

# Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP, Brasil\*\*

## Nitrate contamination in groundwater in Presidente Prudente-SP, Brazil

RIALA6/998

Manoel Carlos T. F. de GODOY<sup>1</sup>, Marcos Norberto BOIN<sup>2</sup>, Daniele Cristina SANAIOTTI<sup>3</sup>, Joel B. da SILVA<sup>4</sup>

\* Endereço para correspondência: <sup>1</sup> Professor Assistente Doutor, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900, Presidente Prudente/SP  
e-mail: godoy@prudente.unesp.br

<sup>2</sup> Assistente Técnico, PHD, Promotoria da Justiça do Meio Ambiente – Presidente Prudente

<sup>3</sup> Discente do Curso de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP

<sup>4</sup> Auxiliar de Laboratório, Instituto Adolfo Lutz, Laboratório I, Presidente Prudente/SP

\*\* Trabalho apresentado no 13<sup>o</sup>. Congresso Brasileiro de Águas subterrâneas (ABAS), 19 a 22 de outubro de 2004, Cuiabá/MT

### RESUMO

A pesquisa teve como objetivo delimitar zonas de contaminação das águas subterrâneas por nitrato na área urbana de Presidente Prudente-SP, Brasil, verificar a sua possível relação com a expansão da urbanização e apontar prováveis causas do fenômeno a ser caracterizado. Os trabalhos executados incluíram a consulta aos arquivos do Instituto Adolfo Lutz com referência a análises físico-químicas de águas subterrâneas, a localização dos pontos de coleta de amostras pelo sistema de coordenadas UTM, o tratamento geoestatístico dos dados das análises por meio do Programa *Surfer- Surface Mapping System*, com a interpolação por *Krigagem linear*. Este mapeamento realça a localização da contaminação em áreas bem definidas, estando os poços contaminados em zona inscrita na área de ocupação urbana anterior ao ano de 1962. Como fontes da contaminação, a pesquisa executada distingue o vazamento de esgoto doméstico, a lixiviação de fossas e a lixiviação de depósitos variados de resíduos sólidos. Os resultados das análises evidenciam também a opção de vários exploradores de águas subterrâneas da cidade pela redução do teor de nitrato por meio de resina de troca iônica, cujo emprego se tem mostrado eficiente.

**Palavras-Chave.** nitrato, águas subterrâneas, urbanização, Presidente Prudente, filtro de resina

### ABSTRACT

The aims of this study were to define the territorial limits of groundwater nitrate contamination in urban area of Presidente Prudente, SP - Brazil, to find out a correlation between this occurrence and the urbanization development, and also to point out the potential sources of contamination. The investigation was based on retrospective groundwater physical-chemical analysis from the data recorded in Instituto Adolfo Lutz archives, and on the geostatistical treatment of analyses data by means of Surfer-Surface Mapping System associated with the values interpolation by linear krigage method. These mapping data showed that nitrate contamination zones were well defined, being located within the limits of an area which was urbanized until 1962, and different sources of the contamination were indicated, including leaking sewers, leaching from old pit-latrines and from diverse kinds of waste sites. The results also showed the incapability of being remedied and evidenced the option made by several private groundwater exploiters in removing the exceeding nitrate content from the wells water, by installing an ion-exchange resin system, which was proved to be effective.

**Key- Words.** groundwater, nitrate, urbanization, ion-exchange resin, Presidente Prudente

## INTRODUÇÃO

O presente artigo refere-se a uma pesquisa executada na cidade de Presidente Prudente, com o fim de delimitar zonas de contaminação das águas subterrâneas por nitrato e caracterizar a associação destas zonas com a expansão da área urbana. Nesta cidade os sinais desta contaminação tornaram-se mais freqüentes a partir de 1990, com a intensificação da captação de água através de poços tubulares em sua área urbana e peri-urbana. As informações, esparsas, mas significativas, sobre o fenômeno levaram pesquisadores a refletirem sobre questões básicas associadas a ele, tais como a sua gravidade, as prováveis fontes de contaminação, a possibilidade de sua expansão em área, providências factíveis para a remediação do dano representado por ele e a proteção aos aquíferos e à saúde da população.

