concentrações elevadas de nitrogênio-nitrato podem ser originadas de problemas construtivos ou da má conservação de alguns poços, que se encontram algumas vezes sem cimentação e laje de proteção sanitária, possibilitando a entrada de poluentes para o aquífero, e da aplicação de fertilizantes em outras culturas, anteriores à da cana-de-açúcar. Além disso, existem também problemas de confiabilidade dos resultados das análises de água por alguns laboratórios particulares não credenciados. De qualquer forma, verifica-se a necessidade de continuidade do monitoramento, bem como o estabelecimento de ações de prevenção à poluição por nitrato de origem agrícola, visando diminuir o aporte acumulativo de nitrogênio nas águas subterrâneas.

São conhecidos vários casos de poluição de aquíferos no Estado de São Paulo por fontes pontuais geradas pelas atividades industriais, pela disposição de resíduos e pelo vazamento de tanques de combustíveis; em contrapartida, o impacto causado pela atividade agrícola tem hoje poucos estudos. Fontes dispersas de poluição de aquíferos apresentam dificuldades para caracterização, pois associam grandes áreas, exigindo numerosos pontos de monitoramento, e poluentes com baixas concentrações, que necessitam muitas vezes de cuidadosos métodos de amostragem e sofisticadas e caras técnicas analíticas.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A grande maioria dos valores de concentrações de Nitrogênio-Nitrato em águas subterrâneas, encontrados através de análises químicas realizadas em poços localizados em áreas rurais da UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), encontra-se abaixo do padrão de potabilidade para este parâmetro. Assim, de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que, de modo geral, as águas subterrâneas da bacia do Tietê-Jacaré apresentam boa qualidade para consumo humano e devem ser protegidas para essa finalidade.

Entretanto, para alguns poços, os valores de concentrações ultrapassam o valor de alerta, indicando alteração do equilíbrio natural, por influência antrópica. Apesar da boa qualidade da água subterrânea no monitoramento regional quanto ao parâmetro Nitrato, deve-se ressaltar que a CETESB constatou a existência de uma nítida tendência de aumento das concentrações de N-Nitrato nas águas subterrâneas ao longo do tempo no Estado de São Paulo, indicando a necessidade de ações de prevenção à poluição por nitrato, tendo em vista inclusive a crescente expansão da atividade canavieira na bacia e no Estado como um todo. Os problemas regionais identificados através do monitoramento das águas subterrâneas realizado pela CETESB requerem a atenção dos órgãos gestores de meio ambiente, recursos hídricos e saúde; de concessionárias; do setor sucro-alcooleiro e de consumidores de água.

Ainda que os resultados mostrem que as concentrações sejam, em média, mais elevadas em poços próximos a áreas de cultivo de cana-de-açúcar, deve-se destacar a necessidade de acompanhamento da evolução das concentrações no espaço e no tempo, já que a migração dos poluentes, a partir da superfície até os poços, tende a ser um processo lento nos aquíferos e pode demorar muitos anos ou até décadas, antes que o impacto total de um evento contaminante se torne perceptível nas fontes de águas subterrâneas.

Verifica-se ainda que o cadastro dos poços localizados em áreas rurais é insuficiente, sendo os dados disponíveis referentes a usos privados bastante limitados e com problemas de confiabilidade. Sugere-se assim a realização de campanhas de conscientização, inclusive entre os usuários das áreas rurais, sobre a importância da regularização de poços existentes junto aos órgãos competentes.

Deve-se ressaltar que os tipos de atividades agrícolas que geram contaminação difusa mais preocupante das águas subterrâneas são as relacionadas com extensas áreas de monocultura. Além de um mapeamento mais detalhado e atualizado da distribuição dos cultivos agrícolas mais importantes, principalmente da cana-de-açúcar, confrontado com a localização das áreas de recarga e dos poços profundos, torna-se necessário ainda a elaboração de um inventário de aplicação de fertilizantes nitrogenados e resíduos agro-

industriais no solo, principalmente a vinhaça, especialmente no caso de necessidade de aplicação sucessiva em uma mesma área, para uma estimativa mais precisa do potencial gerador de carga contaminante da atividade agrícola no subsolo. Além disso, o manejo integrado da aplicação de resíduos e outras práticas agrícolas deverão ser revistos, objetivando a redução da taxa de aplicação de nitrogênio, principalmente quando forem observadas concentrações de nitrogênio-nitrato acima do valor de alerta de 5,0 mg/L nas águas subterrâneas, visando a garantia da potabilidade das águas do Aquíferos Bauru, cuja vulnerabilidade à contaminação tem sido evidenciada, do Aquífero Guarani e outros. A definição desses critérios requer a atuação conjunta dos órgãos de meio ambiente, agricultura e recursos hídricos.

Devido às incertezas quanto à origem do nitrato nas águas subterrâneas na bacia do Tietê-Jacaré, bem como diante da possibilidade de elevação das concentrações em longo prazo, é necessária a realização de um monitoramento contínuo e estudos futuros mais aprofundados, inclusive sobre a influência do fraturamento dos basaltos na recarga do Aquífero Guarani, de maneira a identificar melhor a sua vulnerabilidade e traçar estratégias para a sua proteção. Verifica-se também a necessidade de ampliação do número de pontos de monitoramento, principalmente nos Aquíferos Bauru e Serra Geral, considerando que é grande a carga contaminante potencial (principalmente de origem agrícola) em suas áreas de ocorrência na UGRHI 13, que possui poucos pontos de amostragem. Nesse contexto, torna-se ainda mais importante a ampliação da recém-implantada rede integrada de monitoramento de qualidade e quantidade (CETESB/DAEE), utilizando poços dedicados ao monitoramento, instalados principalmente em áreas rurais, visando uma melhor avaliação da influência das atividades agrícolas sobre a qualidade das águas subterrâneas.

Além disso, por ser um bom indicador de pressão antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas, principalmente em aquíferos livres, deve-se realizar avaliações sobre a origem das altas concentrações de nitrato, em parceria com Institutos de Pesquisa e Universidades.

Vistorias nos pontos de monitoramento revelaram diversos problemas, como: falta de manutenção das instalações dos poços, presença de rachaduras em lajes de proteção, existência de atividades não relacionadas à captação de água, como depósito de equipamentos, cultivo de pequenas hortas e a presença de animais, ou seja, situações nas quais podem ocorrer a contaminação direta dos poços. Deste modo, verifica-se também a necessidade de fiscalização da construção e manutenção dos poços, que se não forem construídos segundo normas técnicas específicas e em locais apropriados, podem se

transformar em caminho preferencial para poluentes. É importante também que os usuários de soluções alternativas de abastecimento realizem sistematicamente o monitoramento das águas, considerando, no mínimo, os parâmetros desconformes apontados pelo monitoramento da CETESB e aqueles potenciais contaminantes de ocorrência conhecida na região, de modo a garantir a proteção de sua saúde.

