

MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR DERIVADOS DE PETRÓLEO: ESTUDO DE CASO HIPOTÉTICO

Cícero Cezar Ferreira Dantas^{1*}; *Celme Torres Ferreira da Costa*²; *Paulo Roberto Lacerda Tavares*² & *Claire Anne Viana de Sousa*³

Resumo – A contaminação das águas subterrâneas por hidrocarbonetos tem gerado problemas ambiental nas últimas décadas. Uma das principais fontes de contaminação é advinda de vazamentos em tanques de armazenamento de combustíveis (TAC's), presentes em postos de gasolina, devido, principalmente à corrosão dos tanques. Dentre os contaminantes advindos do vazamento de combustível, os mais nocivos e que primeiro irão atingir as águas subterrâneas são os compostos do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos orto, meta e para), que são hidrocarbonetos aromáticos extremamente tóxicos. A legislação brasileira impõe a adição de 24% de etanol na gasolina, tal adição possibilita uma maior solubilidade e mobilidade do BTEX em água, dificultando a remediação do solo. No escopo desse trabalho, será abordada a problemática dos postos de combustíveis, com ênfase nos hidrocarbonetos do grupo BTEX. Adicionalmente, foi apresentado um exemplo de aplicação de contaminação, com o *software* PMWIN, em um caso hipotético com Benzeno, onde há vazamento oriundo de um posto de gasolina e presença de dois poços nas proximidades do mesmo. A simulação revelou contaminação dos poços com concentrações superiores aos padrões exigidos por normas brasileiras, mostrando assim um cenário de contaminação que pode ser comum a muitos locais em nosso país.

Palavras-Chave – Águas subterrâneas. Contaminação. BTEX.

COMPUTATIONAL MODELING OF PROCESSES OF CONTAMINATION OF GROUNDWATER IN OIL PRODUCTS: HYPOTHETICAL CASE STUDY

Abstract – The contamination of groundwater by hydrocarbons has generated environmental problems in recent decades. A major source of contamination is arising from leaks in storage tanks of fuel (TAC's), present in petrol stations, mainly due to corrosion of the tanks. Among the contaminants coming from the fuel leak, the most harmful and it will first reach the groundwater are the group BTEX compounds (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes, ortho, meta and para), which are extremely toxic aromatic hydrocarbons. Brazilian law requires the addition of 24% ethanol in gasoline, such an addition enables greater solubility and mobility of BTEX in water, making the soil remediation. In the scope of this work, will be addressed gas stations, with emphasis on hydrocarbons BTEX group. Additionally, we presented an application example of contamination, with software PMWIN, in a hypothetical site with Benzene where leaks come from a gas station and the presence of two wells near the same. The simulation revealed contamination of wells with concentrations greater than the standards required by Brazilian standards, thus showing a scenario of contamination that may be common to many places in our country.

Keywords – groundwater. Contamination. BTEX.

¹ Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Campus Cariri, Av. Tenente Raimundo Rocha s/n, 63040-360, Juazeiro do Norte/CE. E-mail: cicerocezardantas1@hotmail.com

² Professores Adjuntos da Universidade Federal do Ceará, Campus Cariri. Av. Tenente Raimundo Rocha s/n, 63040-360, Juazeiro do Norte/CE. E-mail: celmetorres@ufc.br; prltavares@ufc.br

³ Geóloga, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, Gerência Regional da Sub-bacia do Rio Salgado. Rua Coronel Secundo, 255, Centro, Crato/CE, CEP: 63100-480. E-mail: claire.viana@cogerh.com.br

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas vêm se tornando uma alternativa de abastecimento de água para o consumo da população, devido à escassez e à poluição das águas superficiais. O problema da ausência ou do inadequado tratamento do esgoto, junto à alarmante disposição de resíduos sólidos, exerce uma enorme pressão sobre os reservatórios urbanos, peri urbanos e drenagens, justificando uma alerta geral em relação à escassez qualitativa da água (TOMASONI, 2009).