Uma particularidade da questão, frente à revelação do fenômeno e ao crescimento significativo da demanda das águas subterrâneas na cidade, é a providência do tratamento da água após a captação. Trata-se de instalação de equipamento destinado à redução do teor de  $\text{NO}_3^-$  por resina de troca iônica. Dependendo do grau de consumo de água, o investimento neste tratamento é encarado como a medida alternativa à desativação dos poços instalados e em funcionamento.

A pesquisa é inovadora no Brasil no tocante à delimitação de zonas de contaminação dos aquíferos subterrâneos por nitrato em cidade de porte médio. Deve ser ressaltado nela o fato de ter sido empregado um método que possibilita a definição de zonas identificadas por uma gama de valores distinguidos em ordem crescente, de modo a evidenciar as áreas críticas no tocante à presença da contaminação. Os resultados da pesquisa terão o papel de alertar sobre este problema o departamento responsável pela gestão de recursos hídricos no estado de São Paulo e os órgãos encarregados da vigilância sanitária em níveis estadual e municipal, informando as autoridades competentes da possibilidade de reduzir, através de um equipamento apropriado, o grau de contaminação por nitrato nas águas captadas no município de Presidente Prudente e região.

A associação da contaminação das águas subterrâneas por nitrato com o adensamento demográfico da urbanização é tema de numerosos trabalhos científicos. Em pesquisa referente à qualidade das águas subterrâneas na cidade de Nottingham, Reino Unido, Lerner et al<sup>9</sup> correlacionam as altas concentrações de nitrato ao crescimento da cidade. Nesse caso estudado, é apontado mais de um agente da contaminação, sendo incluídos em tal condição os vazamentos das redes públicas de abastecimento de água e de coleta de esgoto, a lixiviação de aterros sanitários e de depósitos de resíduos industriais.

Em Liverpool, Reino Unido, em pesquisa que incluiu análises com isótopo de nitrogênio, Whitehead et al<sup>14</sup> identificam a rede de esgoto, cuja implantação foi iniciada no século XVIII, como a fonte predominante da contaminação do principal aquífero situado abaixo da cidade.

Em estudo sobre os impactos da urbanização na qualidade das águas subterrâneas, em Tel-Aviv, Israel,

Zilberbrand et al<sup>15</sup> enfatizam a contribuição de antigas fossas sanitárias para o processo de contaminação por nitrato.

No Brasil têm merecido particular atenção os casos de contaminação na Região Oeste do estado de São Paulo, especialmente em aquíferos do Grupo Bauru. Em São José do Rio Preto, de acordo com Castro et al<sup>4</sup>, a partir de 1962 os recursos hídricos subterrâneos conquistaram uma condição de fonte significativa de água para diversos usos. Análises químicas de água captada de poços tubulares revelaram progressivo aumento do teor de nitratos na zona urbana. Como fontes prováveis da contaminação, são apontados os despejos de esgoto próximos aos poços que apresentam os mais altos valores de concentração de  $\text{NO}_3^-$ .

Godoy<sup>6</sup>, em pesquisa realizada através de uma estação piloto em Presidente Prudente, estudou a contaminação por nitrato do aquífero freático que foi derivada de vazamento de coletor de esgoto e de acúmulo de restos vegetais em torno e no interior de uma cacimba. No tocante à contaminação pelo vazamento de esgoto, é correlacionado o aumento progressivo no teor de  $\text{NO}_3^-$  à variação positiva dos teores de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ . É caracterizada também a alta suscetibilidade à contaminação do aquífero livre da Formação Adamantina e o papel das condições físicas e químicas das zonas saturada e insaturada, as quais, em Presidente Prudente, favorecem a introdução de nitratos no aquífero livre.

Segundo relatório da CETESB<sup>5</sup>, os casos registrados de contaminação por nitratos no estado de São Paulo referem-se predominantemente a amostras coletadas na sua porção ocidental, em aquíferos do Grupo Bauru.

