

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

## REMEDIÇÃO POR BOMBEAMENTO E TRATAMENTO EM AQUÍFERO CONTAMINADO POR HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE PETRÓLEO NA BACIA DE TAUBATÉ

*Priscyla A. de Campos Freire<sup>1</sup>, Isabel Cristina de Barros Trannin<sup>2</sup> & Sílvio Jorge Coelho Simões<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Existe uma tendência mundial de promover a exploração adequada e controlada dos aquíferos, como alternativa para atender à demanda de água dos dias atuais. No entanto, verifica-se que a qualidade da água dos aquíferos tem sido prejudicada por ações antrópicas, destacando-se entre estas, os vazamentos e derrames de combustíveis, que percolam no solo e alteram a qualidade da água subterrânea. Como a técnica de remediação por bombeamento e tratamento apresenta diferentes resultados, de acordo com o modelo conceitual de cada área, este trabalho teve o objetivo avaliar a eficiência e eficácia deste sistema de remediação de água subterrânea aplicado à área do Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, localizado em Cachoeira Paulista/SP, sobre o Aquífero Sedimentar do Grupo Taubaté. Por meio das análises químicas da água subterrânea foi possível verificar que a técnica de bombeamento e tratamento foi eficiente e reduziu em até 73% as concentrações de hidrocarbonetos em fase dissolvida, por outro lado, a técnica apresentou baixa eficácia devido ao longo prazo de bombeamento, que até o momento, passa de 3 anos.

**ABSTRACT** – There is a worldwide trend to promote adequate and controlled exploitation of aquifers, as an alternative to attend the water demand. However, the water quality of aquifers has been affected by human actions, among these, fuels leaks and spills that moves through the soil and aquifer, changing the quality of groundwater. How pump and treat remediation can give different results according to the conceptual model of each area, the aim of this study was to evaluate the efficiency and effectiveness of this technique applied to the gas station area named by Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, located in Cachoeira Paulista, São Paulo State, on the Sedimentary Aquifer of Taubaté Group. By chemical analysis results of the groundwater it was possible say that the method of pump and treat was effective and decreased 73% of hydrocarbons concentration in dissolved phase, however, the effectiveness of this technique was low, due to long time of the system operation that goes far of 3 years.

**Palavras-Chave** – Pluma de fase dissolvida, posto de combustível, aquífero sedimentar.

### INTRODUÇÃO

É elevado o potencial de exploração da água subterrânea para consumo humano, no entanto, ações antrópicas vêm causando a contaminação deste recurso, necessitando de intervenção, como a

---

1 Engenheira Civil, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho – Guaratinguetá/SP - CEP: 12.516-410 - Brasil - e-mail: priscyla\_freire@hotmail.com

2 Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciência do Solo, Professora nos Cursos de Graduação e Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Tel: +55 (12) 3123-2132 - Fax: +55 (12) 3125-2466 - e-mail: isatrannin@uol.com.br

3 Geólogo, Livre docente em Recursos Hídricos, Professor nos Cursos de Graduação e Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Tel: +55 (12) 3123-2135 - Fax: +55 (12) 3125-2466 - e-mail: simões@feg.unesp.br

implantação de um sistema de remediação, em casos específicos como os vazamentos e derrames gerados por postos de combustíveis. De acordo com dados da Cetesb (2010) os postos de distribuição de combustíveis são responsáveis por mais de 79% das áreas contaminadas do Estado de São Paulo. Os derivados de petróleo percolam pelo perfil do solo e atingem a zona saturada, onde parte do combustível solubiliza em água, parte volatiliza entre os vazios do solo e parte se concentra na franja capilar da água subterrânea, formando as plumas de contaminantes.

Alguns fatores, como a permeabilidade do solo, a profundidade do nível da água, a lixiviação de contaminantes miscíveis em água de chuva, a declividade do terreno e outros fatores químicos e físicos associados, favorecem a propagação da pluma de contaminação no perfil do solo até atingir a água subterrânea.

