

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTAMINAÇÃO POR NITRATO E SUA RELAÇÃO
COM O CRESCIMENTO URBANO NO SISTEMA
AQUÍFERO BAURU EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP)**

Sandra Procel

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

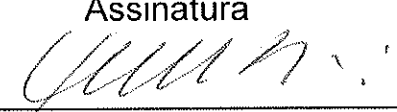

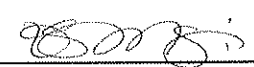
CONTAMINAÇÃO POR NITRATO E SUA RELAÇÃO COM O CRESCIMENTO
URBANO NO SISTEMA AQUÍFERO BAURU EM PRESIDENTE PRUDENTE
(SP)

SANDRA TERESA PROCEL GUERRA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata	
Examinadores:	Dr. Didier Gastmans (UNESP)	
	Prof ^ª . Dr ^ª . Veridiana Teixeira de Souza Martins (GSA/IGc/USP)	

SÃO PAULO
2011
(Versão original)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTAMINAÇÃO POR NITRATO E SUA RELAÇÃO
COM O CRESCIMENTO URBANO NO SISTEMA
AQUÍFERO BAURU EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP)**

Sandra Procel



Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030681

SÃO PAULO

2011

Autorizo a reprodução e divulgação total e/ou parcial deste trabalho, por qualquer meio para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

*A meu grande e único amor
Raúl Eduardo (Pichocho)
e aos meus amados pais
Bolívar e Teresa*

AGRADECIMENTOS

Agradeço às pessoas que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho:

Brasil

Ao Prof. Dr. Ricardo Hirata, pela orientação, apoio, ensino, e paciência.

A Dra. Claudia Varnier, Pesquisadora do Instituto Geológico do Estado de São Paulo co-orientadora do projeto de Mestrado, pela sua imponderável ajuda nas saídas de campo, pelas sugestões e ensino no campo, laboratório, na discussão dos resultados e na escrita desta dissertação. Pelos momentos de relaxamento, as festas latinas e os recorridos pela muito bonita cidade de São Paulo.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar e Ambiental pela infra-estrutura para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pelo apoio financeiro através da conceição da bolsa de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à Pesquisa (processo é 2009/05840-1)

Ao Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, (IG/SMA), em especial ao Núcleo de Hidrogeologia pelo suporte, infra-estrutura e pelo ensino em campo, laboratório assim como no trabalho de escritório. Um agradecimento especial a Mara Akie Iritani, Luciana Martin Rodrigues Ferreira, Sibebe Ezaki, Amélia João Frenandez, Mauricio Viotti, que durante todas as etapas do trabalho do mestrado estiveram sempre prontos a colaborar em todo o que precisava.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica de Presidente Prudente (DAEE), através de seu diretor Osvaldo Sugui e seus funcionários (Sandro, Murilo, André, Emerson, Roberto) por fornecerem todo o suporte técnico e a infra-estrutura para a realização deste projeto.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) através de seus funcionários pelo fornecimento das informações das análises químicas, perfis construtivos dos poços, dados de abastecimento de água e esgoto na área de estudo.

À Vigilância Sanitária Municipal através de seus funcionários (Maura) pelos dados das análises físico-químicas da área urbana de Presidente Prudente.

À Universidade Estadual de São Paulo-Presidente Prudente através do Professor Leal, e seus alunos de graduação (Milena), mestrado e doutorados pelo fornecimento dos mapas da drenagem, topográfico e urbano e as informações sobre a expansão urbana em Presidente Prudente.

À LEGACY Consultoria Ambiental através de Marcelo e Eduardo Hiroshi Kinoshita pelos dados e informações das análises químicas dos poços.

A meus colegas do Lamo, Leonardo, Diego, Ana, Bruno, Carlos, Tatiana, Bruna, e a toda a equipe LAMO.

A minhas colegas de sala, Martha Edith e Ariana pelas dicas, cafés e risos que diariamente compartilhávamos.

A meus amigos Sibebe, Anabel, Gledison, Thais, Grasiene, Reinaldo, Fernanda, Tatiana, Féderick, Sergio, Emilio, que fizeram de minha vida neste país, uma experiência maravilhosa e inesquecível.

Às funcionárias do IGc, através de Ana Paula e Magaly pela colaboração e compreensão com uma estrangeira.

Ecuador

A Dios por bendecirme por todo lo que tengo, por escucharme y mantenerme perseverante.

A mis queridos Padres por el amor y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida. Gracias a ellos pude conocer este país, pude valorar el mío y a los míos.

A mis Hermanas (Ximena y Shadira) y a mis sobrinas (Mishu, Dany y Dome) por enseñarme a ser perseverante, a ser fuerte lejos de la familia, gracias por ayudarme en los momentos de crisis y por enseñarme a ser valiente.

A mi gran amor Raúl, por estar siempre a mi lado, por ser mi cómplice, mi amigo, orientador, profesor, todo. Por tenerme paciencia y creer en mí.

A mis jefes Ing. Bernardo Alvarez e Ing. Fernando Tapia, que me ayudaron a decidirme emprender este viaje y aventura de seguir un posgrado.

RESUMO

Na área urbana da cidade de Presidente Prudente foram identificados inúmeros poços tubulares que captam águas do Sistema Aquífero Bauru com concentrações de nitrato acima do padrão de potabilidade (10 mg/L de NO_3^- -N ou 45mg/L NO_3^-).

O objetivo principal deste trabalho consistiu em avaliar as tendências de distribuição das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, ao longo do tempo e espaço, frente aos padrões de ocupação urbana e do uso do solo.

Os métodos utilizados compreenderam o sistema de informação geográfica (SIG) e métodos estatísticos básicos aplicados aos dados hidrogeoquímicos pré-existentes, provenientes de 60 poços tubulares e os gerados mediante a amostragem semestral de 22 poços, distribuídos na área urbana do município.

A partir dos resultados obtidos, a área urbana foi dividida em três zonas sensíveis à contaminação por nitrato. A zona denominada (A) corresponde às áreas com altas concentrações deste contaminante (>45 mg/L de NO_3^-) devido ao rápido crescimento populacional, o qual estaria associado, principalmente, à alta densidade de antigos sistemas de saneamento *in situ* (fossas sépticas e negras). Outras fontes relacionadas aos aumentos nas concentrações constituíram os vazamentos, fugas, redes coletoras de esgoto muito antigas e manutenção inadequada das mesmas. A zona (B) refere-se às áreas com possíveis problemas de nitrato ou áreas denominadas de "alerta", onde a densidade urbana é menor (84 hab/ha) que a zona A (120 hab/ha). As concentrações de nitrato encontram-se entre 23 mg/L e 45 mg/L de NO_3^- . A zona (C) compreende as áreas não contaminadas. Estas áreas têm baixa densidade urbana (20 hab/ha) e concentrações de nitrato inferiores ao valor de alerta definido pela CETESB (23 mg/L de NO_3^-).

O zoneamento proposto neste trabalho servirá como referência para a determinação de medidas preventivas que visam o melhoramento na qualidade das águas subterrâneas na área urbana de Presidente Prudente.

Palavras chaves: nitrato, ocupação urbana, Sistema Aquífero Bauru, Presidente Prudente.

ABSTRACT

Concentrations of nitrate, above the drinking water standard (10 mg/L NO_3^- - N or 45 mg/L NO_3^-), have been detected in several deep drilling wells, located at the urban area of Presidente Prudente city.

The main goal of this work is to evaluate the trends in distribution of nitrate concentrations in groundwater, over time and space, in relation to urban settlement patterns and land use.

In order to perform this, the geographic information systems (GIS) and basic statistical methods were used. These methods were applied on pre-existing hydrogeochemical data of 60 drilling wells, and from new chemical analyses of 22 drilling wells throughout the urban area.

From these results, the urban area was divided in three zones that are sensitive to nitrate contamination. The A zone corresponds to areas with high nitrate concentrations ($> 45 \text{ mg/L de } \text{NO}_3^-$) due to the fast population growth, which it could directly be associated to the high density of on-site sanitation systems (latrines and septic tanks). Other sources related to the nitrate increasing concentrations in these areas are the sewer leaks, old sewer as well as their inadequate maintenance. The B zone refers to areas with possible nitrate pollution called "in alert" zones. The population density is low ($84 \text{ inhabitants.ha}^{-1}$) when compared with the A zone ($12 \text{ inhabitants.ha}^{-1}$). The nitrate concentrations are between 23 mg/L and $45 \text{ mg/L } \text{NO}_3^-$. The C zone corresponds to areas without nitrate pollution problem. These areas have low population density ($20 \text{ inhabitants.ha}^{-1}$) and the nitrate concentrations are lower than the alert value defined by CETESB ($23 \text{ mg/L } \text{NO}_3^-$).

The proposed zoning in this work will serve as a reference to the establishment of prevent policies in order to improve the groundwater quality within the urban area of Presidente Prudente.

Keywords: nitrate, urban settlement, Bauru Aquifer System, Presidente Prudente.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ANEXOS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. ÁREA DE ESTUDO	5
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
3.2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	7
3.3. HIDROGEOLOGIA	8
3.4. ABASTECIMENTO E SANEAMENTO	9
3.5. HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO URBANA	10
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1. SISTEMAS DE SANEAMENTO IN SITU	13
4.2. GEOQUÍMICA DOS EFLUENTES GERADOS NOS SISTEMAS DE SANEAMENTO IN SITU	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	22
5.1. CADASTRO DE POÇOS	22
5.2. LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO	22
5.3. LEVANTAMENTO DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO	23
5.4. DETERMINAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL DE CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	23
5.5. AMOSTRAGEM DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	25
5.5.1. Análises físico-químicas	27
5.6. TRATAMENTO DOS DADOS HIDROQUÍMICOS	28
5.6.1. Análise estatística	28
5.7. ESTIMATIVA DA CARGA POTENCIAL DE NITRATO NAS ÁREAS URBANAS	32
6. RESULTADOS	37
6.1. CADASTRO DOS POÇOS	37
6.2. MODELO CONCEITUAL DE CIRCULAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	38
6.3. HIDROQUÍMICA LOCAL	42
6.3.1. Controle de qualidade dos dados hidroquímicos	42
6.3.2. Classificação e Evolução Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas	43
6.3.3. Evoluções temporais e espaciais das concentrações de nitrato	56

6.3.3.1. <i>Concentrações de nitrato pretéritas</i>	56
6.4. <i>ESTIMATIVA DA CARGA POTENCIAL DE NITRATO</i>	63
6.4.1. <i>Fontes potenciais de contaminação</i>	63
6.4.2. <i>Cálculo semiquantitativo da concentração de nitrato</i>	66
6.4.3. <i>Determinação da zona de captura nos poços</i>	70
6.5. <i>ZONEAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DE NITRATO</i>	74
7. CONCLUSÕES	77
8. RECOMENDAÇÕES	79
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I Cadastro dos poços.....	91
ANEXO II Parâmetros Hidrogeológicos	96
ANEXO III Poços Amostrados.....	98
ANEXO IV Resultados dos parâmetros físico-químicos	100
ANEXO V Confiabilidade dos resultados analíticos.....	107
ANEXO VI Análises químicas de nitrato preexistentes.....	113
ANEXO VII Análises químicas separadas por zonas.....	118
ANEXO VIII Cálculo semiquantativo da concentração de nitrato	122
ANEXO IX Perímetro de proteção dos poços	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Localização da área de estudo.....	6
Figura 3.2 Drenagem na zona urbana de Presidente Prudente.....	8
Figura 3.3 Evolução da população de Presidente Prudente (1930-2009). Fonte: SEADE, IBGE/DAEE/Camargo (2007).	12
Figura 3.4 Taxa de urbanização de Presidente Prudente (1980-2009). Fonte: SEADE, IBGE, DAEE, Camargo (2007).....	12
Figura 4.1a. Esquema dos sistemas de saneamento in situ: a) fossa negra (Fonte: ABNT, 1993)	15
Figura 4.2b Esquema dos sistemas de saneamento in situ b) fossa séptica (Fonte:Hydra International Ltda, 2010).....	16
Figura 4.3 Resumo da sequência dos processos na digestão anaeróbia no tanque séptico e fossas negras (os números referem-se às reações químicas), modificado de Van Haandel e Lettinga, 1994 e Wilhelm et al., 1994.	19
Figura 4.4 Espécies químicas no ciclo do nitrogênio (modificado de O' Neil, 1985; in Varnier 2007),	20
Figura 5.1 Localização dos poços amostrados	25
Figura 5.2 Purga e coleta das amostras nos poços	26
Figura 5.3 Filtragem das amostras	27
Figura 5.4 Fotografia aérea (1995) à esquerda e imagem do Google Earth (2010) à direita destacando a ferrovia e poços no centro da cidade.....	32
Figura 5.5 Imagem do Google Earth (2011) destacando os critérios de densidade na área urbana de Presidente Prudente.	33
Figura 5.6. Densidade de ocupação alta (A), média (M) e baixa (B) adotada para Presidente Prudente. Imagem captada do Google Earth (2011).	34
Figura 6.1 Localização dos poços cadastrados na área urbana de Presidente Prudente.....	37
Figura 6.2 Seção geológica do município de Presidente Prudente, a partir dos dados estratigráficos dos poços tubulares situados na área urbana de Presidente Prudente.	38
Figura 6.3 Potenciometria do SAB, a partir dos valores de níveis estático medidos na época da instalação dos poços tubulares na área de estudo	41
Figura 6.4 Porcentuais de erro nos balanços iônicos para as duas campanhas de amostragem.....	43
Figura 6.5a Diagrama de Piper dos poços com concentrações de nitrato inferiores a 45mg/L, amostrados na primeira (dezembro 2009) e segunda campanha (junho-julho 2010).	45
Figura 6.6 Correlação entre nitrato, cloreto e condutividade elétrica para os poços rasos amostrados na primeira campanha de amostragem (dezembro 2009).	49
Figura 6.7 Correlação entre nitrato, cloreto e condutividade elétrica para os poços rasos amostrados na segunda campanha de amostragem junho - julho/2010.	49
Figura 6.8 Mapa de isoconcentração de nitrato (mg/L) para a primeira campanha de amostragem (estação úmida).	52

Figura 6.9 Mapa de isoconcentração de nitrato (mg/L) para a segunda campanha de amostragem (estação seca).....	53
Figura 6.10 Mapa de isoconcentração de cloreto (mg/L) para a primeira campanha de amostragem (estação úmida).....	54
Figura 6.11 Mapa de isoconcentração de cloreto (mg/L) para a segunda campanha de amostragem (estação seca).....	55
Figura 6.12 Localização das zonas urbanas e dos poços com análises pré-existentes (2005-2009).	58
Figura 6.13 Variação temporal nas concentrações de nitrato ao longo do tempo (2005-2009).	58
Figura 6.14 Localização das zonas urbanas, redes de esgoto e poços com análises pretéritas na área urbana de Presidente Prudente.....	59
Figura 6.15 Variações do nitrato nas duas campanhas de amostragem.....	60
Figura 6.16 Variação temporal de nitrato nos poços rasos durante as estações úmida e seca.....	60
Figura 6.17 Seção dos poços e posicionamento dos filtros.....	62
Figura 6.18 Evolução da malha urbana do município de Presidente Prudente (adaptado de Camargo, 2007).....	65
Figura 6.19 Evolução da rede de esgoto no município de Presidente Prudente (adaptado de SABESP, 1990 e 2006).....	65
Figura 6.20 Correlação entre as concentrações de nitrato medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu) (dezembro 2009).....	67
Figura 6.21 Correlação entre as concentrações medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu) (junho-julho 2010).....	67
Figura 6.22 Correlação entre as concentrações de nitrato medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu), para as análises pretéritas (2007).....	68
Figura 6.23 Concentrações de nitrato: a) medidas em campo (2009), b) medidas em campo (2010); c) calculadas para as duas campanhas (Cu); d) valor médio das análises preexistentes (2007-2009) e) calculadas para as análises pré-existentes (Cu).....	69
Figura 6.24 Vazões dos poços rasos e profundos na área urbana de Presidente Prudente.....	70
Figura 6.25 Raio fixo calculado para os poços amostrados na área urbana de Presidente Prudente.	73
Figura 6.26 Raio fixo calculado para os poços da área urbana de Presidente Prudente.....	73
Figura 6.27 Expansão urbana e distribuição dos poços amostrados nas zonas A, B e C (adaptado de Camargo, 2007).....	75
Figura 6.28 Zoneamento das áreas potenciais de contaminação por nitrato para a área urbana de Presidente Prudente.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Resumo dos aquíferos urbanos contaminados pelos sistemas de saneamento in situ	14
Tabela 4.2 Resumo das principais características hidrogeoquímicas e parâmetros presentes nos sistemas de saneamento in situ (Varnier, 2007 e Wilhelm et al., 1994).	21
Tabela 5.1 Métodos analíticos adotados para a determinação dos parâmetros em amostras de água.27	
Tabela 6.1 Sumário de parâmetros hidrogeológicos na zona de estudo	40
Tabela 6.2 Estatística dos parâmetros físicos medidos no campo para as amostras de água na primeira campanha de amostragem (dezembro/2009).	44
Tabela 6.3 Estatística dos parâmetros físicos medidos no campo para as amostras de água na segunda campanha de amostragem (junho-julho/2010).	44
Tabela 6.4 Dados estatísticos dos cátions e ânions analisados para amostras de água na primeira campanha de amostragem (dezembro/2009).	47
Tabela 6.5 Dados estatísticos dos cátions e ânions analisados para amostras de água na segunda campanha de amostragem (junho-julho/2010).	47
Tabela 6.6 Matriz de correlação das análises químicas dos poços com até 150 m de profundidade dezembro/2009.	48
Tabela 6.7 Matriz de correlação das análises químicas dos poços com até 150 m de profundidade junho - julho/2010.	48
Tabela 6.8 e 6.9 Matrizes de correlação das análises químicas dos poços maiores que 150 m de profundidade dezembro/2009 e junho - julho/2010.	50
Tabela 6.10 Resumo dos números de poços e análises antigas para os anos de 2005 a 2009.	56
Tabela 6.11 Estatística dos valores de nitrato, condutividade elétrica e cloreto analisado em laboratório para as amostras dos poços rasos (dezembro 2009 e junho-julho 2010).	61
Tabela 6.12 Estatística dos valores de nitrato, condutividade elétrica e cloreto analisados em laboratório para as amostras dos poços profundos (dezembro 2009 e junho-julho 2010).	62
Tabela 6.13 Resumo das principais características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas do SAB em Presidente Prudente.	63
Tabela 6.14 Estatística básica e comparação dos raios fixos calculados para os poços cadastrados na área urbana de Presidente Prudente.	71
Tabela 6.15 Comparação entre os raios fixos calculados para os poços amostrados na área urbana de Presidente Prudente.	71
Tabela 6.16 Comparação entre os raios fixos calculados para os poços profundos amostrados na área urbana de Presidente Prudente.	72

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de nitrato em aquíferos tem preocupado administradores dos recursos hídricos em diversos municípios brasileiros, dado que este é o contaminante mais comumente encontrado nas águas subterrâneas. Este parâmetro é utilizado, mundialmente, como indicador da contaminação das águas subterrâneas devido à sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas.

Uma das fontes potenciais de nitrato são os sistemas de saneamento, dos quais se destacam as fossas sépticas e negras, bem como redes coletoras mal projetadas e executadas que contribuem para a contaminação em áreas urbanas, sobretudo nos locais de grande densidade populacional. Além dos compostos nitrogenados, destaca-se também a presença de contaminantes microbiológicos (bactérias patogênicas e vírus) e, em alguns casos, compostos orgânicos sintéticos.

Altas concentrações de nitrato, muitas vezes excedendo os valores de potabilidade (10 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$, Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde), foram detectadas em poços tubulares no município de Presidente Prudente, oeste do Estado de São Paulo (Godoy *et al.*, 2004; Varnier *et al.*, 2010).

Este município é parcialmente abastecido pelas águas do Sistema Aquífero Bauru, considerado a maior unidade hidrogeológica em área do Estado de São Paulo, ocupando aproximadamente 47% do território paulista (96.880 km²). Este aquífero, por comportar-se principalmente como livre e possuir grande área de afloramento, é o que apresenta maior vulnerabilidade à contaminação antrópica, com os mais elevados valores de nitrato nas águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Nos últimos 70 anos, Presidente Prudente sofreu um forte processo de urbanização, inicialmente sem instalação de rede de esgoto, lançando o efluente *in natura* no solo. Com o processo de urbanização, as fossas foram desativadas e, atualmente, a rede de esgoto cobre aproximadamente 98% (SABESP, comunicação verbal).

O processo histórico de ocupação territorial não se restringe somente à Presidente Prudente. Inúmeras cidades do centro-oeste paulista convivem com o mesmo problema, dos quais se destacam São José do Rio Preto (Barcha, 1980), Bauru (Hirata, 2000; Giafferis & Oliveira, 2006) Marília, Jaú, entre outros.

Mesmo com a considerável extensão de tais redes implantadas nas cidades paulistas, o nitrogênio remanescente no solo continua em grande volume nas zonas não-saturada e saturada do Sistema Aquífero Bauru.

A solução desse problema é complexa e uma pergunta que se coloca refere-se à relação entre urbanização e a evolução deste contaminante nas águas subterrâneas. Adicionalmente, o conhecimento do histórico do uso do solo e padrão de ocupação em áreas urbanas ao longo do tempo, somada à carga de nitrogênio lançada por essas fontes de contaminação, será necessário para definir se o aumento nas concentrações de nitrato no aquífero é resultante deste estilo de ocupação.

Alguns estudos apontaram a relação entre os padrões de concentrações de nitrato nas águas subterrâneas e os de ocupação urbana (Lowe *et al.*, 2000; Cagnon & Hirata, 2004; Godoy *et al.*, 2004; Drake & Bauder, 2005; Reynolds-Vargas *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007) mediante o uso de diferentes ferramentas.

Cagnon & Hirata (2004) procuraram estabelecer uma relação entre a contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru por nitrato e os padrões de urbanização no município de Urânia (SP) desde 1950 até 2000. Nesta avaliação, realizou-se um levantamento das principais fontes de contaminação bem como estudo do uso e histórico de ocupação do solo por meio de fotografias aéreas de diferentes décadas, imagens de satélite, trabalhos de campo, análises químicas e de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ em amostras de água. Os resultados obtidos mostraram uma contaminação antrópica e multipontual, do tipo fossas negras, instaladas na área urbana do município desde a década de 50. As maiores concentrações de nitrato foram observadas nas porções mais rasas do aquífero, sobretudo a nordeste da cidade, onde há maior densidade dessas fossas.

Drake & Bauder (2005) utilizaram sistema de informação geográfica (SIG) e métodos estatísticos para estudar a relação entre os padrões de ocupação

urbana/uso do solo e as variações espaciais e temporais nas concentrações de nitrato entre os anos de 1971 e 2003 no Estado de Montana (EUA). Os resultados indicaram que houve aumento nas concentrações desse contaminante em áreas com rápido crescimento populacional e que estariam associadas à alta densidade de fossas sépticas irregulares. Segundo estes autores, os métodos estatísticos combinados aos do SIG podem ser utilizados para avaliar amplas áreas indicando, tanto visual como matematicamente, a relação entre as mudanças no uso do solo e a concentração de nitrato ao longo do tempo.

Xu *et al.* (2007), em estudo similar ao de Drake & Bauder (2005), verificaram os padrões de concentração de nitrato durante um período de 60 anos, em mais de 200 poços situados em Phoenix e arredores (Arizona, EUA), utilizando SIG. Tais informações, combinadas com aquelas referentes aos mapas de uso do solo, nível d'água e aspectos construtivos dos poços, foram usadas para avaliar as mudanças nas concentrações de nitrato e sua relação com o uso do solo e padrões de ocupação urbana.

Adicionalmente, Reynolds-Vargas *et al.* (2006) verificaram os padrões de concentração de nitrato bem como sua origem nas águas subterrâneas do Vale Central (Costa Rica) através de isótopos estáveis ($^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ e $^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$) e dados hidrogeoquímicos. Os resultados obtidos apontaram correspondência entre padrões de ocupação urbana e assinatura isotópica do nitrogênio nas águas subterrâneas. Segundo os autores, os processos de urbanização, com a disposição inadequada dos sistemas sépticos, em substituição às plantações de café, é a provável causa do aumento de até 40% nas concentrações de nitrato no aquífero estudado.

Diante deste cenário, o estudo propõe avaliar as tendências de incremento nas concentrações de nitrato no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente frente ao estilo de ocupação urbana, procurando estabelecer um padrão de causa e efeito entre a fonte e o impacto deste contaminante nas águas subterrâneas.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho consiste em avaliar os padrões de ocupação urbana, uso do solo e relacionar com as tendências de distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru na área urbana da cidade de Presidente Prudente.

São objetivos específicos

- ✓ Estabelecer uma relação entre as concentrações de nitrato, crescimento populacional e zonas urbanizadas;
- ✓ Estimar a carga potencial de nitrato nas águas subterrâneas, proveniente de sistemas de saneamento *in situ* ou de áreas urbanas ocupadas;
- ✓ Propor medidas aos poderes público, municipal e estadual, de modo a minimizar os riscos de contaminação extensiva por nitrato, estabelecendo medidas de atenuação e de proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. *Localização e caracterização da área de estudo*

O local escolhido para o desenvolvimento deste estudo situa-se na área urbana de Presidente Prudente, extremo oeste do Estado de São Paulo. Este possui área territorial de 563,62 km² e população de 207.625 habitantes (IBGE, 2009). A área específica de estudo abrange um total de 136 km², entre as coordenadas UTM 7.547,489 e 7.560,450 km e 451,083 e 467,107 km (Figura 3.1).

Presidente Prudente limita-se a norte com os municípios de Adamantina, Flora Rica e Mariápolis, a leste, com Caiabu, Regente Feijó e Indiana, a sul, com Anhumas e Pirapozinho e a oeste, com Álvares Machado e Santo Expedito. O município dista cerca de 570 km da capital paulista e a principal via de acesso é feita através das rodovias Marechal Castelo Branco (SP 280) até Ourinhos, de onde o trajeto continua pela rodovia Raposo Tavares (SP 270).

A área foi selecionada por apresentar concentrações de nitrato nas águas subterrâneas acima do valor máximo permitido para o consumo humano.

Segundo Strahler (1957), o clima da área de estudo pode ser definido como tropical alternadamente seco e úmido. Segundo Köppen (1948), o mesmo se define como Awa, representado por duas estações do ano bem definidas: um verão quente e chuvoso de outubro a março e um inverno seco, de abril a setembro (Barrios & Sant'Anna Neto, 1996).

Durante a primavera e verão, as temperaturas diárias oscilam entre os 20°C e 32°C, com máximas próximas aos 40°C. No outono-inverno, as temperaturas variam entre 15°C e 20°C (Amorim, 2009). A média anual de precipitação é de 153,1 mm (2009). Os meses de dezembro a fevereiro são os mais chuvosos e os de junho a agosto, os mais secos.

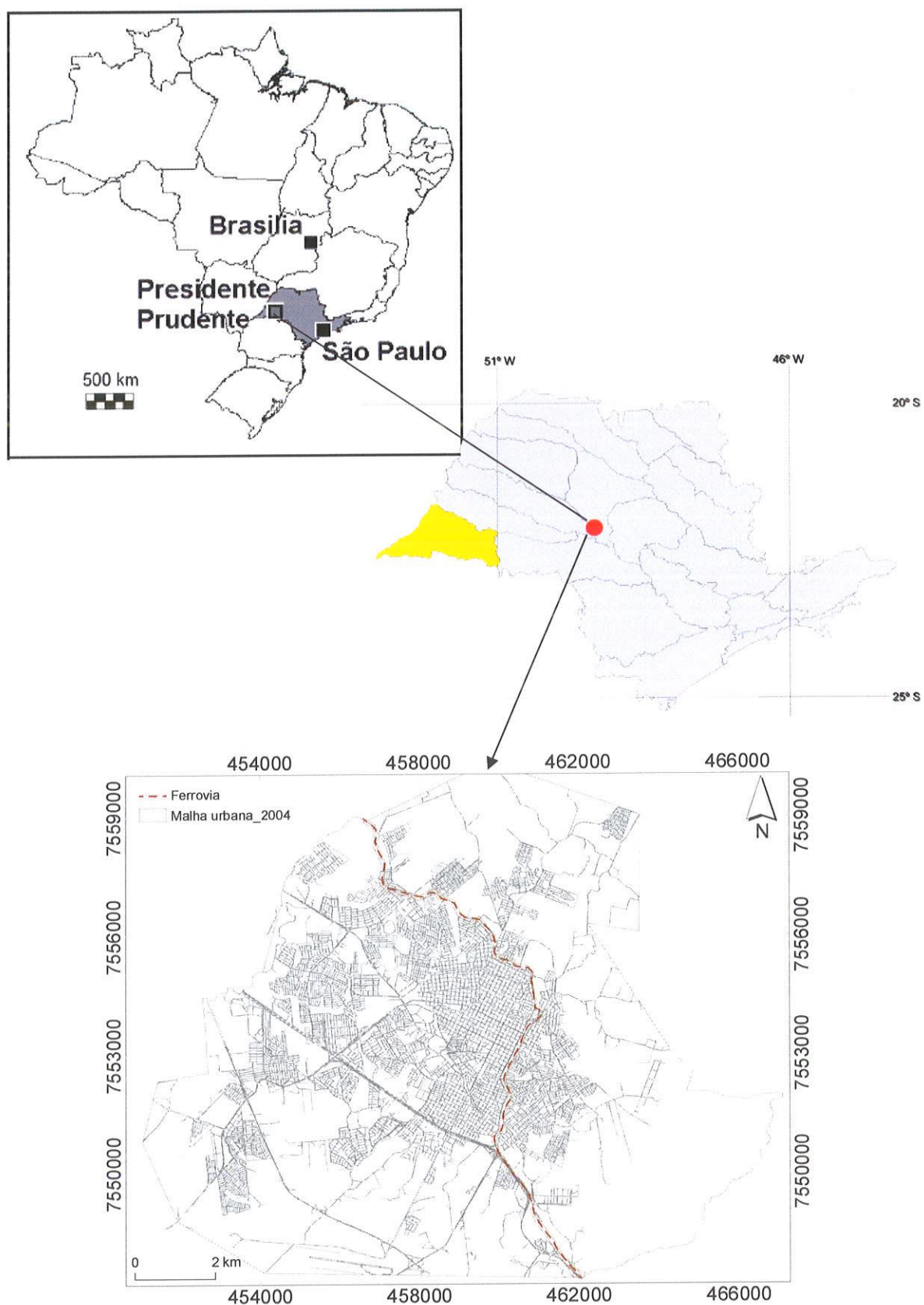


Figura 3.1 Localização da área de estudo

3.2. Aspectos fisiográficos

O município de Presidente Prudente situa-se na unidade geomorfológica denominada Planalto Ocidental Paulista (POP). O POP ocupa cerca de 40% do Estado de São Paulo (Sant'Anna Neto, 1995) e no município, possui um formato alongado no sentido norte-sul (Amorim, 2000).

O relevo da cidade distingue zonas com diferenciações morfológicas. Na zona leste, predominam colinas de poucas extensões, topos curtos e ondulados, fundos de vales e declividades médias que variam entre 5% a 20%. Na zona Oeste, o relevo predominante caracteriza-se por colinas médias e baixas, com altitudes que variam entre 300 m e 600 m e declividades médias de 10% a 20% (Ross, 1991).

A cidade localiza-se sobre um divisor de águas das bacias do rio do Peixe, a norte, e do Paranapanema, a sul, tendo a bacia do rio Santo Anastácio que deságua no rio Paraná, a sul-sudoeste.

A zona urbana possui uma drenagem constituída por pequenos cursos d'água, formadores dos córregos do Cedro e do Limoéiro, ambos afluentes do rio Santo Anastácio, e do Gramado e Cascata, formadores do rio Mandaguari. Este último, por sua vez, é afluente do rio do Peixe, situado no setor leste-nordeste da cidade (figura 3.2).

Segundo Strahler (1957), o clima da área de estudo pode ser definido como tropical alternadamente seco e úmido. Segundo Köppen (1948), o mesmo se define como Awa, representado por duas estações do ano bem definidas: um verão quente e chuvoso de outubro a março e um inverno seco, de abril a setembro (Barrios & Sant'Anna Neto, 1996).

Durante a primavera e verão, as temperaturas diárias oscilam entre os 20°C e 32°C, com máximas próximas aos 40°C. No outono-inverno, as temperaturas variam entre 15°C e 20°C (Amorim, 2009). A média anual de precipitação é de 153,1 mm (2009). Os meses de dezembro a fevereiro são os mais chuvosos e os de junho a agosto, os mais secos.

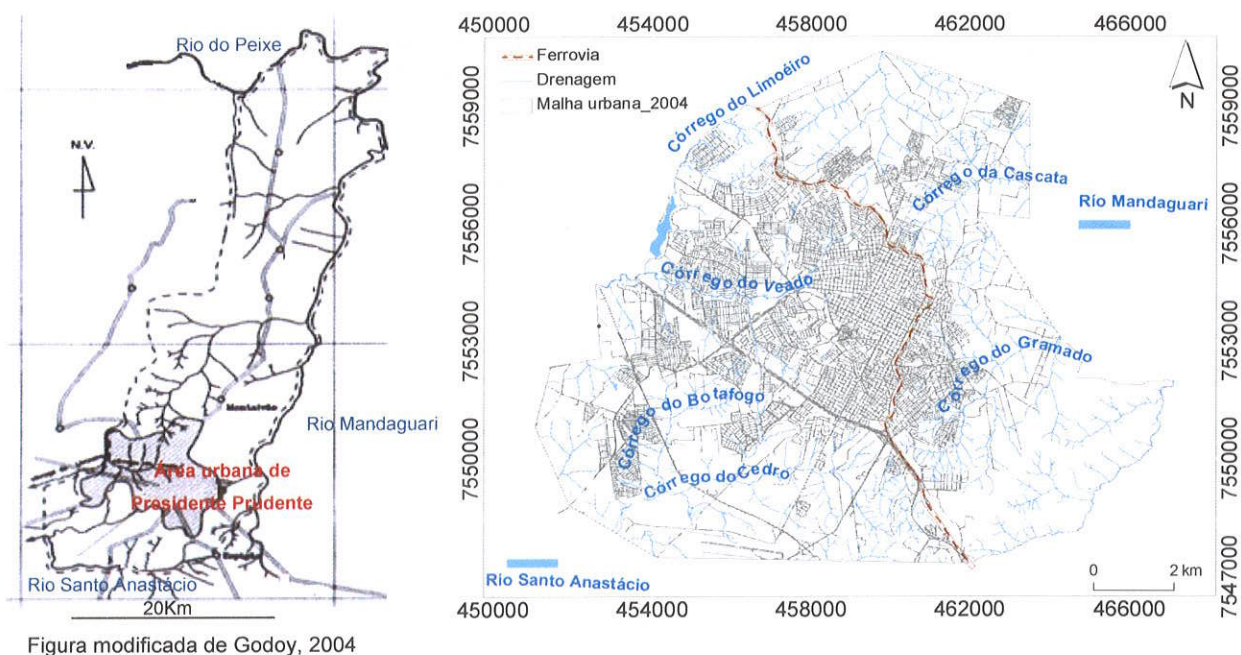


Figura 3.2 Drenagem na zona urbana de Presidente Prudente

3.3. Hidrogeologia

A unidade litoestratigráfica mais intensamente utilizada pelo usuário privado em Presidente Prudente é o Sistema Aquífero Bauru, representado na região pelos aquíferos Adamantina (aflorante) e o Santo Anastácio (subsuperfície).

O Aquífero Adamantina é um aquífero livre, regionalmente semi-confinado, de porosidade primária. Ele é representado na região pela ocorrência de arenitos muito finos a médios, coloração creme a cinza. A profundidade máxima local dos sedimentos desta formação é de 150 m, sendo maiores aquelas localizadas na região nordeste da cidade.

A recarga ocorre pela infiltração da água de chuva em toda a área de exposição dos sedimentos e a descarga local, a oeste do município. As superfícies potenciométricas são fortemente influenciadas pela geomorfologia da

área, onde os divisores de água subterrânea coincidem com os divisores das bacias hidrográficas.

Sotoposto ao Aquífero Adamantina, encontra-se o Santo Anastácio, constituído por arenitos vermelhos a roxos, granulação fina a média, baixo conteúdo de argila e espessuras uniformes, da ordem de 80 a 100 m (IPT, 1981). Segundo Godoy *et al.* (2004), os sedimentos deste aquífero apresentam grãos arredondados a sub-arredondados, cobertos por película limonítica e presença frequente de nódulos carbonáticos ou cavidades preenchidas por carbonato de cálcio. O registro de poços perfurados no município tem mostrado profundidade máxima da ordem de 272 m, conforme atestam os poços tubulares da SABESP.

Quanto ao comportamento hidráulico do Aquífero Adamantina, Rocha *et al.* (1982) concluíram que os valores médios de capacidade específica, compreendidos no intervalo de 0,5 a 10 m³/h/m, ocorrem a sudeste do Estado de São Paulo, na região de Rancharia, onde há uma litofácies mais permeável da parte inferior da Formação Adamantina. Áreas com valores abaixo de 0,5 m³/h/m ocorrem a sudoeste do Estado, devido à pequena espessura saturada, e ao norte, na margem esquerda do Rio Grande, onde a litofácies da Formação Adamantina é menos permeável.

Posteriormente, CETESB (1997) determinou valores de capacidade específica de 0,5 a 1 m³/h/m, transmissividade de 30 a 50 m²/dia e permeabilidade aparente de 0,1 a 0,3 m/d para o Aquífero Adamantina (CETESB, 2007).

3.4. Abastecimento e Saneamento

O abastecimento de água no município de Presidente Prudente e a coleta de esgoto são realizados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

A cobertura da rede de água abrange 90% da população, o que corresponde, em média, 65 milhões de litros/dia, sendo 780 L/s provenientes dos mananciais superficiais e 140 L/s, dos subterrâneos (SABESP, 2009).

O abastecimento pelas águas superficiais na cidade depende de três sistemas produtores: Rio do Peixe (640 L/s), a represa no Rio Santo Anastácio (450 L/s) e a represa no Balneário da Amizade, esta última utilizada para o abastecimento urbano em razão da seca prolongada, onde o volume reservado total é de 2.066.000 m³.

Embora o sistema produtor de águas superficiais seja considerado a maior fonte de abastecimento da cidade, a SABESP possui 10 poços com profundidade média de 200 m que capta água do Aquífero Santo Anastácio. Além disso, estima-se que sejam explorados cerca de 1.710 m³/h de águas subterrâneas, considerando apenas os poços cadastrados.

A rede coletora de esgotos atende, atualmente, 97% da área urbana da cidade. No entanto, de acordo com as informações concedidas pelos funcionários da SABESP, alguns bairros situados na zona leste ainda fazem uso de fossas para o lançamento dos efluentes.

3.5. *Histórico da ocupação urbana*

O processo de urbanização do município de Presidente Prudente teve início em meados da década de 1930, a partir da crise cafeeira e implantação das primeiras indústrias na região. Com o colapso da cultura do café, outros produtos como arroz, milho, feijão e batata ajudaram no fortalecimento do desenvolvimento da atividade agrícola. Esta atividade incentivou a ocupação da região e seu crescimento, orientado principalmente pela ferrovia, por se tratar da principal via de circulação na cidade no sentido norte-sul. Neste período, expandiram-se os seguintes bairros: Centro e Vila Marcondes e os espaços entre os córregos Bacarim, Boscoli e o Córrego do Veado (Amorim 2009).

Durante as décadas de 40 e 50, o aumento das atividades pecuária e industrial tomou conta da cidade. Contudo, a extensão de Presidente Prudente nesta década reduziu-se devido aos sucessivos desmembramentos de outras cidades como Regente Feijó, Presidente Bernardes e Martinópolis (Amorim, 2009).

Esta expansão prosseguiu nas décadas posteriores para a zona oeste da cidade (Camargo, 2007). A partir da década de 1970, houve uma expressiva ampliação da malha urbana, ocasionada pela proliferação de loteamentos. Neste período, a especulação imobiliária tornou-se o motor para a expansão e novos bairros surgiram tais como Vila Liberdade, COHAB, CECAP, entre outros. Essa ocupação gerou quadras irregulares principalmente no centro da cidade. Na zona leste, a ocupação se deu de maneira desordenada, gerando irregularidades na malha urbana, como nos bairros Vilas Brasil, Mendes, Jardim São Pedro (Camargo, 2007).

Nos anos 80, a cidade possuía 129.255 habitantes (SEADE, 2010) e uma taxa de urbanização de 94,74% (figura 3), em decorrência das áreas residenciais com edificações esparsas, gramado e vegetação arborácea. Nesta época, a expansão territorial urbana atingiu as áreas das bacias de mananciais superficiais utilizados no abastecimento público. O uso do solo urbano foi pouco diversificado predominando domicílios residenciais (87%), enquanto os usos industriais, comerciais e serviços, respondem por 13% (Amorim, 2009). O crescimento da zona urbana do município ocorreu no sentido oeste, sul e sudoeste, devido à topografia.

Nos anos 90, o aumento populacional se refletiu na elevada taxa de urbanização, assim como na proliferação da construção dos poços públicos (SABESP) e particulares, principalmente nas regiões centro e norte da cidade. A expansão da malha urbana desenvolveu-se no sentido sudoeste com o surgimento dos bairros Residencial Dahma I e II (Amorim, 2009).

A partir da década de 2000, a expansão da cidade ocorreu em todas as direções, principalmente na zona leste. A demanda habitacional gerou o aumento populacional, conforme apresentado na figura 3.2. Segundo o censo do IBGE (2000), a população distribuiu-se em 97,91% (185.229 habitantes) na zona urbana e 2,09% (3.957 habitantes) na zona rural, demonstrando uma forte concentração urbana (figura 3.3).

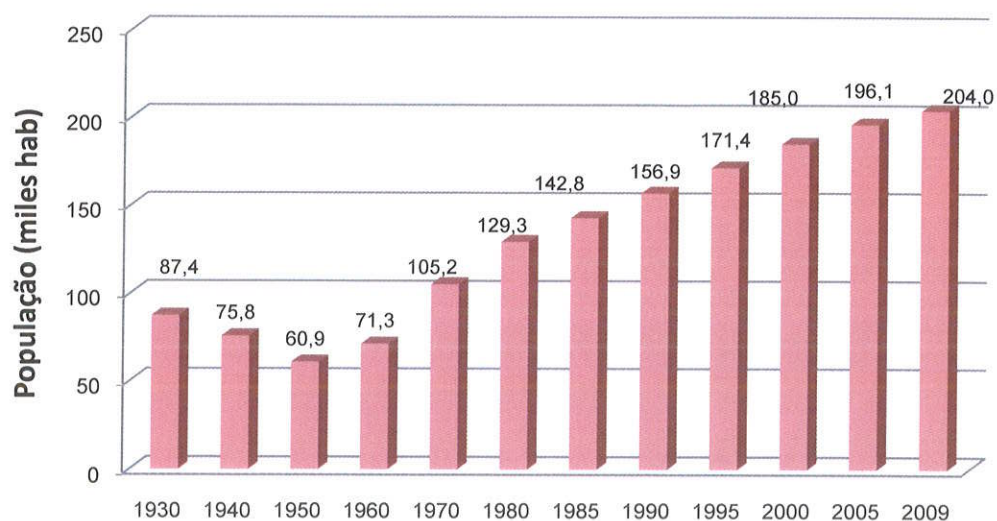


Figura 3.3 Evolução da população de Presidente Prudente (1930-2009). Fonte: SEADE, IBGE/DAEE/Camargo (2007).