Quanto ao emprego da resina de troca iônica, conforme esclarece Gregg<sup>7</sup>, já na década de 1970 era pesquisada a viabilidade de sua aplicação ao tratamento da água destinada ao abastecimento público de um distrito pertencente à cidade de Garden, no Condado de Nassau – USA. O sistema empregado para este fim foi adaptado de processo desenvolvido originalmente para a desmineralização de efluentes industriais. Shenkein e Condoluto<sup>12</sup> descrevem o processo já instalado nessa mesma comunidade, ressaltando a sua eficiência e a sua aceitação como a alternativa ao abandono de poços já instalados e em funcionamento.

Tanto nos Estados Unidos quanto no Reino Unido e na China, o desenvolvimento de sistemas aplicáveis à diminuição do teor de nitrato em águas captadas de aquíferos subterrâneos para o fim de abastecimento público é considerada uma necessidade urgente, devido à ocorrência patente e definitiva de contaminação das águas subterrâneas em regiões, condados e cidades importantes<sup>10,11,13</sup>.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

A cidade de Presidente Prudente está localizada na porção ocidental do estado de São Paulo, a aproximadamente

560km de distância da capital do estado por via rodoviária (Figura 1). De acordo com o censo demográfico de 2000<sup>2</sup>, o município reúne uma população de 189.186 habitantes, concentrando 185.229 em sua área urbana.

Quanto à caracterização geológica das reservas de águas subterrâneas referentes à área da pesquisa, o mapeamento geológico do estado de São Paulo executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT<sup>8</sup> localiza a Região de Presidente Prudente em domínios da Formação Adamantina, do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Sedimentar do Paraná. Conformem descrevem Almeida e Melo<sup>1</sup>, esta unidade estratigráfica é caracterizada litologicamente pela ocorrência de bancos de arenito de granulação fina a muito fina, de cor róseo a castanho, com espessuras variáveis entre 2 e 20 m e alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho avermelhado a cinza castanho. Na área da pesquisa, abaixo da Formação Adamantina, está localizada a Formação Santo Anastácio, também do Grupo Bauru, constituída principalmente de arenitos de cor vermelha, marrom avermelhada ou arroxeadada, de granulação fina a média, com seleção de regular a ruim em geral, com grãos arredondados a sub-arredondados e cobertos por película limonítica e presença freqüente de nódulos carbonáticos ou cavidades preenchidas por carbonato de cálcio.

No tocante à avaliação da qualidade das águas subterrâneas referentes à área pesquisada, as informações que fundamentaram a pesquisa resumida neste artigo foram obtidas através de laudos de análise físico-químicas, reunidos no arquivo do Instituto Adolfo Lutz – Laboratório I/ Presidente Prudente.

### Métodos

Foram considerados como representativos, com base no critério de atualidade das coletas, os laudos referentes a 134 poços, datados principalmente dos anos de 2002 e 2003. Uma vez



Figura 1. Localização da cidade de Presidente Prudente.

identificados os pontos de coleta em folhas topográficas em escala 1:10.000, procedeu-se à determinação, nas próprias plantas, de sua localização de acordo como o sistema de coordenadas UTM.

Com base nos resultados fornecidos pelos laudos de análise e na localização por coordenadas dos respectivos pontos de coleta de água, foram traçadas cartas de isolinhas referentes a diversos parâmetros de análise, aplicando-se para esta finalidade o programa de geoestatística *SURFER – Surface Mapping System – Versão 6.01 – 1995*, da *Golden Software Inc*, em associação com o método de interpolação da *Krigagem Linear*. No presente artigo, são selecionadas as representações correspondentes aos conteúdos de nitrato, expressos como nitrogênio nítrico (Figura 3) e de cloretos (Figura 4).

