



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades


unesp

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

PRISCYLA A. DE CAMPOS FREIRE

**BOMBEAMENTO E TRATAMENTO DE PLUMAS DE
HIDROCARBONETOS EM DIFERENTES AQUÍFEROS
CONTAMINADOS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**



Bauru
2011

PRISCYLA A. DE CAMPOS FREIRE

**BOMBEAMENTO E TRATAMENTO DE PLUMAS DE
HIDROCARBONETOS EM DIFERENTES AQUÍFEROS
CONTAMINADOS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin

Bauru
2011



Freire, Priscyla Aparecida de Campos.
Bombeamento e tratamento de plumas de
hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados
por postos de combustíveis / Priscyla Aparecida Campos
Freire, 2011
140 f.

Orientadora: Isabel Cristina de Barros Trannin


Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrocarbonetos. 3.
Remediação. I. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PRISCYLA APARECIDA DE CAMPOS FREIRE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 05 dias do mês de dezembro do ano de 2011, às 10:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA - UNESP GUARATINGUETÁ, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta - UNESP, Prof. Dr. PAULO FORTES NETO do(a) Departamento de Ciências Agrárias / Universidade de Taubaté - UNITAU, Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de PRISCYLA APARECIDA DE CAMPOS FREIRE, intitulada "BOMBEAMENTO E TRATAMENTO DE PLUMAS DE HIDROCARBONETOS EM DIFERENTES AQUIFEROS CONTAMINADOS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEIS". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN


Prof. Dr. PAULO FORTES NETO


Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES

Dedico este trabalho
aos meus queridos pais, Cida e Hélio,
que me ensinaram os verdadeiros valores da vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cida e Hélio, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

As minhas irmãs, Débora e Vanessa, ao meu sobrinho, Pedro e, todos os familiares e amigos, em especial, Tiago, pela paciência, amizade e incentivo contínuo.

À minha orientadora, Prof^a. Isabel Trannin, pela simpatia, amizade, encorajamento, presteza no decorrer de todas as atividades do curso, conhecimentos transmitidos e por não ter medido esforços para a conclusão deste trabalho.

À todos os professores do programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pela dedicação e entusiasmo demonstrado ao longo do curso, em especial ao Prof. Silvio Simões e ao Prof. George de Paula Bernardes, que tenho como “mestres”.

Aos colegas do curso, em especial, Mariana Benessiuti e Bruno Zanella, pela espontaneidade e alegria nas trocas de informações e materiais numa demonstração de amizade e solidariedade.

Ao programa interunidades da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) e aos funcionários dos campus de Bauru, Guaratinguetá e Sorocaba, que estruturaram o curso e proporcionam o acesso ao conhecimento.

À empresa Construfer Engenharia, que forneceu a base para o desenvolvimento deste trabalho e, em especial à pessoa de Marco Antônio Aquino Almeida e Glauco César Aquino Almeida, que compartilharam tamanha experiência.

E, finalmente, agradeço à DEUS, o dom da vida e a oportunidade do aprendizado.

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Pessoa

RESUMO

FREIRE, Priscyla A. de Campos Freire. **Bombeamento e tratamento de plumas de hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados por postos de combustíveis.** Bauru: UNESP, 2011. 142p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

O elevado consumo de combustíveis e a idade avançada da maioria dos tanques de armazenamento justificam a preocupação brasileira com a poluição do solo e de aquíferos. Essa preocupação torna-se ainda maior com o aumento da exploração dos aquíferos para atender à crescente demanda por recursos hídricos. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência e eficácia da técnica de bombeamento e tratamento aplicada à remediação de aquíferos contaminados por hidrocarbonetos em fase livre e em fase dissolvida sob influência de quatro postos de revenda de combustíveis do Estado de São Paulo. Nesta técnica de remediação a água do aquífero no *hot spot* da contaminação é bombeada e direcionada para uma caixa separadora de água e óleo (SAO) e, posteriormente, para um filtro de carvão ativado, sendo que os poluentes separados da água têm um destino adequado e a água tratada é reinjetada no aquífero com padrões de potabilidade adequados. Nas áreas dos quatro postos de revenda de combustíveis estudadas, a técnica de bombeamento e tratamento mostrou-se eficiente, sendo que os poluentes em fase livre foram totalmente removidos e as concentrações em fase dissolvida foram atenuadas (95-99%). Por outro lado, a técnica apresentou baixa eficácia devido ao longo período de bombeamento necessário à completa remediação das plumas de contaminantes.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea, hidrocarbonetos, postos de combustíveis, remediação.

ABSTRACT

FREIRE, Priscyla A. de Campos Freire. **Pump and treat of hydrocarbon plumes in different aquifers contaminated by Gas Stations.** Bauru: UNESP, 2011. 142p. (Dissertation – Master of Civil and Environmental Engineering).

High fuel consumption and the advanced age of most Brazilian storage tanks justify the concern about the pollution of soil and aquifers. This concern becomes even greater with the increased exploration of aquifers to attend the groundwater demand. The aim of this study was to evaluate the efficiency and effectiveness of the technique of pump and treat groundwater contaminated by hydrocarbons in free phase and dissolved phase under the influence of four gas stations in São Paulo State. In this remediation technique, the water of the hot spot contamination is pumped and directed to a box of oil water separator (OWS) and after that, it's directed to an activated carbon filter, so the pollutant can have an appropriate destiny and the treated water is returned to the aquifer with adequate standards of potability. In four areas of gas stations studied, the technique of pump and treat was efficient, and the free phase pollutants were completely removed and the concentrations in the dissolved phase were attenuated (95 – 99%). On the other hand, this technique had low efficiency due to long period of pumping necessary to complete the remediation of contaminant plumes.

KEYWORDS: Groundwater, hydrocarbons, gas stations, remediation.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRINCIPAIS ATIVIDADES RESPONSÁVEIS PELAS ÁREAS CONTAMINADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB, 2010).	1
FIGURA 2 - CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR DIFERENTES ATIVIDADES (DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.PORTALSAOFRANCISCO.COM.BR/ALFA/MEIO-AMBIENTE-POLUICAO-DA-AGUA/POLUICAO-DAS-AGUAS-SUBTERRANEAS-2.PHP , ACESSADO EM MARÇO DE 2011).	5
FIGURA 3 - CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR POSTO DE COMBUSTÍVEL - EVIDENCIA DE LINHAS/BOMBAS/TANQUES. FONTE: ADAPTAÇÃO DE REPORTAGEM. ACESSADO EM 8 DE MAIO DE 2011.	6
FIGURA 4 - FÓRMULA QUÍMICA DA GASOLINA PURA (C ₈ H ₁₈).....	11
FIGURA 5 - GRUPOS DE CONTAMINANTES CONSIDERADOS PELA CETESB NA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL (CETESB, 2010).	14
FIGURA 6 - CONTAMINAÇÃO POR LNAPL NAS ZONAS SATURADA (A) E VADOSA (B) (FERREIRA E ZUQUETE, 1998).	19
FIGURA 7 - TRANSPORTE DE HIDROCARBONETOS E PROCESSOS QUE INFLUENCIAM O SEU DESTINO NO SOLO (ADAPTADO DE SANTOS, 1998).	21
FIGURA 8 - FASES DE CONTAMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS DO TIPO LNAPL - LÍQUIDO LEVE MENOS DENSO QUE A ÁGUA (ADAPTADO DE SANTOS, 2009).....	26
FIGURA 9 - FASES DE CONTAMINAÇÃO DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA POR HIDROCARBONETOS (FORTE ET AL., 2007).	27
FIGURA 10 - ESQUEMA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO E TRATAMENTO APLICADO À REMEDIAÇÃO DE AQUÍFEROS (ADAPTADO DE STWEART, 2008).	29
FIGURA 11 - SISTEMA DE BOMBEAMENTO E TRATAMENTO APLICADO À REMEDIAÇÃO DE AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR DERIVADOS DE PETRÓLEO (CONSTRUFER, 2008).	29
FIGURA 12 - ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA COM CARVÃO ATIVADO APÓS BOMBEAMENTO (CONSTRUFER, 2009).	31
FIGURA 13 - ESQUEMATIZAÇÃO DA TÉCNICA DE REMEDIAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE VAPORES (CRUZ, 2006).....	32
FIGURA 14 - ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE REMEDIAÇÃO DE SOLOS POR INJEÇÃO DE OZÔNIO (FONTE DESCONHECIDA). ACESSADO EM 11 DE MARÇO DE 2011.	34
FIGURA 15 - MAPA HIDROGEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. INSTITUTO GEOLÓGICO (2005).....	35
FIGURA 16 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRA PAULISTA, VALE DO PARAÍBA, ESTADO DE SÃO PAULO E CROQUI DO ENTORNO OCUPADO POR ATIVIDADES DE COMÉRCIO E RESIDÊNCIA (CONSTRUFER 2011).	38
FIGURA 17 – CROQUI DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADO NA ÁREA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, EM CACHOEIRA PAULISTA/SP (CONSTRUFER 2009).....	40
FIGURA 18 – CROQUI POTENCIOMÉTRICO DA ÁREA AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, EM CACHOEIRA PAULISTA/SP (CONSTRUFER 2009).....	41

FIGURA 19 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA., NO MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA, LITORAL NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO E CROQUI DO ENTORNO (CONSTRUFER, 2011).	43
FIGURA 20 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E SISTEMA DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADO NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA., CARAGUATATUBA/SP (CONSTRUFER, 2011).	44
FIGURA 21 – INSTALAÇÃO DE TANQUES ECOLÓGICOS NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. (CONSTRUFER, 2008).	45
FIGURA 22 – ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA., EM CARAGUATATUBA/SP (CONSTRUFER, 2011).	46
FIGURA 23 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA., NO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ, NO ESTADO DE SÃO PAULO E CROQUI DO ENTORNO (CONSTRUFER, 2009).	48
FIGURA 24 – ENTORNO CRITICO AO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA., SANTO ANDRÉ/SP (CONSTRUFER, 2009).	49
FIGURA 25 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E SISTEMA DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADO NA ÁREA DO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA., SANTO ANDRÉ/SP (CONSTRUFER, 2009).	50
FIGURA 26 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA., NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO, LITORAL NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO E CROQUI DA ÁREA DE ENTORNO (CONSTRUFER, 2011).	52
FIGURA 27 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E SISTEMA DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADO NA ÁREA DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA., SÃO SEBASTIÃO/SP (CONSTRUFER, 2011).	53
FIGURA 28 – LEITURA DAS CONCENTRAÇÕES DE VOC NO SOLO (CONSTRUFER, 2011).	54
FIGURA 29 – COLETA DE AMOSTRA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COM O AMOSTRADOS BAILER (CONSTRUFER, 2008).	56
FIGURA 30 – CROQUI DA PLUMA DISSOLVIDA DE BENZENO NA ÁREA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES (CONSTRUFER, 2009) *PLUMA NÃO DELIMITADA.	61
FIGURA 31 – CONCENTRAÇÃO DE BTEX NO PM 02 NA ÁREA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2009 A MARÇO DE 2011 (CONSTRUFER, 2011).	64
FIGURA 32 – CONCENTRAÇÃO DE BTEX NO PM 03 NA ÁREA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2009 A MARÇO DE 2011 (CONSTRUFER, 2011).	64
FIGURA 33 – CONCENTRAÇÃO DE BTEX NO PM 04 NA ÁREA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES, NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2009 A MARÇO DE 2011 (CONSTRUFER, 2011).	65
FIGURA 34 – CROQUI DA PLUMA DE FASE LIVRE DELIMITADA NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. (CONSTRUFER, 2008).	70
FIGURA 35 – CROQUI DA PLUMA DISSOLVIDA DE BENZENO NO PLANO HORIZONTAL NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. (CONSTRUFER, 2011).	79
FIGURA 36 – CROQUI DA PLUMA DISSOLVIDA DE BENZENO NO PLANO VERTICAL NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. (CONSTRUFER, 2011).	80

FIGURA 37 – CONCENTRAÇÕES DE BENZENO NOS POÇOS DE MONITORAMENTO INSTALADOS NA ÁREA DO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA. (CONSTRUFER, 2011).....	86
FIGURA 38 – CROQUI DA PLUMA DISSOLVIDA DE BENZENO NO PLANO HORIZONTAL, NA ÁREA DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA. (CONSTRUFER, 2011).	97
FIGURA 39 – CROQUI DA PLUMA DISSOLVIDA DE BENZENO NO PLANO VERTICAL, NA ÁREA DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA. (CONSTRUFER, 2011).	98

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO APLICADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO (ADAPTADO DE CETESB, 2010).	3
TABELA 2 – SOLUBILIDADE DE CONSTITUINTES COMUNS DA GASOLINA, CONFORME GOUVÊA (2004).	15
TABELA 3 – MONITORAMENTO NA REDE DE POÇOS NO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES (CONSTRUFER, 2009).	39
TABELA 4 – DADOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO INSTALADOS NA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS (CONSTRUFER, 2011).	45
TABELA 5 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NO SOLO DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2009).	62
TABELA 6 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2009).	62
TABELA 7 – 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, 2011).	65
TABELA 8 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS EM AMOSTRAS DE SOLO DA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/ 2005 (CONSTRUFER, 2008).	67
TABELA 9 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA. E VALORES ORIENTADORES DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2008).	68
TABELA 10 – DADOS DO MONITORAMENTO DA ESPESSURA DA FASE LIVRE NO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA., NO PERÍODO DE FEVEREIRO DE 2008 A JUNHO DE 2009 (CONSTRUFER, 2009).	71
TABELA 11 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DA ÁREA DO AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA., NO PERÍODO DE MARÇO DE 2006 A JANEIRO DE 2011 E VALORES ORIENTADORES DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2011).	73
TABELA 12 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NO SOLO DA ÁREA DO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2009).	82
TABELA 13 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAH NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2009).	83
TABELA 14 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO IMPLANTADO NO AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2011).	85
TABELA 15 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NO SOLO DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2008).	88
TABELA 16 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA. E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2008).	89
TABELA 17 – ESPESSURAS DA FASE LIVRE, OBTIDAS NO PM 01, NO PERÍODO DE 03/09/2008 A 26/12/2010, APÓS A IMPLANTAÇÃO DA TÉCNICA DE BOMBEAMENTO E TRATAMENTO NO AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA. (CONSTRUFER, 2011).	91

TABELA 18 – CONCENTRAÇÕES DE BTEX E PAHS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO AUTO POSTO BAIA DO SOL, NO PERÍODO DE JUNHO DE 2006 A DEZEMBRO DE 2010 E VALORES DE INTERVENÇÃO DA CETESB/2005 (CONSTRUFER, 2011).	93
TABELA 19 – VIABILIDADE DA TÉCNICA DE BOMBEAMENTO E TRATAMENTO EM DIFERENTES SITES (ADAPTADO DE USEPA, 1996).	102
TABELA 20 – COMPARAÇÃO DOS CUSTOS GASTOS NA INVESTIGAÇÃO E REMEDIAÇÃO POR BOMBEAMENTO E TRATAMENTO EM ÁREAS DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS

BTEX – BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENOS

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

CH – CARGA HIDRÁULICA

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

DD – DECISÃO DE DIRETORIA (CETESB)

DEPRN – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE PROTEÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS

DNAPL – CONTAMINANTE MAIS DENSO QUE A ÁGUA

HS – HOT SPOT (CENTRO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO)

IARC – AGÊNCIA INTERNACIONAL PARA PESQUISA DO CANCÊR

LI – LICENÇA DE INSTALAÇÃO

LNAPL – LÍQUIDO LEVE EM FASE NÃO AQUOSA

LO – LICENÇA DE OPERAÇÃO

LP – LICENÇA PRÉVIA

LQ – LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO

NA – NÍVEL D'ÁGUA

PAH – HIDROCARBONETO POLICÍCLICO AROMÁTICO

PI – PONTO DE INJEÇÃO

PM – POÇO DE MONITORAMENTO

PMN – POÇO DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL (PROFUNDO)

PRFD – PONTO DE REMEDIAÇÃO DE FASE DISSOLVIDA

PRFL – PONTO DE REMEDIAÇÃO DE FASE LIVRE

SAO – CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO

SASC – SISTEMA DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO DE COMBUSTÍVEIS

TPH – HIDROCARBONETOS TOTAIS DE PETRÓLEO

USEPA – AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS

VI – VALORES DE INTERVENÇÃO

VOCS – COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

VRQ – VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VIII
SUMÁRIO	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
3.1. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS.....	5
3.2. LEGISLAÇÃO	7
3.2.1. <i>Legislação Federal</i>	7
3.2.2. <i>Legislação Estadual</i>	8
3.3. CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E AQUÍFEROS POR DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS	11
3.3.1. <i>Gasolina</i>	11
3.3.2. <i>A gasolina brasileira</i>	12
3.3.3. <i>Diesel</i>	12
3.3.4. <i>Lubrificantes</i>	13
3.4. PARÂMETROS AVALIADOS NA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL.....	13
3.4.1. <i>Propriedades físico-químicas do LNAPL</i>	14
3.4.2. <i>Hidrocarbonetos monoaromáticos - BTEX</i>	16
3.4.3. <i>Benzeno</i>	16
3.4.4. <i>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos - PAH</i>	17
3.4.5. <i>Etanol</i>	18
3.4.6. <i>Metanol</i>	18
3.5. COMPORTAMENTO DE HIDROCARBONETOS EM SOLOS.....	19
3.5.1. <i>Dissolução</i>	21
3.5.2. <i>Advecção</i>	22
3.5.3. <i>Dispersão</i>	22
3.5.4. <i>Biodegradação</i>	23
3.5.5. <i>Difusão</i>	23
3.5.6. <i>Adsorção de poluentes e retardo</i>	24
3.5.7. <i>Imobilização</i>	24
3.5.8. <i>Lixiviação</i>	24
3.5.9. <i>Anisotropia do meio</i>	25
3.6. PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO	26
3.7. ANÁLISE DE RISCO E OS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO	28
3.8. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO.....	28
3.8.1. <i>Bombeamento e tratamento</i>	28
3.8.2. <i>Tratamento da água subterrânea por carvão ativado</i>	30
3.8.3. <i>Atenuação natural</i>	31
3.8.4. <i>Extração de vapores do solo (SVE)</i>	32
3.8.5. <i>Extração multifásica (MPE)</i>	33

3.8.6.	<i>Injeção de Ozônio</i>	33
3.9.	AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO	34
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1.	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS	37
4.1.1.	<i>Auto Posto Therezinha da Silva Pontes</i>	37
4.1.2.	<i>Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda.</i>	42
4.1.3.	<i>Auto Posto Parada Obrigatória Ltda.</i>	47
4.1.4.	<i>Auto Posto Baia do Sol Ltda.</i>	51
4.2.	AMOSTRAGEM DE SOLO	54
4.3.	AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	55
4.4.	LABORATÓRIO CERTIFICADO	56
4.5.	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO POR BOMBEAMENTO E TRATAMENTO.....	57
5.	RESULTADOS	59
5.1.	AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES	59
5.2.	AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA.	67
5.3.	AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA.	82
5.4.	AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA.	88
6.	DISCUSSÕES	99
7.	RECOMENDAÇÕES	107
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda por recursos hídricos, a exploração da água subterrânea é uma alternativa para o abastecimento público e para o desenvolvimento econômico da sociedade, pois além de ser abundante, normalmente apresenta melhor qualidade comparada às águas superficiais (CETESB, 2005). Neste aspecto, o consumo mundial de água subterrânea dobrou nas últimas quatro décadas e, atualmente, estima-se que cerca de 75% a 80% dos municípios do interior paulista são abastecidos por aquíferos, sendo que, para Ribeirão Preto, que abriga 605.114 habitantes (IBGE, 2010), essa dependência é total (GIAMPÁ, 2010).

