

# ESTUDO DO RISCO DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CAUSADA POR VAZAMENTOS EM POSTOS DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEL, NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO - SP.

*Regina Mambeli Barros<sup>1</sup>; Rodrigo de Melo Porto<sup>2</sup>*

## RESUMO

No município de Ribeirão Preto – SP, a qualidade das águas subterrâneas está diante de uma ameaça potencial por vazamentos dos diversos tanques de armazenamento de combustíveis. O abastecimento público de água é realizado totalmente a partir do manancial subterrâneo. O objetivo do trabalho foi avaliar as distribuições espaciais e temporais das concentrações de hidrocarbonetos em torno dos poços de abastecimento público ativados e delinear as áreas de proteção ao redor dos poços sujeitos à contaminação por hidrocarbonetos. Para tal foi utilizado modelos semi - analíticos, por meio do software WHEA (Well Head Protection Area) e modelos da API (American Petroleum Institute), contidos no pacote DSS (Decision Support System), APIDSS. Em alguns poços foram observadas as concentrações de hidrocarbonetos através do fotoionizador HNU DL-101.

## 1. INTRODUÇÃO

Os riscos de poluição dos recursos hídricos subterrâneos por vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneos de derivados de petróleo e substâncias químicas perigosas têm sido objeto de estudos cada vez mais intensivos nos países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, a preocupação dos órgãos públicos gerou o Ato de Conservação e Recuperação de Recursos, em 1984 (OLIVEIRA, 1992).

Os contaminantes que primeiro irão atingir o lençol freático são os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), pois estão em concentrações significativas na gasolina e possuem razoável solubilidade em água. O benzeno pode causar câncer, tremores, vertigens, leucemia e afetar o sistema nervoso central. Possui o menor padrão de qualidade de água ( $10\mu\text{g. l}^{-1}$ ), segundo as normas apresentadas na Portaria no 36 (19/01/90) do Ministério da Saúde.

Em Ribeirão Preto – SP, do total de 85 poços em operação, 20 estão em região de recarga do aquífero. A profundidade do lençol freático varia de 18 m a 45 m. Os 65 poços restantes estão localizados na porção confinada do aquífero. Nas partes onde a espessura da rocha é menor que 50 m, sistemas de fratura podem permitir a contaminação do aquífero. Dos 85 poços tubulares e operação, verifica-se grande concentração na região central da cidade, onde também se acumulam os postos de abastecimento. Esta proximidade aumenta sobremaneira o risco de fornecimento público de água contaminada por produtos cancerígenos, derivados de petróleo.

1) Doutoranda do Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC/USP, e-mail: remambeli2001@yahoo.com.br;

2) Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC/USP, e-mail: rodrigo@sc.usp.br

Uma abordagem preventiva em programas de proteção de mananciais subterrâneos compreende a delimitação das áreas das quais os poços retiram água durante um intervalo de tempo especificado, denominado Área de Proteção do Poço (APP). O principal objetivo é proteger as áreas das quais se extrai água quando em bombeamento. Este é o principal objetivo dos Programas de Proteção de Poços (Well Head Protection Program), estabelecido nos Estados Unidos através de emendas ao Safe Drinking Act (SDWA), em junho de 1986, para delinear todas as APPs para todos os poços municipais daquele país. Embora a delimitação e proteção das APPs sejam uma das maiores prioridades em programas de proteção da água subterrânea na Europa e Estados Unidos, o assunto é virtualmente desconhecido no Brasil (CLEARLY, 1992).

Na composição típica de gasolina pura estão presentes cerca de 39% em peso de aromáticos (0,8% de benzeno, 3,9% de tolueno, 1,3% de etilbenzeno, 3,82% de m-xileno, 1,3% de p-xileno e 2,2% de o-xileno). A gasolina que vaza de um tanque subterrâneo contém alifáticos altamente voláteis, alguns aromáticos voláteis e uma ampla faixa de solubilidade para os compostos dentro dessas grandes faixas. Isto pode resultar em três fases distintas: líquido, dissolvido e vapor. O vazamento de combustíveis líquidos no solo consiste, inicialmente, em uma pluma de contaminação de hidrocarbonetos em fase líquida livre. Com o passar do tempo, os constituintes se volatilizarão para a fase de vapor, se dissolverão em água e permanecerão adsorvidos no solo (GUIGUER, 1996). Esta fase sorvida funciona como fonte contínua de contaminação para as águas subterrâneas, pois libera paulatinamente, pequenos volumes de contaminante em quantidades suficientes para elevar a sua concentração acima dos limites permissíveis para a potabilidade.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 TRANSPORTE DE SOLUTOS EM AQUÍFEROS - MECANISMOS DE TRANSPORTE

Os quatro fenômenos físicos principais que controlam a migração de compostos orgânicos no solo, carregados pelo escoamento de água são: advecção; dispersão; adsorção e retardamento; transformações químicas e biológicas. A advecção pelo fluxo da água realiza o transporte dos solutos. Um espalhamento da pluma de contaminação ocorre nesta trajetória devido à dispersão hidrodinâmica, composta pela dispersão mecânica do soluto entre os poros do aquífero e pela difusão molecular. Hidrocarbonetos provenientes da gasolina são contaminantes não conservativos, sujeitos à sorção e ao retardamento (OLIVEIRA, 1992). PIET e SMEENTS (1985) determinaram em observações de campo que o benzeno, o etilbenzeno e xileno possuem meia-vida longa. WILSON et al. (1986), determinou em estudos de incubação de solo que o tolueno, possui meia vida de 126 dias.