Dentre as técnicas de remediação de aquíferos contaminados, o bombeamento e tratamento (*pump and treat*) é uma das mais utilizadas atualmente, e consiste no bombeamento da água subsuperficial contaminada à superfície, para posterior tratamento externo e remoção de contaminantes (USEPA, 1996). Além das características físico-químicas inerentes ao contaminante, a eficiência do bombeamento na remoção ou atenuação da pluma, depende diretamente de fatores como a permeabilidade do solo, impedimentos físicos e extensão e profundidade da pluma, que devem ser considerados no processo de remediação (USEPA, 1996). O carvão ativado, normalmente empregado na etapa de tratamento, não é destrutivo, apenas transfere o poluente de uma fase para outra, conforme citado por Trovão (2006). Sistemas de bombeamento de águas subterrâneas bem executados podem controlar a migração da pluma para regiões mais afastadas, permitindo a remoção de fontes secundárias da contaminação, além de ser uma necessidade indiscutível antes da implementação da maioria das técnicas de remediação, em sites que apresentam pluma de fase livre.

## **OBJETIVO**

Avaliar a eficiência e eficácia da técnica de bombeamento e tratamento da pluma de hidrocarbonetos em fase dissolvida no Aquífero Sedimentar do Grupo Taubaté, contaminado por vazamentos e derrames de combustíveis provenientes das operações do Auto Posto Therezinha da Silva Pontes Ltda., localizado em Cachoeira Paulista (SP).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

## **Caracterização da área de estudo**

O Auto Posto Therezinha da Silva Pontes localiza-se no município de Cachoeira Paulista, no interior do Estado de São Paulo, à Avenida Severino Moreira Barbosa, número 193. O município de Cachoeira Paulista faz parte da microregião de Guaratinguetá, no Vale do Paraíba, localizada entre as Serras da Mantiqueira e da Bocaina, em uma bacia sedimentar terciária. O clima é caracterizado como tropical de inverno seco, com temperatura média de 27,6° C (disponível em: <http://www.explorevale.com.br/cidades/cachoeirapaulista/index.htm>, acessado em maio de 2011). O entorno do empreendimento é caracterizado por pontos comerciais e algumas residências.

A região está inserida na bacia do Taubaté que, ao contrário da maioria das bacias brasileiras, possui uma origem tectônica daí seu formato linear. Em um contexto regional possui uma orientação NE-SW sub-paralela aos principais traços estruturais observados na região como as zonas de cisalhamento e os traços geomorfológicos como a Serra da Mantiqueira e Serra do Mar.

A estratigrafia da bacia do Taubaté tem sido motivo de muitas controvérsias. Conforme destacam Fúlfaro e Bjomberg (1993), tradicionalmente a estratigrafia é representada pelo Grupo Taubaté com as formações Tremembé (predominantemente folhelhos e argilitos), e Caçapava (predominantemente arenitos). O trabalho de Ricomini (1989) acrescentou mais a formação Pindamonhangaba. Saad (1990) utilizou novos conceitos de estudos estratigráficos para dividir a coluna sedimentar em três grandes sistemas deposicionais: Tremembé, Taubaté e Paraíba do Sul. Estas seqüências envolvem três tipos de sistemas: leques aluviais, sistema fluvial meandrante e sistema lacustre.

Desta forma, os sedimentos da bacia do Taubaté e os terraços fluviais do rio Paraíba do Sul compõem o Aquífero Sedimentar do Vale do Paraíba (DAEE, 1977). Cabe destacar que as características hidrodinâmicas deste aquífero não são uniformes em toda a sua ocorrência apresentando variações locais segundo a diversidade litológica do pacote sedimentar.