Por outro lado, o aumento do consumo de água subterrânea tem gerado preocupações relacionadas às principais fontes de poluição da água subterrânea, entre estas, as provocadas por vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis como gasolina, diesel e etanol. Estes combustíveis são importantes fontes de contaminação do solo e do lençol freático e têm sido alvo de inúmeras pesquisas, devido à complexidade dos fenômenos de interação destes poluentes com o solo e ao grande número de áreas poluídas.

No Brasil, existem cerca de 36.730 postos de combustíveis e em 2009, o consumo de etanol, gasolina e diesel foi da ordem de 16; 25 e 49 milhões de m³, respectivamente (ANP, 2009). De acordo com a Cetesb (2010), os postos de combustíveis são responsáveis por 79% das áreas contaminadas no Estado de São Paulo (Figura 1), devido ao fato da maioria ter sido construída na década de 1970, com uma vida útil média de 25 anos para tanques subterrâneos, o que indica que estes estejam comprometidos.

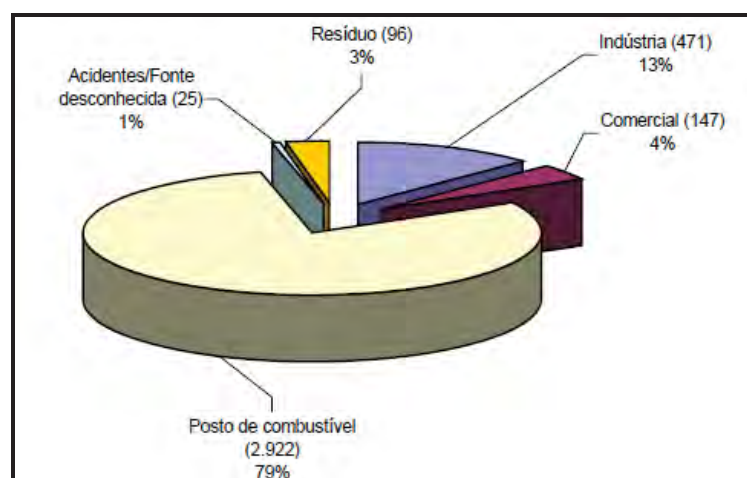


Figura 1 - Principais atividades responsáveis pelas áreas contaminadas no Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Quando ocorre vazamento em tanques de armazenagem, o combustível percola no perfil do solo e atinge a zona saturada, onde parte se solubiliza em água, parte volatiliza entre os vazios do solo e parte se concentra na franja capilar da água subterrânea. Nos vazamentos e derrames de combustíveis, a contaminação é comumente constituída por fase residual (adsorvida às partículas do solo), por fase livre, que pode ser mais ou menos espessa, dependendo da quantidade de produto derramado e da dinâmica do sistema freático e, por fase dissolvida, quando a contaminação se dissipa abaixo do nível freático. Em caso de derrame de gasolina, que é pouco solúvel em água, e contém mais de 400 componentes, esta inicialmente permanecerá no subsolo como líquido de fase não aquosa (NAPL - menos densos que a água), mas em contato com a água subterrânea se dissolverá parcialmente. Os componentes presentes na gasolina que possuem maior solubilidade em água e, portanto, são os primeiros contaminantes a atingir o freático são os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno e xilenos, os chamados BTEX, considerados perigosos. Além disso, a gasolina comercializada no Brasil é misturada com álcool em proporções que variam de 20% a 30%, de acordo com a legislação em vigor, e as interações entre etanol e BTEX podem aumentar a mobilidade e a solubilidade, além de dificultar a biodegradação natural destes compostos (TEIXEIRA, 2008). Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH's) estão presentes em diesel e óleos lubrificantes, que possuem cadeias mais longas e, portanto, menor mobilidade e solubilidade em água, quando comparados à gasolina.

A contaminação de solos e águas subterrâneas por postos de armazenamento de combustível oferece riscos à saúde humana de forma direta e indireta. Dentro do contato direto pode-se destacar a inalação, ingestão, contato com a pele e contato com os olhos, e no contato indireto a ingestão de alimentos e água contaminada com compostos presentes nos combustíveis que, em sua maioria, são cancerígenos.

Entre as técnicas de remediação de aquíferos contaminados, o bombeamento e tratamento (Pump and Treat) é uma das técnicas mais utilizadas atualmente (Tabela 1) 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

(TROVÃO, 2005). 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 fase livre de contaminante.

Tabela 1 – Principais técnicas de remediação aplicadas no Estado de São Paulo (adaptado de CETESB, 2010).

Técnicas de Remediação	Nº de sistemas instalados no Estado de São Paulo
Bombeamento e Tratamento	712
Recuperação de fase livre	589
Extração multifásica	564
Remoção de solo e resíduo	259
Extração de vapores	251
Atenuação natural monitorada	225
Air sparging	146
Oxidação-redução química	67
Barreira hidráulica	60
Biorremediação	34
Cobertura resíduo-solo contaminado	20
Barreira física	9
Biosparging	8
Encapsulamento geotécnico	7
Bioventing	6
Decloração reativa	4
Barreiras reativas	4
Lavagem de solo	3
Fitorremediação	2
Outros	26

Esta técnica de remediação vem sendo adotada desde a década de 80 nos EUA, e consiste em instalar poços de bombeamento de maneira estratégica, buscando sempre a interceptação da pluma de NAPL de modo a conter a migração e reduzir as concentrações do contaminante na água subterrânea (USEPA, 1997).

Pelo exposto, observa-se que a tendência mundial é promover o acesso a água potável a todos e que uma alternativa para resolver o problema de escassez de água é a exploração adequada e controlada dos aquíferos. No entanto, verifica-se que a qualidade da água desses aquíferos tem sido prejudicada por algumas ações humanas, destacando-se entre estas, os vazamentos e derrames de combustíveis, que percolam no solo e altera 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 avaliou a eficiência

e eficácia do sistema de remediação de águas subterrâneas aplicado à remediação de fase livre e dissolvida de hidrocarbonetos em aquíferos contaminados pelas atividades desenvolvidas por quatro postos de combustíveis, do Estado de São Paulo, localizados nos municípios de São Sebastião, Caraguatatuba, Cachoeira Paulista e Santo André.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência e eficácia da técnica de bombeamento e tratamento no processo de remediação de plumas em fase livre e dissolvida de hidrocarbonetos, aplicada em diferentes aquíferos do Estado de São Paulo, sob áreas de postos de distribuição de combustíveis, consideradas pela CETESB como contaminadas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Contribuir para a remediação de solos e de aquíferos de áreas impactadas pela contaminação com derivados de petróleo;
2. Identificar o comportamento dos contaminantes oriundos das atividades de armazenamento e abastecimento de combustível em diferentes aquíferos considerando as condições da hidrogeologia local;
3. Verificar a eficiência e eficácia do sistema de remediação por bombeamento e tratamento;
4. Apresentar a viabilidade da técnica de remediação levando em consideração o conceito de sustentabilidade;
5. Propor melhorias ou adequações para a implantação e operação dos sistemas de remediação;
6. Contribuir para a reabilitação das áreas contaminadas estudadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS

A contaminação de águas subterrâneas por vazamentos em postos de combustíveis é uma preocupação crescente no Brasil e mais antiga nos Estados Unidos e Europa (SUGIMOTO, 2004). A contaminação de solos e águas subterrâneas pode ser originada por diferentes atividades antrópicas, como ilustra a figura 2.

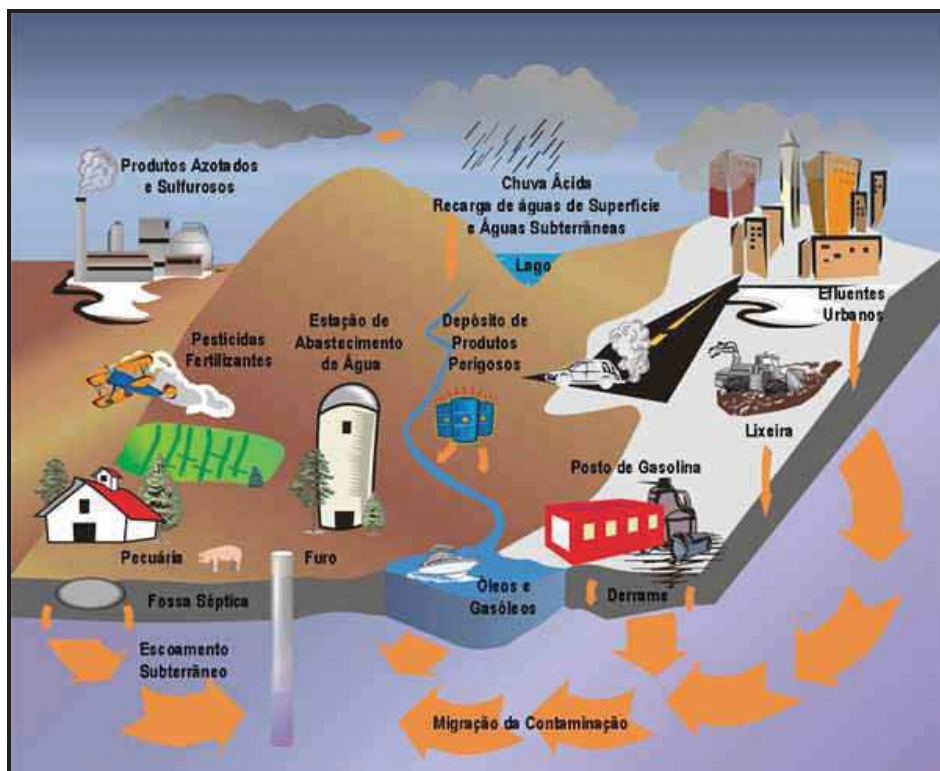


Figura 2 - Contaminação de solos e águas subterrâneas por diferentes atividades (Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-poluicao-da-agua/poluicao-das-aguas-subterraneas-2.php>, Acessado em Março de 2011).

As indústrias de petróleo convivem com problemas diários decorrentes de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento de petróleo e seus derivados (CORSEUIL, 1995 apud ABDANUR, 2005). As operações dos postos de combustíveis ou em áreas com sistema de armazenamento subterrâneo (SASC) podem resultar em vazamentos e derrames de combustíveis, sendo, as instalações, fontes potencialmente poluidoras do solo e das águas subterrâneas. A

contaminação de águas subterrâneas por tanques utilizados para a armazenagem de combustíveis, danificados pela corrosão ou outros fatores agressivos está ilustrada na figura 3.

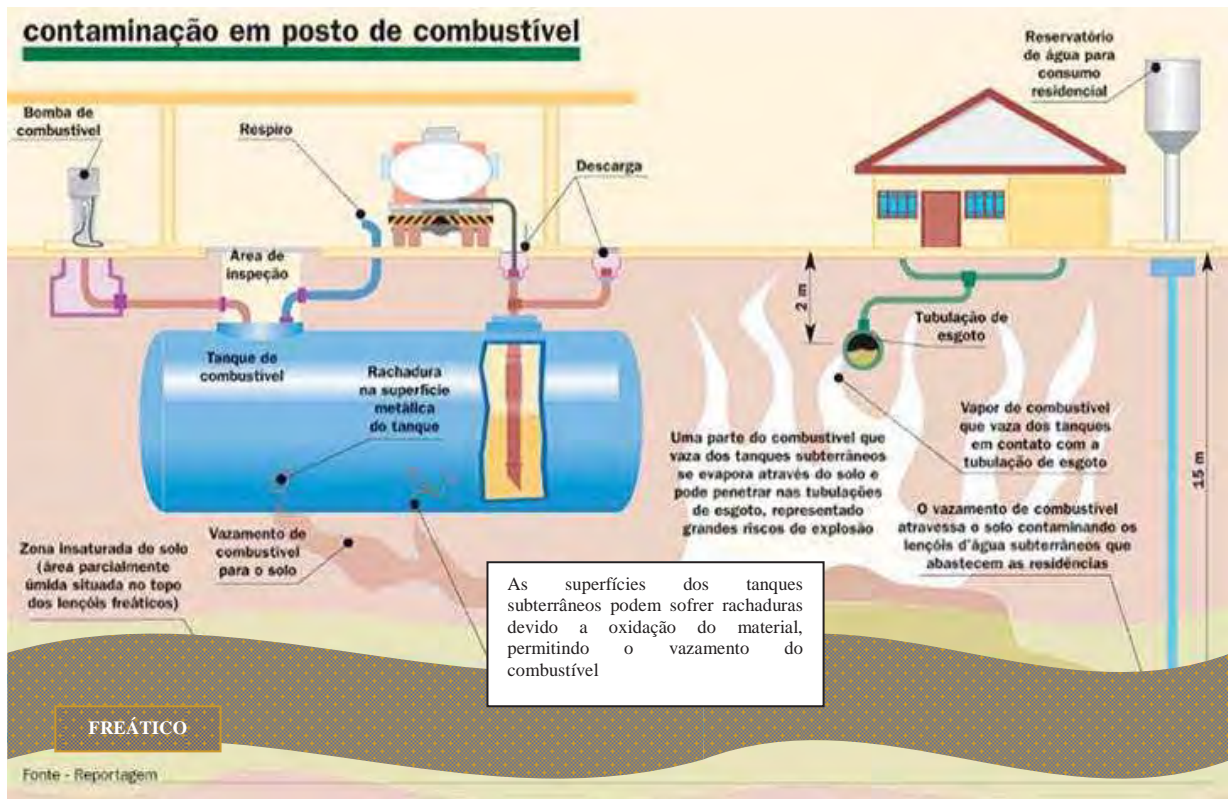


Figura 3 - Contaminação de aquíferos por posto de combustível - evidência de linhas/bombas/tanques. Fonte: Adaptação de Reportagem. Acessado em 8 de maio de 2011.

O produto que vaza do tanque percola pelo perfil do solo e atinge a zona saturada, onde parte do combustível solubiliza em água, parte volatiliza entre os vazios do solo e a outra se concentra na franja capilar da água subterrânea.

O potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas por vazamentos em postos de combustíveis cresce na medida do tempo de utilização do tanque de estocagem. Segundo Santos (1998), a maioria dos tanques sem proteção catódica sofre corrosão e vaza no período de 20 anos após a instalação. De acordo com Pedrosa et al. (2006), nos tanques subterrâneos, a detecção de vazamentos é extremamente dificultada pela impossibilidade de observação direta. Extensas zonas contaminadas podem se formar no subsolo sem apresentar vestígios contundentes em superfície.

Alguns fatores favorecem a propagação da pluma de contaminação de combustível no perfil do solo até atingindo a água subterrânea, como a permeabilidade do solo, a profundidade

do nível da água subterrânea, a lixiviação de contaminantes miscíveis em água de chuva, a declividade do terreno e outros fatores químicos e físicos associados.

3.2. LEGISLAÇÃO

Devido ao aumento progressivo da identificação de solos e águas subterrâneas contaminadas por vazamentos e derrames de combustíveis derivados de petróleo, promoveu-se a edição de leis, decretos, resoluções e normas de proteção desses recursos naturais.

3.2.1. Legislação Federal

No âmbito federal, a contaminação causada por atividades de armazenamento e revenda de combustíveis é considerada crime ambiental pela Lei Federal nº 9.605/98, regulamentada pelo Decreto nº 3.179/99. Essa lei é atualmente uma das mais importantes para o país, considerando que as empresas do ramo devem apresentar as devidas licenças, caso contrário o proprietário poderá ficar recluso. Em muitos estados brasileiros existe a Polícia Especial de Meio Ambiente que atua nas empresas, identificando os crimes ambientais cometidos, solicita providências e abre inquérito policial, solicitando avaliações do órgão ambiental Estadual ou Municipal e de um perito do Instituto de criminalística, que comprovará o crime ou não (SAAD, 2009).

A Lei Federal nº 9.478/97 - Lei do Petróleo - estabelece como finalidade da Agência Nacional do Petróleo – ANP, a promoção da regulamentação, contratação e fiscalização do setor, incentivando a livre concorrência e o desenvolvimento nacional, com responsabilidade pela preservação do interesse público e do meio ambiente (MARQUES, 2008).

Como forma de coibir a contaminação do solo e da água subterrânea foi criada a Resolução CONAMA nº 273/2000, que prevê o licenciamento para as atividades de armazenamento e abastecimento de combustíveis, bem como as outras atividades a elas relacionadas, como a lavagem de veículos, a troca de óleo, a lubrificação de veículos e serviços administrativos relacionados a essas atividades (SANTOS, 2009). O não cumprimento da Resolução CONAMA nº 273/2000 sujeitará os proprietários, arrendatários ou responsáveis pelo estabelecimento a penalidades como multas, suspensão total ou parcial das atividades dos postos, cancelamento da licença de funcionamento ou de permissão para continuar operando, dentre outras medidas. Esta resolução considera os seguintes riscos potenciais para este tipo de atividade:

- 1) Vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis, que podem causar a contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, solo e ar;
- 2) Riscos de incêndio e explosões, decorrentes desses vazamentos, principalmente, pelo fato de que parte desses estabelecimentos se localizam em áreas densamente povoadas;
- 3) Que a ocorrência de vazamento vem aumentando significativamente nos últimos anos, em função da manutenção inadequada ou insuficiente, da obsolescência do sistema e equipamentos e da falta de treinamento de pessoal;
- 4) A ausência e/ou uso inadequado de sistemas confiáveis para a detecção de vazamento;
- 5) A insuficiência e a ineficácia de capacidade de resposta frente a essas ocorrências e, em alguns casos, a dificuldade de implementar as ações necessárias para evitar estas ocorrências.

