Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

Mestrado
Engenharia Civil e Ambiental

HELENA DE MELLO CANATO

HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE BAURU/SP

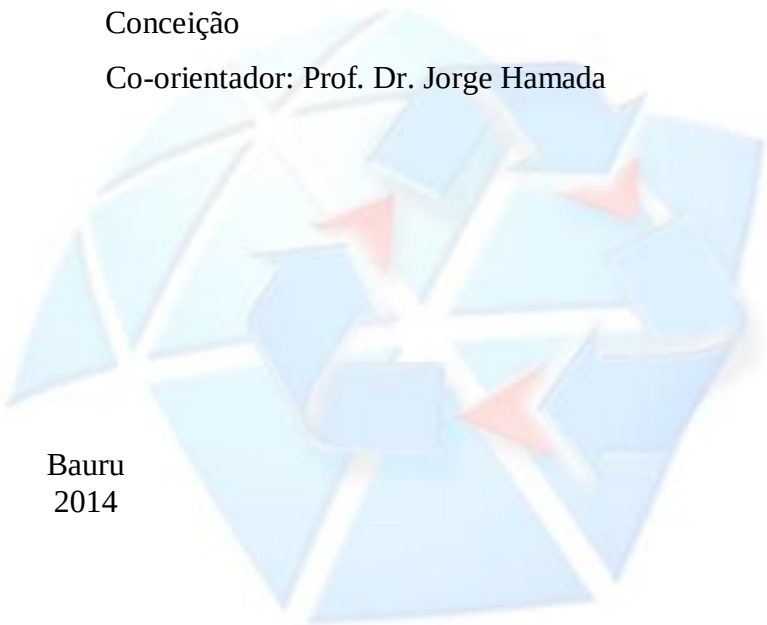
Bauru
2014

HELENA DE MELLO CANATO

HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE BAURU/SP

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
Co-orientador: Prof. Dr. Jorge Hamada



Bauru
2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

Canato, Helena de Mello.

Hidrogeoquímica do aquífero Adamantina na área urbana do município de Bauru. / Helena de Mello Canato, 2014

73 f.

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014

1. Qualidade da água subterrânea. 2. Interação água-rocha. 3. Aquífero Adamantina. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

Dedico este trabalho à minha mãe,
meu pai (in memoriam), Mariza e Vitor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as oportunidades de crescimento nessa jornada.

À minha família que sempre acreditou em mim, até mesmo quando eu duvidava da minha capacidade. Obrigada por tudo mãe, Mariza, Mario, Isabella, Lena, vó, Michele, Marília, Murilo e tio. Vocês são meus alicerces! Mesmo não estando presente fisicamente, obrigada pai por me orientar aí de cima!

Ao meu companheiro de alegrias e aprendizados, Vitor, por estar ao meu lado em todos os momentos, me incentivando e apoiando minhas decisões!

Ao meu orientador, Fabiano Tomazini, por toda paciência e competência durante estes anos e ao meu co-orientador Jorge Hamada por ser tão solicito nas etapas em Bauru.

Aos meus amigos queridos Martinzão, Anahi, Thiara, Flávia, Vanessa, Fernanda, Marina (e toda sua república em Rio Claro), Karen (e sua família linda) por me incentivar, orientar e compartilhar os momentos mais importantes da minha vida!

À minha sogra Nina pelas motivações constantes e à minha tia Rose e toda sua família por me adotar durante este período!

Aos funcionários e professores do programa de Pós Graduação da FEB por me auxiliarem em todos os momentos.

À CAPES (Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa pesquisa de mestrado.

HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO ADAMANTINA NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE BAURU/SP

Resumo

Neste trabalho buscou-se avaliar as influências naturais e antrópicas na qualidade da água subterrânea na área urbana de Bauru, interior do Estado de São Paulo. Para tal, foram selecionados 24 pontos de amostragem de águas subterrâneas no Aquífero Adamantina, Sistema Aquífero Bauru, analisando-se os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, temperatura, pH, HCO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-, F^-, $N\text{-}NO_3^-$, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Si^{4+}, Fe^{3+} e Al^{3+}. Os resultados indicaram que as águas subterrâneas na área urbana de Bauru possuem pH ligeiramente ácido e baixa condutividade, com sua composição iônica apresentado baixa concentração de cátions e ânions, sendo elas classificadas como moles ou moderadamente duras e bicarbonatadas cálcicas. As fontes naturais de elementos/compostos podem ser atribuídas a dissolução dos carbonatos, durante o processo de interação água/rocha, controlando o pH, alcalinidade, condutividade elétrica e hidrólise dos demais minerais constituintes das rochas sedimentares da Formação Adamantina, com exceção do quartzo. As elevadas concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ encontradas em alguns poços de abastecimento público na área urbana de Bauru são originadas devido às atividades antrópicas, oriundas do esgotamento sanitário.

Palavras-chave: qualidade da água subterrânea, interação água-rocha, fontes antrópicas, Aquífero Adamantina.

Abstract

This work evaluated the natural and anthropogenic influences in the quality of groundwater in the urban area of Bauru, São Paulo State. Twenty four sampling points were established in the Adamantina Aquifer, Bauru Aquifer System, analyzing the following parameters: electrical conductivity, temperature, pH, HCO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-, F^-, $N\text{-}NO_3^-$, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Si^{4+}, Fe^{3+} and Al^{3+}. The results indicated that the groundwaters in the urban area of Bauru possess pH slightly acid and low conductivity, with the ionic composition presents low cations and anions concentration, being they classified as soft water and calcium-bicarbonated. Natural sources of elements/compounds can be attributed to the dissolution of carbonates during the water/rock interaction, controlling pH, alkalinity, electrical conductivity and hydrolysis of other mineral constituents of sedimentary rocks from Adamantina Formation, with the exception of quartz. High concentrations of $N\text{-}NO_3^-$ found in some public supply wells in urban Bauru originated due to sewage.

Keywords: Quality of groundwater, water/rock interactions, anthropogenic sources, Adamantina Aquifer.

Índice de Figuras

Figura 1 – Uso da água para abastecimento público no Estado de São Paulo.....2
Figura 2 – Localização do município de Bauru.....8
Figura 3 – Uso e cobertura da terra no município de Bauru 10
Figura 4 – Coluna estratigráfica da município de Bauru.....12
Figura 5 – Geologia do município de Bauru.....13
Figura 6 – Pedologia do município de Bauru.....15
Figura 7 – Declividade no município de Bauru.....16
Figura 8 – Hidrografia do município de Bauru.....17
Figura 9 – Bacias hidrográficas do município de Bauru.....19
Figura 10 – Distribuição de água no subsolo.....21
Figura 11 – Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha.....24
Figura 12 – Esquema de aquíferos livres, confinados e suspensos.....25
Figura 13 – Limites do SAB no estado de São Paulo.....26
Figura 14 – Localização dos pontos coletados.....34
Figura 15 – Localização dos pontos amostrados utilizados no estudo de Silva (2009).....35
Figura 16 – Captação de água em poço do Aquífero Adamantina.....36
Figura 17 – Sonda multi – parâmetros no ponto de amostragem.....37
Figura 18 – Temperatura da água nas amostras coletadas.....42
Figura 19 – Resultados para condutividade da água nas amostras.....42
Figura 20 – Resultados de oxigênio dissolvido nas amostras coletadas.....43
Figura 21 - Valores de pH encontrados nas amostras.....44
Figura 22 – Valores de nitrato encontrados nas amostras.....45

Figura 23 – Valores de fosfato encontrados nas amostras 45
Figura 24 – Valores de sulfato encontrados nas amostras 46
Figura 25 – Valores para alcalinidade encontrados nas amostras 46
Figura 26 – Diagrama de Piper para as águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru.....50
Figura 27 - Índice de saturação da calcita (a), diagrama de estabilidade à 25ºC NaO-Al_2O_3-Si_2O-H_2O (b), CaO-Al_2O_3-Si_2O-H_2O (c) e K_2O-Al_2O_3-Si_2O-H_2O (d) para as amostras de água subterrânea coletadas na área urbana do município de Bauru.....52

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Distribuição de água nos principais reservatórios naturais.....1
Tabela 2 – Competências dos órgãos estaduais estipulados pela Lei 3.134/88 do Estado de São Paulo em relação às águas subterrâneas.....6
Tabela 3 – População urbana e rural no município de Bauru.....9
Tabela 4 – Dados climatológicos para o município de Bauru.....11
Tabela 5 – Valores de porosidade e permeabilidade de algumas rochas.....22
Tabela 6 – Caracterização das unidades hidroestratigráficas.....27
Tabela 7 – Principais parâmetros hidrodinâmicos do SAB 30
Tabela 8 – Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Adamantina.....31
Tabela 9 – Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Adamantina.....32
Tabela 10 – Relação dos poços amostrados.....39
Tabela 11 - Resultados das análises realizadas pela sonda multi – parâmetros.....40
Tabela 12 – Resultados das análises realizadas no LAGEA.....41
Tabela 13 – Resultados dos ânions (mg/L) obtidos para a avaliação da qualidade de água subterrânea na área urbana do município de Bauru.....47
Tabela 14 – Resultados dos cátions (mg/L) obtidos para a avaliação da qualidade de água subterrânea na área urbana do município de Bauru.....48
Tabela 15 – Classificação de dureza das águas (Sawyer et al, 2000).....49
Tabela 16 - Matriz de correlação obtida pela função de Pearson ($P<0,01$) para os resultados obtidos para os diversos parâmetros quantificados nas águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru. Não foram feitas as correlações envolvendo SO_4^{2-}, Cl^- e F^-, pois os valores mensurados ficaram abaixo do limite de detecção.....51

Sumário

RESUMO I

ABSTRACT II

ÍNDICE DE FIGURAS III

ÍNDICE DE TABELAS V

SUMÁRIO VI

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 4

3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL 5

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 8

4.1 Localização e uso e ocupação do solo 8

4.2 Clima 10

4.3 Geologia e Pedologia 12

4.4 Geomorfologia 15

4.5 Hidrografia 17

5 ÁGUA SUBTERRÂNEA 20

5.1 Tipos de aquíferos 22

6 SISTEMA AQUÍFERO BAURU 25

6.1 Aquífero Adamantina 29

7 MATERIAIS E MÉTODO 33

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO 40

8.1 Análises físico-químicas 40

8.2 Composição aniônica e catiônica 47

8.3 Classificação das águas subterrâneas 49

8.4 Testes estatísticos e especiação hidrogeoquímica 50

9 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS 54

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55

1 INTRODUÇÃO

A água é uma das substancias mais comuns e importantes existente na natureza, participando dos processos modeladores, tanto pela dissolução dos materiais terrestres quanto pelo transporte de partículas. Sua importância é comprovada ainda pela comparação entre as áreas cobertas de gelo e água na superfície terrestre (TEIXEIRA, W. et al, 2008), como visto na tabela 1, em que apenas 4% de toda água do planeta é constituído por águas subterrâneas. Entretanto, esse valor corresponde a grande parte da água doce disponível na Terra.

Tabela 1: Distribuição de água nos principais reservatórios naturais.

RESERVATÓRIO	**VOLUME (Km^3x10^6)**	**VOLUME (%)**	**TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA**
Oceanos	1.370	94	4.000 anos
Geleiras e capas de gelo	30	2	10 – 1000 anos
Águas subterrâneas	60	4	2 semanas a 10.000 anos
Lagos, rios, pântanos e reservatórios artificiais	0,2	<0,01	2 semanas a 10 anos
Umidade nos solos	0,07	<0.01	2 semanas a 1 ano
Biosfera	0,0006	<0,01	1 semana
Atmosfera	0,0130	<0.01	10 dias

Fonte: Teixeira, W. et al, 2008.

Segundo Teixeira, W. et al (2008), água subterrânea é “toda aquela que ocupa vazios em formações rochosas ou no regolito”. As águas subterrâneas são de grande importância no cenário mundial, já que as águas superficiais sofrem constantes alterações a

partir disposição inadequada de esgotos, fertilizantes químicos, derramamentos acidentais, assoreamento de rios, etc.

As vantagens do uso das águas subterrâneas são inúmeras: não necessitam de tratamentos químicos em sua grande maioria; facilidade de exploração; economia de taxas; comercialização do produto (águas minerais); quantidade oferecida (29,9% da água doce disponível na Terra está no subsolo, segundo Feitosa e Filho, 1997).

Existe uma crescente preocupação em relação à qualidade das águas subterrâneas, já que no Estado de São Paulo, dos 645 municípios (Figura 1), 462 municípios (71,6%) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 deles (47,7%) são municípios totalmente abastecidos por este recurso hídrico. (ANA 2005)

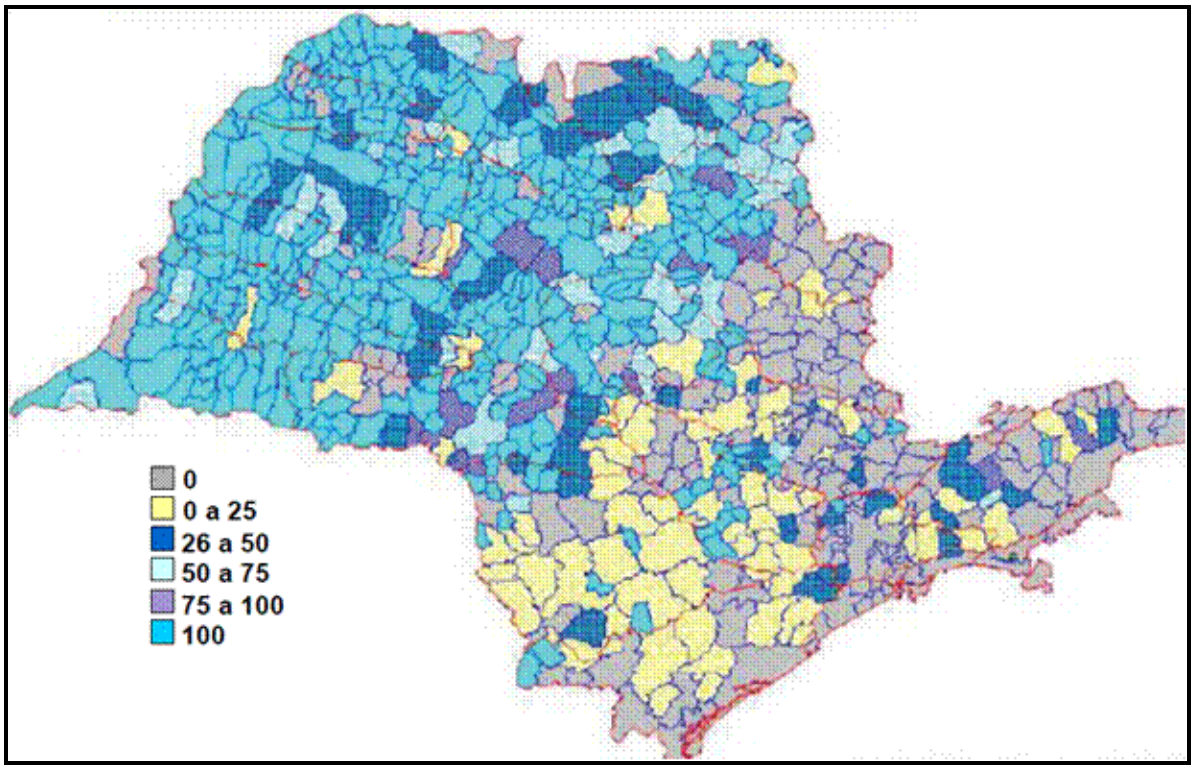


Figura 1: Uso da água subterrânea para abastecimento público no Estado de São Paulo. Fonte: CETESB (2004).

O uso de águas subterrâneas no Estado de São Paulo para abastecimento público e privado é grande devido ao aumento do consumo. Para se obter uma outorga para direito de uso das águas subterrâneas aos usuários é necessário realizar uma solicitação junto ao DAEE, obedecendo a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e a priorização dos usos.

Um valor próximo de 60% da água consumida por dia no município de Bauru tem origem em poços de captação de água administrados pelo DAE - Departamento de Água e

Esgoto de Bauru. Há ainda um número grande de poços profundos, caseiros ou não, por toda a cidade de Bauru (estimativa de mais de 800 poços) e que não são cadastrados, nem possuem a devida outorga do DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

Um dos grandes problemas do município é a retirada excessiva de água subterrânea e a contaminação causada pelo lixo, esgoto, produtos químicos e agrotóxicos e fertilizantes (DAE, 2007).

Segundo Hirata, et al. (1997), as águas subterrâneas estão passando por um intenso processo de uso e contaminação, causando o abandono de inúmeros poços. Este fato acentua ainda mais a problemática, pois nem sempre os mesmos são lacrados corretamente, além da descontaminação de um aquífero ser dispendiosa e demorada.

O monitoramento das águas subterrâneas do Estado de São Paulo é realizado pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) desde 1990. O Valor de Referência de Qualidade (VRQ) indica a concentração de determinada substância em um solo para ser considerado limpo e a qualidade natural das águas subterrâneas e são utilizados como instrumentos para controle e prevenção da contaminação e gerenciamento de áreas contaminadas sob investigação. Esta lista' abrange as substâncias inorgânicas, com valores estabelecidos através de interpretações estatísticas e as substancias orgânicas que não ocorrem em condições naturais no solo ou água, não é aplicável o VRQ, devendo ser zero (NANNI, A. S. et al, 2012).

De acordo com Sanaiotti (2005) há ocorrência de $N\text{-}NO_3$ além dos valores máximos permitidos (CETESB) no Sistema Aquífero Bauru no município de Presidente Prudente/SP, bem como teores de crômio. A ocorrência de nitrato é a mais comum entre as águas subterrâneas do planeta, causando preocupação nos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos.

Godoy (2004) ainda aborda a vulnerabilidade dos aquíferos á contaminação na Formação Adamantina, resaltando que a transferência de contaminantes (nitratos) extremamente rápida até a zona saturada.

2 OBJETIVOS

Este trabalho visou a caracterização hidrogeoquímica das amostras de águas subterrâneas coletadas em diferentes poços na área urbana do município de Bauru, sendo possível diagnosticar a situação das águas subterrâneas atualmente e compará-las com dados hidroquímicos dos órgãos fiscalizadores e outros estudos, indicando possíveis impactos ambientais no aquífero Adamantina.

3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

As águas subterrâneas tiveram sua importância reconhecida à poucas décadas, devido a escassez e comprometimento da qualidade das águas superficiais.

A primeira legislação em âmbito federal ocorre com o *Decreto 24. 643,* de 10 de julho de 1934, com o Código das Águas, que tratou dos usos das águas. Com relação as águas subterrâneas (Título IV), disciplinava a apropriação, poluição, instalação de poços e retirada. Todavia, sua aplicação nunca foi fiscalizada, o que resultou em um extrativismo exacerbado.

A *Constituição Federal* de 1988 tratou de forma genérica o uso e outorga das águas tanto superficiais quanto subterrâneas, não havendo muitas mudanças em relação ao Código das Águas. Entretanto, nesta Constituição, o uso da água passa a ser de domínio público e sua gestão passa para a ordem estadual (FINOTTI, A. R; LUNA CAICEDO, N. O, 2001).

Em 1997 é aprovada a *Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos 9.433*, que além de estabelecer o enquadramento dos corpos de água (segundo o uso preponderante) em classes, passou a delimitar as águas subterrâneas a partir das bacias hidrográficas, para melhor gestão. Nesta mesma Lei apresenta-se controle qualitativo e quantitativo dos usos das águas através do direito da outorga.

Outro seção inédita é a de cobrança do uso dos recursos hídricos (Seção IV), que tem como objetivo a racionalização do uso da água, angariar recursos financeiros para desenvolvimento de projetos e reconhecer a água como bem econômico.