A série de equações diferenciais que permitem o estudo de transporte de contaminante em um dados sistema de aquífero é uma combinação de três tipos de equação: equações de fluxo de água subterrânea; de transporte de contaminante; e auxiliares relacionando características físicas do aquífero subterrâneo para concentração do contaminante.

O SESOIL (Seasonal SOIL, BONAZOUNTAS & WAGNER, 1984), atualizado por HENTRICK et al. (1994) é um modelo de transporte unidimensional para zona não saturada. Simula o transporte de água e contaminantes em um compartimento de solo vertical, ou coluna, da superfície subterrânea à superfície de água. Assume o transporte por advecção e difusão e está contido no pacote DSS. O AT123D é um código analítico generalizado, transiente uni, bi e tri dimensional para estimar o transporte de químicos em um sistema de aquífero poroso. Resolve a equação diferencial de balanço de massa (advectivo-dispersivo) que descreve o destino e transporte na zona saturada. Os processos simulados incluem: dispersão tridimensional (longitudinal, lateral e vertical); advecção uniforme unidimensional; adsorção de equilíbrio reversível, linear e decaimento de primeira ordem. A ingestão química é calculada usando equações que incluem variáveis para



concentração de exposição, frequência, duração de exposição, peso do corpo, e taxa de contato. O último reflete a taxa na qual o meio contaminado (solo, água, ar) entra em contato com o receptor. A ingestão é então usada para quantificar o risco de cada rota de exposição (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 1999). O WHPA é um modelo semi-analítico modular, de fluxo de água subterrânea projetado pela USEPA (United States Environmental Protection Agency) para auxiliar o Estado na tarefa de delimitação de áreas de proteção de poços (APPs).

## 2.2 MANANCIAL SUBTERRÂNEO DE RIBEIRÃO PRETO – SP

O manancial subterrâneo de Ribeirão Preto – SP é constituído principalmente pelo arenito Botucatu, em menor grau pela formação Pirambóia e por último pela formação Serra Geral (figura 1).

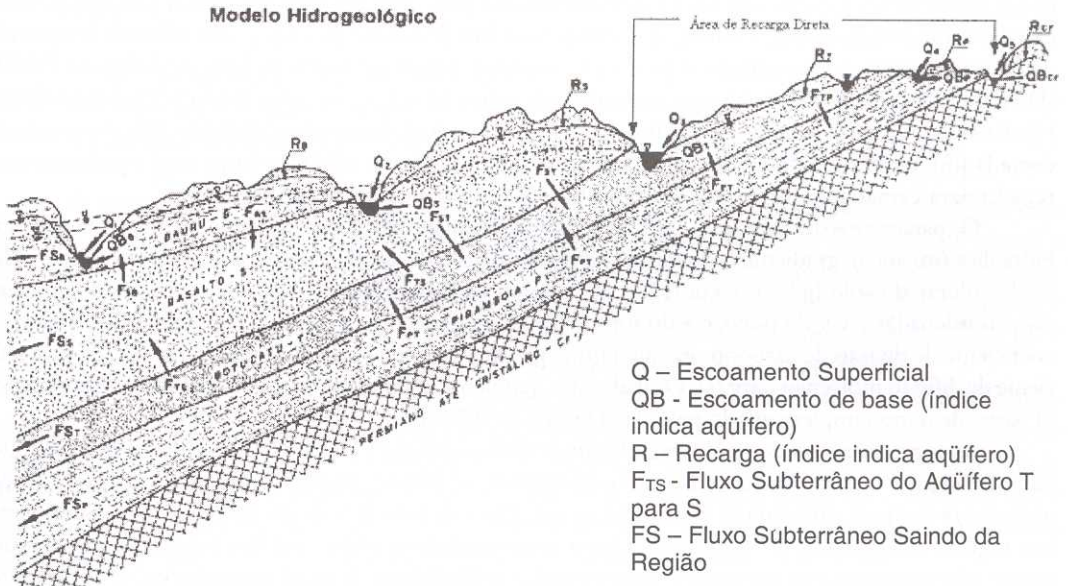


Figura 1 - Modelo Hidrogeológico. Fonte: Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (1974)

A recarga natural é processada através de infiltração direta a partir da precipitação nas áreas de afloramento, local de elevadas permeabilidade e porosidade. Testes no aquífero Botucatu indicam uma transmissividade média de  $26,5 \text{ m}^2/\text{h}$ . No sentido Leste-Oeste, estes valores crescem, apresentando valores entre  $11,80$  e  $44,27 \text{ m}^2/\text{h}$  (SINELLI et al., 1980). Para armazenabilidade, são considerados valores entre  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ , conforme grau de confinamento, e de  $10^{-1}$  nas zonas de afloramento (TEIDRESSE et al., 1982).

## 2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O pacote APIDSS foi utilizado para obtenção das distribuições temporais espaciais em torno dos poços de abastecimento público de água ativados no município de Ribeirão Preto – SP, e para quantificar os riscos à saúde humana carcinogênicos e não carcinogênicos, por exposição prolongada a BTEX. A segunda etapa envolveu a delimitação das APPs em torno dos poços de bombeamento suscetíveis à contaminação por BTEX e comparação destas áreas com a carta de vulnerabilidade

natural do sistema de aquífero Botucatu / Pirambóia descrita por FERREIRA (1992). Em torno destes poços, foram medidas as concentrações de BTEX, usando-se o fotoionizador HNU DL-101.