A Resolução CONAMA nº 319 de 4 de dezembro de 2002 estabelece nova redação aos dispositivos da Resolução CONAMA nº 273/2000, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Essa nova resolução deu ênfase aos equipamentos e sistemas destinados ao armazenamento e a distribuição de combustíveis automotivos, assim como sua montagem e instalação (GOUVEIA, 2004).

Por meio de agências ambientais como a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), CRA (Centro de Recursos Ambientais do Estado da Bahia), FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro), SEMAD (Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais), IAP (Instituto Ambiental do Paraná), entre outras, o licenciamento ambiental atua como uma forma do poder público acompanhar e fiscalizar indústrias e empreendimentos em operação e implantações.

3.2.2. Legislação Estadual

O órgão ambiental competente no âmbito estadual ou municipal deverá exigir dos empreendedores as licenças ambientais como Licença Prévia (LP), que visa verificar a adequação da localização do empreendimento; Licença de Instalação (LI), que visa verificar a adequação do projeto de instalação do empreendimento para os equipamentos a serem adequados e a Licença de Operação (LO), que visa verificar se a instalação dos equipamentos dos empreendimentos a serem adequados foi efetuada de acordo com o projeto aprovado por ocasião da LI.

No Estado de São Paulo, a CETESB é o órgão responsável pelo licenciamento ambiental e é considerado modelo de atuação para os demais órgãos ambientais brasileiros. O sistema de licenciamento implantado pela CETESB tem como principal objetivo o controle preventivo de fontes de poluição ambiental, estabelecidas a partir de 1976, com a Lei Estadual nº 997 de 31 de maio de 1976 e Decreto Estadual nº 8.468 de 8 de setembro de 1976.

A CETESB iniciou no ano 2000, de acordo com a Resolução CONAMA nº 273, o processo de licenciamento dos postos de combustíveis, sendo que os empreendimentos anteriores a esta data e os novos tiveram que solicitar o seu licenciamento. Eles são convocados pela CETESB para apresentação do licenciamento e o procedimento difere, de acordo com o tipo de empreendimento conforme descrito a seguir:

- 1) Empreendimentos novos: estabelecimentos a serem instalados em local onde não há instalações para o desenvolvimento da atividade de armazenamento de combustível automotivo. Licenças necessárias: LP, LI e LO;
- 2) Empreendimentos sujeitos à reforma completa: aqueles estabelecimentos que possuam, na data de sua convocação, todos os tanques subterrâneos com idade superior a 15 anos, ou estabelecimentos que possuam tanques aéreos em que não tenham sido aprovados nos ensaios de requalificação. Licenças necessárias: LP, LI e LO;
- 3) Empreendimentos sujeitos à adequação às condições mínimas: aqueles estabelecimentos que possuam, na data de sua convocação, todos os tanques subterrâneos com idade inferior a 15 anos, ou os estabelecimentos que possuam tanques aéreos e que todos tenham sido aprovados nos ensaios de requalificação. Licença necessária: LO;
- 4) Empreendimentos enquadrados na condição intermediária: aqueles estabelecimentos que, na data de sua convocação, possuam, pelo menos, um de seus tanques subterrâneos com idade superior a 15 anos, ou estabelecimentos que possuam, pelo menos, um dos tanques aéreos que não tenha sido aprovado nos ensaios de requalificação. Licenças necessárias: LP, LI e LO.

A solicitação das licenças deve ser feita à agência da CETESB, responsável pelo atendimento da região onde se localiza o empreendimento. Atualmente, o Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais – DEPRN se encontra unificado na agência da CETESB, facilitando o processo para requisição das licenças ambientais junto à companhia referente à intervenção em recursos naturais, em que, dependendo das características do empreendimento e do local, o interessado deve obter a anuência prévia da região.

Cabe ressaltar que, para os empreendimentos sujeitos à reforma completa e empreendimentos enquadrados na condição intermediária, é necessária a execução de laudo técnico, identificando possíveis passivos ambientais. O laudo consiste na caracterização do empreendimento, locação dos pontos de sondagem, determinação do número de amostras a serem coletadas; amostragem, realização de análises químicas e pareceres técnicos. Se for constatada a presença de passivos ambientais, detectados por meio da comparação dos valores encontrados nas amostras com os valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, é necessária a execução de uma investigação detalhada, em que será feita a delimitação da pluma dissolvida ou livre e quais as eventuais técnicas de remediação (CETESB, 2006).

A CETESB, por meio da Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007, apresentou diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, especificando os procedimentos para postos de combustíveis:

- 1) A execução da etapa de investigação confirmatória deverá ser realizada pelo responsável legal conforme as exigências contidas no “Procedimento para a Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC)” ou no “Procedimento para a Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis (SAAC)”, nos termos dos anexos IV e V da DD nº 010/2006/C, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 11.02.2006;
- 2) A etapa de investigação detalhada e o plano de intervenção deverá ser desenvolvida pelo responsável legal, de acordo com o que determina o “roteiro para realização de investigação detalhada e elaboração de plano de intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis”, aprovada somente em 20 de outubro de 2009.

Até março de 2011, dos 645 municípios paulistas, 45 já haviam assinado o convênio com a CETESB, municipalizando o licenciamento ambiental. O convênio abrange um curso de capacitação dos funcionários das prefeituras municipais que trabalharão na fiscalização e no licenciamento ambiental de empreendimentos de exclusivo impacto local. O município que possui tal autonomia dispõe de três pré-requisitos: um conselho de meio ambiente ativo, uma equipe técnica capacitada para o exercício do controle e fiscalização ambiental e uma legislação municipal específica na área ambiental.

3.3. CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E AQUÍFEROS POR DERIVADOS DE HIDROCARBONETOS

Entre as fontes de contaminação do solo e da água subterrânea, destacam-se a gasolina, o diesel e os lubrificantes, descritos a seguir.

3.3.1. Gasolina

A gasolina é o combustível de maior consumo no mundo e sua principal característica é o poder anti-detonante ou octanagem, que é a resistência à combustão espontânea, avaliada em relação à temperatura e a pressão. A gasolina é obtida pela mistura de hidrocarbonetos contidos no petróleo bruto, por intermédio do craqueamento, ou seja, é composta de numerosos constituintes e a maior parte desses é classificada como alifáticos ou como aromáticos. Os compostos alifáticos incluem constituintes como o butano, o penteno e o octano. Os compostos aromáticos incluem compostos como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos - BTEX (MARQUES et. al. 2008).

A gasolina é composta por uma mistura bastante complexa de hidrocarbonetos voláteis cotendo de 3 a 12 carbonos. As parafinas com cadeias ramificadas e cicloparafinas, hidrocarbonetos aromáticos e olefinas também são seus componentes majotitários da gasolina. A composição final dependerá da origem do petróleo, do método de produção e dos processos de destilação, bem como dos compostos diversos que a ela são adicionados com a finalidade de melhorar o desempenho do motor, reduzir o desgaste mecânico e controlar a poluição do ar (FERREIRA, 2003 apud TROVÃO, 2006). A gasolina pura é composta por moléculas de hidrogênio e carbono (Figura 4) e, substâncias cuja fórmula química contém átomos de nitrogênio, enxofre, metais, oxigênio, entre outros.

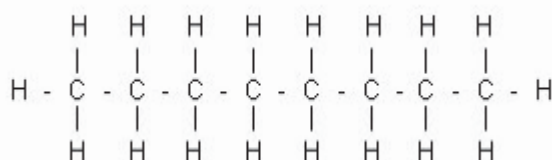


Figura 4 - Fórmula química da gasolina pura (C₈H₁₈)

Por ser menos densa que a água, a gasolina é classificada como *light non-aqueous phase liquids* (LNAPL), ou seja, fase líquida imiscível leve ou menos densa que a água.

Conforme Trovão (2006), os hidrocarbonetos monoaromáticos, que são constituintes da gasolina, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três xilenos são denominados pela sigla BTEX. Os BTEX podem ser percebidos em concentrações significativas e apresentam alta solubilidade em água, sendo os contaminantes que primeiro poluem o lençol freático (FERREIRA e PENNER, 2000 apud TROVÃO, 2006).

3.3.2. A gasolina brasileira

Como a gasolina brasileira contém 22% de álcool, as interações entre o etanol e os compostos BTEX podem alterar completamente o deslocamento da pluma e apresentar um comportamento diferente quando a gasolina contém etanol ou é misturada a compostos oxigenados. De acordo com Corseuil et al. (1998), o comportamento dos hidrocarbonetos monoaromáticos, BTEX em sistemas subsuperficiais em presença de etanol podem ser afetados por:

- aumento da solubilidade dos BTEX em água;
- aumento da mobilidade dos BTEX dissolvidos na água subterrânea;
- a presença do etanol pode decrescer a biodegradação natural dos BTEX, aumentando a persistência destes compostos na água subterrânea.

3.3.3. Diesel

O óleo diesel é composto por hidrocarbonetos alifáticos, formados por átomos de carbono, hidrogênio e baixas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio, sendo considerado um produto LNAPL. Conforme a Agência Nacional do Petróleo – ANP, o óleo diesel é inflamável, tóxico, volátil e ligeiramente mais denso do que a querosene, destilada na faixa de 250 à 400°C.

A ocorrência de contaminação próxima às bombas de abastecimento e do filtro diesel pode ser observada visualmente ao redor dos equipamentos e com a investigação ambiental, o impacto à qualidade do solo e da água subterrânea pode ser confirmado.

3.3.4. Lubrificantes

Os lubrificantes sintéticos ou não, apresentam cerca de 2,5% de derivados de petróleo para fins automotivos ou industriais, e após o período de uso recomendado, deterioram-se parcialmente, formando compostos como ácidos orgânicos, aromáticos polinucleares, potencialmente carcinogênicos (MARQUES et. al. 2008). Estes compostos podem conter elevados níveis de hidrocarbonetos e metais pesados, sendo os mais representativos: chumbo (Pb), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd) e outros, podendo ser classificados como graxas e óleos lubrificantes.

Uma das principais diferenças de um óleo novo e um óleo usado, e que confere o seu caráter de resíduo perigoso, é a presença de metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH). O óleo usado contém normalmente grandes quantidades de Pb, Zn, Ca, Ba, e quantidades menores de Fe, Na, Cu, Al, Cr, K, Ni, Sn, B e Mo (MARQUES et. al. 2008).

Segundo Marques et. al. (2008), o popular “óleo queimado” é mundialmente considerado como produto maléfico ao meio ambiente e à saúde pública, estando inserido na “Classe I dos Resíduos Perigosos”, por apresentar toxicidade, conforme a norma da ABNT, NBR 10.004 e a Resolução CONAMA 9/93. Constitui crime ambiental não só o descarte em local inapropriado como também comercializar, fornecer, transportar, queimar ou dar destino que não seja, a reciclagem por meio do rerefino, sendo estes crimes capitulados na Lei nº 9.605/98, Seção III, Artigos 41 e 43.

3.4. PARÂMETROS AVALIADOS NA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL

Na investigação de passivo ambiental de áreas contaminadas por derivados de petróleo, devem ser analisados os seguintes parâmetros: BTEX (hidrocarbonetos mono aromáticos – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) e VOCs (compostos orgânicos voláteis). Compostos oriundos de diesel e óleos lubrificantes possuem cadeias mais longas, o que contribui para menor mobilidade e solubilidade em água, quando comparados à gasolina. Os PAH's são componentes também considerados de potencial carcinogênico. A Figura 5 apresenta o grupo dos contaminantes analisados pela CETESB em dezembro de 2010.

Novos procedimentos da CETESB orientam a realização da análise do parâmetro etanol nas principais fontes de contaminação, bem como a concentração de metanol em casos específicos de adulteração de combustível.

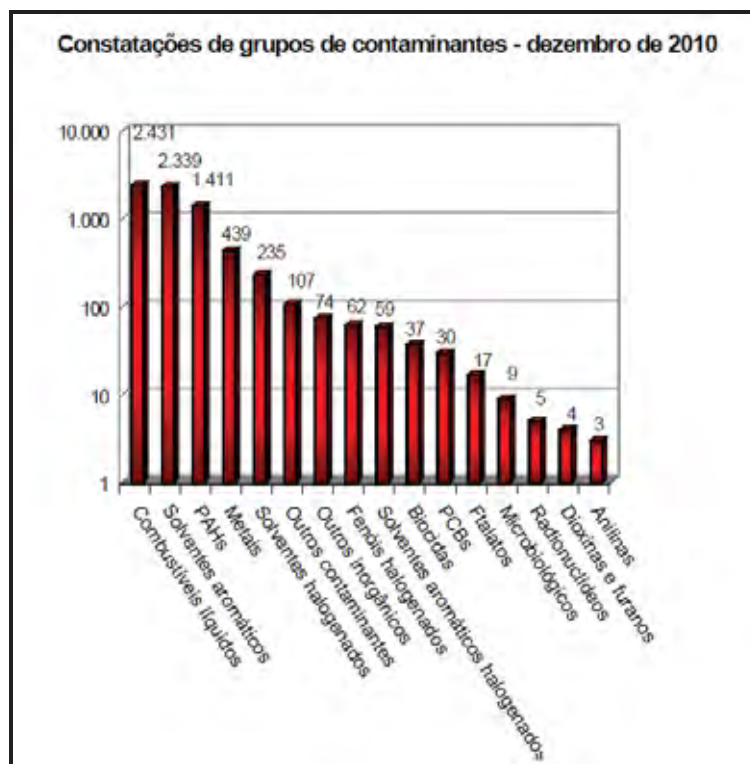


Figura 5 - Grupos de Contaminantes considerados pela CETESB na investigação ambiental (CETESB, 2010).

3.4.1. Propriedades físico-químicas do LNAPL

Segundo Silva (2005), as propriedades físico-químicas do petróleo são determinadas por sua composição total e características de cada um dos seus constituintes. Os hidrocarbonetos encontrados no petróleo podem apresentar-se sob diferentes formas físicas. Sob condições normais de temperatura e pressão, os LNAPL's podem apresentar-se na forma gasosa, líquida ou sólida, dependendo do número e disposição dos átomos de carbono nas suas moléculas.

Existem várias propriedades dos combustíveis líquidos que podem influenciar sua mobilidade e retenção aos colóides do solo como densidade, viscosidade dinâmica, solubilidade e pressão de vapor. A densidade dos combustíveis líquidos é menor que a da água e essa diferença pode causar um efeito significativo no escoamento e retenção destes combustíveis em solo úmido ou saturado em água. O aumento de temperatura tende a baixar a

densidade e a viscosidade e, por outro lado, aumentar a mobilidade dos combustíveis líquidos no solo. Porém, pequenas mudanças na viscosidade não afetarão significativamente a mobilidade de alguns produtos no solo (GUIGUER, 1996).

De acordo com Silva (2002), os hidrocarbonetos que apresentam maior solubilidade em água são os compostos aromáticos leves como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e o xileno, que possuem solubilidade muito superior aos PAH's. O benzeno puro, por exemplo, possui solubilidade de 1.750 mg L^{-1} , enquanto a do naftaleno puro é de 31 mg L^{-1} , indicando que a distribuição da pluma de contaminação dos BTEX impactam uma área muito maior do que a dos PAHs (Tabela 2).

A pressão de vapor pode ser usada para indicar a tendência de um constituinte líquido de se volatilizar. A proporção de volatilização da gasolina depende das pressões de vapor de seus constituintes e quanto maior for a pressão de vapor, maior será a volatilização. Portanto, a pressão total de vapor da gasolina pode ser dada pela soma das pressões parciais de seus constituintes individuais (SANTOS, 1998).

A solubilidade de um gás em água é descrita pela Lei de Henry, cuja constante representa a razão entre a concentração de um composto químico específico na fase de vapor e a concentração deste composto na fase líquida.

Tabela 2 – Solubilidade de constituintes comuns da gasolina, conforme Gouvêa (2004).

Substância	Solubilidade (mg L ⁻¹)	Substância	Solubilidade (mg L ⁻¹)
Benzeno	1.750	Pentano	38,5
Tolueno	515	Naftaleno	31
O-xileno	220	1-metil-naftaleno	28
Cis-2-penteno	203	2-metil-naftaleno	25
Ciclopentano	156	2,2-dimetilbutano	18,4
Etilbenzeno	152	sec-butilbenzeno	17
1-penteno	148	metilciclohexano	14
3-metil-1-buteno	130	isopentano	13,8
1-metil-4-etilbenzeno	95	2-metilpentano	13,8
1,2,3-trimetilbenzeno	77	n-butilbenzeno	13,8
1-metil-2-etilbenzeno	75	3-metilpentano	12,8
propano	62	isobutilbenzeno	10,1
1,2,4-trimetilbenzeno	57	hexano	9,5
ciclohexano	55	2,3-dimetilpentano	5,25
n-propilbenzeno	52	1,2,4,5-tetrametilbenzeno	3,48
isopropilbenzeno	50	3-metilhexano	3,3
1,3,5-trimetilbenzeno	50	n-heptano	2,93
isobutano	48,9	2-metilhexano	2,54
metilciclopentano	42	2,2,4-trimetilpentano	2,44

3.4.2. Hidrocarbonetos monoaromáticos - BTEX

Os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) presentes na gasolina são os que possuem maior solubilidade em água e, portanto, são os primeiros contaminantes que atingem o lençol freático. Estes compostos são considerados perigosos por serem depressores do sistema nervoso central (CORSEUIL e MARINS, 1997).

Os BTEX correspondem cerca de 18% dos hidrocarbonetos que compõem a gasolina e dentro destes 18%, 31% corresponde ao m-xileno e 11% ao benzeno.

No ambiente, os BTEX podem volatilizar, dissolver, adsorver às partículas de solo ou ser biologicamente degradado (SILVA, 2002). A volatilização ocorre com a evaporação dos compostos úmidos, permitindo que passem do estado líquido para o gasoso, e a volatilização dos compostos de BTEX comumente ocorre no momento de se abastecer os automóveis nas bombas onde se percebe seu odor característico (cheiro de gasolina). Este fenômeno também pode ocorrer em bolsões de ar dentro do solo. O BTEX pode ainda se dissolver em água, permitindo sua movimentação até o lençol freático. Considerando que os BTEX se aderem ao solo, a lixiviação até o nível d'água é relativamente lenta e, se houver oxigênio em quantidade suficiente para ativar os microrganismos do solo pode ocorrer a biodegradação.