Visando melhorar o conhecimento sobre a condição de qualidade das águas subterrâneas no Estado e subsidiar as ações de prevenção e controle da poluição, faz-se necessária a integração das informações obtidas nos diversos monitoramentos existentes, e executados por outras instituições, em um sistema unificado e georreferenciado de informações. As instituições que atualmente monitoram as águas subterrâneas no Estado são as concessionárias e autarquias de abastecimento público, serviços de vigilância sanitária e empresas privadas.

A exemplo de outros países industrializados, que como o Estado de São Paulo, são usuários dos recursos hídricos subterrâneos, aponta-se a necessidade da delimitação de áreas de proteção de aquíferos e de áreas de proteção de poços, principalmente aqueles perfurados com a finalidade de abastecimento público, cuja demanda vem aumentando ao longo do tempo, visando o estabelecimento de diretrizes ambientais para o zoneamento e planejamento do uso e ocupação do solo pelos municípios, e o controle e fiscalização de fontes potenciais de poluição nessas áreas. O Decreto Estadual 32.955/97 define três áreas de proteção: Áreas de Proteção Máxima, Área de Restrição e Controle, e Áreas de Proteção de Poços e outras Captações. As áreas de proteção máxima compreendem zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituem em depósitos de água essenciais para abastecimento público. Tais áreas, assim como as de restrição e controle, são aprovadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, ouvindo a CETESB, DAEE, IG, os municípios e demais organismos interessados.

Assim, é necessário integrar ações preventivas e corretivas, tanto nas esferas federal e estadual como no âmbito dos municípios, em conjunto com os Comitês de Bacia, visando principalmente a implementação de medidas de utilização sustentável e de proteção da qualidade das águas subterrâneas. A atuação dos Comitês de Bacia torna-se importante também no detalhamento do conhecimento das características e qualidade das águas subterrâneas nas UGRHIs e na sua sistematização.

Objetiva-se que o presente trabalho contribua para uma melhor compreensão sobre a influência das práticas agrícolas sobre as águas subterrâneas, especialmente em áreas de recarga de aquíferos, que são especialmente vulneráveis à contaminação e devem ser

preservadas e que, além disso, possa proporcionar subsídios para que medidas de prevenção da contaminação e políticas de gerenciamento do uso e ocupação do solo, e dos recursos hídricos subterrâneos, sejam implantadas pelos órgãos competentes.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. 124 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2009**. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 27/04/2009.
- Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). **Principais Indicadores do Setor de Fertilizantes**: 2008. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. Acesso em 08/06/2009.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160-165, 1998.
- ARTUZO, M.A.S. **Prevenção e controle de poluição na produção do etanol**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ETANOL. São Paulo: ABAS, 2007.
- BARBOSA, C. F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica-RJ**. 2005. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociência, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- BARRETO, F. M. S. **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no município de Tianguá, Ceará**. 2006. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2006.
- BORGUETTI, N. R. B.; BORGUETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004. 214 p.
- BRAGA *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. p. 153-158. 2ª Edição. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento**. Brasília: MMA, 2006. 68 p.
- BROADBENT, F.E. **Nitrogen in soil and water**. In: SYMP. NITROGEN SOIL WATER. Guelph, University of Guelph, 1971. p. 56;
- BROUÈRE, S.; DASSARGUES, A.; HALLET, V. Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: a field investigation. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 72, n. 1-4, p. 135-164, 2004.
- CAGNON, F.A. **Origem e hidroquímica do nitrato nas águas subterrâneas do aquífero Adamantina em Urânia, SP**. 2003. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2003. 148 p.
- CALCAGNO, A. **Identificação de áreas para a execução de programas e ações piloto e definição de termos de referência: atividade 09 do Projeto Aquífero Guarani**. Brasil: ANA, 2001.
- CAMBUIM, F.A. **A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso**. 1983. Dissertação (Mestrado). Recife: UFRPE, 1983. 133 p.

CASARINI, D.C.P. **Norma Técnica CETESB P4.231 de dez/2006: critérios e procedimentos para armazenamento e aplicação de vinhaça no solo agrícola.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ETANOL. São Paulo: ABAS, 2007.

CENTRO PANAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E CIÊNCIAS DO AMBIENTE (CEPIS). **Projeto sobre avaliação e controle da poluição de águas Subterrâneas.** Disponível em: <[http://www.sg-guarani.org/microsite/pages/pt/info\\_aguas.php](http://www.sg-guarani.org/microsite/pages/pt/info_aguas.php)>. Acesso em: 19/07/2007.

CESARINO, A. **Seleção de materiais para remediação de aquíferos contaminados por nitrato através de barreiras reativas.** 2002. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo, 2002. 97 p.

CHANG, H.K. **Uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani:** atividade 3 do Projeto Aquífero Guarani. Brasil: ANA, 2001.

CHAPELLE, F.H. **Ground-water microbiology and geochemistry.** 2. ed. John Wiley & Sons, 2000. 477 p.

COMISSÃO EUROPÉIA. **Implementation of nitrates directive 91/676/EEC.** Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/directiv.html>>. Acesso em 29/01/2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Decisão de Diretoria 35, de 09 de março de 2005.** Dispõe sobre a homologação da norma técnica P4.231 – Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <<http://sugarsoft.com.br/Lei%20da%20vinha%C3%A7a.htm>>. Acesso em: 17/07/2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo:** 2006. São Paulo: CETESB, 2007. v. 1. 327 p. (Série Relatórios. Secretaria de Estado do Meio Ambiente).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 1998-2000.** São Paulo: CETESB, 2001. 96 p. (Série Relatórios / CETESB).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: 2001-2003.** São Paulo: CETESB, 2004. (Série Relatórios / CETESB).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2004-2006.** São Paulo: CETESB, 2007. 199 p. (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009.** São Paulo: CETESB, 2010. 258 p. (Série Relatórios / CETESB).

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (São Paulo). **Plano estadual de recursos hídricos:** 2004/2007 – Resumo. São Paulo: DAEE, 2006. 92 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2008>>. Acesso em: 26/06/2008.

COOPERATIVA DE SERVIÇOS, PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS / INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Relatório Técnico nº 402/08: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê-Jacaré (UGRHI 13)**. São Paulo: CPTI/IPT, 2008;

COSTA, S.N. et al. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 190-194, 1999.

CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A.M.; NOGUEIRA, M.A. Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. In: INTERNATIONAL SEMINAR OF POLLUTION, PROTECTION AND CONTROL OF GROUNDWATER. **Anais**. Porto Alegre, RS: ABAS/ABES/IAWPRC, 1990. p. 66-74.

CUNHA, R.C.A. et al. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I-physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1981.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). Água subterrânea: uma riqueza de São Paulo. **Revista Água e Energia**, 1999. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/acervoPesquisa/relatorios/revista/raee9904/aguasubterranea.htm>>. Acesso em 09/06/2007.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). **Evolução das outorgas no Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/outorgaefiscalizacao/outorga06.htm>>. Acesso em 17/12/2008.

FERREIRA et al. **Avaliação preliminar da ocorrência de nitrato nas águas subterrâneas no município de Ribeirão Preto (SP)**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Curitiba: ABAS, 2006.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice-Hall, 1979. 604 p.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **População e estatísticas vitais**. Disponível em: <<http://www.seade.sp.gov.br/>>. Acesso em: 24/05/2008.