Os postos de gasolina selecionados para simulação foram escolhidos segundo os critérios de idade dos postos, localização topográfica e proximidade a postos de abastecimento público de água. A nomenclatura dos postos e poços, e as respectivas localizações em coordenadas UTM encontram-se em NETO e ROSELLI (1996).

Os modelos contidos no pacote APIDS escolhidos foram: SESOIL (para zona vadosa), seguido ao AT123D (para zona saturada). Outros modelos deste pacote não foram utilizados por não permitirem configuração de geologia heterogênea.

Os dados de entrada do SESOIL compreendem dados dos químicos como, solubilidade [ug/dia], coeficiente de difusão no ar [cm<sup>2</sup>/dia], constante da Lei de Henry [mg<sup>3</sup> atm/mole], Coeficiente de partição água/octanol (K<sub>oc</sub>) [ug/goc / ug/ml], taxa de decaimento total [l/dia] foram extraídos da base de dados do APIDSS (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 1999). Dados climático, como temperatura superficial[°C], evapotranspiração [cm/dia], precipitação anual [cm/ano], duração das tempestades [dias], eventos de tempestades [no d eventos por ano], tamanho da temporada de chuvas [meses], e escoamento superficial [cm/ano], foram retirados da base de dados do DAEE (DAEE, 1998). Dados da zona não saturada para a coluna inteira de solo, como porosidade efetiva [-], densidade de solo seco [g/cm<sup>3</sup>], dimensão x da fonte [m], dimensão y da fonte [m], espessura da camada [m], permeabilidade intrínseca [cm<sup>2</sup>], fração de carbono orgânico [mg/ mg] e poluente carregado para camada de interesse foram atribuídos conforme abaixo explicitado.

Os parâmetros de entrada do AT123D compreendem porosidade efetiva (cm<sup>3</sup> / cm<sup>3</sup>), condutividade hidráulica (m/anos), gradiente hidráulico, dispersividades logitudinal, transversal e vertical (m), densidade de volume do solo (g/ cm<sup>3</sup>), conteúdo de carbono orgânico fracional (g / g), espessura do aquífero (m), coordenadas x e y do poço, e z do topo e fundo do poço (m), além dos parâmetros dos químicos, coeficiente de divisão de carbono orgânico [(mg/g)/(mg/cm<sup>3</sup>)], taxa de decaimento total (l/dia) e coeficiente de difusão molecular (cm<sup>2</sup>/s). Os dados dos químicos foram retirados da base de dados do APIDSS. O passo de tempo implementado pelo APIDSS foi de 0,08 anos.

As concentrações dos poluentes foram retirados de OLIVEIRA (1992) e foram de 170, 1300, 820 e 6000 µg / L para Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno, respectivamente. Não foram determinadas *in loco* pela dificuldade em se extrair amostras de solo devido ao alto grau de asfaltamento nas regiões selecionadas. No entanto, como o contaminante individual faz parte de uma mistura (como o benzeno em um vazamento de gasolina), a solubilidade efetiva da base de dados do APIDSS foi modificada para contabilizar os efeitos da mistura. Tais valores foram multiplicados pela fração molar do componente na mistura. Esta fração foi extraída de OLIVEIRA (1992). Para armazenabilidade do Botucatu, foram usados valores entre 10<sup>-4</sup> e 10<sup>-6</sup>, conforme grau de confinamento, e de 10<sup>-1</sup> nas zonas de afloramento (TEISSEDE, 1982). Foram utilizados valores de porosidade efetiva de 0,25 para o aquífero Botucatu e de 0,30 para o Pirambóia. Onde o aquífero encontra-se confinado, o valor usado foi o de armazenabilidade, 1,0.10<sup>-4</sup>, e para densidade de solo seco, de 1,80 g/cm<sup>3</sup>. O índice de desconectividade do solo utilizado foi de 3,9.

A permeabilidade intrínseca foi obtida a partir da condutividade hidráulica conforme equação 1.

$$k = K \frac{\mu}{\rho g} \quad (1)$$

onde:

- k=permeabilidade intrínseca (cm<sup>2</sup>);
- K= condutividade hidráulica (cm/s);
- μ= viscosidade dinâmica do fluido (g / cm s);
- ρ=densidade do fluido (g/ cm<sup>3</sup>);
- g=aceleração da gravidade (cm / s<sup>2</sup>).



Para água a 20°C, nas unidades acima relacionadas, o valor de  $\mu / \text{pg}$  é de  $1,010^{-5}$  (cm.s). Foram observadas as coordenadas dos poços tubulares em operação e postos de abastecimento de combustíveis de interesse e a seguir foram localizadas na malha de elementos finitos presentes no estudo de MONTENEGRO (1990). De acordo com o nó correspondente, foi obtida a condutividade do Serra Geral para os postos escolhidos (postos e poços). No aquífero Botucatu, foi considerada espessura média de 250 m nas coordenadas onde estão os postos de abastecimento de combustíveis. A espessura do aquífero (Botucatu ou Pirambóia) nas coordenadas dos poços tubulares em operação foi observada a partir de seus perfis geológicos (NETO e ROSELLI, 1996). O valor de transmissividade para estas coordenadas foi obtido a partir de dados extraídos de MONTENEGRO (1990). Através da equação 2, a condutividade hidráulica do aquífero Botucatu foi obtida.

$$T = b.K \quad (2)$$

onde:

T=transmissividade do aquífero (m<sup>2</sup>/h);

B=espessura do aquífero (m);

K=condutividade hidráulica (m/h).