3.4.3. Benzeno

O benzeno é utilizado principalmente como intermediário da síntese de produtos químicos tais como, estireno, detergentes, pesticidas, aditivo de combustível, solvente para extração industrial, solvente de indústria de borracha e na preparação de tintas (ABDANUR, 2005).

O benzeno é ligeiramente solúvel em água com solubilidade de $1,750 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 2). Um parâmetro que determina a lixiviabilidade do benzeno é o Koc (coeficiente de partição do carbono orgânico), que para este composto é considerado como altamente móvel no solo (Koc $60-97 \text{ mL g}^{-1}$). Por outro lado, a bioconcentração do benzeno está relacionada com o Kow (coeficiente de partição octanol-água), que para este composto (Kow 2.13 – 2.15) pode ser considerado baixo. O benzeno possui densidade de $0,88 \text{ g L}^{-1}$ e peso molecular de $78,11 \text{ g mol}^{-1}$ (ABDANUR, 2005).

A Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC), com sede na França, incluiu em 1987 o benzeno na lista dos principais agentes causadores do câncer em humanos

-IARC (2004) e a OSHA (Occupational Safety & Health Administration) limita uma concentração no ar atmosférico em área de trabalho de 1 ppm para uma jornada de 8 h dia⁻¹ e 40 h semana⁻¹ (ABDANUR, 2005). O benzeno, devido a esta característica de composto carcinogênico passou a ser considerado como prioritário nas avaliações de risco e em 2003 ocupou a sexta posição no Ranking da Lista Nacional Prioritária das substâncias mais perigosas dos Estados Unidos (ABDANUR, 2005).

A principal via de exposição humana e animal ao benzeno é por inalação e pelo consumo de água e alimentos contaminados (CETESB, 2005). O limite de intervenção para o benzeno na água subterrânea destinada à ingestão é de 5 µg L⁻¹. Em termos práticos, verificam-se altas concentrações de benzeno em grande parte dos postos de combustíveis e uma grande extensão da pluma de contaminação.

3.4.4. Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos - PAH

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – PAHs são componentes presentes no diesel e no óleo lubrificante e também são considerados potencialmente carcinogênicos (TEIXEIRA, 2008).

De acordo com informações da CETESB, os PAHs são uma classe de compostos orgânicos semi-voláteis, formados por anéis benzênicos ligados de forma linear, angular ou agrupados, contendo em sua estrutura somente carbono e hidrogênio. Dos hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, dezesseis são indicados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como sendo poluentes prioritários, que têm sido cuidadosamente estudados devido à sua toxicidade, persistência e predominância no meio ambiente tais como: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno naftaleno e pireno. O comportamento, transporte e destino desses compostos no meio ambiente dependem de suas características físico-químicas e bioquímicas. Geralmente os PAHs são persistentes no meio ambiente e possuem baixa solubilidade em água, com exceção do naftaleno, que é relativamente solúvel (32 mg L⁻¹), no entanto, bem menos móvel quando comparado ao benzeno, por exemplo. Na maioria dos casos, essa solubilidade diminui com o aumento do número de anéis e da massa molecular do composto. Esta é uma das propriedades mais importantes no transporte desses compostos no meio ambiente. Os compostos mais solúveis em água são transportados mais

facilmente, pois tendem a ter uma baixa adsorção nas partículas de solo. Além disso, são mais susceptíveis à biodegradação, devido à sua estrutura mais simples.

A CETESB também relata que os PAHs podem causar efeitos toxicológicos no crescimento, metabolismo e reprodução de toda a biota (microrganismos, plantas terrestres, biota aquática, anfíbios, répteis, aves e mamíferos). Estes efeitos podem associar-se à formação de tumores, toxicidade aguda, bioacumulação e danos à pele de diversas espécies de animais. Os principais estudos sobre esses compostos relacionam-se as suas propriedades carcinogênicas, mutagênicas e genotóxicas.

3.4.5. Etanol

O etanol, que é um composto polar, é solúvel em água e em gasolina (apolar). Por esta característica o etanol é classificado como um cosolvente, ou seja, numa mistura bifásica, contendo água e gasolina, ao misturar-se etanol, este se distribuirá em proporções distintas entre a fase gasolina e a fase aquosa. Esta distribuição é razoavelmente complexa, pois a presença de etanol na água faz com que a solubilidade dos compostos da gasolina aumente. Logo, numa mistura bifásica de água e gasolina contendo etanol tem-se uma fase aquosa contendo água, etanol e gasolina e uma fase “oleosa” contendo gasolina, etanol e água, sendo que a partir de uma determinada proporção de etanol no sistema água-gasolina-etanol, este passa a ser unifásico (OLIVEIRA, 2000).

Santos et al. (1996) observaram um efeito negativo do etanol sob os microrganismos do solo. Os resultados obtidos indicaram que, em caso de uma contaminação de aquíferos por uma mistura de etanol e do hidrocarboneto monoaromático benzeno, a pluma deste composto se deslocará sem degradação até completar-se a degradação do etanol. Estes autores verificaram que o benzeno pode ser degradado biologicamente mesmo sem a adição de nutrientes, somente após o desaparecimento do etanol.

3.4.6. Metanol

O metanol é um potente combustível e, assim como o etanol, é totalmente solúvel em água. De acordo com Liria Alves, pelo Brasil Escola (disponível <http://www.brasilecola.com/quimica/metanol-combustivel-potente.htm>, acessado em 5 de junho de 2010), o metanol já foi empregado no Brasil temporariamente como combustível, devido à escassez de etanol. Porém, devido à sua ação corrosiva e seus graves efeitos tóxicos,

seu uso foi gradativamente interrompido. Em carros comuns, o uso do metanol não ocorre, sendo ainda muito utilizado em carros de corrida, pois permite uma rápida combustão no motor, ou seja, gera uma maior potência veicular. No entanto, há casos de adulteração do combustível com a adição do metanol à gasolina.

De acordo com dados da Sociedade Brasileira de Planejamento Estratégico (1989), o metanol possui maior toxicidade que o etanol no que diz respeito à inalação e penetração na pele. Sem a presença de chumbo, a gasolina é menos tóxica que o metanol ao manuseio, porém após a queima, o metanol é menos tóxico que a gasolina.

3.5. COMPORTAMENTO DE HIDROCARBONETOS EM SOLOS

Segundo Demuelenaere (2004), os processos de acumulação e transporte de contaminantes no solo dependem da natureza do contaminante, do tipo de solo e das propriedades dos aquíferos.

De acordo com Ferreira e Zuquete (1998), na fase gasosa, os contaminantes estão presentes como gases; na fase aquosa, parte do contaminante pode estar dissolvida na água, que corresponde à fase imiscível, ou ainda na fase sólida, onde os contaminantes podem estar adsorvidos na superfície do solo. A figura 6 (a) mostra o solo sem contaminação na zona não saturada e a figura 6 (b) mostra o solo contaminado com LNAPL na zona saturada.

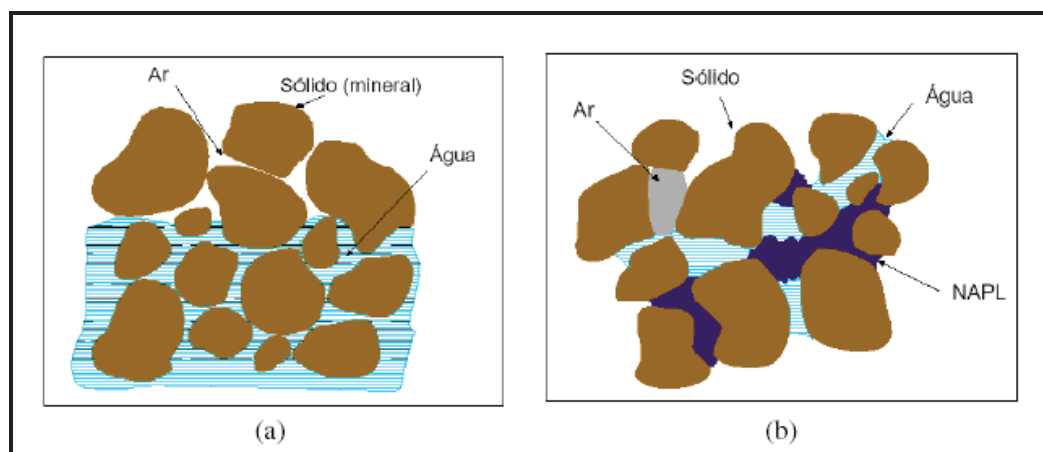


Figura 6 - Contaminação por LNAPLs nas zonas saturada (a) e vadosa (b) (Ferreira e Zuquete, 1998).

A composição e as propriedades dos contaminantes são fatores significativos no desenvolvimento da interação com os colóides do solo e com a água subterrânea. As propriedades físicas do solo que mais influenciam o comportamento dos combustíveis líquidos estão a porosidade, a condutividade hidráulica e a heterogeneidade dessas propriedades entre os diferentes tipos de solo. Diferenças em grande escala nessas propriedades podem influenciar o transporte multifásico de hidrocarbonetos (SILVA, 2005; GUIGUER, 1996).

Segundo Santos (1998), as propriedades dos combustíveis líquidos que podem influenciar a mobilidade e a retenção desses combustíveis no solo são: massa específica, viscosidade dinâmica, solubilidade e pressão de vapor. Como a densidade dos combustíveis líquidos é menor que a da água, essa diferença pode causar um efeito significativo no escoamento e retenção dos combustíveis líquidos em solo úmido ou saturado em água.

Um vazamento de derivados de petróleo, sobre ou abaixo da superfície do solo, terá uma maior fração do contaminante movendo-se verticalmente, devido à ação de forças gravitacionais através da zona vadosa ou não saturada, sendo este movimento controlado inicialmente pela massa específica e viscosidade do contaminante até alcançar o nível freático e uma fração menor é transferida para a atmosfera. A percolação pela zona vadosa é feita por caminhos preferenciais, como fraturas e espaços intersticiais menores, podendo atingir a água subterrânea. A heterogeneidade do meio poroso pode causar o espalhamento lateral e a retenção no solo do produto puro durante a migração. As forças intersticiais e capilares podem gerar massas residuais de LNAPL, que ficam retidas nos poros do solo por longos períodos, podendo ter efeitos graves e possivelmente irreversíveis na área impactada, visto que as massas residuais podem se tornar fontes de contaminação da água subterrânea pela infiltração, lixiviação e variação do nível freático. Esta massa residual, apesar de imóvel, se dissolve lentamente em pequenas quantidades na água que está fluindo ao seu redor (DEMUELENAERE, 2004).

De acordo com Faust (1985) e Santos (1998), para uma mistura de diferentes hidrocarbonetos, os constituintes mais solúveis dissolvem-se primeiro, e os componentes menos solúveis se espalham sobre o topo do nível freático, formando uma espécie de camada, por serem menos densos que a água. O fluxo deste contaminante imiscível depende da pressão da gravidade e de forças de superfície, não sendo necessariamente similar ao potencial de fluxo da água subterrânea. Com a dissolução dos hidrocarbonetos de petróleo mais solúveis presentes na fonte de contaminação, ocorre a formação de plumas de compostos dissolvidos.

As variações espaciais e temporais de concentração dependem dos mecanismos de transporte de contaminantes governados por processos físicos, químicos e biológicos do solo que podem ocorrer concomitantemente, conforme esquematizado na figura 7.

O conhecimento do processo de dispersão do combustível derramado no solo, bem como dos mecanismos de transporte que envolvem cada fase de desagregação é importante para que seja aplicada a melhor tecnologia de remediação.



Figura 7 - Transporte de hidrocarbonetos e processos que influenciam o seu destino no solo (Adaptado de Santos, 1998).

3.5.1. Dissolução

A dissolução é o processo pelo qual os compostos solúveis presentes na gasolina e no óleo diesel se dispersam na água, formando uma mistura homogênea e monofásica. Durante a movimentação dos hidrocarbonetos no meio poroso, parte fica retida nos poros, entre os grãos de solo. Esta parte, apesar de imóvel, se dissolve lentamente e em pequenas quantidades na água que está fluindo ao seu redor. A solubilidade de um composto orgânico é o equilíbrio da concentração do composto na água e depende de vários fatores, como temperatura, pressão, pH, presença de co-solventes, matéria orgânica dissolvida e salinidade (SANTOS, 1998; USEPA, 1995).

Em áreas impactadas por derramamentos de gasolina, a dissolução dos BTEX é o mecanismo mais importante para a redução da massa do contaminante e, em contrapartida, é também a principal causa da contaminação da água subterrânea (SANTOS, 2009).

3.5.2. Advecção

A advecção é o processo físico, de maior influência na migração dos poluentes, pelo qual o poluente dissolvido é transportado juntamente com o fluxo da água subterrânea, na velocidade intersticial do meio poroso. No transporte advectivo de solutos que não interagem com o meio poroso, a frente de contaminação é abrupta e move-se a uma velocidade igual à velocidade linear média do fluido percolante, geralmente a água, sem que seu pico de concentração seja alterado (SANTOS, 2009). Este processo depende das propriedades do aquífero, e a velocidade de percolação é determinada a partir da velocidade de Darcy, dividida pela porosidade efetiva. Segundo Demuelenaere (2004), a condutividade hidráulica é um importante parâmetro no transporte de contaminantes, devido ao fato de fornecer maior ou menor resistência à percolação da água e, conseqüentemente, aos contaminantes dissolvidos nesta.

Segundo Fitts (2002) apud Santos (2009), a advecção, além de transportar a massa de contaminante de um local para outro, também pode desencadear o mecanismo de dispersão. Isto acontece porque a distribuição da velocidade de água subterrânea não é uniforme e varia no espaço e no tempo, devido à heterogeneidade do meio poroso, sendo necessária a análise dos diferentes tipos de solo para a determinação da velocidade real média da água subterrânea.

3.5.3. Dispersão

A dispersão é o processo de diluição e redução da concentração do soluto quando o mesmo é carregado por advecção pelo meio poroso (SANTOS, 1998). Este mecanismo é responsável pela dispersão da pluma de contaminantes no meio poroso, fazendo com que o contaminante ocupe um volume maior do que se ocorresse apenas advecção. Esta dispersão ocorre devido a dois fenômenos distintos, a dispersão mecânica e a difusão molecular, onde há decréscimo do pico de concentração, enquanto a frente de contaminação se move mais rápido (DEMUELENAERE, 2004).

A dispersão mecânica ocorre devido às variações de velocidade do fluido no meio poroso e pode ocorrer dispersão longitudinal e transversal à direção do fluxo, sendo geralmente a longitudinal cerca de dez vezes maior que a transversal (QUEIROZ, 2002). De acordo com Fetter (1993), a dispersão mecânica está relacionada com a tortuosidade ou o

comprimento do caminho do fluxo e devido à diferença na área superficial de contato entre o fluido e a superfície rugosa, a velocidade será maior ou menor.

3.5.4. Biodegradação

A biodegradação dos contaminantes causa a quebra de componentes químicos, por meio de transformações causadas pela atividade de microrganismos presentes no solo. Os produtos da degradação podem ser mais ou menos tóxicos que os compostos originais (SANTOS, 1998). A taxa de biodegradação é determinada pelo número e tipo de microrganismos presentes, pela toxicidade do poluente, pela quantidade de água e temperatura do solo, pela presença de elétrons e pelo potencial de redução, pelo pH do solo, pelas fontes de energia e de carbono, além de outros nutrientes para o metabolismo dos microrganismos (SCHENEIDER, 2005). Muitos microrganismos ocorrem naturalmente nas zonas vadosa e saturada e, sob condições favoráveis, são capazes de degradar todos os componentes de um derramamento de hidrocarbonetos, representando um forte mecanismo de remediação (SANTOS, 1998). A biodegradação dos BTEX pode ser representada por reações de oxidação e redução realizada por microrganismos ou pela presença de receptores de elétrons e nutrientes, sendo transformados em ácidos orgânicos ou totalmente oxidados. Os compostos BTEX podem ser biodegradados em condições aeróbias e anaeróbias, dependendo da disponibilidade de receptores de elétrons (SCHENEIDER, 2005).

3.5.5. Difusão

A difusão é o processo molecular de transporte de massa, no qual o soluto (contaminante dissolvido) move-se de uma área de alta concentração para outra de baixa concentração (TROVÃO, 2006). Este processo resulta do movimento molecular translacional, vibracional e rotacional do contaminante no meio líquido, onde os constituintes iônicos e moleculares se movem sob a influência da energia cinética na direção do gradiente de concentração. No entanto, a difusão pode ocorrer mesmo na ausência de fluxo hidráulico (FREEZE e CHERRY, 1979 apud TROVÃO, 2006).

3.5.6. Adsorção de poluentes e retardo

O fenômeno de adsorção consiste na imobilidade de uma substância dissolvida em um fluido, por se aderir aos colóides do solo, sendo este, um fenômeno complexo que sofre influência de vários fatores que incluem as características do poluente e do solo (SCHNEIDER, 2005). Devido à baixa polaridade, os hidrocarbonetos, geralmente são adsorvidos por meio de ligações hidrofóbicas, isto é, quando as superfícies do meio poroso do aquífero são menos polares do que a molécula de água, como na maioria dos casos, há uma forte tendência, por parte das moléculas do contaminante de baixa polaridade, em ser transferida da água subterrânea para a fração orgânica do solo (WEBER et al., 1991).

Para os hidrocarbonetos dissolvidos, a fração orgânica do solo é que controla a adsorção. Assim, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, maior será o retardo dos hidrocarbonetos e mais tempo será necessário para atingirem os aquíferos. A adsorção atenua os picos de concentração de poluentes, diminuindo o avanço da pluma de contaminação, devido ao seu retardo em relação à velocidade média intersticial (SCHNEIDER, 2005).

3.5.7. Imobilização

Segundo Santos (1998), os componentes químicos podem ser imobilizados na zona da fonte de contaminantes, por dois processos. No primeiro, os constituintes individuais podem ser imobilizados, devido a sua natureza química, como por exemplo, os metais pesados. No segundo, a fração imiscível de hidrocarbonetos pode migrar sob a ação da força da gravidade, ou outro gradiente de energia, enquanto sua saturação é suficientemente alta.

3.5.8. Lixiviação

Denomina-se lixiviação o movimento dos co-íons para as camadas mais profundas do solo, fora do alcance do sistema radicular, por meio de um fluxo descendente de água (QUAGGIO, 1986 apud CEMBRANELLI, 2006).