ELIA NETO, A. **Processo, efluentes e resíduos da indústria do álcool**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ETANOL. São Paulo: ABAS, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil**: base para uma proposta de gestão sustentável. Embrapa Meio Ambiente, 2006. 20 p. Documentos, 52.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Uso agrícola das áreas de recarga do Aquífero Botucatu (Guarani) e implicações na qualidade da água subterrânea**. Embrapa Meio Ambiente, 2002. 38 p. Relatório Final.

EUROPEAN COMMISSION OF ENVIRONMENT. Nitrate Directive 91/676/EEC. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/directiv.html>>. Acesso em: 17/07/2007.

FEITOSA, A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM; Serviço Geológico do Brasil; Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal de Pernambuco (LABHID-UFPE), 1997. 412 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação de águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. Peru: CEPIS, 1991. 81 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FOSTER, S.; HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk evaluation: a survey manual using available data**. Lima, Peru: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences PAHO/WHO, 1988. 98 p.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington, D.C.: Banco Mundial, 2002. 103 p. Edição Brasileira: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda., São Paulo, 2006.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R.C.A. **Poluição das águas subterrâneas: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FRAGA, G.P.; ABREU, C.A.; MENDES, J.M.B. **Poluição do solo e aquífero subterrâneo pela vinhaça infiltrada sob tanques de armazenamento**. São Paulo: CETESB, 1994. 52 p.

FRANÇA, R.M. et al. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1979. 604 p.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.

GIACOMETTI, L. **Qualidade microbiológica, concentração de nitratos em águas de consumo alternativo (minerais e poços) da cidade de Jaboticabal - SP**. Dissertação (Mestrado). 2001. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2001. 64 p.

GIAFFERIS, G.P.; OLIVEIRA, E.L. de **Gestão da qualidade das águas subterrâneas, pela autarquia municipal de água, no município de Bauru-SP**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Curitiba: ABRH, 2007.

GIAFFERIS, G.P.; OLIVEIRA, E.L. **Investigação da qualidade das águas subterrâneas do município de Bauru**. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Curitiba: ABAS, 2006.

GLOEDEN, E. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. Dissertação (Mestrado). 1994. Instituto de Geociências. São Paulo: USP, 1994.

GOMES, M.A.F. (Editor técnico) **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 417 p.

GLOEDEN, E. et al. The behavior of vinasse constituents in the insaturated and saturated zones in the Botucatu Aquifer Recharge Area. **Water Science Technology**, London, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

GODOY, M. C. T. F. et al. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 63, n. 2, p. 208-14, 2004.

HASSUDA, S. **Impacto da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru**. Dissertação (Mestrado). 1989. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1989.

HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.; ROCHA, G. **Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB/DAEE, 1997.

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

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (IFA); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **O Uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente**. Tradução da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA. Paris: TFA; UNEP, 2000.

INSTITUTO GEOLÓGICO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CETESB/DAEE, 1997. 2 v.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Área de cana safra e reforma na região Centro-Sul (CANASAT)**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/index.jsp>>. Acesso em: 09/11/2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNÓLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo (1: 500.000)**. São Paulo: IPT, 1981. v. 1. 126 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNÓLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Relatório nº 40.674**: diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré. São Paulo: IPT, 2000. Relatório Final. Disponível em: <[http://www.sigrh.sp.gov.br/cgibin/sigrh\\_home\\_colegiado.exe?TEMA=RELATORIO&COLEGIADO=CRH/CBH-TJ&lwgactw=431702](http://www.sigrh.sp.gov.br/cgibin/sigrh_home_colegiado.exe?TEMA=RELATORIO&COLEGIADO=CRH/CBH-TJ&lwgactw=431702)>. Acesso em: 18/07/2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNÓLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Relatório técnico nº 308/07**. Mapa Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré: 1 : 250.000. São Paulo: IPT, 2007.

JOHNSON, C.J.; KROSS, B.C. Continuing importance of nitrate contamination of groundwater and wells in rural areas. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 18, p. 449-456, 1990.

LEME, E.J.A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUFSCar, 2008. Cap. 15

LYRA, M.R.C.C.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.A.A. Toposseqüência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

MAGADIN SOBRINHO, A. **Monitoramento em áreas submetidas à fertirrigação com vinhaça**. São Carlos: UFSCar/Departamento de Engenharia Civil, 2007. Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental. 38 p.

ROCHA, G. (Coord.). **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**: escala 1:1.000.000. São Paulo: DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica; IG – Instituto Geológico; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

MEAULO, F. J. **Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP)**. Dissertação (Mestrado). 2004. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro (SP), 2004.

MELO, J.G; REBOUÇAS, A.C.; QUEIROZ, M.A. **Contaminação de águas subterrâneas por nitrato na zona sul de Natal, RN.** Disponível em: <[http://www.perfuradores.com.br/index.php?pg=info\\_cientificas&sub=info\\_cientificas\\_tb&sub\\_tb=in\\_focie\\_tb\\_46](http://www.perfuradores.com.br/index.php?pg=info_cientificas&sub=info_cientificas_tb&sub_tb=in_focie_tb_46)>. Acesso em: 15/01/2008.

MIGLIORINI, R.B.; LIMA, Z.M; ZEILHOFER, L.V.A.C. Qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios, região de Cuiabá – MT. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 15-28, 2006.

MODESTO, R. P. et al. **Evolução das concentrações de nitrato no Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo – 1992 a 2007.** In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. São Paulo: ABAS, 2009.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1997. 276 p.

MUTTON, M.J.R.; ROSSETTO, R.; MUTTON, M.A. **Termo de referência para o workshop tecnológico sobre vinhaça.** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2007.

NEVES, M.C.P.; LIMA, I.T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas: v. 7, n. 2, p. 131-136, 1983.

OLAIA, F. B. **Análise e caracterização da urbanização na área de recarga do Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto-SP.** 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. São Carlos, 2005.

OREN, O. et al. Contamination of groundwater under cultivated fields in a arid environment, Central Arava Valley, Israel. **Journal of Hydrology**, v. 209, n. 3-4, p. 312-328, 2004.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL. **Anais.** v. 13, n. 6. Rio de Janeiro: STAB, 1995.

PEREIRA, S. Y. **Impactos da aplicação da vinhaça na água subterrânea.** In: ÁGUA SUBTERRÂNEA, AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 2003, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 1-10.

PIACENTE, F. J. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental:** o caso das usinas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí. Dissertação (Mestrado). 2005. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/INSTITUTO GEOLÓGICO (Org.). In: SEMINÁRIO AQUIFERO GUARANI. **Memória.** Projeto de Proteção e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani: Memória. Ribeirão Preto: DAEE/IG, 2003. 232 p.

RABELO, J.L. **Estudo da recarga do Aquífero Guarani no sistema Jacaré-Tietê.** Tese (Doutorado). 2006. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

REBOUÇAS, A. C. **Diagnóstico do setor hidrogeologia.** Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS)/PADCT, 1996.