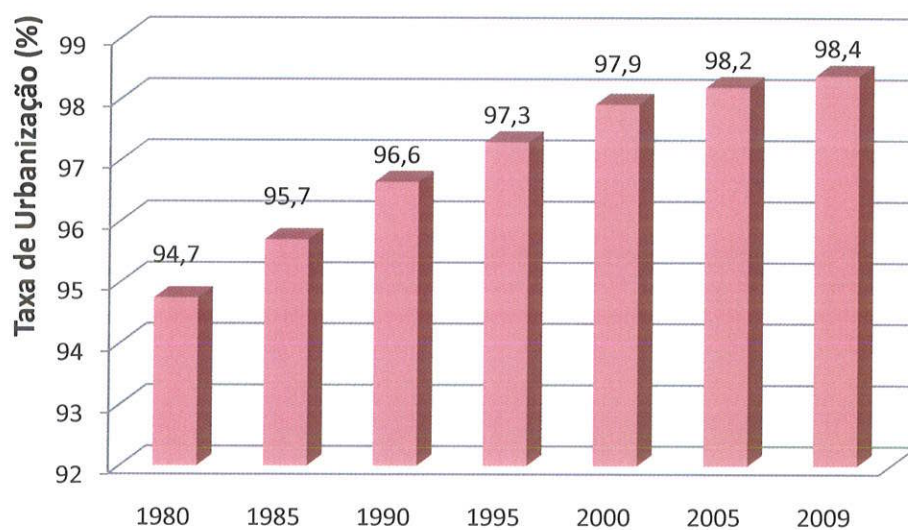


Figura 3.4 Taxa de urbanização de Presidente Prudente (1980-2009). Fonte: SEADE, IBGE, DAEE, Camargo (2007).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. *Sistemas de saneamento in situ*

A contaminação dos aquíferos nas áreas urbanas está relacionada a inúmeras fontes antrópicas, dos quais se destacam os sistemas de saneamento *in situ*, (fossas negras e sépticas), vazamento de esgotos e resíduos sólidos (lixões e aterros sanitários). A alta densidade dessas fontes podem gerar um grande volume de carga contaminante poluidora para as águas subterrâneas (Foster & Hirata, 1988).

Os sistemas de saneamento *in situ* são implantados em zonas urbanas densamente povoadas onde geralmente a rede de esgotamento sanitário é nula ou insuficiente (zonas não planejadas, periferias das cidades). Nesses locais o uso de fossas negras e sépticas para a eliminação dos esgotos é comum e a sua manutenção precária pode constituir uma ameaça para a qualidade das águas subterrâneas (Wakida & Lerner, 2005).

Os efluentes lançados por esses sistemas são compostos por microorganismos, nutrientes, compostos orgânicos sintéticos, sais, além de nitrato e cloreto (Foster & Hirata, 1988). Estes últimos são considerados como bons parâmetros químicos indicadores de contaminação, devido à alta mobilidade e persistência (APHA, 1998; Varnier 2007).

Tabela 4.1 Resumo dos aquíferos urbanos contaminados pelos sistemas de saneamento *in situ*

Autor	País	Comentário
Jeon et al., (2001)	Coréia do Sul	Estudaram o efeito do uso do solo e da urbanização na química e contaminação da água subterrânea. As maiores fontes de contaminação são os vazamentos na rede de esgoto e antigas fossas, além de aterros.
Yintao Lu, et al., (2007)	China	Estudaram os efeitos do desenvolvimento urbano no fluxo das águas subterrâneas em Fengcun, (litoral sul da China). Através da amostragem de poços em março 2005 e julho 2006, determinaram que a área de estudo encontram-se contaminada por nitrato. As análises químicas revelaram que as concentrações do íon aumentaram com o tempo (de 20 mg/L de NO_3^- no 2005 até 120 mg/L no 2006), o que evidencia uma rápida propagação da contaminação. Segundo os autores as fontes da contaminação são os sistemas de saneamento <i>in situ</i> (fossas negras e sépticas).
Muchimbane (2010)	Moçambique	Relaciona a falta de esgotamento sanitário, presença de sistemas de saneamento <i>in situ</i> e alta densidade populacional gerado pelo crescimento urbano irregular com a contaminação por nitrato e coliformes fecais das águas subterrâneas. Todos os poços cacimbas (até 20 m de profundidade) contêm concentrações de nitrato de até 178 mg/L de NO_3^- .
Cavalcante et al., (2003)	Brasil	Determinaram que no bairro do Farol, em Maceió (Alagoas), a presença de compostos nitrogenados é uma resposta à grande densidade de sistemas de saneamento <i>in situ</i> , o uso do sistema fossa-poço e à precária manutenção das redes coletoras de esgoto.
Alves de Lima et al. (2008)		Constaram que em Porto Velho (RO) as maiores concentrações de nitrato, ocorrem nas áreas com maiores densidades populacionais e, conseqüentemente, maiores quantidades de fossas sépticas e negras, uma vez que os locais não dispõem de rede de esgoto.
Bernice & Hirata (2010)		Avaliaram os impactos potenciais do saneamento urbano no Aquífero Adamantina em Urânia (SP), através da simulação de diferentes cenários de usos do solo. Mostraram que a contaminação por nitrato proveniente de uma fonte constante prevalece no tempo. Considerando a construção de uma rede de esgoto totalmente eficiente, o tempo de recuperação das porções rasa e intermediária do aquífero é de 10 anos. Já na porção mais profunda, a contaminação perduraria por um período de 90 anos após o encerramento da fonte.

4.2. Geoquímica dos efluentes gerados nos sistemas de saneamento *in situ*.

As fossas negras e sépticas são sistemas individuais de disposição de esgotos domésticos ou águas residuais domésticas. A diferença entre ambas consiste no tipo de construção. As fossas negras compreendem uma escavação sem revestimento interno, onde os efluentes são lançados diretamente no solo (Carvalho, 1981). As fossas sépticas, por sua vez, podem ser definidas como uma unidade de sedimentação flotação e digestão de esgotamento horizontal e contínuo (CETESB, 1989). Nelas são feitas a separação de duas fases físicas (escuma e lodo) e a transformação físico-química da parte líquida (efluente) como ilustrado na figura 4.1.

A espuma é formada por uma mistura de gases, gordura e sólidos que flutuam no líquido em tratamento. O lodo é um material acumulado na base do tanque (zona de digestão), por sedimentação de partículas sólidas suspensas no esgoto (ABNT, 1993).

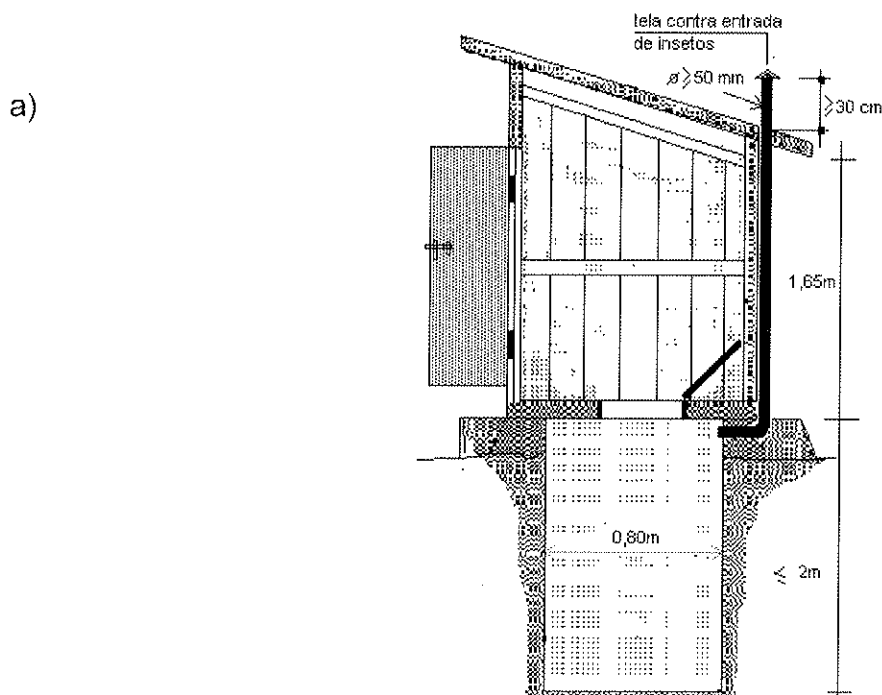


Figura 4. 1a. Esquema dos sistemas de saneamento *in situ*: a) fossa negra (Fonte: ABNT, 1993)

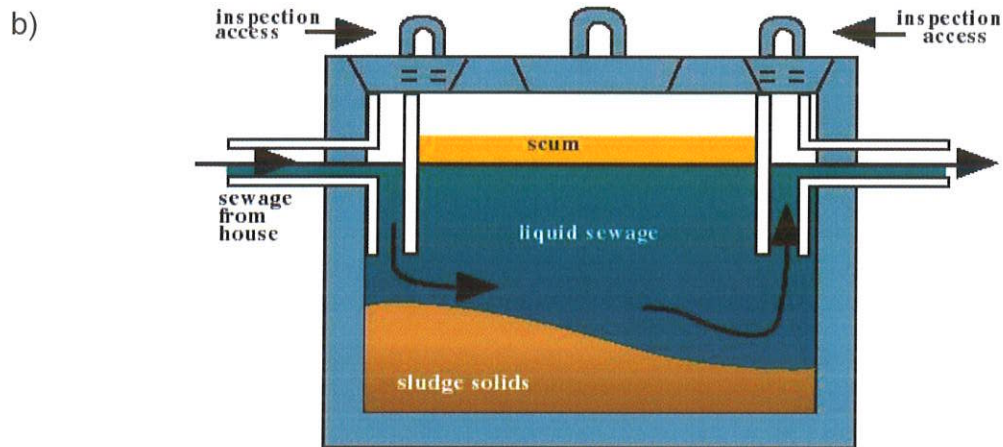


Figura 4. 2b Esquema dos sistemas de saneamento *in situ* b) fossa séptica (Fonte:Hydra International Ltda, 2010).

Os sistemas de saneamento *in situ* (fossas negras e sépticas) recebem o efluente com uma carga contaminante que é uma mistura de nutrientes (nitrato e fosfato), sais, microorganismos patogênicos, como bactérias, vírus e nitrato, além de dejetos alimentícios (proteínas, carboidratos, gorduras) e dejetos humanos (com alta concentração de uréia). As proteínas e uréia constituem mais de 97% dos 20-70 mg/L do nitrogênio tipicamente encontrado nos esgotos (Tchobanouglos *et al.* 1991, *in* Wilhelm *et al.*, 1994).

Segundo Wilhelm *et al.*, (1994), o nitrogênio orgânico junto com o carbono são os responsáveis pela maior demanda de oxigênio no esgoto. O pH do efluente normalmente encontra-se entre 6,5 a 8,0 e sua alcalinidade é superior à da água original de abastecimento (100 a 200 mg/L de CaCO_3).

Varnier (2007) identificou uma série de processos químicos que nas zonas não saturada e saturada do aquífero, proveniente de uma fossa negra desativada. Segundo a autora, destacam-se as principais reações: i) oxidação da matéria orgânica, ii) amonificação, iii) nitrificação, iv) metanogênese e v) desnitrificação. O resumo dos principais processos detectados pela autora são apresentados na tabela 4.2.

Ainda segundo Varnier (2007), no interior da fossa negra ocorrem os processos de transformação do nitrogênio, gerando reações predominantes, possíveis e improváveis descritas na figura 4.3.

Nas fossas sépticas, Wilhelm *et al.*, (1994) determinaram que os principais processos compreendem a hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbica, redução de sulfato e metalogênese na zona anaeróbica (tanque séptico). A oxidação da matéria orgânica, nitrificação, oxidação de sulfato e tampão de carbonato surgem na zona aeróbica (área desnifiltração), enquanto que na segunda zona anaeróbica (zona saturada), há o processo de desnitrificação. (figura 4.2).

Tanto nas fossas negras como nas sépticas o processo de conversão da matéria orgânica (tabela 4.2) é caracterizado pelas condições de baixas concentrações de oxigênio dissolvido. A digestão anaeróbica é mediada pela ação de microorganismos que usam aceptores de elétrons como $C_{\text{orgânico}}$, H^+ e CO_2 para oxidar a matéria orgânica e produzir H_2 , CO_2 . A maior parte do nitrogênio é liberado pelas moléculas orgânicas na forma reduzida de amônio (Wilhelm *et al.*, 1994, in Suhogusoff ,2010).

- A digestão anaeróbia é normalmente considerada um processo de dois estágios, com o aumento ou decréscimo da alcalinidade do efluente (Wilhelm *et al.*, 1994, in Suhogusoff ,2010). No primeiro estágio, um grupo de bactérias anaeróbicas convertem os orgânicos complexos como proteínas, carboidratos, gorduras, uréia e aminoácidos em compostos mais simples, propiciando a formação de H_2 e diminuição da alcalinidade. Dentre os processos mais comuns, destacam-se a hidrólise, fermentação e oxidação. No segundo estágio, os despejos que contém compostos de enxofre são submetidos à redução de sulfato e formação de sulfetos. Os compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante este processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurosos são reduzidos a sulfeto, através da ação de bactérias redutoras de sulfato (figura 4.2).

Adicionalmente, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, como o metano e gás carbônico sob a ação das bactérias metanogênicas. A redução do sulfato e o consumo metanogênico aumentam a alcalinidade do efluente.

A sequência dos processos e principais reações da digestão anaeróbica nos sistemas de saneamento *in situ* são apresentadas na figura 4.2.

Na zona saturada (zona anaeróbica), onde as concentrações de O_2 são limitadas, o processo que predomina numa fossa séptica é a desnitrificação (Wilhelm *et al.*, 1994, in Suhogusoff ,2010), desde que haja quantidade suficiente de carbono que não é consumido pela nitrificação ou digestão anaeróbica. A natureza da fonte de carbono e a presença das espécies microbianas, são fatores que afetam a razão C/N, necessária para a completa redução de nitrato (Payne, 1973; Rijn *et al.*, 2006).

Se o fluxo de carbono para o aquífero aumenta a razão C/N, pode-se promover a transformação de nitrato em NH_3 ao invés de N_2 (Rehr & Klemme, 1989, in Gillham & Cherry, 1978). Porém, geralmente nestes processos, o fator limitante nos aquíferos é a baixa concentração de carbono (Starr & Gilham, 1993).

Embora os sistemas de saneamento *in situ* representem um problema para as águas subterrâneas, é possível minimizar os impactos causados ao construir uma fossa alternativa melhorada com uso de barreiras reativas, que possibilitassem a degradação mais eficiente de nitrato e de microorganismos patogênicos, como a proposta por Suhogusoff (2010).

As avaliações feitas nesta fossa alternativa melhorada demonstraram que na zona anaeróbica do tanque séptico o pH é quase neutro com o cálcio e amônio como cátions dominantes, e o fosfato e cloreto como os ânions, tendo como processo a hidrólise. Na zona aeróbica (área de infiltração), onde se localizou a primeira barreira reativa denominada como BOF (Basic Oxygen Furnace) e utilizada para a degradação de microorganismos, evidenciou-se uma variação da alcalinidade com pH muito maiores que 7. O cátion predominante continuou sendo o cálcio, com diminuição nas concentrações de magnésio, sódio e amônio. Os possíveis processos, identificados pela autora, correspondem a: oxidação da matéria orgânica, troca catiônica, absorção e nitrificação. Já na segunda zona anaeróbica onde se encontra a barreira de serragem, o processo de desnitrificação se inicia, chegando a 62% de sua eficácia. O pH torna-se quase neutro com presença predominante de amônio e diminuição de cálcio, magnésio, sódio nitrato e cloreto. Isto torna esta fossa uma alternativa para a prevenção da contaminação do solo e da água subterrânea.

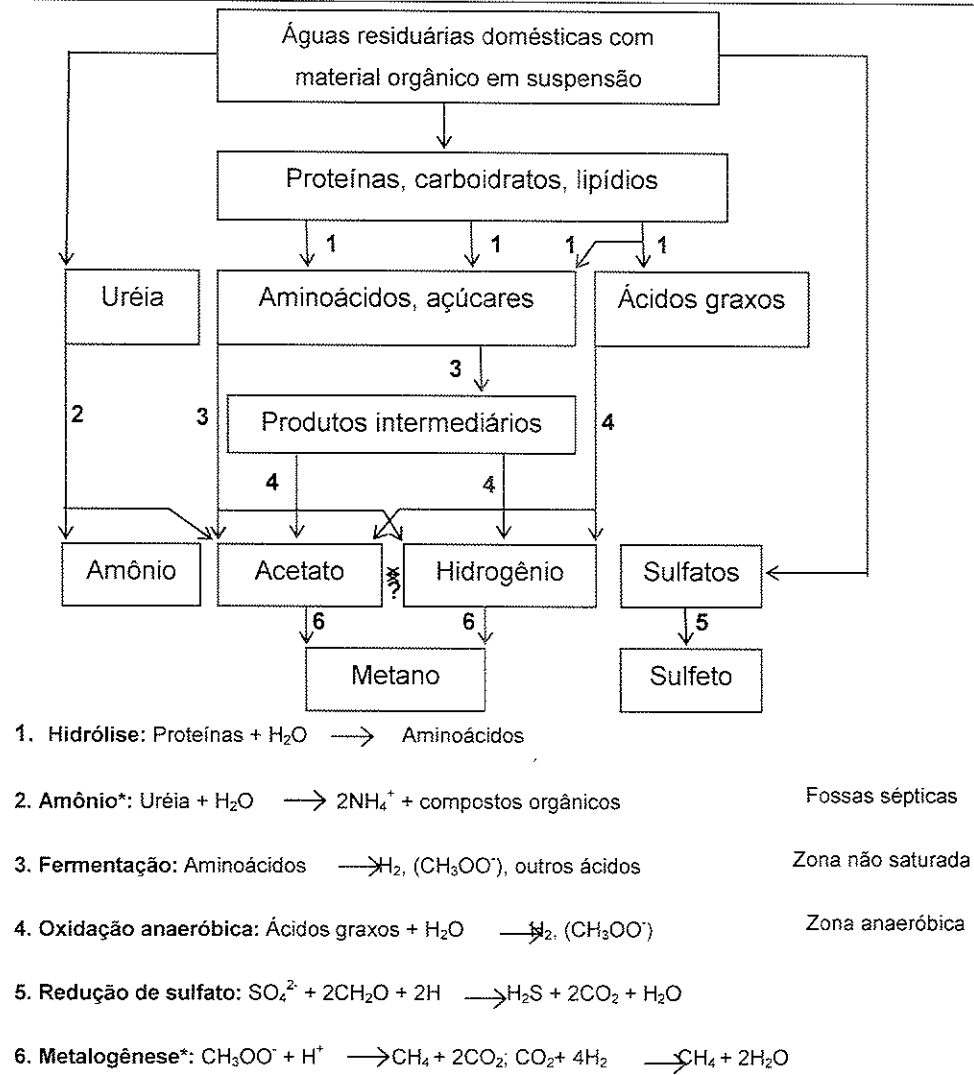
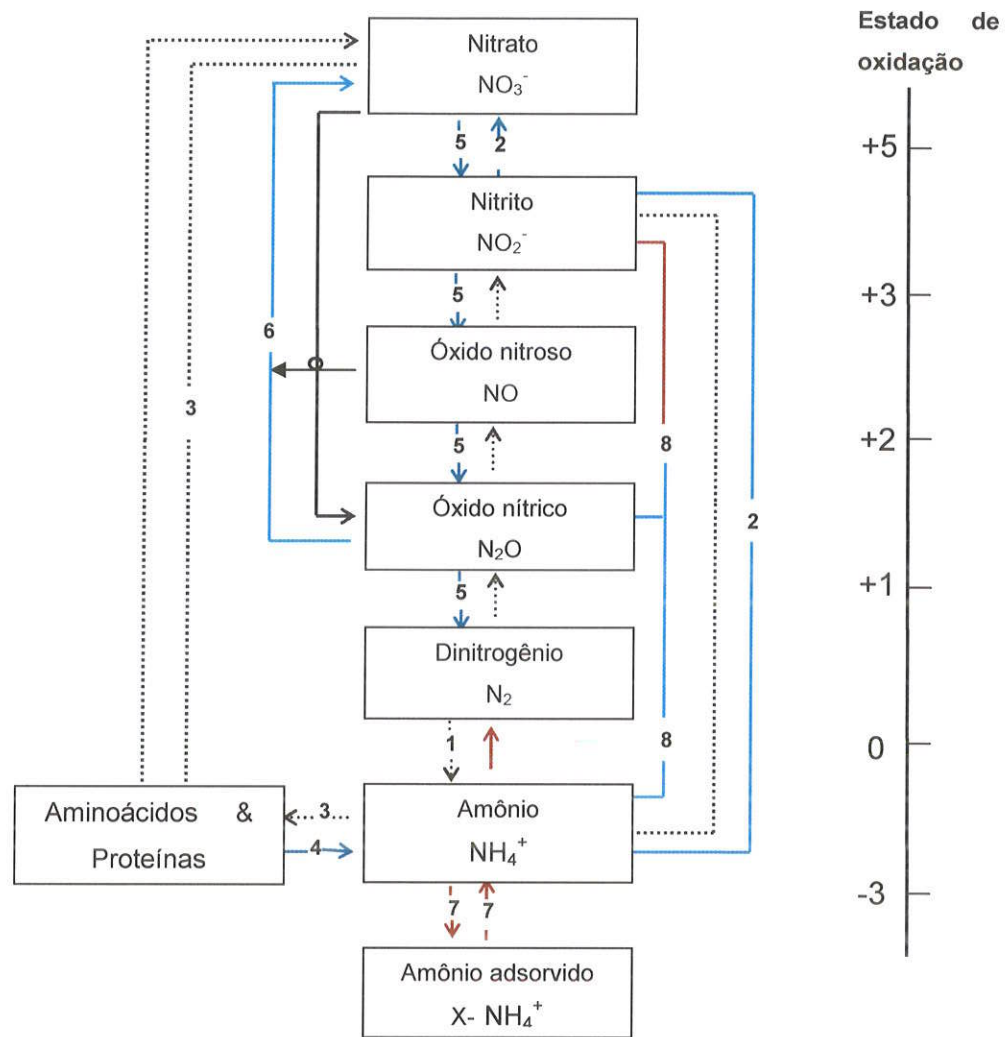


Figura 4. 3 Resumo da sequência dos processos na digestão anaeróbia no tanque séptico e fossas negras (os números referem-se às reações químicas), modificado de *Van Haandel e Lettinga, 1994* e *Wilhelm et al., 1994*.



Reações

1. Fixação
2. Nitrificação
3. Assimilação pelas plantas
4. Mineralização*
5. Desnitrificação
6. Nitrato precipitado (como HNO_3)
7. Adsorção e desorção
8. Anamox*

* Processos mediados por microorganismos

Figura 4.4 Espécies químicas no ciclo do nitrogênio (modificado de O' Neil, 1985; in Varnier 2007),

Tabela 4.2 Resumo das principais características hidrogeoquímicas e parâmetros presentes nos sistemas de saneamento *in situ* (Varnier, 2007 e Wilhelm *et al.*, 1994).

Sistema de saneamento	Zonas definidas no sistema	Possíveis processos	Parâmetros físicos	Cátions	Ânions	Outros Parâmetros e gases	Observações
(Varnier, 2007) Fossa negra desativada Instalação de uma estação experimental, situada a 1m de uma fossa desativada por cinco anos	Zona não saturada (ZNS) < 1m	Infiltração efluente	↑CE; ↓pH<<6	↑NH ₄ ⁺ ; ↑Ca ²⁺ ; ↑K ⁺ ; ↑Na ⁺ > Mg ²⁺	↑NO ₃ ⁻ ; ↑Cl ⁻ ; ↑HCO ₃ ⁻	↑COD; ↓N _{org} ; ↑CH ₄ ; ↑N ₂ O; ↑O ₂	Desnitrificação ocorre nos poros dos sedimentos situados dentro de meio aeróbico.
	ZNS Fossa (1-5m)	Oxidação (Materia orgânica) Amonificação Nitrificação Metalogênese Desnitrificação	↑CE; ↓pH<<6	↓Ca ²⁺	↓HCO ₃ ⁻ ; ↑NO ₃ ⁻	↑COD; ↑CH ₄ ; ↑O ₂	
	ZNS (5-9m)		↑CE; ↓pH<<6	↑Ca ²⁺ ; ↑K ⁺ ; ↑Na ⁺ ; ↑Mg ²⁺	↑NO ₃ ⁻ ; ↑Cl ⁻	↑O ₂ ; ↓CH ₄	
	Zona Saturada (ZS) entre 9-11 m	Diluição	↓CE; pH ≈6	↓Ca ²⁺ ; ↓K ⁺ ; ↓Na ⁺ ; ↓Mg ²⁺	↓NO ₃ ⁻ ; ↓Cl ⁻ ; ↑HCO ₃ ⁻	↓COD; ↓CH ₄ ; ↓O ₂	
Wilhelm <i>et al.</i> , (1994) Modelo conceitual para evolução química de esgoto doméstico gerado por sistemas de saneamento <i>in situ</i>	Zona Anaeróbica (tanque séptico)	Hidrólise Amônio Fermentação Oxidação anaeróbica Redução de sulfato Metalogênese	↓CE pH<7	↑NH ₄ ⁺	↓NO ₃ ⁻	↓COD; ↑CO ₂ ; ↑CH ₄	
	Zona Aeróbia (área de infiltração)	Oxidação (Materia orgânica) Nitrificação Oxidação de sulfato Tampão de carbonato	↓CE pH<7	↓NH ₄ ⁺	↑NO ₃ ⁻ ; ↓HCO ₃ ⁻ ; ↑SO ₄ ⁻	↓O ₂ ; ↑CO ₂ ; ↓N _{org}	
	Segunda zona Anaeróbia (ZS)	Desnitrificação	↓CE pH<7	↑NH ₄ ⁺	↓NO ₃ ⁻	↓COD; ↑N ₂	

ZNS: zona não saturada; ZS: zona saturada

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Cadastro de poços

O cadastro de poços tubulares existentes na área de estudo foi realizado através da consulta ao arquivo do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIDAS) do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), bem à base de dados da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Vigilância Sanitária Municipal, empresas de consultoria e demais órgãos competentes.

Com base nestes levantamentos, uma análise criteriosa foi adotada para a interpretação e reavaliação das informações disponíveis dando especial atenção aos poços que continham as seguintes informações: coordenadas de localização, cota, dados construtivos, parâmetros hidráulicos, descrição litológica, aquífero explorado e análises pretéritas das concentrações de nitrato (anexo I).

Foram levantados, no total, 212 poços dos quais selecionaram-se 195 poços que atenderam ao conjunto de informações necessárias, mencionadas anteriormente (inserir mapa com a localização dos poços).

5.2. Levantamento cartográfico

O levantamento cartográfico foi feito mediante a pesquisa das informações presentes nos mapas topográficos, de drenagem, uso e ocupação do solo, cartas de densidade de edificações, mapas de cobertura vegetal, agrupados na publicação Carta de Qualidade Ambiental (Camargo, 2007) e demais publicações (Sposito, 1983; Ikuta, 2003; Mileski, 2006; Cavaleiro, 2008)

As informações supracitadas foram compiladas, integradas e homogeneizadas numa base digital à mesma escala (1:25.000) através do software Arcgis 9.2.

A partir da base cartográfica digital e fotointerpretação das fotografias do município (anos 1972, 1978 e 1995), em escala 1:25.000, e das imagens adquiridas no site do Google Earth (2009) e Google Maps (2009), foram delimitados os perímetros urbanos para cada década.

5.3. Levantamento do esgotamento sanitário

Os dados sobre a captação e tratamento do esgoto de Presidente Prudente foram adquiridas junto à SABESP. Na ocasião, foram consideradas as seguintes informações: i) números de ligações (conjunto de tabulações e dispositivos que integram a rede de distribuição); ii) economias de esgoto (prédios ou subdivisões de um prédio com ocupações comprovadamente independentes entre si que utilizam uma única instalação de abastecimento).

Adicionalmente, foram concedidos mapas da rede de esgoto para os anos de 1990 e 2006. Estes mapas foram digitalizados e homogenizados em escala 1:25.000, de modo a proporcionar a localização dos bairros com e sem saneamento básico, com presença potencial de fossas sépticas e/ou negras.

Cabe assinalar que os dados sobre o tratamento do esgoto na única estação de tratamento (Estação do Córrego Limoeiro) não foram analisados neste estudo, devido à falta de informação da SABESP, sobre os volumes captados e tratados na referida estação.

5.4. Determinação do modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas.

O modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas do SAB na área de estudo foi estabelecido a partir da análise dos perfis construtivos, geológicos e geofísicos dos poços selecionados. Adicionalmente, foram determinados dados

hidráulicos mediante ensaios de bombeamento existentes (níveis estáticos, dinâmicos, vazão e condutividade hidráulica).

As análises resultaram na elaboração dos mapas potenciométricos, seções hidrogeológicas e cálculo dos parâmetros hidráulicos, o que permitiu ter a visão em planta e perfil do modelo de circulação das águas subterrâneas no local. Os mapas potenciométricos e as seções hidrogeológicas foram elaborados a partir dos mapas topográficos e hidrográficos fornecidos e digitalizados pela UNESP, escala 1:25.000, com curvas de nível com equidistância de 10m. Nesses mapas distinguiram-se os principais feições morfológicas, divisores de água, e principais córregos da cidade.

Os mapas potenciométricos foram confeccionados a partir dos valores das cargas hidráulicas dos poços cadastrados, localizados na área urbana. Estas cargas foram calculadas subtraindo-se os valores de cota do terreno e níveis de água estáticos registrados na época da instalação dos poços. A partir destes mapas, procurou-se determinar as direções preferenciais de fluxo da água subterrânea no aquífero, gradiente hidráulico e a velocidade de fluxo da água, calculada através da equação de Darcy levando em conta a porosidade efetiva de 5% e 15%, conforme proposto por Hirata (1999).

As seções hidrogeológicas foram elaboradas a partir dos perfis construtivos, litológicos e geofísicos dos poços, obtidos através dos arquivos do SIDAS e da SABESP. Os dados foram correlacionados entre os poços, obtendo, assim, os possíveis contatos e espessuras dos aquíferos Adamantina e Santo Anastácio no município.

Os valores de condutividade hidráulica e transmissividade foram determinados por meio de testes de bombeamento em nove poços tubulares (anexo II). Esses parâmetros hidráulicos foram calculados segundo a metodologia de Yazvin & Bochevier (Constantino de Miguel Fernandez, 1999).

Por fim, os parâmetros de gradiente hidráulico e velocidade de fluxo da água calcularam-se através da equação de Darcy levando em conta a porosidade efetiva de 5% e 15% determinada para o Grupo Bauru (Hirata, 1999).

5.5. Amostragem da água subterrânea

Um total de 60 amostras de água foi coletado na área urbana de Presidente Prudente em 22 poços selecionados através de duas campanhas de amostragem (dezembro/2009 e junho/2010 (incluir uma figura com os pontos selecionados para a amostragem)).

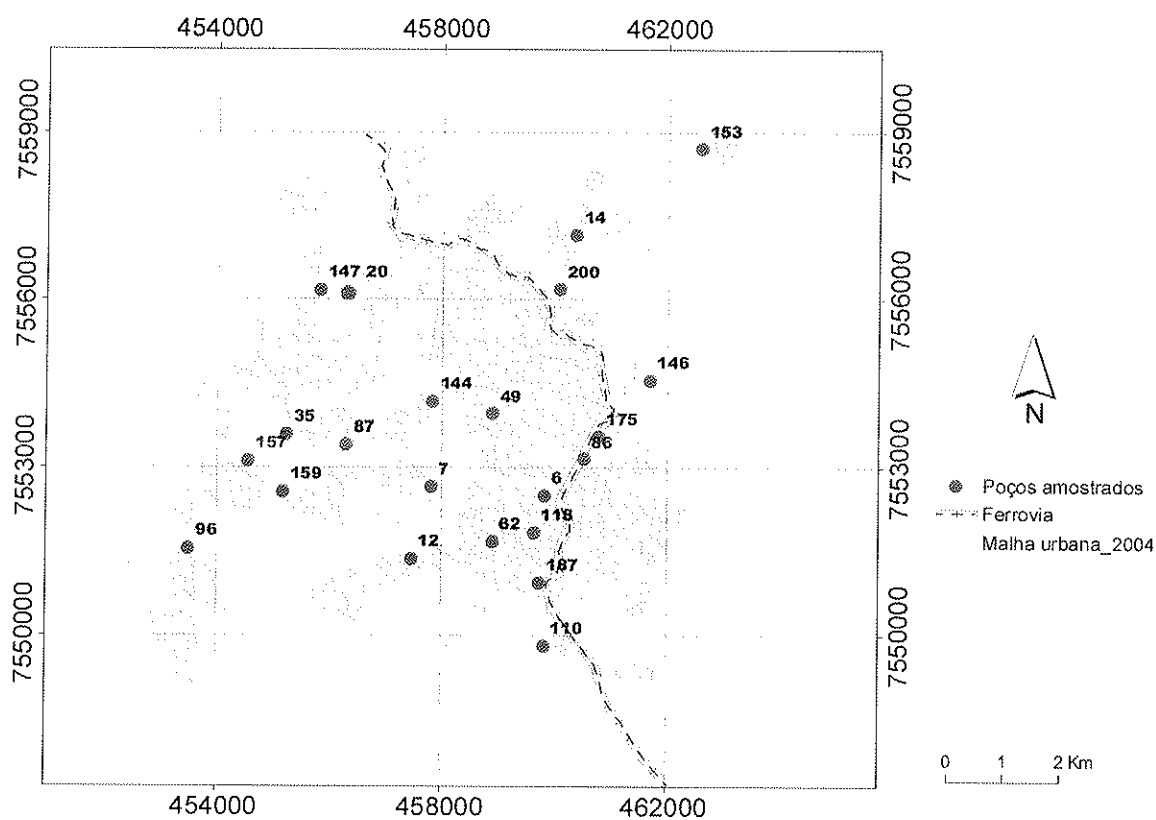


Figura 5.1 Localização dos poços amostrados

Os critérios adotados para a seleção dos poços foram os seguintes: i) distribuição espacial dos mesmos de forma a obter-se um conjunto de dados representativos de toda a área urbana, ii) concentração anômala de nitrato; iii) aspectos construtivos e possibilidade de coleta, quando possível, direto da boca; iv) localização geográfica de acordo com a expansão urbana.

A primeira campanha de amostragem, entre 14 e 19 de dezembro de 2009, contemplou os 22 poços com um total de 30 amostras que incluíram duas duplicatas (157-1 e 175-1 correspondentes aos poços 157 e 175) e quatro amostras em diferentes tempos de bombeamento ($t=0h$, $t=6h$ e $t=24h$ para os poços 175 e 146). A segunda campanha, realizada entre o 28 de junho e 3 de julho de 2010, contemplou os 22 poços com um total de 30 amostras que incluíram três duplicatas (85, 486, 310) pertencentes aos poços (85, 86 e 110) e cinco amostras coletadas em diferentes tempos ($t=0h$, $t=6h$ e $t=24h$ para o poço 175, e $t=6h$ e $t=24h$ para o poço 6).

A amostragem foi feita através das próprias bombas instaladas nos poços com purga prévia para remoção de água estagnada, equivalente a um volume de poço, conforme os procedimentos descritos pela USEPA (1985). Após a coleta, as amostras foram filtradas em membranas de acetato celulose ($0,45\ \mu m$), com o auxílio de bomba a vácuo manual e, em alguns casos uma de bancada. A bomba estava conectada a porta-filtros de 500 mL. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno, acidificadas (cátions e série nitrogenada), conservadas em geladeira a $4^{\circ}C$ e encaminhadas ao laboratório para análise química.



Figura 5.2 Purga e coleta das amostras nos poços



Figura 5.3 Filtragem das amostras

5.5.1. Análises físico-químicas

Os parâmetros analisados incluíram os compostos nitrogenados (N_{total} , N_{org} , NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-), sílica, cátions e ânions (Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e SO_4^{2-}). Estas análises foram efetuadas no laboratório CTQ, em São Paulo. Os procedimentos de preservação da amostra, metodologias analíticas e técnicas são expressas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 Métodos analíticos adotados para a determinação dos parâmetros em amostras de água.

Parâmetro	Preservação	Técnica	Metodologia
Nitrogênio total	H_2SO_4	Quimiofluorescência	Tekmar 14-900N-074 Rev. B
Nitrogênio orgânico	H_2SO_4	Digestão/Eletrodo seletivo	SMWWE 21th ed-4500 N_{org} B
Nitrogênio amoniacal	H_2SO_4	Eletrodo seletivo	SMWWE 21th ed-4500 NH_3 B e G
Nitrato e Nitrito	resfriamento	Cromatografia iônica	EPA 300.1 R. 1
Cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{total})	HNO_3	ICP	SMWW 21ªEd 3120 B
Ânions (SO_4^{2-} e Cl^-)	resfriamento	Cromatografia iônica	EPA 300.1 R. 1
Sílica	resfriamento	ICP	SMWW 21ªEd 3120 B

Além dessas espécies químicas, foram determinados, *in situ*, pH, Eh, condutividade elétrica e temperatura da água através de equipamentos portáteis da marca WTW (Eh/pH: 330/SET1, condutividade elétrica: LF330/SET) e Digimed (Eh/pH: DM-2, condutividade elétrica: DM-32). Aos valores de potencial redox, acrescentou-se o fator de correção de 250 mV, a título de obtenção do Eh.

Outro parâmetro medido em campo foi a alcalinidade (total e parcial), expressa em mg/L de CaCO₃. A técnica adotada foi a titulação volumétrica, utilizando-se de ácido sulfúrico 0,01 e 0,010 N, padronizado previamente em laboratório com Na₂CO₃, indicadores misto e fenolftaleína e de uma bureta digital, da marca Optilab, com aproximadamente 0,1% de precisão.

5.6. Tratamento dos dados hidroquímicos

5.6.1. Análise estatística

De acordo com a profundidade dos poços e o tipo de material reportado nos perfis de perfuração, foram definidos dois grupos: poços tubulares rasos (menores que 150 m) e poços tubulares profundos (maiores que 150 m). Nesses grupos procedeu-se o seguinte tratamento estatístico: análises descritivas convencionais e estatística multivariada. Tal tratamento foi feito com o intuito de avaliar o comportamento relativo entre os diferentes compostos presentes na água e suas possíveis correlações.

A análise estatística convencional baseou-se na determinação da média aritmética simples (\bar{x}) e do desvio padrão (s), dos parâmetros físico-químicos (pH, Eh, temperatura, condutividade elétrica), além dos cátions, ânions e série nitrogenada.

As determinações destas variáveis definiram os valores médios de cada parâmetro nos poços rasos e profundos para as duas campanhas de amostragem. Além dos dados das campanhas 2009 e 2010, este tratamento foi efetuado com os

dados das análises pré-existentes, compilados das fichas de outorga do SIDAS. Especial atenção foi dada às concentrações de nitrato; estes dados foram previamente separados por anos, entre 2005 e 2008, para a verificação da evolução temporal deste parâmetro na área urbana (anexo VI).

Tanto os poços com resultados dos parâmetros físico-químicos das duas etapas de amostragem quanto aqueles com concentrações pretéritas de nitrato foram separados em quatro zonas geográficas, de acordo com as coordenadas e posições dos poços em relação ao divisor de águas e ferrovia (já que segundo Abreu, 1972, ao longo das ferrovias multiplicam-se os núcleos urbanos). Desta forma, as zonas consideradas foram as seguintes: nordeste, centro, sudoeste e oeste.

Em cada zona determinou-se também a média aritmética simples e desvio padrão dos parâmetros determinados no campo, laboratório e análises de nitrato pré-existentes.

Com o intuito de caracterizar a dispersão ou variabilidade dos dados em termos relativos a seu valor médio, calculou-se o coeficiente de variação de Pearson (CVP). O coeficiente é dado pela razão entre o desvio padrão e a média referente a cada um dos parâmetros analisados.

Seguindo com o tratamento estatístico convencional dos dados, foram confeccionados gráficos das concentrações de nitrato *versus* pH, condutividade elétrica em função do tempo, levando em consideração os grupos de poços e as zonas definidas segundo a localização geográfica (nordeste, centro, sudoeste e oeste), com intuito de verificar a o comportamento dos parâmetros no contexto temporal.

A análise estatística multivariada, por sua vez, avaliou o grau de correlação entre os parâmetros determinados em campo (pH, T, CE, Eh, HCO_3^- , NH_4^+) e no laboratório (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^-), através do teste da correlação linear de Pearson. Tal tratamento foi feito com o intuito de avaliar o comportamento relativo entre os diferentes compostos presentes na água e suas possíveis correlações. A fim de melhor visualizar estas relações, utilizou-se também de um teste de correlação linear onde foi adotado um nível de significância de 5% (Davis, 1986). Neste caso, aceita-se a hipótese da existência de correlação entre dois

parâmetros, com 5% de significância, se o coeficiente de correlação (r) entre eles for tal que $T(r) > 1,96$ ou $T(r) \leq -1,96$, conforme ilustrado na equação 5.1

$$T(r) = \frac{\sqrt{N-3}}{2} \ln \frac{(1+r)}{1-r} \quad (5.1)$$

Onde: N é número de pares e r é o coeficiente de correlação de Pearson

Foram considerados os pares cuja hipótese de existência de correlação apresentassem valores de $T(r)$ dentro deste intervalo, sendo desconsiderados aqueles pares cujos valores eram excedentes. Para o cálculo desta correlação foi utilizado o software estatístico Statistica versão 9.0 da StatSoft South America.

Complementando as análises de correlação, foram também gerados gráficos que relacionam as concentrações de nitrato, condutividade elétrica, pH, cloreto e sódio. O objetivo foi verificar o grau de dependência destes parâmetros.

5.6.2. Controle de Qualidade, Classificação e Evolução Hidroquímica das Águas Subterrâneas

Os resultados das análises químicas foram submetidos a dois tipos de controle de qualidade: cálculo do balanço iônico e amostras duplicatas.

O cálculo do balanço iônico e o envio de amostras duplicatas consistem em procedimentos mais comuns adotados para avaliar a reprodutibilidade dos resultados, além de quantificar possíveis erros durante a execução das análises. O balanço iônico foi efetuado em todas as amostras coletadas em campo de modo a assegurar se o erro estava dentro do limite permitido, geralmente entre $\pm 10\%$.