Como a *Lei 9.433* estabelece que os Estados sejam responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos, fica a cargo deles a criação de leis para tais fins. No estado de São Paulo é criada a *Lei 6134/88* que "dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo". Esta lei é considerada uma lei de preservação e não de gestão das águas subterrâneas, ficando a cargo do estado legislar no campo da saúde pública.

Com a inserção desta lei, houve um avanço considerável, principalmente com a regulamentação do Decreto 32.955/91, delegando ao DAEE a administração das águas subterrâneas para fins de pesquisa, captação, fiscalização, extração e acompanhamento de sua interação com o ciclo hidrológico. Coube à Secretaria da saúde do estado de São Paulo a fiscalização das águas subterrâneas que se destinam ao consumo humano; à CETESB a

prevenção e controle da poluição e ao Instituto Geológico estudos e pesquisas hidrológicas e geológicas (BARTH, F. T, 1997).

Na tabela 2 é possível visualizar as competências específicas de cada órgão estadual referente às águas subterrâneas que estão localizados no Estado de São Paulo.

Tabela 2: Competências dos órgãos estaduais estipuladas pela Lei 3.134/88 do Estado de São Paulo em relação às águas subterrâneas (Finotti, A. R; Luna Caicedo, N. O., 2001).

Órgão estadual	Competência em relação às águas subterrâneas
Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)	Administrar as águas subterrâneas na área da pesquisa, captação fiscalização e acompanhamento de sua interação com as águas superficiais e com o ciclo hidrológico; Manter registros indispensáveis à avaliação, conhecimento dos depósitos naturais e ao controle e fiscalização da extração da água.
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)	Prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas mantendo os serviços indispensáveis para este fim.
Secretaria de Saúde	Fiscalizar as águas subterrâneas destinadas ao consumo humano, quanto aos padrões de potabilidade e aplicar as sanções previstas na legislação sanitária.
Instituto Geológico	Pesquisas e estudos geológicos, controle e arquivo de dados geológicos dos poços para conhecimento dos aqüíferos e da geologia do Estado.
Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH)	Baixar as normas para o cumprimento do regulamento.
Grupo Técnico em Águas Subterrâneas (GTAS)	Vinculado ao Conselho, com competência de coordenar a ação dos organismos administrativos envolvidos.

A *Resolução CONAMA* 357/2005 estabeleceu a classificação e enquadramento das águas doces, salobras e salinas, sendo divididas em 8 classes e suas destinações. Apresenta ainda limites e condições de qualidade.

A *Resolução nº 396/2008* do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Ainda são apresentadas as definições básicas

referentes às águas subterrâneas, divisão por classes (seis) e condições e padrões de qualidade para as águas:

- Classe Especial: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- Classe 1: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exijam tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 2: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- Classe 3: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características naturais;
- Classe 4: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente podem ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
- Classe 5: águas dos aquíferos, conjuntos de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não requisitos de qualidade para uso.

Importante resaltar que muitas das águas subterrâneas captadas em poços são distribuídas diretamente para a população, não sendo condizentes as características físicas, químicas e biológicas para padrões de potabilidade da água com os estabelecidos pela *Portaria nº 36/90 do Ministério da Saúde*. Lembrando ainda que de acordo com a *Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde*, cabe à União, aos Estados, Municípios e Distrito Federal a vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e uso e ocupação do solo

O município de Bauru está situado no interior do estado de São Paulo, distante 326 km da capital do estado (figura 2).



Figura 2: Localização do município de Bauru. Fonte: IBGE (2011)

Encontra-se na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, possuindo uma área de 673,5 Km² e uma população estimada de 346.650 habitantes. A taxa de urbanização do município (tabela 3) cresce anualmente, chegando a cerca de 98,3 % no ano de 2011. A população rural voltou a crescer a partir de 2000, contudo ainda em menor proporção referente à população urbana (IBGE, 2011).

Tabela 3: População urbana e rural no município de Bauru (IBGE, 2011)

	Pop. Urbana	Pop. Rural	Pop. Total	Grau de Urbanização (%)
1970	120.930	11.006	131.936	91,7
1980	180.761	5.903	186.664	96,8
1991	254.075	5.429	259.504	97,9
2000	309.881	5.612	315.493	98,2
2007			336.085	
2010	337.946	5.749	343.695	98,3
2011			346.650	

O município está inserido em uma posição privilegiada no estado, com ligações via rodovia, ferrovia e aérea com as demais cidades do estado. As principais vias são Rodovia Marechal Rondom e Castello Branco, além do Aeroporto Bauru-Arealva.

A cidade de Bauru tem sua economia voltada basicamente para a prestação de serviços, indústrias e pecuária bovina, sendo os principais produtos a cana-de-açúcar, mandioca, laranja, café arábico e banana (IBGE, 2011).

Originalmente, o município possuía floresta tropical e cerrado, sendo hoje sua área ocupada principalmente por pastagens, áreas agrícolas e área rural (figura 3). O cerrado hoje está concentrado em grande parte na área do Jardim Botânico, considerada como uma grande reserva urbana e nas cabeceiras dos rios.

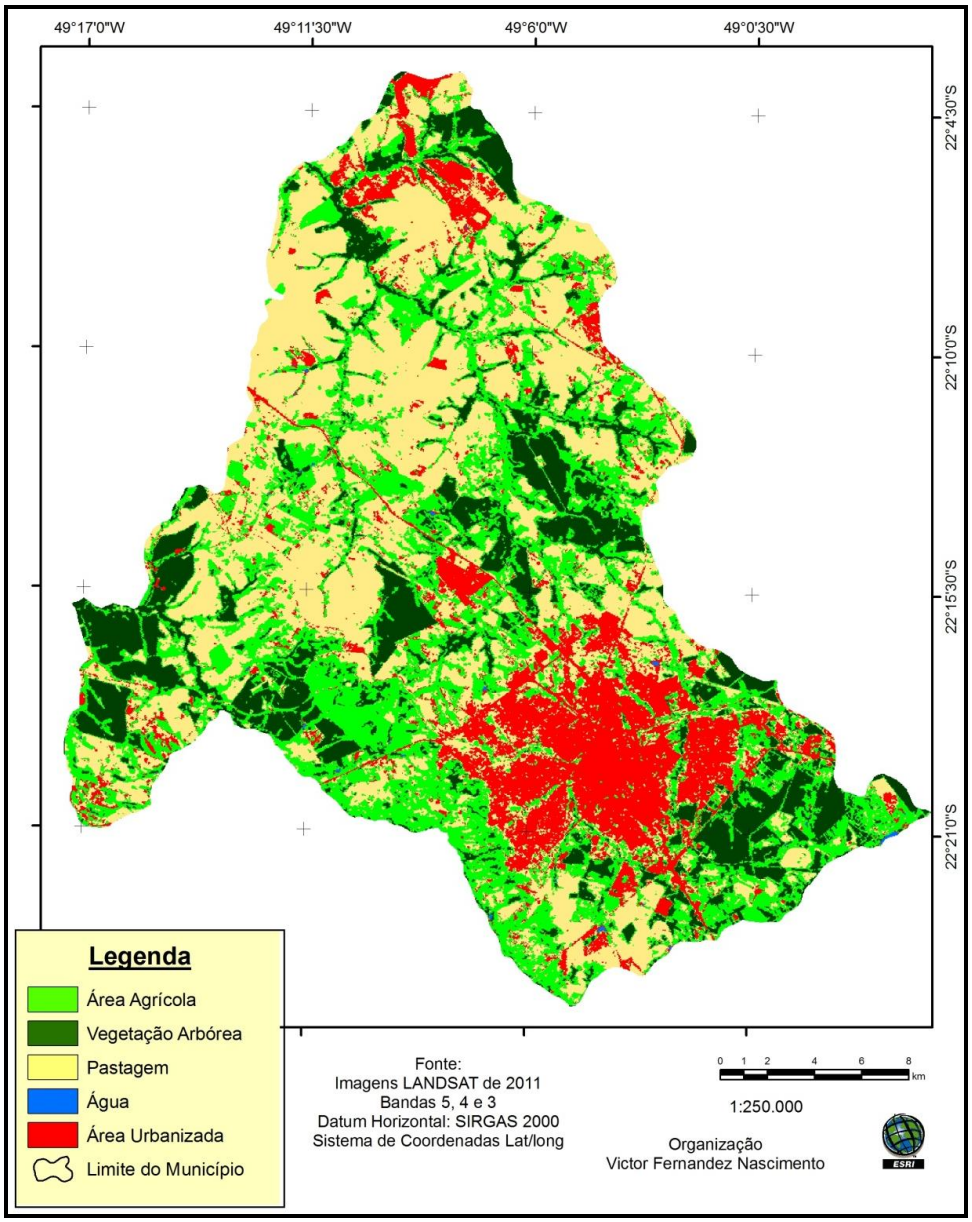


Figura 3: Uso e cobertura da terra no município de Bauru – 2011. Fonte: Org. Nascimento (2013)

4.2 Clima

A cidade possui um clima tropical (Aw) que, segundo a classificação de Koeppen, significa tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18ºC (CEPAGRI, 2011). Suas estações não são bem definidas e as temperaturas não são fator determinante para esta diferenciação. São as precipitações as responsáveis por diferenciar o verão do inverno no município. Na Tabela 4 é apresentado os valores para as Temperaturas Mínimas (TMin), Recordes das temperaturas mínimas (RTMin), Temperaturas Máximas (TMax), Recordes das temperaturas máximas (RTMax),

Temperaturas Médias (TMd), Precipitação (P) e Amplitude térmica (AmpT) para o município de Bauru no período entre 1981 e 2009.

Tabela 4: Dados climatológicos para o município de Bauru (1981 – 2009) (FIGUEIREDO & PAZ, 2010)

Mês	TMin (°C)	RTMin (°C)	TMax (°C)	RTMax (°C)	TMd (°C)	AmpT (°C)	P(mm)
Janeiro	20,2	13,0	30,5	38,5	25,4	10,1	291
Fevereiro	20,0	14,5	30,7	37,0	25,4	10,5	211
Março	19,5	11,5	30,0	36,6	24,8	10,5	136
Abril	17,9	5,3	28,5	36,4	23,2	10,6	96
Maio	14,9	4,6	25,5	34,8	20,2	10,6	91
Junho	13,6	3,0	24,9	31,4	19,3	11,3	55
Julho	13,0	1,7	24,9	32,8	19,0	11,9	38
Agosto	14,2	3,0	27,5	36,4	20,8	13,3	35
Setembro	15,4	3,6	28,1	39,0	21,8	12,7	68
Outubro	17,4	9,6	30,1	39,4	23,7	12,7	114
Novembro	18,3	10,1	30,3	39,5	24,3	12,0	149
Dezembro	19,1	12,2	30,5	39,0	24,8	11,4	226
Anual	17,0	1,7	28,5	39,5	22,7	11,5	1511

Nota-se que as temperaturas máximas registradas concentram-se nos meses de outubro (39,4ºC) a fevereiro (37,0°C), sendo o recorde da máxima registrado em novembro (39,5°C) e as mínimas entre junho (3,0°C) e setembro (3,6°C), com recorde registrado em julho (1,7°C). A amplitude térmica acompanha a frequência das mínimas, registrando sua maior ocorrência entre julho a novembro.

O período de maior precipitação encontra-se no intervalo dos meses de dezembro (226 mm) a fevereiro (211 mm) e os meses mais secos de abril a setembro, sendo o mês mais seco o de agosto (35 mm). Ainda de acordo com os dados climatológicos, os meses de junho (55 mm) a agosto (35 mm) juntos apresentam 91% dos dias sem chuvas, diferentemente de janeiro e fevereiro em que quase metade dos dias há ocorrência de chuva no município.

A velocidade dos ventos é de fraca intensidade, em média de 10 km/h, com direção predominante dos ventos do sul e sudeste (Figueiredo e Paz 2010).

4.3 Geologia e Pedologia

As formações rochosas do município estão inseridas dentro do Grupo Bauru com afloramento das unidades litoestratigráficas Marília e Adamantina, que recobrem as rochas da Formação Serra Geral, visualizados na figura 4. Essas formações cretáceas estão assentadas, em contato discordante, sobre as rochas da Serra Geral, do Grupo São Bento. O deposição do Grupo Bauru teve início no Cretácio Superior, em ambiente árido e semi-árido, com litologia dominante representada por arenitos (STRADIOTO, 2007).

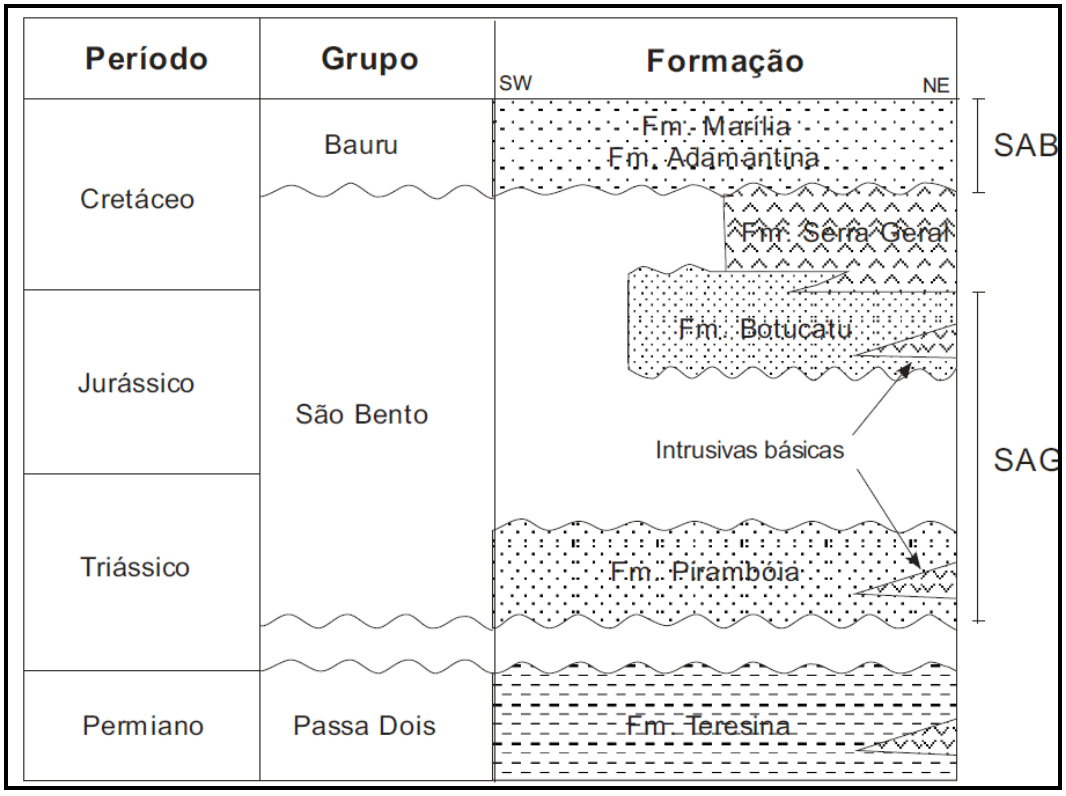


Figura 4: Coluna estratigráfica do município de Bauru, apud Silva, S. R. (2009).

A Formação Adamantina é constituída por arenitos carbonáticos e ocupa a maior parte do município (figura 5), com granulometria fina e muito fina, cor rósea a castanha, com ocorrências de estratificações cruzadas, alternadas com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, com microestratificações cruzadas e marcas de ondas, com ocorrências de seixos de argilitos e nódulos carbonáticos (SOARES et al., 1980).

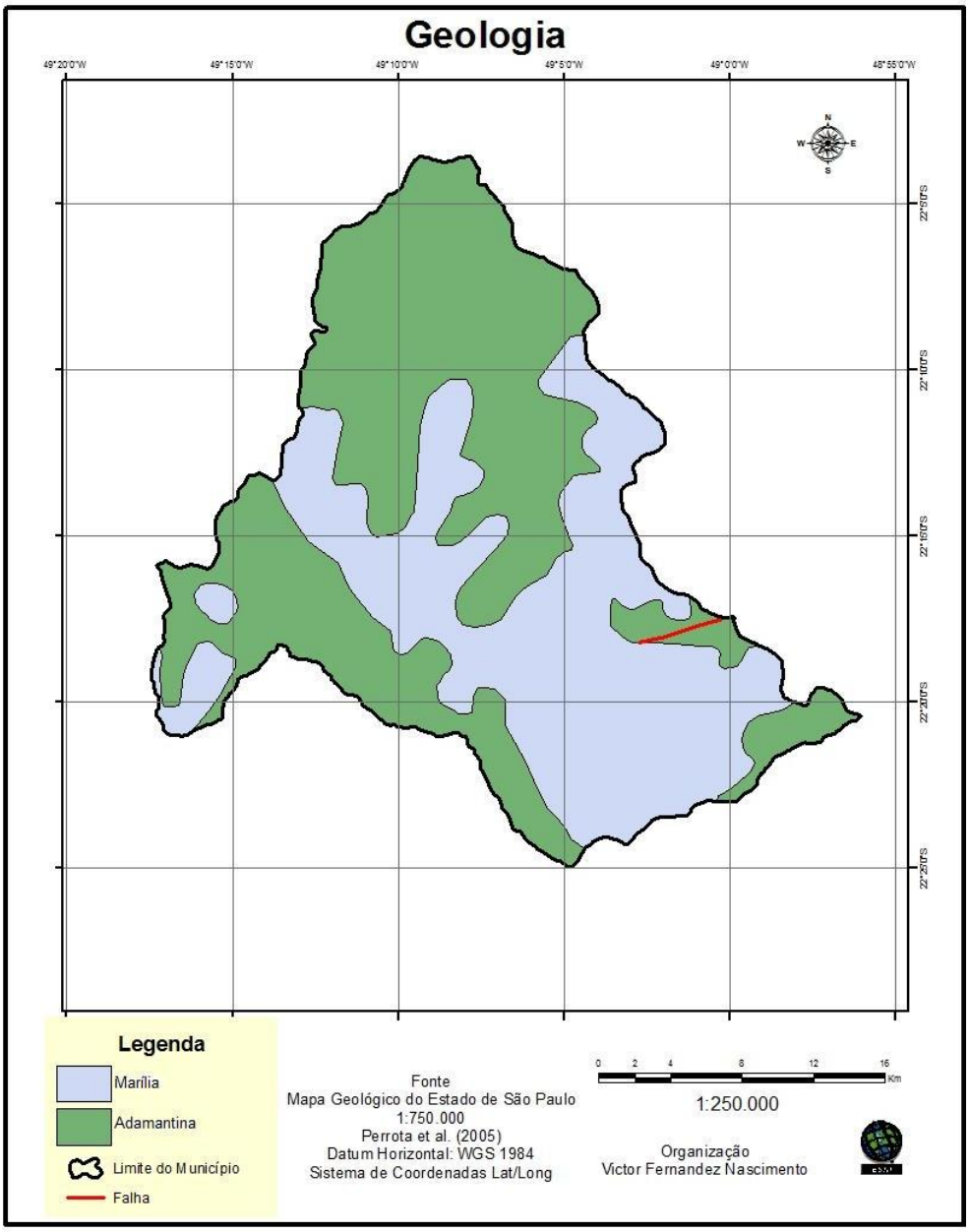


Figura 5: Geologia do município de Bauru. Fonte: Org. Nascimento (2013).

A Formação Marília encontra-se sobreposta à Formação Adamantina, sendo composta por arenitos grossos e conglomeráticos, com teor de matriz rara e variável, ricos em feldspatos e minerais pesados, raramente apresentado estratificação cruzada de médio porte e raras camadas de lamitos vermelhos e calcários (SOARES et al., 1980).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, CAMARGO, ROSSI, & CALDERANO FILHO, 1999), os solos de Bauru são predominantemente das classes Argissolos e Latossolos (figura 6). Os Latossolos (latossolo vermelho distróficos) ocorrem na porção leste e oeste do município, Argissolo

vermelho amarelo, Argissolo vermelho amarelo eutrófico com ocorrências de Neossolo litólico ao sul. (SILVA, S. R. 2009).