RIMSKI-KHORSAKOV, H.; RUBIO, G.; LAVADO, R.S. Potencial nitrate losses under different agricultural practices in Pampas regions, Argentina. **Agriculture Water Management**, v. 65, n. 2, p. 83-94, 2004.

ROSSETTO, A.J. **Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira**. In: PARANHOS, S.B. (Ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 435-504.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto estadual nº 12.486, de 20/10/1978, norma técnica alimentar NTA 60 – águas de consumo alimentar**. Disponível em: <[http://www.quimlab.com.br/PDFLA/Norma%20T%E9cnica%20Alimentar%2060%20-%20\(NTA-60\)%20-%20Estadual.pdf](http://www.quimlab.com.br/PDFLA/Norma%20T%E9cnica%20Alimentar%2060%20-%20(NTA-60)%20-%20Estadual.pdf)>. Acesso em: 09/07/2008.

SÃO PAULO (Estado). INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo, ano agrícola 2008/09, levantamento final, novembro de 2009**. São Paulo: IEA, 2010. Disponível em: < <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/previsao/prev-0210b.pdf>>. Acesso em: 26/02/2010.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo – LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2009. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/>>. Acesso em 23/04/2009.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SAA). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Resolução conjunta SMA-SAA nº 04, de 18 de setembro de 2008 (zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro)**. São Paulo: SMA, 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/contAmbientaLegislacaoAmbienta/res.php#2008>>. Acesso em 28/09/2008.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (SAA). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Resolução conjunta SMA-SAA nº 06, de 24 de setembro de 2009 (altera o zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo)**. São Paulo: SMA, 2009. Disponível em: < [http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2009\\_res\\_est\\_sma\\_conjunta\\_06.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2009_res_est_sma_conjunta_06.pdf)>. Acesso em 01/02/2010.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Painel da Qualidade Ambiental**. São Paulo: SMA, setembro de 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/pdf/qualidadeambiental.zip>>. Acesso em 02/10/2009.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Resolução SMA nº 88, de 19 de dezembro de 2008 (republicada em 26/03/2009)**. São Paulo: SMA, 2008. Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/legislacoesambientais/Resolucao\\_SMA\\_88\\_2008.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/legislacoesambientais/Resolucao_SMA_88_2008.pdf)>. Acesso em 02/10/2009.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Painel da qualidade ambiental 2010**. São Paulo: SMA/CPLA, 2010. 128 p. Disponível em: < [http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/pqa\\_2010\\_e\\_lr.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/pqa_2010_e_lr.pdf)>. Acesso em 11/06/2010.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental**

2010. São Paulo: SMA/CPLA, 2010. 224 p. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/index.php>>. Acesso em 29/03/2010.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. **Criação de grupo de trabalho para discussão do nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. Fonte: <[http://homologa.ambiente.sp.gov.br/aquiferos/07052009\\_gtnitrato.asp](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/aquiferos/07052009_gtnitrato.asp)>. Acesso em: 10/05/2009>.

SÃO PAULO (Estado). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde. **Resultado safra 08/09**. Disponível em: <<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/portugues.asp>>. Acesso em: 05/06/2009.

SILVA, A.R.; ARAÚJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (Ba). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

TIRLONE, C.E. **Avaliação dos procedimentos para definição dos responsáveis pela execução de investigação e remediação nos casos de contaminação do solo e água subterrânea no Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado). 2004. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

THORBURN, P.J.; BIGGS, J.S.; WEIER, K.L.; KEATING, B.A. Nitrate in groundwater of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, n. 1, p. 49-58, 2003.

UNESCO. **Ground water**. Paris, 1992.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Estatísticas de produção de cana, etanol e açúcar na Região Centro Sul**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 05/03/2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY (USEPA). Office of Ground Water and Drinking Water. **National water quality inventory:1998**. Washington, DC: EPA, 2000. 99 p.

VARNIER, C.L.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê – São Paulo, Brasil. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**, 16, p. 77-82, 2002.

WAKIDA, F.T. & LERNER, D.L. Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. **Water Research**, 39, p. 3-16, 2005.

WREGE, M. **Termos hidrológicos básicos**. São Paulo: ABAS, 1997. (Caderno Técnico, 4.)

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Nitrate and Nitrite in drinking water**: background document for development of WHO guidelines for Drinking-water Quality (WHO/SDE/WSH/07.01/16). Genebra, Suíça, 2007. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratenitrite2ndadd.pdf)>. Acesso em: 20/05/2008.

ZIMBRES, E. **Guia avançado sobre água subterrânea**, 2000. Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>>. Acesso em: 28/11/2007.

## ANEXO 1

Resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 no Aquífero Guarani no período 1998-2009

Ponto	Município	Aquífero	Campanha	Nitrato (mg/L)
9	Araraquara P6, Prefeitura (Desativado)	Guarani	mar/98	< 0,02
			set/98	< 0,04
			set/99	0,02
			mar/00	0,05
			out/00	< 0,01
			mar/01	0,05
			set/01	0,05
			mar/02	0,04
			set/02	< 0,05
			mai/03	< 0,05
			set/03	< 0,05
			mar/04	< 0,08
			13	Bauru Poço DAE
set/98	0,08			
abr/99	0,04			
set/99	< 0,30			
jan/00	< 0,30			
out/00	< 0,30			
mar/01	< 0,30			
set/01	< 0,30			
mar/02	< 0,30			
set/02	< 0,30			
mai/03	< 0,30			
set/03	< 0,30			
mar/04	11,700			
set/04	< 0,30			
mar/05	< 0,20			
set-05	< 0,30			
mai-06	< 0,20			
set-06	< 0,30			
mar-07	5,320			
nov-07	< 0,30			
mar/08	< 0,30			
set/08	< 0,10			
mar/09	< 0,10			

			set/09	< 0,10
32	Dois Córregos	Guarani	mar/98	0,04
	P3, DAEE/Pref		set/98	< 0,03
			abr/99	< 0,30
			set/99	< 0,30
			jan/00	< 0,30
			out-00	< 0,30
			mar/01	0,31
			set/01	< 0,30
			mar/02	< 0,30
			set/02	< 0,30
			mai/03	< 0,30
			set/03	< 0,30
			mar-04	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	< 0,20
			set-06	0,642
			mar-07	< 0,30
			set-07	< 0,30
			mar/08	< 0,30
			set/08	0,11
			mar/09	< 0,10
			set/09	< 0,10
48	Ibaté	Guarani	mar-98	0,10
	P7, DAEE/Pref.		set-98	0,07
			abr-99	0,02
			set-99	0,10
			mar-00	0,19
			out-00	0,03
			mar/01	0,05
			set/01	0,05
			mar/02	0,03
			set/02	< 0,05
			mai/03	0,12
			nov/03	< 0,05
			mar-04	0,36
			set-04	0,10
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,20