A porcentagem do erro do balanço iônico para todas as amostras totais foi calculada a partir dos valores em miliequivalentes dos ânions e cátions.

Com o intuito de caracterizar quimicamente as águas subterrâneas e estabelecer uma evolução hidroquímica da área utilizou-se o diagrama triangular de Piper através do *software* Aquachem, versão 5.1, da Schlumberger Water Services. As concentrações dos íons maiores na água (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^-) foram convertidas em meq/L e dispostas no diagrama, calculando-se as porcentagens em relação à soma de cátions e ânions de cada amostra. Os resultados das análises plotadas consideraram as duas campanhas de amostragem, levando-se em conta os poços rasos e profundos.

5.6.3. Distribuições espacial e temporal dos parâmetros

A análise das correlações temporal e espacial foram realizadas através dos seguintes procedimentos:

- a) Mapa de localização dos poços que tiveram dados das concentrações de nitrato preexistentes. Os critérios considerados para a confecção de dito mapa baseou-se nas informações de localização geográfica dos poços, endereço, nomes dos bairros, localização do divisor de águas e da ferrovia. Os poços foram plotados sobre a malha urbana mais nova, correspondente ao ano 2004.
- b) Mapas de isoconcentrações para o nitrato e cloreto, correspondentes à primeira e à segunda campanha (estação úmida e estação seca respectivamente). Nos mapas foi utilizado o método de interpolação kriging ordinário, do *software* Surfer, versão 8.0 da *Golden Softwares, Inc* e Arcgis 9.0. A partir deles foi feita a análise dos padrões de distribuição dos referidos compostos e suas concentrações na área urbana de Presidente Prudente.

5.7. Estimativa da carga potencial de nitrato nas áreas urbanas

A análise da carga potencial de nitrato na área de estudo foi realizada conforme a Identificação das áreas urbanas respeito ao adensamento urbano. O adensamento urbano ou densidade de ocupação foi avaliado a partir do conjunto de fotografias aéreas da cidade, escala 1:25.000 (1995), bem como as imagens captadas do Google Earth 2010 para comparar e constatar mudanças no uso e ocupação no solo e espacialização das áreas de expansão urbana e demográfica. A comparação entre ambas permitiu também a identificação de características principais da cidade tais como a ferrovia, bairros (antigos e novos) e poços (figura 5.4).

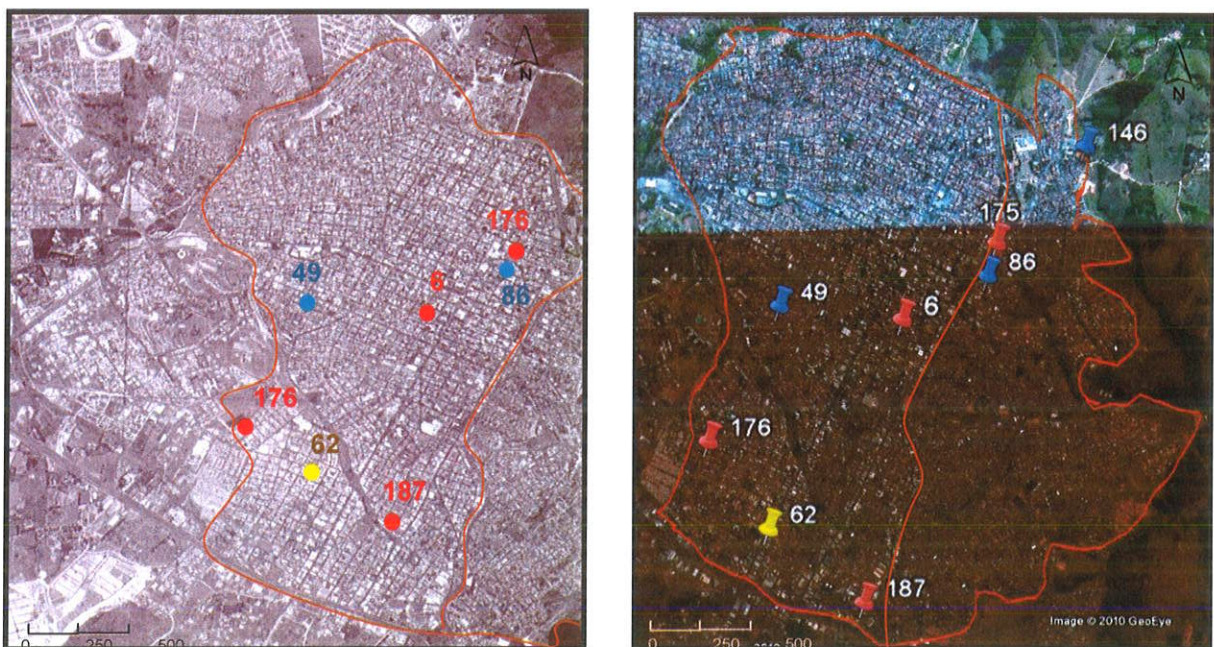


Figura 5.4 Fotografia aérea (1995) à esquerda e imagem do Google Earth (2010) à direita destacando a ferrovia e poços no centro da cidade.

Posteriormente, selecionou-se uma mesma área (1ha) em diferentes zonas da cidade, onde foram quantificadas as moradias, considerando três tipos de densidade: alta (A), média (M) e baixa (B). As áreas s com alta densidade de ocupação apresentaram maior quantidade de residências ou prédios e poucos

espaços livres (praças, parques e gramados) (figuras 5.5 e 5.6). Nestas circunstâncias, a quantificação determinou que 1 hectare (ha) corresponde, em média, a 40 residências.

As áreas de média densidade apresentaram maior ocorrência de espaços livres, em relação às de alta densidade (figuras 5.5 e 5.6). Neste caso, 1ha, em média, compreende 21 residências.

Por fim, nas áreas de baixa densidade, 1(ha) possui aproximadamente cinco residências. Esse tipo de densidade foi registrado somente em bairros mais novos que ainda estão em processo de ocupação (figuras 5.5 e 5.6).



Figura 5.5 Imagem do Google Earth (2011) destacando os critérios de densidade na área urbana de Presidente Prudente.

A partir da relação da densidade e número de residências, procedeu-se a quantificar a relação número de pessoas por hectare. Considerando que, segundo Bertolo (2001) uma moradia geralmente abriga quatro habitantes, obteve-se as seguintes relações: (A) densidade de ocupação alta: 160hab/ha; (M) media: 84hab/ha e (B) baixa: 20hab/ha.

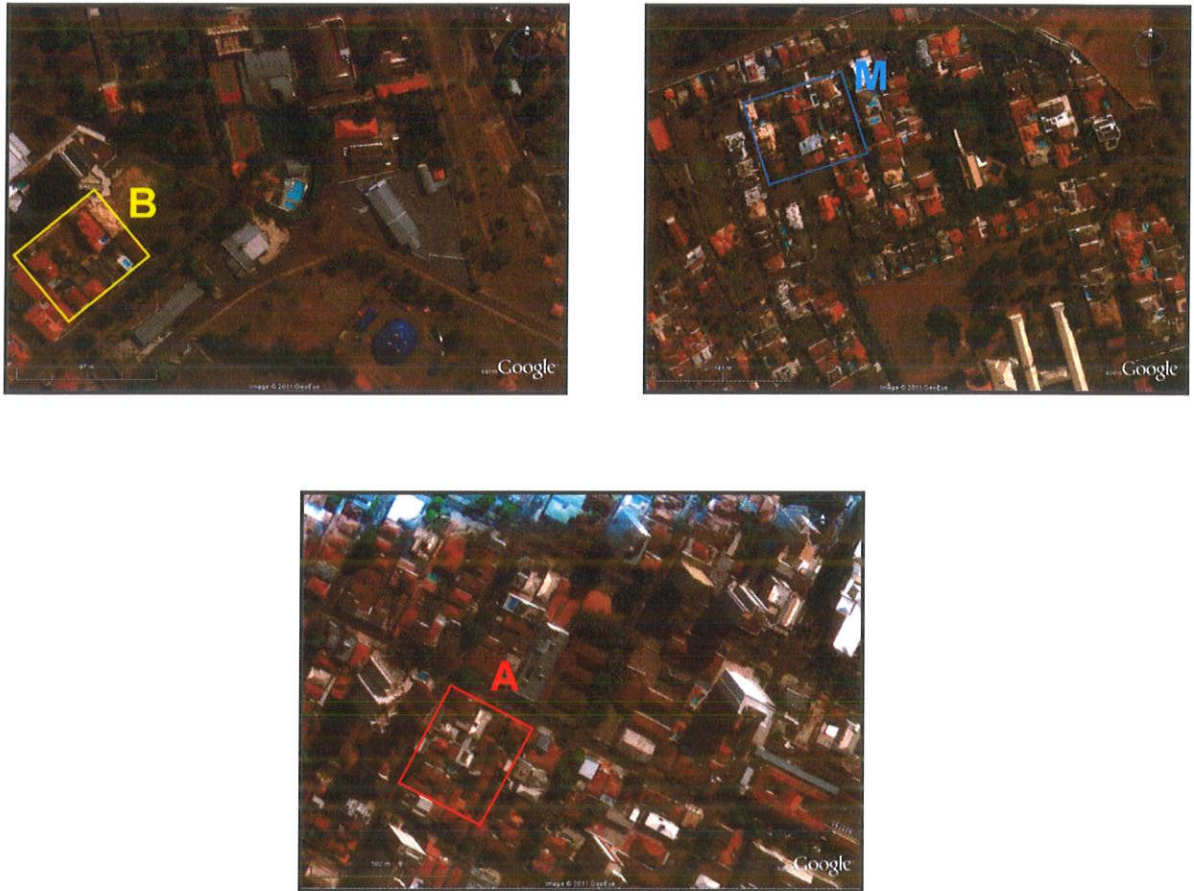


Figura 5.6. Densidade de ocupação alta (A), média (M) e baixa (B) adotada para Presidente Prudente. Imagem captada do Google Earth (2011).

As quantificações da densidade urbana foram consideradas na estimativa da concentração de nitrato que pode ser lixiviado para o aquífero na área urbana de Presidente Prudente. Esta estimativa foi determinada através da equação proposta por Foster & Hirata (1988):

$$C_u = (\text{mg/L NO}_3\text{-N}) = (1000 \cdot a \cdot A \cdot f_u) (0.36 \cdot A \cdot U + 10I)^{-1} \quad (5.2)$$

Onde: a (Kg/cap/ano) representa o peso por unidade de NO_3^- -N da excreta; A (hab/ha) é a densidade de ocupação; I (mm/ano) é a taxa de infiltração ou excesso de precipitação; U (L/hab/dia) porção não consumível do uso da água total e f_u (adimensional), a proporção de nitrogênio lixiviado para as águas subterrâneas.

As cargas potenciais de nitrato C_u (mg/L NO_3^- -N), determinadas pela equação 5.2, foram comparadas com as concentrações de nitrato obtidas nas duas campanhas de amostragem, com o objetivo de avaliar o grau de ajuste entre os dados medidos e os calculados.

Da mesma forma, as cargas de nitrato (C_u) nos poços amostrados foram estabelecidas semi-quantitativamente a partir dos dados das concentrações de nitrato pré-existentes. Assim, também foi feito o mesmo tratamento comparativo entre os valores das concentrações calculadas e as reportadas nas análises dos poços não amostrados, considerando-se os valores médios nos casos onde os poços possuem mais de uma análise. Os gráficos para a análise das informações de ocupação ou adensamento urbano, profundidade dos poços, malha urbana, concentrações de nitrato, e idade das redes coletoras de esgoto foram feitos de acordo com o software Idl, versão 6.4, e no Arcgis 9.3. De acordo com estes critérios, a análise de dependência desses dados foi feita através de diagramas cúbicos e mapas da distribuição espacial das concentrações de nitrato na área urbana. Os diagramas cúbicos mostram em um triedro a dependência de quatro parâmetros (ocupação ou adensamento, profundidade dos poços, malha urbana, concentrações de nitrato).

Por se tratar de um aquífero livre e vulnerável à contaminação pelas cargas potencialmente poluidoras, o SAB, da superfície do terreno foi necessário determinar a zona de captura dos poços (ZOC).

A zona de captura de poço (ZOC) representa a área em superfície que pode contribuir de qualquer forma à captação (Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, 2010). A delimitação da ZOC neste trabalho foi realizada através de duas metodologias: a) raio fixo calculado (RFC) e b) método de Wyssling (Merino *et al.*, 1991).

Posteriormente, foram comparados os raios calculados pelos métodos mencionados com intuito de estabelecer semelhanças ou diferenças na determinação da área de contribuição à captação e as suas possíveis correlações o entre as concentrações de nitrato nos poços e as áreas delimitadas na ZOC.

Por último, foi determinado o zoneamento da área urbana da cidade, levando em conta a quantidade (número de poços rasos, profundos, privados e públicos) e a qualidade dos poços analisados (dados da estimativa da carga potencial de nitrato, concentrações determinadas no campo e laboratório, concentrações pré-existent) além de dados de densidade de ocupação urbana.

6. RESULTADOS

6.1. Cadastro dos poços

Com base nas informações coletadas no DAEE, na zona urbana de Presidente Prudente, existem 212 poços, dos quais, 198 (93%) estão ativos e 14 (7%) estão fora de operação ou tamponados (anexo I). A figura 6.1 ilustra a localização de todos os poços cadastrados na área estudada.

Dentre os poços ativos, 95% são privados, com profundidades entre 60 e 242m e 5% são de abastecimento público, com profundidades entre 200 e 272 m. Estes últimos pertencem à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

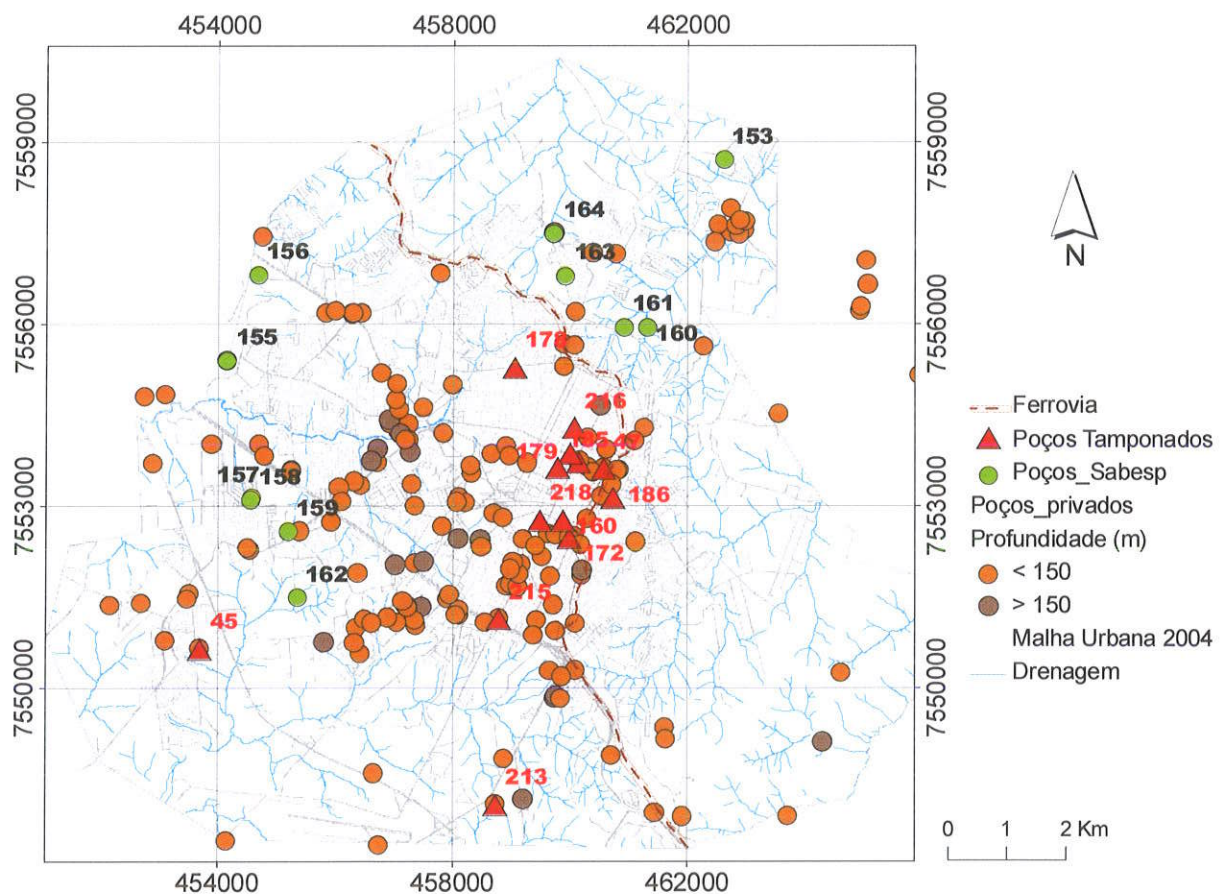


Figura 6.1 Localização dos poços cadastrados na área urbana de Presidente Prudente.

6.2. Modelo Conceitual de Circulação das Águas Subterrâneas

A unidade litoestratigráfica mais intensamente utilizada pelo usuário privado em Presidente Prudente é o Sistema Aquífero Bauru, representado na região pelos aquíferos Adamantina (aflorante) e o Santo Anastácio (subs superfície).

O Aquífero Adamantina é do tipo livre, regionalmente semi-confinado, de porosidade primária. Ele é representado, na área, pela ocorrência de arenitos muito finos a médios, cremes a cinzas, bem selecionados e espessura local média de 130 m (figura 6.2).

Sotoposto ao Aquífero Adamantina encontra-se o Santo Anastácio, que é constituído por arenitos vermelhos a roxos, granulação de fina a média, baixo conteúdo de argila. Segundo Godoy *et al.* (2004), estes sedimentos apresentam grãos arredondados a sub-arredondados, cobertos por uma película limonítica com presença frequente de nódulos carbonáticos ou cavidades preenchidas por carbonato de cálcio. Os poços tubulares que captam o Aquífero Santo Anastácio correspondem principalmente aos da SABESP, que o penetram de forma parcial com espessura média de 93m (figura 6.2).

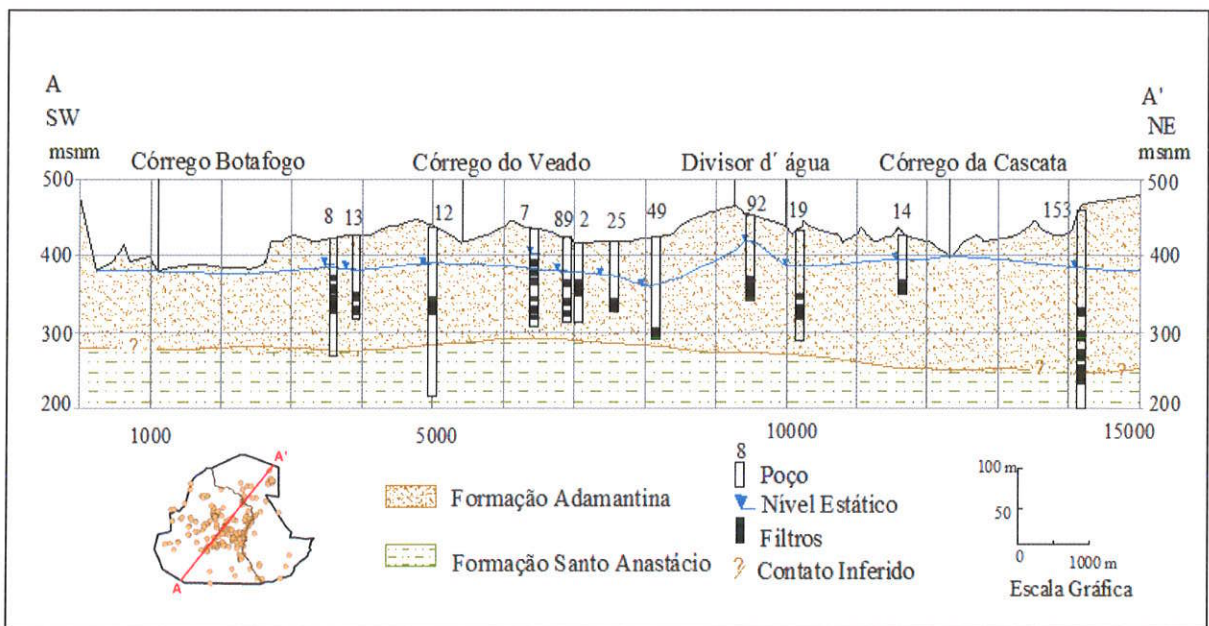


Figura 6.2 Seção geológica do município de Presidente Prudente, a partir dos dados estratigráficos dos poços tubulares situados na área urbana de Presidente Prudente.

Os perfis construtivos dos poços mostram que, na maioria, os filtros distribuem-se em toda sua extensão e não necessariamente em um nível aquífero determinado (figura 6.2). Assim, o nível potenciométrico dos poços de produção pode corresponder à mescla de vários níveis aquíferos.

A partir da análise dos poços tubulares mais rasos (até 150 m), confeccionou-se um mapa potenciométrico, para o Aquífero Adamantina. A partir deste, foi possível estabelecer as direções principais de fluxo das águas subterrâneas bem como determinar o gradiente hidráulico. As maiores cotas são de 469 msnm (metros sobre o nível do mar; poço 14) e um mínimo, junto ao Córrego do Veado de 310 msnm (poço 55; figura 6.3).

De acordo com este mapa, a direção preferencial das águas subterrâneas ocorre nas porções oeste e sudeste da cidade.

A recarga do aquífero ocorre pela infiltração natural da água de chuva em toda a área de exposição dos sedimentos. A morfologia da área influencia as superfícies potenciométricas e os divisores das micro-bacias hidrográficas são coincidentes com os das águas subterrâneas (figura 6.3). As descargas locais encontram-se na direção dos principais córregos: Veado, Cascata, Botafogo e Cedro, estes últimos afluentes do Rio Santo Anastácio.

A partir dos dados dos testes de bombeamento realizados no momento da construção dos poços tubulares na área urbana de Presidente Prudente (34 poços), calcularam-se os parâmetros hidrogeológicos para o Aquífero Adamantina na área. Já para o Santo Anastácio, estes parâmetros foram determinados através de sete poços profundos, três de propriedade da SABESP. A tabela 6.1 apresenta um sumário dos parâmetros hidrogeológicos para os aquíferos Adamantina e Santo Anastácio.

De acordo com a tabela 6.1, os valores médios de condutividade hidráulica e transmissividade do Aquífero Adamantina são, respectivamente, 0,77 m/dia e 100,1 m²/dia (espessura média de 130 m). O gradiente hidráulico varia de 0,01 a 0,03 (1,91% a 3,5%) e a velocidade de fluxo das águas subterrâneas de 0,15 a 0,46 m/dia (porosidade efetiva de 5%) e de 0,05 a 0,15 m/dia (porosidade efetiva de 15%).

O Aquífero Santo Anastácio, por sua vez, apresenta parâmetros similares aos determinados para o Aquífero Adamantina. Com base nos valores de espessura saturada média de 93 m, obtiveram-se os parâmetros hidrogeológicos que estão descritos na tabela 6.1.

Tabela 6.1 Sumário de parâmetros hidrogeológicos na zona de estudo

Aquíferos	Cond. Hidráulica (m/dia)	Gradiente Hidráulico	Velocidade de fluxo (m/dia)		Transmissividade (m ² /dia)
			5% porosidade	15% porosidade	
Adamantina	0,77	0,01 a 0,03	0,15 a 0,46	0,05 a 0,15	100,1
Santo Anastácio	0,71	0,01 a 0,02	0,14 a 0,15	0,05 a 0,09	65,78

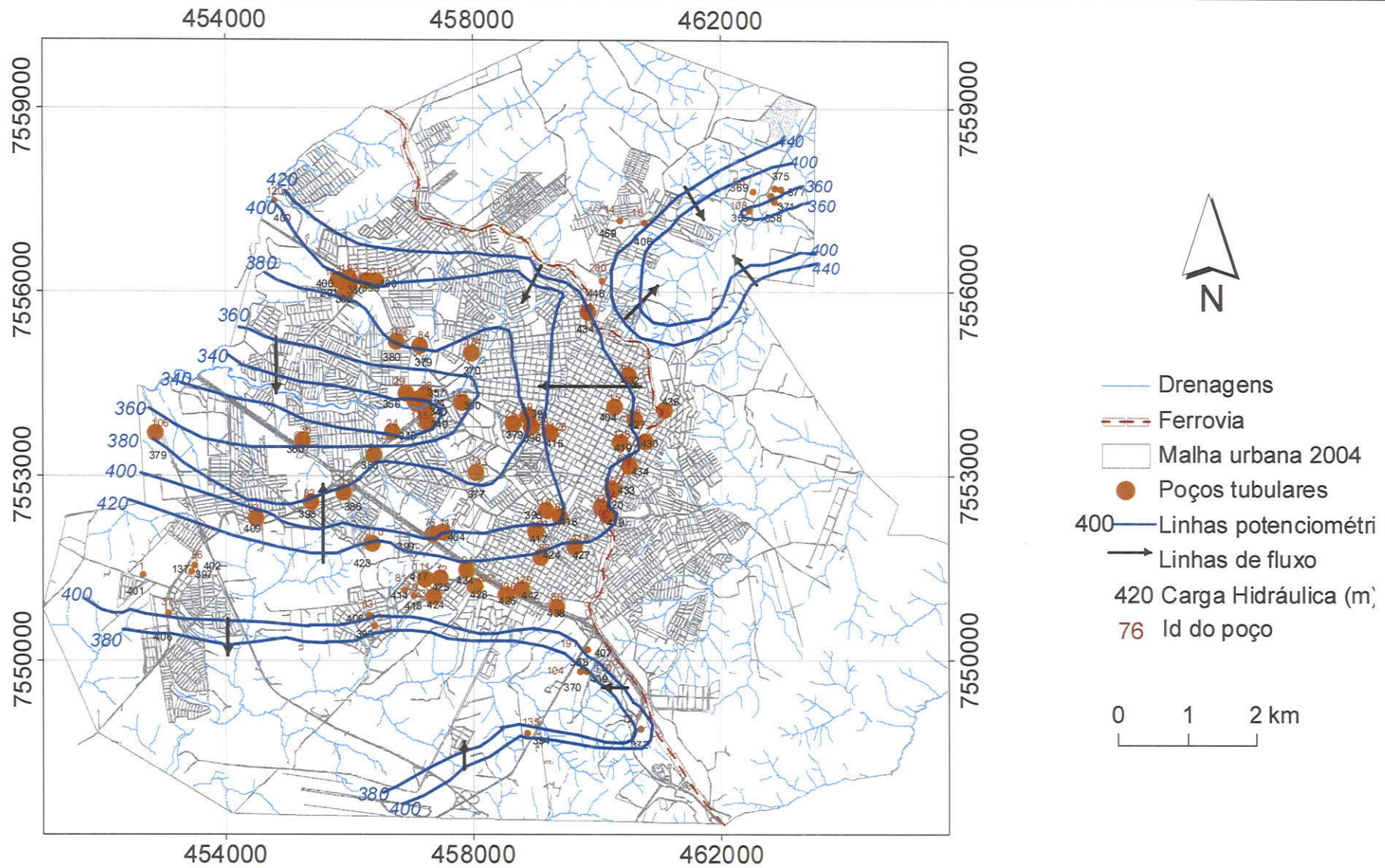


Figura 6.3 Potenciometria do SAB, a partir dos valores de níveis estático medidos na época da instalação dos poços tubulares na área de estudo

6.3. Hidroquímica Local

6.3.1. Controle de qualidade dos dados hidroquímicos

Para a avaliação da qualidade e confiabilidade dos dados das análises químicas, foram adotados dois critérios: i) cálculo do balanço iônico e ii) amostras duplicatas.

A figura 6.4 apresenta a porcentagem dos erros calculados para as campanhas de amostragem. O balanço iônico foi determinado calculado duas vezes para cada campanha: a primeira utilizou os dados obtidos em laboratório e a segunda, os resultados de amônio, nitrito, nitrato e ferro obtidos no campo.

As amostras da primeira campanha apresentaram balanços iônicos com maiores porcentagens de erro quando são considerados os valores de alcalinidade determinada em campo (figura 6.4). Em contrapartida, o erro é maior nos balanços que consideram os valores de alcalinidades de laboratório na segunda campanha de amostragem. Assim, os dados de alcalinidade nas duas campanhas de amostragem foram utilizados com cautela, pois segundo Custodio & LLamas (1976) a determinação da alcalinidade é uma das maiores fontes de erros.

Na primeira campanha foram considerados os resultados das análises de laboratório para todos os parâmetros, incluindo a alcalinidade. Já para a segunda etapa, consideraram-se os valores de alcalinidade determinado em campo obtendo-se, assim, melhores resultados.

Nota-se que 48% das amostras se restringiram a erros inferiores que 10% na primeira campanha de amostragem sem consideramos a alcalinidade determinada em laboratório e 95 % na segunda campanha ao considerar a alcalinidade de campo, o que mostra uma confiabilidade maior para os resultados obtidos na segunda campanha de amostragem (anexo V).

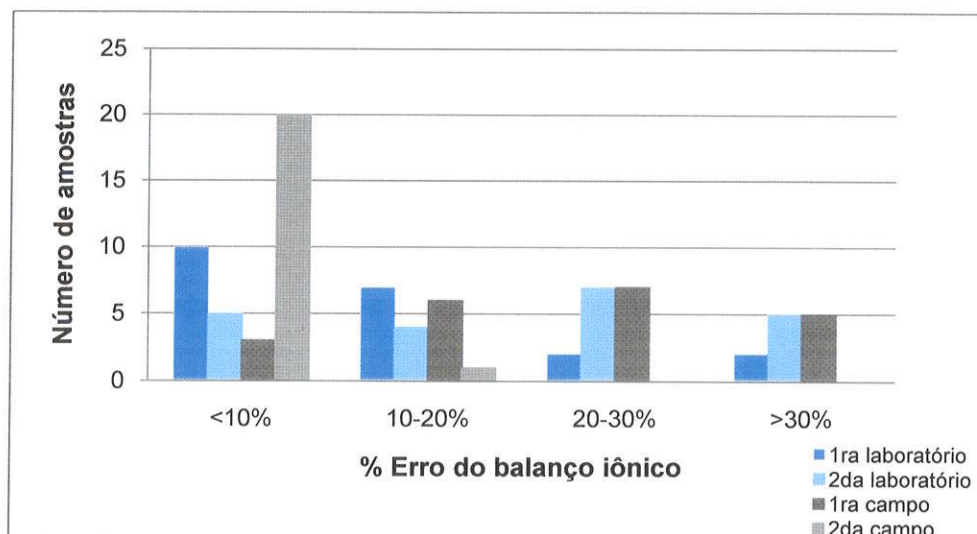


Figura 6.4 Porcentuais de erro nos balanços iônicos para as duas campanhas de amostragem.

Um segundo critério para verificar a precisão dos resultados obtidos em laboratório consistiu-se na coleta de amostras duplicatas para as duas campanhas de amostragem (anexo V). Coletaram-se, no total, quatro amostras: duas na primeira campanha (157-1, 175-1) e duas na segunda (310 e 486) em poços escolhidos aleatoriamente (86, 110, 157, e 175). Os resultados não mostraram diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos. As porcentagens de erro foram menores que 30% em 88% dos compostos analisados, menor do que o admitido pela USEPA (1995) para amostras duplicatas, o que confere a estas análises uma boa precisão.

6.3.2. Classificação e Evolução Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas

As análises dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de água, coletadas em dezembro/2009 e junho de 2010, são apresentados no anexo IV.

As variações nos resultados dos parâmetros físicos medidos em campo e os analisados em laboratório, em relação à profundidade, confirmaram a existência de

águas com composições distintas na área de estudo (tabelas 6.2 e 6.3). Os resultados estatísticos (valor mínimo, máximo, média, desvio padrão) (anexo IV) indicam que as águas do SAB, na área de estudo, apresentam temperaturas homogêneas cujo valor médio é de 25°C. Os valores de pH indicam águas ligeiramente ácidas (média de 6,53 e 6,44 para a primeira e segunda campanha respectivamente) nas águas rasas e alcalinas nas águas profundas (média de 8,17 e 7,44 para a primeira e segunda campanha respectivamente). Os valores de Eh mostram que as águas profundas perdem a capacidade de agente oxidante comparadas às águas mais rasas. Os resultados de condutividade elétrica são variáveis, tanto nos poços rasos como nos profundos, no entanto, indicam que as águas mais rasas contêm mais sais iônicos que as profundas.

Tabela 6.2 Estatística dos parâmetros físicos medidos no campo para as amostras de água na primeira campanha de amostragem (dezembro/2009).

Poços rasos 16 poços	pH	T (°C)	CE (μS/cm)	Eh (mV)
Min.	5,64	24,30	110,50	394,50
Máx.	8,14	26,60	750,00	575,60
Média	6,53	25,06	348,66	466,93
D. P.	0,65	0,67	158,68	50,34
Poços profundos 5 poços	pH	T(°C)	CE (μS/cm)	Eh (mV)
Min.	6,02	24,20	151,50	323,90
Máx.	9,53	26,60	413,00	505,60
Média	8,17	25,08	295,50	405,86
D. P.	1,61	0,95	98,21	65,51

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D.P- Desvio Padrão

Tabela 6.3 Estatística dos parâmetros físicos medidos no campo para as amostras de água na segunda campanha de amostragem (junho-julho/2010).

Poços rasos 16 poços	pH	T (°C)	CE (μS/cm)	Eh (mV)
Min.	5,54	21,70	101,10	400,00
Máx.	8,39	27,20	701,00	543,00
Média	6,44	24,42	324,18	485,96
D. P.	0,77	1,36	159,58	41,38
Poços profundos 5 poços	pH	T (°C)	CE (μS/cm)	Eh (mV)
Min.	6,75	24,90	218,00	430,20
Máx.	9,18	25,00	370,00	507,60
Média	7,44	24,98	294,75	463,05
D. P.	1,17	0,05	86,33	32,32

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D.P- Desvio Padrão

Na classificação hidrogeoquímica das águas subterrâneas, considerou-se, primeiramente, sete poços amostrados nas duas campanhas (14, 62, 144, 49, 35, 159, 153), cujas concentrações de nitrato são inferiores a 45 mg/L de NO_3^- . Esses poços, segundo os critérios expostos acima, indicam as condições naturais do SAB na área. Através dos diagramas de Piper (figura 6.5a) foi possível distinguir dois tipos hidroquímicos predominantes. O primeiro tipo é composto por águas bicarbonatadas cálcicas nas porções mais rasas do aquífero (até 150m) e o segundo, corresponde às águas bicarbonatadas sódicas, localizadas em maior profundidade (>150 m) (figura 6.5a).

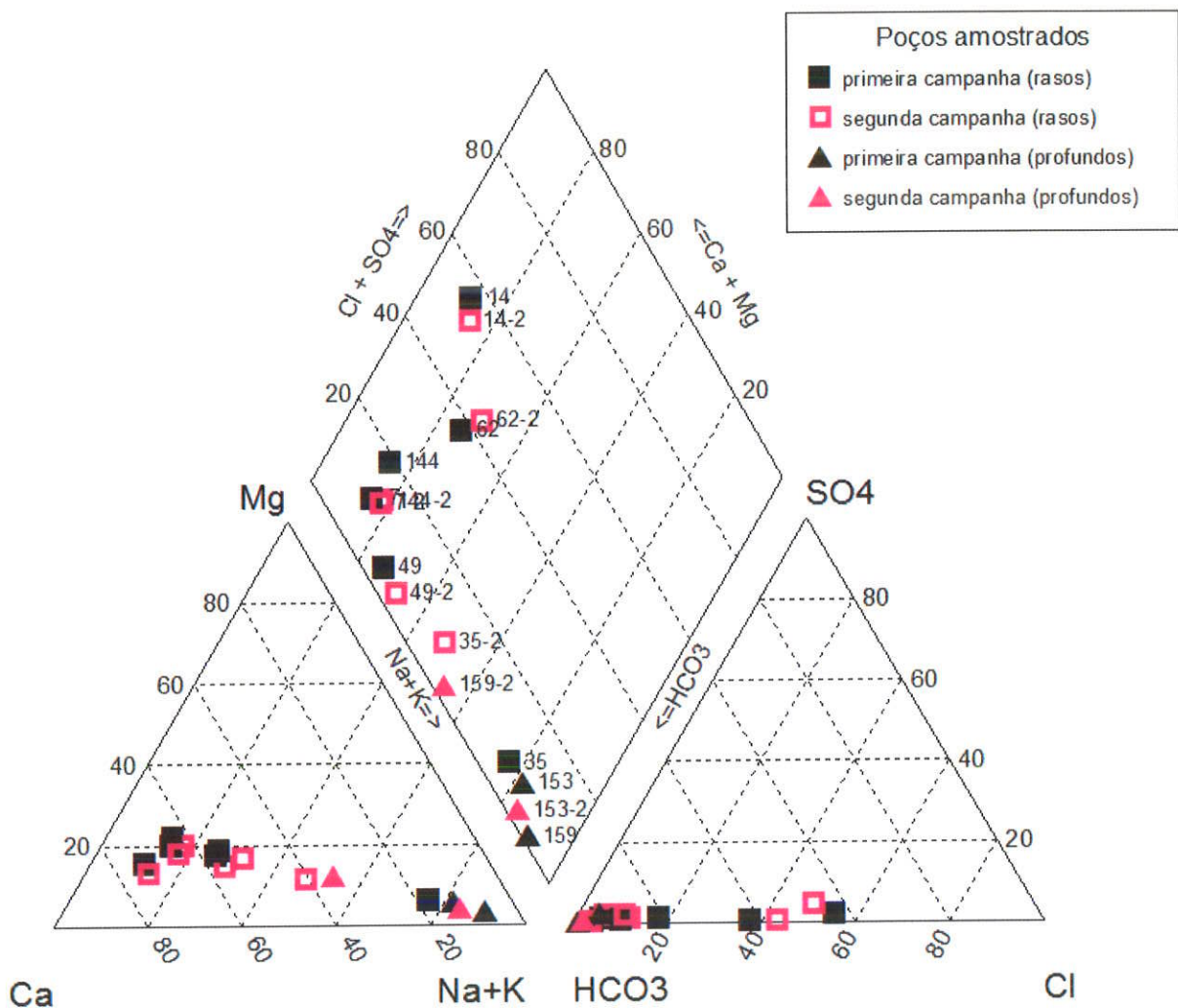


Figura 6.5a Diagrama de Piper dos poços com concentrações de nitrato inferiores a 45mg/L, amostrados na primeira (dezembro 2009) e segunda campanha (junho-julho 2010).

Ao levar em conta os poços com concentrações de nitrato superiores a 23mg/L (6, 86,175,176,187,200), observa-se que as águas adquirem uma composição que varia desde bicarbonatadas-cálcicas a cloro-nitratadas nas porções mais rasas do aquífero (figura 6.5b). O mesmo é observado em dois poços profundos (12 e 146).

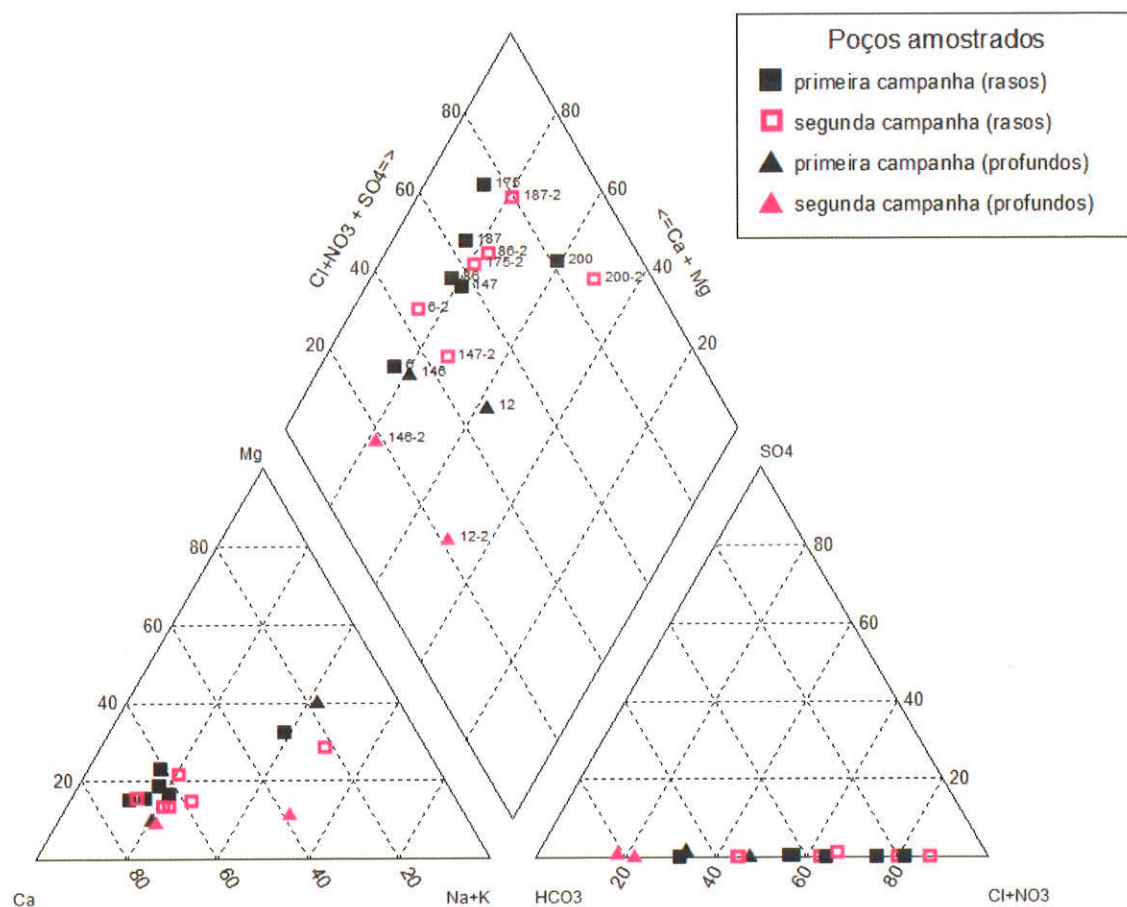


Figura 6.5b Diagrama de Piper dos poços com concentrações de nitrato maiores a 23mg/L, amostrados na primeira (dezembro 2009) e segunda campanha (junho-julho 2010).

As águas bicarbonatadas a cloro-nitratadas cálcicas são, em geral, ligeiramente ácidas com valores de pH entre 5,54 e 8,39 (tabelas 6.2 e 6.3). Os íons predominantes são o cálcio, sódio, bicarbonato, cloreto e nitrato (tabelas 6.4 e 6.5).