Os latossolos são classificados como intensamente intemperizados, constituídos por material mineral, como horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico, Variam de fortemente a bem drenados, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, indicativa de formação em condições, atuais ou pretéritas, com um certo grau de gleização. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do solo raramente inferior a 1 metro. (EMBRAPA, 1997).

Os Argissolos são solos com diferenciação nítida entre os horizontes A (ou E) e B. O Horizonte A possui como característica a perda de argila, ferro e matéria orgânica, apresentando coloração clara. Já o horizonte B textural apresenta cor avermelhada ou amarelada, com teores de ferro abaixo de 15% e podem ser distróficos, eutróficos ou álicos.

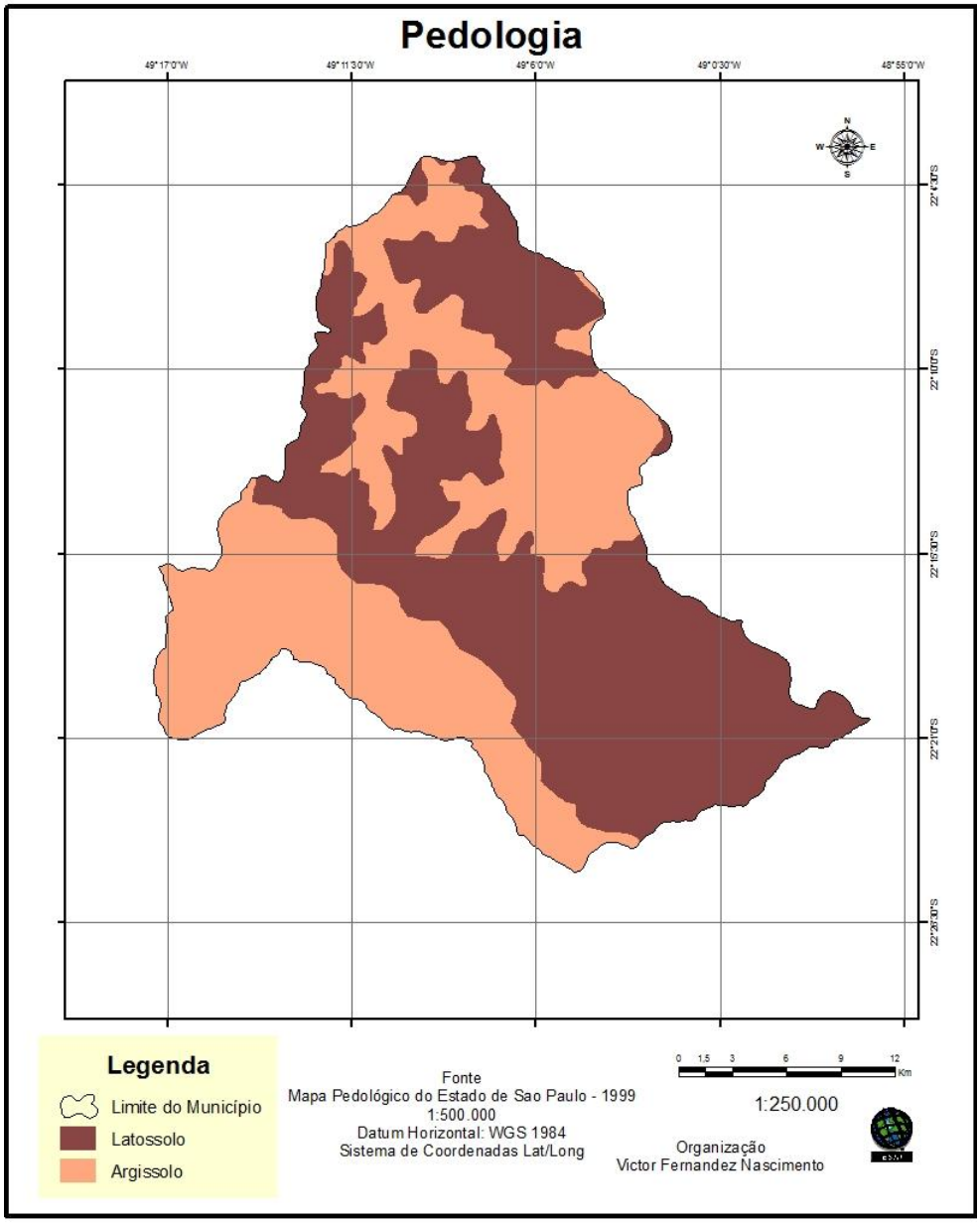


Figura 6: Pedologia do município de Bauru/SP. Fonte: Org. Nascimento (2013)

4.4 Geomorfologia

De acordo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997), Bauru encontra-se na Bacia Sedimentar do Paraná, no planalto Centro Ocidental Paulista, cujos modelados dominantes são colinas amplas e baixas com altimetrias de 300 a 600 metros e declividades dominantes de 10 a 20%, com vertentes de perfis retilíneos e convexos. Possui drenagem de baixa densidade, com padrões subdentríticos e vales abertos (figura 7).

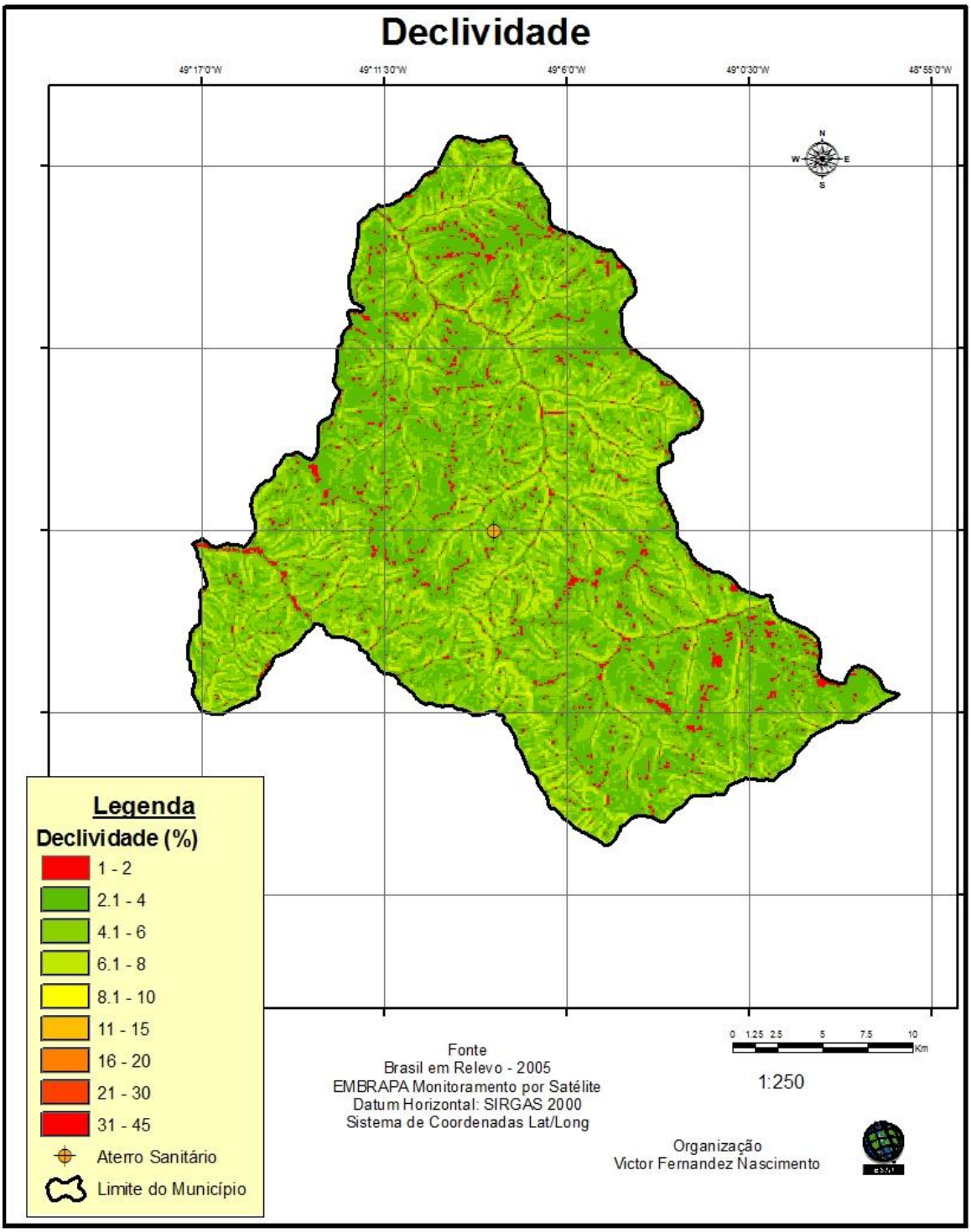


Figura 7: Declividade no município de Bauru. Fonte: Org. Nascimento (2013).

4.5 Hidrografia

O município de Bauru está inserido em duas bacias hidrográficas, de acordo com a figura 8:

- Bacia Hidrográfica do Rio Batalha, ocupando 504,7 km², cerca de 74,3% da área municipal, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Batalha.
- Bacia Hidrográfica do Rio Bauru e Córrego Campo-Novo, integrantes da Unidade de Gerenciamento Tietê-Jacaré, ocupando cerca de 175 km² ou cerca de 25,7%.

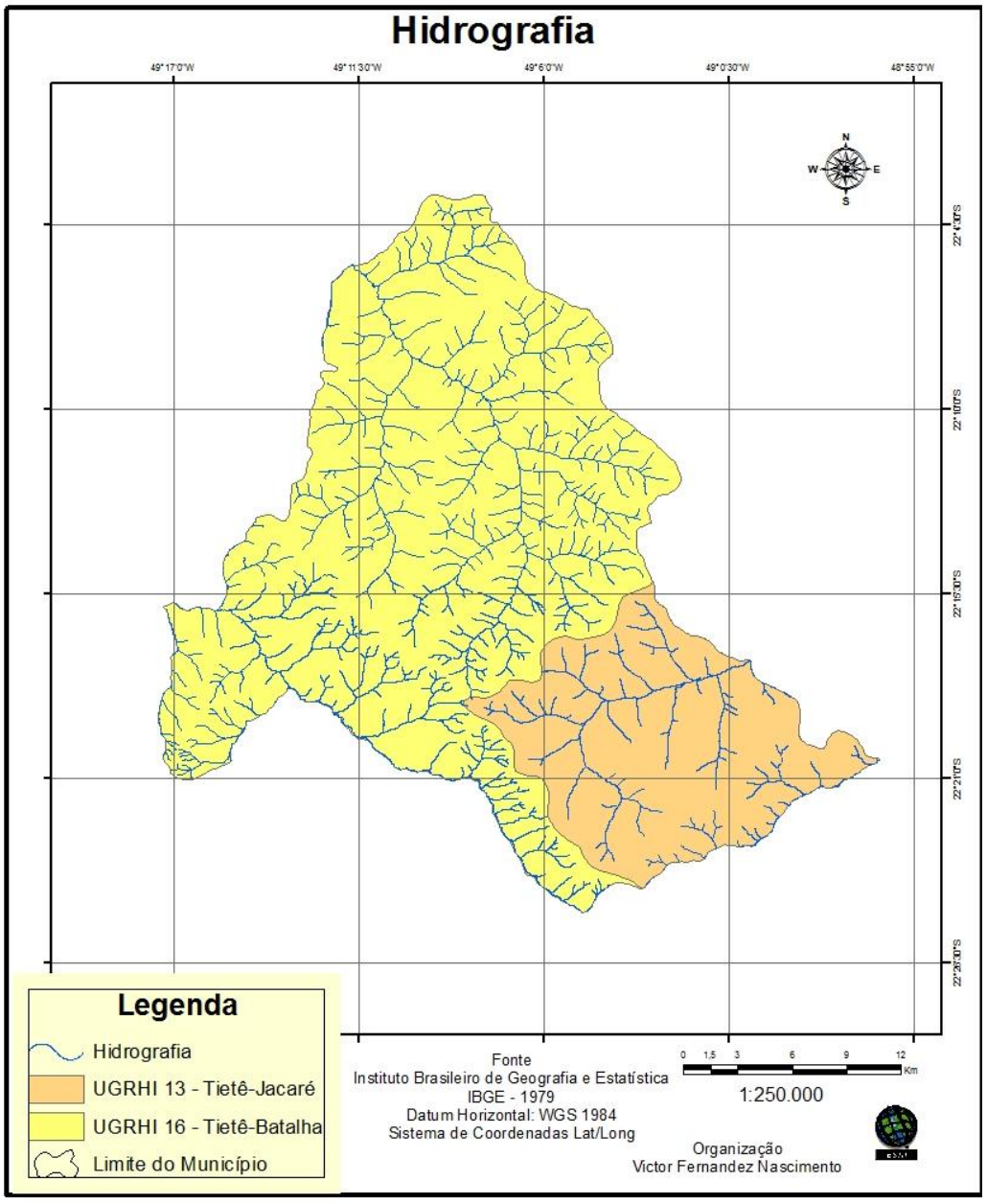


Figura 8: Hidrografia do município de Bauru. Fonte: Org. Nascimento (2013).

A bacia do Rio Batalha ocupa a maior área do município, sendo responsável por grande parte do abastecimento público da cidade (40%). O restante da água provém da captação em poços do Aquífero Guarani, sendo 30 no total. Todos os poços são operados pelo Departamento de Água e Esgoto de Bauru – DAE.

De acordo com Gomes (2012), atualmente a captação de água na bacia do Rio Batalha é maior que a ordem de 529 L/s, ultrapassando o valor outorgado pelo DAEE, de 350 L/s. Isso causa um grande problema de abastecimento em épocas de menor vazão dos rios que constituem esta bacia, o que acontece nos meses de seca (junho a agosto).

Para minimizar o problema de abastecimento público no município, foi criada uma área ambiental de proteção de mananciais à montante do Rio Batalha, pela *Lei Municipal 4.296/98* que tem por objetivo regulamentar e denominar os usos na Área de Proteção Ambiental na encosta do Rio Batalha. O Rio Batalha enquadra-se na Classe 2, segundo a Lei Estadual 997/76, sendo suas águas destinadas à recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e árvores frutíferas e ao abastecimento público após tratamento primário.

Devido á falta de uma estação de tratamento de esgoto no município de Bauru, todos os esgotos domésticos são lançados *in natura* no Rio Bauru, este localizado em sua maior parte em área urbana. Ainda segundo o DAE (2012), são despejados 1000 L/s no rio e em seus afluentes: Córrego Água da Forquilha, Córrego Água da Ressaca, Córrego do Sobrado, Córrego Vargem Limpa, Córrego Água Comprida, Córrego das Flores, Córrego da Barreirinha, Córrego Água do Castelo e Córrego da Grama.

Na figura 9 é possível visualizar as bacias hidrográficas na área urbana do município, todas pertencentes a UGRHI 13 Tietê – Jacaré.

.

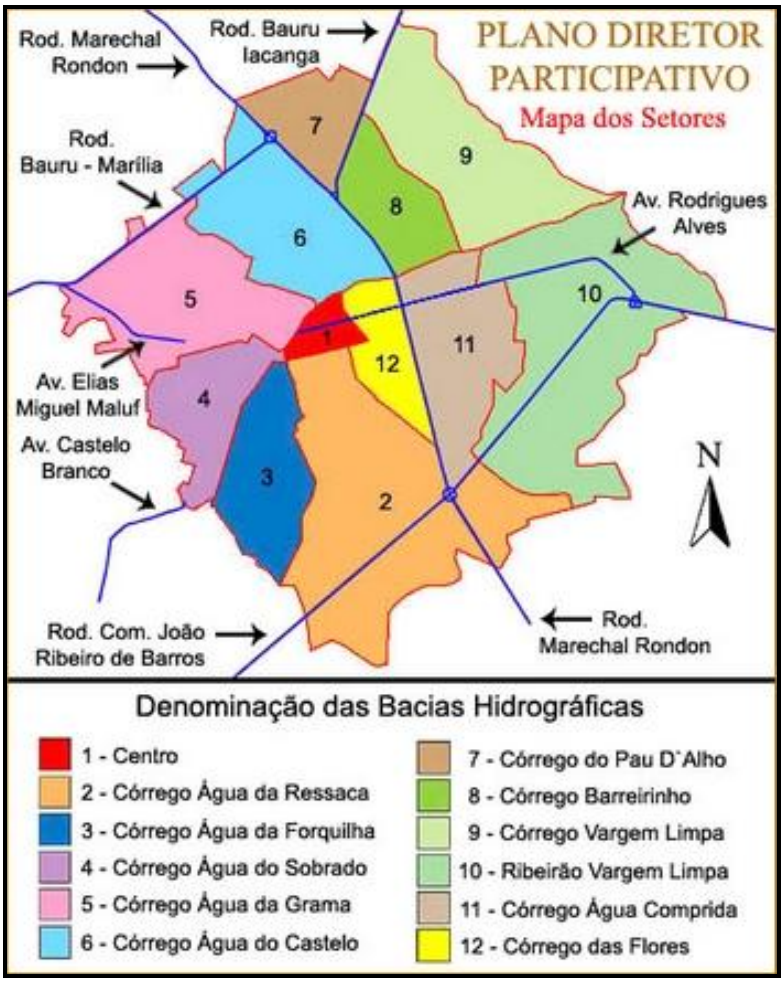


Figura 9: Bacias Hidrográficas do município de Bauru. Fonte: Secretaria de Planejamento Urbano de Bauru (2006).

O Rio Bauru é enquadrado na Classe 4 na área urbana e de Classe 3 na área rural. Como sua Classe é inferior ao do Rio Batalha e suas águas não são utilizadas para abastecimento público. O Distrito de Tibiriça conta com uma ETE, sendo 100% do seu esgoto tratado e no município de Bauru há uma estação experimental que atende apenas 10% da população.

5 ÁGUA SUBTERRÂNEA

De toda a água disponível na Terra, 97% está contida em mares e oceanos e apenas 3% representa a água doce. Desta, a maior parte encontra-se em aquíferos, calotas polares e geleiras (CONCEIÇÃO, 2009). Nesse cenário encontra-se a necessidade cada vez mais crescente de retirada da água subterrânea para abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais e indústrias.

A infiltração é o processo mais importante de recarga da água no subsolo (TEIXEIRA, et al, 2008). Quanto mais permeável e poroso for o material, mais fácil será a infiltração da água no subsolo, e quanto mais argiloso ou a existência de rochas cristalinas sem ou com poucas fraturas, como corpos ígneos plutônicos e rochas metamórficas como gnaisses, mais difícil será o processo de infiltração da água. De acordo com Feitosa & Filho (1997), diversos fatores influenciam na infiltração da água nos aquíferos, como a litografia, estratigrafia, estrutura, porosidade, permeabilidade, fluxo subterrâneo e condutividade hidráulica.

Segundo Teixeira, et al (2008), os seguintes fatores são responsáveis pela infiltração de água no subsolo:

- Cobertura vegetal: em áreas com presença da cobertura vegetal a infiltração é favorecida, pois as raízes das plantas funcionam como dutos que abrem caminho para a entrada da água no subsolo. A cobertura vegetal também cumpre a função de amenizar o impacto da água ao chegar no solo, sendo interceptada e liberada gradativamente. Entretanto, áreas com intensa cobertura vegetal e temperaturas elevadas não contribuem para a infiltração da água no subsolo, sofrendo processo de evaporação.
- Topografia: Em áreas que possuem declives acentuados o processo de infiltração é sobreposto pelo processo de escoamento superficial. O contrário, com relevos suavemente ondulados, permitem uma maior infiltração, já que o escoamento superficial é mais lento.
- Precipitação: Áreas que possuem uma distribuição mais regular ao longo do ano favorecem o processo de infiltração. Quanto mais intensas e concentradas forem as precipitações, maior será o escoamento superficial e diminuição da infiltração.