			mar-06	< 0,20
			set-06	< 0,20
	(Desativado)		mar-07	< 0,20
			set-07	< 0,20
			mar-09	< 0,20
			set-09	< 0,20
57	Itirapina	Guarani	mar-98	0,04
	Pedágio km 216		set-98	0,04
			abr-99	< 0,02
			out-99	< 0,02
			mar-00	0,02
			out-00	< 0,10
			mar/01	< 0,01
			set/01	< 0,01
			mar/02	0,04
			set/02	0,08
			mai/03	0,16
			nov/03	0,02
			mar-04	0,47
			set-04	0,19
			mar-05	< 0,20
			set-06	0,47
			mar-07	0,42
			set-07	0,41
			mar/08	0,44
			out/08	0,44
			mar/09	0,53
			set/09	0,75
58	Itirapina	Guarani	mar-98	0,09
	P1, DAEE/Pref.		set-98	< 0,04
			abr-99	< 0,02
			set-99	< 0,02
			mar-00	0,06
			out-00	0,01
			mar/01	0,22
			set/01	1,00
			mar/02	0,66
			set/02	0,09
			nov/03	1,00
			mar-04	0,81

			set-04	0,13
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,20
			mar-06	0,67
			set-06	0,25
			mar-07	0,51
			set/08	< 0,20
			mar/09	< 0,20
			set/09	0,24
64	Macatuba	Guarani	mar-98	0,19
	Matadouro, SABESP		set-98	< 0,03
			abr-99	< 0,30
			set-99	< 0,30
64	Macatuba	Guarani	jan-00	< 0,30
	Matadouro, SABESP		out-00	< 0,30
			mar/01	< 0,30
			set/01	< 0,30
			mar/02	2,87
			set/02	< 0,30
			mai/03	< 0,30
			set/03	< 0,30
			mar-04	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	< 0,20
			set-06	1,88
			mar-07	2,46
			set-07	< 0,30
			mar/08	< 0,30
			set/08	0,21
			mar/09	0,12
			set/09	< 0,10
92	Pederneiras	Guarani	mar-98	< 0,03
	Vanglória, SABESP		set-98	< 0,03
			abr-99	< 0,30
			set-99	< 0,30
			jan-00	< 0,30
			set-00	< 0,30
			mar/01	< 0,30

			set/01	< 0,30
			mar/02	< 0,03
			set/02	< 0,30
			mai/03	< 0,30
			set/03	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	< 0,20
			set-06	< 0,30
			mar-07	3,09
			set-07	< 0,30
			mar/08	< 0,30
			set/08	0,12
			mar/09	< 0,10
			set/09	< 0,10
111	Ribeirão Bonito	Guarani	mar-98	3,30
	Jd. Centenário, Pref.		set-98	0,68
			abr-99	0,57
			set-99	6,10
			mar-00	6,33
			out-00	2,72
111	Ribeirão Bonito	Guarani	mar/01	6,60
	Jd. Centenário, Pref.		set/01	4,54
			mar/02	4,92
			set/02	6,19
			mai/03	3,85
			nov/03	2,44
			mar-04	3,40
			set-04	5,00
			mar-05	< 0,20
			set-05	4,67
			mar-06	0,82
			set-06	6,93
			mar-07	6,07
			set-07	6,39
			mar/08	6,72
			set/08	6,37
			mar/09	0,80
			set/09	7,10

-	São Manuel	Guarani	mar-98	< 0,03
	P2, SABESP		set-98	0,08
	(Desativado)		abr-99	0,04
			set-99	< 0,30
159	São Manuel	Guarani	set/03	< 0,30
	P3		mar-04	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	< 0,20
			set-06	< 0,30
			mar-07	3,84
			set-07	< 0,30
			mar/08	< 0,30
			set/08	0,10
			mar/09	0,13
			set/09	< 0,10
-	Agudos	Guarani	mar-98	< 0,03
	P21, DAEE/SAEE		set-98	< 0,03
	(Desativado)		abr-99	0,04
			set-99	< 0,30
160	Agudos	Guarani	mar/02	3,81
	P15		set/03	< 0,30
			mar-04	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	< 0,20
			set-06	< 0,30
160	Agudos	Guarani	mar-07	3,96
	P15		set-07	< 0,30
			mar/08	< 0,30
			set/08	< 0,10
			mar/09	0,08
			set/09	< 0,10
205	Araraquara	Guarani	set/06	< 0,20
	Poço Santana		mar/07	< 0,20
			set/07	< 0,20
			mar/08	< 0,20

			set/08	< 0,20
			mar/09	0,21
			set/09	< 0,20

Resultados das análises das águas subterrâneas (parâmetro Nitrogênio-Nitrato) nos pontos monitorados pela CETESB na UGRHI 13 no Aquífero Serra Geral no período 1998-2009

Ponto	Município	Aquífero	Campanha	Nitrato (mg/L)
15	Boracéia	Serra Geral	mar-98	0,15
	P1, SABESP		set-98	0,16
			abr-99	< 0,30
			set-99	< 0,30
			jan-00	< 0,30
			set/00	< 0,30
			mar/01	0,35
			set/01	< 0,30
			mar/02	0,323
			set/02	< 0,30
			mai/03	< 0,30
			set/03	< 0,30
			mar-04	< 0,30
			set-04	< 0,30
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	0,21
			set-06	< 0,30
			mar-07	5,25
			set-07	< 0,30
			mar-08	< 0,30
			set-08	0,19
			mar-09	0,17
33	Dourado	Serra Geral	mar-98	0,33
	P3, SABESP		set-98	0,34
	Estr. Matadouro		abr-99	0,40
			mar-00	0,42
			out-00	0,16
			mar/01	0,33
			set/01	0,48
			mar/02	0,50
			set/02	0,47
			mai/03	< 0,05

			nov/03	0,44
33	Dourado	Serra Geral	mar-04	0,29
	P3, SABESP		set-04	0,53
			mar-05	< 0,20
			mar-06	7,910
			set-06	0,78
			mar-07	0,68
			set-07	0,76
			mar/08	0,73
			out/08	0,78
			mar/09	7,03
			set/09	0,76
93	Pederneiras	Serra Geral	mar-98	1,51
	P2, SABESP		set-98	0,38
			abr-99	0,92
			set-99	< 0,30
			jan-00	2,96
			set/00	0,63
			mar/01	1,82
			set/01	0,40
			mar/02	1,81
			set/02	1,01
			mai/03	1,36
			set/03	0,395
			mar-04	0,908
			set-04	0,582
			mar-05	< 0,20
			set-05	< 0,30
			mai-06	1,11
			set-06	< 0,30
			mar-07	3,66
			set-07	1,00
			mar/08	1,68
			set/08	0,56
			mar/09	1,43
			set/09	0,92