As águas bicarbonatadas sódicas apresentaram valores de pH neutro a alcalino. Dentre os íons predominantes, destacam-se o sódio e o bicarbonato. A diminuição nas concentrações de cálcio e magnésio sugere a possível ocorrência de reações de troca catiônica nas porções mais profundas do aquífero. Segundo Bertolo *et al.* (2009) & Bourotte *et al.* (2009), as reações de troca catiônica (Ca^{2+} , Na^+) propiciam a

diminuição das concentrações de cálcio e parecem controlar a dissolução de minerais carbonáticos presentes nos sedimentos, elevando o pH e as concentrações de bicarbonato, como foi observado pelos autores na Aquífero Adamantina na cidade de Urânia. A queda nas concentrações de cloreto e nitrato nas porções mais rasas para as mais profundas (tabela 6.4 e 6.5) provavelmente é ocasionada por processos de dispersão e diluição.

Tabela 6.4 Dados estatísticos dos cátions e ânions analisados para amostras de água na primeira campanha de amostragem (dezembro/2009).

Poços rasos 16 poços		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
Min.		8,10	1,80	1,10	3,80	16,27	6,80	0,02
Máx.		93,00	26,00	11,00	173,00	471,70	204,00	65,00
Média		36,51	7,39	4,43	21,53	132,83	58,49	23,12
D. P.		23,18	5,54	2,56	41,49	117,84	54,32	20,65
Poços profundos 5 poços		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
Min.		0,88	0,09	0,10	5,50	3,40	0,55	1,40
Máx.		55,00	4,80	3,80	67,00	80,15	32,00	46,00
Média		13,84	2,32	1,53	40,10	47,69	13,20	12,12
D. P.		23,09	1,96	1,77	28,06	28,15	14,49	19,10

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D.P.- Desvio Padrão

Tabela 6.5 Dados estatísticos dos cátions e ânions analisados para amostras de água na segunda campanha de amostragem (junho-julho/2010).

Poços rasos 16 poços		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
Min.		7,60	2,10	2,40	5,50	17,81	7,10	2,50
Máx.		88,00	14,00	14,00	28,00	391,77	111,00	57,00
Média		33,10	5,55	4,83	13,20	108,42	42,89	22,55
D. P.		20,79	2,84	3,02	6,35	88,47	33,00	17,88
Poços profundos 5 poços		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
Min.		6,20	1,20	0,43	17,00	101,74	1,50	1,50
Máx.		52,00	6,10	3,20	52,00	271,70	23,00	21,00
Média		25,80	3,55	2,06	35,25	179,39	9,30	7,30
D. P.		20,04	2,10	1,26	18,84	75,52	9,88	9,17

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D.P.- Desvio Padrão

Ressaltam-se ainda as correlações positivas entre as concentrações de nitrato x cloreto, nitrato x condutividade elétrica e condutividade elétrica x cloreto para as águas mais rasas (tabelas 6.6 e 6.7; figuras 6.6 e 6.7).

Tabela 6.6 Matriz de correlação das análises químicas dos poços com até 150 m de profundidade dezembro/2009.

	pH	T	CE	Eh	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
pH	1.00	0.01	-0.08	-0.44	0.73	0.75	-0.58	-0.25	-0.01	-0.28	-0.44
T		1.00	-0.53	-0.08	-0.01	0.22	-0.01	-0.27	-0.64	-0.37	-0.44
CE			1.00	-0.30	0.16	-0.05	0.22	0.65	0.72	0.85	0.76
Eh				1.00	-0.40	-0.42	0.11	-0.06	-0.33	-0.35	-0.14
HCO ₃ ⁻					1.00	0.40	-0.51	0.16	0.34	-0.08	-0.26
Na ⁺						1.00	-0.24	-0.26	-0.20	-0.20	-0.21
K ⁺							1.00	0.62	0.25	0.17	0.45
Mg ²⁺								1.00	0.73	0.43	0.51
Ca ²⁺									1.00	0.47	0.53
Cl ⁻										1.00	0.71
NO ₃ ⁻											1.00

Os valores em negrito indicam correlações com intervalo de significância de 95%, sendo considerados 17 dados de cada parâmetro. T=temperatura (°C); CE=condutividade elétrica (uS/cm); Eh= (mV); íons (mg/L)

Tabela 6.7 Matriz de correlação das análises químicas dos poços com até 150 m de profundidade junho - julho/2010.

	pH	T	CE	Eh	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
pH	1.00	0.48	-0.04	-0.19	0.52	0.06	-0.69	0.06	0.16	-0.59	-0.63
T		1.00	-0.26	-0.38	0.28	0.42	-0.37	-0.22	-0.11	-0.38	-0.70
CE			1.00	0.07	0.65	0.33	0.13	0.85	0.91	0.59	0.30
Eh				1.00	-0.11	-0.48	0.38	0.29	0.02	0.18	0.23
HCO ₃ ⁻					1.00	0.41	-0.38	0.75	0.76	-0.08	-0.51
Na ⁺						1.00	0.12	0.23	0.15	-0.09	-0.10
K ⁺							1.00	0.22	-0.22	0.43	0.60
Mg ²⁺								1.00	0.76	0.35	-0.01
Ca ²⁺									1.00	0.51	0.04
Cl ⁻										1.00	0.64
NO ₃ ⁻											1.00

Os valores em negrito indicam correlações com intervalo de significância de 95%, sendo considerados 17 dados de cada parâmetro. T=temperatura (°C); CE=condutividade elétrica (uS/cm); Eh= (mV); íons (mg/L)

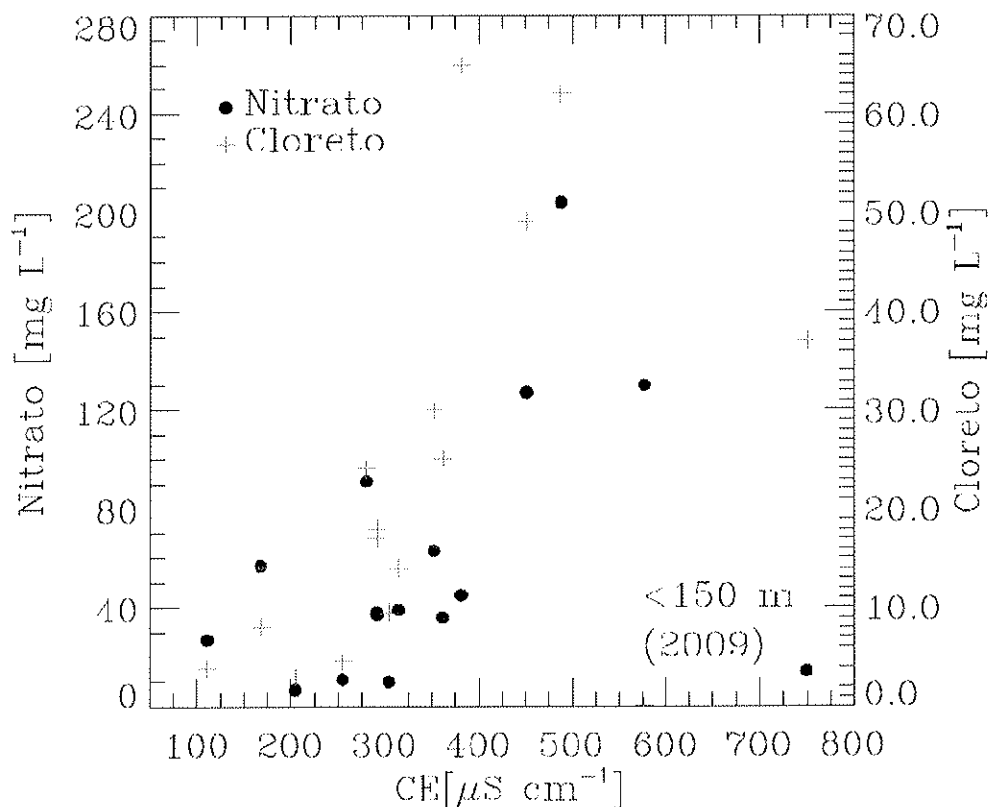


Figura 6.6 Correlação entre nitrato, cloreto e condutividade elétrica para os poços rasos amostrados na primeira campanha de amostragem (dezembro 2009).

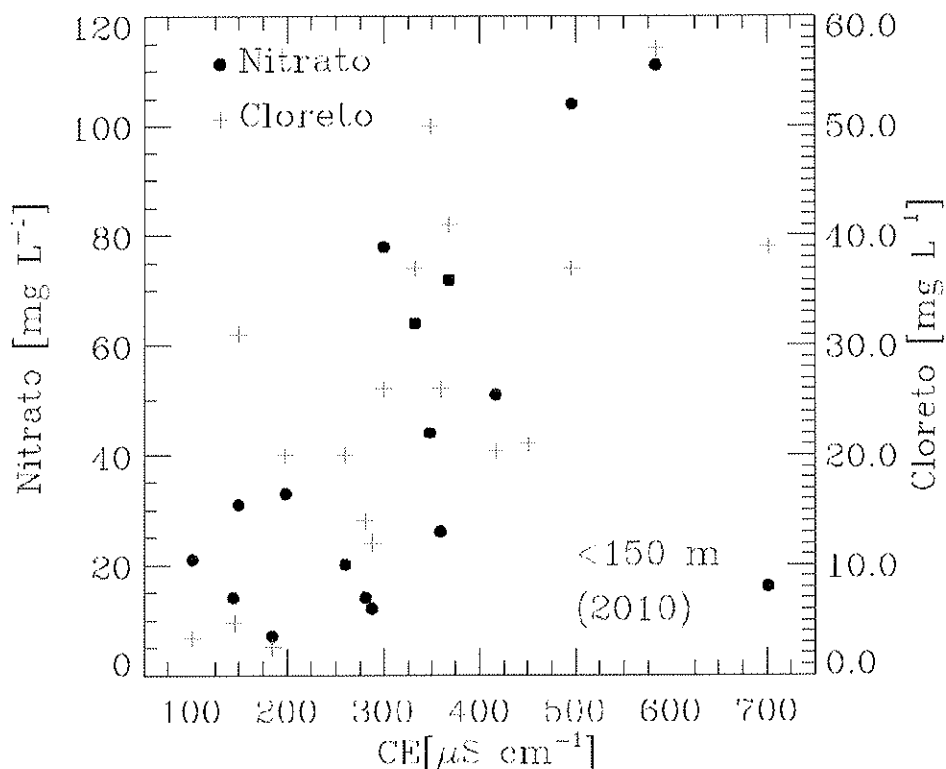


Figura 6.7 Correlação entre nitrato, cloreto e condutividade elétrica para os poços rasos amostrados na segunda campanha de amostragem junho - julho/2010.

Salienta-se, ainda, que nas águas mais profundas se observam correlações negativas entre cloreto, sódio, cálcio e pH, indicando a diminuição da contaminação e o aumento relativo da dissolução de minerais carbonáticos presentes na matriz dos sedimentos (tabelas 6.8 e 6.9).

Tabela 6.8 e 6.9 Matrizes de correlação das análises químicas dos poços maiores que 150 m de profundidade dezembro/2009 e junho - julho/2010.

	pH	T	CE	Eh	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
pH	1.00	0.26	0.93	0.97	-0.49	0.96	-1.00	-1.00	0.88	-0.90	-0.99
T		1.00	0.58	0.47	0.72	0.51	-0.21	-0.32	-0.24	-0.65	-0.40
CE			1.00	0.99	-0.14	1.00	-0.92	-0.96	0.65	-1.00	-0.98
Eh				1.00	-0.27	1.00	-0.96	-0.99	0.74	-0.98	-1.00
HCO ₃ ⁻					1.00	-0.22	0.53	0.42	-0.84	0.05	0.35
Na ⁺						1.00	-0.95	-0.98	0.71	-0.98	-0.99
K ⁺							1.00	0.99	-0.90	0.88	0.98
Mg ²⁺								1.00	-0.84	0.93	1.00
Ca ²⁺									1.00	-0.58	-0.80
Cl ⁻										1.00	0.95
NO ₃ ⁻											1.00

	pH	T	CE	Eh	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
pH	1.00	0.57	-0.41	-1.00	-0.24	0.55	-0.91	-0.68	-0.73	-1.00	-0.53
T		1.00	0.52	-0.54	0.66	1.00	-0.86	0.22	0.15	-0.54	-1.00
CE			1.00	0.43	0.98	0.54	-0.01	0.95	0.92	0.44	-0.56
Eh				1.00	0.27	-0.52	0.90	0.70	0.75	1.00	0.50
HCO ₃ ⁻					1.00	0.68	-0.18	0.88	0.84	0.28	-0.70
Na ⁺						1.00	-0.84	0.25	0.18	-0.52	-1.00
K ⁺							1.00	0.31	0.38	0.90	0.83
Mg ²⁺								1.00	1.00	0.70	-0.27
Ca ²⁺									1.00	0.75	-0.20
Cl ⁻										1.00	0.50
NO ₃ ⁻											1.00

Os valores em negrito indicam correlações com intervalo de significância de 95%, sendo considerados 3 dados de cada parâmetro.
T=temperatura (°C); CE=condutividade elétrica (uS/cm); Eh= (mV); íons (mg/L)

O nitrato ocorre em altas concentrações, acima do padrão de potabilidade (Portaria 518/04 do Ministério de Saúde), em 39% das amostras analisadas, atingindo valores de até 204 mg/L NO₃⁻ (tabelas 6.4 e 6.5). As concentrações deste íon estão relacionadas provavelmente à contaminação de origem antrópica (antigas fossas e vazamentos na rede de esgoto) que, por sua vez, é responsável pelos altos conteúdos de cloreto na água (até 65 mg/L) (tabelas 6.4 e 6.5). Esses altos teores foram observados em locais onde os filtros dos poços estão posicionados mais

próximos à superfície do terreno e na porção central da área urbana, onde se encontram os bairros mais antigos e com maior densidade populacional da cidade (poços 6, 86, 175, 176, 187).

Assim, considerando os parâmetros nitrato e cloreto nas duas campanhas de amostragem, nota-se que as concentrações apresentam altos picos nos poços rasos 6, 86, 175, 187 e 200 (figuras 6.8 e 6.9). Estes poços estão distribuídos principalmente na zona central da cidade, mostrando uma tendência similar entre os dos parâmetros (figuras 6.10 e 6.11). Salienta-se que as concentrações médias do cloreto para os poços rasos (23,12 mg/L na primeira campanha e 24,99 mg/L na segunda) são maiores que 15 mg/L, valores similares aos apresentados pelos esgotos (World Health Organization, 2009).

Quanto aos demais compostos da série nitrogenada (nitrogênio orgânico, amônio, nitrito), ambos estiveram abaixo do limite de detecção, denotando um ambiente oxidante para toda a área de estudo, que propicia a existência de nitrato de forma abundante e estável.

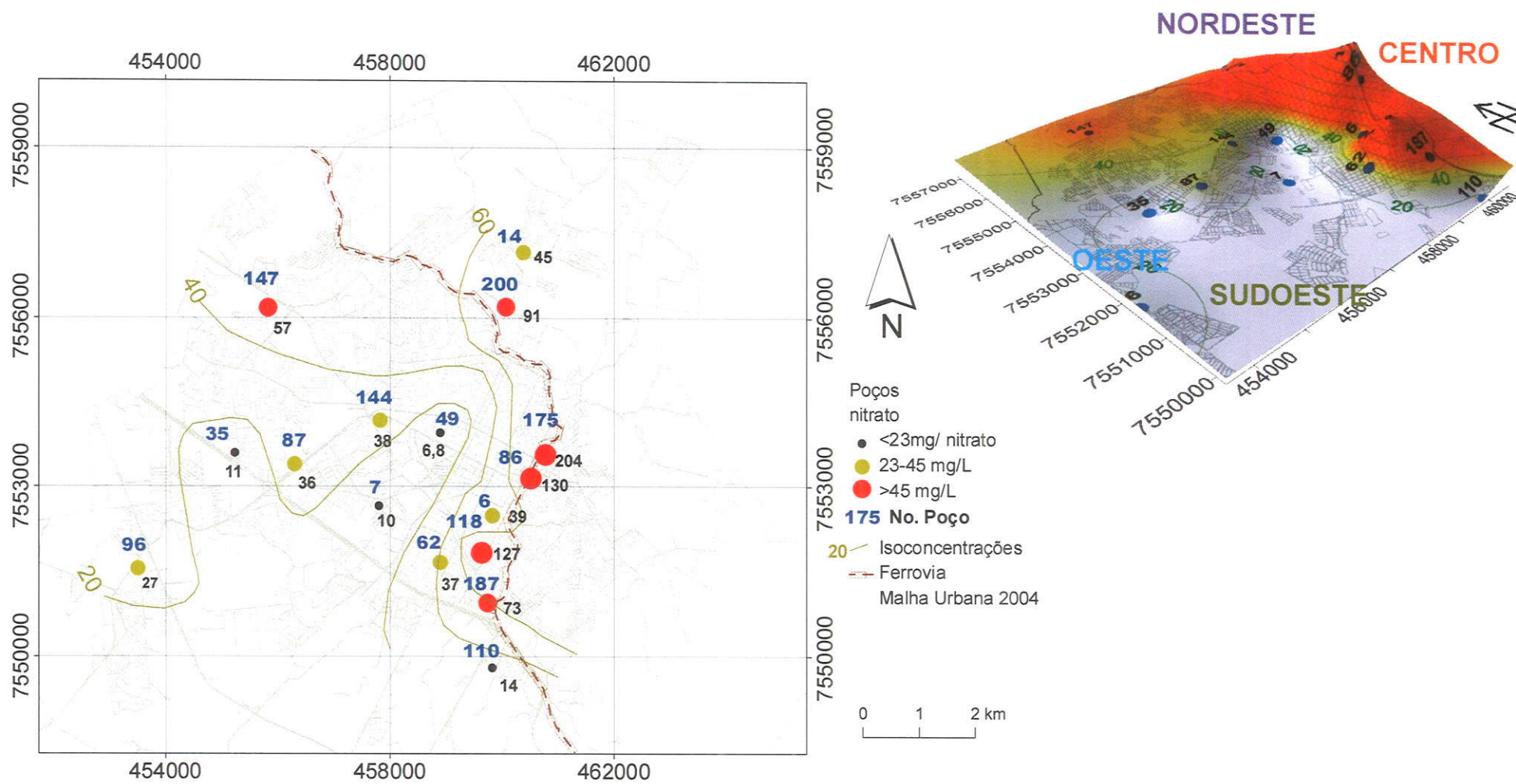


Figura 6.8 Mapa de isoconcentração de nitrato (mg/L) para a primeira campanha de amostragem (estação úmida).

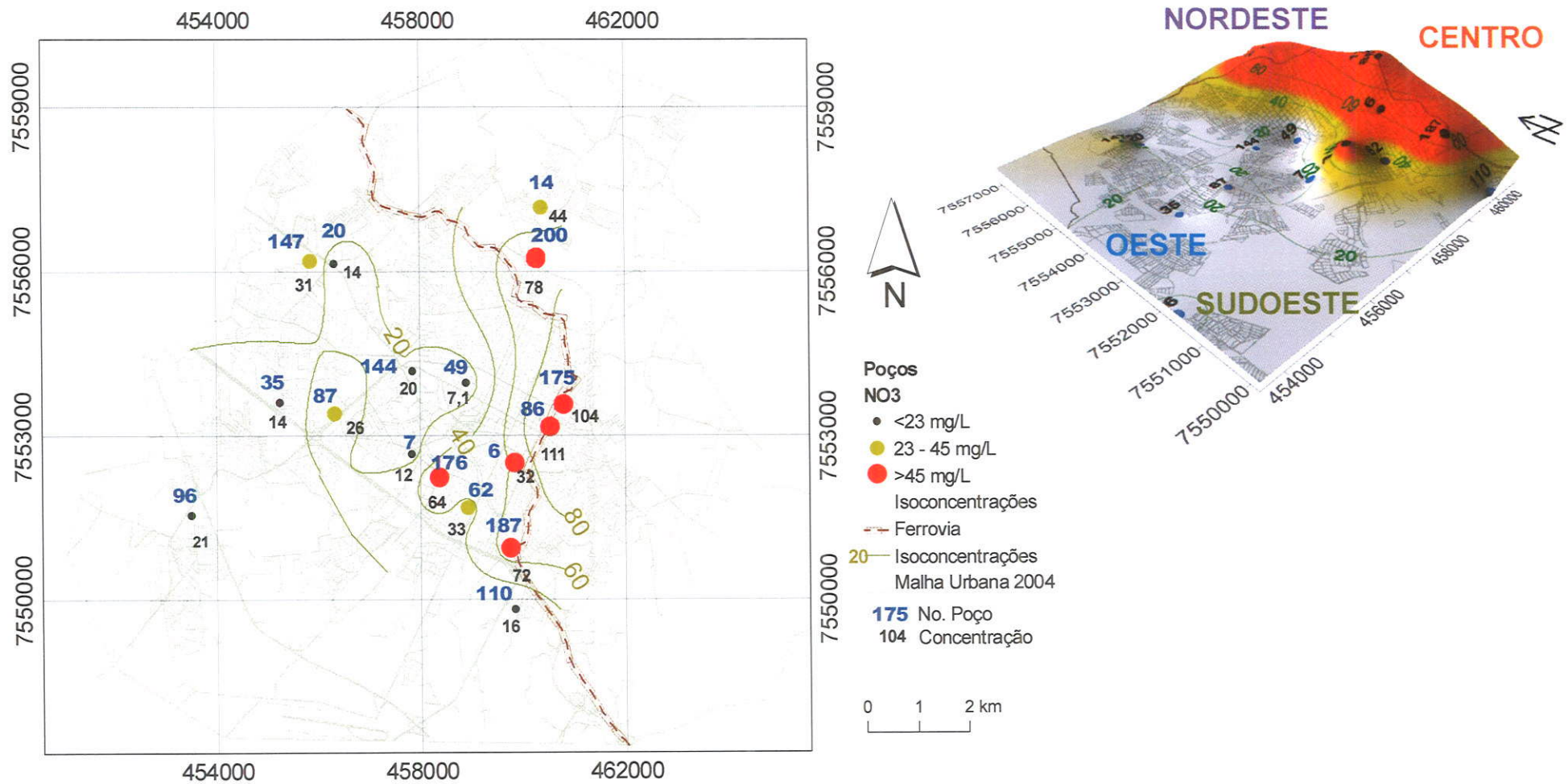


Figura 6.9 Mapa de isoconcentração de nitrato (mg/L) para a segunda campanha de amostragem (estação seca).

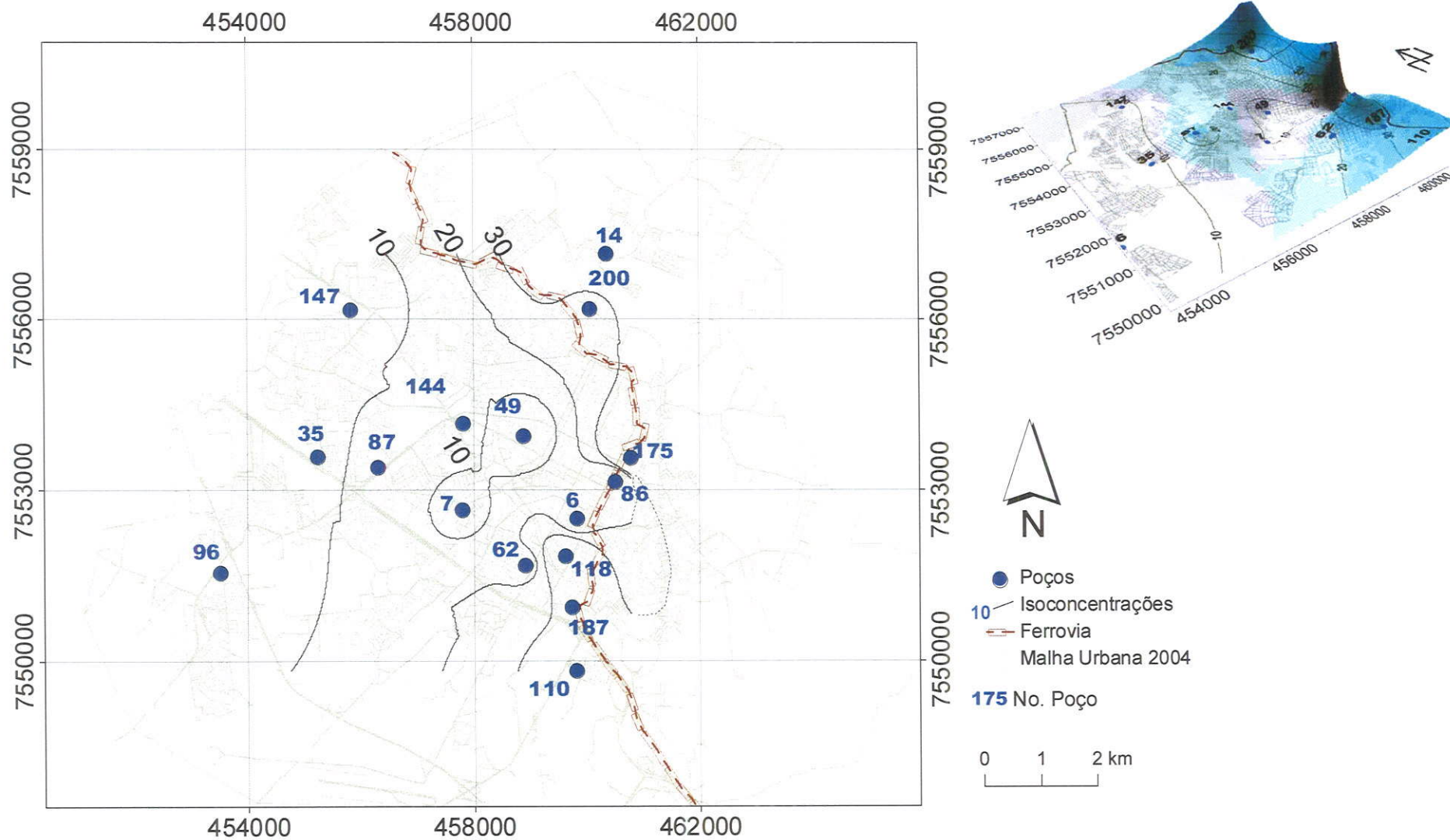


Figura 6.10 Mapa de isoconcentração de cloreto (mg/L) para a primeira campanha de amostragem (estação úmida)

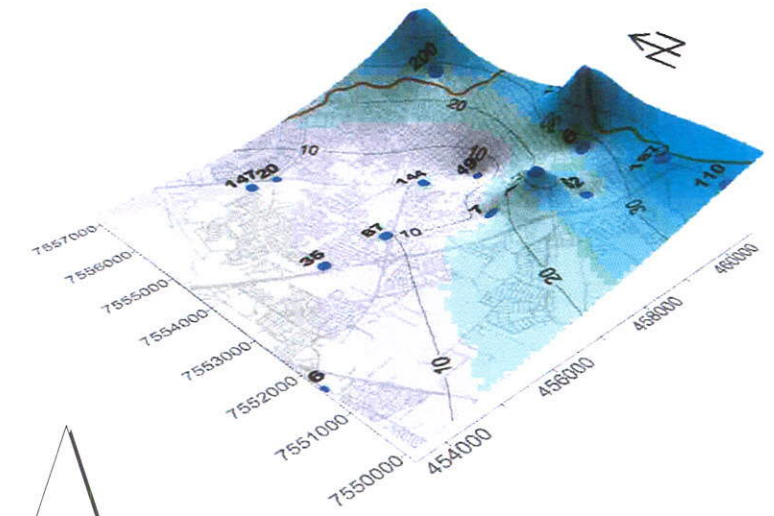
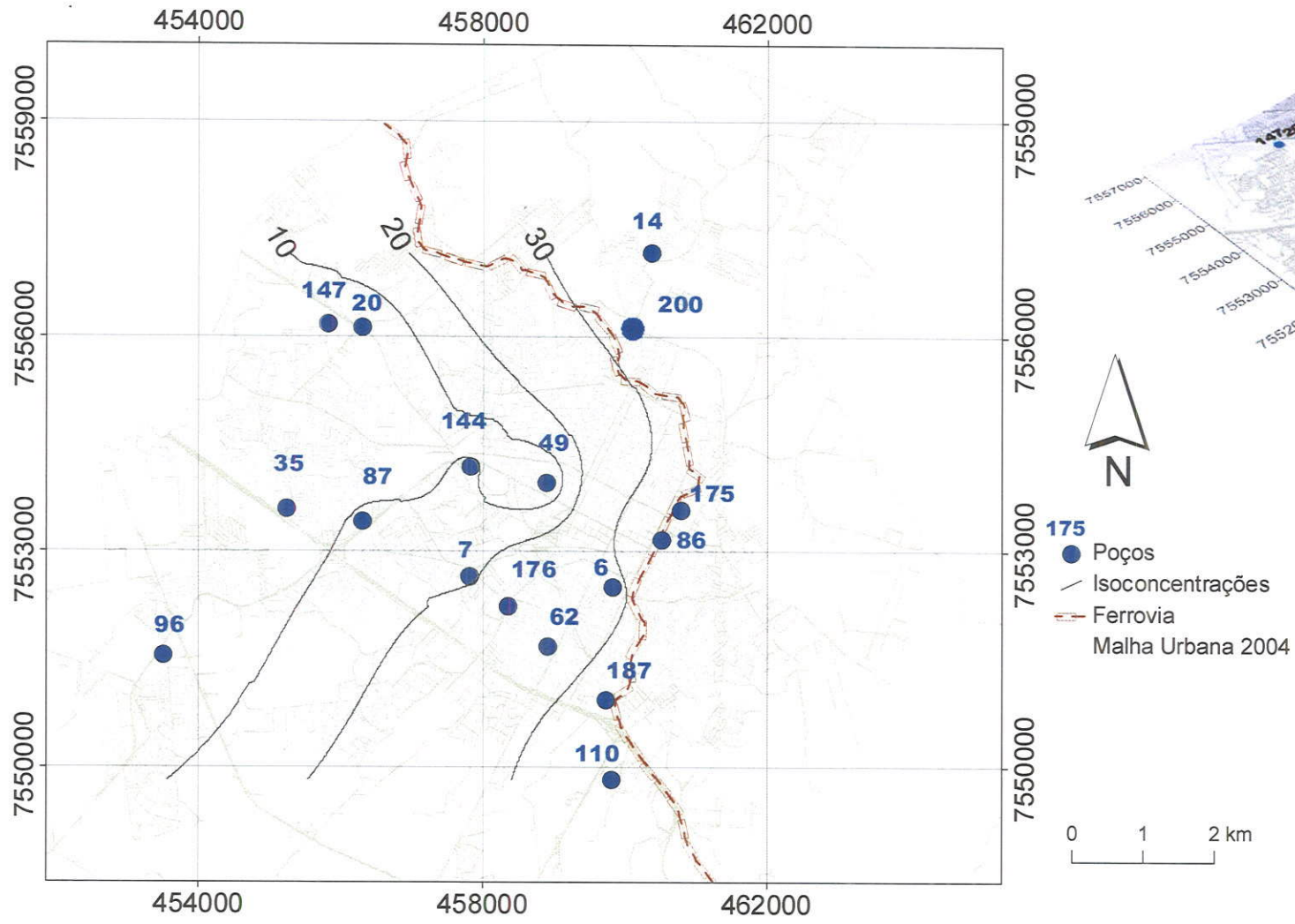


Figura 6.11 Mapa de isoconcentração de cloreto (mg/L) para a segunda campanha de amostragem (estação seca)

6.3.3. Evoluções temporais e espaciais das concentrações de nitrato

6.3.3.1. Concentrações de nitrato pretéritas

A evolução temporal do nitrato, a longo prazo, nas quatro zonas definidas na item 5.6 (nordeste, centro, sudoeste e oeste) se baseou em dados de análises químicas pré-existentes, entre 2005 a 2009, na zona urbana de Presidente Prudente (tabela 6.10).

Tabela 6.10 Resumo dos números de poços e análises antigas para os anos de 2005 a 2009.

Zonas	Número de poços	Total poços por zona	Nº Análises	Poços mas uma análise	Nº poços com relação à profundidade	Ano análise	Média zona
Nordeste	7 (39,57,78,112,136,149,108)	8	8	0	7<150m; 1 igual a 150m	2006	13,75
	1 (52)					2008	12,24
Central	3 (65,80,188)	21	29	6	18<150m; 2 iguais a 150m; 1>150m	2005	54,8
	3 (71,171,142)					2006	54,90
	10 (6,15,50,86,93,129,138,175,177,187)					2007	68,73
	5 (10,86,118,130,196)					2008	70,48
	7 (6,80,86,110,118,171,187)					2009	79,69
Oeste	6 (26,28,29,30,119,101)	23	39	4	17<150m; 1 igual a 150m; 5>150m	2005	8,27
	2 (134,144)					2006	12,55
	11 (9,15,20,90,91,117,119,124,139,147,198)					2007	14,53
	5 (20,76,131,145,151)					2008	8,47
	4 (35,119,144,147)					2009	30,49
Sudeste	2 (12,13)	8	19	3	5<150m; 1 igual a 150m; 2>150m	2005	12,55
	4 (12,13,69,105)					2006	12,54
	5 (12,16,75,79,81)					2007	18,05
	2 (13,137)					2008	15,47
	1 (12)					2009	32,00

Os dados apresentados na tabela 6.10 mostram que 24% das captações apresentam valores acima dos limites de potabilidade. Em 21% dos poços, os valores de nitrato ultrapassam os valores de alerta ($>23\text{mg/L}$ de NO_3^- , CETESB, 1994) refletindo condições sanitárias inadequadas nas águas subterrâneas.

Adicionalmente, se observou uma tendência de aumento nas concentrações deste ânion para o período reportado (figuras 6.12 e 6.13). Os maiores valores encontram-se na região central da cidade (zona central). Neste local, as médias anuais variam de 55 a 80 mg/L de NO_3^- , tanto nos poços rasos como nos profundos (figuras 6.12 e 6.13). Em outras zonas, contudo, o aumento das concentrações é cinco vezes menor (figura 6.13).

Dos 22 poços localizados no centro, 55% estão contaminados e 27%, com concentrações superiores ao valor de alerta. Desta forma, pode-se dizer que quase toda a zona central está impactada por nitrato. A contaminação atribui-se, provavelmente, à presença de antigas fossas sépticas ou negras bem como ao vazamento das tubulações antigas de esgoto, já que essa zona abrange os bairros mais antigos da cidade.

Nas demais zonas da cidade (nordeste, sudeste e oeste), para o mesmo período, foram detectadas concentrações intermediárias e baixas (figura 6.13). As concentrações intermediárias, maiores que 23 mg/L de NO_3^- , foram encontradas nos poços rasos localizados em bairros relativamente novos (p.e. Damha I e II, Bosque, Parque Brasil Novo, criados a partir da década dos 90), onde as redes de esgoto não foram totalmente implantadas (figura 6.14).

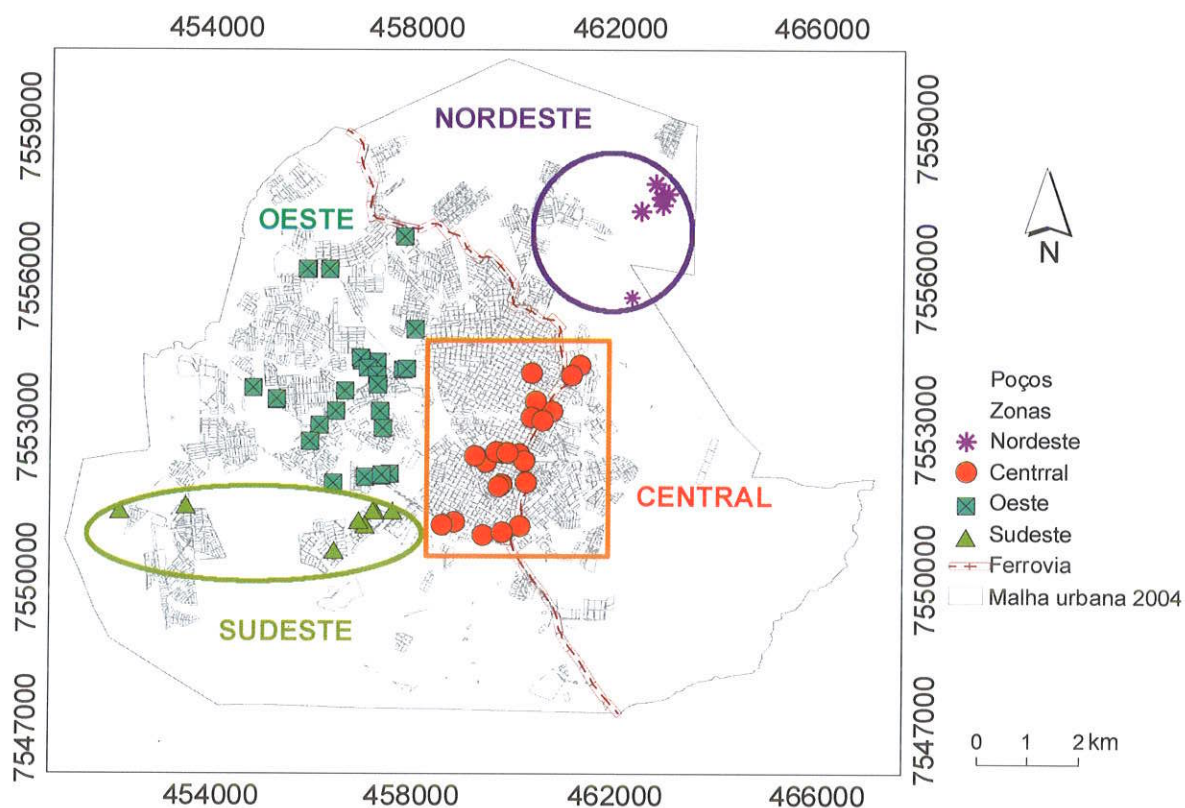


Figura 6.12 Localização das zonas urbanas e dos poços com análises pré-existentis (2005-2009).

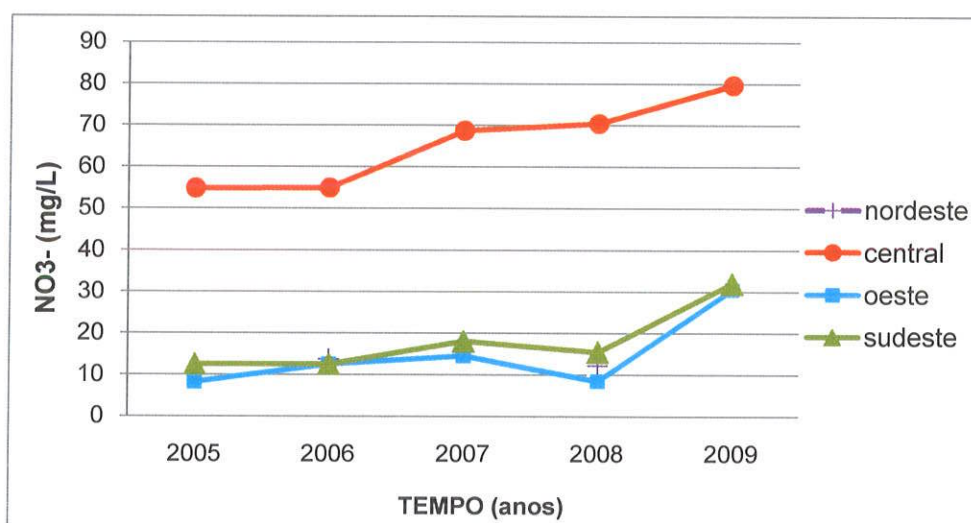


Figura 6.13 Variação temporal nas concentrações de nitrato ao longo do tempo (2005-2009).

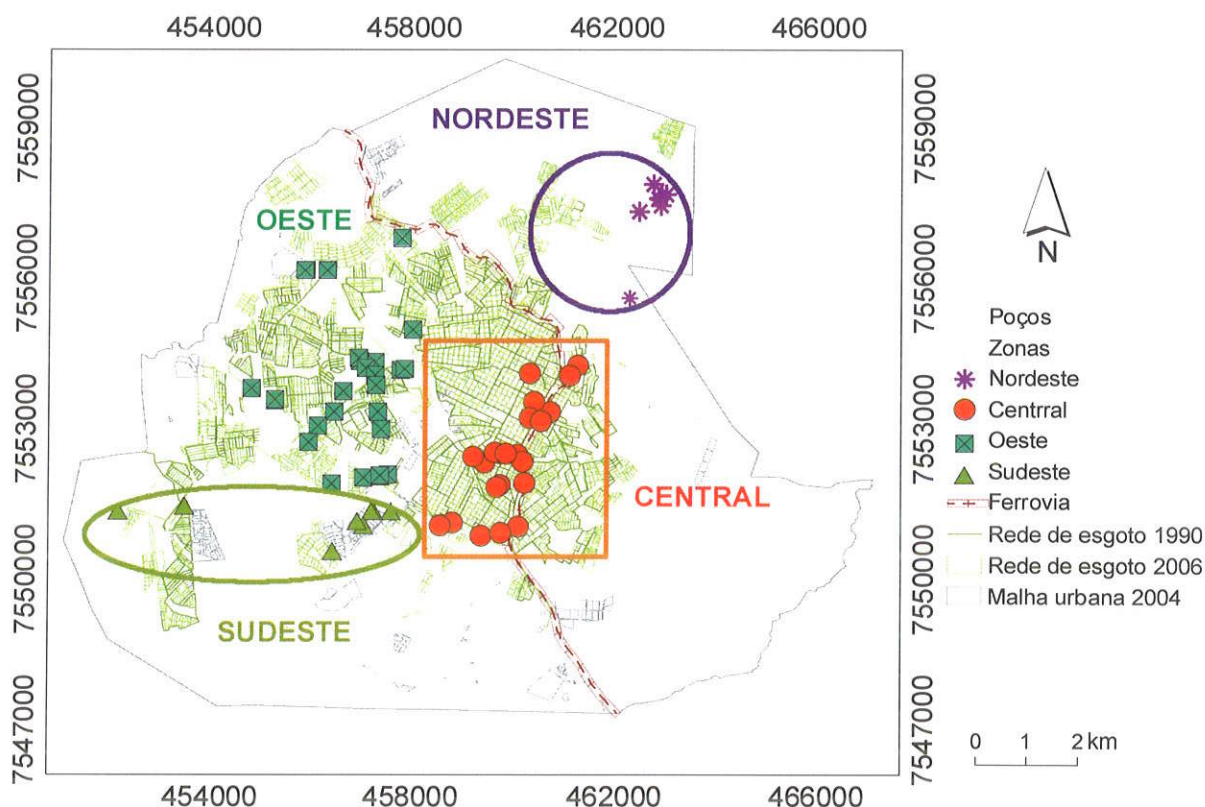


Figura 6.14 Localização das zonas urbanas, redes de esgoto e poços com análises pretéritas na área urbana de Presidente Prudente.

6.3.3.2. Concentrações de nitrato a partir das campanhas recentes

As análises químicas das duas campanhas de amostragem (dezembro 2009 e junho-julho 2010) indicaram variações nas concentrações de nitrato durante as estações úmida e seca (figura 6.15). Em relação à distribuição das mesmas por zonas, notou-se que, dos 22 poços amostrados, 45% (10 poços) localizam-se na zona central da cidade, com concentrações de nitrato entre 6,80 e 204,00 mg/L NO_3^- (estação úmida) e 7,10 a 111,00 mg/L NO_3^- (estação seca).