Os casos mais recorrentes de contaminação das águas subterrâneas são atribuídos aos hidrocarbonetos aromáticos, ocorrendo na maioria dos casos devido ao vazamento de tanques subterrâneos que armazenam combustíveis derivados de petróleo (FORTE et al., 2007).

Dentre os componentes da gasolina, os que merecem maior preocupação são os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos orto, meta e para, chamados compostos BTEX, devido a sua toxicidade e maior solubilidade em água (CORSEUIL & ALVAREZ, 1996).

Na década de 70 houve um grande aumento do número de postos revendedores de gasolina no Brasil. Como grande parte dos tanques de armazenamento de combustíveis (TAC's) instalados nesse período eram constituídos de aço, sem proteção contra a corrosão, tendo em média uma vida útil de aproximadamente 25 anos, estima-se que pode estar ocorrendo processos de vazamento de tanques de armazenamento de combustíveis dos postos de revenda.

A análise e monitoramento de aquíferos em áreas urbanas sujeitas a possíveis contaminações por compostos derivados de petróleo, proveniente de vazamentos de tanques combustíveis, já é realizado em outras cidades do Brasil e do mundo (FORTE et al., 2007; SILVA et al., 2002). Como exemplo, englobando ações dessa natureza, tem-se a cidade de Joinville/SC onde a prefeitura local realizou estudos com os sessenta e cinco postos da cidade e constatou que somente um posto não continha nenhum problema de contaminação do lençol freático (CADORIN, 1996 apud CARDOZZO, 2000).

Diante do exposto, é perceptível a necessidade de estudo de caso referente à contaminação por derivados de petróleo, com ênfase ao composto BTEX, com a finalidade de se ter uma noção do caminhamento das plumas de contaminação, com a finalidade de buscar uma alternativa de remediação do aquífero. O problema de pesquisa desse estudo é avaliar o potencial de contaminação das águas subterrâneas de uma região hipotética por compostos do grupo BTEX.

OBJETIVOS

Aplicar a simulação numérica, utilizando um software comercial (PMWIN), para identificar o potencial de contaminação por compostos do grupo BTEX em uma região hipotética, fornecendo também o caminhamento destas partículas, com a finalidade de uma possível remediação.

METODOLOGIA

Foi realizada uma simulação utilizando o software PMWIN que, através do método as diferenças finitas, realiza uma simulação de fluxo, fornecendo o caminhamento tanto do lençol freático, como da pluma de contaminação. Para a realização da simulação foi considerado que a superfície se caracteriza como homogênea e isotrópica, o contaminante a ser simulado foi apenas o

benzeno, por ser o mais solúvel e móvel em água, além do mais agressivo à saúde. Nesta simulação não foram considerados os efeitos de degradação natural do contaminante nem os efeitos de sorção.

O modelo teórico trata-se de uma região hipotética, que apresenta um ponto caracterizado como posto revendedor de combustíveis (P0), e dois pontos caracterizados como poços de extração de água (P1 e P2), como mostrado na Figura 1.

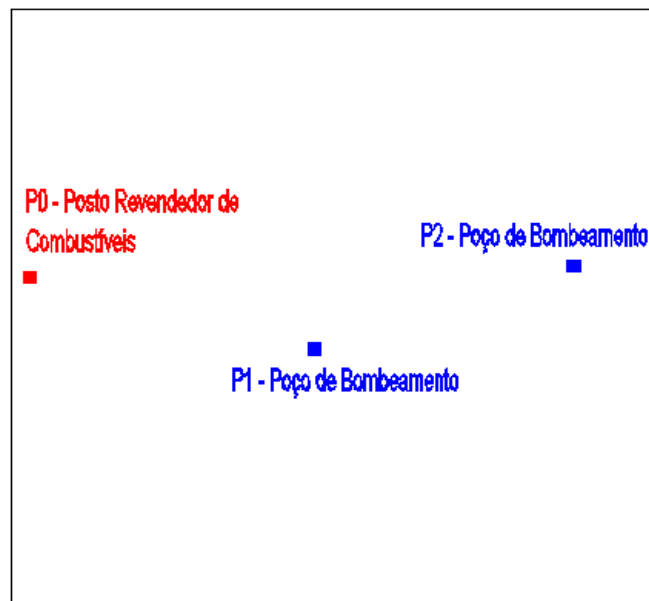


Figura 1 - Localização de posto revendedor de combustíveis e poços de bombeamento.