Assim, substâncias químicas podem ser carregadas da zona de origem para o nível freático, por meio de “arraste ou lavagem” pela água da chuva infiltrada, ocorrendo tal processo na zona vadosa (SANTOS, 1998).

3.5.9. Anisotropia do meio

De acordo com Trovão (2006), a anisotropia corresponde a variabilidade ou distribuição espacial de elementos na natureza, e pode ocorrer mais intensamente numa direção que em outra. Assim, no mapeamento da contaminação por hidrocarbonetos de uma determinada região é pouco provável que estes compostos se espalhem igualmente em todas as direções (TROVÃO, 2006).

Para trabalhar com a anisotropia, é importante que o modelo proposto represente bem a variabilidade espacial da propriedade em estudo. Modelos mais adequados para este objetivo vêm sendo propostos e a estatística engloba estes modelos, cuja base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis geoestatística e nas funções aleatórias, conforme Trovão (2006). Além disso, as diferenças de condutividade hidráulica e a ocorrência de anisotropia são determinantes quando se trata da direção e velocidade da migração da pluma de contaminação nos diversos tipos de solo e estas diferenças somadas à dispersão e à difusão, são as condicionantes do comportamento dos contaminantes no solo.

3.6. PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO

Conforme pode ser observado nas figuras 8 e 9, normalmente, um vazamento de combustível em um tanque de abastecimento promove diferentes fases de contaminação (Santos, 2009).

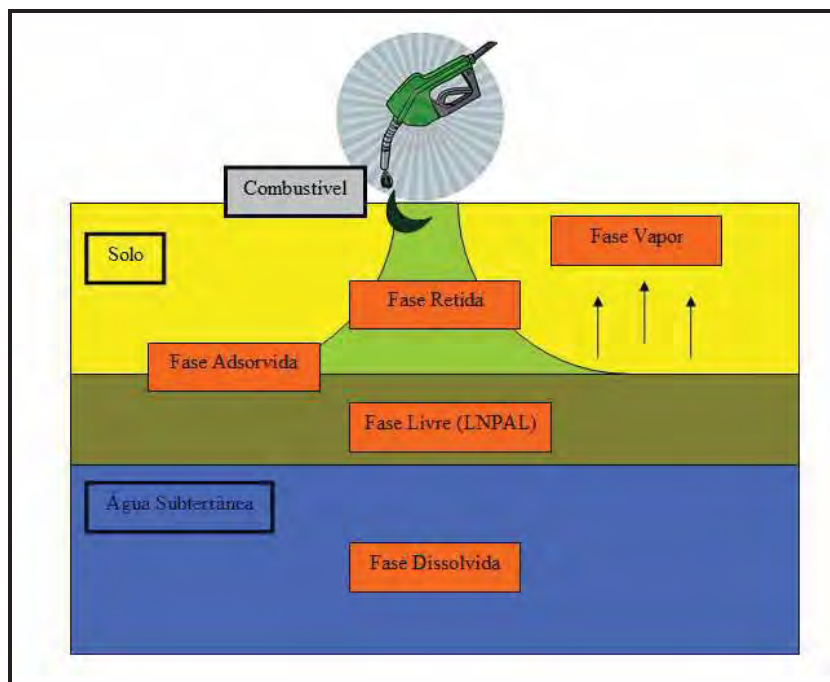


Figura 8 - Fases de contaminação de hidrocarbonetos do tipo LNAPL - Líquido leve menos denso que a água (Adaptado de Santos, 2009).

De acordo com Azambuja et al. (2000) apud Santos (2009), quando ocorre uma contaminação, o poluente poderá se distribuir em diferentes fases descritas à seguir.

a) Fase livre: ocorre quando um hidrocarboneto solúvel puro é continuamente adicionado a um volume de água. Neste caso, uma fase líquida orgânica aparecerá ao ser excedido o limite de solubilidade desse hidrocarboneto. Constitui uma camada sobre o topo do freático livre que pode ser mais ou menos espessa, dependendo da quantidade de produto derramado e da dinâmica do sistema freático.

Segundo Sauck (2000), a fase livre não é composta exclusivamente por hidrocarbonetos, apenas 50% dos vazios do solo são ocupados por hidrocarbonetos, sendo o restante ocupado por água e ar. Por essa razão, não existe um limite entre a fase livre e as demais fases, mas pode ocorrer a formação de uma camada de transição que pode ser mais ou menos espessa, de acordo com a viscosidade do hidrocarboneto, com a magnitude e

frequência de oscilações freáticas, com a quantidade de oxigênio disponível, com a porosidade do solo e, ainda, de acordo com o tempo transcorrido desde o vazamento, além de outros intervenientes.

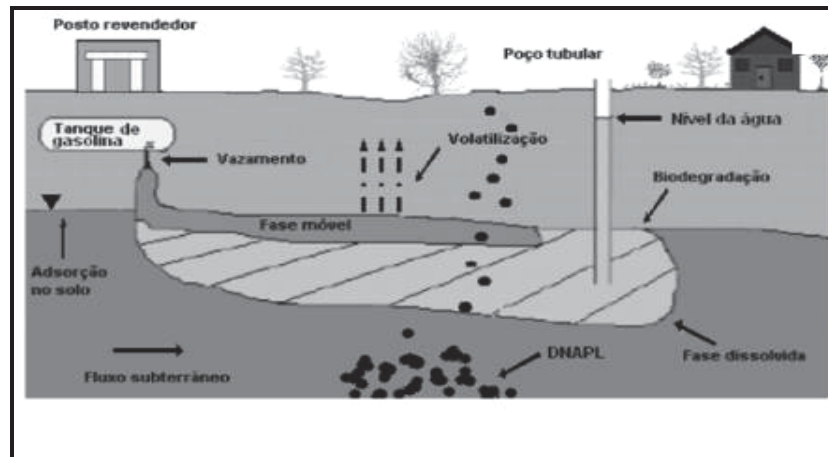


Figura 9 - Fases de contaminação de solo e água subterrânea por hidrocarbonetos (Forte et al., 2007).

b) Fase residual (adsorvida ou retida): corresponde à fração do poluente que fica adsorvida aos colóides do solo e pode ocorrer devido às variações freáticas inerentes, e ocupa uma camada da zona vadosa (não-saturada) sobre o topo da fase livre. Essa camada pode ser mais ou menos significativa, dependendo da viscosidade do produto, da porosidade do solo e das oscilações do freático livre.

c) Fase de voláteis: os componentes voláteis dos combustíveis que ocupam os vazios do solo ou rocha constituem esta fase, sendo significativa na zona vadosa. Quanto maior a pressão de vapor, maior será o potencial de evaporação de um composto químico.

d) Fase dissolvida: é constituída por poluentes polares e por uma fração emulsionada de hidrocarbonetos que possui maior mobilidade e dissipa-se abaixo no nível freático livre, sendo representativa em áreas contaminadas por fluidos menos viscosos como a gasolina. A polaridade está associada à presença de cargas positivas e negativas na molécula, o que influencia na distribuição dos contaminantes em água.

e) Fase condensada: aparece mais tipicamente em áreas urbanas onde a pavimentação é intensa e pouco permeável, caracterizando-se pela acumulação de produtos condensados sob pavimentos.

3.7. ANÁLISE DE RISCO E OS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO

Entre os procedimentos adotados pela CETESB (2007), quando há identificação de fase livre em áreas de postos de combustíveis, o responsável pelo empreendimento deverá recuperar a fase livre em um período de até 180 dias. Quando concentrações de BTEX e PAH dissolvidas na água subterrânea estão acima dos valores de intervenção (VI) da CETESB (2005), deve ser avaliada a necessidade de adoção de técnicas de remediação para a atenuação destas concentrações. No caso dos postos de combustíveis deverá ser adotado o procedimento aprovado pela Decisão de Diretoria nº 263/2009/P de 20 de outubro de 2009 para a completa investigação de todas as áreas potenciais de contaminação, bem como para a delimitação das plumas, tanto no plano horizontal como no plano vertical, para posterior análise de risco das concentrações de contaminantes aos cenários de exposição como ingestão de água, inalação de vapores, entre outros.

3.8. TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO

Considerando que os hidrocarbonetos são relativamente móveis e biodegradáveis quando comparados a outros tipos de contaminantes como os metais, um grande número de tecnologias vem sendo desenvolvidas e aplicadas na remediação de locais contaminados por derivados de petróleo. A seguir, serão descritas algumas tecnologias utilizadas na remediação de áreas contaminadas por derivados de petróleo.

3.8.1. Bombeamento e tratamento

O bombeamento (Pump and Treat) 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 10 apresenta um esquema do processo do bombeamento e tratamento para aquíferos contaminados e a figura 11 uma foto representativa do sistema de remediação por bombeamento e tratamento.

Este sistema vem sendo adotado desde a década de 1980 nos EUA, e consiste em instalar poços de bombeamento de maneira estratégica, buscando sempre, interceptar a pluma

de LNAPL (líquido leve menos denso que a água) de modo a conter a migração e reduzir as concentrações do contaminante através da água subterrânea (USEPA, 1997).

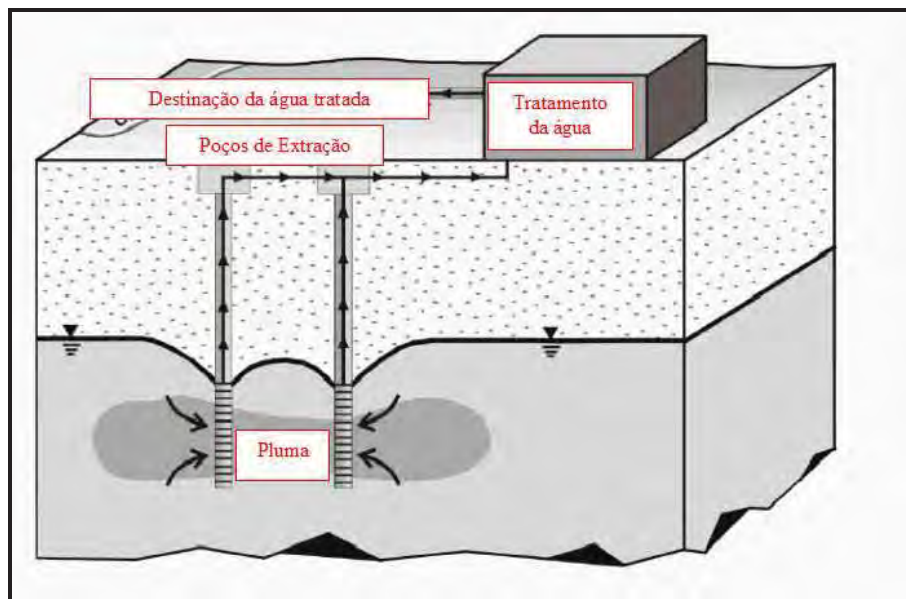


Figura 10 - Esquema do sistema de bombeamento e tratamento aplicado à remediação de aquíferos (Adaptado de Stewart, 2008).

O sistema de bombeamento apresenta algumas limitações que devem ser consideradas nos projetos de remediação ou atenuação de LNAPL (líquido leve menos denso que a água) que por ventura venham a alcançar o aquífero (USEPA, 1996). Além das características físico-químicas do contaminante, a eficiência do bombeamento na remoção ou atenuação da pluma, depende diretamente das condições e características do local onde o composto se encontra inserido como poluente (USEPA, 1996).



Figura 11 - Sistema de bombeamento e tratamento aplicado à remediação de aquíferos contaminados por derivados de petróleo (Construfer, 2008).

Poços de monitoramento são empregados de maneira conjugada aos poços de bombeamento, para monitorar os cones de depressão dos poços de bombeamento, as mudanças na profundidade da água subterrânea que está sendo bombeada, a qualidade desta água dentro e fora da pluma e para verificar se a pluma está avançando, diminuindo ou já estabilizou (CETESB, 2007).

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 tecnologias de remediação, em sítios que apresentam fase livre de contaminante. No entanto, a permeabilidade do solo, impedimentos físicos e a extensão e a profundidade da pluma, são alguns dos principais fatores a serem observados na caracterização do local de remediação. Neste sentido, a técnica bombeamento e tratamento podem ser pouco eficientes em solos de baixa permeabilidade contaminados por LNAPL (líquido leve menos denso que a água), pois o transporte dos contaminantes é muito lento.

3.8.2. Tratamento da água subterrânea por carvão ativado

O carvão ativado atrai moléculas apolares, como hidrocarbonetos, pelas forças de Van der Waals, e suas aplicações mais comuns são na remoção de compostos orgânicos que atribuem gosto, odor e risco à água, limpeza de gases contendo VOCs, descoloração de alimentos e purificação farmacêutica.

No processo de remediação, o carvão ativado, é geralmente utilizado em conjunto com outras técnicas de remediação, como a apresentada na figura 12, como forma de complementar o sistema de remediação. No sistema de bombeamento e tratamento, por exemplo, a água bombeada é tratada com carvão ativado, que não destrói os poluentes, apenas transfere a contaminação de uma fase para outra, não tornando inócuo o contaminante (TROVÃO, 2005).

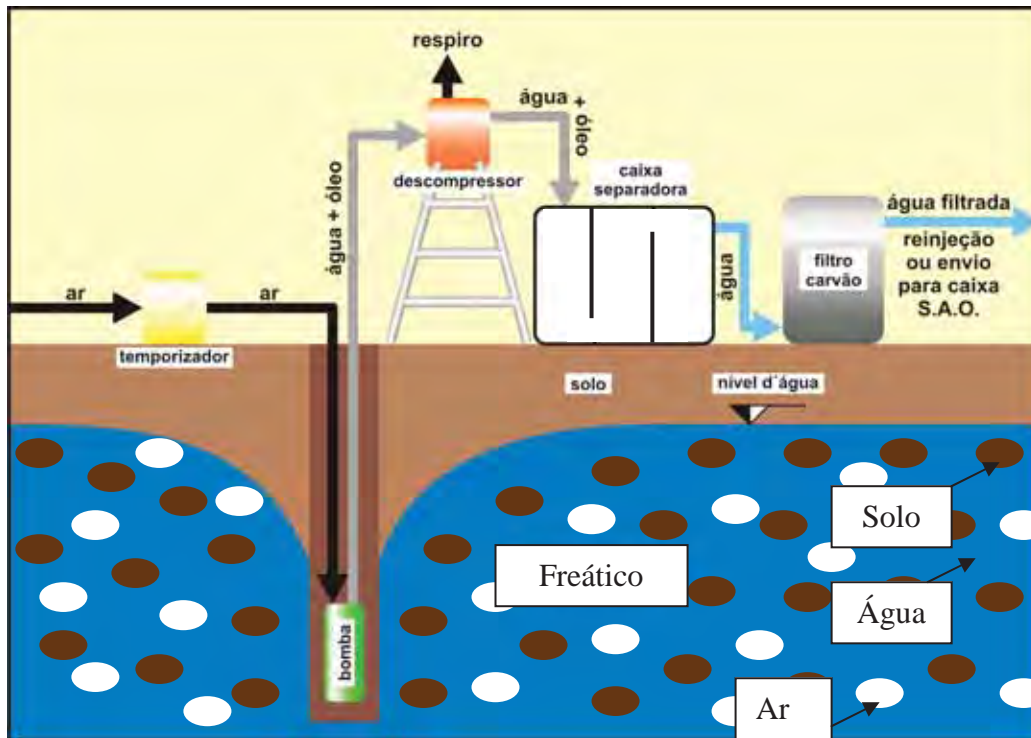


Figura 12 - Esquemática do processo de tratamento da água subterrânea com carvão ativado após bombeamento (Construfer, 2009).

3.8.3. Atenuação natural

Este é um método que pode ser utilizado para a remediação de águas e solos contaminados, principalmente por derivados de petróleo. Esta técnica consiste em processos físicos, químicos e biológicos, que fazem com que o deslocamento do contaminante seja limitado e, conseqüentemente, reduza a extensão da contaminação do meio ambiente. Este método tem sido bastante utilizado na América do Norte e na Europa.

No Brasil, deve-se tomar cuidado com este método, devido à presença do etanol junto à gasolina. Alguns estudos foram realizados para avaliar a atenuação natural em derramamentos de gasolina contendo etanol, diesel puro e diesel com etanol na Fazenda Experimental da Ressecada, em Florianópolis-SC. Os resultados demonstraram que este método reduziu o potencial de contaminação dos locais onde ocorreram derramamentos de gasolina, principalmente pelo efeito de degradação biológica, que transforma espécies poluentes em compostos inócuos à saúde humana. Contudo, as plumas de contaminação desapareceram somente após 1000 dias de tratamento (TIBURTIUS et al., 2004).

Para que a atenuação natural seja eficiente como método de remediação, são necessários estudos que comprovem que o solo possui microrganismos suficientes para

eliminar os contaminantes e que o monitoramento da pluma de contaminação seja constante (TROVÃO, 2005).

3.8.4. Extração de vapores do solo (SVE)

A extração de vapores do solo (SVE) é uma técnica de remediação *in situ* que pode ser utilizada para remover componentes orgânicos voláteis e alguns semivoláteis na zona vadosa (NADIM et al., 1999 apud FAVERA, 2008). Este método envolve a instalação de sistemas coletores de vapores verticais e horizontais na área do solo contaminado, onde bolhas de ar, geralmente, são utilizadas para facilitar o processo de extração. Este método faz com que o ar atmosférico entre em contato com o subsolo contaminado, através de um vácuo induzido. O vácuo, que é aplicado por meio de poços próximos à fonte de contaminação, induz a evaporação dos constituintes voláteis da massa contaminada que são retirados subsequentemente por meio de um poço de extração. Neste caso, o fluxo contínuo do ar nos poros do solo remove o líquido de fase não-aquosa (LNAPL). Em seguida, os vapores extraídos são tratados, geralmente pela adsorção ao carvão ativado, antes de serem lançados na atmosfera (Figura 13).