De uma maneira geral se pode identificar um aquífero superior e um aquífero inferior. O Aquífero Superior é raso (normalmente inferior a 10 m) sendo composto de planícies aluvionares, terraços aluvionares (mais recentes), terraços colúvio-aluvionares (mais antigos) e a formação Pindamonhangaba. As pequenas espessuras de sedimentos e profundidades rasas do nível d'água não favorecem a sua utilização para abastecimento público seja pelas vazões pouco expressivas seja por ser muito vulnerável a contaminação. O Aquífero Inferior é formado pelos sedimentos das demais formações tendo espessuras de algumas centenas de metros dependendo da região considerada. Entre elas, a formação Tremembé possui menor potencial hidrodinâmico devido a se constituírem sistemas lacustres com a presença de sedimentos argilosos, argilo-arenosos e folhelhos betuminosos. Entretanto, poços para abastecimento na cidade de Potim inseridos totalmente na

formação Tremembé alcançaram vazões em torno de 50 m<sup>3</sup>/h com profundidades entre 150 e 200 metros (Freitas, 1998). No caso das demais formações (Taubaté e Paraíba do Sul), as quais correspondem grosso modo a Formação Caçapava, as condições hidrodinâmicas permitem melhores aquíferos por estarem relacionados a sistemas fluviais meandantes onde as lentes arenosas são mais espessas. Nestas condições as vazões podem alcançar 150 m<sup>3</sup>/s.

Com base nas perfurações efetuadas na região do empreendimento, verificou-se solo constituído por silte e argila e que o nível freático da área está localizado a uma profundidade que varia de 0,60 a 1,50 m, sendo o aquífero classificado como livre.

Em fevereiro de 2009, foi realizado o estudo de passivo ambiental na área do Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, sendo verificada a presença de benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno dissolvidos na água subterrânea em concentrações superiores aos limites de intervenção da CETESB (2005). Com a identificação deste passivo ambiental foi recomendada a elaboração do estudo de investigação detalhada e plano de intervenção e a reforma mínima das instalações do Auto Posto. Em março de 2009, mesmo com a delimitação incompleta das plumas de contaminantes, mas considerando as altas concentrações de contaminantes detectadas e que a inalação de vapores em ambientes comerciais é o cenário mais restritivo para esta área, foi implantado no local, o sistema de bombeamento e tratamento, visando a remediação da fase dissolvida. Para isso, foram instalados três poços de extração nomeados de PRFL 01, PRFL 02 e PRFL 03 para remediar os poços de monitoramento, PM 02, PM 03 e PM 04, respectivamente. A figura 1 apresenta o croqui com a localização dos poços de monitoramento (PM) e demais equipamentos do Auto Posto.

Conforme a 5ª lista de convocação da CETESB, o Auto Posto Therezinha da Silva Pontes foi solicitado a realizar a reforma mínima. Ainda em maio de 2009 foi iniciada a reforma do Auto Posto para a instalação de novos equipamentos ecológicos, adequação das canaletas e a concretagem da área de tancagem e de abastecimento, para cumprir todas as exigências da CETESB, sendo, teoricamente, cessada todas as principais fontes de contaminação.