Da mesma forma, identificou-se menores concentrações de nitrato nas quatro zonas da área urbana durante a estação seca (figura 6.16). A zona central destaca-se por apresentar as maiores concentrações, com média de 71,76 mg/L NO_3^- (estação úmida) e 52,01 mg/L NO_3^- (estação seca). A zona nordeste mostrou valores médios de 47,93 mg/L a 41,57 mg/L para a primeira e segunda campanha, respectivamente. Salienta-se, contudo, que muito poucos dados foram considerados

nesta zona (três poços) (anexo VII). Em outras zonas, os valores médios de nitrato foram de 17,42 a 25,44 mg/L NO_3^- na zona oeste e de 22,00 a 29,50 mg/L na zona sudeste (figura 6.16).

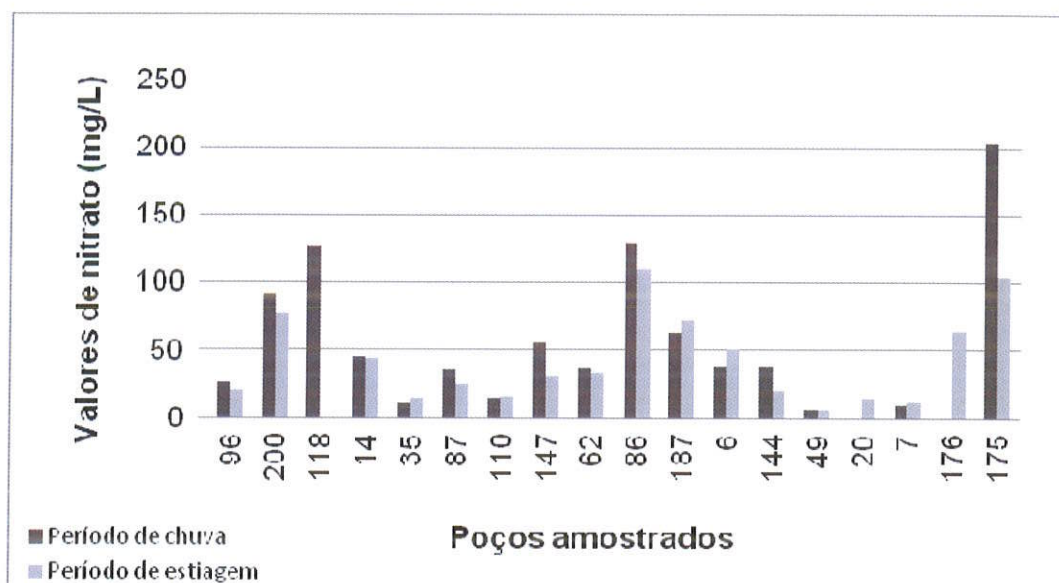


Figura 6.15 Variações do nitrato nas duas campanhas de amostragem

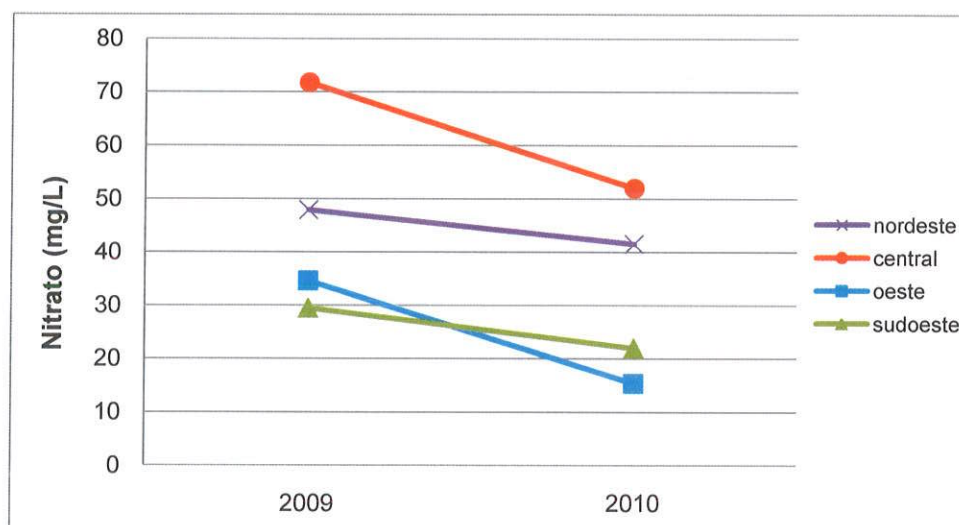


Figura 6.16 Variação temporal de nitrato nos poços rasos durante as estações úmida e seca.

As maiores concentrações de nitrato foram encontradas em poços rasos, cujos filtros são mais superficiais (figura 6.17). Nos poços profundos, menores

concentrações de nitrato são observadas, comparativamente à média dos rasos (tabela 6.11).

As diminuições de uma estação para outra podem ser explicadas pela recarga do aquífero com águas não contaminadas e assim diluição da pluma contaminante. Outra variação não analisada neste estudo é que as estações úmida e seca alteram o regime de exploração dos poços e maiores diluições, ocasionadas pelos maiores regimes de bombeamento.

Tabela 6.11 Estatística dos valores de nitrato, condutividade elétrica e cloreto analisado em laboratório para as amostras dos poços rasos (dezembro 2009 e junho-julho 2010).

Poços < 150 m		Estação úmida 1 ^{ra} campanha (dez, 2009)			Estação seca 2 ^{da} campanha (julho, 2010)		
Poços	Prof. (m)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)
96	60	27	110.5	3.8	21	101.1	3.3
200	68	91	280	24	78	300	26
118	70	127	451.0	49.0	NR	NR	21.0
14	78	45	381	65	44	348	50
35	100	11	255	4.6	14	281	14
87	100	36	361	25	26	359	26
110	100	14	750	37	16	701	39
62	100	37	291.3	18.0	33.0	198.3	20.0
86	100	130	577.0	0.02	111.0	584.0	57.0
147	102	57	167.8	8	31	149.1	31
187	108	63	352.0	30.0	72.0	368.0	41.0
6	110	39	314.0	14.0	51.0	417.0	20.3
144	116.5	38	291	17	20	260	20
175	120	204	488.0	62.0	104.0	496.0	37.0
20	120	NR	NR	NR	14.0	144.2	4.7
7	124	10	304	9.5	12	288	12
49	132	6.8	205.0	3.0	7.1	184.4	2.5
176	132	NR	NR	NR	64.0	332.0	NR
Mín.	60	6.8	110.5	0.02	7.1	101.1	2.5
Máx.	132	204	750	65	111	701	57
Média		58.49	348.66	23.12	42.24	324.18	24.99
D.P		54.32	158.68	20.65	32.71	159.58	15.91
C.V		0.93	0.46	0.89	0.77	0.49	0.64

Mín.- valor mínimo; Máx.-Valor máximo; D.P- Desvio Padrão; NR: valor não reportado

Tabela 6.12 Estatística dos valores de nitrato, condutividade elétrica e cloreto analisados em laboratório para as amostras dos poços profundos (dezembro 2009 e junho-julho 2010).

Poços > 150 m	Estação úmida 1 ^{ra} campanha (dez, 2009).			Estação seca 2 ^{da} campanha (julho, 2010)			
	Poços	Prof. (m)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)
12	200	32	151.5	7.4	23	218	3.4
146	250	25	402.0	46.0	10.0	370.0	21.0
153	217.5	7.8	254	4.4	2.7	222	1.5
157	241	0.55	331	1.4	NR	NR	NR
159	272	0.65	328	1.4	1.5	369	1.5
Mín.	200	0,55	151,5	1,4	1,5	218	1,5
Máx.	272	32	402	46	23	370	21
Média		13,20	293,30	12,12	9,30	294,75	6,85
D.P		14,49	94,99	19,10	9,88	86,33	9,48
C.V		1,10	0,32	1,58	1,06	0,29	1,38

Mín.- valor mínimo; Máx.-Valor máximo; D.P- Desvio Padrão; NR: valor não reportado

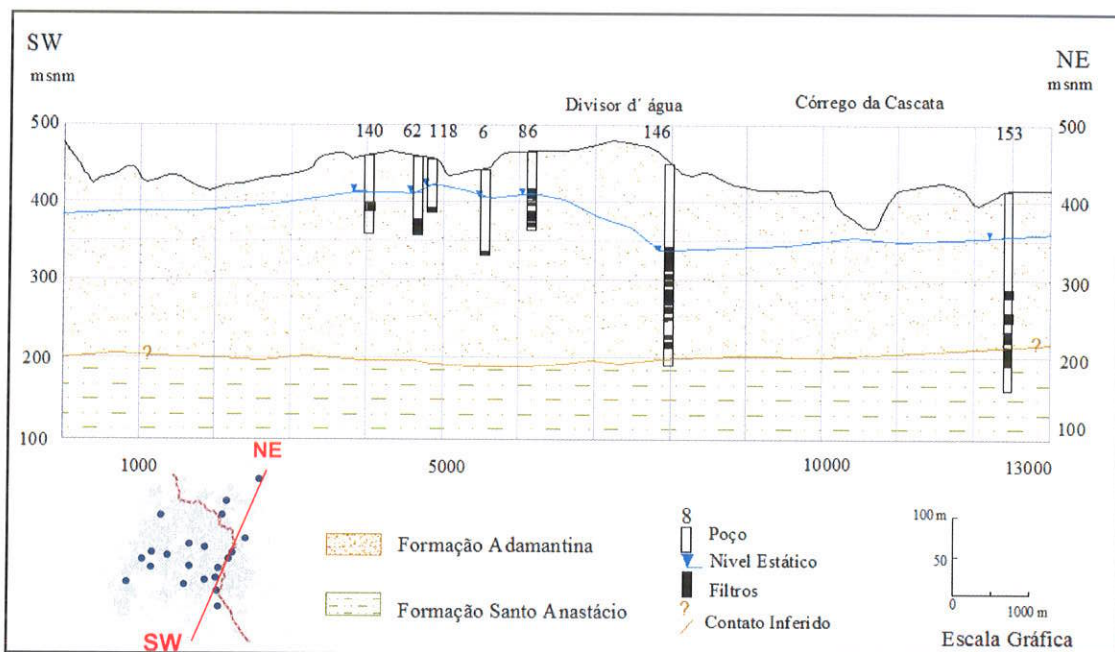


Figura 6.17 Seção dos poços e posicionamento dos filtros.

De acordo as características hidroquímicas evidenciadas neste estudo, faz-se um resumo dos ambientes, tipos de água, íons predominantes e possíveis processos que ocorrem em diferentes profundidades do aquífero (tabela 6.13)

Tabela 6.13 Resumo das principais características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas do SAB em Presidente Prudente.

	Águas rasas (<150 m)	Águas profundas (>150 m)
	Águas ácidas e meio oxidante	Águas alcalinas e meio oxidante
Ambiente		
Tipo de água	cloro-nitratada a bicarbonatada cálcica	bicarbonatada sódica
Cátions	$\uparrow\text{Ca}^{2+}$; $\uparrow\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ \text{ e } \text{K}^+$	$\uparrow\text{Na}^+$ $\downarrow\text{Ca}^{2+}$; $\downarrow\text{Mg}^{2+}$
Ânions	$\text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- \text{ e } \text{Cl}^-$	$\uparrow\text{HCO}_3^-$ $\downarrow\text{NO}_3^-$; $\downarrow\text{Cl}^-$
Possíveis processos	Concentrações de NO_3^- , Na^+ , Cl^- atribuídos à contaminação antrópica (fossas, fuga da rede de esgoto).	Baixa concentração de contaminantes (dispersão e diluição). Possíveis reações de troca catiônica (diminuição de Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumento do Na^+). Dissolução de minerais carbonáticos, aumento do pH.

6.4. Estimativa da carga potencial de nitrato

6.4.1 Fontes potenciais de contaminação

As principais fontes de contaminação de nitrato nas águas subterrâneas na área urbana de Presidente Prudente estão relacionadas à eliminação das águas residuais através de sistemas de saneamento *in situ* bem como às fugas ou vazamentos das redes de esgotos.

Fazendo-se uma retrospectiva da ocupação urbana em Presidente Prudente pode-se dizer que a cidade nasceu em meados da década de 1930, com os bairros Centro e Vila Marcondes (figura 6.18). A cidade tinha na época 87.400 habitantes (SEADE, 2010), com uma malha urbana de 0,92 km². O abastecimento de água era feito pelas fontes superficiais e o sistema de saneamento era constituído pelas fossas sépticas e negras.

Nas décadas posteriores (1950, 1960 e 1970), teve a expansão da cidade para as zonas norte, sul, oeste e leste da ferrovia, considerada como o mais alto ponto topográfico da cidade (Camargo, 2007). Os principais bairros da época eram: Centro, Vila Marcondes, Vila Industrial e Parque Jabaquara (figura 6.18).

O auge da urbanização ocorreu nos anos 80 (taxa de urbanização de 94,74%), com uma população de 129.260 habitantes (SEADE, 2010). Nesta década foi implantada a rede de esgoto que não atendia 100% da cidade (figura 6.19).

Nos anos 90, o surgimento das áreas residenciais (Parque Residencial Damha I e II, Parque Brasil Novo, Conjunto Ana Jacinta, Bosque) fez com que 87% do uso do solo fosse destinado a esse fim (Amorim, 2009). A população neste período, já era de 156.900 habitantes (SEADE, 2010). Ainda nesta década, a concessionária de água, SABESP, necessitando de mais água iniciou a perfuração de poços com 11 deles incorporados à rede pública.

A partir dos anos 2000, 100% da população já era atendida pelas redes de água potável e 97% pela rede coletora de esgoto (SABESP, 2010). Entanto, há bairros onde o sistema de esgoto ainda não chegou tais como: Parque Residencial Damha II, Conjunto Ana Jacinta, Distrito Industrial, Bosque (figura 6.20).

Segundo SABESP (comunicação verbal), aproximadamente 82% do esgoto coletado recebe tratamento. O restante, 18%, é despejado *in natura* nos principais córregos da cidade. Este fato ocorre sobretudo na zona leste, onde se localizam o Córrego do Gramado e o Rio Mandaguari, afluente do Rio do Peixe (figura 6.20).

Adicionalmente, a rede de esgoto atual pode apresentar vazamentos, o que contribui com a contaminação do SAB. A má manutenção associada à idade da rede, principalmente em áreas mais antigas, pode ser uma fonte importante de nitrogênio no Aquífero Adamantina.

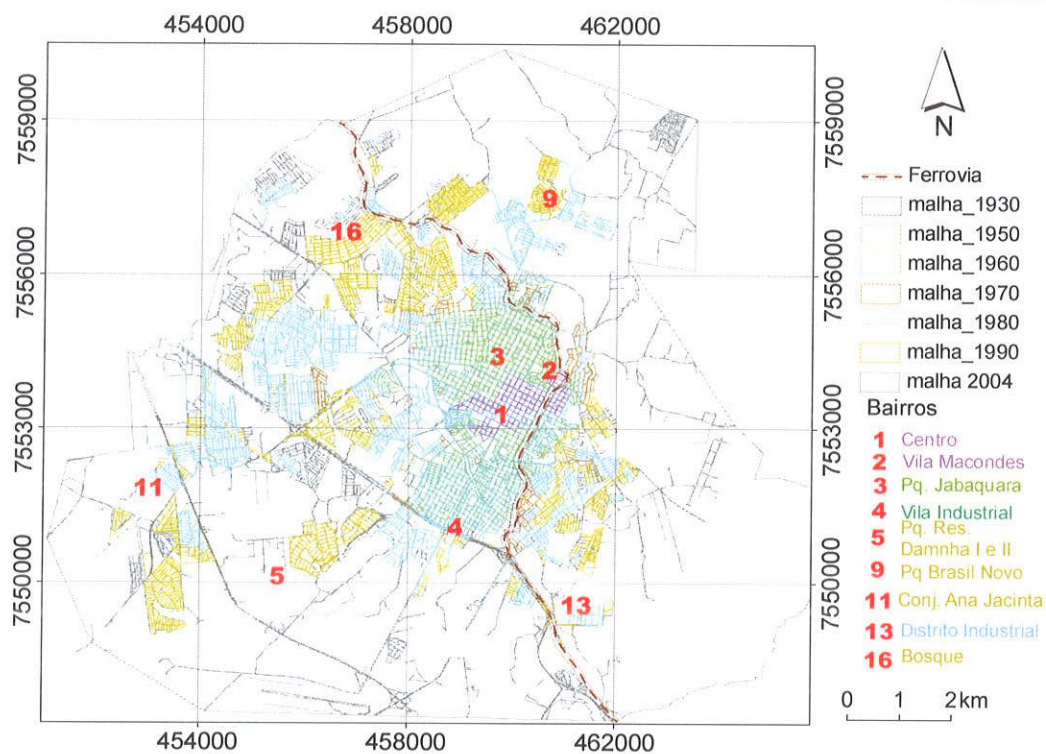


Figura 6.18 Evolução da malha urbana do município de Presidente Prudente (adaptado de Camargo, 2007).

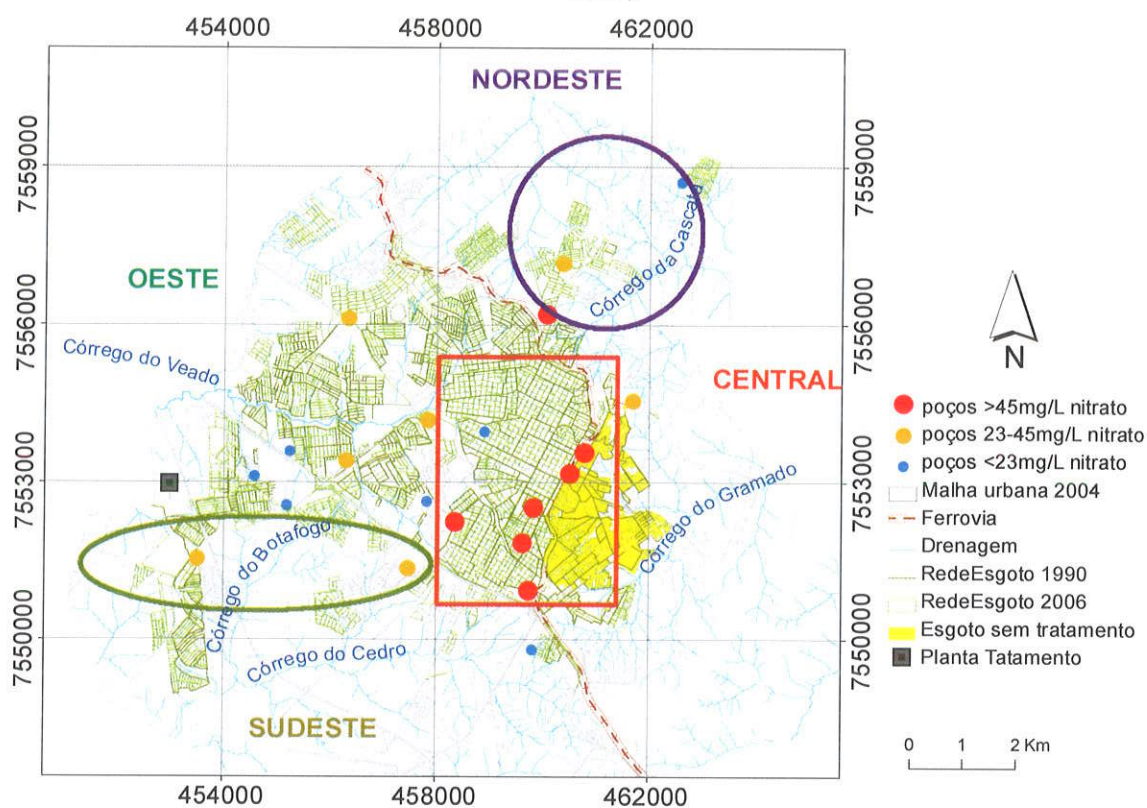


Figura 6.19 Evolução da rede de esgoto no município de Presidente Prudente (adaptado de SABESP, 1990 e 2006).

6.4.2. Cálculo semiquantitativo da concentração de nitrato

Com base na densidade de ocupação urbana, localização e profundidade dos poços, a malha urbana de Presidente Prudente foi dividida em três grupos para o cálculo da concentração de nitrato, através da equação semi quantitativa proposta por Foster & Hirata (1988). Os grupos considerados foram os seguintes:

- a) poços localizados em zonas predominantemente adensadas, com maior quantidade de residências e poucos espaços livres (160 hab/ha);
- b) poços localizados em áreas urbanas de média densidade (84hab/ha) com maior ocorrência de espaços livres, em relação ao item anterior;
- c) poços localizados em bairros mais novos que ainda estão em processo de ocupação (média 20 hab/ha).

Para as duas campanhas de amostragem, a concentração média de nitrato obtida nas zonas com maior adensamento urbano (160 hab/ha) foi de 94,6 mg/L de NO_3^- . A concentração média de nitrato para adensamento urbano intermediário (84hab/ha), por sua vez, foi de 37,2 mg/L de NO_3^- . Os valores mais elevados foram observados nos poços 200 e 14 (anexo VIII), onde as concentrações excederam o limite de potabilidade. Os poços localizados em áreas com menor adensamento urbano (20 hab/ha), mostraram concentrações menores de nitrato, com média de 14,9 mg/L de NO_3^- . O valor mais alto foi obtido no poço 12 (23,4 mg/L de NO_3^-), o qual ultrapassa o valor de alerta definido pela CETESB (anexo VIII).

Nas figuras 6.20, 6.21 e 6.22 observa-se que os valores da carga de nitrato, quantificados pela equação proposta por Foster & Hirata (1988), são muito semelhantes àqueles medidos em campo nas duas campanhas de amostragem (dezembro 2009; junho-julho 2010).

A figura 6.22 mostra a existência de correlação positiva entre os valores calculados e os valores medidos. Levando-se em conta as concentrações pretéritas de nitrato nos poços amostrados, observou-se que dos 19 poços, só seis (6, 86, 110, 187, 175, 12) contém análises mais antigas que datam de 2007 (anexo VIII).

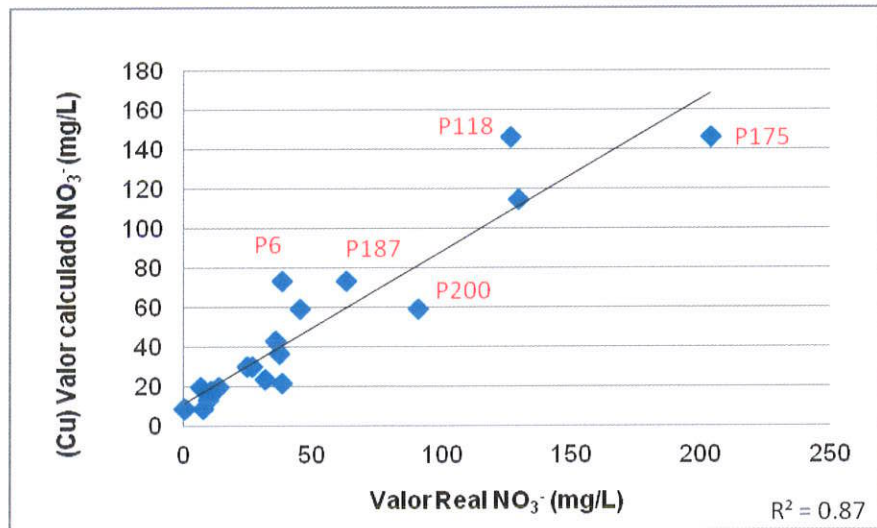


Figura 6.20 Correlação entre as concentrações de nitrato medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu) (dezembro 2009).

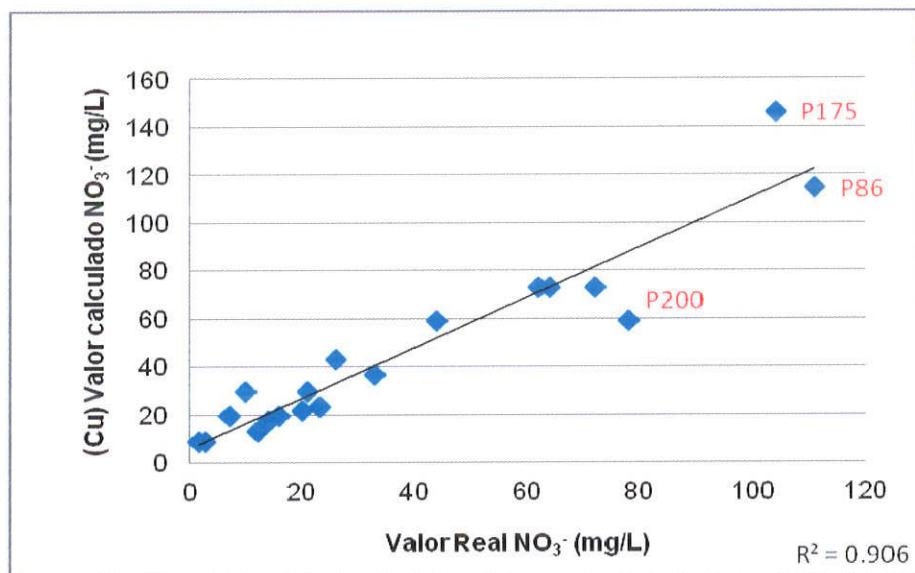


Figura 6.21 Correlação entre as concentrações medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu) (junho-julho 2010).

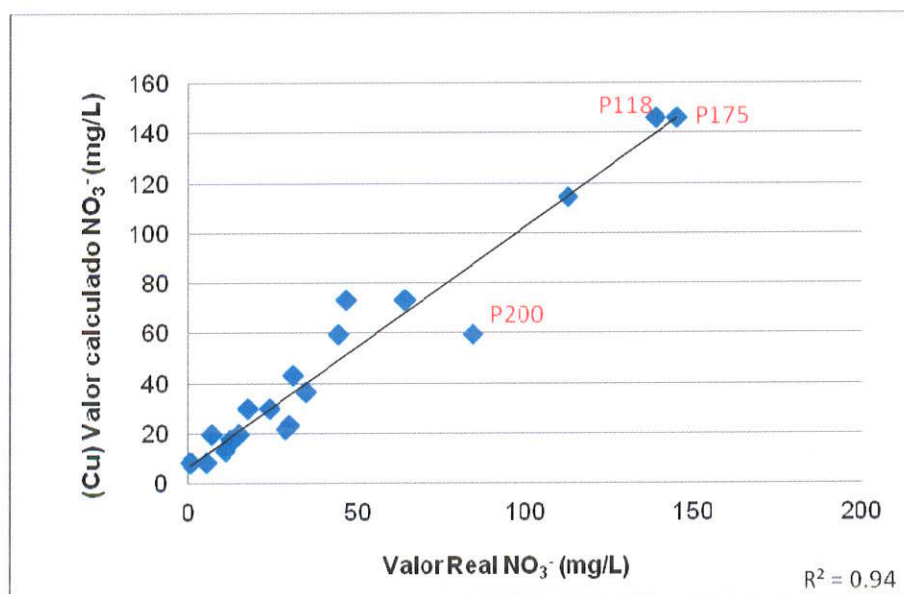


Figura 6.22 Correlação entre as concentrações de nitrato medidas em campo e as calculadas semiquantitativamente (Cu), para as análises pretéritas (2007).

As figuras 6.23a a 6.23e mostram as relações entre as variáveis de densidade da ocupação, localização e profundidade dos poços (bairros antigos ou novos; poços rasos e profundos), expansão da malha urbana (entre 1920 e 2004) e em relação à concentração de nitrato (alta, média e baixa). As figuras 6.23 a e c apresentam as concentrações de nitrato determinadas nas duas campanhas de amostragem. Entretanto, nas figuras 6.23 b e d consideraram-se as concentrações da carga de nitrato, quantificadas através da equação proposta por Foster & Hirata (1988).

Nessas figuras é visível que na área urbana, os poços com maiores concentrações de nitrato correspondem àqueles situados em áreas de altas densidades populacionais. Estas relações são perceptíveis ao longo da expansão da malha urbana. Este fato é observado em todas as figuras, tanto as que consideraram as concentrações determinadas em campo (figura 6.23a e 6.23c) como nas quantificadas pela equação semi-quantitativa (figura 6.23b, 6.23d) e as reportadas pelas análises pré-existentes (figura 6.23 e).

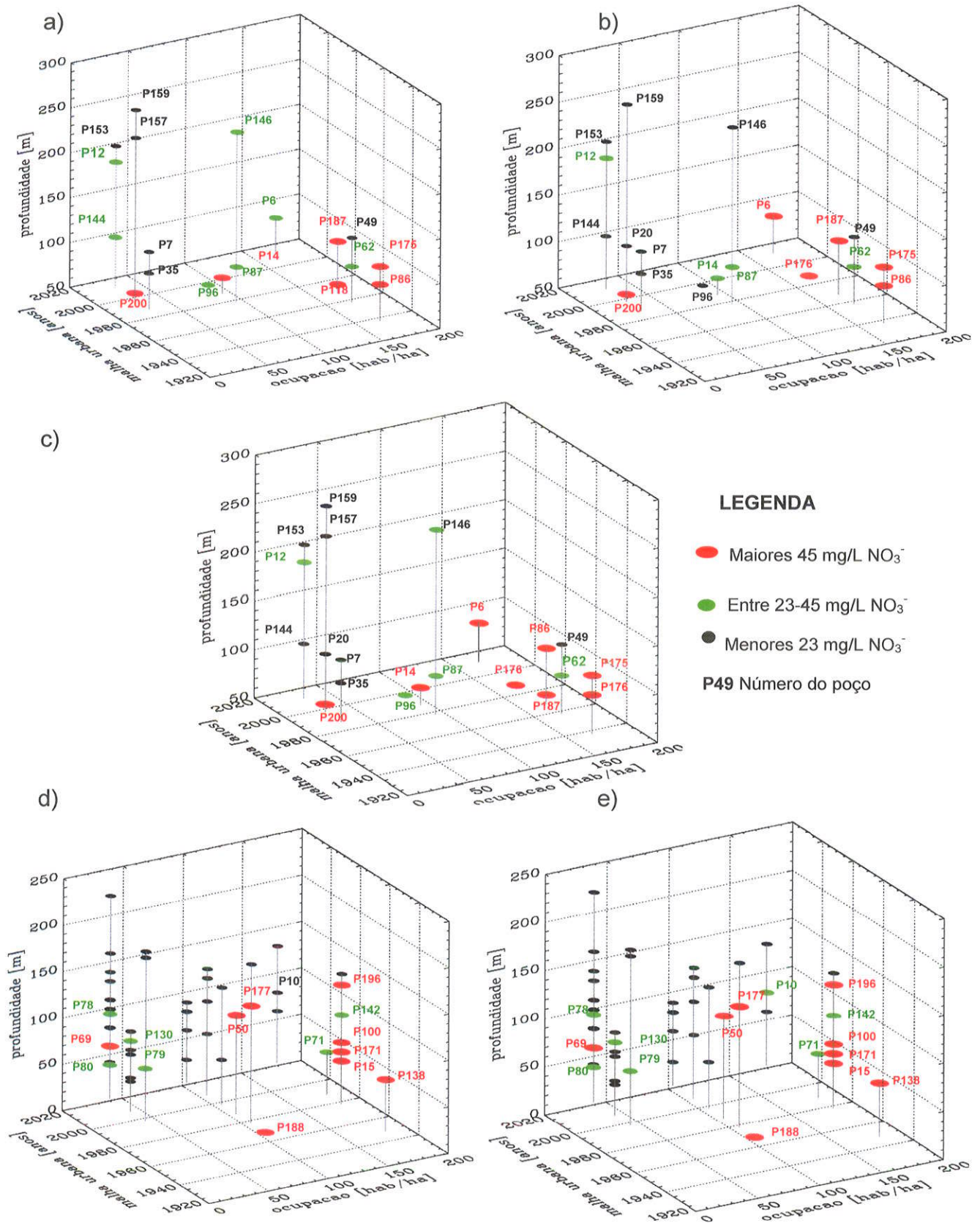


Figura 6.23 Concentrações de nitrato: a) medidas em campo (2009), b) medidas em campo (2010); c) calculadas para as duas campanhas (Cu); d) valor médio das análises preexistentes (2007-2009) e) calculadas para as análises pré-existentes (Cu)

6.4.3 Determinação da zona de captura nos poços

A delimitação da ZOC neste trabalho foi realizada mediante dois métodos: a) raio fixo calculado (RFC), definido através do tempo de trânsito de 50 dias e, b) método de Wyssling (Merino *et al.*, 1991).

As informações necessárias para a aplicação das duas metodologias foram: vazão do poço, nível estático e características médias do aquífero (condutividade hidráulica, velocidade do fluxo, gradiente hidráulico, porosidade efetiva e espessura saturada) (anexo IX).

Dos cadastros dos poços estimou-se que das 198 captações extraem aproximadamente $584 \text{ m}^3/\text{h}$ ($5,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) de água, com valores mínimos e máximos de $0,62 \text{ m}^3/\text{h}$ e $26 \text{ m}^3/\text{h}$, respectivamente. Em geral, os valores mínimos de vazão correspondem aos poços rasos, enquanto que os máximos pertencem aos poços de maior profundidade (figura 6.24; tabela 6.12).

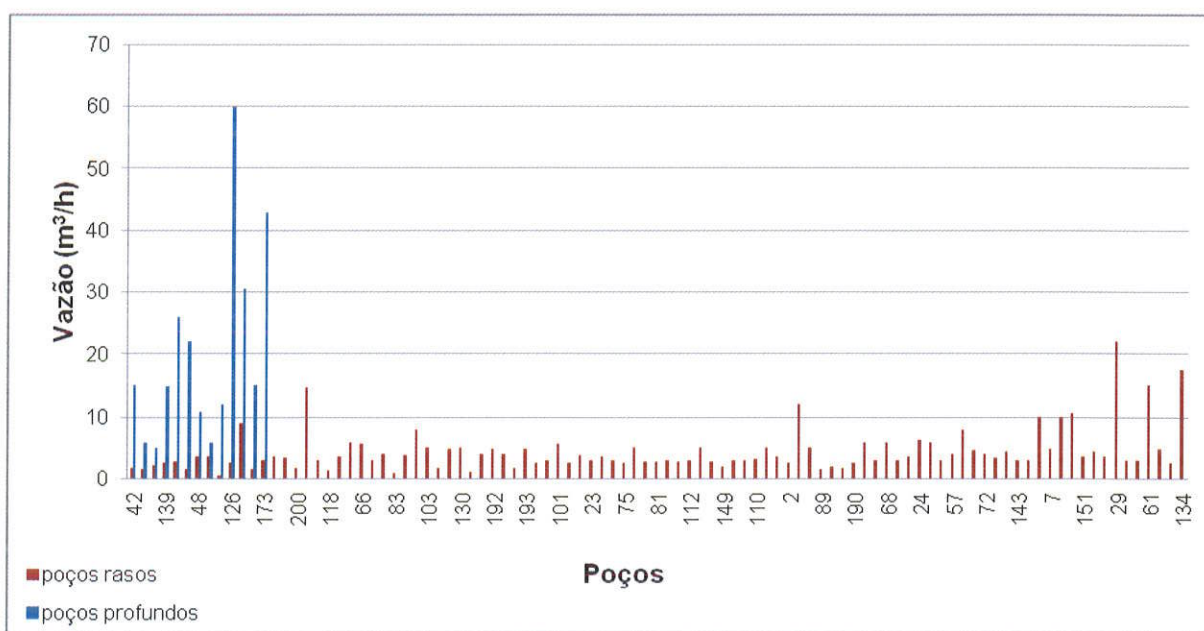


Figura 6.24 Vazões dos poços rasos e profundos na área urbana de Presidente Prudente.

Tabela 6.14 Estatística básica e comparação dos raios fixos calculados para os poços cadastrados na área urbana de Presidente Prudente.

Parâmetros hidrogeológicos						Método RFC	Método Wissling	
Poços rasos	Q (m ³ /h)	b (m)	n _{ef}	k (m/h)	i	r (m)	So(m)	Su(m)
Mín.	0,62	14,58	0,15	0,70	0,02	5,81	8,78	4,35
Máx.	36,60	108,00	0,15	0,70	0,02	37,87	41,69	37,26
Média	4,79	60,00	0,15	0,70	0,02	13,60	16,48	12,04
D.P	5,08	21,51				4,83	5,26	5,26
Poços profundos	Q (m ³ /h)	b (m)	n _{ef}	k (m/h)	i	r (m)	So(m)	Su(m)
Mín.	5	82	0,15	0,70	0,02	10,88	13,55	9,11
Máx.	26	130	0,15	0,70	0,02	22,92	21,89	17,45
Média	14,23	110,48	0,15	0,70	0,02	17,55	17,49	13,06
D.P	7,79	20,23				4,82	3,02	3,02

Tabela 6.15 Comparação entre os raios fixos calculados para os poços amostrados na área urbana de Presidente Prudente.

Parâmetros hidrogeológicos							Método RFC	Método Wissling	
Poço	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	b(m)	n _{ef}	k (m/h)	i	r	So(m)	Su(m)
96	60	3,6	25	0,15	0,7	0,02	19,15	14,08	9,65
200	68	1,8	42	0,15	0,7	0,02	10,45	16,73	12,30
118	70	1,44	36	0,15	0,7	0,02	10,09	18,33	13,89
14	78	6	49	0,15	0,7	0,02	17,66	17,79	13,36
35	100	2,93	77	0,15	0,7	0,02	9,84	13,55	9,11
87	100	3	72	0,15	0,7	0,02	10,30	21,89	17,45
110	100	3,2	80	0,15	0,7	0,02	10,09	20,78	16,34
147	102	12	42	0,15	0,7	0,02	26,97	10,73	6,30
62	100	5	56	0,15	0,7	0,02	15,08	17,24	12,80
86	100	3,6	45	0,15	0,7	0,02	14,27	22,94	18,50
6	110	6	74	0,15	0,7	0,02	14,37	13,55	9,11
144	116.5	3	51	0,15	0,7	0,02	12,24	18,33	13,89
49	132	4,5	70	0,15	0,7	0,02	12,79	16,02	11,59
20	120	3	60	0,15	0,7	0,02	11,28	30,04	25,61
7	124	4,9	96	0,15	0,7	0,02	11,40	17,16	12,72
176	132	3,6	97	0,15	0,7	0,02	9,72	14,77	10,34
175	120	10	90	0,15	0,7	0,02	10,30	14,77	10,34
Mín.	60	1,44	25				9,72	10,73	6,30
Máx.	132	12,00	97				26,97	30,04	25,61
Média	101	4,56	62				13,30	17,57	13,14
D.P	22,39	2,75	22				4,51	4,51	4,51

So (m): distância a montante; Su (m): distância a jusante. Distâncias correspondentes a um tempo de trânsito t

Tabela 6.16 Comparação entre os raios fixos calculados para os poços profundos amostrados na área urbana de Presidente Prudente.

Poço	Parâmetros hidrogeológicos					Método do RFC	Método Wissling	
	Q (m ³ /h)	b (m)	n _{ef}	k (m/h)	i	r (m)	So(m)	Su(m)
12	6	155	0,15	0,7	0,019	9,93	14,08	9,65
146	15	139	0,15	0,7	0,019	16,58	16,73	12,30
153	11,92	167	0,15	0,7	0,019	13,48	18,33	13,89
157	60	167	0,15	0,7	0,019	30,25	17,79	13,36
159	43	185	0,15	0,7	0,019	24,33	13,55	9,11
158	30,47	181	0,15	0,7	0,019	20,70	21,89	17,45
Mín.	1,44	25				9,72	10,73	6,30
Máx.	12,00	97				26,97	30,04	25,61
Média	4,56	62				13,30	17,57	13,14
D.P	2,75	22				4,51	4,51	4,51

So (m): distância a montante; Su (m): distância a jusante. Distâncias correspondentes a um tempo de trânsito t

Pode-se dizer também que, não existe correlação entre a contaminação por nitrato nos poços e as áreas delimitadas na ZOC. Por exemplo, nos poços 86 e 87 (poços rasos, localizados em diferentes zonas) os raios são muito similares (16,07 e 11,13 m), embora as concentrações de nitrato sejam diferentes (tabela 6.15). O mesmo ocorre com os poços profundos 146 e 153 (tabela 6.16; figura 6.27).

Ao se comparar as ZOC definidas mediante as duas metodologias, foi possível notar que os raios apresentam valores semelhantes porque consideram o mesmo tempo de trânsito de 50 dias (tabela 6.15 e 6.16).

As figuras 6.25 e 6.26 apresentam raios fixos calculados conforme os métodos RFC e Wyssling para um tempo de trânsito de 50 dias. Considerou-se nestes casos, um exagero de 10x no valor do RFC visto que os valores calculados são muito pequenos para se observar nas figuras 6.25 e 6.26.

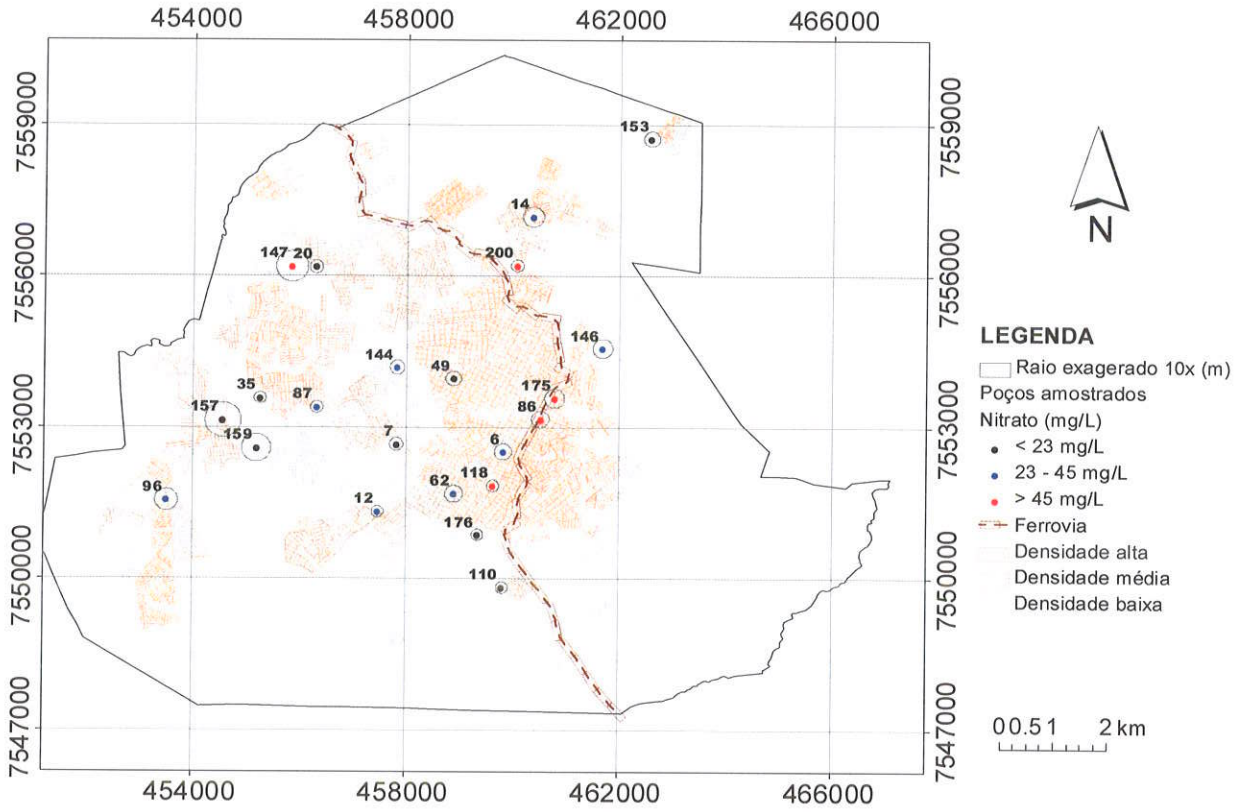


Figura 6.25 Raio fixo calculado para os poços amostrados na área urbana de Presidente Prudente.