- Ocupação do solo: Devido a importância das áreas com coberturas vegetais, quanto maior for o processo de urbanização e uso agropecuário, menor será a infiltração no subsolo. As áreas que possuem intensa impermeabilização do solo favorecem o escoamento superficial e não possibilitam a infiltração e não possibilitam a recarga dos aquíferos. Nas áreas rurais, o processo é desfavorável em cenários de desmatamento, exposição de vertentes e compactação do solo por maquinários e animais.

A água subterrânea está contida em poros, existentes entre os grãos que formam os solos e as rochas sedimentares. Em alguns casos, esta água circula também através de fraturas.

Ao percolar o solo, a água atinge a zona não saturada (ZNS) ou vadosa, em que os poros ainda são preenchidos parte com ar e parte com água. No seu percurso, o excedente de água acumula-se nas zonas mais profundas, preenchendo os poros e formando a Zona Saturada (ZS) ou freática. O limite entre essas duas zonas denomina-se superfície freática ou nível da água subterrânea (NA), como visto na figura 10.

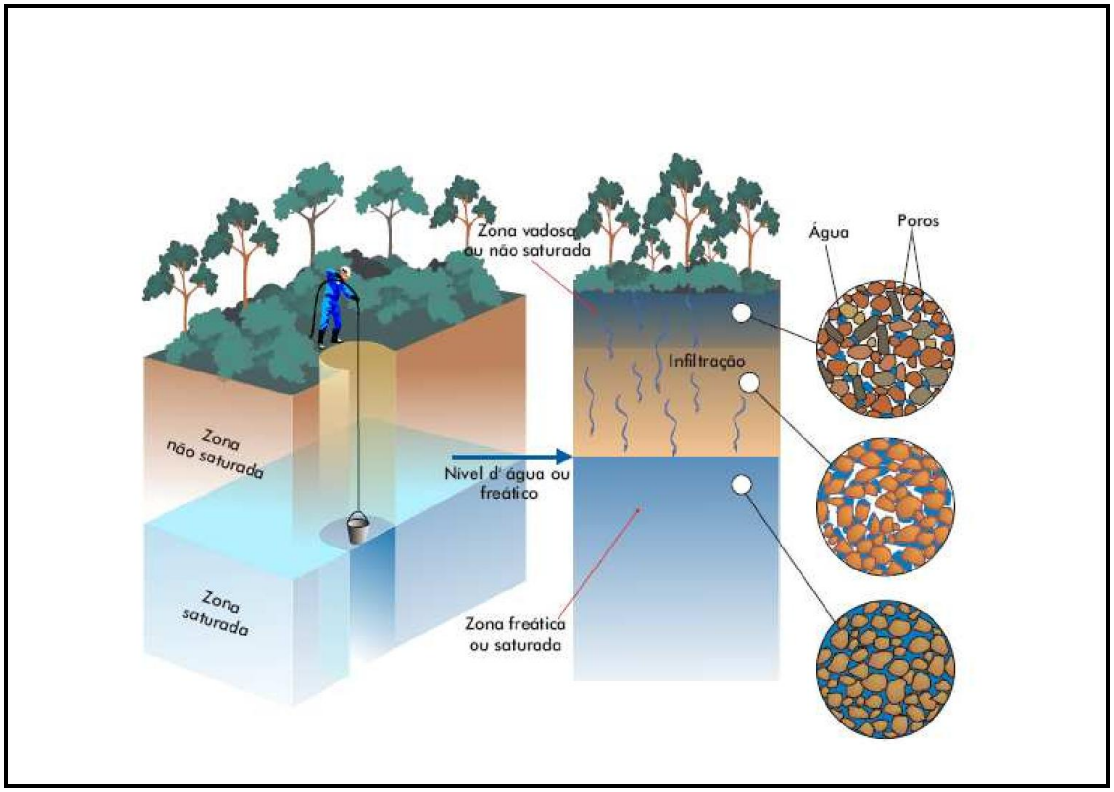


Figura 10: Distribuição de água no subsolo. Fonte: Teixeira et al (2008).

A quantidade de água e seu fluxo irão depender basicamente de dois fatores: permeabilidade e porosidade, conforme visto na tabela 5:

- A porosidade é referente ao volume de poros vazios em relação ao volume total da rocha. Em materiais sedimentares, o tamanho e forma das partículas, o se grau de seleção e a presença de cimentação influenciam a porosidade (TEIXEIRA, 2008).
- Permeabilidade: Influencia o fluxo da água subterrânea e está relacionada com o tamanho e o volume de poros interconectados, a distribuição, a forma e variação do tamanho dos grãos. Quanto mais homogêneo o tamanho e a distribuição dos grãos, maior será a capacidade do aquífero em transmitir a água pois a interconexão entre os poros será maior (IRITANI & EZAKI, 2008).

Tabela 5: Valores de porosidade e permeabilidade de algumas rochas. (Teixeira 2008)

MATERIAL	TAMANHO DAS PARTÍCULAS (mm)	POROSIDADE (%)	PERMEABILIDADE
Cascalho	7 a 20	35,2	Muito alta
Areia grossa	1 a 2	37,4	Alta
Areia fina	0,3	42	Alta a média
Siltes e argila	0,04 a 0,006	50 a 80	Baixa a muito baixa

5.1 Tipos de aquíferos

Segundo a *Resolução CONAMA 396/08* aquífero é definido como corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos. De acordo com Iritani & Ezaki (2008), aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis que são capazes de armazenar e transmitir água possível de ser explorada pela sociedade.

Os aquíferos podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha ou quanto suas características hidráulicas. Quanto à porosidade, podem ser divididos em (figura 11):

- Granular ou Sedimentar: Constituídos por rochas sedimentares (arenitos, siltitos, etc) ou sedimentos não consolidados (areias, cascalhos, etc). A água percola e permanece, provisoriamente, nos poros. A produtividade em água dos arenitos diminui com o grau de cimentação, caso dos arenitos silicificados. (TEIXEIRA et al, 2008). São mais suscetíveis à contaminação por possuírem uma filtração menos intensa que os aquíferos fissurais.
- Fissural: Formam-se através da consequência de deformação tectônica conectadas, em terrenos com presença de granitos e gnaisses. Quanto maior a quantidade de fraturas na rocha, interligadas e preenchidas com água, maior será a potencialidade do aquífero em fornecer água (IRITANI & EZAKI, 2008).
- Cárstico: Rochas carbonáticas que sofrem lento processo de dissolução em contato com águas ácidas, infiltrando nas fraturas das rochas e formando condutos e canais, com diâmetros milimétricos a métricos. São extremamente vulneráveis à contaminação pois a filtração neste tipo de rocha é baixa.

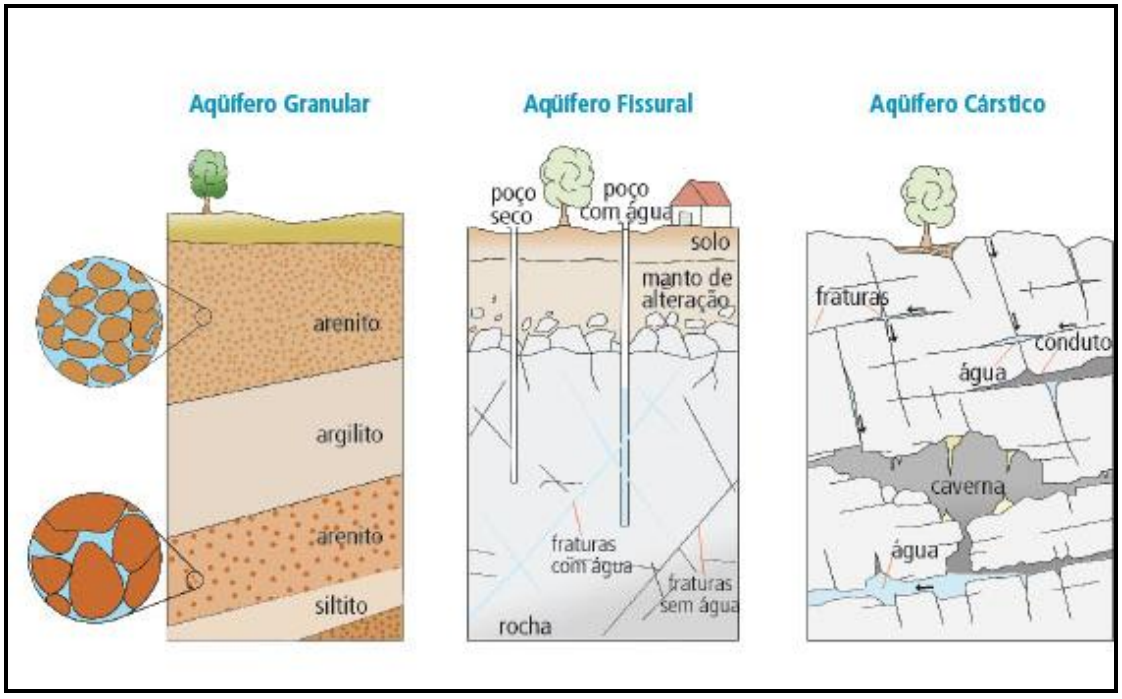


Figura 11: Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha.Fonte:Iritani & Ezaki (2008)

Os aquíferos são classificados de acordo com suas características hidráulicas da seguinte forma (figura 12):

- Aquífero livre: conhecido também como freático, estando o nível freático mais próximo da superfície e a zona saturada em contato direto com a zona não saturada. Ocorrem em poucas profundidades, de alguns metros a poucas dezenas de metros. A água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega diretamente o aquífero. Como este aquífero é permeável, superficial e aflorante em toda sua área, as condições para o uso e ocupação desta área necessitam de maior fiscalização para não ocorrer contaminação.
- Aquífero confinado: ocorre quando o estrato permeável está confinado entre duas unidades pouco permeáveis ou impermeáveis. Não há neste caso zona não saturada e a pressão exercida é alta tanto pela atmosfera quanto pela coluna de água localizada no estrato permeável, devendo o nível freático ser chamado de nível de água potenciométrico. Estão concentrados a grandes profundidades, de dezenas, centenas até milhares de metros.
- Aquífero suspenso: ocorre em regiões onde a água infiltrada encontra uma barreira na zona não saturada, formando níveis lentiformes de aquíferos livres acima do nível freático.

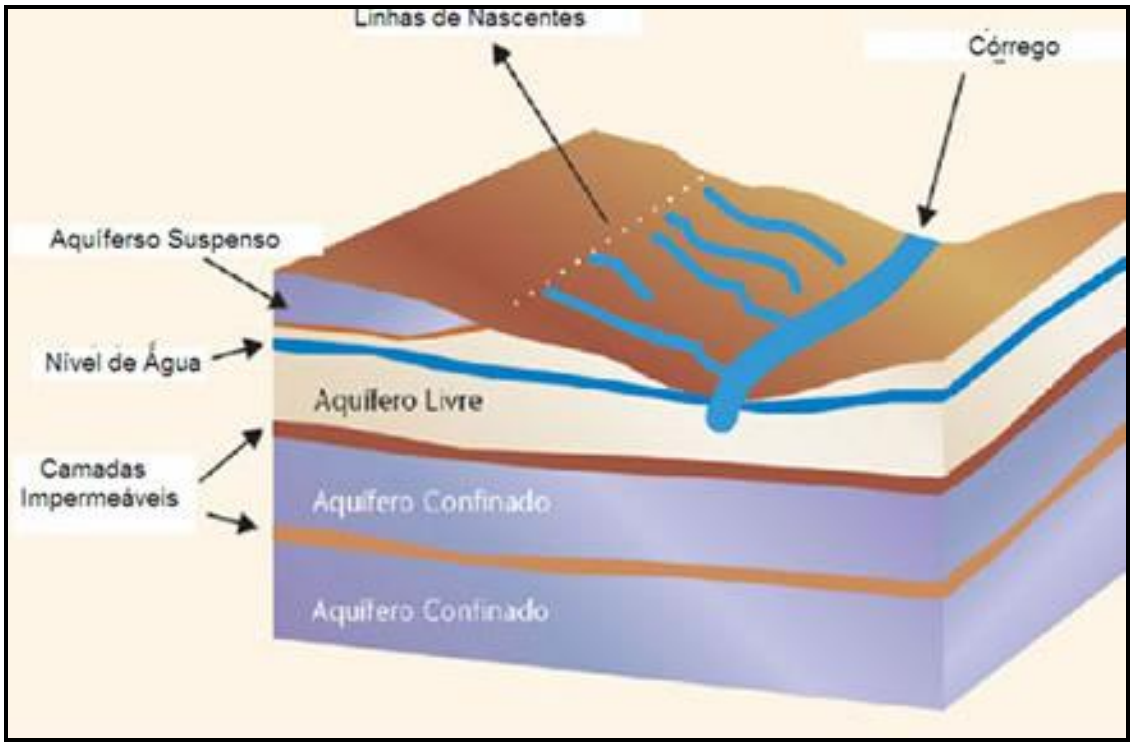


Figura 12: Esquema de aquíferos livres, confinados e suspensos. Fonte: CPRM (2012).

6 SISTEMA AQUÍFERO BAURU

O Sistema Aquífero Bauru ocupa aproximadamente a metade oeste do território do Estado de São Paulo, possuindo uma área aproximada de 96.880 km² (figura 13). Os limites do SAB no Estado compreendem a oeste e noroeste o rio Paraná, a norte o rio Grande, a sul o rio Paranapanema e áreas de afloramento da Formação Serra Geral, que delimitam também o aquífero na região leste (DAEE, IPT, IG, & CPRM, 2005).

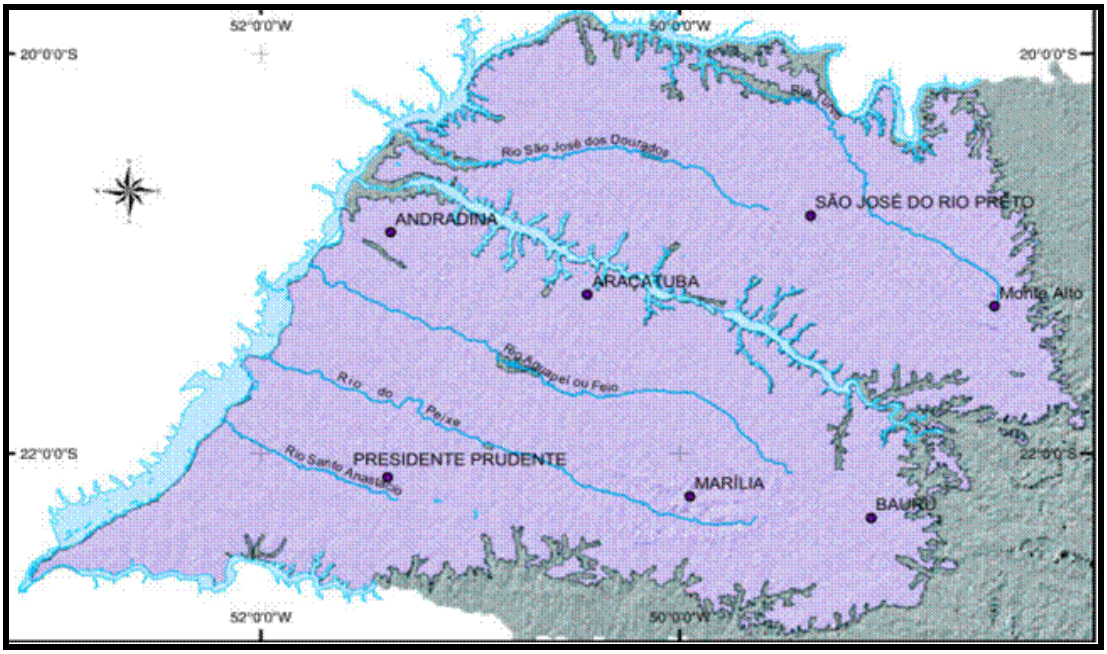


Figura 13: Limites do Sistema Aquífero Bauru no estado de São Paulo. Fonte: DAEE, IPT, IG, & CPRM, 2005.

O município de Bauru está situada nos domínios do SAB com áreas de afloramento na Formação Serra Geral e tem como principal uso o abastecimento humano e industrial (ANA, 2005). O SAB ocorre de forma livre a localmente confinada e apresentam porosidade granular e contínua.

Segundo Stradioto (2007), o "Sistema Aquífero Bauru comporta-se como unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre e semiconfinada, com espessura média de 100 a 300 metros". Está inserido no pacote de sedimentos cretáceos, predominantemente sobre o substrato impermeável formado pelos derrames basálticos da Serra Geral.

De acordo com a proposta de Fernandes (1998), subdivisão do Grupo Bauru no estado de São Paulo foi realizada em dois grandes grupos: Caiuá (Formações Rio Goio Erê e Santo Anastácio) e Bauru (Formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, Adamantina, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Uberaba). Adotando-se a estratigrafia do Grupo Bauru de Paula e Silva (2003), o Sistema Aquífero Bauru é composto pelos aquíferos Caiuá, Santo Anastácio, Birigui, Adamantina e Marília.

As rochas do Grupo Bauru são constituídas, predominantemente, por rochas siliciclásticas continentais. Litologicamente essa sucessão é caracterizada por arenitos, arenitos argilosos, siltitos, lamitos e argilitos (CPRM, 2012), conforme visto na tabela 6.

Tabela 6: Caracterização das Unidades Hidroestratigráficas (DAEE, IPT, IG, & CPRM, 2005).

Unidade Hidroestratigráfica	Rochas	Tipo de ocorrência	Permeabilidade (m/d)	Transmissividade (m2/d)
Bauru Médio/Superior	Arenitos grosseiros imaturos; com abundantes nódulos e cimento calcíferos; bancos de arenitos finos intercalados com lamitos e siltitos	Livre a localmente confinado; porosidade granular; contínuo e não uniforme	0,1 a 0,4	10 a 50
Bauru Inferior/Caiuá	Arenitos finos, maciços, baixo teor de matriz; arenitos finos a médios com boa seleção	Livre a localmente semiconfinado; granular; contínuo e uniforme	1 a 3	100 a 300

O SAB apresenta zoneamento de potencial explorável já que as camadas de sedimentos intermediária e de topo mostram vazão variável entre 3,0 e 20 m^3/h enquanto porções mais restritas na base apresentam vazões entre 20,0 e 50,0 m^3/h, sendo a média geral de 8,0 m^3/h (DAEE, 2005).

A condutividade apresentada no SAB varia de 0,002 m/d a 3,66 m/d e a trasmissividade de 0,14 a 328 m^2/dia. De modo geral, as águas são de baixa salinidade, sendo menores nos vales e à jusante dos rios interiores e maiores ao longo dos espigões. O pH varia de ácido (4,59) a básico (9,64), com predominância de águas bicarbonatas cálcio-magnesianas em regiões próximas a vales (DAEE, 2005).

Segundo Stradioto (2007), em Marília e Tupã, foram encontrados teores de cálcio e magnésio elevados no SAB. O teor de cálcio na região de Marília situou-se entre 10,4 e 36, 3 mg/L e em Tupã, entre 11,7 e 19,5 mg/L; o potássio apareceu em pequenos teores, tanto em Marília quando em Tupã, entre 0,3 e 3,1 mg/L e 0,1 e 4,1 mg/L, respectivamente; o sódio apresentou maior quantidade na região de Marília (valores entre 16,0 e 73,3 mg/L). Os teores de metais encontrados foram baixos, dentro dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde – OMS.