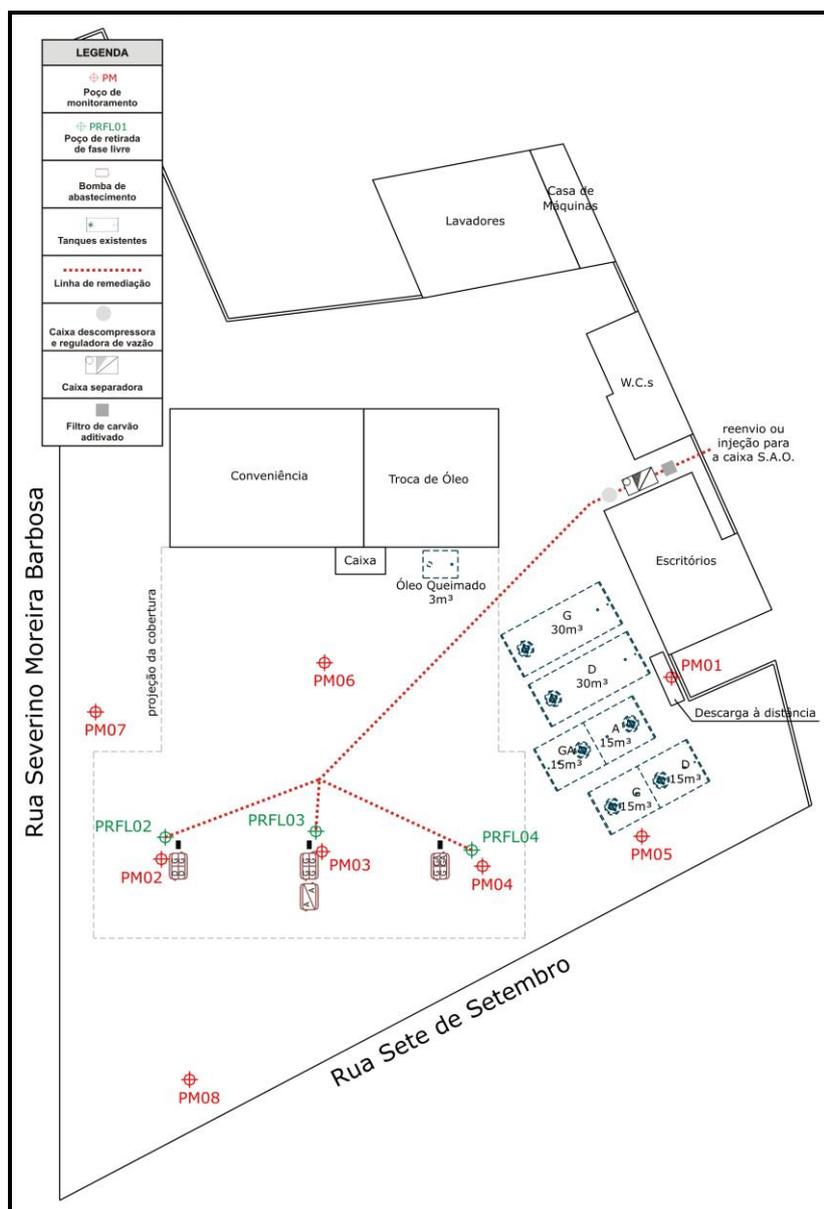


Figura 1 – Planta do sistema de remediação por bombeamento e tratamento, implantado na área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, em Cachoeira Paulista (SP).

### A técnica do bombeamento e tratamento – “pump and treat”

A técnica de remediação por bombeamento e tratamento é um dos sistemas de tratamento de aquíferos mais utilizados atualmente, e consiste no bombeamento da água subsuperficial contaminada com LNAPL (líquido leve menos denso que a água) à superfície para posterior tratamento externo de remoção de contaminantes (USEPA, 1996). A figura 2 apresenta um esquema do processo do bombeamento e tratamento para aquíferos contaminados. Após o bombeamento, a água passa pela caixa separadora de água e óleo (SAO), que possui três compartimentos, onde grande parte dos contaminantes fica retida, em seguida é filtrada por carvão ativado para tratamento em superfície e conduzida aos poços de reinjeção.