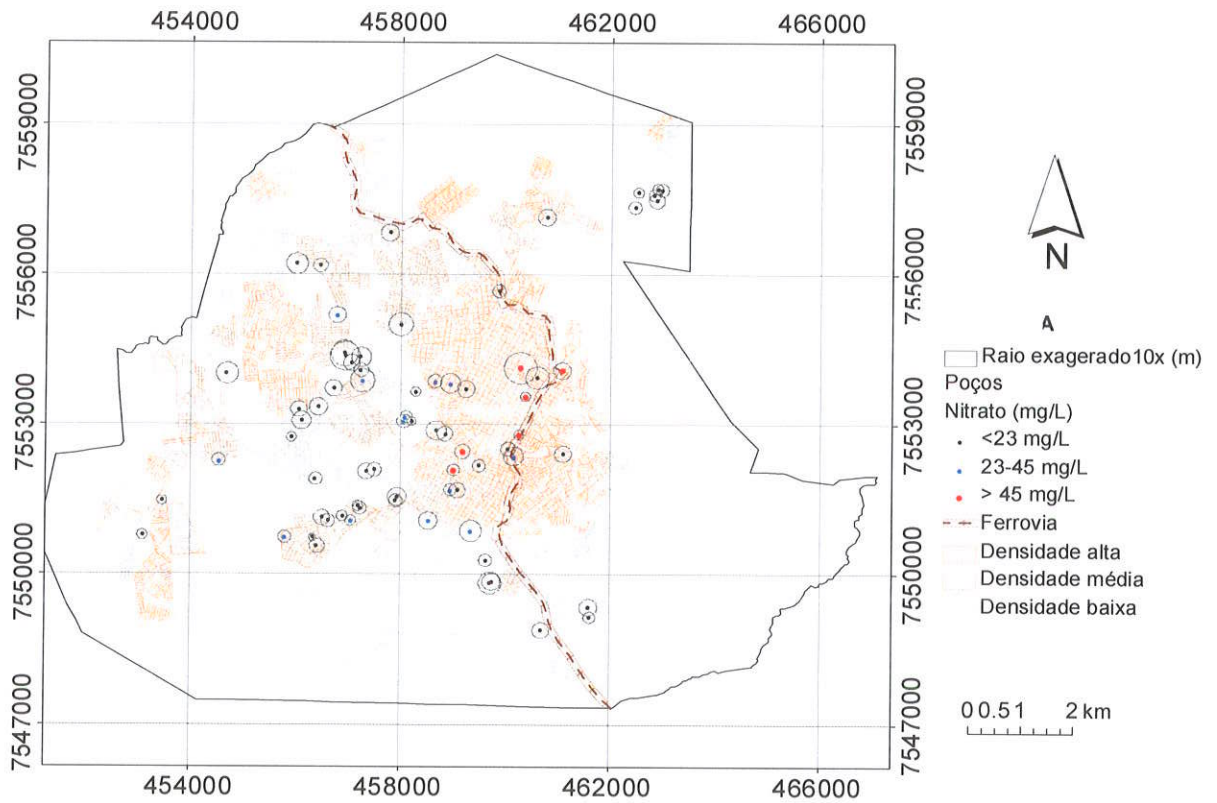


Figura 6.26 Raio fixo calculado para os poços da área urbana de Presidente Prudente.

6.5. Zoneamento das áreas potenciais de contaminação de nitrato

Na área urbana de Presidente Prudente foi possível identificar a ocorrência de três zonas sensíveis à contaminação por nitrato denominadas A, B e C descritas a seguir (figuras 6.27 e 6.28):

(A) *Zonas com problemas de nitrato ou potencialmente contaminadas*: zonas que possuem as malhas urbanas mais antigas (1930-1950), com alta densidade urbana (120 hab/ha) e poços rasos que apresentam altas concentrações de nitrato (> 45 mg/L de NO_3^-). Tais poços localizam-se em bairros antigos como Centro, Vila Marcondes, Vila Industrial que contaram com rede pública de esgoto a partir dos anos 80s;

(B) *Zonas com possíveis problemas de nitrato*: apresentam densidade urbana média (84 hab/ha) e poços com concentrações de nitrato intermediárias, de “alerta” (entre 23 mg/L e 45 mg/L de NO_3^-). Tais poços situam-se em bairros relativamente novos como: Parque Residencial Dahma I e II, Jardim Maracanã, Jardim das Rosas. A rede de esgoto nestes locais existe a partir do ano 2000.

(C) *Zonas sem problemas de nitrato ou não contaminadas*: possuem baixa densidade urbana (20 hab/ha), com presença de poços profundos com concentrações de nitrato baixas (< 23 mg/L de NO_3^-). Os poços localizam-se em bairros novos como Cerqueira César, Parque Brasil Novo, Novo Oeste, Conjunto Ana Jacinta, Vila Nova Prudente, Distrito Industrial, Parque Cervantes 2, Jardim São Luiz e Bosque). Tais locais contam com sistema de saneamento, implementado desde sua criação, a partir do ano 2000.

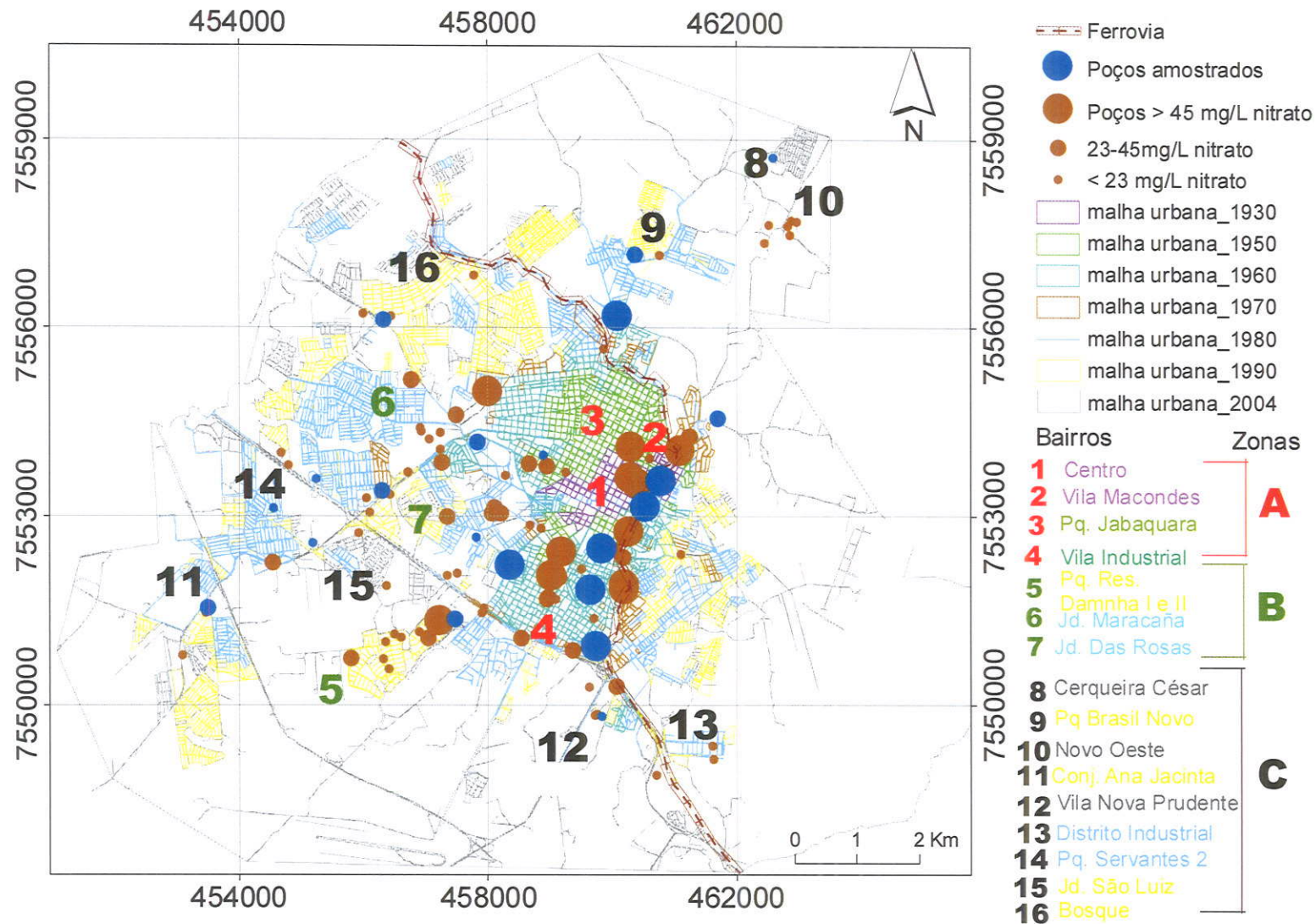


Figura 6.27 Expansão urbana e distribuição dos poços amostrados nas zonas A, B e C (adaptado de Camargo, 2007).

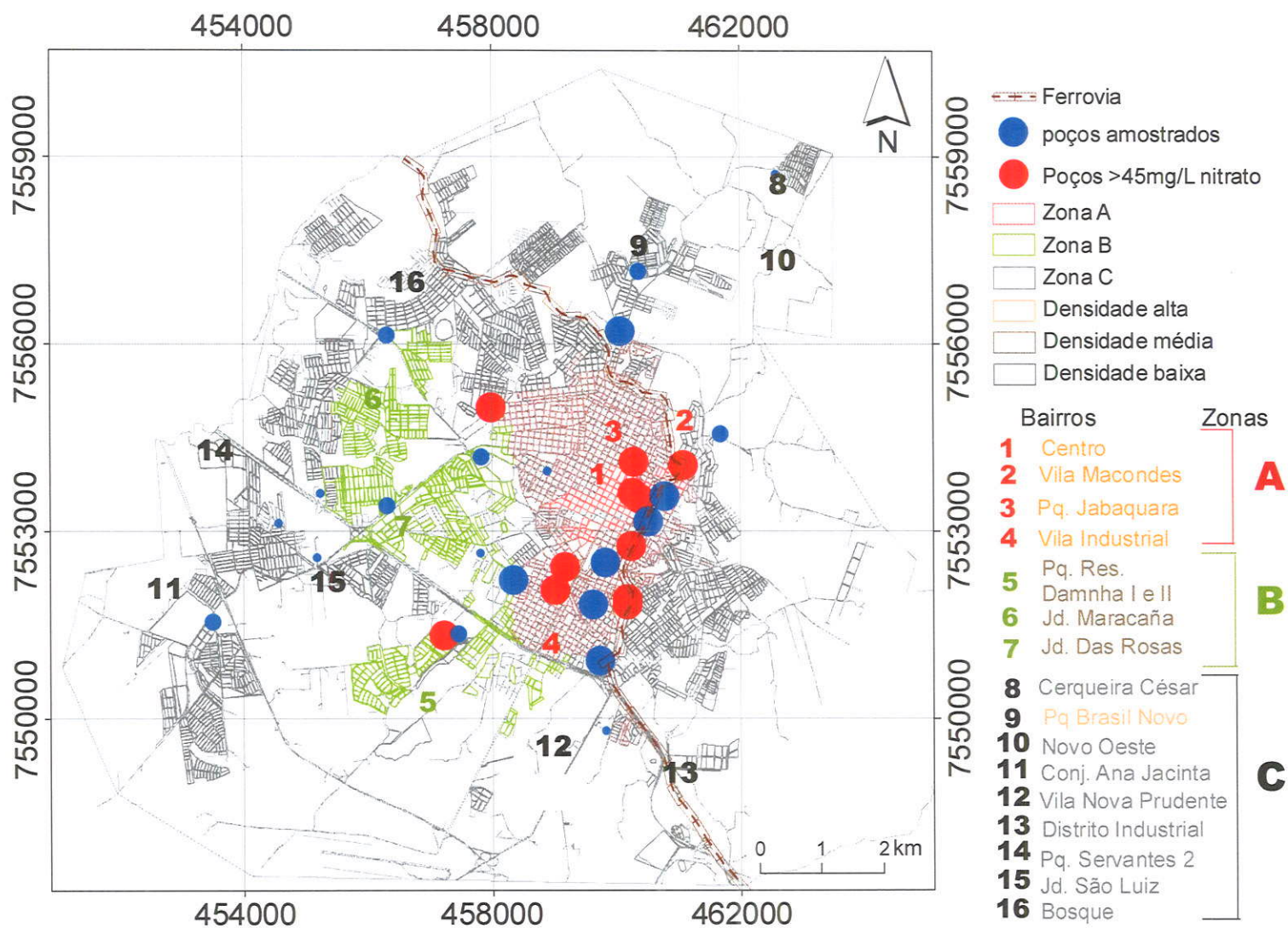


Figura 6.28 Zoneamento das áreas potenciais de contaminação por nitrato para a área urbana de Presidente Prudente

7. CONCLUSÕES

As águas subterrâneas na área de estudo estão representadas pelo SAB, que é de tipo livre, de porosidade primária, composto principalmente pelos aquíferos Adamantina e Santo Anastácio. A recarga ocorre pela infiltração da água de chuva, que é influenciada pela morfologia da área, tendo como direções preferenciais as regiões oeste e sudoeste e deságue nos córregos do Veado, Cedro e Botafogo. Há igualmente recarga associada à ocupação urbana, como atestam os focos de contaminação. A partir dos resumos dos testes de bombeamento determinou-se que o Aquífero Adamantina tem uma condutividade hidráulica média de 0,7 m/dia, coincidente com as litologias de sedimentos arenosos permeáveis. Gradiente hidráulico médio de 1,9% e velocidade do fluxo de 0,15 a 0,46 m/dia. O Aquífero Santo Anastácio possui parâmetros hidrogeológicos similares com condutividade hidráulica média de 0,7 m/dia, gradiente hidráulico médio de 1,9% e velocidade do fluxo de 0,14 a 0,15 m/dia.

O estudo da hidroquímica das águas subterrâneas no SAB em Presidente Prudente indicou a ocorrência de dois tipos hidroquímicos predominantes. O primeiro, as águas cloro-nitratadas a bicarbonatadas cálcicas, nas porções mais rasas (poços até 150 m) do aquífero. Os valores de pH encontram-se entre 5,54 e 8,39 e os de Eh entre 394,50 e 575,60 mV, o que sugere águas ácidas em meio oxidante. As elevadas concentrações de nitrato e cloreto sugerem contaminação das águas subterrâneas associadas ao esgoto doméstico.

O segundo tipo corresponde às águas bicarbonatadas sódicas, localizadas em maior profundidade (>150 m). Os valores de pH encontram-se entre 6,02 e 9,53 e os de Eh entre 323,90 e 507,60 mV. A diminuição nas concentrações de cálcio (até 0,88 mg/L) e de magnésio (0,09 mg/L) sugere possível ocorrência de reações de troca catiônica nestas porções do aquífero. Detectaram-se também baixas concentrações de nitrato e cloreto.

A avaliação das análises químicas de 2005 a 2009 mostraram que 15% das captações apresentaram valores de nitrato acima dos limites de potabilidade (Portaria 518/04). Observou-se também que as maiores concentrações de nitrato encontram-se na região central da cidade (zona central), variando de 55 a 80 mg/L, tanto nos poços rasos (<150m) como nos profundos (>150m). Essa zona abrange os bairros mais antigos da cidade, a partir dos quais se iniciou o processo de expansão urbana, na década dos anos 30.

Com base nas análises químicas das duas campanhas de amostragem (dezembro 2009 e junho-julho 2010) notaram-se variações das concentrações de nitrato a curto prazo. Dos 22 poços amostrados 45% (10 poços) localizam-se na zona central da cidade, com concentrações de nitrato entre 6,80 e 204 mg/L de NO_3^- . Nas outras zonas, as concentrações variam de 2,70 a 78,00 mg/L de NO_3^- na zona nordeste; 0,65 a 57,00 mg/L na zona oeste; e 21,00 a 32,00 mg/L na zona sudeste.

Em relação à profundidade dos poços, observou-se que as maiores concentrações de nitrato foram encontradas nos poços rasos que tem os filtros posicionados nas zonas mais superficiais do aquífero. Isto sugere uma estratificação do problema de poluição de nitrato nas águas subterrâneas do aquífero na cidade.

De acordo com as principais características evidenciadas neste estudo conclui-se que há três zonas sensíveis à contaminação por nitrato na área urbana de Presidente Prudente: A) *Zonas com problemas de nitrato ou potencialmente contaminadas* (>45mg/L de NO_3^-), relacionadas às áreas urbanas mais antigas (1930-1950), com uma alta densidade urbana (120 hab/ha). B) *Zonas com possíveis problemas de nitrato* (entre 23mg/L e 45mg/L de NO_3^-), catalogadas a áreas com bairros relativamente novos (<30 anos) e densidade urbana média (84hab/ha). C) *Zonas sem problemas de nitrato ou não contaminadas* (<45mg/L de NO_3^-) relacionadas a áreas mais novas, com baixa densidade urbana (20hab/ha).

Os resultados desta pesquisa demonstraram que a expansão territorial urbana de Presidente Prudente ocasionou uma forte mudança no ciclo hidrológico local em função do aumento da densidade urbana, uso intensivo dos sistemas de saneamento *in situ*, cobertura incompleta das redes coletoras de esgoto (implantada somente a partir dos anos 80), falta de manutenção e vazamentos das mesmas. Tais alterações aumentaram a carga contaminante de nitrato no subsolo e, por conseguinte, a contaminação das águas subterrâneas.

8. RECOMENDAÇÕES

Com intuito de contribuir com a preservação dos recursos hídricos subterrâneos, são propostas recomendações segundo o zoneamento proposto:

(A) Nas zonas com problemas de nitrato ou potencialmente contaminadas é recomendável:

- i) avaliar a real necessidade do uso dos poços tubulares ou rasos no abastecimento público ou privado e induzir aos usuários ao uso da água pública;
- ii) fechar o poço contaminado e furar outro poço mais profundo para evitar a captação das águas mais superficiais;
- iii) induzir, através de campanhas, que usuários privados monitorem os seus poços regularmente e busquem auxílio técnico na interpretação dos dados e ações protetoras;

Nas zonas com possíveis problemas de nitrato (B) ou não contaminadas (C); é recomendável:

- i) monitoramento anual dos parâmetros definidos na Portaria 518/2004 e a cada seis meses, medição de cloreto, nitrato, condutividade elétrica e pH.

Ficou provado que a instalação de rede de esgoto prévia à urbanização pode reduzir a contaminação do aquífero. Assim, para evitar novas contaminações, o crescimento urbano da cidade deve ser antecedido da instalação da rede de esgoto.

Ademais, a concessionária pública de água e esgoto deve procurar ligações clandestinas de esgotos que não atendam às normas, bem como banir o uso de sistemas de saneamentos *in situ* nas áreas urbanas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, D.S. **Formação histórica de uma cidade pionera paulista: Presidente Prudente**. Presidente Prudente. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, 1972, 339p.
- ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W.L.; HUASI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. **Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estado do Mato Grosso do Sul e Paraná**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Balneário de Camburiú. Anais: Balneário de Camburiú: SBG. V5, p 2799-2812, 1980.
- ALVES DE LIMA, M.L.; PARAGUASSU, C.A.; REIS DE MELO, H.J.; BATISTA, F.S.; **Aplicação de métodos geoestatísticos para mapeamento de área de risco em saúde pública no município de Porto Velho-RO**. Vita ET Sanitas, Trindade/60. V2, n.02, 2008.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19^a ed. Washington DC, American Water Works Association and Water Environment Federation. 1268p.1998.
- AMORIM, M.C. **O clima urbano de Presidente Prudente**. São Paulo: FFLCH/USP, 2000. 374p.
- AMORIN, M. T. **Análise ambiental e qualidade de vida na cidade de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia, 1993.
- APPELO, C.A.J. and POSTMA. D. **Geochemistry, groundwater and pollution** Balkema, Rotterdam. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **Tanque séptico, fossa séptica**. 15 p NBR 229SET 1993.
- BARCHA, S.F. **Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo**. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista, 1980.

BARISON, M.R. **Estudo hidrogeoquímico na Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 153 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BARRIOS, N. A. Z., SANT'ANNA NETO, J. L. **A circulação atmosférica no extremo oeste paulista**. Boletim climatológico, Presidente Prudente, v.1, n.1, p.8-9, março 1996.

BERENICE, A.M.; & HIRATA, R. **Evolução da contaminação por nitrato em aquíferos urbanos: Estudo de caso em Urânia (SP)**. 2010, 127 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2010.

BERTOLO, R.A; HIRATA, R. **Monitoramento da zona não saturada: um estudo da hidráulica e hidroquímica na estação experimental de Urânia, São Paulo, Brasil**. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 1. Fortaleza: ABAS, 2000.

BERTOLO, R. A. **Hidrodinâmica e hidrogeoquímica da zona não saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP)**. São Paulo, 218p. (Tese-Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001.

BERTOLO, R.A.; MARCOLAN, L.N.O.; BOUROTTE, C.L.M. **Relações Água-Rocha e Hidrogeoquímica do Cromo na Água Subterrânea de Poços de Monitoramento Multiníveis de Urânia, SP, Brasil**. Revista do Instituto de geociências-USP, v.9, n.2, p. 47-62., 2009.

BOUROTTE, C.; BERTOLO, R.; ALMODÓVAR, M.; HIRATA, R. **Natural Occurrence of Hexavalent Chromium in a Sedimentary Aquifer in Urânia, State of São Paulo, Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.81, n.2. 227-242 p. 2009.

CAGNON, F.A. **Origem e Hidroquímica do nitrato nas Águas Subterrâneas do Aquífero Adamantina em Urânia, SP**. 2003. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2003.

CAMARGO, C.E.S. **Qualidade Ambiental Urbana em Presidente Prudente/SP. Presidente Prudente**, 2007.149p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista. 2007.

CAMPOS, H.C.N.S. **Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do grupo Bauru no estado de São Paulo** 1987. 105 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

CAMPOS, H.C.N.S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do estado de São Paulo**. 1993. 177p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

CANTER, L.W. **Nitrate and pesticides in ground water: an analysis of a computer based literature research**. In: Ground Water Quality and Agricultural Practices. Edited by: Deborah M. Fairchild. Lewis Publishers. pp. 153-174. 1990.

CARVALHO, B. de A. **Glossário de Saneamento e Ecologia**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1981 *apud* MINARI, B. H. Influência do Uso de Sistema de Saneamento *In Situ* na Qualidade de Poços Rasos e Profundos. Tese de Mestrado em Infra-estrutura Aeronáutica-Instituto de Aeronáutica, São José dos Campos. 2007. 211p.

CAVALCANTE DE LIMA, J.; PEDROSA, V. de A.; ROCHA, W.J.S. **Avaliação da concentração de nitrato nas águas subterrâneas no bairro do Farol, em Maceió-Alagoas**. In: IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1-20 p, 2003.

CAVALHEIRO, M.G. **O processo de cheia em bacias hidrográficas urbanas**. Trabalho de conclusão de curso (TCC), 2008. Faculdade de Engenharia Cons. Algacyr Munhoz Meader. Tecnologia em Saneamento Ambiental. Universidade do Oeste Paulista Presidente Prudente-SP, 2008. 63 p.

COELHO, R.O. **Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, sudoeste do estado de São Paulo**. 1996. 103 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CONSTANTINO, J.D.M.F. **Hidrogeología Aplicada**. Editorial Félix Valera. El Veado, C. de la Habana, Cuba, 1999. ISBN:959-258-066-99, 453 p.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Fossa séptica**. Série Manuais/Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo; CETESB; 1989. 20 p.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo. Relatório técnico. São Paulo: CETESB, 1994. 95 p.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo. Relatório técnico. São Paulo: CETESB, 1997. 106 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Coord. Dorothy C.P. Casarini. São Paulo, CETESB. 73 p, 2000.

COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo no período 2004 - 2006**. Relatório técnico. São Paulo: CETESB, 2007. Série Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4101. 119 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO-SABESP. **Programa do controle e redução de perdas**. Diretoria de Distribuição, 2009.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO-SABESP. **Coleta e tratamento de esgoto no Município de Presidente Prudente**, 2006.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. 2ª ed. Barcelona: Ediciones: Omega, 1976. 2v. 2350 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA- DAEE. **Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 6, Ribeirão Preto-SP**, São Paulo: Geopesquisadora-Tahal, 1974. 2v.

DRAKE, V.M.; BAUDER, J.W.. **Ground water nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena Montana, 1971-2003.** Ground Water Monitoring and Remediation, v. 25, n. 2, p. 118-130. 2005.

IKUTA, F.A.; **A cidade e as águas: Expansão territorial urbana e a ocupação dos fundos de vales em Presidente Prudente-SP.** 2003. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003. 191 p.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **Roteironorientativo para delimitação de área de proteção de poço.** Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Geológico. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. 1ª edição, n.2, 2010. 48 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico do Brasil.** URL: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>. Acesso em dezembro de 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000.** São Paulo, IPT. 2v, 1981.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000. 391p.

FOSTER, S.& HIRATA, R. **Grounwater pollution risk assessment: A methodology using available data.** World/Pan American Health Organization-CEPIS Technical Report, Lima Perú, 83pp. 1988.

FOSTER, S.; LAWRENCE, A.; MORRIS B. **Grounwater in urban development: Assesing management needs and formulating policy strategies.** World Bank Technical Document. No 390, 55. 1998.

FOSTER, S. S. D., LAWRENCE, A. R. y MORRIS, B. L. 2001. **El agua subterránea en el desarrollo urbano: evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias.** Documento Técnico del Banco Mundial 390. 2001.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979). **Groundwater.** Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 604 p.

-
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE (1981). **São Paulo em Dados**. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/cgi-bin/lingcv98/spd.ksh>). Acesso em: outubro de 2010.
- GIAFFERIS, G.; OLIVEIRA, E. **Investigação da qualidade das águas subterrâneas do município de Bauru**. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Curitiba, 2006. Anais Curitiba, ABAS. (CD-ROM).
- GIAFFERIS, G.; OLIVEIRA, E. **Gestão da qualidade das águas subterrâneas do município de Bauru-SP**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, 2007. Anais São Paulo, ABRH. (CD-ROM).
- GODOY M.T.; BOIN, M.; SANAIOTTI, D.; SILVA, J. **Contaminação das Águas Subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente- SP, Brasil**. Adolfo Lutz , v63, n.2, p. 208-214, 2004.
- GUTIERREZ.; A. S. **A Hidroquímica do SAB na cidade de Urânia-SP**. 1999. Projeto de iniciação científica. 45 p., 1999. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 1999.
- HIRATA, R. **Fundamentos e estratégia de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo IGc/USP. 1994.
- HIRATA, R.C.A & NUNES DA SILVA, A. **Mapa hidrogeológico da Bacia do Alto Tietê**. In: Macedo A. (coord) Banco de Dados Espaciais da Bacia do Alto Tietê. LIG_IGc-USP, São Paulo (disponível em meio digital, no site: <http://geologic.igc.usp.br>), 1999.
- HIRATA, R. **Estudo da Contaminação por nitrato no Distrito de Tibiriçá, Bauru**. Departamento de água energia e esgoto/ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, DAEE/IGc-USP, 2000.
- HOUNSLOW, A. W. **Water quality data: analysis and interpretation**. Boca Raton, CRC Press/Lewis Publishers. 397 p, 1994.
- HYPOLITO, R. **Alcalinidade- Metodologia para determinação em campo**. Revista Analytica junho/julho, 2008. No 35. 52-61 p.

-
- JEON, C.H. **Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea.** J. Hydrol. 253,194-210. 2001.
- KEENEY, D. R. **Sources of nitrate to groundwater.** Nitrogen management and groundwater protection. Developments in Agricultural and Managed-forest Ecology, v. 21, p. 23-34. 1989.
- KÖPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra.** F. de Cultura. México. 478pp. 1948.
- LIMA, A.A. & BRAGA, A.C. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto (SP).** 2004, 82p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- MALANER, C.H. **Recarga de aquífero em área urbana: estudo de caso de Urânia (SP).** 2010. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo IGc/USP, São Paulo, 2010.
- MORENO, L., MARTINEZ, C, López, J.A., Navarrete, P. **Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas.** Instituto Tecnológico Geominero de España (IGME), Madrid, 1991.
- MILESKI, M.M. **Qualidade de vida nas proximidades das antigas e atuais áreas de disposição final de resíduos sólidos em Presidente Prudente-SP.** Bacharelado curso de Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 179 p.2006.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 518, de 25 de março de 2004.** 1994.Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- MUCHIMBANE, A.D. (2010) **Estudo dos indicadores de contaminação das águas subterrâneas por sistemas de saneamento *in situ* Distrito Urbano 4, cidade de Maputo-Moçambique.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2010.

- PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. **Nova caracterização estratigráfica e tectónica do Mesozoico na cidade de Bauru-SP**. Revista Geociências, v13, n.1, p. 83-99, 1999.
- PAULA E SILVA, F.; KIANG, C.; CAETANO-CHANG, M. **Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo**. Águas Subterrâneas, v19, n.2, p. 19-32, 2005.
- PAYNE, W.J. **Reduction of nitrogenous oxides by microorganisms**. *Bacteriological*, 1973. Reviews, v. 37, n. 4, pp. 409-452.
- PERROTA, M. M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMEZ, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; LACERDA FILHO, J. V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:750.000. São Paulo: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2005.
- PIVELI, RP & KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2006.
- PIPER, A.M. **A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis**. Trans. Am. Geophysical Union. 25:911-923. 1944.
- REYNOLDS-VARGAS, J.; FRAILE, J.; HIRATA R. **Trends in nitrate concentrações and determination of their origin using isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the wester Central Valley, Costa Rica**. A Journal of the Human Environment , v35, n5 p.229-236, 2006.
- ROCHA, G.A.; BERTACHINI, C.; CAMPOS, H.C.N.S. & CAIXETA, J.B. **Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aquífero Bauru**. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo, 1., Atas... São Paulo: SBG/ABAS, 1982.
- ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 2. ed. São Paulo:Contexto, 1991. 82p.
- SCHOELLER, H. **Les eaux souterraines**. Paris: Masson & Cie., 1962. 642p.

-
- SILVA, S.R. **Caracterização Hidrogeoquímica dos sistemas Aquíferos Bauru e Guarani no Município de Bauru**. 2009. 113 p. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.
- SPOSITO, M.E.B. **O chão em Presidente Prudente: A lógica da expansão territorial urbana**. 1983, 230p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1983.
- STARR R.C. AND R.W. GILLHAM. **Denitrification and Organic Carbon Availability in Two Aquifers**. Ground Water, 1993. 31:934-947.
- STRADIOTO, M.R. **Hidroquímica e aspectos diagenéticos do Sistema Aquífero Bauru na região sudoeste do Estado de São Paulo**. 2007. 103 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transactions of American Geophysical Union. New Haven, v. 38. p 913-920. 1957.
- SUHOGUSOFF, A.V. **Mimização de impactos nos recursos hídricos causados por sistemas de saneamento in situ: estudo piloto em Parelheiros - São Paulo (SP)** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2010.
- TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas** In: Carlos Eduardo M. Tucci, Juan Carlos Bertoni. (orgs). Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Practical guide for Groundwater Sampling**. URL <http://www.epa.gov/swerust1/cat/pracgw.pdf>, 1985.
- VARNIER, C. **O efeito do nitrogênio proveniente de sistemas de saneamento in situ na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos** . 2001, 150 p.. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2001.
- VARNIER, C. **Comportamento do nitrogênio em uma fossa negra desativada na zona não-saturada do Aquífero Adamantina em Urânia (São Paulo, Brasil)**.

-
- 2007, 144 p.. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2007.
- WAKIDA, F.T. and LERNER, D.N. **Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study.** *Water Research* 39, 3-16. 2005.
- WILHELM, S.; SCHIFF, S.; CHERRY, J. **Biogeochemical evolution of domestic waste in septic systems: Conceptual Model.** *Ground Water*, v.32, n.6, p. 905-916
- WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO). Environmental health information. URL. [http// www.who.org](http://www.who.org). Acessado em 2009.
- WORLD HEALTH ORGANISATION (WHO). **Guidelines for Drinking Water Quality** (2 nd ed., v2). Health Criteria and Other Supporting Information. Word Health Organization. Geneva. P 313-324. 2009.
- XU, Y.; BAKER, L.A.; JOHNSON, P.C. **Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region.** *Ground Water Monitoring and Remediation*, v. 27, n. 2, p. 49-56. 2007.
- Lu,Y.; Tang,Ch.; Chen, J; Sakura, Y. **Impact of septic tank systems on local groundwater quality and water supply in the Pearl River Delta, China: case study.** *HYDROLOGICAL PROCESSES.* *Hydrol. Process.* 22, 443–450 (2008). Published online 30 July 2007 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/hyp.6617.
- ZILBERBRAND, M.; ROSENTHAL, E.; SHACHNAI, E. **Impact of urbanization on hydrochemical evolution of groundwater and unsaturated-zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel.** *Journal of Contaminant Hydrology*, n.50, pp. 175-208, 2001.

ANEXO I.- Cadastro dos poços

Cadastro dos poços na área urbana de Presidente Prudente

Poço	Localização		Cota (m)	Data Perf.	Prof. (m)	NE (m)	Q m ³ /h	P. Filtro (m)	Uso	
	UTME	UTMN								Bairro
1	452678	7551398	Pq. Castelo Branco	377	1985	78	29	6	1,5 a 3	NR
2	458099	7553142	Jardim João Paulo II	439	03/2001	102	41	2.5	1,5 a 3	NR
3	464928	7556206	Sete Copas	398	2001	148	48.1	17.2	1,19 a 2,42	I
4	465041	7557053	Sete Copas	402	23/06/1905	150	56	20	NR	NR
5	460825	7553575	Vila Marcondes	465	1970	120	49.3	6.75	NR	NR
6	459826	7552512	Vila São Jorge	475	14/10/1997	110	36	6	1,5 a 3	NR
7	457813	7552662	NR	450	NR	124	28	4.88	1,5 a 3	NR
8	455798	7550746	Res. Damha II	405	04/2003	160	31	6	1,5 a 3	NR
9	456419	7553340	Jardim Cambuy	399	19/11/1999	60	30	2.8	NR	NR
10	459180	7552450	Jardim Paulistano	405	10/2004	100	39.6	3.86	1,5 a 3	NR
11	463548	7554503	União	429	>15 anos	90	31	1.6	NR	NR
12	457466	7551329	Pq Res. Damha I	461	~ 1999	200	45	6	1,5 a 3	NR
13	456413	7550569	Pq Res. Damha II	435	2001	110	32	5	1,5 a 3	NR
14	460370	7557168	Pq Castelo Branco	528	1985	78	29	6	1,5 a 3	R
15	460284	7554120	Bosque	426	1990	70	22	14.5	2 a 3	NR
16	452154	7551354	Res. Anita Tiezzi	480	17/07/1999	120	51	5.6	1,5 a 3	NR
17	461897	7547867	Zona Rural	473	NR	150	33.3	9.05	1,5 a 3	NR
18	460766	7557148	Pq Brasil Novo	482	2002	81	34	4	1,5 a 3	NR
19	459867	7555662	Jardim Aviação	466	14/03/1996	120	46	3.6	1 a 1,5	NR
20	456287	7556168	Maracana	456	1986	120	60	3	1,5 a 3	NR
21	454535	7552274	Jardim Itaipu	474	07/1998	60	27	1.6	NR	NR
22	454500	7552305	Jardim Itaipu	436	05/1997	60	27	1.6	NR	NR
23	458952	7551690	Bongiovani	435	08/2002	100	32	3	1,5 a 3	NR
24	456709	7553713	Jardim Monte Alto	412	08/07/1988	120	43	6.3	1 a 1,5	NR
25	458651	7553852	Vila Cláudia Glória	415	1994	90	41	2.6	1 a 2,5	NR
26	457054	7554222	Jardim Santa Eliza	397	1958	120	44	6	1,5 a 3	NR
27	457146	7554256	Jardim Santa Eliza	393	1960	120	42	9	1,5 a 3	I/S
28	457237	7554338	Jardim Santa Eliza	389	1960	130	42	10	1,5 a 3	I/S
29	456926	7554357	Jardim Santa Eliza	404	2002	140	54	22	1,5 a 3	NR
30	456918	7554410	Jardim Santa Eliza	410	2002	190	64	26	1,5 a 3	NR
31	453084	7550778	Chacara Azaleias	434	2000	84	24	1.8	NR	NR
32	458680	7552871	Jardim Caiçara	420	NR	130	35	10.6	1 - 2,5	D
33	457369	7551020	Pq Res. Damha I	457	2002	70	28	3.6	NR	R
34	456353	7550987	Pq Res. Damha I	NR	04/2003	100	18	3.6	1,5 a 3,0	D
35	455252	7553578	Jardim Jequitibás	480	16/03/1999	100	23	2.93	1,5 a 3,0	AP
36	455252	7553563	Jardim Jequitibás	419	16/03/1999	100	81.3	1.76	1,5 a 3,0	I/S
37	458847	7552803	Vila Glória	434	> 15 anos	100	55	3	NR	NR
38	415461	7577757	Vila Formosa	452	2000	60	9	4.2	1,5 a 3,0	S
39	462818	7557587	Chácaras N.Oeste	426	2001	120	44	3	1,5 a 3,0	D
40	460049	7555645	Jardim Guanabara	NR	NR	NR	NR	0.15	NR	R
41	462951	7557541	Centro	418	2001	120	30	3	1,5 a 3,0	NR
42	459151	7552042	Jardim Bongiovani	NR	1988	20	5.42	1.8		I/S
43	463835	7544664	Distr Ind do Espigão	464	09/2005	101	41.5	6.5	1,5 a 3	NR
44	462731	7557508	Chácaras N. Oeste	NR	2001	86	32	2		D
45	453684	7550651	Conj Mario Amato	390	09/2005	100	36	6	1,5 a 3	NR
47	460547	7553608	Centro	NR	1987	100	26	5	1,5 a 3	D
48	460603	7553922	Bosque	463	23/01/1999	60	36	3.6		D
49	458889	7553968	Vila Santa Helena	463	1985	132	62	4.5	1,5 a 3	D
50	459600	7552534	Centro	455	1972	150	48	5	1,5 a 3	D
51	456655	7548580	Quinta das Flores	NR	01/2004	120	80	2.5	1,5 a 3	D

Contianuação...

Poço	Localização			Cota (m)	Data Perf.	Prof. (m)	NE (m)	Q m ³ /h	P.Filtro (m)	Uso
	UTME	UTMN	Bairro							
52	462261	7555623	Rural	434	+ 20 anos	150	24	14.5	NR	I/S
53	457071	7554584	Frigoríficos	420	NR	150	NR	18	1 a 3	I/S
54	457021	7554739	Frigoríficos	420	NR	NR	NR	27	1 a 3	I/S
55	457100	7554180	NR	355	NR	180	79.5	33	1 a 3	I/S
56	462514	7557636	Chácaras N.Oeste	403	2003	140	44	3	1,5 a 3	D
57	462865	7557478	Chácaras N.Oeste	422	2001	120	60	4	NR	D
58	456250	7546165	Zona Rural	430	NR	100	21	4.8	NR	D
59	456250	7546165	Aeroporto	430	NR	100	32.2	2.76	1,5 a 3	S
60	461433	7547935	Zona Rural	449	~ 1980	80	33.3	7	1,5 a 3	NR
61	454690	7554009	Jardim Jequitibás	NR	NR	150	42	15	1,5 a 3	D
62	458902	7551686	Jardim Bongiovani	486	06/1996	100	44.4	5	1,5 a 3	D
63	458959	7551718	Jardim Bongiovani	NR	06/12/1991	120	60	8	1,5 a 3	D
64	459500	7552164	Vila Foglia	459	1993	120	20	4.58	1,5 a 3	D
65	459400	7552332	Vila Foglia	449	NR	120	32	8	1,5 a 3	D
66	460273	7553630	Centro	NR	NR	80	24	5.7	NR	S
67	460508	7554638	Jardim Aviação	449	05/06/1989	153	36.7	7.2	1,5 a 3	D
68	459088	7551672	Jardim Biongiovani	447	~ 1988	116	33.3	6	1,5 a 3	D
69	457222	7551355	Parque Res. Damha I	NR	2004	80	28	3	1,5 a 3	D
70	465948	7555149	Aeroporto	NR	08/2001	100	50	2	1,5 a 3	D
71	459725	7552515	Jardim Paulistano	465	1982	120	NR	6	1,5 a 3	D
72	459633	7550280	BRO Memória	487	02/2005	120	36	4	1,5 a 3	NR
73	457340	7551120	Parque Res. Dahma I	450	03/2005	120	60	5	1,5 a 3	NR
74	461603	7549338	Distrito Industrial	453	~1994	80	34	4	1,5 a 3	I
75	457181	7551360	Parque Res. Damha I	449	10/2005	100	13	2.7	NR	D
76	457343	7552049	Jardim São Luiz	414	1988	100	36	5	1,5 a 3	D
77	460936	7568814	Timburi	460	16/08/2001	110	30	3.5	NR	CA
78	462726	7557902	Chácara Novo Oeste	NR	NR	115	NR	NR	NR	D
79	457043	7551070	Parque Res. Damha I	449	09/2005	100	11	2.8	NR	D
80	459351	7550867	Vila Formosa	471	08/2000	60	33	3.6	1,5 a 3	D
81	456886	7551158	Parque Res. Damha I	445	11/2005	100	16	2.9	NR	D
82	455385	7552578	Jardim Itaipu	410	+ 30 a	80	30	3.6	NR	NR
83	456322	7550736	Parque Res. Damha	433	07/06/2000	80	12	0.9	NR	D
84	457046	7555006	Jardim Maracanã	423	<1970	120	38	10	1,5 a 3	I/S
85	457046	7555006	Jardim Maracanã	423	~1992	150	52	28	1,5 a 3	I/S
86	460521	7553161	Vila Nova	489	NR	100	55	3.6	1,5 a 3	NR
87	456308	7553395	Jardim Monte Alto	397	NR	100	28	3	1,5 a 3	NR
88	456054	7553294	Jardim Monte Alto	400	NR	150	87.1	4.8	1,5 a 3	NR
89	458200	7553056	Jardim João Paulo II	425	06/2002	110	41	1.6	1,5 a 3	D
90	457350	7553000	Jardim Cinquentenário	NR	NR	90	28	3	NR	NR
91	457298	7553351	Jardim Icaray	424	NR	125	NR	10	1 a 3	I/S
92	459870	7555286	Jardim Aviação	NR	1975	110	29	4	1,5 a 3	D
93	460058	7552500	Vila São Jorge Centro	465	2000	150	107	2.6	1,5 a 3	NR
94	457903	7551467	Jd Alto da Boa Vista	470	15/06/2000	80	6	3.8	1,5 a 3	D
95	460260	7552780	Jd Quincentenario	465	~ 2002	60	36.7	0.62	NR	NR
96	453503	7551557	Dist Ind Ana Jacinta	437	08/2006	60	35	3.6	1,5 a 3	I/S
97	456023	7556109	Esquema	473	22/06/1991	262	82	4.83	1,5 a 3	I
98	459701	7551369	Jardim Bongiovani	NR	10/09/1998	100	36	3	1,5 a 3	D
100	460184	7551851	Vila Industrial	NR	+ 10 anos	80	22	8	NR	S
101	457768	7556835	Bosque	284	NR	90	28	5.6	1,5 a 3	D
102	456498	7551129	Parque Res. Damha	420	09/04/2000	63	15	3.5	NR	D
103	456771	7555182	Jardim Maracanã	435	2001	80	20	5	NR	NR
104	459725	7549825	Vila Nova Prudente	487	02/2005	180	80	14.8	1,5 a 3	I
105	459750	7549850	Vila Nova Prudente	440	02/1997	200	81.6	10.8	1,5 a 3	I
106	452876	7553694	Zona Rural	449	02/1982	140	40	8	1,5 a 3	I

Continuação...