## ANEXO 2

Poço	Município	Coordenadas UTM		Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Aquifero explorado	Profundidade (m)	Concentração de Nitrato (mg/L)	Data da Análise	Uso da Água	
		km N	km E							
1	157	Lençóis Paulista	7499,35	728,58	12,0	Serra Geral	178	0,05	12/03/1998	doméstico/sanitário
2	3	Araraquara	7584,02	786,82	9,60	Bauru	96,0	0,52	11/08/1998	domestico/rural
3	45	Araraquara	7585,87	788,69	12,00	Guarani	152,00	0,04	11/08/1998	rural/domestico
4	92	Brotas	7535,26	201,46	3,00	Guarani	57,70	0,50	13/12/1998	sanitário/predial
5	19	Bauru	7525,00	700,82	1,00	Bauru	70,0	1,30	16/08/1999	sanitario/predial
6	7	Bauru	7524,83	702,02	9,00	Bauru	147,3	0,10	08/11/1999	paisagismo/recreativo
7	53	São Carlos	7578,25	194,00	3,00	Guarani	170,00	0,02	24/02/2000	sanitario/rural
8	28	Agudos	7522,35	704,10	1,00	Bauru	40,0	0,69	11/04/2000	sanitário
9	8	Bauru	7534,76	696,55	3,80	Bauru	121,0	2,20	18/05/2000	sanitário/irrigação
10	9	Bauru	7534,26	695,91	16,20	Bauru		2,20	18/05/2000	sanitário/irrigação
11	10	Bauru	7534,03	695,90	4,90	Bauru		0,80	18/05/2000	sanitário/irrigação
12	11	Bauru	7534,76	696,69	7,50	Bauru	153,0	1,20	18/05/2000	sanitário
13	1	Araraquara	7596,95	794,25	1,00	Bauru	40,0	0,36	12/07/2000	sanitario/rural
14	93	Brotas	7534,64	804,88	3,00	Guarani	147,00	3,00	17/07/2000	doméstico/sanitário
15	122	Gavião Peixoto	7590,33	762,60	20,00	Guarani	205,00	0,34	18/08/2000	sanitário
16	123	Gavião Peixoto	7593,66	763,36	13,00	Guarani	102,00	0,35	18/08/2000	irrigação
17	124	Gavião Peixoto	7593,49	763,33	11,00	Guarani	114,00	0,35	18/08/2000	irrigação
18	125	Gavião Peixoto	7597,12	771,65	14,00	Guarani	120,00	0,35	18/08/2000	domestico
19	160	Nova Europa	7590,24	752,98	8,0	Serra Geral	229	9,40	25/08/2000	rural (dessedentação)
20	41	Pederneiras	7529,85	710,34	2,00	Bauru	68,2	1,03	20/02/2001	doméstico/sanitário
21	86	Bocaina	7546,50	749,85	9,00	Guarani	120,00	0,07	20/02/2001	doméstico/sanitário
22	54	São Carlos	7567,16	196,76	31,50	Guarani	270,00	0,01	22/02/2001	industrial/sanitario
23	4	Araraquara	7589,75	795,90	1,00	Bauru	36,0	0,70	20/03/2001	rural
24	140	Jaú	7537,57	753,77	2,6	Serra Geral	36	0,50	20/03/2001	domiciliar
25	136	Araraquara	7589,80	767,00	4,5	Serra Geral	210	0,08	18/04/2001	sanitário
26	89	Brotas	7547,16	199,27	3,00	Guarani	50,00	0,01	06/08/2001	sanitário/outs
27	90	Brotas	7544,55	198,73	13,00	Guarani	103,00	0,72	06/08/2001	sanitário/outs
28	159	Lençóis Paulista	7495,91	730,39	26,0	Serra Geral	120	0,26	15/08/2001	sanitário

29	74	Boa Esperança do Sul	7569,69	754,72	10,00	Guarani	150,00	0,01	08/10/2001	pulverização
30	75	Boa Esperança do Sul	7568,09	752,81	8,00	Guarani	100,00	0,03	08/10/2001	pulverização
31	150	Gavião Peixoto	7587,37	772,18	10,0	Serra Geral	158	0,03	08/10/2001	rural
32	158	Lençóis Paulista	7488,18	733,61	5,0	Serra Geral	264	1,00	12/11/2001	doméstico/sanitário
33	5	Araraquara	7578,24	801,25	10,47	Bauru	60,0	10,00	10/12/2001	domestico/sanitario
34	44	Araraquara	7589,45	781,77	8,90	Guarani	206,00	3,90	10/12/2001	domestico/sanitario
35	156	Itaju	7569,11	721,57	3,5	Serra Geral	320	0,72	13/02/2002	doméstico sanitário/dessed. Animais
36	88	Brotas	7534,55	796,73	10,00	Guarani	204,00	0,07	05/03/2002	rural
37	73	Boa Esperança do Sul	7572,48	769,25	40,00	Guarani	190,00	3,10	09/05/2002	domestico
38	56	São Carlos	7575,59	197,98	4,00	Guarani	195,00	0,05	17/06/2002	sanitario/industrial
39	58	São Carlos	7565,22	202,83	115,00	Guarani	405,00	0,23	04/07/2002	sanitário
40	120	Gavião Peixoto	7592,25	769,09	80,00	Guarani	320,00	0,07	19/12/2002	sanitario
41	59	São Carlos	7572,76	199,79	23,00	Guarani	100,00	0,02	08/01/2003	doméstico/sanitário
42	147	Brotas	7525,04	797,06	4,0	Serra Geral	103	2,10	28/02/2003	sanitario
43	46	Araraquara	7572,86	798,29	4,00	Guarani	150,50	1,20	26/09/2003	doméstico/sanitário
44	60	São Carlos	7572,74	199,15	25,00	Guarani	120,00	0,12	30/09/2003	sanitario
45	145	Barra Bonita	7508,30	753,80	25,0	Serra Geral	150	0,90	01/03/2004	domestico/sanitario
46	47	Araraquara	7592,15	797,27	40,00	Guarani	440,00	0,04	12/03/2004	sanitário/industrial
47	91	Brotas	7534,85	786,36	10,00	Guarani	102,00	0,11	04/04/2004	irrigação/sanitário
48	85	Bocaina	7553,34	746,72	35,00	Guarani	142,15	3,40	11/06/2004	irrigação
49	30	Boa Esperança do Sul	7576,25	768,67	2,00	Bauru	18,0	5,00	21/07/2004	rural
50	161	Nova Europa	7585,32	746,60	12,0	Serra Geral	42	0,80	02/08/2004	doméstico/sanitário
51	162	Nova Europa	7585,32	746,74	34,0	Serra Geral	42	3,70	02/08/2004	doméstico/sanitário
52	164	Pederneiras	7531,12	717,12	5,0	Serra Geral	156	1,30	15/09/2004	doméstico/rural
53	143	São Carlos	7566,68	197,87	4,0	Serra Geral	90	1,10	30/09/2004	sanitario/industrial
54	6	Bauru	7531,36	706,04	4,60	Bauru	56,0	0,08	20/12/2004	irrigação
55	105	Brotas	7538,42	777,47	12,50	Guarani	210,00	0,10	18/02/2005	doméstico/irrigação
56	106	Brotas	7537,86	776,33	20,00	Guarani	210,00	0,15	19/02/2005	doméstico/irrigação
57	107	Dois Córregos	7538,64	775,22	12,00	Guarani	220,00	0,09	20/02/2005	doméstico/irrigação