Além das cartas de isolinhas, foram confeccionadas cartas temáticas referentes à ocupação urbana e a possíveis fontes de contaminação. Uma destas representações (Figura 2) assinala os pontos onde o teor de N nítrico ultrapassou o valor de 10 mg/L e mapeia, de acordo com documentos dos arquivos da Prefeitura Municipal, as áreas urbanizadas em junho de 1962 e em junho de 2004 em Presidente Prudente. Outra carta (Figura 5) tem como tema a expansão da rede coletora de esgoto na cidade e uma quarta carta (Figura 6) representa a localização de algumas possíveis cargas contaminantes. Esta última representação inclui a localização de lixões soterrados, entulhos diversos, resíduos de antigas serrarias, cemitérios e áreas onde foram usadas fossas por um período superior a 10 anos.

Paralelamente a essa investigação relacionada ao fenômeno da contaminação, foram obtidas informações referentes à aplicação prática na cidade de técnicas destinadas à redução do teor de nitrato nas águas captadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa constata o comprometimento da potabilidade em 38 dos 134 poços selecionados, sendo detectados neles um teor acima de 10 mg/L, que é o valor máximo permitido no Brasil, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 518 de 25 de Março de 2004<sup>3</sup>. Este número de 38 poços representa uma proporção de 28,36%, o que caracteriza uma situação preocupante quanto à qualidade da água captada. Estes poços contaminados, com exceção de apenas uma unidade, estão localizados dentro da área já efetivamente ocupada com a urbanização em 1962 (Figura 4).

A distribuição de teor de N nítrico, representada em isolinhas (Figura 3), diferencia uma zona caracterizada por valores relativamente altos, cujo contorno é alongado na direção 19º NE-SW, concordante com a orientação de duas artérias principais da malha urbana da cidade. O limite externo desta zona, formado por isolinhas de 5 mg/L, delimita uma área de 16,61 km<sup>2</sup>, que circunda uma outra área, com 8,27 km<sup>2</sup> de extensão, correspondente aos valores maiores que 10 mg/L, podendo ser observado que o alongamento das duas áreas segue de modo geral esta mesma direção acima referida.