O valor para fração de carbono orgânico,  $f_{OC}$ , foi de 0,00023 para o aquífero Botucatu e de 0,00026 para o Pirambóia. A condutividade saturada do aquífero foi considerada como a condutividade do Serra Geral (extraído de MONTENEGRO, 1990), onde se sobrepõe ao Botucatu. O valor adotado para o gradiente hidráulico do aquífero embaixo da coluna de solo foi descrito por FERREIRA (1992), ou seja, de 0,6%. A direção de fluxo foi observada segundo estudo de NETO e ROSELLI (1996), e a espessura dos aquíferos foi obtida através dos perfis geológicos.

O tempo de simulação utilizado foi de 30 anos. Quando o modelo SESOIL é usado para simular o transporte através da zona não saturada, a proporção de massa do químico carregado a superfície de água é usada diretamente como uma entrada para o AT123D. Para execução da simulação, a região de Ribeirão Preto – SP foi dividida em oito grupos (figura 2). Esta divisão baseou-se no fato de que a hidrografia presente na região como contorno, pois os córregos absorvem a contaminação subterrânea por postos de combustíveis, uma vez que o aquífero subterrâneo alimenta os córregos.

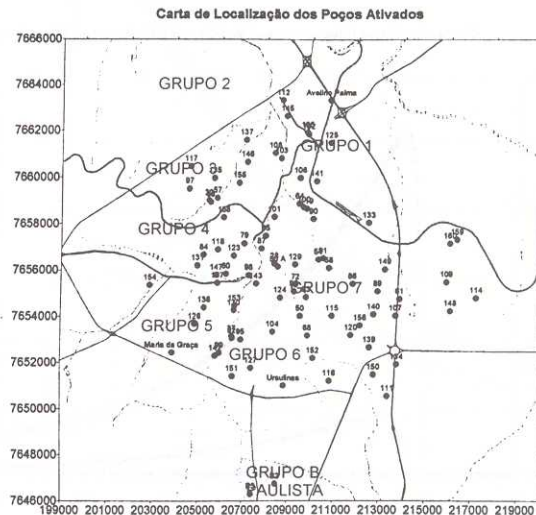


Figura 2 - Mapa de Ribeirão Preto-SP, com a divisão em grupos.

Para as simulações foram utilizados valores de dispersividade longitudinal de 20m. Para distâncias postos/poços muito pequenas, foram adotados valores de dispersividade longitudinal proporcionais a esta distância. Ao final da simulação foi realizada análise de sensibilidade para os parâmetros de entrada armazenabilidade, densidade de solo seco, condutividade hidráulica e fração de carbono orgânico para um poço eleito para ser analisado.

Para execução da delimitação das APPs foi utilizado o módulo GPTRAC, contido no WHPA. Neste módulo, rios paralelos foram delineados, caracterizando faixas do aquífero. Portanto, foi considerado homogêneo o aquífero com ambiente de fluxo constante e uniforme e assumido como confinado nas faixas estudadas. As zonas de captura foram relativas a tempo. Os poços estudados foram 50A, 57, 60, 61, 65, 72, 87, 96, 101, 103, 124, 125 e 130. Estes foram os que apresentaram problemas de contaminação potencial por BTEX na simulação do APIDSS, e sua localização encontra-se em NETO e ROSELLI (1996) .

Para cada poço foi criado um respectivo arquivo, cujas entradas de valores mínimos e máximos das coordenadas x e y da área em estudo permitiram a configuração de uma faixa de aquífero aos arredores do poço em questão. As zonas de captura obtidas foram sobrepostas e salvas na opção ARC/INFO, para serem então transferidas do Cartalinx ao Idrisi (componentes de Sistemas de Informações Geográficas). No Idrisi, foi sobreposto ao mapa hidrogeológico de Ribeirão Preto (NETO e ROSELLI, 1996) e comparado à carta de caracterização da vulnerabilidade natural, proposta por FERREIRA (1992).

A etapa final foi a verificação da existência da contaminação por BTEX através do uso do fotoionizador HNU DL-101 dos poços de bombeamento 28, 124, 72, 65, 101, 130, 60 e 50A. Foi utilizado o Modo de Operação de Resíduos Perigosos. A calibração foi feita com um gás alternativo. Neste caso, um gás possivelmente menos tóxico é usado para calibração. Um valor de concentração é determinado qual relaciona os compostos de interesse ao gás usado para calibração. Dados de sensibilidade da fotoionização podem ser encontrados em HNU (1991). Se um padrão de calibração do composto a ser medido não está disponível ou é perigoso, é necessário executar uma calibração usando um gás alternativo de referência. Neste estudo, o gás de calibração foi o isobutileno em concentração 100 ppm (sensibilidade de fotoionização de 5,5).