De acordo com os parâmetros apresentados pela CETESB (2001) para o SAB, das 159 amostras analisadas para quantificação de cloretos, 89% apresentam teores abaixo de 10 mg/l, enquanto que 11% encontram-se no intervalo 10,6 a 26,4 mg/l. Nas amostras de ferro total, 83% de um total de 161 amostras, obtiveram valores iguais ou menores que 0,092 mg/l. Em amostras de dureza total, 57% são águas moderadamente duras, para um total de 155 amostras analisadas. Nas de nitrato nenhuma amostra ultrapassou o padrão de potabilidade recomendado. Sólidos totais dissolvidos (TDS): de 140 amostras analisadas, 66% encontram-se no intervalo entre 100 e 200 mg/l, enquanto que 27% entre 200 e 396 mg/l. Condutividade elétrica: de 157 análises, 93% apresentaram valores inferiores a 300 μS/cm. Oxigênio consumido: todas as análises apresentaram valores inferiores a 2,5 mg/l, sendo que a grande maioria ficou abaixo de 1,0 mg/l; coliformes fecais e totais: de 162 análises, 31% acusaram a presença de coliformes totais e 12 % de fecais.

O SAB possui um alto grau de vulnerabilidade, pois seu sistema é livre, adquirindo alterações significativas em sua qualidade de água (ANA, 2005)

Em geral, o SAB comporta-se como um sistema aquífero livre e possui grande área de afloramento, condições que facilitam a sua exploração e que lhe confere uma maior vulnerabilidade à contaminação por atividades poluidoras, especialmente aquelas decorrentes do desenvolvimento agrícola e industrial. Na rede de monitoramento do Estado de São Paulo, este sistema aquífero apresentou os maiores indícios de alteração de qualidade de suas águas (CETESB, 2004).

De acordo com Silva (2009), as zonas de recarga do SAB estão localizadas em toda área aflorante das unidades litográficas do Grupo Bauru, tendo sua origem relacionada á infiltração de águas meteóricas e fluviais.

As principais fontes poluidoras dos aqüíferos são: lixões sem a devida impermeabilização; descarte inadequado de substancias tóxicas; atividade de mineração; vazamento de esgoto; aplicação inadequada de agrotóxicos e fertilizantes; poços instalados inadequadamente, permitindo a infiltração de águas oriundas de outros lençóis ou pluvias.

Entre os estudos realizados a partir das águas subterrâneas, foi observada a presença de elevadas concentrações de nitrato no aqüífero (Barison, 2003). As principais fontes de contaminação são de origem antrópica, representadas pela 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, 2004).

De acordo com Stradioto (2007), foi verificado teores elevados de nitrato no SAB, provavelmente associados à contaminação antrópica. Ainda segundo Lima, A. A (2004), o rebaixamento do nível do Aquífero Bauru em São José do Rio Preto pode estar relacionado com a super exploração no município.

Segundo a ANA (2005) "é conhecida ainda a ocorrência de elevados teores de cromo em águas do sistema aqüífero Bauru-Caiuá que muitas vezes inviabiliza o seu uso. A origem antrópica ou natural deste composto na água ainda é controversa." Sanaiotti, D. C. (2005, p. 2) verificou também a presença em níveis elevados de nitrato e cromo no município de Presidente Prudente. Savazzi encontrou em um ponto valores acima do estabelecido pelo CONAMA nº396 em relação ao Bário e dez pontos em relação ao Crômio, todos no estado de São Paulo, dentro do SAB.

Barcha (1992) constatou a presença de nitrato acima do estabelecido pela OMS nos municípios de São José do Rio Preto, Catanduva e Mirassol. Barison (2003) e Varnier (2007) constataram concentrações de nitrato acima do valor máximo permissível para consumo humano no município de Presidente Prudente e Marília.

6.1 Aquífero Adamantina

O Aquífero Adamantina está inserido dentro do Sistema Aquífero Bauru, com formação predominantemente constituída por arenitos carbonáticos e ocupa a maior parte do município de Bauru, com granulometria fina e muito fina, cor rósea a castanha, com ocorrências de estratificações cruzadas, alternadas com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, com microestratificações cruzadas e marcas de ondas, com ocorrências de seixos de argilitos e nódulos carbonáticos (SOARES et al., 1980). Esta formação se estende pelo oeste do Estado de São Paulo, constituindo o Planalto Ocidental (MELO et al., 1982).

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Serviços Minerais (CPRM, 2012), o Aquífero Adamantina possui uma profundidade média de 100 m, inferior aos Aquíferos Caiuá e Anastácio. A capacidade específica do Aquífero Adamantina também é menor que os outros aquíferos que constituem o Sistema Aquífero Bauru, sendo registrada uma média de <1,0 m^3/h/m. A vazão medida é de 2,0 a 18,0 e a transmissividade de <10, como visto na tabela 7. Devido à suas características, o aquífero Adamantina é comumente explorado para fins comerciais e pouca demanda de água.

Tabela 7: Principais parâmetros hidrôdinamicos do Sistema Aquífero Bauru (CPRM, 2012).

Parâmetro	Aquífero Caiuá	Aquífero Santo Anastácio	Aquífero Adamantina	Aquífero Marília
Profundidade (m)	150	150	100	-
Capacidade Específica ($m^3/h/m$)	1,5	1,3 a 8,8	<1,0	0,01 a 0,1
Vazão (m^3/h)	62,5	5 a 100	2,0 a 18,0	25,0 a 75,0
Transmissividade (m^2/d)	200	73 a 380	<10	-
Condutividade Hidráulica (m/d)	1,5	1,0 a 3,9	-	-

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2006) os valores registrados para o Aquífero Adamantina em 31 poços em comparação à Portaria MS 1469/00 indicam alterações de alguns parâmetros como o cromo total, ferro total, alumínio total e bário total em diferentes municípios situados no aquífero estudado, como visto nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Adamantina (CETESB, 2006).

Parâmetro	Unidade	Padrão Portaria MS nº1469/00	Aqüífero Adamantina (31 poços)		
			Amplitude de Variação	Mediana	3º Quartil (75%)
Cobre	mg/L Cu	2	<0,01- 0,05	<0,01	<0,01
Cobalto	mg/L Co	--	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total	mg/L Cr	0,05	<0,0005 – 0,17	0,03	0,045
Ferro Total	mg/L Fe	0,3	<0,01 - 0,58	0,02	0,03
Fluoreto	mg/L F	1,5	<0,03 - 1,24	0,14	0,28
Magnésio Total	mg/L Mg	--	0,2 – 18,0	4,6	7,5
Manganês Total	mg/L Mn	0,1	<0,002 – 0,05	<0,005	<0,006
Mercúrio Total	mg/L Hg	0,001	<0,0001 - <0,001	<0,0001	<0,0001
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	10	<0,01- 4,80	1,20	2,10
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg/L N	--	<0,02 - 0,54	0,07	0,15
Níquel	mg/L Ni	--	<0,02	<0,02	<0,02
Potássio	mg/L K	--	0,8 - 7,61	3,49	4,5
Selênio	mg/L Se	0,01	<0,002	<0,002	<0,002
Sódio Total	mg/L Na	200	1,8 - 34,6	7,4	16,3
Vanádio	mg/L V	--	<0,02 - 0,10	<0,02	<0,02
Zinco	mg/L Zn	5	<0,01	<0,01	<0,01
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	0 - 1100	0	0

Tabela 9: Síntese dos dados de qualidade das águas subterrâneas para o Aquífero Adamantina (CETESB, 2006).

Parâmetro	Unidade	Padrão Portaria MS nº1469/00	Adamantina (31 poços)		
			Amplitude de Variação	Mediana	3º Quartil (75%)
pH	--	6,0-9,5	5,4 - 8,6	7	7
Temperatura	ºC	--	15 - 29	24	25
Condutividade Elétrica	µS/cm	--	77 - 408	174	216
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	79 - 305	144	170
Resíduo Seco 180°C	mg/L	--	58 - 320	140	158
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	500	11 - 145	62	80
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L $CaCO_3$	--	5 - 166	77	93
Alcalinidade Carbonato	mg/L $CaCO_3$	--	0 - 15	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/L $CaCO_3$	--	0	0	0
Carbono Org. Dissolvido	mg/L C	--	<1,0 - 16,0	1,3	3,8
Alumínio Total	mg/L Al	0,2	<0,01 - 0,25	0,01	0,04
Arsênio Total	mg/L As	0,01	<0,002 - 0,003	<0,002	<0,002
Bário Total	mg/L Ba	0,7	<0,08 - 1,35	0,12	0,20
Boro	mg/L B	--	<0,03	<0,03	<0,03
Cálcio Total	mg/l Ca	--	4,6 - 54,6	17	21
Cádmio Total	mg/L Cd	0,005	<0,0001- 0,004	<0,0001	<0,0001
Cloreto	mg/L Cl	250	0,5 - 14	2,5	4,0
Chumbo Total	mg/L Pb	0,01	<0,002 - 0,007	<0,002	<0,002

7 MATERIAIS E MÉTODO

Para a realização do presente projeto, foi necessário realizar um levantamento dos poços cadastrados no município de Bauru que retiram água do Aquífero Adamantina junto ao DAEE e DAE para definição dos pontos de coleta.

Foram coletadas 24 amostras em diferentes pontos no município. Na etapa de tratamento dos dados, foram utilizadas as seguintes fontes de informação: mapa geológico, mapa de localização dos poços, cadastro de poços e processos de pedido de Outorga de Direito de Uso.

Tomou-se o cuidado no momento da escolha abranger a maior área possível dentro do município de Bauru, entretanto a área rural não pode ser analisada, pois os dados de localização fornecidos pelo DAEE não eram compatíveis com as coordenadas das áreas descritas. Por isso, apenas os poços da área urbana puderam ser amostrados, totalizando 24 pontos (figura 14).

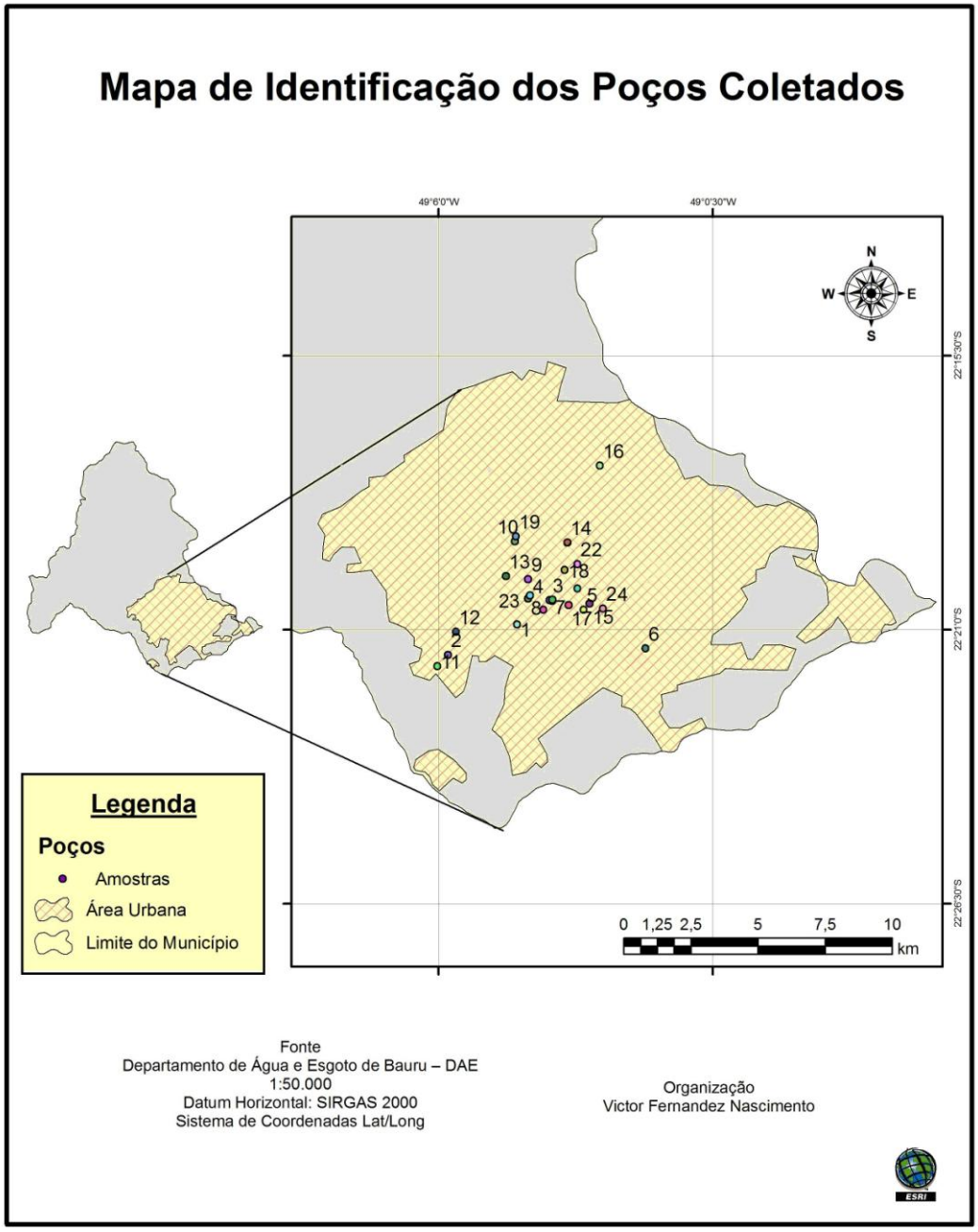


Figura 14: Localização dos pontos coletados. Fonte: DAE, 2007; Org. Nascimento, V. F e Canato, H. M.

As coletas nos poços aconteceram em 5 dias:

- Poços 01 ao 09 em 15 de fevereiro de 2013;
- Poços 10 ao 16 em 16 de fevereiro de 2013;
- Poços 17 ao 21 em 17 de fevereiro de 2013;
- Poços 22 ao 25 em 29 de fevereiro de 2013;
- Poços 26 ao 30 em 01 de março de 2013.

Para fins de comparação com os dados já existentes nas bibliografias consultadas, usou-se como parâmetro para eleger os poços amostrados a metodologia aplicada no trabalho de Silva (2009) que realizou amostras em 26 pontos na área urbana do município de Bauru, como visto na figura 15.

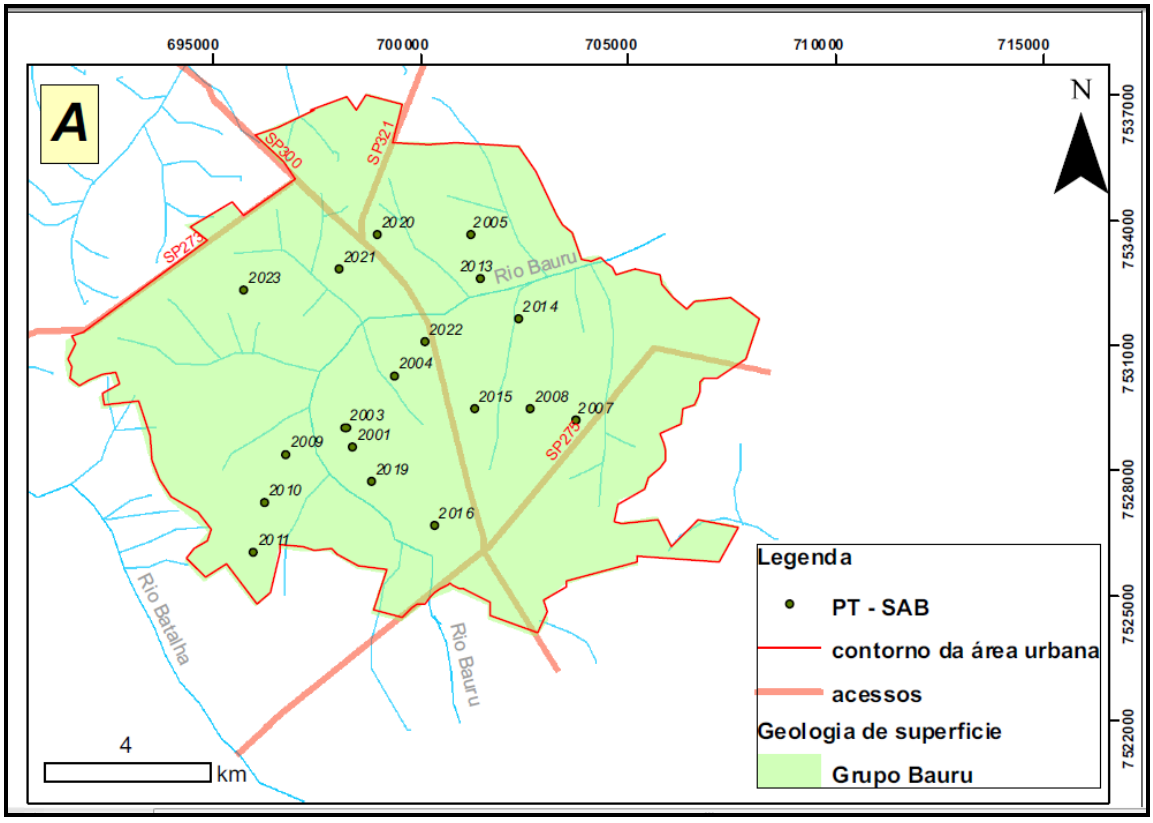


Figura 15: Localização dos poços amostrados utilizados no estudo de Silva (2009).

As amostras de água foram filtradas por membrana Millipore (0,45 μm) acopladas a uma seringa descartável, em campo, e armazenadas em recipientes específicos para transporte até o Laboratório Lagea, para outras análises.

Na figura 16 é possível visualizar um dos poços sendo amostrados.



Figura 16: Captação de água em poço do Aquífero Adamantina.

Os poços amostrados neste estudo não possuem dados referentes a profundidade, bem com suas características construtivas. Em relação à vazão, fica evidente uma grande variação nos valores, com a menor e maior vazão obtidas para os poços 1 (0,5 m^3/h) e 2 (10,00 m^3/h), respectivamente, sendo a vazão média de 4,0 m^3/h.

Coletaram-se diretamente do poço de amostragem, antes da fluoretação e cloração, dois litros de águas subterrâneas por poço, após escoamento de 15 minutos, para que não fossem coletadas amostras estagnadas e/ou contaminadas (CONCEIÇÃO et al., 2009; SILVA E CHANG, 2010). Condutividade elétrica (µS/cm), temperatura da água (ºC) e potencial hidrogeniônico (pH) foram medidos, com equipamentos de leitura direta, no próprio local de amostragem (sonda multiparâmetros YSI 556). O eletrodo de pH é do tipo combinado e os padrões de alta pureza utilizados para calibração foram de pH 4,00 (4,00 ± 0,01 à 25ºC ± 0,2ºC) e 7,00 (7,00 ± 0,01 à 25ºC ± 0,2ºC). O condutivímetro foi calibrado

utilizando-se uma solução padrão de KCl (1,0 mmol/L) de condutividade conhecida, ou seja, 147 µS/cm à 25ºC. (figura 17).



Figura 17: Sonda multi-parâmetros no ponto de amostragem.

Um frasco, contendo 1000 mL, foi conservado em caixas de isopor com gelo, e transportadas até o Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP de Rio Claro, onde foram mantidas à 4ºC até a realização das análises hidrogeoquímicas. As amostras de águas subterrâneas foram filtradas no próprio local de amostragem utilizando-se membrana Millipore 0,45 µm, para a determinação de alcalinidade, sulfato, fosfato, nitrato, cloreto, fluoreto. Outro frasco com 1000 mL foi coletado e também filtrado na mesma membrana, ainda em campo, preservadas em HNO_3, a 2%, sendo estas amostras utilizadas para a quantificação dos teores de alumínio cálcio, ferro, potássio, magnésio, sódio e silício.