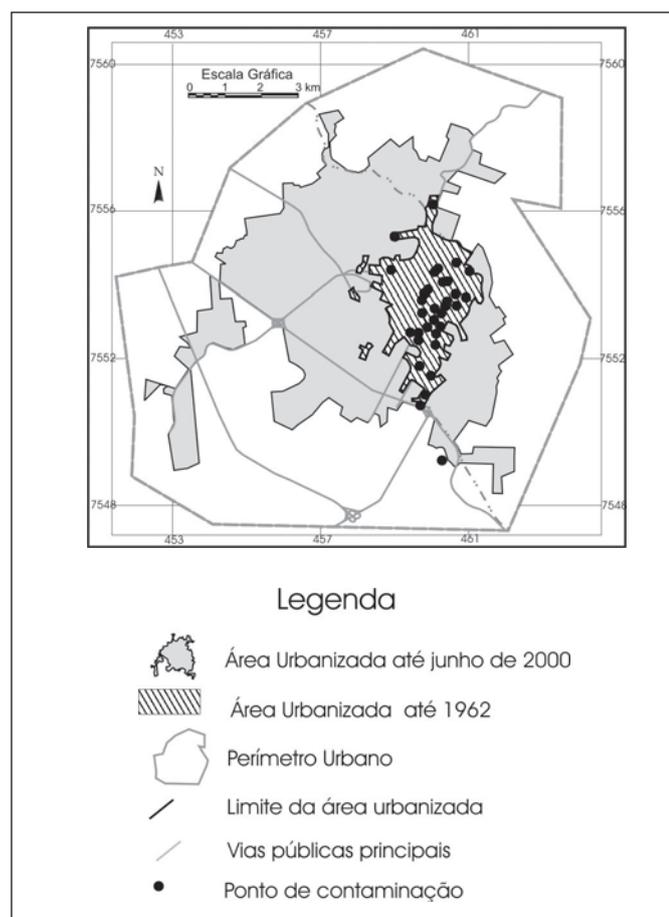


Figura 2. Locais com contaminação e área urbanizada até 1962

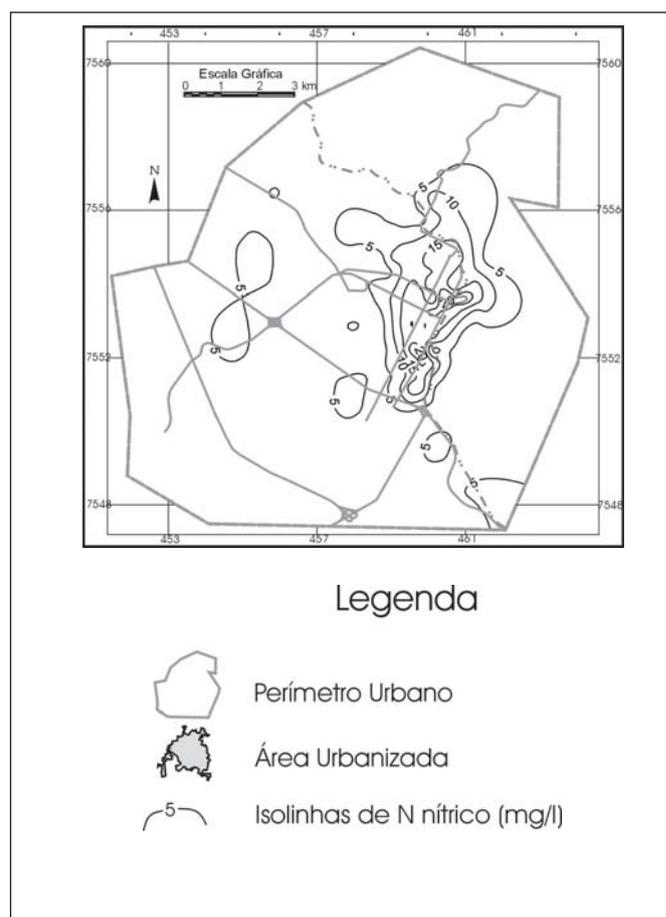


Figura 3. Isolinhas para o teor de N nítrico (mg/L)

A comparação entre a localização da área de contaminação identificada nas Figuras 2, com o mapa referente à evolução da implantação da infraestrutura de esgoto na cidade (Figura 5) tende a reforçar a hipótese de contaminação por vazamento da rede de esgoto instalada antes de 1968. É observada também, na comparação entre as figuras 3 e 4 uma correspondência da zona onde se concentram os valores superiores a 10 mg/L do teor de N nítrico e os valores mais elevados de teor de  $Cl^-$ , constituindo este fato mais um argumento em favor desta interpretação. No entanto, na área delimitada pela isolinha de 5 mg/L ou em suas redondezas, outras virtuais cargas contaminantes são reconhecidas, distinguindo-se lixões enterrados, entulhos, locais de fossas, resíduos de indústria madeireira e cemitérios.

Independentemente de qualquer interpretação sobre a fonte da contaminação, importa a verificação da impossibilidade de sua remediação. Na zona definida de 8,27 km<sup>2</sup> ou 8.270.000 m<sup>2</sup> imprópria à captação de águas subterrâneas, é reconhecido um padrão de contaminação com ampla distribuição em área, sendo impraticável a localização das cargas contaminantes de

forma adequada à sua neutralização. Deste modo, não se vislumbra a possibilidade de reduzir o teor de nitrato no próprio aquífero. Na área delimitada pela isolinha de 5 mg/L, de 16.610.000 m<sup>2</sup>, não se pode descartar a possibilidade do futuro aumento do grau de contaminação, considerando-se o fator de envelhecimento dos condutos da rede coletora de esgoto.

Para se entender o significado desta ocorrência de excesso de nitrato constatada na pesquisa, deve ser ressaltado que as duas áreas, principalmente a mais interna, concentram atividades comerciais, industriais, hoteleiras e hospitalares de importância vital para a cidade.