### 3. RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados estão descritos nas figuras 3 a 9.

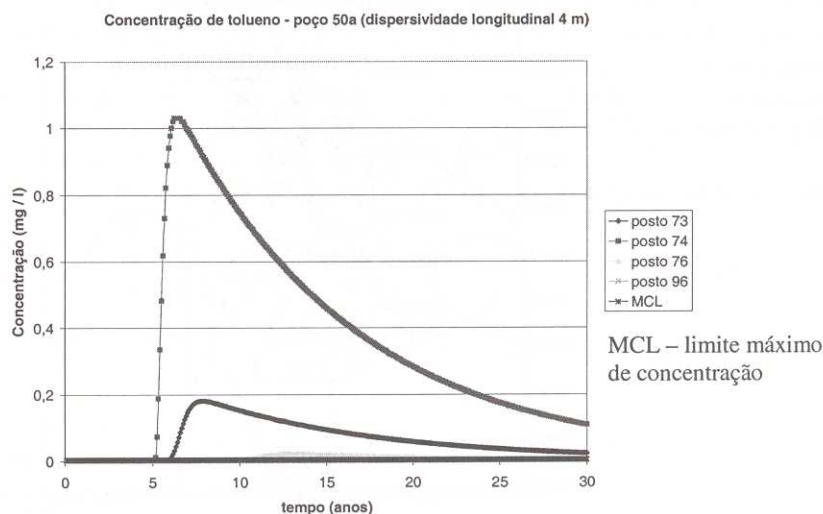


Figura 1 – Simulação da concentração de tolueno para o poço 50 A, com dispersividade longitudinal de 4m.

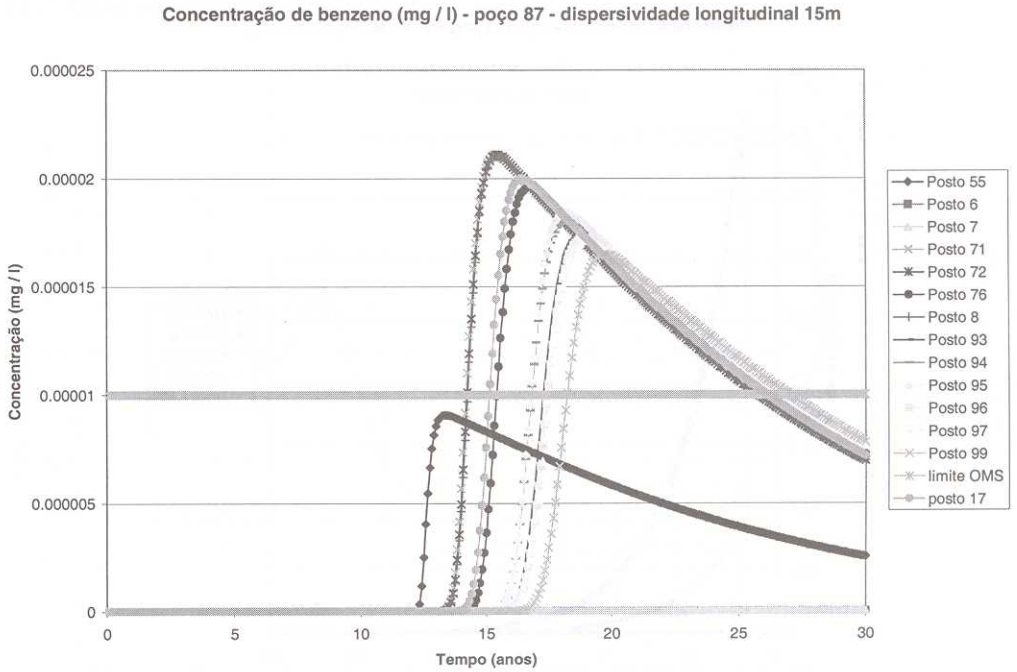


Figura 2 – Simulação da concentração de benzeno para o poço 87, com dispersividade longitudinal de 15 m.

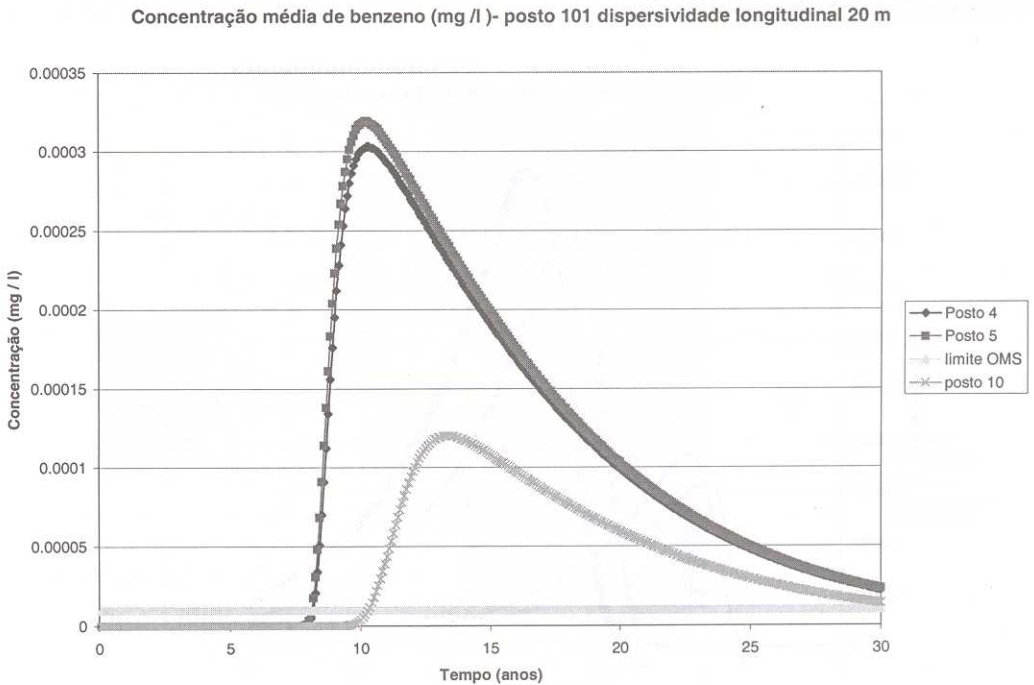


Figura 3 – Simulação da concentração de benzeno para o poço 101, com dispersividade longitudinal de 20 m.