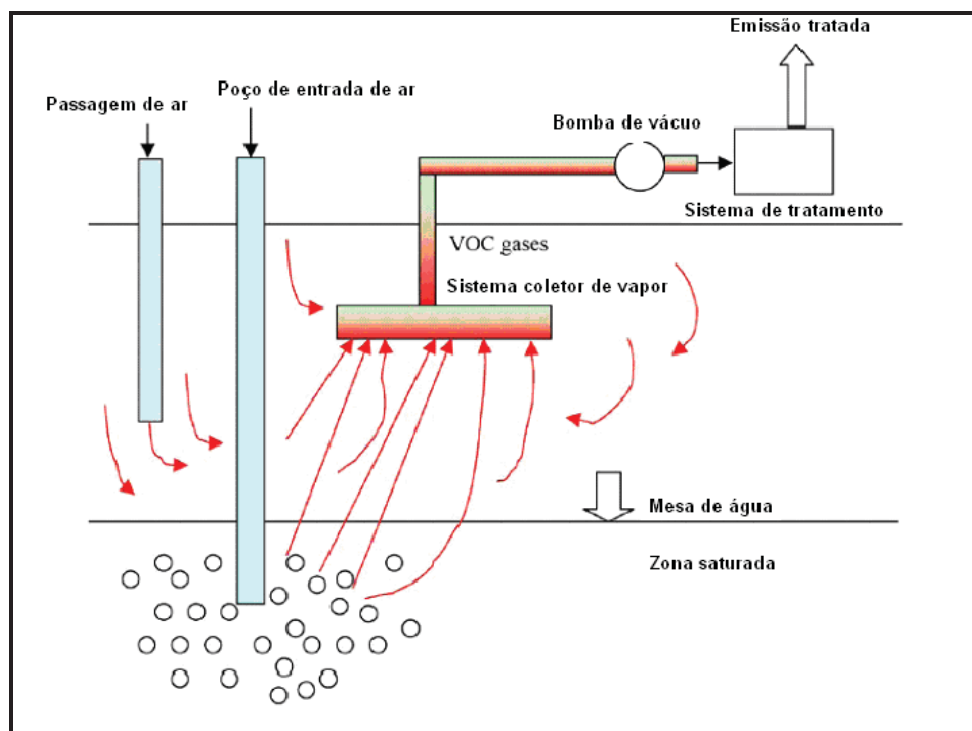


Figura 13 - Esquematização da técnica de remediação de extração de vapores (Cruz, 2006).

3.8.5. Extração multifásica (MPE)

A extração multifásica é uma tecnologia de remediação *in situ* que consiste no bombeamento para a remoção de contaminantes em fase livre, de água subterrânea com compostos dissolvidos e de vapor do solo. É uma tecnologia eficiente na redução da concentração de hidrocarbonetos na zona não saturada, no solo. Em locais onde o nível d'água não é muito profundo, o bombeamento da fase livre e dissolvida é realizado por meio da aplicação de vácuo nos poços de extração. Quando o nível da água subterrânea atinge profundidade superior a 10 m, recomenda-se a utilização de um sistema que combine a extração de vapores por vácuo com o bombeamento convencional do produto em fase livre e da água subterrânea (TROVÃO, 2005).

Portanto, na tecnologia de extração multifásica são combinadas bombas de vácuo para extrair vapores e água subterrânea visando a remoção das fases líquida e gasosa pelo mesmo poço.

3.8.6. Injeção de Ozônio

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, da CETESB (2007), o tratamento químico de solos é empregado para decompor, reduzir ou eliminar a toxicidade dos contaminantes presentes, pela mistura superficial ou injeção profunda de produtos químicos. As reações de oxidação podem ocorrer naturalmente no solo, ou aceleradas mediante a introdução de um agente oxidante como o ozônio.

O ozônio é um forte oxidante, mas por ser gás, sua utilização pode ser difícil. Esse gás é gerado no próprio local de aplicação, por meio de geradores de ozônio. A destruição dos contaminantes orgânicos pode ocorrer pelo ataque direto do O_3 , nas ligações insaturadas carbono-carbono da molécula do contaminante, e por meio da reação com os radicais livres hidroxila, os quais são formados durante a ozonização pela reação com o íon hidróxido (OH^-) em pH neutro ou básico. Os oxidantes podem ser injetados por meio de perfurações no solo, em diferentes profundidades. Na figura 14 é apresentado o sistema de remediação com a injeção de ozônio.

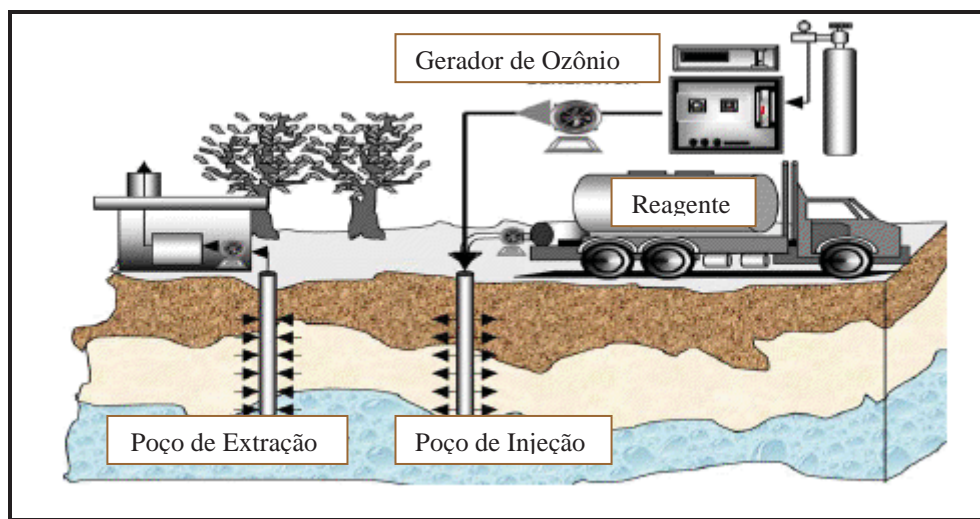


Figura 14 - Esquemática do processo de remediação de solos por injeção de ozônio.

O método de remediação que emprega a oxidação química pode ser muito seguro, mas também pode ser potencialmente perigoso. Os oxidantes são corrosivos, o que significa que podem destruir certos materiais e queimar a pele. As pessoas que trabalham com oxidantes devem usar roupas e equipamentos de proteção, pois alguns oxidantes podem explodir se usados em condições inadequadas.

3.9. AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

No Estado de São Paulo os aquíferos são representados por dois grandes grupos, os Aquíferos Fraturados e os Sedimentares. A figura 15 apresenta o mapa hidrogeológico do Estado de São Paulo.

Os Aquíferos Fraturados são constituídos por rochas ígneas e metamórficas, destacando-se o Aquífero Serra Geral e o Aquífero Cristalino. O Aquífero Cristalino é de extensão regional, formado há mais de 550 milhões de anos, composto pelas rochas mais antigas do Estado de São Paulo. Aflora na porção leste do território paulista e possui área próxima a 53.400 km², abrangendo desde a área metropolitana até o litoral. As fendas mais favoráveis ao armazenamento e ao fluxo da água subterrânea são as fraturas que atuaram na crosta terrestre, como, por exemplo, a separação dos continentes e a formação da Serra do Mar. De acordo com o tipo de porosidade fissural que se desenvolve nas rochas, o Aquífero Cristalino, pode ser dividido em Aquífero Pré-Cambriano e Aquífero Pré-Cambriano Cárstico, sendo que essa segunda unidade apresenta alta velocidade de água, tornando possível a dissipação da contaminação rapidamente (IRITANI e EZAKI, 2009).

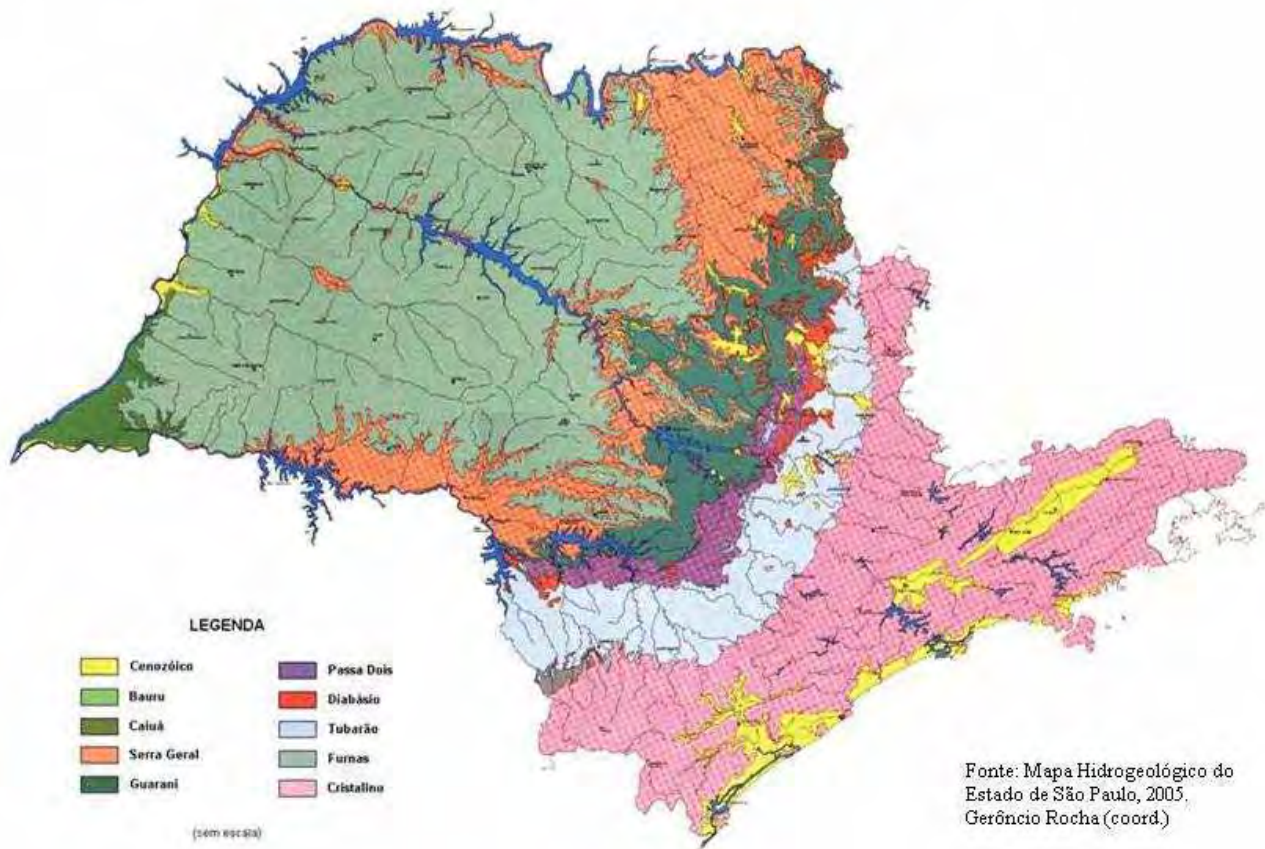


Figura 15 - Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo. Instituto Geológico (2005).

Os Aquíferos Sedimentares são constituídos por sedimentos depositados pela ação dos rios, ventos e mares, onde a água circula pelos poros existentes entre os grãos minerais, destacando-se, pela capacidade de produção de água subterrânea os Aquíferos Guarani, Bauru, Taubaté, São Paulo e Tubarão (IRITANI E EZAKI, 2009).

O Aquífero Taubaté é de origem sedimentar e de extensão limitada, localizado entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, no vale do Rio Paraíba do Sul. Os sedimentos arenosos e argilosos que compõem este aquífero foram depositados diretamente sobre as rochas do Aquífero Cristalino, sendo a variabilidade litológica uma característica deste aquífero. A recarga direta em toda a sua área implica em maior vulnerabilidade à poluição (IRITANI E EZAKI, 2009). A Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias tectogênicas cenozóicas, assimétricas devido a um abatimento escalonado de blocos, que formam internamente, regiões deprimidas e elevadas (FÚLFARO e BJOMBERG, 1993).

O Aquífero São Paulo é sedimentar, com extensão limitada pela Serra do Mar e pela Serra da Cantareira e, como o Aquífero Taubaté, intercala sedimentos arenosos e argilosos sobre as rochas do Embasamento Cristalino, incluindo sedimentos mais recentes depositados

nas planícies do rio Tietê e seus afluentes. Sobre este aquífero assenta-se a maior parte dos municípios da região metropolitana de São Paulo, onde há alta concentração populacional e de atividades industriais e comerciais, que elevam os riscos de poluição. Sabe-se ainda que, conforme dados divulgados pela CETESB (2010), a maior parte das áreas contaminadas se concentra nessa região, comprometendo a qualidade da água do aquífero (IRITANI e EZAKI, 2009). Os sedimentos que ocupam a Bacia de São Paulo são agrupados sob a denominação de Formação São Paulo, tendo a predominância de argilos, siltes e areias argilosas finas com areias grossas e cascalhos ocorrendo secundariamente (FÚLFARO e BJOMBERG, 1993).

O Aquífero Litorâneo, também é sedimentar, com uma extensão que se estende pela costa paulista, desde a região de Cananéia ao sul, até Caraguatatuba e Ubatuba, ao norte do Estado. Formado há menos de dois milhões de anos, este aquífero é composto por sedimentos de planície litorânea, variados e intercalados, como arenitos, siltitos e conglomerados depositados em ambiente fluvial (IRITANI e EZAKI, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS ESTUDADAS

Para este estudo foram selecionados quatro postos revendedores de combustíveis, caracterizados pela CETESB como áreas contaminadas com hidrocarbonetos.

Os postos de combustíveis que passam ou passaram pelo processo de bombeamento e tratamento foram selecionados de forma que fosse possível a comparação de áreas de diferentes aquíferos do Estado de São Paulo, assim dentro das opções optou-se por postos de combustíveis de Cachoeira Paulista, Caraguatatuba, São Sebastião e Santo André.

Foi ainda levado em consideração o tipo das plumas de contaminantes, sendo duas plumas de contaminantes em fase livre e duas em fase dissolvida.

Para o desenvolvimento do presente estudo foi concedido autorização por escrito (anexo I) por parte dos responsáveis legais e o responsável técnico pelas áreas para a divulgação das informações acerca da investigação e remediação.

4.1.1. Auto Posto Therezinha da Silva Pontes

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).

A figura 16 apresenta o croqui de localização do posto e o croqui esquemático da área de entorno. O entorno do empreendimento é caracterizado por pontos comerciais e algumas residências.

Com base nas perfurações efetuadas na região do empreendimento, ocorre a predominância de material sedimentar constituído principalmente por silte e argila. O Aquífero é sedimentar do Grupo Taubaté.

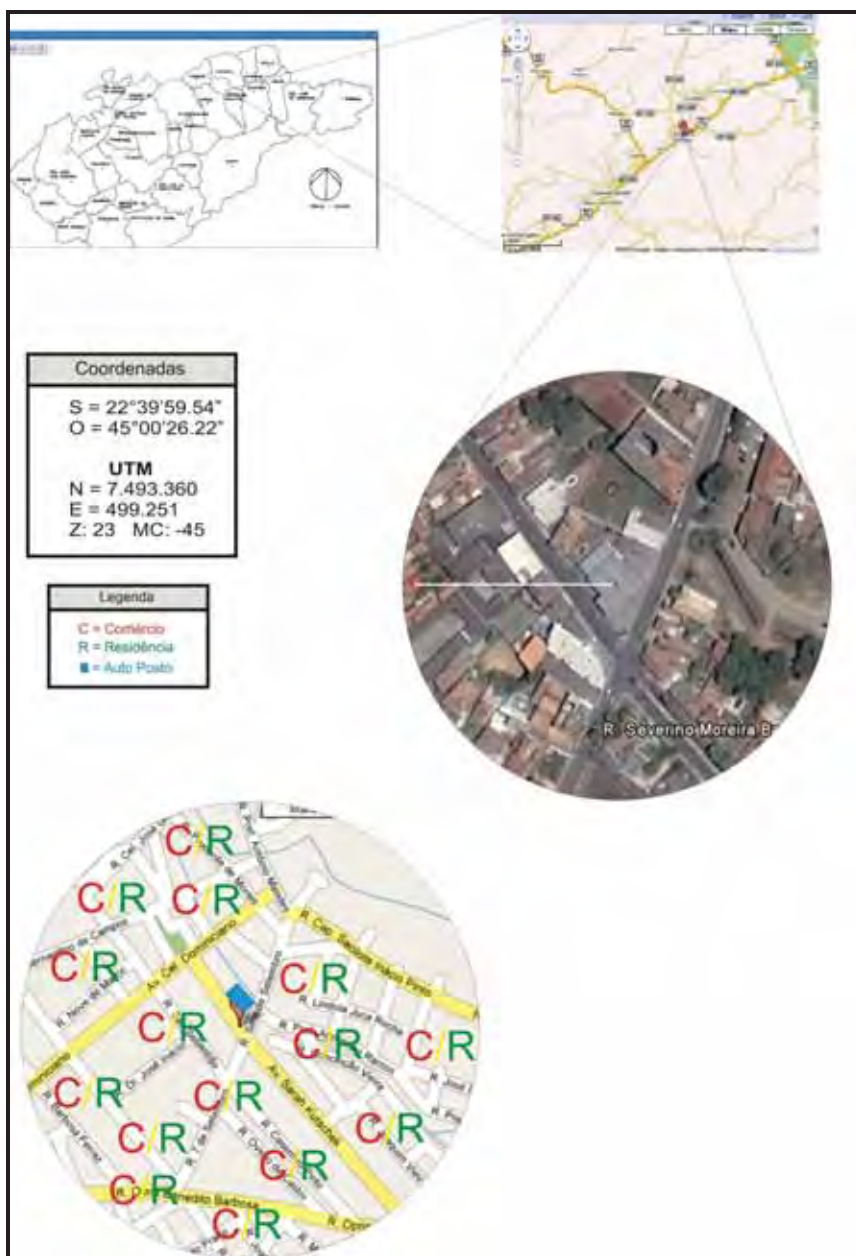


Figura 16 – Croqui de localização do Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, no município de Cachoeira Paulista, Vale do Paraíba, Estado de São Paulo e croqui do entorno ocupado por atividades de comércio e residência (Construfer 2011).

O nível freático da área está localizado a uma profundidade variando de 0,60 a 1,50 metros, sendo o aquífero classificado como aquífero 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 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 remediação com a técnica bombeamento e tratamento, visando a atenuação da fase dissolvida. Para isso, foram instalados três poços de extração nomeados PRFL 01, PRFL 02 e PRFL 03 para remediar os poços de monitoramento PM 02, PM 03 e PM 04, respectivamente.

Conforme a 5ª lista de convocação da CETESB, o Auto Posto Therezinha da Silva Pontes foi solicitado a realizar a reforma mínima. 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.

A instalação dos poços de monitoramento possibilitou identificar a direção do fluxo da água subterrânea. Na tabela 3 são apresentados os dados dos poços de monitoramento, sendo considerada a cota de referência de 540 metros, em relação ao nível do mar. Para a elaboração do croqui potenciométrico representativo do aquífero local foi calculada a carga hidráulica dos poços de monitoramento existentes na área.