O alastramento da contaminação é favorecido por um fator de construção inadequada ou imprudente de poços tubulares, cuja presença não é rara em Presidente Prudente. Uma das características da Formação Adamantina é a existência dentro dela de aquíferos suspensos. Poços não revestidos ou dotados de revestimento de aço já corroído e poços abandonados para o fim de retomada de perfuração constituem atalhos efetivos para a passagem da água impurificada destes aquíferos e do aquífero freático para as zonas inferiores,



Figura 4. Isolinhas para o teor de Cl<sup>-</sup> (mg/L)

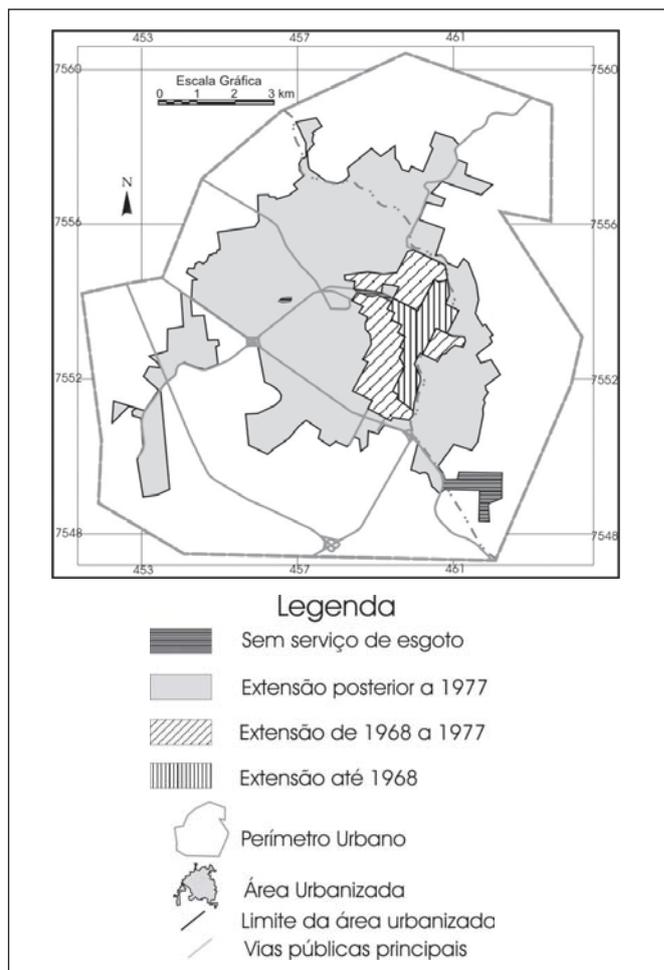


Figura 5. Evolução da implantação da rede de esgoto

correspondentes ao aquífero semi-confinado Santo Anastácio, que, além de oferecer maiores vazões do que o aquífero Adamantina sobreposto a ele, é naturalmente mais protegido contra a contaminação do que este último. Não é raro também, em poços totalmente revestidos, a instalação de filtros nos níveis dos aquíferos suspensos, deste modo havendo condições também para a mistura de água através do próprio poço.

Quanto ao tratamento para redução do teor de nitrato, pelas informações colhidas junto a empresas prestadoras deste serviço, é aplicado o método do filtro de resina, pelo qual se processa a troca do íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelo íon Cl<sup>-</sup>. A restauração do filtro é efetuada com uma operação de lavagem, seguida da reposição de solução concentrada em 10% de NaCl em água. A instalação do filtro é renovada a cada período de cinco anos. Abaixo estão resumidas as condições de funcionamento e o preço de instalação de filtro, conforme os termos de orçamento elaborado em junho de 2004, para dois casos de solicitação do serviço, de acordo com a informação da firma Sanebrás Ltda.,

de Presidente Prudente:

1) Teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 40 mg/L em captação de 96 m<sup>3</sup>/dia, com uso de 900L de resina e regeneração da resina de 4 em 4 dias: R\$20.495,00 ou US\$6,445.00 (cotação de junho de 2004);

2) Teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 80 mg/L em captação de 144 m<sup>3</sup>/dia, com uso de 1150 L de resina e regeneração da resina de 4 em 4 dias: R\$61.488,48 ou US\$19,336.00 (cotação de junho de 2004).