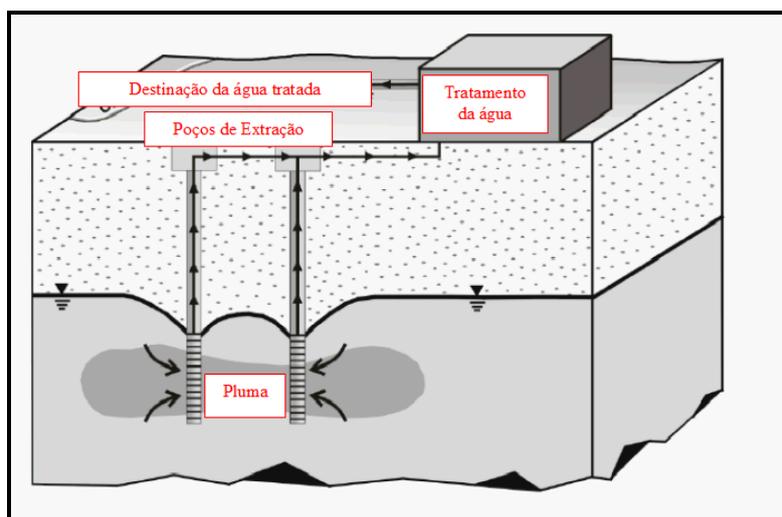


Figura 2 – Sistema de bombeamento e tratamento aplicado à remediação de aquíferos (Adaptado de Stewart, 2008).

### Resultados do monitoramento do sistema de remediação

Analisando as concentrações de BTEX e PAH, obtidas nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento, verificou-se que as concentrações no PM 02, PM 03 e PM 04, foram atenuadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentrações de BTEX e PAHs nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento implantado no auto posto Therezinha da Silva Pontes e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2012).

Parâmetros	Identificação dos Poços de Monitoramento Amostrados										Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 02					PM 03						
	Jan/09	Abr/10	Mar/11	ago-11	mar/12	Jan/09	Abr/10	Mar/11	ago-11	mar/12		
BTEX µg/L	Benzeno	46619,20	12090,07	1878,70	10316,00	12555,90	12919,20	2808,37	127,26	2652,00	4722,31	5
	Tolueno	120445,60	10867,56	2590,12	14741,00	19850,20	11629,40	2021,90	261,47	2069,00	3656,96	700
	m,p-xileno	119291,70	5211,50	3180,74	10699,00	8540,70	18274,70	3561,50	249,65	2944,00	7044,77	-
	o-xileno	71341,60	2523,63	1882,25	4059,00	3929,20	10363,80	2006,62	109,37	2718,00	4300,34	-
	Xileno	190633,30	7735,13	5062,99	14758,00	12469,90	28638,50	5568,12	359,02	5662,00	11345,11	500
	Etilbenzeno	25481,20	1176,22	370,05	1492,00	1702,80	2681,70	389,45	81,79	257,00	738,06	300
	BTEX total	383179,30	31868,99	9901,86	41307,00	46578,80	55868,80	10787,85	829,55	10640,00	20462,44	-
	PAH µg/L	Naftaleno	1233,84	339,45	-	181,30	25,23	488,70	358,65	-	35,40	12,41
Acenaftileno		6,78	1,81	-	3,55	<L.D	26,81	0,57	-	<L.D	<L.D	-
Acenafteno		3,16	64,26	-	3,31	<L.D	8,88	6,46	-	<L.D	<L.D	-
Fluoreno		3,24	67,26	-	2,61	<L.D	11,55	9,93	-	<L.D	<L.D	-
Fenantreno		13,52	44,89	-	5,67	<L.D	44,78	6,49	-	<L.D	<L.D	140
Antraceno		0,30	29,23	-	<L.D	<L.D	2,28	5,37	-	<L.D	<L.D	-
Fluoranteno		0,45	25,91	-	0,26	<L.D	0,24	3,44	-	<L.D	<L.D	-
Pireno		1,08	3,46	-	0,90	<L.D	1,30	0,78	-	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Antraceno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	1,75
Criseno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	-
Benzo (b) Fluoranteno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	-
Benzo (k) Fluoranteno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Pireno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	0,7
Indeno (1,2,3) Pireno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	0,17
Dibenzo (a,h) Antraceno		<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	0,18
Benzo (g,h,i) Pirileno	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	
PAH Total	1262,37	576,26	-	197,598	25,230	584,54	391,69	-	35,400	12,405	-	

Continuação da tabela 1 – Concentrações de BTEX e PAHs nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento implantado no auto posto Therezinha da Silva Pontes e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2012).