Tabela 3 – Monitoramento na rede de poços no Auto Posto Therezinha da Silva Pontes (Construfer, 2009).

Poço de monitoramento	Cota da Tampa (m)	Cota do Poço (m)	Fase livre (cm)	Nível da água (m)	Carga hidráulica (m)
PM 01	1,29	538,71	0,0	1,32	537,39
PM 02	1,23	538,77	0,0	0,62	538,15
PM 03	1,13	538,87	0,0	0,86	538,01
PM 04	1,25	538,75	0,0	1,49	537,26
PM 05	1,43	538,57	0,0	1,32	537,25
PM 06	1,18	538,82	0,0	1,92	536,90
PM 07	1,57	538,43	0,0	0,98	537,45
PM 08	0,99	539,01	0,0	1,10	537,91

Até o momento (junho de 2011), o sistema de remediação se encontra em funcionamento, com o bombeamento nos 03 (três) PRFL's. A figura 17 apresenta o croqui do sistema de remediação implantado na área do Auto Posto.

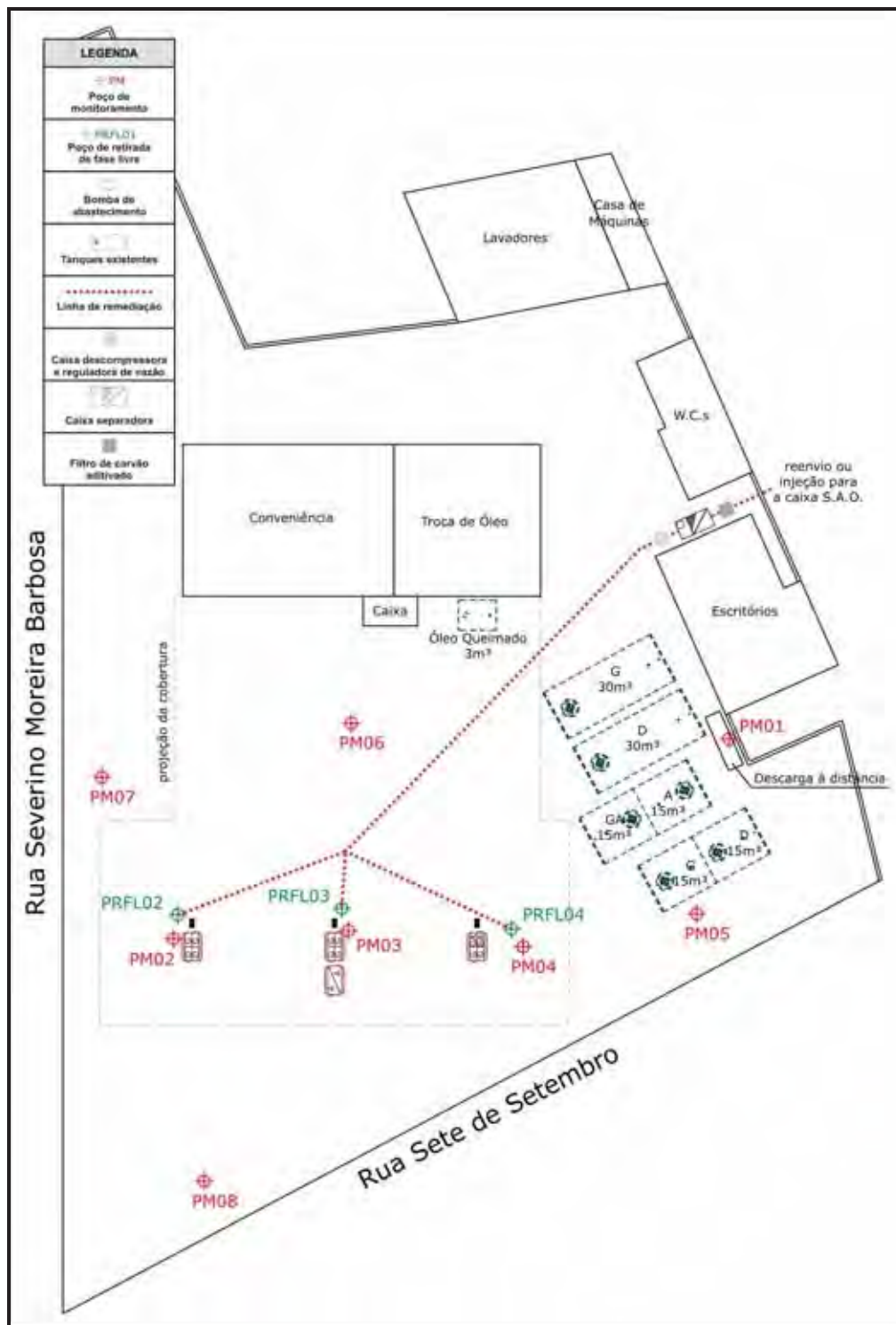


Figura 17 – Croqui do sistema de remediação implantado na área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, em Cachoeira Paulista/SP (Construfer 2009).

Na figura 18 é apresentado o croqui potenciométrico da área do auto posto e o sentido do fluxo da água subterrânea.

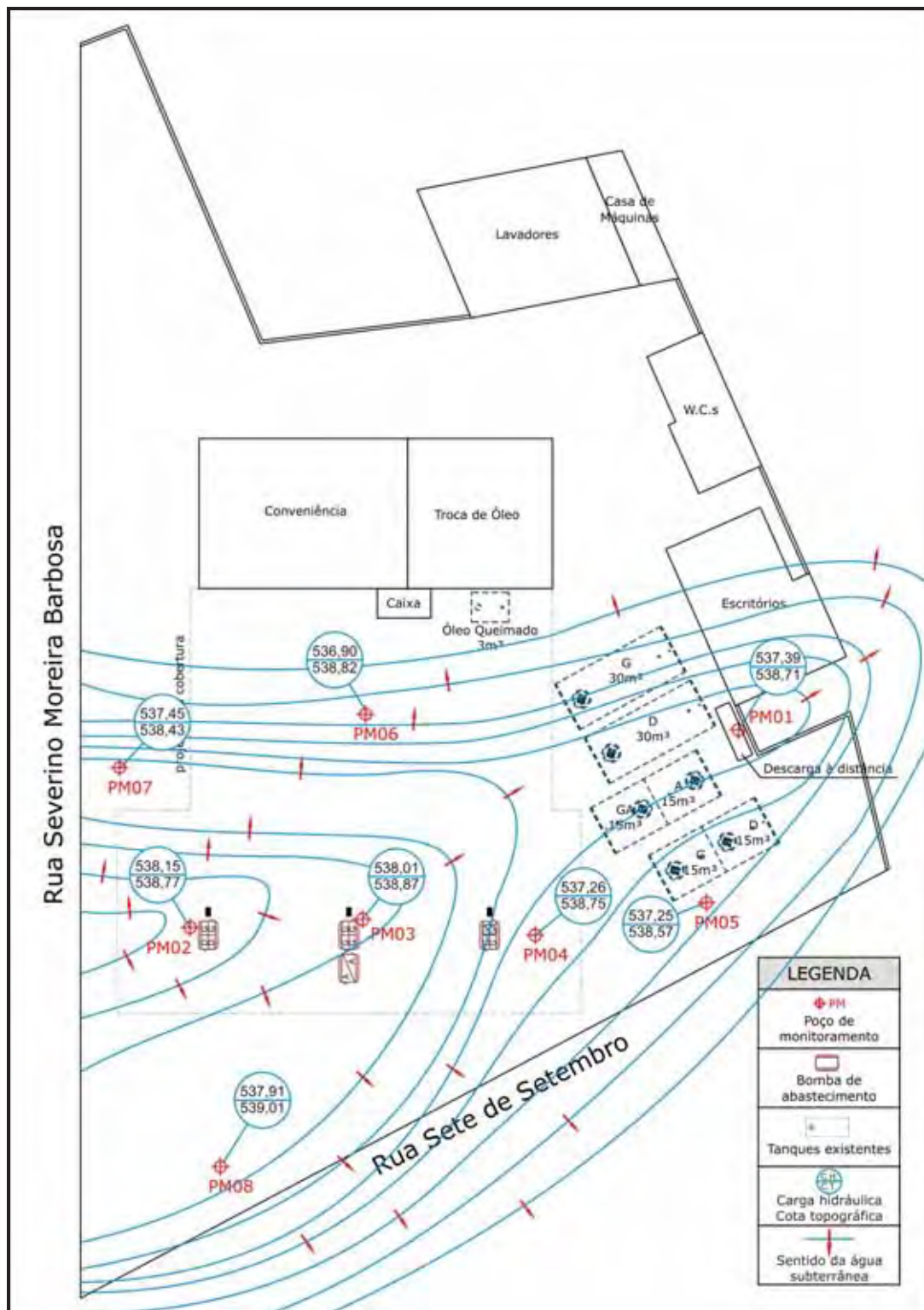


Figura 18 – Croqui potenciométrico da área auto posto Therezinha da Silva Pontes, em Cachoeira Paulista/SP (Construfer 2009).

4.1.2. Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda.

O Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda. está localizado à Rua Pai Felício nº 25, no bairro Praia das Palmeiras, em Caraguatatuba, litoral norte do Estado de São Paulo (Figura 19).

A pluviosidade da região é bastante elevada, sendo a média anual próxima a 1700 – 1800 mm ano⁻¹ (disponível em http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_121.html). Além disso, essa área recebe grande influência das marés, devido à proximidade ao oceano.

Nas perfurações realizadas no local do empreendimento, em área de aquífero sedimentar litorâneo, verificou-se a predominância de areia e silte. O nível freático da área está a uma profundidade média de 0,80 metros, sendo classificado como aquífero livre.

Em maio de 2006, a empresa System Work Serviços Ambientais Ltda. realizou os primeiros estudos ambientais na área do auto posto. Para o estudo de Investigação de passivo ambiental foram instalados quatro poços de monitoramento (PM), sendo avaliadas as concentrações de BTEX e PAH no solo e na água subterrânea. O solo não apresentou concentrações acima dos limites de intervenção da CETESB, no entanto, no poço PM 03 foram encontradas altas concentrações de BTEX na água subterrânea.

Para a realização da investigação detalhada e ao plano de intervenção, a empresa Construfer Engenharia realizou a sondagem em seis pontos da área, visando a coleta de solo e a posterior instalação de poços de monitoramento (PM 05 ao PM 10) para análise da água subterrânea, totalizando assim dez poços de monitoramento na área do Auto Posto.

Foram instalados também em dezembro de 2007, três poços para remoção da fase livre identificada nos PM 01 (PRFL 01), PM 02 (PRFL 02) e PM 03 (PRFL 03). Em 2010 foram instalados novos poços de monitoramento, rasos e profundos, podendo ser observados na figura 20, que apresenta a localização destes e o sistema de remediação implantado na área do auto posto.

De acordo com o memorial de serviços executados, elaborado pela empresa Construfer Engenharia, verificou-se que este auto posto realizou a reforma completa com a troca dos antigos tanques, por novos tanques jaquetados e outros equipamentos, conforme pode ser observado na figura 21.

Na tabela 4 são apresentados os resultados do monitoramento realizado na rede de poços, sendo considerada a cota de 5 metros em relação ao nível do mar. A figura 22 apresenta o sentido de escoamento subterrâneo na área do Auto Posto.

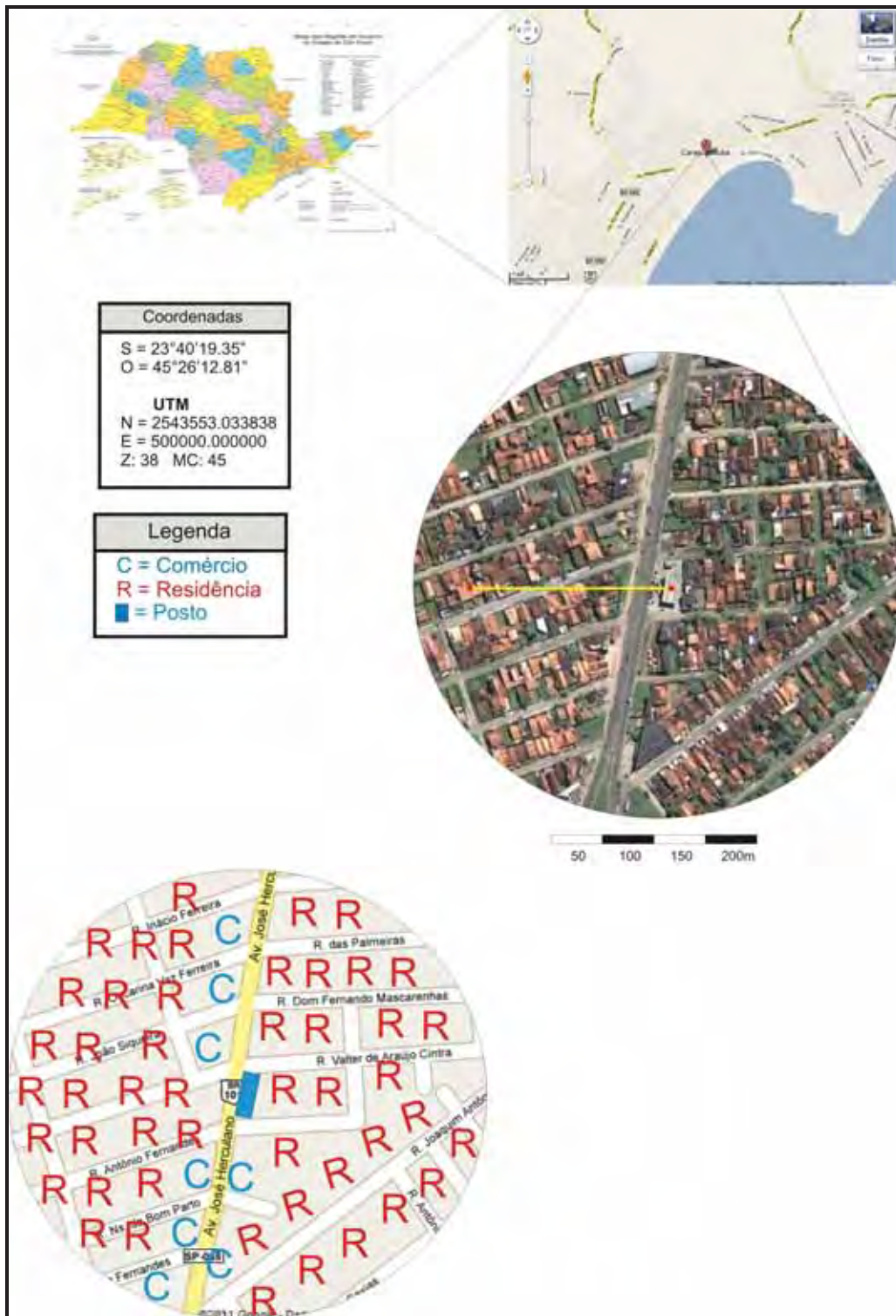


Figura 19 – Croqui de localização do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no município de Caraguatuba, litoral norte do Estado de São Paulo e croqui do entorno (Construfer, 2011).

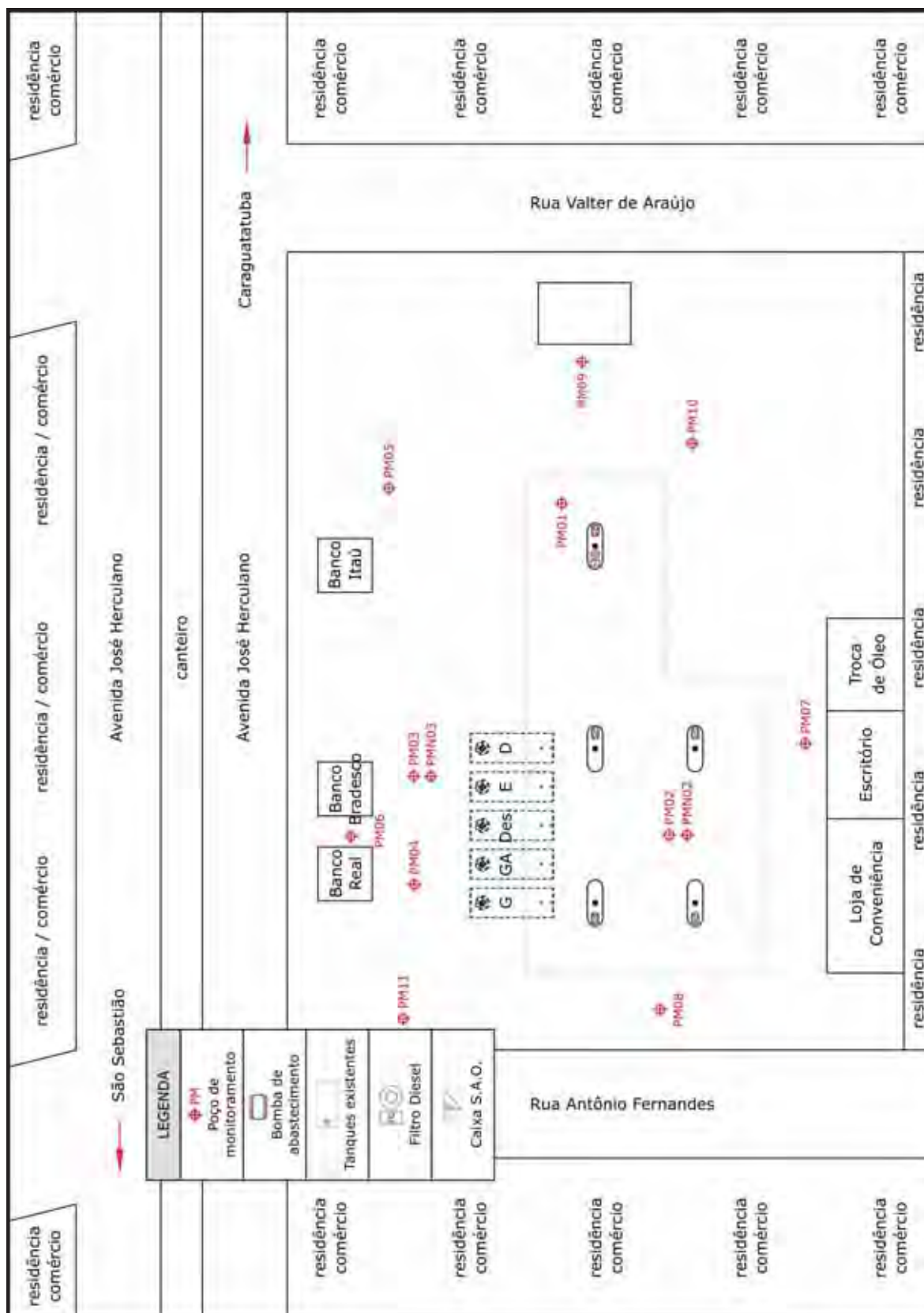


Figura 20 – Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantado na área do Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda., Caraguatatuba/SP (Construfer, 2011).