A área modelada apresenta as dimensões de 50 x 50 metros, apresentando um total de 2500 m², a camada de solo possui espessura de 10 metros, apresentando as seguintes características, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 - Dados de entrada no modelo simulado

Carga hidráulica no lado oeste	9 metros
Carga hidráulica no lado leste	8 metros
Condutividade hidráulica horizontal	0,0001 m/s
Porosidade efetiva	0,25
Taxa de bombeamento de 2 poços	0,00075 m ³ /s
Taxa de injeção da fonte contaminante	0,0001 m ³ /s
Concentração do contaminante	18000 mg/m ³
Dispersividade longitudinal	10

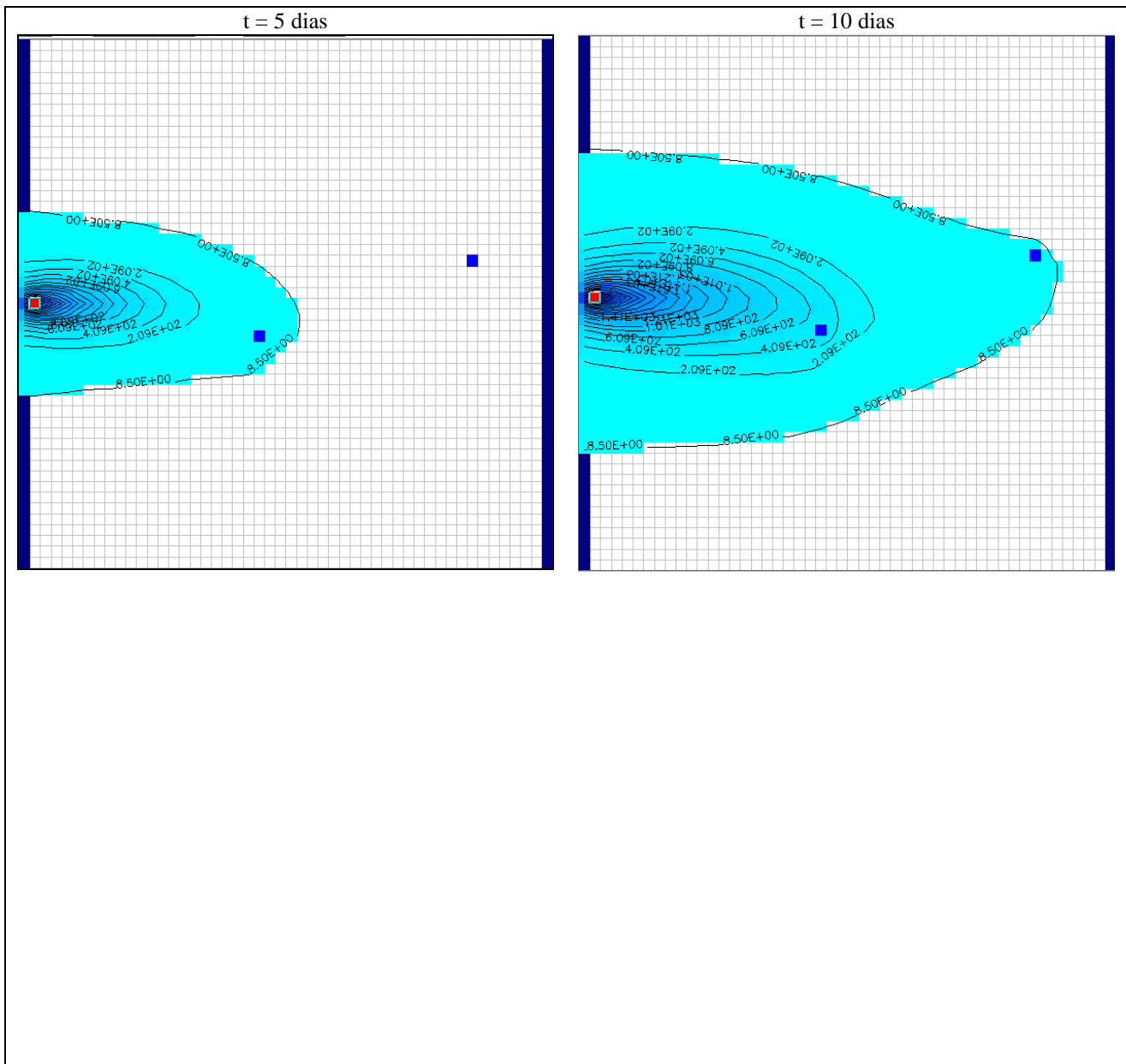
A distância entre o ponto P0 e P1 é de 22 metros, já a distância entre o ponto P0 e P2 é de 42 metros. Os tempos de simulação serão de 5, 10, 20, 30, 60, 90 e 120 dias.