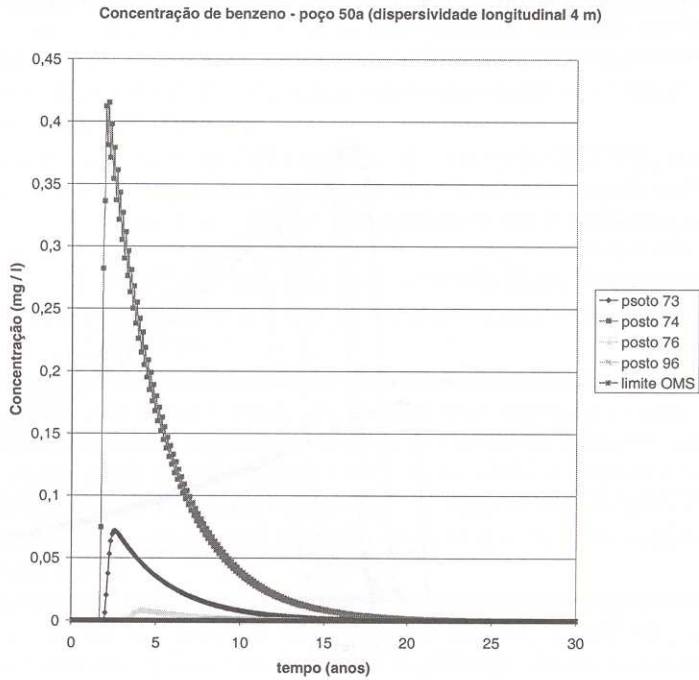


Figura 4 – Simulação da concentração de benzeno para o poço 50 A, com dispersividade longitudinal de 4m.

### 3.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

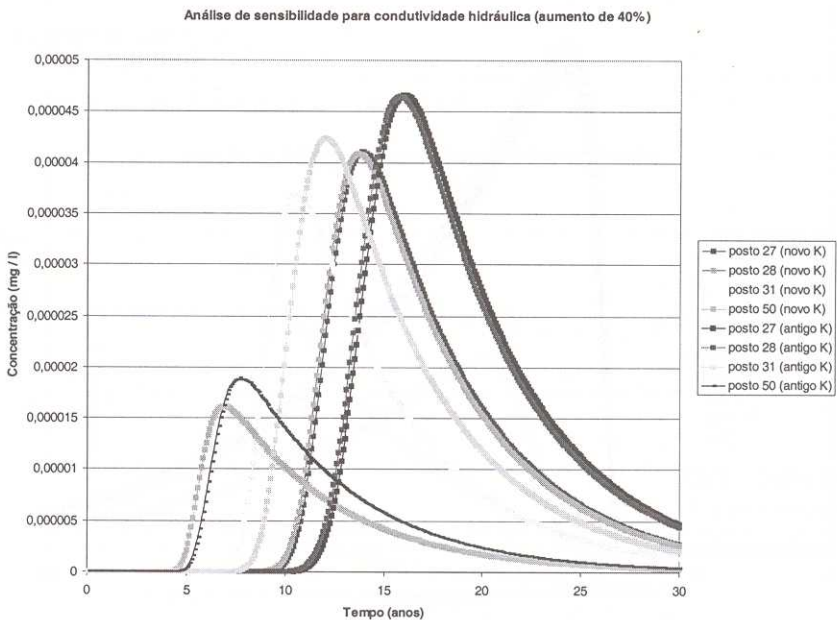


Figura 5 – Análise de sensibilidade do parâmetro de sensibilidade hidráulica.