58	108	Brotas	7539,96	775,97	3,50	Guarani	26,00	0,07	21/02/2005	doméstico/irrigação
59	27	Agudos	7515,56	709,51	6,00	Bauru	130,0	0,40	16/03/2005	sanitário/industrial
60	62	Agudos	7515,44	709,54	30,00	Guarani	280,00	0,10	17/03/2005	sanitário/industrial
61	63	Agudos	7515,29	709,56	30,00	Guarani	280,00	0,10	17/03/2005	sanitário/industrial
62	87	Brotas	7535,37	794,75	3,00	Guarani	65,00	0,70	21/03/2005	doméstico/sanitário
63	15	Bauru	7534,20	695,77	5,00	Bauru	80,0	0,06	01/04/2005	domestico/rural
64	110	Dois Córregos	7527,24	767,68	16,00	Guarani	310,00	0,10	03/05/2005	sanitário
65	2	Araraquara	7597,07	789,50	4,80	Bauru		0,30	06/05/2005	doméstico
66	61	Agudos	7517,80	715,99	16,00	Guarani	115,00	0,27	04/08/2005	irrigação/rural
67	138	Araraquara	7584,89	792,86	1,8	Serra Geral	130	0,10	04/08/2005	sanitário/irrigação
68	18	Bauru	7545,54	684,34	8,00	Bauru	120,0	0,23	09/08/2005	domestico/sanitario
69	116	Gavião Peixoto	7591,07	770,11	478,00	Guarani	355,00	0,30	26/08/2005	irrigação
70	117	Gavião Peixoto	7591,63	771,10	475,00	Guarani	355,00	0,30	26/08/2005	irrigação
71	118	Gavião Peixoto	7591,02	765,49	350,00	Guarani	350,00	0,20	26/08/2005	industrial
72	119	Gavião Peixoto	7591,42	766,07	475,00	Guarani	354,00	0,20	26/08/2005	industrial
73	17	Bauru	7534,85	700,29	1,00	Bauru	70,0	0,10	01/09/2005	domestico
74	51	Jaú	7524,31	738,13	94,00	Guarani	430,00	0,20	31/10/2005	industrial
75	66	Barra Bonita	7512,18	754,28	11,00	Guarani	285,00	2,70	31/10/2005	sanitário/doméstico
76	132	Pederneiras	7526,26	733,93	400,00	Guarani	406,00	0,20	01/11/2005	industrial/sanitário
77	104	Dois Córregos	7536,23	784,10	3,00	Guarani	57,70	0,40	29/11/2005	comércio/serviços
78	144	Barra Bonita	7511,88	753,77	4,0	Serra Geral	170	2,40	30/11/2005	sanitário/doméstico
79	146	Bocaina	7554,21	760,14	8,0	Serra Geral	90	1,40	01/12/2005	industrial
80	139	Jaú	7530,37	734,60	4,0	Serra Geral	156	0,80	02/12/2005	comercio/servicos
81	26	Agudos	7513,97	705,91	1,00	Bauru	7,0	0,50	13/12/2005	unifamiliar
82	130	Itaju	7575,34	734,27	5,00	Guarani		0,01	16/12/2005	doméstico
83	83	Bocaina	7550,26	755,32	7,50	Guarani	183,00	1,07	30/12/2005	humano/sanitário
84	84	Bocaina	7546,23	750,02	1,50	Guarani	24,00	0,09	09/01/2006	industrial/sanitário
85	133	Pederneiras	7526,49	734,52	400,00	Guarani	440,00	0,10	13/01/2006	industrial/sanitário
86	100	Brotas	7535,72	782,72	9,91	Guarani	100,00	0,28	16/01/2006	rural
87	50	Jaú	7524,32	741,41	42,26	Serra Geral/Guarani	101,00	0,27	17/01/2006	irrigacao/sanitario
88	101	Brotas	7536,04	782,79	8,34	Guarani	100,00	0,26	17/01/2006	rural
89	102	Brotas	7536,97	782,27	11,76	Guarani	100,00	0,30	18/01/2006	rural

90	103	Brotas	7537,89	781,89	1,83	Guarani	30,00	0,28	19/01/2006	rural
91	36	Itaju	7575,79	726,12	10,00	Bauru/Serra Geral	96,0	0,28	24/01/2006	comércio/serviços
92	72	Ribeirão Bonito	7568,84	782,45	4,00	Guarani	100,00	2,80	08/03/2006	irrigação
93	129	Ibaté	7577,61	808,79	12,00	Guarani	100,00	0,00	20/03/2006	irrigação/sanitário
94	141	São Carlos	7565,13	202,81	50,0	Serra Geral	130	2,27	25/04/2006	industrial
95	23	Bauru	7533,75	698,33	2,21	Bauru	68,0	1,40	01/06/2006	comercio/servicos
96	152	Iacanga	7587,93	705,45	37,8	Serra Geral	310	2,00	05/06/2006	sanitário/doméstico consumo
97	148	Brotas	7537,29	784,03	6,3	Serra Geral	85	0,05	07/06/2006	humano/sanitário
98	43	Araraquara	7588,50	776,50	14,00	Guarani	116,00	0,30	03/07/2006	domestico/sanitario irrigação/consumo
99	137	Araraquara	7590,60	790,80	28,8	Serra Geral	60	0,05	01/08/2006	humano
100	153	Iacanga	7573,73	713,03	18,0	Serra Geral	100	0,05	18/08/2006	sanitário/doméstico
101	76	Ibitinga	7579,17	736,65	22,00	Guarani		0,05	28/08/2006	sanitário/pulverização
102	77	Ibitinga	7578,99	737,57	33,00	Guarani	153,00	0,05	29/08/2006	pulverização
103	78	Boa Esperança do Sul	7579,61	744,91	22,00	Guarani	151,90	0,05	30/08/2006	pulverização
104	79	Ibitinga	7579,33	740,61	4,00	Guarani		0,05	31/08/2006	pulverização
105	80	Boa Esperança do Sul	7573,15	746,15	23,00	Guarani		0,05	01/09/2006	pulverização
106	81	Boa Esperança do Sul	7571,44	747,23	20,00	Guarani		0,05	02/09/2006	pulverização
107	82	Boa Esperança do Sul	7579,59	749,39	13,00	Guarani	132,00	0,05	03/09/2006	pulverização
108	12	Bauru	7523,53	703,05	4,00	Bauru	130,0	0,10	11/09/2006	industrial
109	16	Bauru	7523,73	703,05	2,50	Bauru	115,0	0,10	20/09/2006	industrial
110	31	Dois Córregos	7533,23	772,87	2,60	Bauru	96,0	0,05	29/09/2006	rural
111	13	Bauru	7525,36	702,36	5,00	Bauru	100,0	0,10	13/10/2006	sanitario