Após inserção dos dados referentes à superfície modelada e posicionamento de posto e poços, é realizada a simulação com o pacote *MODFLOW*, que fornece como resultado a distribuição das cargas hidráulicas na área. Finalizado tal processo, parte-se para o pacote *MT3D*, que realiza a simulação do contaminante, fornecendo o caminhamento e a concentração do mesmo em cada célula.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados neste tópico todos os valores obtidos após processo de simulação utilizando o *software* PMWIN, com auxílio do seu pacote MT3D, que simula o caminhamento de partículas (contaminante) em meio poroso.

Ao ser realizada a simulação, o MT3D forneceu o caminhamento do contaminante. Nas imagens extraídas do MT3D, o ponto em vermelho representa a célula onde houve o derramamento do contaminante, as células em azul claro, no centro da malha, representam os poços de captação de água, as células em azul escuro representam as cargas hidráulicas constantes. As células que apresentam um azul esverdeado representam a pluma de contaminantes, sendo delimitados por curvas que determinam sua concentração, em $\mu\text{g}/\text{litro}$, como mostrado na Figura 2.



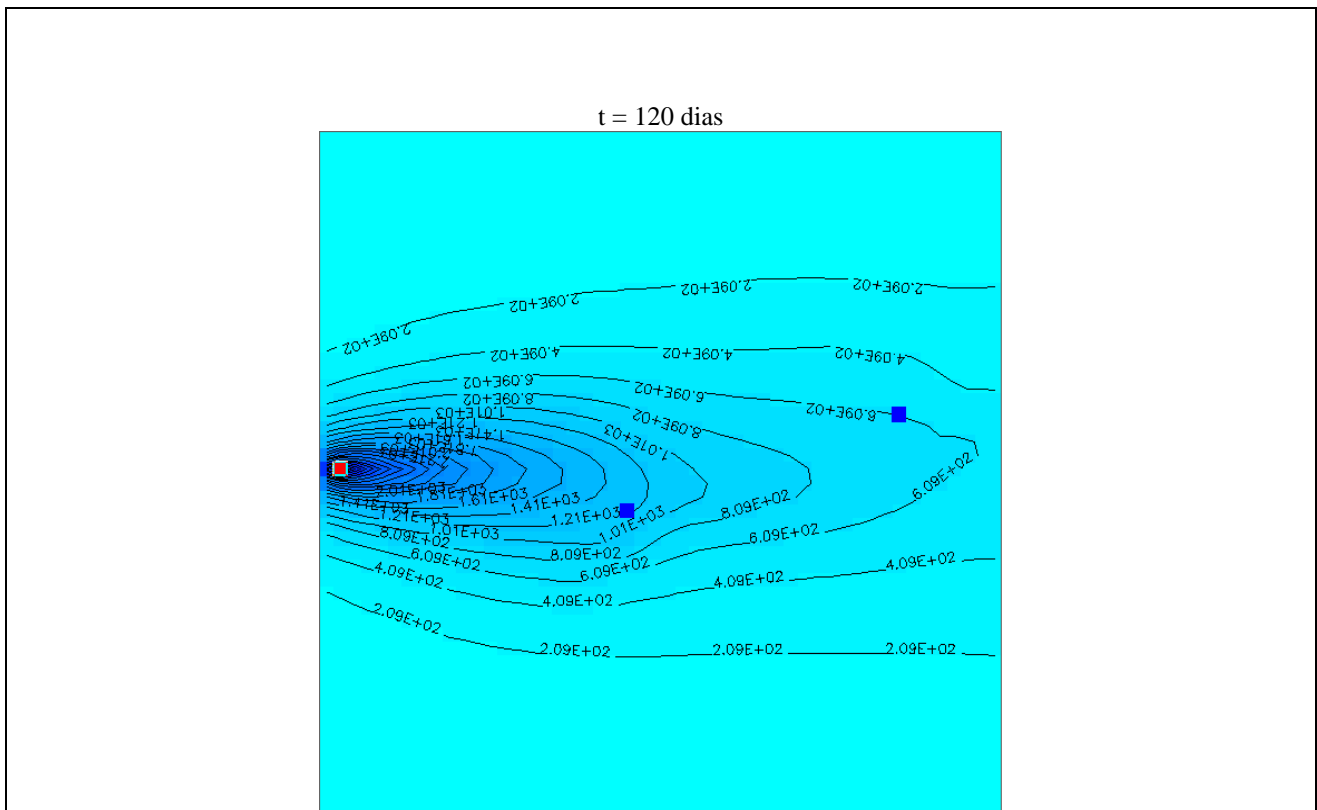


Figura 2 - Concentração de benzeno no tempo (dias)