## 3.2 LEITURAS NO FOTOIONIZADOR

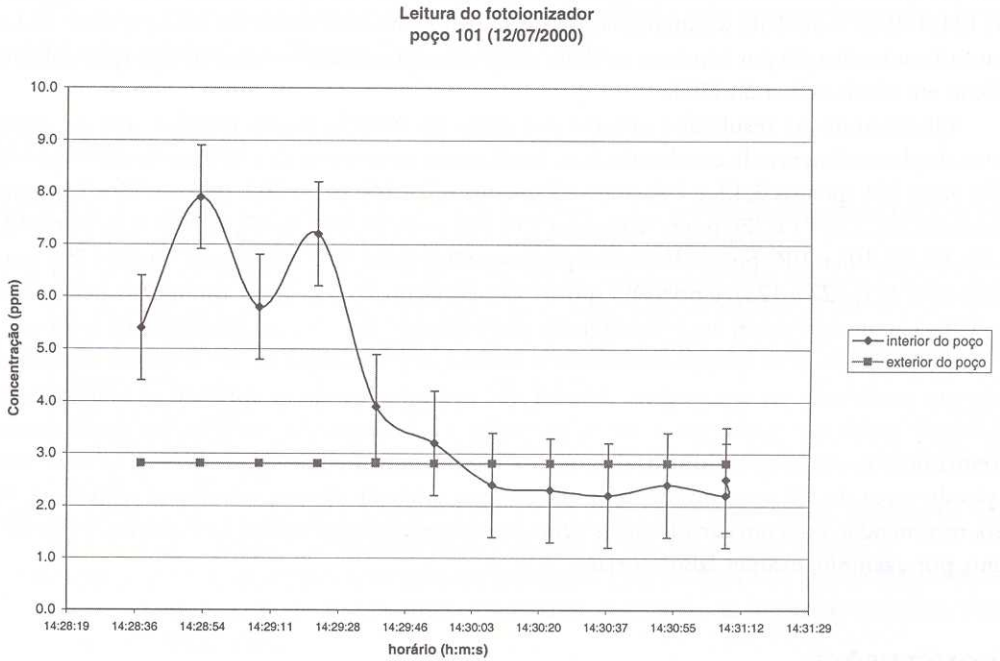


Figura 6 – Leitura do fotoionizador, realizada em 12/07/2000 no poço 101.

## 3.3 DELINEAÇÃO DAS APPS

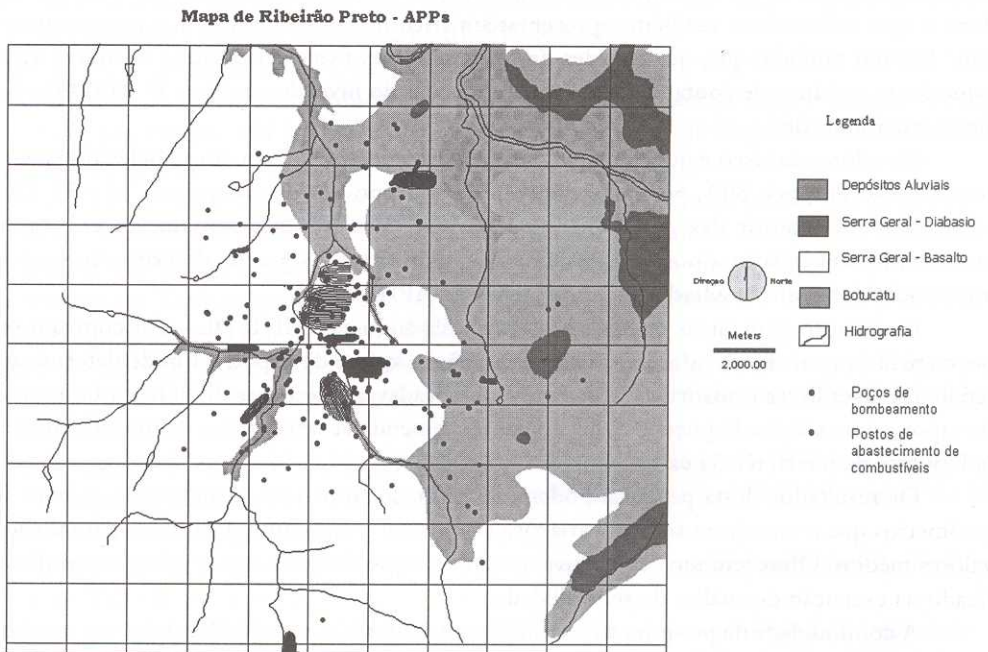


Figura 7 – Resultados da delimitação das APPs.

Os poços de bombeamento que seriam atingidos pela contaminação por benzeno em níveis acima do limite recomendado MCL e OMS seriam, para os modelos estudados: 50A, 61, 65, 72 e 101, 124, 130, 57 e 60. Para a contaminação por tolueno em níveis acima do MCL, seriam: 50A e 61. Quanto à contaminação por benzeno, nenhum dos poços apresentariam contaminação por etilbenzeno e xileno em níveis acima do MCL.

Observando os resultados obtidos por meio do WHPA, foram notados que os seguintes postos de abastecimento de combustíveis se localizavam no interior das APPs: poço 125 (postos 18 e 45); poço 101 (postos 3,4,5 e 10); poço 65 (postos 6,7 e 16); poço 50A (postos 73 e 74), poço 87 (postos 55, 17, 7, 8, 71 e 72); poço 72 (postos 73 e 74); poço 96 (postos 97,98,99 e 112); poço 124 81, 82, 83, 84, 85, 105 e 106; poço 130 (nenhum); poço 60 (postos 50 e 51); poço 57 (posto 29); poço 61 (posto 120, 121, 122 e 123); e poço B3 (posto 48). Estes poços e as áreas abrangidas pelas respectivas APPs encontram-se em área denominada de moderado risco à contaminação do aquífero.

Observando-se as leituras no exterior e interior do poço (figura 6) e o respectivo erro inerente de uma medida de campo, pode-se afirmar que nenhum dos poços apresentou hidrocarbonetos em fase de vapor que pudessem estar relacionados à contaminação por gasolina provenientes de derramamentos em tanques de armazenamento. Porém, para o poço 101, observou-se uma concentração de cerca de 5,0 ppm no início, o que poderia advir de alguma interferência externa. Neste caso, recomendar-se-ia uma análise mais acurada deste poço em relação à contaminação por BTEX, como, por exemplo, exames laboratoriais.