Quanto à aplicação prática do processo, na Tabela 1 estão relacionados alguns exemplos referentes a instalações em funcionamento em Presidente Prudente-SP.

Os dados da Tabela 1 apresentam a obtenção de resultados satisfatórios com a aplicação do sistema, não se podendo contestar a sua eficiência. Entretanto, deve ser salientado que, no caso da captação de 144 m<sup>3</sup>/dia, o investimento para a instalação do sistema ultrapassa aquele referente a um poço, inteiramente revestido, que possibilita esta vazão diária. Considerando-se os fatores hidrogeológicos e os preços cobrados pelas empresas perfuradoras que atuam

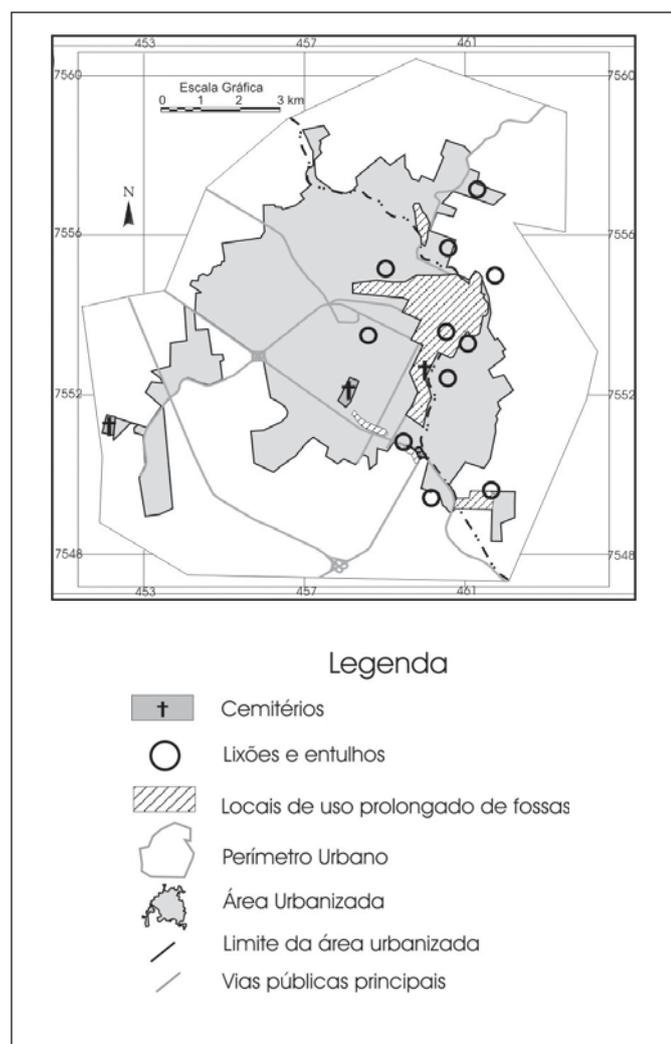


Figura 6. Localização de possíveis fontes de contaminação por  $\text{NO}_3^-$

em Presidente Prudente, em junho 2004 o investimento calculado para um poço capaz de atender a esta demanda variava entre R\$30.000,00 e R\$40.000,00.

## CONCLUSÕES

A contaminação por nitrato nas águas subterrâneas em Presidente Prudente é um dano ambiental significativo, devido à localização bem definida de uma zona imprópria para a captação de recursos hídricos subterrâneos e à importância assumida por estes recursos nesta cidade. A área não recomendável para captação, que mede 8.270.000 m<sup>2</sup>, é identificada como zona de localização preferencial de atividades comerciais, industriais, hoteleiras e hospitalares de importância capital para a cidade.

Uma área de 16.610.000 m<sup>2</sup>, circundante desta área mais problemática, assim como outras pequenas áreas, delimitadas pela isolinha correspondente ao teor de 5 mg/L de N nítrico, devem ser consideradas como zonas de risco para a exploração de águas subterrâneas.