Foi possível perceber que a partir do quinto dia a pluma atingiu, no poço de bombeamento P1, com uma concentração muito superior ao que preconiza os padrões de potabilidade vigentes no Brasil (5 µg/litro), no poço P2 tal fato ocorreu no décimo dia. No trigésimo dia, toda a área simulada foi contaminada com concentrações de benzeno.

Esta simulação não levou em consideração efeitos de sorção, de decaimento, nem de degradação natural do contaminante, com isso o contaminante está escoando através do solo sem nenhuma barreira que impeça seu deslocamento, implicando assim em elevadas concentrações de contaminante.

O deslocamento da pluma se deu da esquerda para direita, ou seja, seguindo o gradiente hidráulico de 9,00 m para 8,00 m. É possível, com o auxílio do MT3D, saber a concentração de contaminante atuante em cada célula, com isso para cada variação de tempo, foram verificados os valores de concentração de cada poço e colocados em forma de tabela, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Concentração de benzeno observada nos poços de bombeamento

		Poço P 01							
Dias		0	5	10	20	30	60	90	120
Concentração (µg/l)		0	49,25	510	987,82	1175,917	1242,25	1241,79	1238,23
		Poço P 02							
Dias		0	5	10	20	30	60	90	120
Concentração (µg/l)		0	0,0017	11,58	183,17	436,72	583,45	605,46	606,32

Após processamento das concentrações observadas em cada poço, foi gerado um gráfico de concentração de benzeno x tempo.