Alcalinidade (1 e 500 ± 0,2 mg/L) foi quantificada por titulação com ácido sulfúrico 0,01 N. Sulfato (método turbidimétrico de sulfato de bário, 1 a 70 ± 1 mg/L),

fosfato (método do ácido ascórbico, 0,01 a 3 ± 0,01 mg/L), nitrato de nitrogênio (redução de cádmio, 0,10 a 30 ± 0,3 mg/L), e cor (método platina-cobalto, 1 a 500 ± 0,2 mg/L) e foram quantificados por espectrofotômetro Hach DR-2800. Cloreto (0,01 a 100 ± 0,02 mg/L) e fluoreto (0,01 a 2 ± 0,01 mg/L) foram quantificados por eletrodos seletivos (Orion) calibrados com padrões específicos para cada íon. Alumínio, cálcio, ferro, potássio, magnésio, sódio e silício foram quantificados por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES), instalado no Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Bauru, com os seguintes limites de determinação: 0,005 mg/L para K^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+} e Fe^{3+}, 0,067 mg/L para Ca^{2+}, 0,276 para Na^{+}, 0,042 mg/L para Si^{4+}.

O critério usado para controlar a qualidade dos resultados obtidos para as águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru foi feito com base no balanço de massa iônica. O balanço de massa molar (*ΔIon*) foi calculado, conforme Equação 1. Do total de vinte e quatro poços estudados, nenhum foi descartado, pois mostraram um balanço iônico menor que 10%, indicando que os resultados foram representativos da realidade do aquífero estudado e adequados para este estudo (Vanier et al., 2010).

$$\Delta Ion = \frac{\left[\left(\sum cátions - \sum ânions\right)100\right]}{\left(\sum cátions + \sum ânions\right)} \qquad (1)$$

Em que:

$$\Sigma cátions = [Ca^{2+}]+[Na^{+}]+[Mg^{2+}]+[K^{+}]+[Al^{3+}]+[F^{3+}]+[Si^{4+}];$$

$$\Sigma ântions = [HCO_3^{-}]+[Cl^{-}]+[F^{-}]+[PO_4^{3}]+[NO_3^{-}]+[SO_4^{2-}].$$

Para a obtenção das correlações entre os parâmetros quantificados neste trabalho, utilizou-se o *software Statistica for Windons 4.3*^{TM}. A análise de correlação linear de Pearson foi utilizada para identificação em que valores acima de ± 0,7 indicam forte grau de correlação (direta ou indireta), sendo que valores iguais a zero indicam variáveis estatisticamente independentes (BARROS NETO et al., 2003). Foi usado ainda um programa computacional que visa à especiação hidroquímica, i.e. o programa *Phreeq C* (PARKRUSRT e APPELO, 1999).

Os poços amostrados foram classificados de acordo com o uso e ocupação do solo, como visto na tabela 10.

Tabela 10: Relação dos poços amostrados.

Poço	**UTM (N) KM**	**UTM (E) Km**	**Q (m^3/h)**	**USO E OCUPAÇÃO**
1	7527,360	698,370	0,5	HOTEL
2	7526,260	695,970	10	HOTEL
3	7528,240	699,500	1	POSTO DE GASOLINA
4	7528,430	698,820	1,8	LANCHONETE
5	7527,870	700,670	3	POSTO DE GASOLINA
6	7526,410	702,780	4	SALÃO DE EVENTOS
7	7528,210	699,580	3,8	SALÃO DE EVENTOS
8	7528,310	698,750	8	ESCOLA INFANTIL
9	7529,020	698,770	3	SUPERMERCADO
10	7530,430	698,330	3	POSTO DE GASOLINA
11	7525,840	695,610	7	APAE
12	7527,110	696,260	9	HÍPICA
13	7529,150	698,000	8,5	SESI
14	7528,670	698,950	4	CONCESSIONÁRIA
15	7528,100	700,870	2,5	CONCESSIONÁRIA
16	7533,200	701,290	2	POSTO DE GASOLINA
17	7528,050	700,150	1	LAVA RÁPIDO
18	7529,360	700,040	2,2	HOTEL
19	7530,370	700,140	5,5	CONCESSIONÁRIA
20	7528,510	702,100	1	POSTO DE GASOLINA
21	7527,890	699,280	2	POSTO DE GASOLINA
22	7529,570	700,480	5	EMPRESA DE ÔNIBUS
23	7528,660	700,460	4	LANCHONETE
24	7527,910	701,330	3	SUPERMERCADO

Fonte: DAEE
Org.: Canato, H, M. (2013).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Análises físico-químicas

A partir das análises realizadas em campo e no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA), obtiveram-se os seguintes resultados apresentados nas tabelas 11 e 12 a seguir:

Tabela 11: Resultados das análises realizadas pela sonda multi-parâmetros.

Amostras	Temperatura (°C)	Condutividade	Resistividade	Oxigênio dissolvido	pH
1	24,56	122	0,008	4,4	6,13
2	24,15	34	0,03	2,93	6,18
3	25,11	78	0,013	2,25	6,32
4	25,34	125	0,008	2,57	6,09
5	23,4	48	0,021	2,3	6,5
6	24,81	48	0,021	2,42	5,92
7	24,3	30	0,034	2,28	6,56
8	24,64	41	0,024	2,47	5,91
9	25,03	182	0,006	2,41	7,22
10	26,81	167	0,006	2,61	5,67
11	24,85	46	0,022	2,42	6,38
12	24,6	33	0,03	2,36	5,71
13	25,74	184	0,005	2,31	6,36
14	25,32	252	0,004	2,35	5,65
15	24,98	59	0,017	2,11	5,85
16	25,15	48	0,021	2,61	6,27
17	24,49	113	0,009	2,3	5,8
18	25,4	182	0,005	2,37	6,71
19	25,74	207	0,005	2,26	7,38
20	25,55	81	0,012	2,25	6,2
21	24,15	92	0,011	2,21	5,73
22	25,44	27	0,038	1,31	5,68
23	25,75	180	0,006	1,14	5,76
24	25,27	57	0,018	1,35	5,95

Tabela 12: Resultados das análises realizadas no LAGEA.

Amostras	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato	Alcalinidade (mg/L)
1	0,6	0,12	0	55
2	0,2	0,7	0	15
3	0,7	0,8	0	30
4	2,6	0,8	0	18,75
5	0,7	0,14	0	18,75
6	0,1	0,7	0	28,75
7	0,1	0,7	0	11,25
8	0,5	0,11	0	17,5
9	1,2	0,12	0	82,5
10	3,1	0,9	0	10
11	0,1	0,23	0	33,75
12	1	0,5	0	10
13	3,4	0,1	0	28,75
14	0,8	0,1	0	15
15	0,4	0,11	0	28,75
16	0,2	0,11	0	26,25
17	3,2	0,08	0	33,75
18	1,5	0,1	0	82,5
19	0,2	0,28	5	62,5
20	1,5	0,12	0	26,25
21	1,5	0,09	0	25
22	0,5	0,07	0	11,25
23	1,5	0,06	0	15
24	0,6	0,07	0	26,25

A temperatura das amostras analisadas (figura 18) encontram-se entre 23,4 C° (amostra 5) e 26,81°C (amostra 11). Estes valores corroboram com os apresentados pela CETESB (2006), variando entre 22,0°C a 26ºC e Silva (2009) com valores apresentados entre 22,9°C e 28,2°C. O valor apresentado na amostra 30 é discrepante em relação aos demais, podendo ser atribuído pela profundidade do poço, mais raso neste ponto e devido ao horário da coleta, no período da tarde.

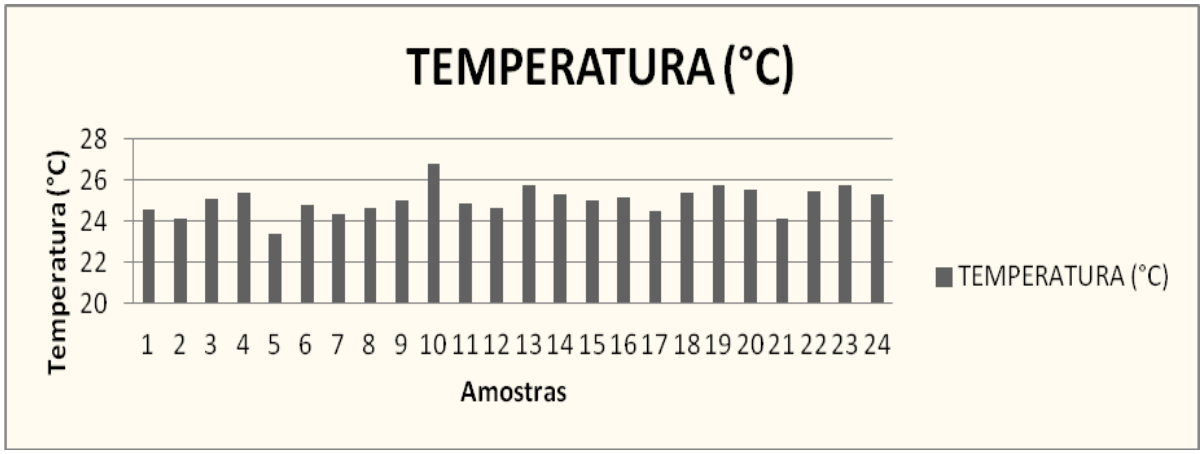


Figura 18: Temperatura da água nas amostras coletadas.

A média dos valores (figura 19) de condutividade elétrica foi de 101 µS/cm, sendo os maiores valores caracterizados nos poços 14 e 19 (> 200 µS/cm). Vários fatores podem influenciar a composição iônica, tais como geologia, temperatura e pH (CONCEIÇÃO et al, 2009). Não existem parâmetros ambientais disponíveis para quantificar a condutividade em águas subterrâneas como fator de qualidade. Em análises realizadas pela CETESB (2006), os valores variaram entre 52 µS/cm a 63 µS/cm e Silva (2009) apresentou valores entre 40 µS/cm e 292 µS/cm.

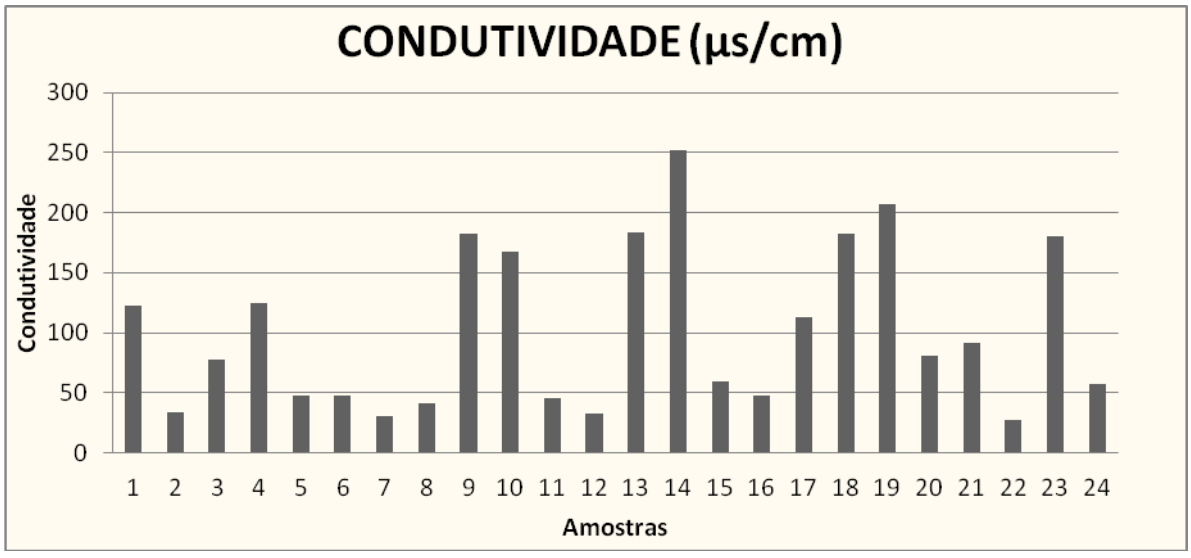


Figura 19: Resultados para condutividade da água nas amostras coletadas.

Entre os gases dissolvidos em meio aquoso, o oxigênio é um dos mais importantes pela dinâmica e caracterização dos ecossistemas, sendo que, em águas subterrâneas, assume concentrações conforme percorre o ciclo hidrológico (CONCEIÇÃO et al, 2009). O oxigênio dissolvido (OD) varia com as alterações de temperatura e pressão, podendo

reduções significativas indicar despejos de matéria orgânica. Os valores analisados (figura 20) variaram entre 1,14 mg/L a 4,40 mg/L), resultando em uma média de 2,8 mg/L (figura 20).

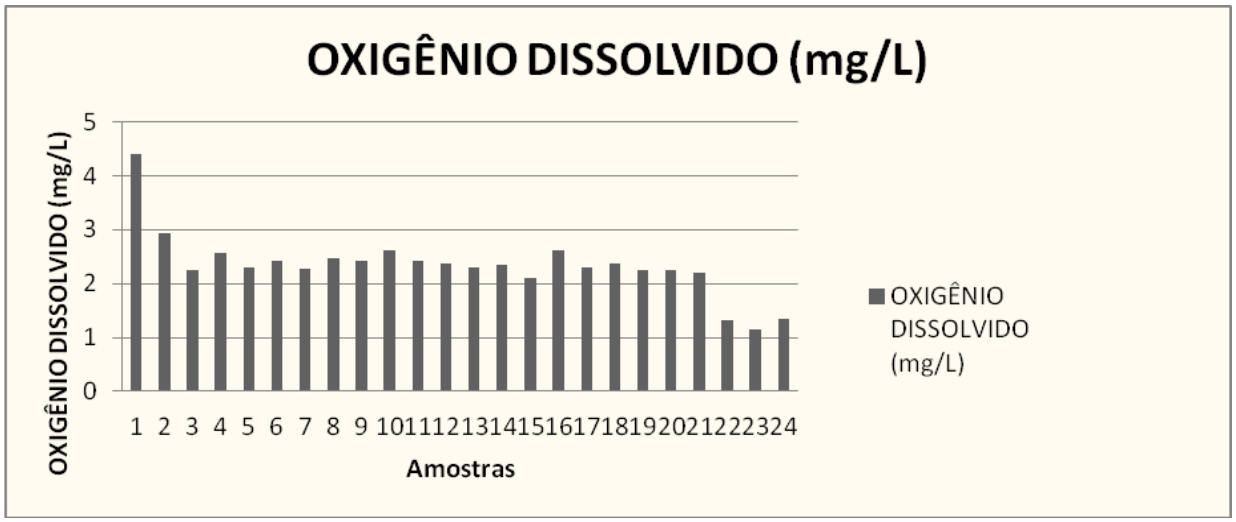


Figura 20: Resultados de oxigênio dissolvido nas amostras coletadas.

A hidrólise é a reação mais importante que afeta o pH de águas naturais. O valor médio encontrado para as águas subterrâneas do município de Bauru (figura 21) foi de 6,4, sendo o valor máximo obtidos no poço 14 (7,6). Destaca-se que o menor valor de pH foi obtido para o poço 2 (5,4). Ao todo, sete poços (2, 6, 7, 8, 11, 12 e 22) possuem pH abaixo do mínimo recomendado pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, a qual define o padrão de potabilidade de água para o consumo no Brasil (BRASIL, 2011), ou seja, valores de pH entre 6 e 9. Análises realizadas pela CETESB (2006), indicaram valores de pH entre 5,4 a 6,4. Silva (2009) encontrou valores entre 9,59 e 5,29 no município de Bauru.

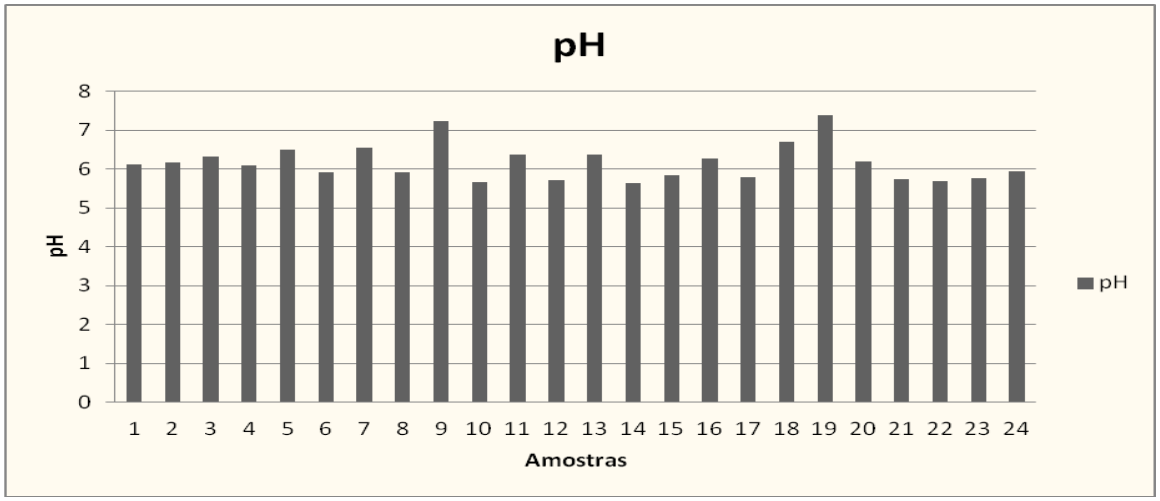


Figura 21: Valores de pH encontrados nas amostras.

O nitrato é o poluente de ocorrência mais frequente nas águas subterrâneas. Em concentrações superiores a 10 mg/L $N\text{-}NO_3^-$ pode causar metahemoglobinemia e câncer. O valor médio de nitrato encontrado nas análises das águas subterrânea do município de Bauru foi de 1,1 mg/L. Nenhum poço (figura 22) apresentou valores acima do valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011), ou seja, 10 mg/L.

A CETESB tem uma referência de valor de alerta de 5 mg/L de $N\text{-}NO_3^-$, o qual indica que se um poço deve ser monitorado anualmente, além de que a vigilância sanitária municipal e a CETESB devem ser avisadas sobre estes valores. Tomando como base este valor, nenhum poço apresentou concentração deste parâmetro acima do valor de alerta estabelecido pela CETESB. Apesar disso, todos os poços por possuírem concentrações de $N\text{-}NO_3^-$ menores que 5 mg/L, devem ser monitorados a cada cinco anos, de acordo com a mesma agência.

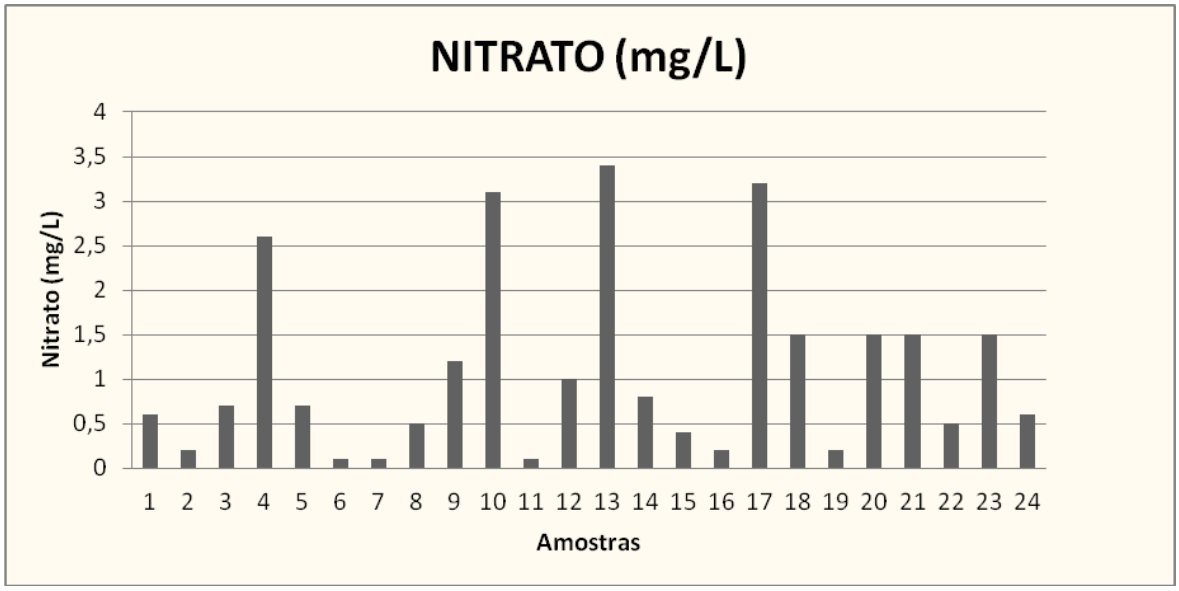


Figura 22: Valores de nitrato encontrados nas amostras.