Parâmetros		Identificação dos Poços de Monitoramento Amostrados						Valores de intervenção CETESB (2005)	
		PM 04				Caixa SAO			
		Jan/09	Abr/10	Mar/11	ago-11	mar/12	Fev/11		
BTEX µg/L	Benzeno	8540,24	4913,25	622,58	3160,00	3540,40	883,79	395,17	5
	Tolueno	381,64	78,04	16,07	223,00	282,93	138,28	454,89	700
	m,p-xileno	1920,10	633,64	37,34	248,00	2258,22	118,66	400,68	-
	o-xileno	162,76	12,46	25,19	269,00	954,68	<L.D	243,31	-
	Xileno	2082,86	646,10	62,53	517,00	3212,90	118,66	643,99	500
	Etilbenzeno	2281,71	1430,15	90,15	1375,00	2002,69	23,95	643,99	300
	BTEX total	13286,45	7067,54	791,34	5275,00	9038,92	1164,67	1594,71	-
PAH µg/L	Naftaleno	316,85	392,48	-	35,60	69,06	-	-	140
	Acenaftileno	1,72	13,70	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Acenafteno	0,78	9,01	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Fluoreno	0,53	6,43	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Fenantreno	1,33	2,73	-	<L.D	<L.D	-	-	140
	Antraceno	1,14	0,41	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Fluoranteno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Pireno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	1,75
	Criseno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<L.D	-	<L.D	<L.D	-	-	-
PAH Total	322,34	424,76	-	35,600	69,063	-	-	-	

Analisando todo o período de bombeamento, de março de 2009 à março de 2012, verificou-se uma significativa diminuição nas concentrações de BTEX em todos os PM, sendo a maior redução de benzeno, de 46619,20 µg L<sup>-1</sup> para 12555,9 µg L<sup>-1</sup>, aproximadamente 73%, obtida no PM 02, seguida pelo PM 03, com 63% e o PM 04 com 58% de redução.

As concentrações de PAH também foram atenuadas no período, não sendo verificadas nessa campanha concentrações de contaminantes acima dos limites de intervenção da CETESB (2005).

De janeiro de 2009 até março de 2012, os responsáveis legais pelo auto posto Therezinha da Silva Pontes somaram custos da ordem de R\$55.000,00 com a investigação ambiental e a aplicação do sistema de remediação por bombeamento e tratamento. Estima-se que os custos para a conclusão da investigação e da remediação e as campanhas semestrais, visando à reabilitação da área contaminada, seja de aproximadamente R\$50.000,00; somando o total de R\$105.000,00 para a reabilitação da área, incluindo atividades de investigação e remediação.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pela periculosidade dos contaminantes BTEX e PAHs e, diante das altas concentrações encontradas desses contaminantes dissolvidos na água subterrânea, tomando por exemplo, o benzeno, em que foi verificada concentrações na ordem de  $46.619,2 \mu\text{g L}^{-1}$  e o limite de intervenção da CETESB (2005) é de  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ , foi adotado o sistema de remediação por bombeamento e tratamento, instalado em três pontos na área do auto posto, em maio de 2009.

Entre maio de 2009 e março de 2012 o sistema de bombeamento e tratamento atuou com pausas de operação no decorrer do ano de 2009, devido às obras de reforma do auto posto, visando à adequação de seus equipamentos e instalações. Apesar dessa descontinuidade na operação do sistema, as concentrações dos contaminantes nos poços de monitoramento diminuíram com o bombeamento e tratamento, principalmente de benzeno, que reduziram de  $46.619 \mu\text{g L}^{-1}$  para  $12.555,90 \mu\text{g L}^{-1}$ . No entanto, quando a água bombeada e tratada foi analisada, verificou-se que o carvão ativado estava saturado, devido à falta de troca por um longo período e que, por isso, não estava sendo suficiente para reduzir a concentração dos contaminantes para níveis aceitáveis e que dessem condições para que a água fosse reinjetada no aquífero. Desde então, adotou-se a substituição do carvão com maior frequência nos filtros empregados para o tratamento da água.