As providências para enfrentamento do problema estão restritas por enquanto à iniciativa própria de cada um dos exploradores das águas subterrâneas, consistindo no uso, reconhecidamente dispendioso, de sistemas redutores do teor de nitrato. Como se pode depreender de propostas de fornecedores deste equipamento, em determinados casos a sua aquisição e instalação exigem investimento superior ao da própria construção do poço ao qual ele deve estar associado. Este fato deve ser enquadrado dentro de uma questão crescentemente importante na problemática da deterioração dos recursos naturais, que é a do custo exigido para a reparação dos danos causados pelo ser humano na sua relação com o meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Adolfo Lutz, Laboratório I de Presidente Prudente, na pessoa da Diretora Técnica do Serviço de Saúde, a Sra. Mariza Menezes Romão, pela valiosa colaboração prestada através da permissão de acesso dos pesquisadores aos seus arquivos.

À firma *Sanebrás Ltda.* de Presidente Prudente-SP, na pessoa do Prof. Sérgio Freitas, pelas informações referentes à aplicação do equipamento de resina de troca iônica.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M.; Melo, M.S. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*, São Paulo, IPT, v.1, p.46-81, 1981.
- Brasil – Ministério do Planejamento e Gestão – Fundação IBGE – *Censo/População/Municípios* Disponível em <www.ibge.gov.br>, Acesso em 08/06/2004.

Tabela 1. Alguns resultados da aplicação do método da resina de troca iônica

Poço	Teor de N nítrico (mg/L)	
	Antes do tratamento	Após o tratamento
1	22,00	4,50
2	20,00	3,95
3	21,20	1,90
4	15,00	1,67
5	20,50	0,15
6	28,20	1,20
7	14,25	4,55
8	19,00	3,22

3. Brasil – Ministério da Saúde - Portaria Nº. 518 de 25 de Março de 2004, Brasília (**Diário Oficial da União**) de 26/03/2004.
4. Castro, S.C. et al Contaminação por água subterrânea em São José do Rio Preto (SP): Contaminação por nitratos, in: **VII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte**, ABAS, Belo Horizonte, 103-107, 1992.
5. CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 1998-2000**, São Paulo: CETESB, 2001, 96p.+anexos
6. Godoy, M.C.T.F. **Estudo Hidrogeológico das Zonas Não Saturada e Saturada da Formação Adamantina em Presidente Prudente, Estado de São Paulo**, São Paulo, 1999 {Tese de Doutorado no Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo}
7. Gregg, J.C. **Ion-Exchange System to Treat High-Nitrate Well Water**, Public Works, 103(9), p. 81, 1972.
8. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT. (Escala 1:500.000), 1981
9. Lerner,D. et al **Loading of non-agricultural nitrogen in urban groundwater**, IAHS-AISH Publication. 259; 117-123. 1999.
10. Magette, W.L.; Pacheco, P.A.; Whearton, F.W. **Ion exchange treatment of subsurface drainage water**, Agricultural Water Management, Amsterdam, Elsevier Publishers, BV., 18: 121-133, 1990
11. Nixon, N. **English water utility tackles nitrate removal**, Water Engineering and Management, UK, 139: 27-28, 1992
12. Sheinker, M.; Codoluto, J.P. **Making water supply nitrate removal practicable**, Public Works,108 (6): 71-73, 1977.
13. Wenly, G.; Wensheng, H.; Höll, W.H. **Combined nitrate and hardness elimination from drinking water by the CARIX process**, J Water SRT- Aqua, 43(2):95-101,1994
14. Whitehead, E.; Hiscock, K.; Dennis, P. **Evidence for sewage contamination of the Sherwood Sandstone aquifer beneath Liverpool, UK**, IAHS-AISH Publication. 259:179-185. 1999.
15. Zilberbrand, M.; Rosenthal, E.; Shachnai, E. **Impact of urbanization on hydrochemical evolution of groundwater and on unsaturated-zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel**. Journal of Contaminant Hydrology. 50(3-4):175-208, 2001.