Poço	Localização		Cota (m)	Data Perf.	Prof. (m)	NE (m)	Q m ³ /h	P.Filtro (m)	Uso	
	UTME	UTMN								Bairro
107	452840	7553670	Zona Rural	422	02/1998	220	83.5	30.2	1,5 a 3	I
108	462449	7557346	Chácaras N.Oeste	399	01/1996	80	44	1.7	NR	D
109	456613	7551067	Cond Res Damha I	449	08/2000	48	18	1.6	1,5 a 3	D
110	459820	7549819	Trevo Rodoviário	450	04/2000	100	20	7.2	1,5 a 3	I
111	457223	7551319	Residencial Damha I	461	NR	100	44	2.8	1,5 a 3	NR
112	462820	7557620	Chácaras N. Oeste	NR	2001	100	44	3.1	1,5 a 3	D
113	460064	7550287	Vila Nova Prudente	NR	1997	120	40	3.5	1,5 a 3	NR
114	459114	7551877	Jardim Bongiovani	440	02/09/1993	100	NR	8	NR	D
115	458093	7551206	Vila Formosa	440	1981	110	NR	8	NR	D
116	458094	7551293	Vila Formosa	440	10/10/1994	50	NR	4	NR	D
117	457497	7552084	Jardim São Luiz	476	NR	160	72	5	1 a 3	D
118	459638	7551843	Vila Industrial	461	08/1975	70	33.6	1.44	1,5 a 3	D
119	454788	7553820	PQ. Res. Servantes 2	NR	06/2004	100	44	5	1,5 a 3	D
120	454750	7557432	Limoeiro	432	05/1996	40	21	3	1,5 a 3	IRR
121	460700	7548880	Distrito Industrial	420	2001	120	60	4.5	NR	D
122	454535	7552274	Jardim Itaipu	474	07/1998	60	27	1.6	NR	NR
123	454500	7552305	Jardim Itaipu	436	05/1997	60	27	1.6	NR	NR
124	457238	7554075	Centro	398	10/2004	72	12	3.6	1,5 a 3	NR
125	457481	7554620	Jardim Eldorado	NR	08/2005	144	45	3	1,5 a 3	NR
126	459247	7553699	Vila Santa Helena	445	06/1997	60	30	2.6	NR	D
127	461101	7552402	Jardim São Pedro	415	07/1998	50	24	2.1	NR	NR
128	458945	7553812	Vila Santa Helena	435	04/08/2004	80	39	4.8	1,5 a 2	NR
129	458777	7551140	Vila Formosa	456	1997	60	14	7.3	1,5 a 3	D
130	458535	7551070	Vila Formosa	453	NR	80	27	5	NR	NR
131	455915	7552735	Parque Cedral	436	05/2003	110	36.7	1.96	1,5 a 3	I
132	461622	7549139	Distrito Industrial	432	05/1998	115	38	3	1,5 a 3	I
133	463704	7547883	Zona Rural	409	06/2000	80	22	3.22	NR	D
134	457990	7554990	Jardim das Rosas	395	05/07/1988	150	45	17.5	1 a 1,5	NR
135	458862	7548824	Recanto Griselandia	400	NR	60	6	9	NR	D
136	462970	7557688	Chácaras N.Oeste	418	2001	100	41	2.9	1,5 a 3	D
137	453462	7551465	Conj Hab Ana Jacinta	439	NR	110	42.3	1.7	1,5 a 3	NR
138	460380	7553546	Centro	456	NR	80	37.1	1.2	1,5 a 3	NR
139	456103	7553063	Jardim Cambuy	426	04/1994	56	30	2.6	NR	NR
140	459413	7551113	Vila Formosa	NR	1988	100	46	3	1,5 a 3	NR
141	457142	7551436	Parque Res Damha I	452	10/2005	100	17	2.6	NR	D
142	461242	7554280	Vila Furquim	NR	1988	70	35	3	1,5 a 3	D
143	458057	7553059	Jardim Esplanada	452	19/03/1966	120	68	3	1,5 a 3	D
144	457827	7554187	Centro	426	1989	117	65.9	3	1 a 2	NR
145	457260	7553870	Jardim das Rosas	403	NR	195	65	22	1,5 a 2,5	R
146	461690	7554564	Parque Furquim	428	20/11/1995	250	111	15	1,5 a 3	NR
147	455833	7556180	Parque Res. Carandá	447	18/12/1996	102	60	12	NR	IRR
148	464617	7550244	Terras de Imoplan	448	> 4 anos	60	25	4.5	NR	NR
149	462887	7557706	Chácaras N.Oeste	420	NR	100	45	2	NR	D
150	458720	7548077	Aeroporto	460	ant 1985	144	63	3	1,5 a 3	I
151	456443	7556176	Maracanã	443	1985	130	65	3.67	1,5 a 3	D
152	456289	7556172	Maracanã	456	1979	120	50	6	1,5 a 3	NR
153	462589	7558719	Sede	444	NR	218	51	11.9	NR	AP
154	454400	7561100	NR	480	13/03/1986	201	87.9	22	NR	AP
155	454150	7555400	NR	400	18/05/1986	NR	50.1	20	1 a 2	AP
156	454670	7556820	Sede	400	NR	229	68.5	50	NR	AP
157	454563	7553135	Sede	404	23/01/1992	214	74	60	NR	AP
158	454550	7553100	Sede	420	30/01/1992	241	60	30.5	NR	AP
159	455184	7552583	São João	430	18/12/1992	272	87.4	43	NR	AP
160	461300	7555950	Sede	400	NR	206	64.2	52.8	NR	AP

Conclusão....

Poço	Localização			Cota (m)	Data Perf.	Prof. (m)	NE (m)	Q m ³ /h	P.Filtro (m)	Uso
	UTME	UTMN	Bairro							
161	460900	7555950	NR	400	15/12/1992	207	75.7	46.6	1 a 2	NR
162	455350	7551500	NR	440	11/03/1993	244	72	38.6	1 a 2	NR
163	459900	7556800	NR	430	18/11/1992	230	90.2	42	1 a 2	NR
164	459700	7557500	NR	400	24/11/1992	199	62	56.5	1 a 2	NR
165	460123	7553715	Centro	NR	1986	130	48	8	1,5 a 3	D
166	460142	7553747	Centro	451	05/2008	150	50.1	5.6	1,5 a 3	NR
167	458087	7552452	Bongiovani	NR	NR	180	NR	28	1 a 3	NR
168	457933	7552356	Bongiovani	NR	NR	210	NR	30	1 a 3	NR
169	459012	7552079	Jardim Bongiovani	438	> 10 anos	90	28	2.5	NR	NR
170	456375	7551900	Jardim Santa Fé	460	1996	60	27	1.6	1 a 3	I/S
171	461081	7554069	Vila Furquim	487	1994	80	34	4	1,5 a 3	NR
172	459959	7552487	Vila São Jorge	454	08/1986	60	8	1.53	1,5 a 3	NR
173	457935	7551545	Jardim Cambuy	443	06/01/1998	60	30	3	1 a 1,5	NR
174	464295	7549104	Distrito Industrial	346	05/1983	160	46	9.5	1,5 a 3	NR
175	460785	7553574	Vila Marcondes	460	NR	120	30	10	NR	I/S
176	459351	7550867	Cidade Universitária	471	08/2006	60	35	3.6	1,5 a 3	NR
177	460078	7551065	Jardim Santa Helena	NR	1975	130	40	5	2 a 3	D
178	459038	7555287	Pq. São Judas Tadeu	440	15/03/1986	141	NR	5	1,5 a 3	D
179	459985	7553860	Centro		1990	100	24	11	1,5 a 3	D
180	465063	7556648	Sete Copas	360	1995	80	NR	6	NR	I
181	464944	7556277	Sete Copas	390	2002	120	NR	6	NR	I
182	457014	7552036	Jardim Satélite	451	NR	164	85	10	1 a 3	R
183	459194	7548155	Bairro do Cedro	NR	1975	160	85	8	1 a 3	D
184	458967	7551956	Jardim Bongiovani	458	NR	60	15	3	NR	I
185	459760	7553638	Vila Ocidental	449	1984	120	36	4	1 a 3	D
186	460714	7553130	Vila Marcondes	500	05/05/1995	119	50	10.7	2,5 a 3	AP
187	459735	7550942	Vila Industrial	466	NR	108	NR	5.1	NR	D
188	460698	7553342	Vila Marcondes	NR	NR	24	20	1	NR	D
189	458308	7553540	Jardim Marupiará	419	1987	30		0.43	NR	D
190	458284	7553646	Jardim Marupiará	451	11/2005	110	18	2.5	1,5 a 3	D
191	459847	7550178	Aeroporto	460	1985	144	63	3	1,5 a 3	I
192	460162	7552354	Vila Brasil	455	1994	80	36	4.8	NR	D
193	455999	7556213	Jd Novo Bongiovani	449	02/05/1996	86	50	4.8	1,5 a 3	D
194	457182	7554075	Jardim das Rosas	NR	02/1996	60	11	3	NR	
195	472921	7581855	Ameliópolis	372	08/1995	172	25	11	1,5 a 3	I/S
196	460187	7551932	Vila Industrial	NR	1986	152	70	15	1,5 a 3	D
197	456715	7553922	NR	NR	NR	180	63	18	1 a 3	I
198	456601	7553740	NR	NR	NR	190	NR	18	1 a 3	I
199	450223	7547539	Jardim Cica	NR	NR	250	41	27	1,5 a 3	I
200	460074	7556195	Parque Jabaquara	472	1989	68	26	1.8	NR	D
201	455953	7555964	Esquema	466	02/12/1987	242	112	5.63	1,5 a 3,0	I
202	458035	7551199	Vila Formosa	463	1981	110	35	8	NR	NR
203	473103	7581779	Ameliópolis	382	12/2003	170	28	20	1,5 a 3,0	I/S
204	452741	7554796	Limoeiro	407	123	NR	NR	NR	NR	NR
205	456737	7547393	Aeroporto	NR	NR	45	NR	NR	NR	NR
206	453090	7554819	Limoeiro	NR	NR	123	NR	NR	NR	NR
207	458456	7552431	Bongiovani	NR	NR	160	NR	NR	NR	NR
208	458476	7552327	Bongiovani	NR	NR	150	NR	NR	NR	NR
209	449714	7556649	Zona rural	NR	NR	170	NR	NR	NR	NR
210	449041	7557699	Zona rural	NR	NR	80	NR	NR	NR	NR
211	453723	7553829	Limoeiro	NR	23/10/1995	261	NR	NR	NR	NR
212	453884	7554008	Limoeiro	NR	NR	120	NR	NR	NR	NR

NR= não reportado; D=doméstico; I=industrial; I/S= industrial sanitário; IRR= irrigação; R=recreação; CA= criação de animais; AP= abastecimento público

ANEXO II Parâmetros Hidrogeológicos

Parâmetros Hidrogeológicos

Poços rasos	NE (m)	b (m)	s (m)	q (l/s/m)	A	T (m ² /dia)	K (m/dia)
9	30	60	21	0,48	81	43,85	0,46
176	35	60	13	1,00	83	89,12	0,94
118	33,62	70	13	0,69	83	61,79	0,65
142	35	70	14	0,76	83	67,99	0,72
14	29	78	28	0,77	83	75,60	0,80
60	33,27	80	18,7	1,33	85	126,22	1,33
138	37,12	80	20,99	0,21	80	18,56	0,20
169	28	90	11	0,98	81	84,43	0,89
87	28	100	49	0,22	80	24,06	0,25
35	81,3	80	11	0,58	82	50,28	0,53
86	55	100	13	0,99	83	88,83	0,94
98	36	60	28	0,39	81	36,89	0,39
119	44	80	25	0,72	82	68,47	0,72
76	36	100	11,94	0,83	83	73,56	0,78
6	36	110	37	0,58	82	60,06	0,63
131	36,65	80	56,75	0,11	80	12,57	0,13
137	42,31	110	38,37	0,16	80	16,07	0,17
144	65,92	116,5	23,93	0,45	81	42,12	0,45
20	60	120	15	1,73	86	161,99	1,71
65	32	120	34	0,85	83	86,39	0,91
51	80	120	28	0,47	81	44,82	0,47
7	28	104	85	0,21	80	31,08	0,33
49	62	132	60	0,27	80	32,26	0,34
61	42	150	66	0,82	83	106,55	1,13
Mín.	28,00	60,00	11,00	0,11	80,00	12,57	0,13
Máx.	81,30	150,00	85,00	1,73	86,00	161,99	1,71
Média	42,76	94,60	30,07	0,65	81,92	62,65	0,66
D.P.	15,95	24,40	19,99	0,39	1,64	36,45	0,39

NE=nível estático; b=espessura saturada; s=rebaixamento; q=vazão específica; A=parâmetro empírico definido experimentalmente em função da vazão específica; T=transmissividade; K=condutividade hidráulica.

Mín.=mínimo; Máx.=máximo; DP=desviação padrão

ANEXO III Poços Amostrados

Dados gerais dos poços amostrados

Poço	Amostra	Endereço	Bairro	Zona	Data análise	X	Y	Cota (m)	Prof. (m)	Uso
96	96	Rua Vicente Mele, 771	Dist Ind Ana Jacinta	Sudoeste	23/12/2009	453503	7551557	437	60	I/S
*176	176	Avenida da Saudade, 1.215	Cidade Universitária	Centro	01/07/2010	458345	7552240	490	60	NR
200	200	Rua Alvino Gomes Teixeira, 2749	Parque Jabaquara	Nordeste	23/12/2009	460074	7556195	472	68	D
*118	118	Rua Nações Unidas, 395	Vila Industrial	Centro	23/12/2009	459638	7551843	461	70	D
14	14	Rod. Raimundo Maisolini, s/nº km 03	Pq Castelo Branco	Nordeste	23/12/2009	460370	7557168	528	78	R
35	35	Av Jucelino K. de Oliveira, 105 -Rod. Rap Tav km570	Jardim Jequitibás	Oeste	23/12/2009	455252	7553578	480	100	AP
62	62	Rua Manoel Espinhosa, 195	Jardim Bongiovani	Centro	23/12/2009	458902	7551686	486	100	D
86d	86	Rua Doutor José Foz, 613	Vila Nova	Centro	23/12/2009	460521	7553161	489	100	NR
87	87	Rua Joaquim Pereira Paixão, 207	JardimMonte Alto	Oeste	23/12/2009	456308	7553395	397	100	NR
110d	110	Rod. Assis Chateaubriand, S/N, KM 455.1	Trevo Rodoviário	Centro	23/12/2009	459820	7549819	450	100	I
147	147	Rod. Arthur Bolgues Filho, 585	Parque Res. Carandá	Oeste	23/12/2009	455833	7556180	447	102	IRR
187	187	Rua Campestre, 500	Vila Industrial	Centro	23/12/2009	459735	7550942	466	108	D
6t	6	R Siqueira Campos, 1545	Vila São Jorge	Centro	23/12/2009	459826	7552512	475	110	NR
144	144	Av. Manoel Goulart, 2.881	Centro	Oeste	23/12/2009	457827	7554187	426	116.5	NR
175dt	175/0	Rua Marechal Floriano Peixoto, 420/478	Vila Marcondes	Oeste	23/12/2009	460785	7553574	460	120	I/S
175rt	175/0	Rua Marechal Floriano Peixoto, 420/478	Vila Marcondes	Oeste	23/12/2009	460785	7553574	460	120	I/S
+20	20-2c	Av. Salim Farah Maluf, 2370	Maracanã	Oeste	01/07/2010	456309	7556126	453	120	NR
7	7	R José Bongiovani, 1595	NR	Oeste	23/12/2009	457813	7552662	450	124	NR
49	49	Rua Rui Barbosa, 1.736	Vila Santa Helena	Oeste	23/12/2009	458889	7553968	463	132	D
84	84	Av. Salim Farah Maluf, 780	Jardim Maracanã	Oeste	23/12/2009	457046	7555006	423	150	I/S
85	85	Av. Salim Farah Maluf, 780	Jardim Maracanã	Oeste	30/06/2010	457246	7555283	404	150	I/S
12	12	Av Vereador Aurelino Alves Coutinho, 2.400	Pq Res. Damha I	Sudoeste	23/12/2009	457466	7551329	461	200	NR
153	153	Bairro Quilômetro Sete	Sede	Nordeste	23/12/2009	462589	7558719	444	217.5	AP
157	157	Margem direita do afluente direito Córrego Limoeiro	Sede	Oeste	23/12/2009	454563	7553135	404	241	AP
146t	146	Avenida Ibraim Nobre, 585	Parque Furquim	Centro	23/12/2009	461690	7554564	428	250	NR
*159	159	Capela São João	São João	Oeste	23/12/2009	455184	7552583	430	272	AP

*Poços amostrados só na primeira campanha; +poços amostrados só na segunda campanha; d poços com duplicata; t poços amostrados em diferentes tempos (t=0,t=6 e t=24 horas); r poços amostrados depois da resina

ANEXO IV. Resultados dos parâmetros físico-químicos

Resultados das análises efetuadas em campo nos períodos de dezembro, 2009 e junho-julho, 2010 para poços menores o iguais a 150 m

Poços	Prof. (m)	pH (2009)	pH (2010)	pH (Média)	T (°C) (2009)	T (°C) (2010)	T (°C) (2009)	T (°C) (2010)	T (°C) (Média)	CE (µS/cm) (2009)	CE (µS/cm) (2010)	CE (µS/cm) (Média)	Eh (mV) (2009)	Eh (mV) (2010)	Eh (mV) (Média)
96	60	5.82	5.72	5.77	25.9	25.7		25.30	25.63	110.5	101.10	105.8	488.1	543.00	
176	60	5.87		5.87	25.00	27.10			26.05	332.00		332	482.50		482.5
200	68	5.64	5.54	5.59	26.6	27.7	23.60	25.40	25.825	280	300.00	290	484.6	510.40	497.5
118	70	5.89		5.89	24.6	24.7			24.65	451		451	486.4		486.4
14	78	6.19	6.12	6.16	25.3	25.4	25.00	24.70	25.1	381	348.00	364.5	394.5	446.50	
35	100	8.14	7.39	7.76	25.6	25.5	27.20	27.90	26.55	255	281.00	268	408.4	406.50	407.45
62	100	6.51	6.06	6.29	24.8		25.00	24.40	24.73	291.3	198.30		463	516.80	
86	100	6.53	6.39	6.46	24.5	24.7	24.30	24.60	24.525	577	584.00	580.5	429.5	485.50	457.5
87	100	6.8	7.18	6.99	25.8	25.9	24.10	25.60	25.35	361	359.00	360	418.5	448.30	433.4
110	100	7.11	6.96	7.04		24.5	25.00		24.75	750	701.00	725.5	501	500.00	500.5
147	102	6.1	5.74	5.92	24.8	24.6		25.10	24.83	167.8	149.10	158.45	493	540.60	
187	108	5.83	5.94	5.89	24.4	24.5	22.80	23.70	23.85	352	368.00	360	575.6	489.10	
6	110	7.07	7.07	7.07	24.3	24.4	24.3	24.30	24.325	314	417.00		410	495.60	
144	116.5	6.96	8.39	7.68	25.5	25.3	25.00	25.90	25.425	291	260.00		466.5	505.00	
20			6.16	6.16				25.60	25.60		144.20	144.2		530.90	530.9
175	120	6.27	5.94	6.11	24.3	24.4	21.70	23.10	23.375	488	496.00	492	420	471.00	
7	124	7.1	4.31		25.1	24.9		26.20	25.40	304	288.00		499.4	489.70	494.55
49	132	6.6	6.49	6.55	24.9	24.8		25.20	24.97	205	184.40		532.4	400.00	
85	150	7.55		7.55		24.10			24.10	256			433.30		433.3
Mín.		5.64	4.31	5.59	24.30	24.10	21.70	23.10	23.38	110.50	101.10	105.80	394.50	400.00	407.45
Máx.		8.14	8.39	7.76	26.60	27.70	27.20	27.90	26.55	750.00	701.00	725.50	575.60	543.00	530.90
Média		6.55	6.34	6.48	25.09	25.19	24.36	25.13	25.00	342.59	323.69	356.30	465.93	486.18	472.40

Resultados das análises efetuadas em campo nos períodos de dezembro, 2009 e junho-julho, 2010 para poços maiores a 150 m

Poços	Prof. (m)	pH (2009)	pH (2010)	pH (Média)	T (°C) (2009)	T (°C) (2010)	T (°C) (2009)	T (°C) (2010)	T (°C) (Média)	CE (μS/cm) (2009)	CE (μS/cm) (2010)	CE (μS/cm) (Média)	Eh (mV) (2009)	Eh (mV) (2010)	Eh (mV) (Média)
153	217.5	9.08	9.18	9.13	24.2	24	25.00	23.50	24.175	254	222.00	238	387.1	430.20	408.65
157	241	9.53		9.53	26.6	26.3			26.45	331		331	397.7		397.7
159	272	9.33	6.97		25.4	25.3	25.00	24.50	25.05	328	369.00	348.5	415	456.40	435.7
Mín.		9.08	6.97	9.13	24.20	24.00	25.00	23.50	24.18	254.00	222.00	238.00	387.10	430.20	397.70
Máx.		9.53	9.18	9.53	26.60	26.30	25.00	24.50	26.45	331.00	369.00	348.50	415.00	456.40	435.70
Média		9.31	8.08	9.33	25.40	25.20	25.00	24.00	25.23	304.33	295.50	305.83	399.93	443.30	414.02
D.P		2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	8.38	8.38	8.38	201.19	201.19	201.19	160.32
C.V		0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.33	0.33	0.33	0.61	0.61	0.61	0.37

Mín.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão; C. V. - Coeficiente de variação

Resultados das análises químicas dos poços amostrados na primeira campanha de amostragem (15a26/12/2009)

Poços	Alcalinidade Total (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Nit Org (mg/L)	Nit Total (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
6	108	0.02	0.02	8.8	14	7.6	9.2	67	0.005	30	14	0.02	39	0.06
7	119	0.02	0.02	2.3	8.9	2.4	6.9	38	0.005	46	9.5	0.02	10	0.8
12	40	0.02	0.02	7.2	5.5	3.8	3.9	2.8	0.26	30	7.4	0.02	32	0.18
14	73	0.02	0.02	10	6.8	4.2	6.2	50	0.025	35	65	0.02	45	2.9
35	112	0.02	0.02	2.5	45	1.1	1.8	9.1	0.005	26	4.6	0.02	11	1.26
49	94	0.02	0.02	1.5	10	2.4	4.2	21	0.005	49	3	0.02	6.8	0.13
62	42	0.02	0.02	8.4	8	4.1	3.7	20	0.005	36	18	0.02	37	0.06
86	82	0.02	0.02	29	10	2.9	6.5	36	0.005	46	0.02	0.02	130	1
87	169	0.02	0.02	8.1	16	2.7	8.4	41	0.005	49	25	0.02	36	2.2
96	27	0.02	0.02	6.2	3.8	3.1	2.4	8.1	0.005	32	3.8	0.02	27	0.48
110	272	0.02	0.02	3.2	173	4.8	26	93	0.005	51	37	0.02	14	12
118	23	0.02	0.02	29	9.2	7.7	9.7	43	0.005	28	49	0.02	127	0.15
144	109	0.02	0.02	8.5	7.3	2.3	6.8	33	0.005	45	17	0.02	38	1.23
147	43	0.02	0.02	13	4.9	3.5	2.9	18	0.005	32	8	0.02	57	0.49
153	119	0.02	0.02	1.8	45	0.38	1.6	5.9	0.005	23	4.4	0.02	7.8	2.4
157	165	0.02	0.02	0.12	67	0.096	0.086	0.88	0.005	21	1.4	0.02	0.55	0.23
158	163	0.02	0.02	0.08	65	0.095	0.084	0.89	0.005	21	1.3	0.02	0.37	0.24
159	172	0.02	0.02	0.15	66	0.29	1.2	4.6	0.005	22	1.4	0.02	0.65	0.29
175/0	82	0.02	0.02	46	9.8	5.3	7.9	62	0.005	31	62	0.02	204	0.67
175/r0	41	0.02	0.02	3.2	9.9	5.4	7.9	63	0.005	31	123	0.02	14	0.15
187	52	0.02	0.02	14	6.5	5.8	7.6	33	0.005	28	30	0.02	63	0.09
200	24	0.02	0.02	21	12	11	8.1	12	0.005	32	24	0.02	91	0.02
146/0	170	0.02	0.02	5.6	17	3.1	4.8	55	0.005	32	46	0.02	25	5

Resultados das análises químicas dos poços amostrados na segunda campanha de amostragem (28/06/2010 a 01/07/2010)

Poços	Alcalinidade. Total (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Nitr Orgânico (mg/L)	Nitr Total (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
7	50	0.02	0.02	2.71	10	2.9	6.2	38	0.005	77	11	0.02	12	2.3
12	49	0.02	0.02	5.2	21	2.9	2.7	15	0.005	43	3.4	0.02	23	0.24
14	44	0.02	0.02	9.94	8	4.3	5.1	49	0.005	58	50	0.02	44	5.8
20	100	0.02	0.02	3.16	5.5	3.1	2.3	16	0.005	49	4.7	0.02	14	0.03
35	49	0.02	0.02	3.16	28	2.8	3.6	22	0.005	53	5.6	0.02	14	2.4
49	27	0.02	0.02	1.6	12	2.4	3.6	19	0.005	81	2.5	0.02	7.1	0.22
62	58	0.02	0.02	7.45	9.4	3.8	3.1	20	0.005	56	20	0.02	33	0.05
86	73	0.02	0.02	25.07	19	8.2	7.5	59	0.005	45	57	0.02	111	2.6
87	106	0.02	0.02	5.87	16	2.9	6.8	36	0.005	73	10	0.02	26	0.37
96	78	0.02	0.02	4.74	11	2.8	2.1	7.6	0.005	45	3.3	0.02	21	0.02
110	35	0.02	0.02	3.61	22	5.4	14	88	0.005	88	39	0.02	16	22
144	39	0.02	0.02	4.52	8.5	2.4	5.8	31	0.005	71	10	0.02	20	1.1
146	62	0.02	0.02	2.26	17	3.2	4.2	52	0.005	62	21	0.02	10	2
147	103	0.02	0.02	7	5.9	3.4	2.3	15	0.005	45	5.2	0.02	31	0.02
153	100	0.02	0.02	0.61	51	0.43	1.2	6.2	0.005	32	1.5	0.02	2.7	0.7
159	132	0.02	0.02	0.34	52	1.7	6.1	30	0.005	47	3.3	0.02	1.5	1.2
176	103	0.02	0.02	14.46	21	7.9	5.3	25	0.005	30	37	0.02	64	4.5
187	83	0.02	0.02	16.26	8.2	6.9	6.8	30	0.005	37	41	0.02	72	0.06
200	50	0.02	0.02	17.62	15	14	7.1	9.1	0.005	47	26	0.02	78	0.02
175/0	76	0.02	0.02	23.49	16	5.5	6.5	52	0.005	45	37	0.02	104	0.2
175/r0	89	0.02	0.02	6.1	12	5.6	6.5	55	0.005	47	111	0.02	27	0.02
6/0	68	0.02	0.02	14.01	8.7	3.4	6.2	46	0.005	73	24	0.02	62	0.15

Comparação dos parâmetros de alcalinidade determinadas em campo e laboratório para a primeira campanha de amostragem

Poços	Alcalinidade Total (lab.) (mg/L)	Alcalinidade Total (campo) (mg/L)	% erro laboratório	% erro campo
96	27	31.11	12.64	16.19
200	24	22.22	11.82	11.14
118	23	32.22	4.72	7.02
14	73	56.66	8.92	4.77
35	112	13.33	0.29	61.35
62	42	47.22	5.60	8.21
86	82	112.21	13.90	21.13
87	169	216.65	14.71	23.58
110	272	386.64	34.92	21.85
147	43	51.11	16.63	20.37
187	52	75.55	3.56	11.03
6	108	134.99	21.25	13.66
144	109	136.10	12.15	19.56
175	82	98.33	21.69	23.95
7	119	208.87	1.52	22.69
49	94	118.88	5.04	15.66
12	40	46.11	30.87	34.30
153	119	35.37	5.64	40.76
157	165	65.69	6.10	36.93
146	170	215.54	13.59	21.41
159	172	45.48	4.32	53.71

Comparação dos parâmetros de alcalinidade determinadas em campo e laboratório para a segunda campanha de amostragem

Poços	Alcalinidade Total (lab.) (mg/L)	Alcalinidade Total (campo) (mg/L)	% erro laboratório	% erro campo
96	78	25.86	28.75	7.47
176	103	39.06	20.34	2.62
200	50	14.60	18.69	5.40
118				
14	44	67.99	3.28	3.87
35	49	124.93	30.99	4.43
62	58	37.22	12.39	2.28
86	73	84.09	3.30	5.51
87	106	147.82	4.99	7.95
110	35	321.13	45.04	10.76
147	103	39.54	35.74	5.74
187	83	29.14	21.13	5.66
6	68	104.24	3.66	7.02
144	39	109.09	27.13	6.72
20	100	53.17	28.72	4.25
175	76	80.21	3.39	4.37
7	50	136.72	30.53	5.98
49	27	95.89	42.94	7.11
12	49	83.39	14.85	4.43
153	100	112.32	11.33	0.95
157				
146	62	169.75	29.79	5.39
159	132	222.70	21.47	3.29

ANEXO V. Confiabilidade dos resultados analíticos

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises da primeira campanha de amostragem, considerando a alcalinidade de laboratório

Poços <150 m	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	NH ₄ ⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Fe ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	Soma ânions	Soma cátions	% erro
96	0.54	0.001	0.17	0.08	0.20	0.40	0.0002	0.11	0.44	0.01	1.09	0.85	12.64
200	0.48	0.001	0.52	0.28	0.67	0.60	0.0002	0.68	1.47	0.00	2.62	2.07	11.82
118	0.46	0.001	0.40	0.20	0.80	2.14	0.0002	1.38	2.05	0.00	3.89	3.54	4.72
14	1.46	0.001	0.30	0.11	0.51	2.49	0.0009	1.83	0.73	0.06	4.08	3.41	8.92
35	2.24	0.001	1.96	0.03	0.15	0.45	0.0002	0.13	0.18	0.03	2.57	2.59	0.29
62	0.84	0.001	0.33	0.10	0.30	1.00	0.0002	0.51	0.60	0.00	1.95	1.74	5.60
86	1.64	0.001	0.43	0.07	0.53	1.80	0.0002	0.00	2.10	0.02	3.76	2.84	13.90
87	3.38	0.001	0.70	0.07	0.69	2.04	0.0002	0.70	0.58	0.05	4.71	3.50	14.71
110	5.44	0.001	7.52	0.12	2.14	4.64	0.0002	1.04	0.23	0.25	6.96	14.42	34.92
147	0.86	0.001	0.21	0.09	0.24	0.90	0.0002	0.23	0.92	0.01	2.01	1.44	16.63
187	1.04	0.001	0.28	0.15	0.63	1.65	0.0002	0.85	1.02	0.00	2.90	2.70	3.56
6	2.16	0.001	0.61	0.19	0.76	3.34	0.0002	0.39	0.63	0.00	3.18	4.90	21.25
144	2.18	0.001	0.32	0.06	0.56	1.65	0.0002	0.48	0.61	0.03	3.30	2.58	12.15
175	1.64	0.001	0.43	0.14	0.65	3.09	0.0002	1.75	3.29	0.01	6.69	4.31	21.69
7	2.38	0.001	0.39	0.06	0.57	1.90	0.0002	0.27	0.16	0.02	2.83	2.91	1.52
49	1.88	0.001	0.42	0.06	0.35	1.05	0.0002	0.08	0.11	0.00	2.08	1.88	5.04
Poços > 150m													
12	0.8	0.001	0.24	0.10	0.32	0.14	0.0093	0.21	0.52	0.00	1.53	0.81	30.87
153	2.38	0.001	1.96	0.01	0.13	0.29	0.0002	0.12	0.13	0.05	2.68	2.39	5.64
157	3.3	0.001	2.91	0.00	0.01	0.04	0.0002	0.04	0.01	0.00	3.35	2.97	6.10
146/0	3.4	0.001	0.74	0.08	0.40	2.74	0.0002	1.30	0.40	0.10	5.20	3.96	13.59
159	3.44	0.001	2.87	0.01	0.10	0.23	0.0002	0.04	0.01	0.01	3.50	3.21	4.32

13.90 Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%)

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises da primeira campanha de amostragem, considerando a alcalinidade de campo

Poços <150 m	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	NH ₄ ⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Fe ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	Soma ânions	Soma cátions	% erro
96	0.62	0.001	0.17	0.08	0.20	0.40	0.0002	0.11	0.44	0.01	1.17	0.85	16.19
200	0.44	0.001	0.52	0.28	0.67	0.60	0.0002	0.68	1.47	0.00	2.59	2.07	11.14
118	0.64	0.001	0.40	0.20	0.80	2.14	0.0002	1.38	2.05	0.00	4.08	3.54	7.02
14	1.13	0.001	0.30	0.11	0.51	2.49	0.0009	1.83	0.73	0.06	3.75	3.41	4.77
35	0.27	0.001	1.96	0.03	0.15	0.45	0.0002	0.13	0.18	0.03	0.64	2.59	61.35
62	0.94	0.001	0.33	0.10	0.30	1.00	0.0002	0.51	0.60	0.00	2.05	1.74	8.21
86	2.24	0.001	0.43	0.07	0.53	1.80	0.0002	0.00	2.10	0.02	4.36	2.84	21.13
87	4.33	0.001	0.70	0.07	0.69	2.04	0.0002	0.70	0.58	0.05	5.66	3.50	23.58
110	7.73	0.001	7.52	0.12	2.14	4.64	0.0002	1.04	0.23	0.25	9.25	14.42	21.85
147	1.02	0.001	0.21	0.09	0.24	0.90	0.0002	0.23	0.92	0.01	2.18	1.44	20.37
187	1.51	0.001	0.28	0.15	0.63	1.65	0.0002	0.85	1.02	0.00	3.37	2.70	11.03
6	2.70	0.001	0.61	0.19	0.76	3.34	0.0002	0.39	0.63	0.00	3.72	4.90	13.66
144	2.72	0.001	0.32	0.06	0.56	1.65	0.0002	0.48	0.61	0.03	3.84	2.58	19.56
175	1.97	0.001	0.43	0.14	0.65	3.09	0.0002	1.75	3.29	0.01	7.02	4.31	23.95
7	4.18	0.001	0.39	0.06	0.57	1.90	0.0002	0.27	0.16	0.02	4.62	2.91	22.69
49	2.38	0.001	0.42	0.06	0.35	1.05	0.0002	0.08	0.11	0.00	2.57	1.88	15.66
Poços > 150m													
12	0.92	0.001	0.24	0.10	0.32	0.14	0.0093	0.21	0.52	0.00	1.65	0.81	34.30
153	0.71	0.001	1.96	0.01	0.13	0.29	0.0002	0.12	0.13	0.05	1.01	2.39	40.76
157	1.31	0.001	2.91	0.00	0.01	0.04	0.0002	0.04	0.01	0.00	1.37	2.97	36.93
146/0	4.31	0.001	0.74	0.08	0.40	2.74	0.0002	1.30	0.40	0.10	6.11	3.96	21.41
159	0.91	0.001	2.87	0.01	0.10	0.23	0.0002	0.04	0.01	0.01	0.97	3.21	53.71

16.19 Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%)

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises da segunda campanha de amostragem, considerando a alcalinidade de laboratório

Poços <150 m	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	NH ₄ ⁺ (lab.) (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Fe ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	Soma cátions	Soma ânions	Soma cátions	Soma ânions	% erro
96	1.56	0.001	0.48	0.07	0.17	0.38	0.0001	0.09	0.34	0.0004	1.10	0.95	1.10	1.99	28.75
176	2.06	0.001	0.91	0.20	0.44	1.25	0.0001	1.04	1.03	0.0938	2.80	2.95	2.80	4.23	20.34
200	1	0.001	0.65	0.36	0.58	0.45	0.0001	0.73	1.26	0.0004	2.05	2.28	2.05	2.99	18.69
14	0.88	0.001	0.36	0.11	0.42	2.44	0.0001	1.41	0.71	0.1208	3.33	3.60	3.33	3.12	3.28
35	0.98	0.001	1.22	0.07	0.30	1.10	0.0001	0.16	0.23	0.0500	2.68	2.93	2.68	1.41	30.99
62	1.16	0.001	0.41	0.10	0.26	1.00	0.0001	0.56	0.53	0.0010	1.76	1.84	1.76	2.26	12.39
87	2.12	0.001	0.70	0.07	0.56	1.80	0.0001	0.28	0.42	0.0077	3.13	3.67	3.13	2.83	4.99
110	0.7	0.001	0.96	0.14	1.15	4.39	0.0001	1.10	0.26	0.4583	6.64	8.24	6.64	2.51	45.04
86	1.46	0.001	0.83	0.21	0.62	2.94	0.0001	1.61	1.79	0.0542	4.60	5.13	4.60	4.91	3.30
147	2.06	0.001	0.26	0.09	0.19	0.75	0.0001	0.15	0.50	0.0004	1.28	1.44	1.28	2.71	35.74
187	1.66	0.001	0.36	0.18	0.56	1.50	0.0001	1.15	1.16	0.0013	2.59	2.90	2.59	3.98	21.13
6/0	1.36	0.001	0.38	0.09	0.51	2.29	0.0001	0.68	1.00	0.0031	3.27	3.76	3.27	3.04	3.66
144	0.78	0.001	0.37	0.06	0.48	1.55	0.0001	0.28	0.32	0.0229	2.46	2.81	2.46	1.41	27.13
20	2	0.001	0.24	0.08	0.19	0.80	0.0001	0.13	0.23	0.0006	1.31	1.42	1.31	2.36	28.72
175/0	1.52	0.001	0.70	0.14	0.53	2.59	0.0001	1.04	1.68	0.0042	3.97	4.33	3.97	4.24	3.39
7	1	0.001	0.43	0.07	0.51	1.90	0.0001	0.31	0.19	0.0479	2.92	3.29	2.92	1.55	30.53
49	0.54	0.001	0.52	0.06	0.30	0.95	0.0001	0.07	0.11	0.0046	1.83	2.11	1.83	0.73	42.94
Poços >150 m															
12	0.98	0.001	0.91	0.07	0.22	0.75	0.0001	0.10	0.37	0.0050	1.96	2.14	1.96	1.45	14.85
153	2	0.001	2.22	0.01	0.10	0.31	0.0001	0.04	0.04	0.0146	2.64	2.59	2.64	2.10	11.33
146	1.24	0.001	0.74	0.08	0.35	2.59	0.0001	0.59	0.16	0.0417	3.76	4.19	3.76	2.03	29.79
159	2.64	0.001	2.26	0.04	0.50	1.50	0.0001	0.09	0.02	0.0250	4.30	4.60	4.30	2.78	21.47

21.47 Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%)

Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises da segunda campanha de amostragem, considerando a alcalinidade de campo

POÇOS <150m	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	NH ₄ ⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	Fe ²⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	Soma anions	Soma cátions	% erro
96	0.52	0.00	0.001	0.48	0.07	0.17	0.38	0.0001	0.09	0.34	0.0004	0.95	1.10	7.47
176	0.78	0.00	0.001	0.91	0.20	0.44	1.25	0.0001	1.04	1.03	0.0938	2.95	2.80	2.62
200	0.29	0.00	0.001	0.65	0.36	0.58	0.45	0.0001	0.73	1.26	0.0004	2.28	2.05	5.40
14	1.36	0.00	0.001	0.36	0.11	0.42	2.44	0.0001	1.41	0.71	0.1208	3.60	3.33	3.87
35	2.50	0.00	0.001	1.22	0.07	0.30	1.10	0.0001	0.16	0.23	0.0500	2.93	2.68	4.43
62	0.74	0.00	0.001	0.41	0.10	0.26	1.00	0.0001	0.56	0.53	0.0010	1.84	1.76	2.28
*86	1.68	0.00	0.001	0.83	0.21	0.62	2.94	0.0001	1.61	1.79	0.0542	5.13	4.60	5.51
87	2.96	0.00	0.001	0.70	0.07	0.56	1.80	0.0001	0.28	0.42	0.0077	3.67	3.13	7.95
*110	6.42	0.00	0.001	0.96	0.14	1.15	4.39	0.0001	1.10	0.26	0.4583	8.24	6.64	10.76
147	0.79	0.00	0.001	0.26	0.09	0.19	0.75	0.0001	0.15	0.50	0.0004	1.44	1.28	5.74
187	0.58	0.00	0.001	0.36	0.18	0.56	1.50	0.0001	1.15	1.16	0.0013	2.90	2.59	5.66
6	2.08	0.00	0.001	0.38	0.09	0.51	2.29	0.0001	0.68	1.00	0.0031	3.76	3.27	7.02
144	2.18	0.00	0.001	0.37	0.06	0.48	1.55	0.0001	0.28	0.32	0.0229	2.81	2.46	6.72
20	1.06	0.00	0.001	0.24	0.08	0.19	0.80	0.0001	0.13	0.23	0.0006	1.42	1.31	4.25
175	1.60	0.00	0.001	0.70	0.14	0.53	2.59	0.0001	1.04	1.68	0.0042	4.33	3.97	4.37
7	2.73	0.00	0.001	0.43	0.07	0.51	1.90	0.0001	0.31	0.19	0.0479	3.29	2.92	5.98
49	1.92	0.00	0.001	0.52	0.06	0.30	0.95	0.0001	0.07	0.11	0.0046	2.11	1.83	7.11
POÇOS >150m														
12	1.67	0.00	0.001	0.91	0.07	0.22	0.75	0.0001	0.10	0.37	0.0050	2.14	1.96	4.43
153	2.25	0.24	0.001	2.22	0.01	0.10	0.31	0.0001	0.04	0.04	0.0146	2.59	2.64	0.95
146	3.39	0.00	0.001	0.74	0.08	0.35	2.59	0.0001	0.59	0.16	0.0417	4.19	3.76	5.39
159	4.45	0.00	0.001	2.26	0.04	0.50	1.50	0.0001	0.09	0.02	0.0250	4.60	4.30	3.29