Também é preciso considerar que o auto posto se encontra sobre o Aquífero Sedimentar da formação Taubaté e que, embora esteja sobre um solo de baixa permeabilidade, com textura argilo-siltosa predominante, apresenta um nível freático muito próximo à superfície, o que torna esse aquífero vulnerável à poluição por hidrocarbonetos, decorrente de vazamentos e derrames acidentais. Além disso, a textura fina do solo, devido à presença de grande quantidade de argila, possibilitou a ocorrência de pluma residual do contaminante benzeno, que não foi diretamente remediada com as operações de bombeamento e tratamento. No entanto, a adsorção dos BTEX aos colóides do solo tornam a sua lixiviação até o nível d'água relativamente lenta e na presença de oxigênio em quantidade suficiente para ativar os microrganismos do solo pode ocorrer sua biodegradação. Como não haverá mudança no uso do solo, a área ocupada pelo posto de combustível, não oferecerá risco à saúde humana com relação à pluma residual, o que ocorreria caso a área fosse utilizada, por exemplo, para fins agrícolas.

De um modo geral, o sistema de bombeamento e tratamento foi eficiente na remediação das plumas em fase dissolvida. Por outro lado, a técnica apresentou baixa eficácia, devido ao longo período de bombeamento necessário à remediação das plumas de contaminantes, ultrapassando três anos, sendo este, um período condizente com resultados de outros trabalhos. Por exemplo, em estudos de Abdanur (2005), o sistema de bombeamento implementado para remediar o aquífero freático contaminado com hidrocarbonetos leves em fase livre não-aquosa (LNAPL), operou no

período de agosto de 2003 a junho de 2004, atingindo redução na espessura da pluma de até 97,9% do valor encontrado no início da remediação.

Comparando-se os valores referentes à implantação e operação do sistema de remediação com os valores citados por Cruz (2006), observou-se que estes foram equivalentes (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação dos custos de investigação e remediação por bombeamento e tratamento da área do auto posto Therezinha da Silva Pontes com os apresentados por Cruz (2006)

<b>Identificação do Auto Posto</b>	<b>Valor de investigação ambiental + remediação</b>	<b>Valor estimado da remediação</b>
Auto Posto Therezinha da Silva Pontes	R\$55.000,00	R\$22.000,00
Posto em Caxias do Sul (Cruz, 2006)	-	R\$23.000,00

Cruz (2006) realizou uma comparação entre as diversas técnicas de remediação disponíveis, e concluiu que a técnica de remediação por bombeamento e tratamento da água subterrânea apresenta alta aplicabilidade podendo ser utilizada com sucesso em áreas de postos de combustíveis que apresentam contaminação de hidrocarbonetos. Outra vantagem desta técnica é não oferecer riscos, pois existem técnicas que injetam produtos químicos no aquífero para a transformação dos contaminantes em compostos menos perigosos. No entanto, essas técnicas precisam ser muito bem avaliadas, porque além do risco da formação de compostos não conhecidos, podem causar a dispersão e a diluição da pluma de contaminação inicial, dissipando a contaminação para áreas vizinhas.

Por outro lado, Sillos (2006) verificou, por meio de entrevistas, que na opinião de proprietários de postos de combustíveis, a técnica de bombeamento e tratamento não é adequada, devido aos períodos prolongados de operação necessários à completa remediação das áreas contaminadas. Apesar disso, este autor relatou que uma empresa implantou e operou 10 sistemas de remediação, entre eles extração multifásica, air sparging e biosparging, em áreas contaminadas pelas atividades de postos de combustíveis, onde pode ser verificado que a média do tempo de recuperação da área foi de 23 meses e o custo médio de remediação foi de R\$198.000,00 (valores de 2005), superiores a média de custo para a implantação e operação da técnica de bombeamento e tratamento. No entanto, como citado por Trovão (2006), para que qualquer tecnologia de remediação apresente resultados satisfatórios, a primeira medida a ser tomada é a eliminação das fontes contaminadoras, com reformas e manutenções nos postos de combustíveis. Lopes (2005) também evidenciou que existe atualmente uma tendência mundial pela escolha de técnicas de remediação sustentáveis. Neste sentido, Stier (2004) concluiu que o sucesso da remediação está

diretamente relacionado à compreensão abrangente das condições do site e não do uso da tecnologia mais recente.