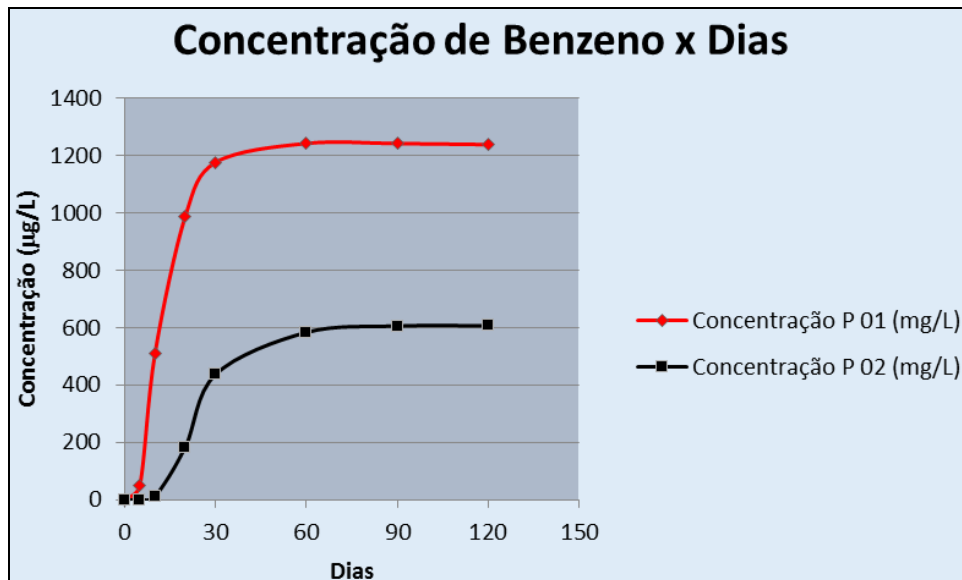


Figura 3 - Curvas de Concentração do contaminante no tempo

A partir da Figura 3 gerada, percebe-se que a concentração vai aumentando ao longo do tempo até chegar a um ponto onde adquire um valor constante, como se pode ver na Tabela 2, a concentração do contaminante no posto P1 começa a decair, indicando que a pluma de contaminante está se deslocando no sentido do fluxo, como acontece em uma situação real. O motivo de a concentração do contaminante no ponto P2 não ter decaído, advém do fato de o mesmo estar mais distante da fonte contaminante, captando ainda as grandes concentrações advindas da mesma.

CONCLUSÃO

A modelagem do fluxo hídrico de contaminantes é de extrema importância, visto que é notório o aumento de vazamentos oriundos dos tanques de armazenamento de combustíveis no mundo, sendo ainda fato pouco estudado no país. Um estudo das características de uma região aliados a um poderoso *software* de análise de contaminantes evitaria problemas no estudo de uma possível contaminação, facilitando a tomada de decisões quanto a forma de remediação de um aquífero contaminado.

O trabalho aqui exposto teve como principal contribuição fornecer subsídios básicos para se utilizar uma ferramenta computacional de simulação de fluxo de contaminantes no subsolo, apresentando resultados rápidos e confiáveis. Neste sentido, procurou-se contribuir com órgãos que têm a necessidade de dispor de conhecimentos sobre um instrumento que facilita a análise de contaminação, além de ajudar na tomada de decisão no que se refere à descontaminação do subsolo.

REFERÊNCIAS

CARDOZZO, J. **Modelagem e Simulação Numérica do Derramamento de Gasolina Acrescida de Álcool em Águas Subterrâneas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CORSEUIL, H. X., ALVAREZ, P. J. J. **Natural biorremediation perspective for BTX – contaminated groundwater in Brazil: Effect of ethanol.** *Water Research*. Grã Bretanha, v. 34, n. 7-8, p. 311-318, 1996.

FORTE, E. J., AZEVEDO, M. S., OLIVEIRA, R. C., ALMEIDA, R. **Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos: estudo de caso na Vila Tupi, Porto Velho – Rondônia.** *Química Nova*. v. 30, n. 7, p. 1539-1544, jul 2007.

SILVA, R. L. B. **Contaminação de poços rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, por derramamento de gasolina: concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população.** Tese (Doutorado em Ciências da Saúde pública) – Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2002.

TOMASONI, M. A.; PINTO, J. E. S.; SILVA H. P. **A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil.** *GeoTextos*. V. 5, n. 2, P. 107-127, 2009.