10.76 Valores superiores ao erro máximo permitido (>10%)

Resultados das análises dos poços em amostras duplicatas

Primeira campanha de amostragem, dezembro 2009

Poços	STD (mg/L)	COD (mg/L)	Alcalinidade Total (lab.) (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Nit Org (mg/L)	Nit Total (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
157	331	0.5	165	201.3	0.02	0.02	0.12	67	0.096	0.086	0.88	0.005	21	1.4	0.02	0.55	0.23
157-1	331	0.5	163	198.86	0.02	0.02	0.08	65	0.095	0.084	0.89	0.005	21	1.3	0.02	0.37	0.24
175		0.5	82	100.04	0.02	0.02	46	9.8	5.3	7.9	62	0.005	31	62	0.02	204	0.67
175-1		0.5	49	59.78	0.02	0.02	44	9.9	5.2	7.9	58	0.005	31	60	0.02	195	0.54

Nit. Org= Nitrogênio orgânico; Nit Total=Nitrogênio Total

Segunda campanha de amostragem, junho-julho 2010

Poços	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Nitr Orgânico (mg/L)	Nitr Total (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (lab.) (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
86	0.02	0.02	25.07	19	8.2	7.5	59	0.005	45	57	0.02	111	2.6
486	0.02	0.02	0.02	52	0.28	0.61	4.1	0.005	37	3.3	0.02	3.9	0.52
110	0.02	0.02	3.61	22	5.4	14	88	0.005	88	39	0.02	16	22
310	0.02	0.02	3.39	23	5.5	14	89	0.005	88	39	0.02	15	22

Nit. Org= Nitrogênio orgânico; Nit Total=Nitrogênio Total

ANEXO VI. Análises químicas de nitrato preexistentes

Análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009. Zona Centro

Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
65	vila foglia	120	31/10/2005	2.00	8.86
80	vila formosa	60	15/12/2005	8.70	38.54
188	vila marcondes	24	24/11/2005	26.41	117.00
Mín.				2.00	8.86
Máx.				26.41	117.00
Média				12.37	54.80
D. P.				12.61	55.87
71	jardim paulistano	120	13/06/2006	6.46	28.62
171	fila furquim	80	14/03/2006	23.90	105.88
142	vila furquim	70	06/02/2006	6.82	30.21
Mín.				6.46	28.62
Máx.				23.90	105.88
Média				12.39	54.90
D.P				9.97	44.15
50	centro	150	04/07/2007	10.70	47.40
93	centro, vila são jorge	150	11/04/2007	6.87	10.5
177	jardim santa helena	130	14/08/2007	22.00	97.46
175	vila marcondes	120	13/04/2007	24.40	108.09
187	vila industrial	118	06/02/2007	12.92	57.24
6	vila são jorge	100	03/04/2007	9.11	40.34
86	vila nova	100	22/02/2007	22.00	97.46
138	centro	80	10/04/2007	20.50	90.82
192	vila brasil	80	27/03/2007	5.36	12.14
15	bosque	70	22/02/2007	22.00	97.46
15	bosque	70	16/04/2007	21.71	96.18
129	vila formosa	60	16/08/2007	15.72	69.64
Mín.				5.36	10.50
Máx.				24.40	108.09
Média				16.11	68.73
D. P.				6.83	34.71
196	vila industrial	152	24/07/2008	31.80	140.87
10	jdm paulistano	100	30/09/2008	2.62	11.61
86	vila nova	100	14/06/2008	1	4.43
118	vila industrial	70	04/08/2008	36.80	163.02
130	vila formosa	80	31/01/2008	7.33	32.47
Mín.				1.00	4.43
Máx.				36.80	163.02
Média				11.94	70.48
D. P.				16.79	75.49
6	vila são jorge	110	23/12/2009	8.80361	39.0
187	vila industrial	108	23/12/2009	14.22	63
86	vila nova	100	23/12/2009	29.35	130.0
110	trevo rodoviário	100	23/12/2009	3.16	14
171	fila furquim	80	30/01/2009	33.03	146.32
118	vila industrial	70	23/12/2009	28.67	127
80	vila formosa	60	26/01/2009	8.69	38.50
Mín.				3.16	14.00
Máx.				33.03	146.32
Média				17.99	79.69
D. P.				12.07	53.47

Mín.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão. 127=valores de concentrações máximas acima do limite permitido; 38.50= valores entre 23 e 45 mg/L de nitrato

Análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009. Zona Sudeste

Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
12	parque damha I	200	18/11/2005	6.00	26.58
13	parque damha II	110	30/11/2005	1.00	4.43
Min.				1.00	4.43
Máx.				6.00	26.58
Média				2.83	12.55
D. P.				2.75	12.20
Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
12	jd alto de boa vista	200	05/07/2006	0.09	0.41
12	jd alto de boa vista	200	05/07/2006	0.35	1.57
105	vila nova prudente	180	05/07/2006	1.42	6.30
105	vila nova prudente	180	05/07/2006	1.41	6.23
105	vila nova prudente	180	05/07/2006	1.50	6.65
13	parque damha II	110	30/03/2006	2.01	8.90
69	parque damha I	80	24/05/2006	15.86	70.26
Min.				0.00	0.01
Máx.				15.86	70.26
Média				2.83	12.54
D. P.				5.32	23.55
Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
16	residencial anita tiezzi	120	17/01/2007	0.05	0.22
75	parque damha I	100	11/01/2007	2.99	13.25
79	parque damha I	100	11/01/2007	6.18	27.36
81	parque damha I	100	11/01/2007	3.22	14.26
Min.				0.05	0.22
Máx.				7.93	35.13
Média				4.07	18.05
D. P.				3.06	13.54
Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
13	parque damha II	110	22/07/2008	2.73	12.09
13	parque damha II	110	22/07/2008	4.32	19.12
Min.				2.73	12.09
Máx.				4.32	19.12
Média				3.49	15.47
D. P.				0.80	3.52
12	parque damha I	200	23/12/2009	7.22	32

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão. 127=valores de concentrações máximas acima do limite permitido; 38.50= valores entre 23 e 45 mg/L de nitrato

Análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009. Zona Oeste

Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
28	jd santa eliza	130	06/03/2005	0.51	2.26
29	jd santa eliza	130	06/03/2005	0.79	3.50
30	jd santa eliza	130	06/03/2005	0.37	1.64
26	jd santa eliza	120	11/03/2005	1.4	6.20
119	pq. servantes 2	100	03/11/2005	3.4	15.06
119	pq. servantes 3	100	25/11/2005	5	22.15
101	bosque	90	16/08/2005	1.6	7.09
Mín.				0.37	1.64
Máx.				5.00	22.15
Média				1.87	8.27
D. P.				1.72	7.61
134	jd das rosas	150	09/08/2006	1.5	6.65
134	jd das rosas	150	05/09/2006	1.1	4.87
144	centro-oeste	116.5	09/03/2006	5.9	26.14
Mín.				1.10	4.87
Máx.				5.90	26.14
Média				2.83	12.55
D. P.				2.66	11.80
198	jd cica	250	16/11/2007	0.36	1.59
117	jd são luiz	160	22/08/2007	0.42	1.86
15	Jd Satélite	164	21/08/2007	0.42	1.86
91	jd icaray	125	05/07/2007	0.01	0.04
20	jd maracanã	120	13/02/2007	10.07	44.61
20	jd maracanã	120	19/09/2007	13.05	57.81
147	pq. carandá	102	20/06/2007	0.1	0.44
119	pq.servantes 2	100	27/06/2007	4.92	21.83
90	jd cinquentenário	90	19/06/2007	5.36	22.78
124	centro	72	08/08/2007	1.04	4.62
9	jd cambuhy	60	10/01/2007	0.05	0.22
170	jd santa fe	60	10/01/2007	2.36	10.45
139	jd cambuy	56	22/06/2007	4.44	19.71
Mín.				0.01	0.04
Máx.				13.05	57.81
Média				3.28	14.53
D. P.				4.20	18.62
145	jd das rosas	195	01/02/2008	0.42	1.86
151	jd maracana	130	17/06/2008	2.92	12.94
20	jd maracana	120	14/08/2008	3.0	13.29
131	pq. cedraí	110	20/10/2008	2.3	10.19
76	jd são luiz	101	23/07/2008	0.919	4.07
Mín.				0.42	1.86
Máx.				13.05	13.29
Média				1.91	8.47
D. P.				1.18	5.22
144	centro-oeste	117	23/12/2009	8.58	38
147	pq. carandá	102	23/12/2009	12.87	57
119	pq servantes 2	100	22/01/2009	4.90	21.71
35	centro-oeste	100	23/12/2009	2.48	11
Mín.				2.48	11
Máx.				12.86	57
Média				7.21	31.93
D. P.				4.53	20.07

Mín.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão. 127=valores de concentrações máximas acima do limite permitido; 38-50= valores entre 23 e 45 mg/L de nitrato

Análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009. Zona Nordeste

Poço	Bairro	Prof. (m)	Data análise	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
39	novoeste	120	07/11/2006	3.44	15.22
57	novoeste	120	07/10/2006	4.12	18.24
78	novoeste	115	11/10/2006	6.30	27.89
112	novoeste	100	11/10/2006	2.09	9.26
136	novoeste	100	16/08/2006	2.84	12.58
149	novoeste	100	23/08/2006	1.80	7.97
108	novoeste	80	17/08/2006	1.15	5.09
Min.				1.15	5.09
Máx.				6.30	27.89
Média				3.10	13.75
D. P.				1.73	7.66
52	novoeste	150	06/05/2008	2.76	12.24

Mín.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão. 127=valores de concentrações máximas acima do limite permitido; 38 50= valores entre 23 e 45 mg/L de nitrato

ANEXO VII. Análises químicas separadas por zonas

Resultados das análises químicas dos poços amostrados dezembro 2009 e junho-julho 2011. Zona Centro

Poço	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	Q (m ³ /h)	Prof. (m)
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (µS/cm)	CE (µS/cm)	Na ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		
118	127		451.0		9.2		7.7		9.7		43.0	52.0	49.0	21.0	0.2	2.0	1.44	70
110	14	16.0	750.0	701.0	173.0	22.0	4.8	5.4	26.0	14.0	93.0	88.0	37.0	39.0	12.0	14.0		100
62	37	33.0	291.3	198.3	7.6	9.4	4.1	3.8	3.7	3.1	20.0	20.0	18.0	20.0	0.1	0.1	5	100
86	130	111.0	577.0	584.0	10.0	19.0	2.9	8.2	6.5	7.5	36.0	59.0	0.02	57.0	1.0	0.1	3.6	100
187	63	72.0	352.0	368.0	6.5	8.2	5.8	6.9	7.6	6.8	33.0	30.0	30.0	41.0	0.1	4.5	5.1	108
6	39	51.0	314.0	417.0	14.0	9.9	7.6	3.3	9.2	6.1	67.0	41.3	14.0	20.3	0.1	0.1	6	110
175	204	104.0	488.0	496.0	9.8	16.0	5.3	5.5	7.9	6.5	62.0	52.0	62.0	37.0	0.7	0.2	10	120
49	6.8	7.1	205.0	184.4	9.7	12.0	2.4	2.4	4.2	3.6	21.0	19.0	3.0	2.5	0.1	2.6	4.5	132
146	25	10.0	402.0	370.0	17.0	17.0	3.1	3.2	4.8	4.2	55.0	52.0	46.0	21.0	5.0	0.2	15	250
176		64.0		332.0		21.0		7.9		5.3		25.0				0.2	3.6	132
Mín.	6.80	7.10	205.00	184.40	6.50	8.20	2.40	2.40	3.70	3.10	20.00	19.00	0.02	2.50	0.06	0.05	1.44	70
Máx.	204.00	111.00	750.00	701.00	173.00	22.00	7.70	8.20	26.00	14.00	93.00	88.00	62.00	57.00	12.00	14.00	15.00	250
Média	71.76	52.01	425.59	405.63	28.53	14.94	4.86	5.18	8.84	6.34	47.78	43.83	28.78	28.76	2.13	2.40		
D.P	67.11	39.00	165.01	168.59	54.27	5.23	1.94	2.14	6.78	3.24	23.82	21.39	21.52	16.12	4.03	4.34		
C. V.	0.94	0.75	0.39	0.42	1.90	0.35	0.40	0.41	0.77	0.51	0.50	0.49	0.75	0.56	1.89	1.81		

Mín.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão.

Resultados das análises químicas dos poços amostrados dezembro 2009 e junho-julho 2011. Zona Oeste

Poço	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	Q (m ³ /h)	Prof. (m)
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	CE (μS/cm)	Na ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		
35	11	14	255	281	45	28	1.1	2.8	1.8	3.6	9.1	22	4.6	14	1.26	2.4	2.93	100
87	36	26	361	359	16	16	2.7	2.9	8.4	6.8	41	36	25	26	2.2	0.37	3	100
147	57	31	167.8	149.1	4.9	5.9	3.5	3.4	2.9	2.3	18	15	8	31	0.49	0.02	12	102
144	38	20	291	260	7.3	8.5	2.3	2.4	6.8	5.8	33	31	17	20	1.23	1.1	3	116.5
7	10	12	304	288	8.9	10	2.4	2.9	6.9	6.2	38	38	9.5	12	0.8	2.3	4.9	124
159	0.65	1.5	328	369	66	52	0.29	1.7	1.2	6.1	4.6	30	1.4	1.5	0.29	1.2	43	272
Min.	0.65	1.50	167.80	149.10	4.90	5.90	0.29	1.70	1.20	2.30	4.60	15.00	1.40	1.50	0.29	0.02	2.93	100
Máx.	57.00	31.00	361.00	369.00	66.00	52.00	3.50	3.40	8.40	6.80	41.00	38.00	25.00	31.00	2.20	2.40	43.00	272
Média	25.44	17.42	284.47	284.35	24.68	20.07	2.05	2.68	4.67	5.13	23.95	28.67	10.92	17.42	1.05	1.23		
D.P	21.57	10.58	67.31	79.56	25.05	17.52	1.16	0.58	3.06	1.77	15.49	8.71	8.68	10.58	0.69	0.97		
C.V.	0.85	0.61	0.24	0.28	1.01	0.87	0.57	0.22	0.66	0.34	0.65	0.30	0.79	0.61	0.66	0.79		

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão

Resultados das análises químicas dos poços amostrados dezembro 2009 e junho-julho 2011. Zona Sudeste

Poços	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	Q (m ³ /h)	Prof. (m)
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	CE (μS/cm)	Na ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		
96	27	21	110.5	101.1	3.8	11	3.1	2.8	2.4	2.1	8.1	7.6	3.8	3.3	0.48	0.02	3.6	60
12	32	23	151.5	218	5.5	21	3.8	2.9	3.9	2.7	2.8	15	7.4	3.4	0.18	0.24	6	200
Mín.	27.00	21.00	110.50	101.10	3.80	11.00	3.10	2.80	2.40	2.10	2.80	7.60	3.80	3.30	0.18	0.02	3.60	60
Máx.	32.00	23.00	151.50	218.00	5.50	21.00	3.80	2.90	3.90	2.70	8.10	15.00	7.40	3.40	0.48	0.24	6.00	200
Média	29.50	22.00	131.00	159.55	4.65	16.00	3.45	2.85	3.15	2.40	5.45	11.30	5.60	3.35	0.33	0.13		
D.P	3.54	1.41	28.99	82.66	1.20	7.07	0.49	0.07	1.06	0.42	3.75	5.23	2.55	0.07	0.21	0.16		
C.V.	0.12	0.06	0.22	0.52	0.26	0.44	0.14	0.02	0.34	0.18	0.69	0.46	0.45	0.02	0.64	1.20		

Resultados das análises químicas dos poços amostrados dezembro 2009 e junho-julho 2011. Zona Nordeste

Poço	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	Q (m ³ /h)	Prof. (m)
	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	CE (μS/cm)	CE (μS/cm)	Na ⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		
200	91	78	280	300	12	15	11	14	8.1	7.1	12	9.1	24	26	0.02	0.02	1.8	68
14	45	44	381	348	6.8	8.2	4.2	4.3	6.2	5.1	50	49	65	50	2.9	5.8	6	78
153	7.8	2.7	254	222	45	51	0.38	0.43	1.6	1.2	5.9	6.2	4.4	1.5	2.4	0.7	11.92	217.5
Mín.	7.80	2.70	254.00	222.00	6.80	8.20	0.38	0.43	1.60	1.20	5.90	6.20	4.40	1.50	0.02	0.02	1.80	68
Máx.	91.00	78.00	381.00	348.00	45.00	51.00	11.00	14.00	8.10	7.10	50.00	49.00	65.00	50.00	2.90	5.80	11.92	218
Média	47.93	41.57	305.00	290.00	21.27	24.73	5.19	6.24	5.30	4.47	22.63	21.43	31.13	25.83	1.77	2.17		
D.P	41.68	37.71	67.09	63.59	20.72	23.00	5.38	6.99	3.34	3.00	23.90	23.92	30.92	24.25	1.54	3.16		
C.V.	0.87	0.91	0.22	0.22	0.97	0.93	1.04	1.12	0.63	0.67	1.06	1.12	0.99	0.94	0.87	1.45		

ANEXO VIII. Cálculo semiquantativo da concentração de nitrato

Cálculo semiquantitativo a partir dos poços amostrados nas duas campanhas de amostragem.

Poço	Prof (m)	Malha urbana	ocup. (hab/ha)	NO ₃ ⁻ (2009)	NO ₃ ⁻ (2010)	Cu NO ₃ ⁻ (mg/L)	a (Kg/ cap/a)	A (hab/ha)	fu	U (L/cap/d)	I mm/a	Zona
176	60	1980	160		64	73.07	4	160	0.3	150	300	CENTRO
118	70	1960	160	127		146.14	4	160	0.6	150	300	
6	100	2004	160	38	62	73.07	4	160	0.3	150	300	
62	100	1950	160	37	33	36.54	2	160	0.3	150	300	
86	100	1930	160	130	111	114.48	4	160	0.47	150	300	
110	100	2004	160	14	16	19.75	2	84	0.2	150	300	
187	118	1960	160	63	72	73.07	4	160	0.3	150	300	
175	120	1930	160	204	104	146.14	4	160	0.6	150	300	
49	132	1950	160	6.8	7.1	19.75	2	84	0.2	150	300	
146	250	1970	84	25	10	29.63	2	84	0.3	150	300	
200	68	1990	20	91	78	59.25	4	84	0.3	150	300	NORD.
14	78	1980	84	45	44	59.25	4	84	0.3	150	300	
153	218	2004	20	7.8	2.7	8.69	2	20	0.2	150	300	SUD.
96	60	1990	84	27	21	29.63	3	84	0.2	150	300	
12	200	2004	20	32	23	23.45	4	20	0.27	150	300	OESTE
35	100	1980	20	11	14	17.37	4	20	0.2	150	300	
87	100	1970	84	36	26	42.96	3	84	0.29	150	300	
144	117	2004	20	38	20	21.72	4	20	0.25	150	300	
20	120	1990	20		14	17.37	4	20	0.2	150	300	
7	124	1980	20	10	12	13.03	3	20	0.2	150	300	
157	241	1990	20	0.55		8.69	2	20	0.2	150	300	
159	272	1990	20	0.65	1.5	8.69	2	20	0.2	150	300	

73.07 valores superiores ao limite de potabilidade de nitrato (>45 mg/L); 36.54 valores entre 23-45 mg/L; 8.69 valores < a 23 mg/L de nitrato

Cálculo semiquantitativo a partir dos poços com análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009.

Poço	Prof. (m)	Malha urbana	Ocup. (hab/ha)	Rede de esgoto	NO ₃ ⁻ média (mg/L)	Cu NO ₃ ⁻ (mg/L)	a (Kg/cap/a)	A (hab/ha)	fu	U (L/cap/d)	I (mm/a)	Zona	
188	24	1950	84	1990	117.00	118.51	4	84	0.6	150	300	CENTRO	
80	60	2004	20	2006	38.54	44.44	3	84	0.3	150	300		
142	70	1970	160	1990	30.21	44.44	3	84	0.3	150	300		
15	70	1960	160	1990	96.82	97.43	4	160	0.4	150	300		
171	80	1960	160	1990	105.88	146.14	4	160	0.6	150	300		
138	80	1930	160	1990	90.82	97.43	4	160	0.4	150	300		
192	80	2004	160	1990	12.14	19.75	2	84	0.2	150	300		
130	80	1980	20		32.47	44.44	3	84	0.3	150	300		
100	80	1960	160	1990	97.46	121.79	4	160	0.5	150	300		
169	90	1960	160	1990	93.03	97.43	4	160	0.4	150	300		
10	100	2004	160	1990	11.61	29.63	2	84	0.3	150	300		
65	120	1960	160	1990	8.86	19.75	2	84	0.2	150	300		
71	120	1960	160	1990	28.62	44.44	3	84	0.3	150	300		
177	130	1970	84	1990	97.46	98.76	4	84	0.5	150	300		
50	150	1960	84	1990	47.40	59.25	4	84	0.3	150	300		
93	150	2004	160	1990	10.50	19.75	2	84	0.2	150	300		
196	152	1960	160	1990	140.87	146.14	4	160	0.6	150	300		
108	80	2004	20		5.09	8.69	2	20	0.2	150	300		NORDESTE
112	100	2004	20		9.26	13.03	3	20	0.2	150	300		
136	100	2004	20		12.58	13.03	3	20	0.2	150	300		
149	100	2004	20		7.97	8.69	2	20	0.2	150	300		
112	100	2004	20		9.26	13.03	3	20	0.2	150	300		
78	115	2004	20		27.89	29.63	3	84	0.2	150	300		
57	120	2004	20		18.24	19.75	2	84	0.2	150	300		
39	120	2004	20		15.22	19.54	3	20	0.3	150	300		
52	150	2004	20		12.24	13.03	3	20	0.2	150	300		
164	199	1980	20		0.66	8.69	2	20	0.2	150	300		
160	206	1980	20		15.06	19.54	3	20	0.3	150	300		

97.43= valores superiores ao limite de potabilidade de nitrato (>45 mg/L); 44.4= valores entre 23-45 mg/L; 8.69= valores

< a 23 mg/L de nitrato

Continuação.....

Cálculo semiquantitativo a partir dos poços com análises químicas preexistentes no período compreendido entre 2005-2009.

Poço	Prof. (m)	Malha urbana	Ocup. (hab/ha)	Rede de esgoto	NO ₃ ⁻ média (mg/L)	Cu NO ₃ ⁻ (mg/L)	a (Kg/cap/a)	A (hab/ha)	fu	U (L/cap/d)	i (mm/a)	Zona
139	56	1990	20	1990	19.71	21.72	4	20	0.25	150	300	OESTE
170	60	2004	20		8.31	8.69	2	20	0.2	150	300	
9	60	1990	20	1990	6.76	8.69	2	20	0.2	150	300	
124	72	1980	84	1990	4.62	8.69	2	20	0.2	150	300	
193	85	1990	20		1.44	8.69	2	20	0.2	150	300	
90	90	1990	20	1990	17.43	21.72	4	20	0.25	150	300	
101	90	1990	84	2006	7.09	8.69	2	20	0.2	150	300	
76	100	2004	20		3.54	8.69	2	20	0.2	150	300	
119	100	2004	20		18.75	19.98	4	20	0.23	150	300	
131	110	1990	20	2006	10.19	13.03	3	20	0.2	150	300	
24	120	2004	20	2006	2.22	8.69	2	20	0.2	150	300	
26	120	2004	20		6.20	8.69	2	20	0.2	150	300	
91	125	1990	84	1990	0.04	8.69	2	20	0.2	150	300	
28	130	2004	20		2.26	8.69	2	20	0.2	150	300	
29	130	2004	20		3.50	8.69	2	20	0.2	150	300	
30	130	2004	20		1.64	8.69	2	20	0.2	150	300	
134	150	1980	84	1990	4.77	8.69	2	20	0.2	150	300	
61	150	2004	20	2006	7.66	8.69	2	20	0.2	150	300	
53	150	1990	84	2006	4.43	8.69	2	20	0.2	150	300	
117	160	2004	20		1.86	8.69	2	20	0.2	150	300	
15	164	1960	160	1990	1.86	8.69	2	20	0.2	150	300	
145	195	1960	84	1990	1.86	19.75	2	84	0.2	150	300	
97	242	2004	20	2006	4.21	8.69	2	20	0.2	150	300	
109	48	2004	84		8.42	8.69	2	20	0.2	150	300	
135	60	2004	20		10.19	13.03	2	20	0.3	150	300	
102	63	2004	20		13.29	19.75	2	84	0.2	150	300	
83	80	2004	20		16.39	17.37	4	20	0.2	150	300	
69	80	2004	20		70.26	79.01	4	84	0.4	150	300	
83	80	2004	84		16.39	19.75	2	84	0.2	150	300	
111	100	2004	84		19.05	19.75	2	84	0.2	150	300	
34	100	2004	84		8.86	13.03	2	20	0.3	150	300	
75	100	2004	84		13.25	19.75	2	84	0.2	150	300	
79	100	1990	20		27.36	44.44	3	84	0.3	150	300	
81	100	2004	20		14.26	19.54	3	20	0.3	150	300	
13	110	2004	84		11.14	19.75	2	84	0.2	150	300	
16	120	2004	20		11.08	13.03	2	20	0.3	150	300	
137	150	1990	84	1990	15.19	19.54	3	20	0.3	150	300	
8	160	1990	84	1990	6.65	8.69	2	20	0.2	150	300	
105	180	2004	20		6.39	8.69	2	20	0.2	150	300	

70.26 valores superiores ao limite de potabilidade de nitrato (>45 mg/L); 44.4 valores entre 23-45 mg/L; 8.69 valores < a

23 mg/L de nitrato

ANEXO IX. Perímetro de proteção dos poços

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de RFC para os poços rasos amostrados.

Poço	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	b	n _{ef}	k (m/h)	i	r
96	60	3,6	25	0,15	0,7	0,019	19,15
200	68	1,8	42	0,15	0,7	0,019	10,45
118	70	1,44	36	0,15	0,7	0,019	10,09
14	78	6	49	0,15	0,7	0,019	17,66
35	100	2,93	77	0,15	0,7	0,019	9,84
87	100	3	72	0,15	0,7	0,019	10,30
110	100	3,2	80	0,15	0,7	0,019	10,09
147	102	12	42	0,15	0,7	0,019	26,97
62	100	5	56	0,15	0,7	0,019	15,08
86	100	3,6	45	0,15	0,7	0,019	14,27
6	110	6	74	0,15	0,7	0,019	14,37
144	116,5	3	51	0,15	0,7	0,019	12,24
49	132	4,5	70	0,15	0,7	0,019	12,79
20	120	3	60	0,15	0,7	0,019	11,28
7	124	4,9	96	0,15	0,7	0,019	11,40
176	132	3,6	97	0,15	0,7	0,019	9,72
175	120	10	90	0,15	0,7	0,019	10,30
Min.	60	1,44	25				9,72
Máx.	132	12,00	97				26,97
Média	101	4,56	62				13,30
D.P	22,39	2,75	22				4,51

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão.

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de RFC para os poços profundos amostrados.

Poço	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	b	n _{ef}	k (m/h)	i	r
12	200	6	155	0,15	0,7	0,019	9,93
146	250	15	139	0,15	0,7	0,019	16,58
153	217,5	11,92	167	0,15	0,7	0,019	13,48
157	241	60	167	0,15	0,7	0,019	30,25
159	272	43	185	0,15	0,7	0,019	24,33
158	241	30,47	181	0,15	0,7	0,019	20,70
Min.	60	1,44	25				9,72
Máx.	132	12,00	97				26,97
Média	101	4,56	62				13,30
D.P	22,39	2,75	22				4,51

Min.- Valor mínimo; Máx.- Valor máximo; D. P.- Desvio Padrão.

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de Wyssling para os poços rasos amostrados.

Poços rasos	96	200	118	14	35	87	110	147	62	86	6	144	49	20	7	176	175
Q(m ³ /h)	3,6	1,8	1,44	6	2,93	3	3,2	12	5	3,6	6	3	4,5	3	4,9	3,6	10
Q(m ³ /d)	86,40	43,20	34,56	144,00	70,32	72,00	76,80	288,00	120,00	86,40	144,00	72,00	108,00	72,00	117,60	86,40	240,00
i	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K(m/d)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
b(m)	25	42	36	49	77	72	80	42	56	45	74	51	70	60	96	97	90
n _e	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
B(m)	259,85	77,34	72,18	220,96	68,67	75,19	72,18	515,57	161,12	144,36	146,31	106,15	116,00	90,23	92,11	66,97	200,50
B'(m)	129,92	38,67	36,09	110,48	34,33	37,59	36,09	257,79	80,56	72,18	73,16	53,07	58,00	45,11	46,05	33,49	100,25
Xo(m)	41,36	12,31	11,49	35,17	10,93	11,97	11,49	82,06	25,64	22,98	23,29	16,89	18,46	14,36	14,66	10,66	31,91
Ve(m/d)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
t(dias)	50,00	51,00	52,00	53,00	54,00	55,00	56,00	57,00	58,00	59,00	60,00	61,00	62,00	63,00	64,00	65,00	66,00
l(m)	4,43	4,52	4,61	4,70	4,79	4,88	4,97	5,05	5,14	5,23	5,32	5,41	5,50	5,59	5,67	5,76	5,85
So(m)	21,49	13,05	12,85	20,68	12,90	13,51	13,45	31,44	19,01	18,34	18,62	16,49	17,26	15,76	16,04	14,33	22,47
Su(m)	17,06	8,53	8,24	15,98	8,11	8,64	8,48	26,38	13,87	13,11	13,30	11,08	11,76	10,18	10,37	8,57	16,62

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de Wyssling para os poços profundos amostrados.

Poços profundos	12	146	153	157	159
Q(m ³ /h)	6,00	15,00	11,92	60,00	43,00
Q(m ³ /d)	144,00	360,00	286,08	1440,00	1032,00
i	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
K(m/d)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
b(m)	155,00	138,65	166,50	167,00	184,61
ne	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
B(m)	69,85	195,22	129,19	648,33	420,31
B'(m)	34,93	97,61	64,59	324,16	210,16
Xo(m)	11,12	31,07	20,56	103,19	66,90
Ve(m/d)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
t(dias)	50,00	51,00	52,00	53,00	54,00
l(m)	4,43	4,52	4,61	4,70	4,79
So(m)	12,39	19,18	16,27	33,58	27,82
Su(m)	7,96	14,65	11,66	28,88	23,03

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de RFC e Wyssling para os poços rasos na área urbana de Presidente Prudente.

Poço	Q (m ³ /h)	b	n _{ef}	k (m/h)	i	r	So(m)	Su(m)
42	1,80	14,58	0,15	0,7	0,02	17,73	20,09	15,65
109	1,60	30	0,15	0,7	0,02	11,65	14,08	9,65
127	2,10	26	0,15	0,7	0,02	14,34	16,73	12,30
139	2,60	26	0,15	0,7	0,02	15,96	18,33	13,89
9	2,80	30	0,15	0,7	0,02	15,42	17,79	13,36
21	1,60	33	0,15	0,7	0,02	11,11	13,55	9,11
48	3,60	24	0,15	0,7	0,02	19,54	21,89	17,45
80	3,60	27	0,15	0,7	0,02	18,43	20,78	16,34
95	0,62	23,35	0,15	0,7	0,02	8,22	10,73	6,30
126	2,60	30	0,15	0,7	0,02	14,86	17,24	12,80
135	9,00	54	0,15	0,7	0,02	20,60	22,94	18,50
170	1,60	33	0,15	0,7	0,02	11,11	13,55	9,11
173	3,00	30	0,15	0,7	0,02	15,96	18,33	13,89
102	3,50	48	0,15	0,7	0,02	13,63	16,02	11,59
15	14,50	48	0,15	0,7	0,02	27,74	30,04	25,61
142	3,00	35	0,15	0,7	0,02	14,77	17,16	12,72
124	3,60	60	0,15	0,7	0,02	12,36	14,77	10,34
66	5,70	56	0,15	0,7	0,02	16,10	17,93	13,49
69	3,00	52	0,15	0,7	0,02	12,12	13,72	9,28
74	4,00	46	0,15	0,7	0,02	14,88	15,43	11,00
83	0,90	68	0,15	0,7	0,02	5,81	8,78	4,35
94	3,80	74	0,15	0,7	0,02	11,44	15,11	10,68
100	8,00	58	0,15	0,7	0,02	18,74	20,78	16,34
103	5,00	60	0,15	0,7	0,02	14,57	16,95	12,52
108	1,70	36	0,15	0,7	0,02	10,97	11,00	6,56
128	4,80	41	0,15	0,7	0,02	17,27	16,66	12,23
130	5,00	53,02	0,15	0,7	0,02	15,50	16,95	12,52
138	1,20	42,88	0,15	0,7	0,02	8,44	9,69	5,26
171	4,00	46	0,15	0,7	0,02	14,88	15,43	11,00
192	4,80	44	0,15	0,7	0,02	16,67	16,66	12,23
18	4,00	47	0,15	0,7	0,02	14,72	15,43	11,00
31	1,80	60	0,15	0,7	0,02	8,74	11,23	6,80
193	4,80	36	0,15	0,7	0,02	18,43	16,66	12,23
25	2,60	49	0,15	0,7	0,02	11,62	12,95	8,52
90	3,00	62	0,15	0,7	0,02	11,10	13,72	9,28
101	5,60	62	0,15	0,7	0,02	15,17	17,79	13,36
169	2,50	62	0,15	0,7	0,02	10,13	12,75	8,32
10	3,86	60,38	0,15	0,7	0,02	12,76	15,21	10,77
23	3,00	68	0,15	0,7	0,02	10,60	13,72	9,28
34	3,60	82	0,15	0,7	0,02	10,57	14,77	10,34
37	3,00	45	0,15	0,7	0,02	13,03	13,72	9,28

Continuação...

Poço	Q (m ³ /h)	b	n _{ef}	k (m/h)	i	r	So(m)	Su(m)
75	2,70	87	0,15	0,7	0,02	8,89	13,15	8,72
76	5,00	64	0,15	0,7	0,02	14,10	16,95	12,52
79	2,80	89	0,15	0,7	0,02	8,95	13,34	8,91
81	2,90	84	0,15	0,7	0,02	9,38	13,53	9,10
98	3,00	64	0,15	0,7	0,02	10,93	13,72	9,28
111	2,80	56	0,15	0,7	0,02	11,28	13,34	8,91
112	3,10	56	0,15	0,7	0,02	11,87	13,90	9,47
119	5,00	56	0,15	0,7	0,02	15,08	16,95	12,52
136	2,90	59	0,15	0,7	0,02	11,19	13,53	9,10
149	2,00	55	0,15	0,7	0,02	9,62	11,69	7,26
2	2,50	61	0,15	0,7	0,02	10,22	12,75	8,32
13	5,00	78	0,15	0,7	0,02	12,78	16,95	12,52
89	1,60	69	0,15	0,7	0,02	7,68	10,75	6,32
131	1,96	73,35	0,15	0,7	0,02	8,25	11,60	7,17
137	1,70	67,69	0,15	0,7	0,02	8,00	11,00	6,56
190	2,50	92	0,15	0,7	0,02	8,32	12,75	8,32
132	3,00	77	0,15	0,7	0,02	9,96	13,72	9,28
68	6,00	82,75	0,15	0,7	0,02	13,59	18,33	13,89
19	3,60	74	0,15	0,7	0,02	11,13	14,77	10,34
24	6,30	77	0,15	0,7	0,02	14,43	18,72	14,28
26	6,00	76	0,15	0,7	0,02	14,18	18,33	13,89
39	3,00	76	0,15	0,7	0,02	10,03	13,72	9,28
57	4,00	60	0,15	0,7	0,02	13,03	15,43	11,00
63	8,00	60	0,15	0,7	0,02	18,43	20,78	16,34
64	4,58	100	0,15	0,7	0,02	10,80	16,33	11,90
72	4,00	84	0,15	0,7	0,02	11,01	15,43	11,00
113	3,50	80	0,15	0,7	0,02	10,56	14,60	10,17
121	4,50	60	0,15	0,7	0,02	13,82	16,21	11,78
143	3,00	52	0,15	0,7	0,02	12,12	13,72	9,28
28	10,00	88	0,15	0,7	0,02	17,01	22,94	18,50
32	10,62	95	0,15	0,7	0,02	16,87	23,56	19,13
151	36,60	65	0,15	0,7	0,02	37,87	41,69	37,26
29	22,00	86	0,15	0,7	0,02	25,52	32,85	28,42
56	3,00	96	0,15	0,7	0,02	8,92	13,72	9,28
125	3,00	99	0,15	0,7	0,02	8,78	13,72	9,28
61	15,00	108	0,15	0,7	0,02	18,81	27,55	23,11
88	4,80	62,86	0,15	0,7	0,02	13,94	16,66	12,23
93	2,60	43	0,15	0,7	0,02	12,41	12,95	8,52
Mín.	0,62	14,58	0,15	0,70	0,02	5,81	8,78	4,35
Máx.	36,60	108,00	0,15	0,70	0,02	37,87	41,69	37,26
Média	4,79	60,00	0,15	0,70	0,02	13,60	16,48	12,04
D.P	5,08	21,51	0,00	0,00	0,00	4,83	5,26	5,26

Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método de RFC e Wyssling para os poços profundos na área urbana de Presidente Prudente.

Poço	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /d)	t (dia)	b	n _{ef}	k (m/h)	i	r	So(m)	Su(m)
196	15	360	50	82	0,15	0,7	0,019	21,58	20,09	15,65
8	6	144	50	129	0,15	0,7	0,019	10,88	14,08	9,65
117	5	120	50	88	0,15	0,7	0,019	12,03	16,73	12,30
104	14,8	354,72	50	99,96	0,15	0,7	0,019	19,40	18,33	13,89
30	26	624	50	126	0,15	0,7	0,019	22,92	17,79	13,36
145	22	528	50	130	0,15	0,7	0,019	20,76	13,55	9,11
105	10,81	259,44	50	118,4	0,15	0,7	0,019	15,25	21,89	17,45
Mín.	5,00	120,00		82,00				10,88	13,55	9,11
Máx.	26,00	624,00		130,00				22,92	21,89	17,45
Média	14,23	341,45		110,48				17,55	17,49	13,06
D.P	7,79	187,04		20,23				4,82	3,02	3,02

Errata da figura 3.1

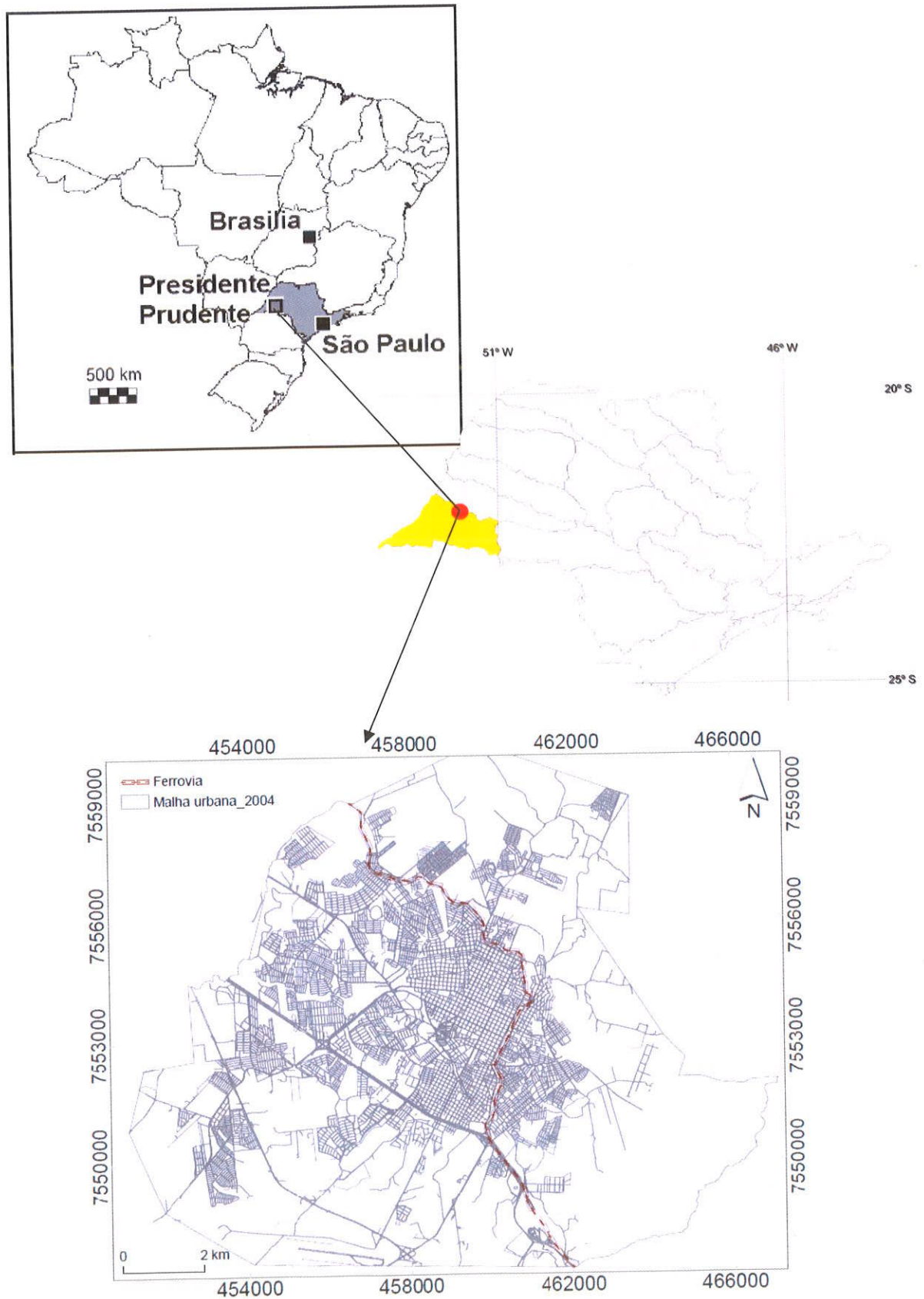


Figura 3.1 Localização da área de estudo