## **CONCLUSÃO**

A técnica de bombeamento e tratamento é uma das melhores opções para a remediação de aquíferos contaminados pelas atividades de armazenamento e revenda de combustíveis, sendo uma alternativa sustentável, de fácil implantação e operação, que apresenta custos relativamente baixos, não gera riscos ao bom funcionamento do estabelecimento comercial e teve sua eficiência comprovada para a atenuação das concentrações de hidrocarbonetos derivados de petróleo em pluma de fase dissolvida, na área da Bacia Sedimentar da Formação Taubaté.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos responsáveis pelo Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, Sra. Therezinha da Silva Pontes e Sr. José Celso, responsáveis legais e ao Sr. Marco Antônio Nobre de Aquino Almeida, responsável técnico, que gentilmente forneceram os dados para a elaboração deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABDANUR, A. *Remediação de solo e água subterrânea contaminados por hidrocarbonetos de Petróleo: Estudo de caso na refinaria Duque de Caxias /RJ*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 156p.

CETESB (2005). *Valores orientadores para solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. Decisão de Diretoria nº 195-2005 - E, de 23 de novembro de 2005. 4 p.

CETESB (2007). *Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas*. Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007. 40 p.

CETESB (2009). *Roteiro para execução de investigação detalhada e elaboração de plano de intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis*. Decisão de Diretoria nº 263/2009/P de 20 de outubro de 2009. 55 p.

CETESB (2010). *Texto explicativo: relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo*. 14 p.

CONSTRUFER ENGENHARIA (2012). “*Verificação da Eficiência e Eficácia do Sistema de Remediação por bombeamento e tratamento – Therezinha da Silva Pontes*”. – Guaratinguetá/SP. 20p.

CRUZ, F. *Remediação de solos contaminados por gasolina*. UFRGS/DEQUI, trabalho de conclusão de curso – engenharia química. Porto Alegre, 2006, 38p.

DAEE – 1977- *Estudo de águas subterrâneas*. Região Administrativa 3 e faixa litorânea. São José dos Campos, volumes 1 e 2.

Freitas, C.G.(coord.) – 1998 - *Estudo das águas subterrâneas e elaboração da Carta Geotécnica do município de Potim, SP*. Relatório Técnico no. 37190. São Paulo, IPT. 86p.

Fúlfaro, V.; Bjomberg, J. 1993 Geologia. In: J.C. Cintra e J.H. Albiero (Eds.) *Solos do Interior de São Paulo*. São Carlos, EESC/USP e ABMS. p. 1-42.

LOPES, R.F. *Remediação Sustentável: Conceito e Exemplos* - Golder Associates. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2005, 10p.

Ricommini, C. 1989. *O rift continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo. 256p. (Tese de Doutorado). Inst. Geociências, USP.

Saad, A. 1990. *Potencial econômico da Bacia de Taubaté (Cenozóico do Estado de São paulo, Brasil) nas regiões de Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba*. IGCE/UNESP. Tese de Doutorado. 173p.

SILLOS, Marcos R.A. de. *Valorização de processos de remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos do petróleo*. Instituto de Pesquisa Tecnológica. São Paulo, 2006, 122p.

STIER, T. Seguindo as tendências das tecnologias de remediação. *Será que às vezes não escolhemos a abordagem errada?* São Paulo, 2004.

TROVÃO, R.S. (2006). *Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos, São Paulo*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mineral). USP, São Paulo, 224p.

USEPA - United States of Environmental Protection Agency. *Low-flow (minimal drawdown) groundwater sampling procedures*. United States Environmental Protection Agency. EPA, Washington, 1996, 12p.