11											
2	64	Agudos	7511,65	715,50	120,00	Guarani	250,00	0,10	13/11/2006	industrial/sanitário	
11											
3	65	Agudos	7510,73	712,41	100,00	Guarani	250,00	0,10	13/11/2006	industrial/sanitário	
11											
4	49	Jaú	7531,08	751,87	2,00	Guarani	414,00	0,40	16/11/2006	industrial	
11											
5	121	Gavião Peixoto	7591,94	769,06	62,00	Guarani	320,00	0,08	20/11/2006	sanitário	
11											
6	20	Bauru	7531,66	699,95	1,25	Bauru		2,49	21/12/2006	rural	
11											
7	155	Itaju	7570,81	726,29	5,0	Serra Geral	192	0,30	27/12/2006	doméstico/industrial	
11											
8	21	Bauru	7528,66	696,37	2,00	Bauru	35,0	1,00	31/01/2007	irrigação/sanitário	
11											
9	22	Bauru	7528,62	696,39	3,00	Bauru	40,0	1,00	31/01/2007	irrigação	
12											
0	97	Brotas	7528,77	790,44	1,00	Guarani	94,00	1,50	07/02/2007	doméstico/sanitário	
12											
1	42	Araraquara	7583,50	775,90	10,00	Guarani	150,00	1,50	11/02/2007	irrigação	
12											
2	98	Brotas	7537,79	195,22	21,00	Guarani	51,14	2,90	28/03/2007	rural/sanitário	
12											
3	99	Brotas	7537,88	195,40	21,00	Guarani	96,17	6,10	29/03/2007	rural/sanitário (dessedentação)	
12											
4	69	Boa Esperança do Sul	7564,14	765,68	33,00	Guarani	84,00	0,10	03/04/2007	irrigação	
12											
5	70	Boa Esperança do Sul	7576,49	748,89	1,50	Guarani	85,00	0,20	04/04/2007	consumo/sanitário	
12											
6	71	Boa Esperança do Sul	7573,65	750,16	1,50	Guarani	100,00	0,50	04/04/2007	consumo/sanitário	
12											
7	24	Agudos	7512,53	710,23	4,50	Bauru	72,0	6,00	13/04/2007	rural (Sanitário)	
12											
8	115	Gavião Peixoto	7597,20	771,64	20,00	Guarani	120,00	0,11	30/04/2007	domestico/sanitário	
12											
9	34	Itaju	7570,83	725,54	7,00	Bauru/Serra Geral	127,0	1,80	03/05/2007	rural	

13	0	35	Itaju	7571,33	725,32	35,00	Bauru/Serra Geral	317,0	1,70	03/05/2007	irrigação
13	1	39	Lençóis Paulista	7496,22	721,97	2,00	Bauru		0,90	03/05/2007	doméstico
13	2	33	Itaju	7573,05	727,19	16,00	Bauru/Serra Geral	132,0	1,60	11/06/2007	irrigação/sanitário
13	3	127	Ibaté	7566,96	799,42	18,30	Guarani	120,00	0,29	19/06/2007	industrial/sanitário
13	4	96	Brotas	7534,29	791,43	15,00	Guarani	108,00	0,20	25/06/2007	rural
13	5	68	Boa Esperança do Sul	7571,84	764,65	29,51	Guarani	104,00	0,13	02/07/2007	irrigação
13	6	29	Agudos	7569,70	760,25	1,98	Bauru	27,0	0,06	05/07/2007	doméstico/sanitário
13	7	134	Ribeirão Bonito	7564,71	788,46	100,00	Guarani	173,00	6,00	14/07/2007	irrigação
13	8	135	Ribeirão Bonito	7564,73	788,39	90,00	Guarani	150,00	5,50	14/07/2007	irrigação
13	9	128	Ibaté	7578,90	808,65	30,00	Guarani	90,00	0,15	03/08/2007	irrigação/sanitário
14	0	113	Dourado	7558,85	773,49	6,32	Guarani	80,00	5,64	14/08/2007	sanitário/industrial
14	1	114	Dourado	7559,70	774,14	12,60	Guarani	74,00	1,90	14/08/2007	sanitário/industrial
14	2	38	Lençóis Paulista	7507,86	724,07	7,50	Bauru	74,0	0,02	09/10/2007	rural
14	3	67	Boa Esperança do Sul	7576,10	764,90	300,00	Guarani	281,70	1,70	28/11/2007	irrigação/pulverização
14	4	163	Pederneiras	7525,20	735,77	10,0	Serra Geral	110	0,13	11/02/2008	industrial
14	5	149	Dois Córregos	7529,44	770,45	30,0	Serra Geral	200	0,68	14/03/2008	irrigação
14	6	154	Itaju	7565,83	721,87	4,0	Serra Geral	540	0,13	04/04/2008	irrigação
14	7	94	Brotas	7534,27	791,47	15,00	Guarani	100,00	0,20	28/04/2008	rural

14	8	95	Brotas	7535,15	794,31	8,00	Guarani	101,50	0,08	29/04/2008	rural/sanitário
14	9	111	Dourado	7557,33	766,07	1,00	Guarani	50,00	2,00	21/08/2008	doméstico
15	0	112	Dourado	7557,35	766,13	1,00	Guarani	50,00	2,00	21/08/2008	rural
15	1	37	Lençóis Paulista	7495,58	722,27	2,50	Bauru	47,0	0,20	04/09/2008	irrigação
nº	Poço*										
-	180		São Manuel	7484,30	749,00	200,00	Guarani	386	0,08	set/98	Abastecimento público
-	181		Agudos	7513,50	709,60	35,00	Guarani	183	0,04	abr/99	Abastecimento público
64	175		Macatuba	7511,75	735,50	88,00	Guarani	258	2,87	mar/02	Abastecimento público
58	169		Itirapina	7536,55	210,20	132,00	Guarani	110	1,00	nov/03	Abastecimento público
9	179		Araraquara	7586,25	797,30	180,00	Guarani	256	0,08	mar/04	Abastecimento público
48	167		Ibaté	7569,25	190,15	170,00	Guarani	338	0,36	mar/04	Abastecimento público
13	172		Bauru	7530,85	709,90	250,00	Guarani	310	11,70	mar/04	Abastecimento público
33	166		Dourado	7550,80	777,50	-	Serra Geral	120	7,91	mar/06	Abastecimento público
57	168		Itirapina	7549,20	210,90	70,00	Guarani	100	0,75	set/09	Abastecimento público
11	170		Ribeirão Bonito	7557,15	790,60	-	Guarani	85	7,10	set/09	Abastecimento público
32	174		Dois Córregos	7523,20	769,75	140,00	Guarani	558	0,64	set/06	Abastecimento público
16	171		Agudos	7513,55	707,90	-	Guarani	96	3,96	mar/07	Abastecimento público
15	173		Boracéia	7544,30	728,50	-	Serra Geral	200	5,25	mar/07	Abastecimento público
92	176		Pederneiras	7516,05	728,85	22,00	Guarani	170	3,09	mar/07	Abastecimento público
93	177		Pederneiras	7543,90	718,95	-	Serra Geral	237	3,66	mar/07	Abastecimento público
15	9	178	São Manuel	7485,40	749,45	-	Guarani	197	3,84	mar/07	Abastecimento público
20	5	165	Araraquara	7587,55	790,01	-	Guarani	390	0,21	mar/09	Abastecimento público

\*Poços de Monitoramento da CETESB na UGRHI 13

### ANEXO 3