O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos e sua presença em águas naturais depende das características das rochas da região. O íon sulfato constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários. O valor médio de fosfato encontrado para as águas subterrâneas do município de Bauru foi de 0,29 mg/L.

Os valores de referencia estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 são de até 0,05 mg/L. As amostras (figura 23) indicam que todos os poços apresentam concentrações de fosfato acima do permitido, indicando uma possível alteração por influencia antrópica através de lançamentos de efluentes domésticos e/ou industriais ou por excesso de aplicação de fertilizantes/agrotóxicos nas áreas agrícolas da região.

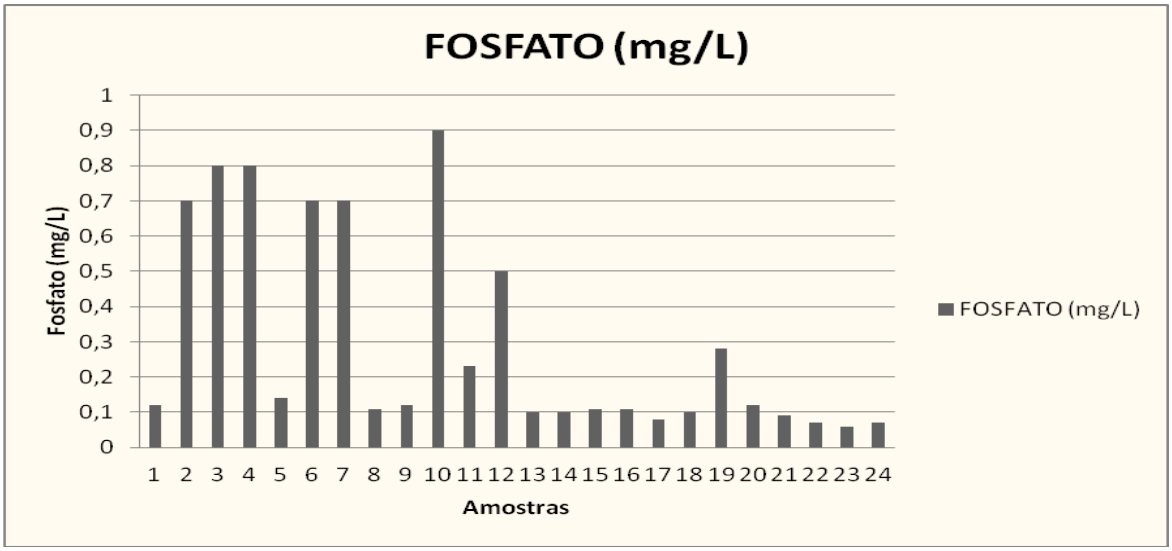


Figura 23: Valores de fosfato encontrados nas amostras.

Em relação ao sulfato, todas as amostras ficaram abaixo do limite de detecção da técnica utilizada para sua quantificação, ou seja, <1 mg/L, bem abaixo do valor máximo permitido da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) que é de 250 mg/L.

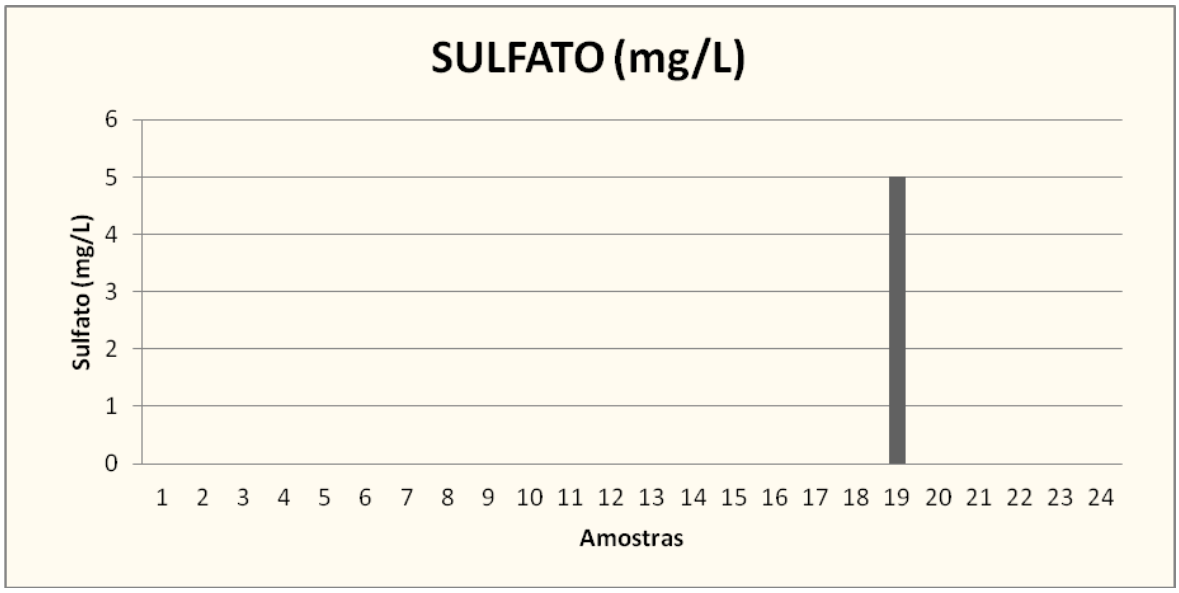


Figura 24: Valores de sulfato encontrados nas amostras

Os processos de intemperismo químico são os principais responsáveis pelo aumento dos valores de alcalinidade nas águas subterrâneas e fluviais em relação às águas de chuva. Nas amostras analisadas, o valor médio de alcalinidade encontrado foi de 43 mg/L. O maior resultado obtido foi do poço 14 (105 mg/L) e o menor do poço 12 (10 mg/L). As amostras analisadas (figura 25) apresentaram valores entre 10 mg/L (amostra 22) e 126,25 mg/L (amostra 23), sendo a média de 68,2 mg/L para a área.

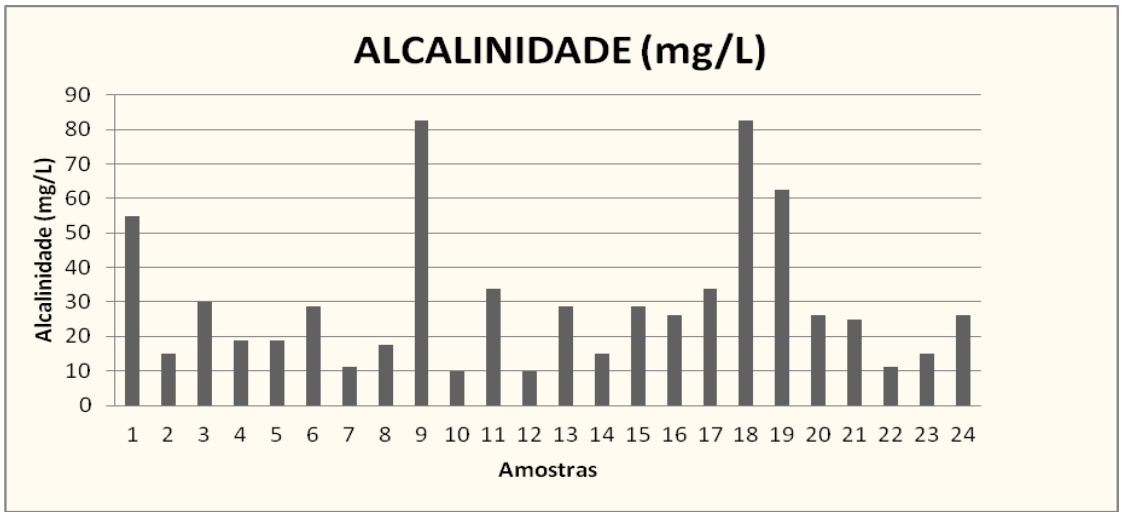


Figura 25: Valores para alcalinidade encontrados nas amostras.

8.2 Composição aniônica e catiônica

Nas tabelas 13 e 14 encontram-se os resultados obtidos para os principais ânions dissolvidos nas amostras de água subterrâneas coletadas na área urbana do município de Bauru.

Tabela 13 – Resultados dos ânions (mg/L) obtidos para a avaliação da qualidade de água subterrânea na área urbana do município de Bauru.

Poço	HCO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	$N\text{-}NO_3^-$	Cl^-	F^-
1	55	<1,0	0,12	0,6	<0,01	<0,01
2	15	<1,0	0,70	0,2	<0,01	<0,01
3	30	<1,0	0,80	0,7	<0,01	<0,01
4	49	<1,0	0,80	2,6	<0,01	<0,01
5	19	<1,0	0,14	0,7	<0,01	<0,01
6	29	<1,0	0,70	0,1	<0,01	<0,01
7	11	<1,0	0,70	0,1	<0,01	<0,01
8	17	<1,0	0,11	0,5	<0,01	<0,01
9	82	<1,0	0,12	1,2	<0,01	<0,01
10	70	<1,0	0,90	3,1	<0,01	<0,01
11	24	<1,0	0,23	0,1	<0,01	<0,01
12	10	<1,0	0,50	1,0	<0,01	<0,01
13	89	<1,0	0,10	3,4	<0,01	<0,01
14	105	<1,0	0,10	0,8	<0,01	<0,01
15	29	<1,0	0,11	0,4	<0,01	<0,01
16	26	<1,0	0,11	0,2	<0,01	<0,01
17	34	<1,0	0,08	3,2	<0,01	<0,01
18	83	<1,0	0,10	1,5	<0,01	<0,01
19	93	<1,0	0,28	0,2	<0,01	<0,01
20	26	<1,0	0,12	1,5	<0,01	<0,01
21	25	<1,0	0,09	1,5	<0,01	<0,01
22	11	<1,0	0,07	0,5	<0,01	<0,01
23	75	<1,0	0,06	1,5	<0,01	<0,01
24	26	<1,0	0,07	0,6	<0,01	<0,01
Média	43	<1,0	0,29	1,1	<0,01	<0,01

Tabela 14 – Resultados dos cátions obtidos para a avaliação da qualidade de água subterrânea na área urbana do município de Bauru.

Poço	Na^{+}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Si^{4+}	Al^{3+}	Fe^{3+}
1	2,07	3,85	14,49	3,67	9,65	0,009	0,094
2	0,58	2,07	2,69	1,04	8,87	0,010	0,098
3	1,99	2,51	9,55	2,18	10,79	0,022	0,109
4	1,68	2,29	13,96	3,58	9,69	<0,005	0,056
5	2,19	1,16	4,73	1,19	8,75	0,062	0,150
6	0,55	2,08	5,81	1,66	10,49	<0,005	0,065
7	0,48	1,72	2,94	0,82	9,51	0,022	0,095
8	1,03	1,88	3,45	1,35	10,09	0,029	0,131
9	2,16	2,94	24,69	7,92	12,89	0,041	0,107
10	3,78	5,29	13,93	4,81	9,69	<0,005	0,068
11	1,09	1,94	4,39	1,39	9,99	0,033	0,129
12	1,37	2,66	1,29	0,80	7,36	0,032	0,100
13	9,45	2,79	15,09	4,09	11,03	0,006	0,110
14	2,14	5,00	22,99	7,43	8,29	0,061	0,180
15	0,62	1,29	7,78	1,63	8,03	0,034	0,142
16	0,72	1,99	5,78	1,12	8,14	0,014	0,108
17	2,66	1,78	10,92	2,72	10,53	0,031	0,117
18	4,97	2,33	22,40	6,29	13,78	0,019	0,063
19	12,84	2,51	21,26	3,35	7,06	0,037	0,088
20	1,33	2,18	9,49	2,84	11,15	<0,005	0,062
21	1,66	2,07	11,05	2,88	10,65	<0,005	0,079
22	0,74	1,78	1,71	0,82	7,47	0,044	0,149
23	3,49	3,12	17,87	5,03	9,89	0,052	0,118
24	1,16	1,60	11,54	2,35	10,18	0,085	0,110
Média	2,53	2,45	10,82	2,96	9,75	0,034	0,105

Os valores de cálcio nas amostras analisadas indicam um valor máximo de 24,69 mg/L (poço 9) e mínimo de 1,29 mg/L (poço 12), sendo a média dos valores encontrados nas águas subterrâneas de 10,82 mg/L. Estes mesmos poços apresentaram a maior e menor concentração de magnésio, ou seja, 7,92 e 0,80 mg/L, sendo 2,96 mg/L a média deste parâmetro nos poços de água subterrânea do município de Bauru.

O valor médio de sódio encontrado nas águas subterrâneas do município de Bauru foi de 2,53 mg/L, com os poços 19 (12,84 mg/L) e 2 (0,58 mg/L) apresentando a maior e menor concentração deste parâmetro, respectivamente. Todos os valores obtidos de sódio ficaram bem abaixo do valor limite permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011) de 200 mg/L. O valor médio obtido de potássio para as águas subterrâneas da área urbana de Bauru foi de 2,45 mg/L, com variação entre 1,16 mg/L para o poço 5 e 5,29 mg/L para o poço 10.

A média de silício, alumínio e ferro para as águas subterrâneas da área urbana do município de Bauru foi de 9,75, 0,034 e 0,105 mg/L, respectivamente. Nenhuma amostra

coletadas apresentou valores de Al^{3+} e Fe^{3+} maiores que o valor máximo permitido estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011), ou seja, 0,20 e 0,30 mg/L, respectivamente. Estes mesmos limites são estabelecidos pela CETESB no estado de São Paulo para intervenção em poços de abastecimento de água subterrânea.

8.3 Classificação das águas subterrâneas

A média dos valores de dureza para as águas subterrâneas da área urbana de Bauru foi de 39,19 mg/L, variando de 6,51 mg/L (poço 12) a 94,20 mg/L (poço 9). De acordo com o proposto por Sawyer et al. (2000) (Tabela 5), estas águas subterrâneas podem ser classificadas como moles ou moderadamente duras, não prejudicando o abastecimento público devido à baixa dureza.

Tabela 15: Classificação de dureza das águas (Sawyer et al., 2000).

Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	**Classificação das águas**
0 - 75	Mole
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
Maior que 300	Muito dura

De maneira a classificar quimicamente as águas subterrâneas da área urbana de Bauru, decidiu-se utilizar um dos diagramas mais úteis para representar e comparar os resultados das análises de águas subterrâneas, isto é, o diagrama de Piper (1944), o qual indica a característica química da água e aponta semelhanças entre várias águas. Os cátions e ânions (expressos em porcentagem de mEq/L) são representados por dois triângulos distintos. Conforme o diagrama apresentado na figura 26, todas as amostras são classificadas como cálcicas bicarbonatadas.

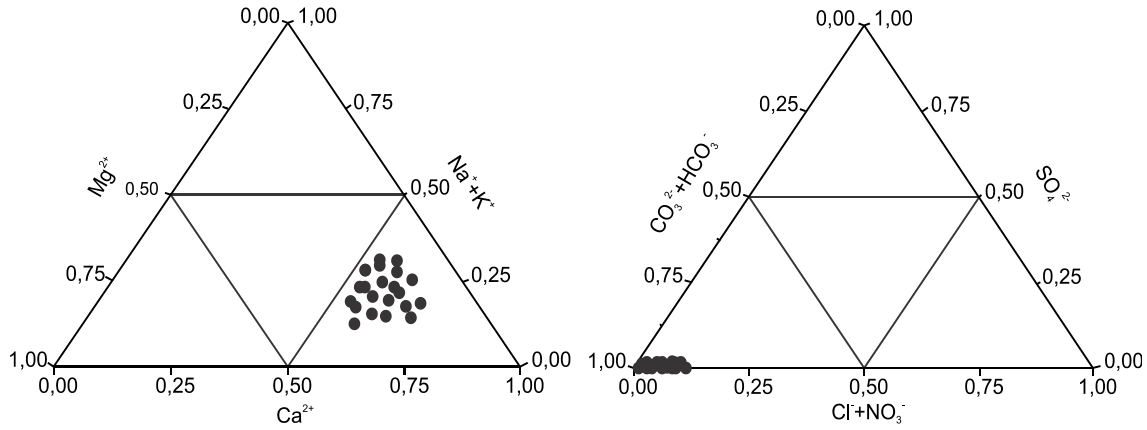


Figura 26 – Diagrama de Piper para as águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru.

8.4 Testes estatísticos e especiação hidrogeoquímica

Os testes estatísticos de correlação de Pearson, conforme a tabela 16, indicaram que não houveram parâmetros influenciados pela temperatura. Houve correlações significativas entre condutividade elétrica e pH (r = 0,84), condutividade elétrica e alcalinidade (r = 0,98), condutividade elétrica e cálcio (r = 0,94) e condutividade elétrica e magnésio (r = 0,91). Significativas correlações também foram obtidas entre pH e alcalinidade (r = 0,82), pH e cálcio (r = 0,89), pH e magnésio (r = 0,86), alcalinidade e cálcio (r = 0,93), alcalinidade e magnésio (r = 0,90) e cálcio e magnésio (r = 0,94).

Tabela 16 - Matriz de correlação obtida pela função de Pearson (*P<0,01*) para os resultados obtidos para os diversos parâmetros quantificados nas águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru. Não foram feitas as correlações envolvendo SO_4^{2-}, Cl^- e F^-, pois os valores mensurados ficaram abaixo do limite de detecção.

Temp[1]	**Cond**[2]	**pH**	**HCO_3^-**	**PO_4^{3-}**	**N-NO_3^-**	**Na^+**	**K^+**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**Si^{4+}**	**Al^{3+}**	**Fe^{3+}**
1,00												
0,54	1,00											
0,39	0,84	1,00										
0,57	0,98	0,82	1,00									
0,14	-0,18	-0,20	-0,18	1,00								
0,40	0,42	0,24	0,39	0,04	1,00							
0,42	0,45	0,48	0,48	-0,12	0,32	1,00						
0,57	0,48	0,53	0,46	0,19	0,34	-0,23	1,00					
0,47	0,94	0,89	0,93	-0,24	0,36	0,56	-0,55	1,00				
0,46	0,91	0,86	0,90	-0,20	0,42	0,35	0,46	0,94	1,00			
0,07	0,26	0,26	0,25	-0,09	0,37	0,01	0,02	0,42	0,50	1,00		
0,02	0,08	0,04	0,03	-0,36	-0,14	-0,13	-0,04	0,16	0,15	-0,16	1,00	
-0,26	-0,04	-0,13	-0,03	-0,46	-0,28	-0,15	-0,04	-0,13	-0,06	-0,41	0,80	1,00

Estas correlações indicam que o pH e a condutividade elétrica estão sendo controlados pela alcalinidade, cálcio e magnésio, além de confirmar que a alcalinidade nas águas subterrâneas na área urbana do município de Bauru deve-se principalmente a bicarbonatos de cálcio e magnésio, como indicado pelo Diagrama de Piper, conforme figura 3. Para confirmar essa hipótese, foi usado um programa computacional que visa à especiação hidroquímica, i.e. o programa *Phreeq C* (PARKRUSRT e APPELO, 1999). A insaturação das águas subterrâneas do município de Bauru em relação à calcita, conforme figura 4a, indica que as fontes de cálcio, magnésio e alcalinidade estão relacionadas à dissolução dos carbonatos [calcita – $CaCO_3$ e dolomita – $CaMg(CO_3)_2$] presentes nas rochas sedimentares da Formação Adamantina, conforme as Equações 2 e 3.