#### 4. CONCLUSÕES

A maior parte dos poços de bombeamento em operação que apresentariam problemas em relação à concentração de benzeno, mesmo para pequenos vazamentos, localiza-se na região central da cidade. No entanto, os poços restantes não estariam isentos de preocupação, pois estão localizados na região onde o Botucatu aflora. Isto significa que postos instalados a montante em relação ao fluxo e água subterrânea também representariam risco de contaminação dos poços em operação. Cabe lembrar também que, quantidades de contaminantes ficam adsorvidos no solo e funcionam como fonte contínua de contaminação pelas flutuações do nível do aquífero. O APIDSS não considera essas flutuações.

Os valores de risco e quociente de risco não excederam o patamar estabelecido pela USEPA, com exceção do poço 50A, por contaminação de benzeno devido aos postos 73 e 74. Os postos localizados no interior das APPs (listados no item resultados) deveriam ser constantemente monitorados em relação a possíveis vazamentos, bem como os postos descritos como potencialmente poluidores nos resultados das simulações do APIDSS.

Em relação às medidas realizadas in loco, utilizando-se o HNU DL -101, concluiu-se que os poços para os quais foram aferidas as concentrações em fase de vapor, a fim de determinar o conteúdo das fases livres e adsorvida, não foram observadas as presenças de hidrocarbonetos em fase de vapor, com exceção do poço 101, para o qual recomenda-se uma análise laboratorial mais acurada (a hipótese de interferência externa não é descartada).

Os resultados desta pesquisa podem ser refinados e não são conclusivos, pois os diversos parâmetros que o envolvem sofrem variações espaciais e temporais e para muitos foram admitidos valores médios. Oferecem uma estimativa, e suas variações influem nos resultados, conforme verificado na execução de análise de sensibilidade.

A continuidade da pesquisa é incentivada com valores mais acurados, uma vez que o aquífero Botucatu/Pirambóia constitui-se em um dos mais importantes do Brasil e é única fonte de abastecimento público de água no município de Ribeirão Preto-SP.

**AGRADECIMENTOS**

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro. Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto (EESC/USP),

**BIBLIOGRAFIA**

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (1999). API's Decision Support System for Exposure and Risk Assessment (DSS) Version 2.0. (Publicação número 4685).
- BONAZOUNTAS, M.; WAGNER, J.M. (1984). SESOIL, a Seasonal Soil Compartment Model. Developed for U. S. EPA Office of Toxic Substances. Report reproduced by NTIS C-85875
- CLEARY, M. T. (1992). Investigação através de Modelos Matemáticos em Microcomputadores dos Efeitos dos Principais Parâmetros Hidrogeológicos e dos Processos Atenuantes de Transporte na Delineação de Áreas de Proteção de Poços (APPs) e na Remediação de Aquíferos Contaminados. São Paulo. 169 p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo). Estudo de águas subterrâneas – Região Administrativa 6- Ribeirão Preto. São Paulo: 1974. 4 v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DAEE. Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo V. 1.0, 1998 – BcDAEE. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. 1998.
- FERREIRA, S. T. (1992). Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação das águas Subterrâneas na região de Ribeirão Preto-SP. Rio Claro. 69 p. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências – Universidade Estadual Paulista.
- GUIGER, N. (1996) . Poluição das águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento . Waterloo hydrogeologic, Inc. Waterloo. Ontário, Canadá.
- HETRICK, D.M.; SCOTT, S.J.; BARDEN, M.J. (1994). The new SESOIL User's Guide. Wisconsin Department of Natural resources, PUBL-SW-200-94 (Ver).
- HNU (1991). HNU Systems, Inc. DL-101 Operator's Manual. USA.
- MONTENEGRO, A. A. A. (1990). Modelação matemática do manancial subterrâneo de Ribeirão Preto. São Carlos. 154 p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NETO, D. C. ; ROSELLI, M. L. (1996). Relatório técnico do projeto de gestão da quantidade de águas subterrâneas – resultados. São Carlos. /Relatório técnico FIPAI/
- OLIVEIRA, E. (1992). Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos em Tanques de Armazenamento Subterrâneo. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo.
- PIET, G.J.; SMEENTS, G.M.M. (1985). Behavior of organic pollutants in pretreated Rhine water during dune infiltration . Ground Water Quality, eds. By C.H. Ward et al. New York: Wiley, pp. 122-144
- SINELLI, O ; SOUZA, A .; DAVINO, A .; GONÇALVES, N; TEIXEIRA, J.A . (1980). Hidrogeologia da região de Ribeirão Preto-SP, 10 CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Recife-PE:319-335
- SPITZ, K.; MORENO, J., (1996). A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley & Sons, Inc. Canadá.
- TEIDRESSE, J.M.; SANCHES, J.L.; LOPES, M.F.C. (1982). Geometria e condições de exploração do aquífero Botucatu no estado de São Paulo, 2o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas-Salvador-BA



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1990). Seminar Publication – Risk assessment, management and communication of drinking water contamination. Washington, DC.

WILSON, B.H.; SMITH, G.B.; REES, J.F. (1986). Biotransformations of selected alkylbenzenes and halogenated aliphatic hydrocarbons in methanogenic aquifer materials: A microcosm study. Environ. Sci. Technol. 20, 997-1002