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^- \quad (2)$$

$$CaMg(CO_3)_2 + 2H_2O + 2CO_2 \rightarrow Ca^{2+} + Mg^{2+} + 4HCO_3^- \quad (3)$$

Além do processo de dissolução dos carbonatos, que cimentam as rochas sedimentares da Formação Adamantina, outros minerais são encontrados nestas rochas, tais

como microclínio - $KAlSi_3O_8$, albita - $NaAlSi_3O_8$ e quartzo – SiO_2 (SOARES et al., 1980). Pedro & Sieffermann (1979) consideram que o intemperismo deve-se basicamente à alteração de minerais primários, ou seja: minerais primários + solução de ataque = minerais secundários + lixiviados. A degradação primária ou total destruição das estruturas dos minerais primários pode produzir fases secundárias, onde o processo é fortemente influenciado pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e pelo tempo (Martini & Chesworth, 1992), como visto na figura 27.

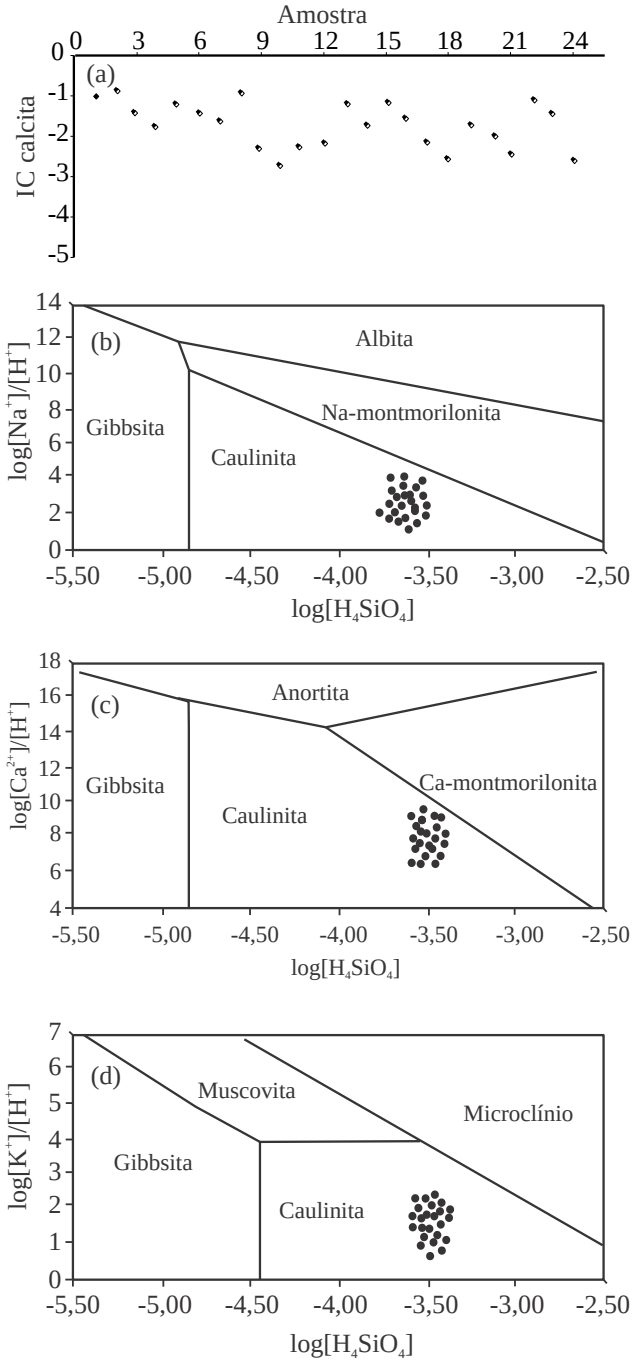


Figura 27 – Índice de saturação da calcita (a), diagrama de estabilidade à 25ºC $NaO-Al_2O_3-Si_2O-H_2O$ (b), $CaO-Al_2O_3-Si_2O-H_2O$ (c) e $K_2O-Al_2O_3-Si_2O-H_2O$ (d) para as amostras de água subterrânea coletadas na área urbana do município de Bauru.

De acordo com o equilíbrio químico das amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços da área urbana do município de Bauru obtido com o uso do programa Phreeq C (PARKRUSRT e APPELO, 1999), todas as amostras encontram-se no campo das caulinitas - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, conforme as figuras 27b, 27c e 27d, indicando que o principal processo intempérico atuante nos minerais primários das rochas sedimentares da Formação Adamantina é a hidrólise parcial, ou monossialitização.

Esse processo ocorre pela hidrólise parcial da rocha mãe, com parte do Si^{4+} permanecendo no perfil de alteração e Na+, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} sendo eliminados. Assim, o Na^+ e K^+ são esperados ser lixiviados pela hidrólise do microclínio e da albita, conforme as equações 4 e 5 respectivamente. Quartzo não sofre processo intempérico, ou seja, não sofre alteração química, indicando que a presença de Si^{4+} nas águas subterrâneas deve-se a hidrólise dos mesmos minerais.

$$2KAlSi_3O_8 + 11H_2O + 2CO_2 \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4H_4SiO_4 + 2HCO_3^- \quad (4)$$

$$2NaAlSi_3O_8 + 11H_2O + 2CO_2 \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Na^+ + 4H_4SiO_4 + 2HCO_3^- \quad (5)$$

De acordo com Soares, et al (1980), as rochas sedimentares da Formação Adamantina não apresentam minerais que possuem Cl^-, F, NO_3^-, SO_4^{2-} ou PO_4^{3-} nas suas fórmulas estruturais, sendo esperada pouca entrada desses elementos/compostos nas águas subterrâneas coletadas na área urbana do município de Bauru devido à interação água-rocha, como indicado pelos resultados aqui apresentados. A exceção foram as concentrações de nitrato acima de 2,5 mg/L de $N\text{-}NO_3^-$ nos poços 4, 10, 13 e 17. Os elevados valores de $N\text{-}NO_3^-$ podem ser atribuídos a contaminação dos poços pela infiltração no solo de efluentes domésticos originados por vazamentos na rede coletara de esgoto sanitário ou fossas negras.

Nas condições de pH das águas subterrâneas coletadas nos poços de abastecimento público na área urbana de Bauru, tanto o alumínio quanto o ferro são imóveis, e suas concentrações esperadas devem ser baixas. Boa correlação entre alumínio e ferro foi obtida ($r = 0,80$), sugerindo que a presença destes elementos deve ser associada à mesma fonte antrópica, ou seja, pela possível corrosão dos tubos de ferro fundido antigos usados como revestimentos de alguns destes poços de abastecimento.

9 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Bauru encontra-se localizado na área do Sistema Aquífero Bauru, onde há uso da água subterrânea para diferentes atividades. Em geral, os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que as águas subterrâneas do município de Bauru possuem pH ligeiramente ácido e baixa condutividade elétrica. Já os parâmetros químicos indicaram que essas águas são de moles a moderadamente duras (em relação a sua dureza total), possuem baixa concentração de ânions e cátions, sendo as amostras consideradas como bicarbonatadas cálcicas. Testes estatísticos de correlação e especiação hidroegoquímica sugerem que tanto a condutividade elétrica como o pH devem estar sendo controlados pelas dissoluções de carbonatos durante o processo intempérico de interação água/rocha. Além disso, indica que o principal processo intempérico atuante nos minerais silicatados formadores das rochas sedimentares da Formação Adamantina é a hidrólise parcial, ou monossialitização. As concentrações de NO_3^- encontradas em alguns poços de Bauru podem ser explicadas pela contaminação por efluentes domésticos. Da mesma maneira, a moderada concentração de ferro e alumínio, juntamente com a correlação entre esses metais, sugere uma fonte antrópica para eles, provavelmente advinda da corrosão dos antigos tubos usados como revestimentos de alguns poços de abastecimento da área urbana de Bauru.

Sendo a água subterrânea um recurso renovável que pode degradar-se e converter-se em um recurso não utilizável, deve-se prevenir esta situação, controlando o lançamento de efluentes, principal fonte de contaminação das águas subterrâneas na área de estudo. Além disso, é conveniente e necessária a delimitação de áreas de proteção, as quais já deveriam estar caracterizadas por um plano diretor municipal. Nas zonas urbanas seria importante estabelecer o zoneamento da vulnerabilidade à poluição, a partir das características naturais dos aquíferos. Além disso, seria necessário desenvolver campanhas de divulgação, educação e capacitação de todos os atores em relação ao manejo desse recurso natural, para que haja uma exploração adequada sustentável sem que se comprometa a sua qualidade, preservando-o para as gerações futuras.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica n° 12.244/90**. Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Técnica n°. 12.212/92**. Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ANA. Agencia Nacional das Águas. **Caderno de Recursos Hídricos. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** 2005

BARCHA S. F. **Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na Região norte.ocidental do Estado de São Paulo**. Tese Livre Docência, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José do Rio Preto. 209 p., 1980.

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

BARISON, M.R. **Estudo Hidroquímico na Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 153 p. Tese (Doutorado em Geociencias e Meio Ambiente) – Instituto de Geociencias e Ciencias Exatas,Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BARROS NETO, B. de; et al. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2ªed. Editora Unicamp, 2003.

BARTH, F. T. Legislação sobre águas subterrâneas. **X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.** 1997.

BAURU. **Lei nº 4.296, de 07 de abril de 1998. Denomina e regulamenta os usos na Área de Proteção Ambiental, a encosta do Rio Batalha**. Disponível em: <http://antigo.bauru.sp.gov.br/prefeitura/conteudo/meioambiente/lei4296.pdf>. Acesso em 27 nov 2012.

BAURU. Secretaria de Planejamento Urbano de Bauru. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Cidade de Bauru**, 2006. Disponível em: <http://hotsite.bauru.sp.gov.br/planodiretor/arquivos/website_planodiretor_etapas.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2012.

BONOTTO, D.M. Hydro(radio) chemical relationships in the giant Guarani aquifer, Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 323, p. 353-386, 2006.

BONOTTO, D.M. & MANCINI, L.H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aqüíferos de Rio Claro (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 6, n. 2, p. 153-167, 1992.

BRANDT NETO, M. 1977. **Estratigrafia da Formação Bauru na região do baixo**

Tietê. 1977. 74 p. Dissertacao (Mestrado em Geociencias) - Instituto de Geociencias, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1977.

BRANDT NETO, M. **O Grupo Bauru na região centro-norte do estado de São Paulo**. 1984. Sao Paulo. 2v. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociencias, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1984.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL.Casa Civil. **Lei 9433 de 08 de janeiro de 1997.** Lei Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm

BRASIL. Casa Civil. **Constituição Federal de 1988**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>

BRASIL. Casa Civil. **Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934.** Código de Águas. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 36**. Brasília, 1990.

BRASIL - Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 1469.** Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 2914**. Brasília, 2011.

CEPAGR*I*. **CEPAGRI** Acesso em 11 de maio de 2011, disponível em Clima dos municípios paulistas: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/vlima-dos-municipios-paulistas.html

CETESB.(São Paulo). **Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo**. São Paulo: 48,1997.

CETESB. (São Paulo). **Relação das áreas contaminadas no estado de São Paulo 2004**. [recurso eletrônico]/ CETESB. - São Paulo: CETESB, 2004. Acesso em 3 de maio de 2011, disponível em Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental: www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp

CETESB. (São Paulo). **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo, CETESB, 274 p., 2006.

CETESB (São Paulo) **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2010** [recurso eletrônico] / CETESB. - São Paulo : CETESB, 2011. 298 p (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)

CETESB (São Paulo) **Áreas contaminadas e reabilitadas do Estado de São Paulo.** p. 4131, 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 20 de 18 de junho de 1986.**

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/ legiano1.cfm>. Acesso em: 23 nov 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008.**

CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas à avaliação da qualidade de água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.

CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 4, p. 575-591, 2004.

CONCEIÇÃO, F.T., SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; BONOTTO, D.M. Hydrochemical relationships at Meio Stream Watershed, Leme, São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 390-401, 2007.

CONCEIÇÃO, F. T., CUNHA, F., SARDINHA, D., SOUZA, A. D., & SINELLI, O. (2009). **Hidrogeoquímica do Aquiífero Guarani na área urbana de Rieirão Preto/SP.** *Revista Geociencias* , v. 28, n. 1, p. 65-77, 2009.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Sistema Aquífero Bauru - Caíua nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná.** Relatório - Brasil: CPRM, 2012. vol. 14.

CPRM. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.** *Nota Explicativa. Escala: 1:1.000.000.* 2005

DAE - Departamento de Água e Esgoto de Bauru. **Texto Básico sobre Água em Bauru.** Bauru, 2007.

DAE. **Departamento de Água e Esgoto de Bauru.** Acesso em 19 de abril de 2012, disponível em http://www.daebauru.com.br/site2006/index2.php DAEE, IPT, IG, &

DAEE. **Mapa hidrogeológico do estado de São Paulo**. Escala 1: 500.000. São Paulo: Daee, 2005. CD ROM.

DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG-Instituto Geológico : IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.** Gestão integrada das águas das Unidades Estratigráficas do Aquífero Bauru nas Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe Paulo : escala 1:1.000.000 : nota explicativa/ [coordenação geral Gerôncio Rocha], vários colaboradores, 3v. 119p. CD-ROM e Mapa. p. 32–38.

DJABRI, L.; HANI, A.; LAOUAR, R.; MANIA, J.; MUDRY, J.; LOUHI, A. Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. **Environmental Geology**, v. 44, p. 738-744, 2003.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Embrapa-Solos, Rio de Janeiro – RJ, 388 p., 1999.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1992.

FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza, CPRM, LABHID-Universidade Federal de Pernambuco, 412 p., 1997.

FERNANDES, L. A. 1998. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil).** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. 216 p.

FIGUEIREDO, J. C., & PAZ, R. M. **Nova Classificação Climática e o aspecto climatológico de Bauru/SP**. *XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia.* Belém, 2010.

FINOTTI. A.R.; LUNA CAICEDO, N.O. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 2001. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/v6/v6n2/v62_03contaminacoesfinal.pd>

FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais), 2006.

GODOY, M.T.F; BOIN, M.; SANAIOTTI, D.; SILVA, J. **Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP**, Brasil. Revista Instituto Adolfo Lutz, 63(2): 208-214, 2004.

GOMES, L. **Águas superficiais na Bacia do Ribeirão Água Parada no município de Bauru - SP: potencial utilização para abastecimento público**. Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. Bauru, 2012

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto 3295 de 7 de fevereiro de 1991**. Disponível em: < http://www.jusbrasil.com.br/topicos/12809493/decreto-n-32955-de-07-de-fevereiro-de-1991-de-sao-paulo>

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei 6134 de 2 de junho de 1988**. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/188567/lei-6134-88-sao-paulo-sp>

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei 13.577 de 8 de julho de 2009.** Disponível em: < http://www.jusbrasil.com.br/topicos/23440645/lei-n-13577-de-08-de-julho-de-2009-de-sao-paulo>

HACH. **Water Analysis Handbook**. 2nd ed. Colorado, USA, 658 p., 1992.

HIRATA, R. **Estudo da contaminação por nitrato no Distrito de Tibiriçá, Bauru**. São Paulo, DAE/IGc-USP. Relatório técnico, 2000.

HIRATA R; BASTOS, C.; ROCHA, G. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Sao Paulo: IG/CETESB/DAEE, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de Sao Paulo. 1997. Serie Documentos. 2 vol.

IBGE. (2011). Acesso em 18 de maio de 2011, disponível em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: http://www.ibge.gov.br/home/
IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT. Escala 1:500.000. 1981.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1: 500.000. São Paulo: IPT, 1981a. 2 v. (Monografias, 6; Publicação, 1 184).

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Cadernos de Educação Ambiental: As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico. São Paulo, 2008.

KRALIK, M. & KEIMEL, T. Time-input, an innovative groundwater-vulnerability assessment scheme: application to an alpine test site. **Environmental Geology**, v. 44, p. 679-686, 2003.

LIMA, A. A. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto/SP.** Dissertação Mestrado em Geociências e Meio Ambiente – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus Rio Claro. 2004..

MARTINI, I. P., CHESWORTH, W. **Weathering, soils and paleosols**. Elsevier Science Publications, Amsterdam, 1992, p. 618.

NASCIMENTO, V.F. **Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP, Utilizando Análise Multi-Critério de Decisão e Técnicas de Geoprocessamento.** Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. Bauru,-2013.

NANNI, A. S. et al. Avaliação da influência das atividades antrópicas na qualidade das águas subterrâneas no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** V.17, n. 2. P. 43-51, 2012.

OLIVEIRA, J. B., CAMARGO, M. N., ROSSI, M., & CALDERANO FILHO, B. (1999). **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronomico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

PARKHURST, D. L., APPELO, C. A. J. **User´s guide to PHREEQ C – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations.** Denver: USGS, Water-resources investigation, Report 99-4259, 1999, 310 p.

PAULA E SILVA, F. et al. Estratigrafia de Subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências.** v.35 – 1. p. 77-88, 2005

PAULA E SILVA, F. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 166 p, 2003.

PAWAR, N.J.; PONDHE, G.M; PATIL, S.F. Groundwater pollution due to sugar-mill effluent, at Sonai, Maharashtra, India. **Environmental Geology**, v. 34, p. 627-638, 1998.

PEDRO, G., SIEFFERMANN, G. Weathering of rocks and formation of soils. In: Siegel, F. R. (ed.), **Review in Modern Problems of Geochemistry**. UNESCO, p. 39-55, 1979.

PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Transactions American Geophysical Union**, v. 25, p. 914-928, 1944.

PRADO, H**. Solos do Brasil**: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo agrícola e geotécnico. 3.ed. Piracicaba, 2003.

PRANDI, E. **Gestão integrada das águas do Sistema Aqüífero Bauru nas bacias hidrográficas dos rios do Aguapeí e Peixe/SP.** Tese de Doutorado, IGCE, UNESP, Rio Claro, 2010, 142 p.

PROCEL, S. **Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aqüífero Bauru em Presidente Prudente (SP).** IGc, USP, Dissertação de Mestrado, 2011.

REYNOLDS-VARGAS, J.; et al. Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, v. 35, n. 5, p.229-236, 2006.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo. 1997. Escala 1:500.000.

SANAIOTTI, D. C. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente - São Paulo - Brasil. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina.** São Paulo, 2005.

SAWYER, C. N.; et al. **Chemistry for sanitary engineers**. 4º ed, New York, McGraw-Hill, 2000.

SILVA, S. R., CHANG, H. K. Hidroquímica dos sistemas aqüíferos Bauru e Guarani na região metropolitana de Bauru (SP). **Águas Subterrâneas**, v. 24, n. 1, p. 69-84, 2010.

SILVA, S. R. **Caracterização hidrogeoquímica dos sistemas aqüíferos bauru e guarani no município de Bauru.** Dissertação Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus Rio Claro. 2009.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; SOBREIRO NETO A.F. Ensaio de caracterizacao estratigrafica do Cretaceo no Estado de Sao Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, Sao Paulo, v. 3, p. 177-185. 1980.

STRADIOTO, M. R. **Hidrogeoquímica e aspectos diagenéticos do sistema aquífero Bauru na região sudoeste do Estado de São Paulo.** Dissertação Mestrado em Geociencias e Meio Ambiente - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", - Campus de Rio Claro, 2007

TEIXEIRA, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R. e Taioli, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

TONETTO, E.M. **O tório em águas subterrâneas de Águas da Prata (SP)**. Rio Claro, 1996. 73 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

TONETTO, E.M. & BONOTTO, D.M. Hydrochemical relationships in groundwater from central São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, v. 4, p. 942-955, 2005.

VARNIER, C. L. **Avaliação da contaminação de uma fossa negra desativada na zona não saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP)**. 2007. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociencias, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 144p.

VARNIER C., et al - **Nitrato nas águas subterrâneas do sistema aquífero bauru na área urbana do município de Marília. (SP)** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 31 (1/2), 1-21, 2009.

VARNIER C., et al. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aqüífero Bauru área urbana do município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1/2, p. 1-21, 2010.