Tabela 4 – Dados dos poços de monitoramento instalados na área do auto posto Praia das Palmeiras (Construfer, 2011).

Identificação do Poço	Cota da Tampa (m)	Cota do Poço (m)	Fase Livre (m)	NA (m)	Carga Hidráulica (m)
PM 01	1,02	3,98	0	0,87	3,11
PM 02	1,01	3,99	0	0,90	3,09
PMN 02	1,02	3,98	0	1,07	2,91
PM 03	1,08	3,92	0	0,78	3,14
PMN 03	1,15	3,85	0	1,04	2,81
PM 04	1,13	3,87	0	0,78	3,09
PM 05	1,09	3,91	0	0,78	3,13
PM 06	1,15	3,85	0	0,70	3,15
PM 07	1,07	3,93	0	0,85	3,08
PM 08	1,08	3,92	0	0,83	3,09
PM 09	1,1	3,9	0	0,80	3,1
PM 10	0,96	4,04	0	0,95	3,09
PM 11	1,18	3,82	0	0,68	3,14



Figura 21 – Instalação de tanques ecológicos na área do Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda. (Construfer, 2008).

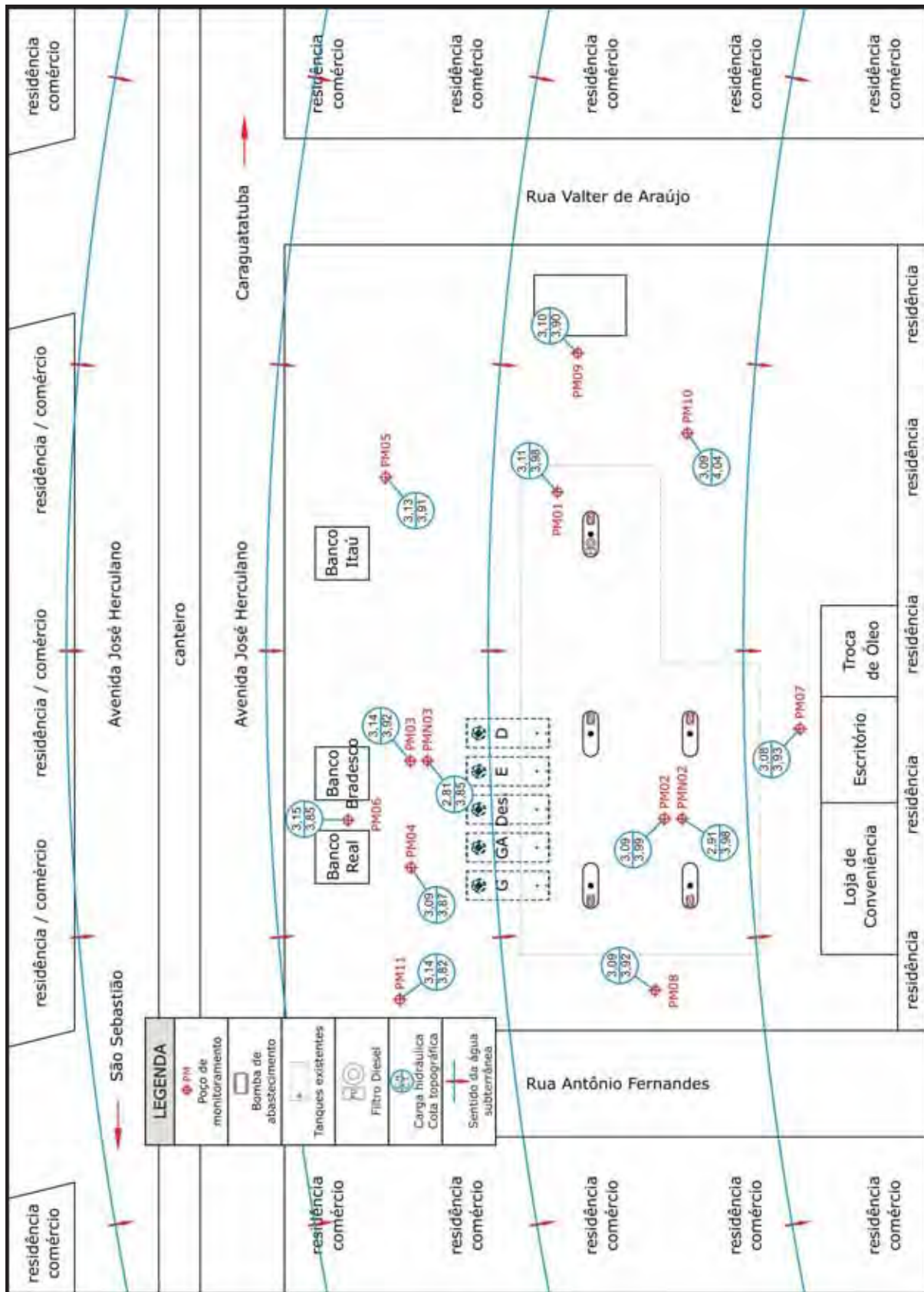


Figura 22 – Escoamento subterrâneo do Auto Posto Praia das Palmeiras Ltda., em Caraguatatuba/SP (Construfer, 2011).

4.1.3. Auto Posto Parada Obrigatória Ltda.

O auto posto Parada Obrigatória Ltda. está localizado no município de Santo André, no Estado de São Paulo, à Rua Coronel Fernando Prestes, nº 838 (Figura 23).

Santo André faz parte da região metropolitana de São Paulo, integrando um grupo de municípios conhecidos como Região do Grande ABC. O clima da cidade, como em toda a região metropolitana de São Paulo é o subtropical, sendo o verão pouco quente e chuvoso e, o inverno ameno e subseco. A temperatura média anual é de 20°C, sendo que o mês de julho é considerado o mais frio, com uma temperatura média de 15°C, e o mês de fevereiro o mais quente com uma temperatura média de 23°C. O índice pluviométrico médio mínimo é de 141.9 e o máximo é de 390.5 mm (disponível em http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_537.html).

Na figura 24 pode ser observado um detalhamento da área de entorno ao Auto Posto. De acordo com o croqui de localização, verifica-se que esta é uma região crítica, pois sofre a influência de três postos de combustíveis bem próximos.

Nas perfurações realizadas no local do empreendimento, situado sobre o Aquífero Cristalino, verificou-se a predominância de argila e silte nas formações superficiais. O nível freático da área se localiza a uma profundidade média de 3–4,50 metros e seu aquífero pode ser classificado como aquífero livre.

Em novembro de 2006, a empresa Kopf Serviços Ambientais Ltda., realizou a “investigação de passivos ambientais em estabelecimento com sistema de armazenamento subterrâneo de combustível (SASC)”. Este estabelecimento até esta ocasião, atendia pela razão social “Profeta Serviços Automotivos Ltda.”. Na etapa de investigação confirmatória de passivos ambientais foram reinstalados três poços de monitoramento que foram perdidos, devido à reforma realizada no auto posto (quebra de piso e desmoronamento do tubo geomecânico). Nestes três pontos verificou-se nas amostras de solo e de água subterrânea concentrações de tolueno e xileno acima dos valores orientadores da CETESB/2005.

A remoção dos tanques foi realizada no empreendimento no período de julho a agosto de 2007 pela empresa Ecotest Tecnologia Ambiental Ltda.

Para a realização da investigação detalhada, realizada pela Construferr Engenharia em setembro de 2007, foram instalados três pontos de monitoramento (PM 03, PM 04 e PM 05) na área do auto posto. Na época foram feitas diversas tentativas de furos próximos aos antigos

poços, porém não se concretizou a instalação, devido à presença de laje de concreto e de camada de pedra no subsolo, inviabilizando a perfuração.

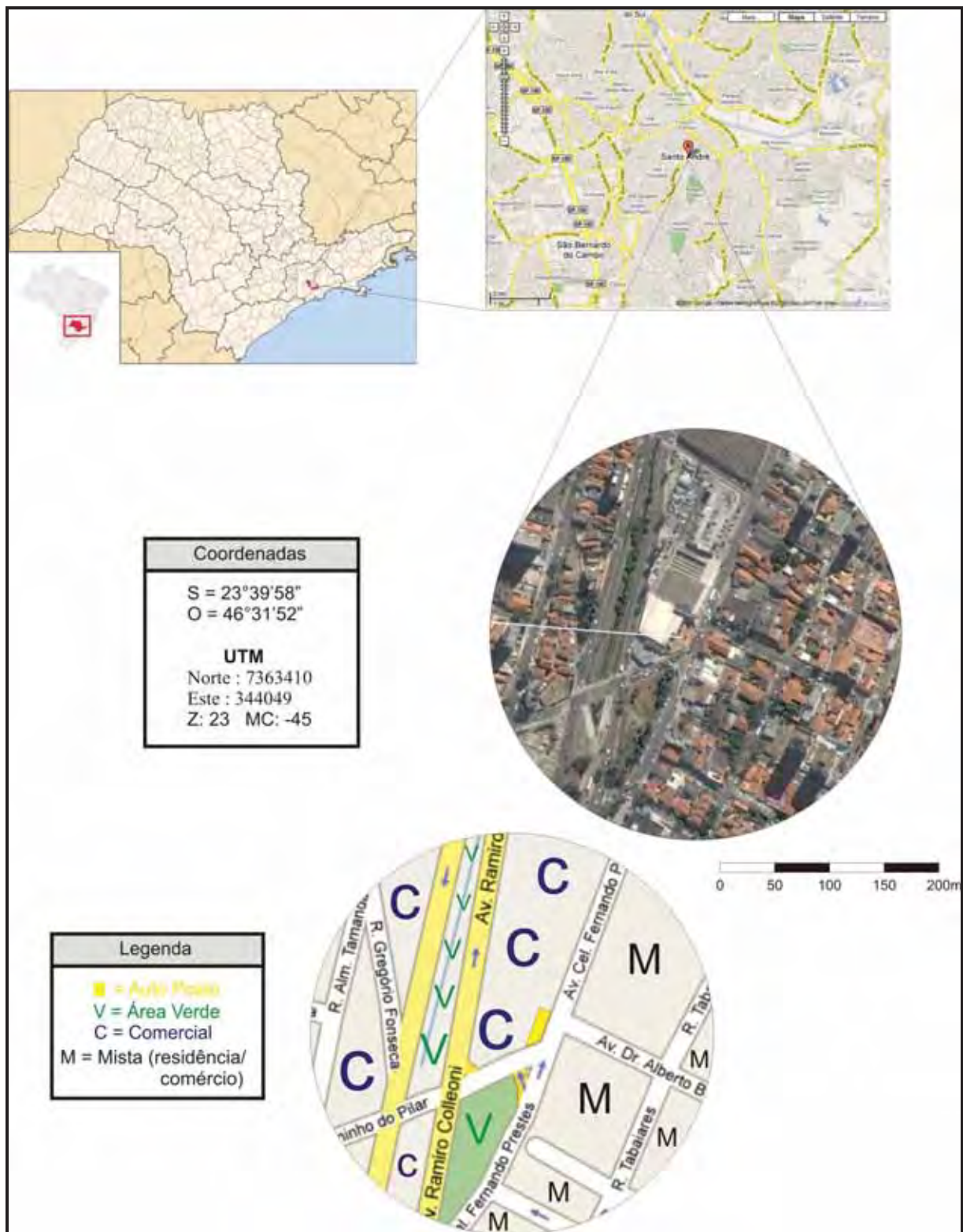


Figura 23 – Croqui de localização do Auto Posto Parada Obrigatória Ltda., no município de Santo André, no Estado de São Paulo e croqui do entorno (Construfer, 2009).



Figura 24 – Entorno crítico ao Auto Posto Parada Obrigatória Ltda., Santo André/SP (Construfer, 2009).

As análises químicas não evidenciaram as concentrações de BTEX e PAH acima dos limites da CETESB/2005 nas amostras de água subterrânea.

Em março de 2009, foram coletadas novas amostras destes três poços para análise de BTEX e PAH e foram verificadas concentrações acima dos limites orientadores da CETESB/2005.

Entre agosto e outubro de 2009 foram realizadas perfurações, coletas de amostras de solo, instalação de poços de monitoramento e água subterrânea visando delimitar a pluma de contaminação. A contaminação foi confirmada com concentrações bem acima dos valores SSTL (*Site Specific Target Level*), que significam concentrações meta baseadas no risco, modeladas para a área. Por isso, foi implantado no auto posto Parada Obrigatória Ltda., um sistema de remediação para atenuação da fase dissolvida no PM 09, identificado como o centro da pluma de contaminação.

Em fevereiro de 2010, foi implantado o sistema de remediação por bombeamento e tratamento para atenuação da fase dissolvida, quando foram verificadas concentrações de benzeno acima de $13.000 \mu\text{g L}^{-1}$ nesta área. Na figura 25 pode ser observada a localização dos poços de monitoramento e o sistema de remediação implantado. Houve várias pausas no bombeamento, devido à baixa permeabilidade do solo.

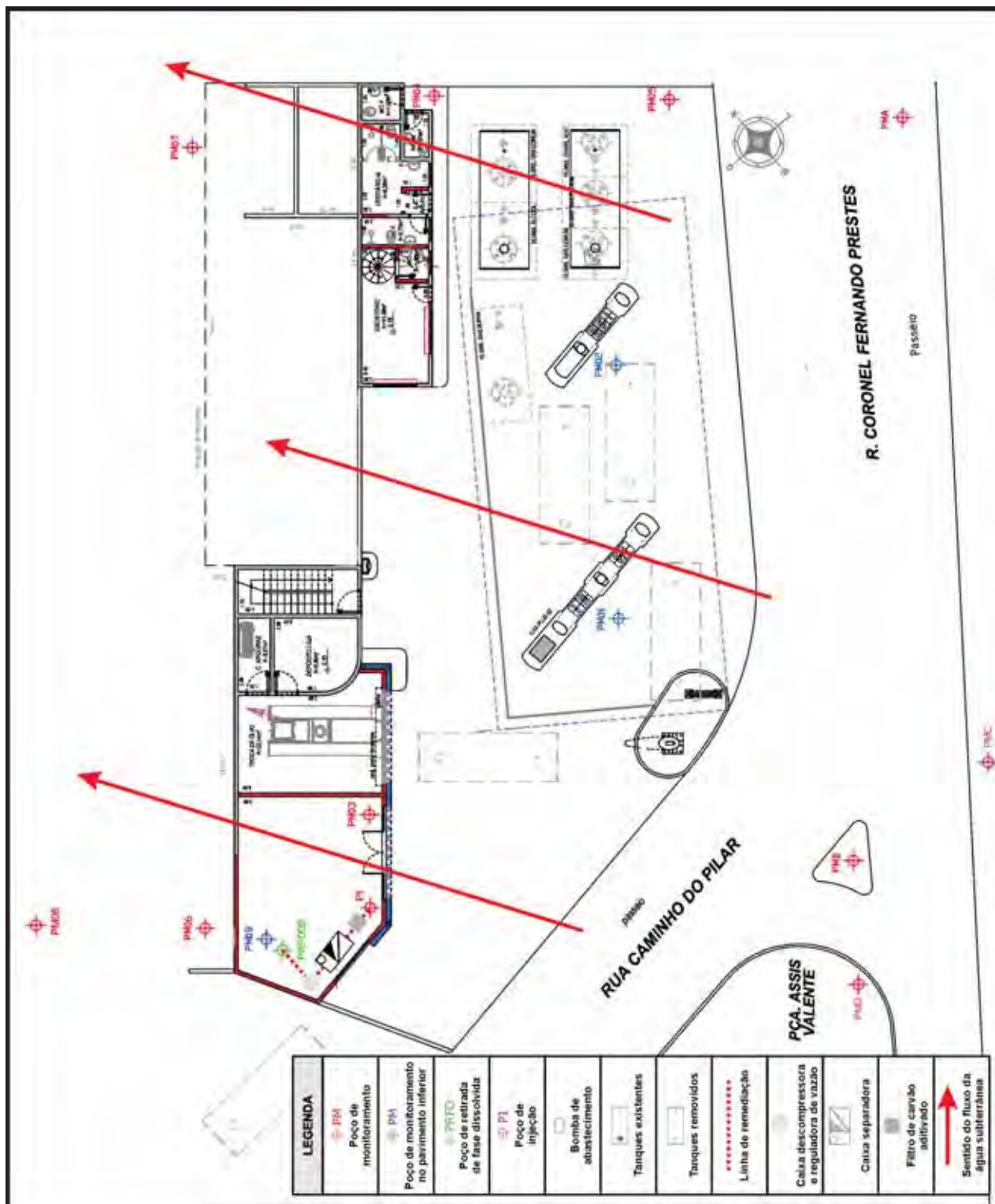


Figura 25 – Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantado na área do Auto Posto Parada Obrigatória Ltda., Santo André/SP (Construfer, 2009).

4.1.4. Auto Posto Baia do Sol Ltda.

O auto posto Baia do Sol Ltda, está localizado no município de São Sebastião, litoral norte, à Avenida Manoel Teixeira, nº 1.000, no bairro São Francisco. A região de entorno do auto posto é composta por estabelecimentos comerciais e residenciais, um corpo d'água superficial e encontra-se a uma distância inferior a 200 m do Oceano Atlântico (Figura 26).

O município de São Sebastião localiza-se a 209 km de São Paulo e compõe com Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba o litoral norte paulista. A população de cerca de 73.833 habitantes (IBGE, 2010), encontra-se distribuída em seus 403 km² de território montanhoso, coberto por Mata Atlântica, com 100 km de costa, constituída por mais de 30 praias.

A paisagem do litoral norte de São Paulo tem como elementos principais a Serra do Mar, a Mata Atlântica e a Costa Litorânea, fruto do encontro da serra com o mar. Nas encostas da Serra do Mar e em São Sebastião ocorrem, predominantemente, rochas cristalinas e, na planície litorânea, rochas sedimentares, constituídas de material arenoso e argiloso. O relevo se apresenta em três compartimentos principais: serrano costeiro, que contém as maiores altitudes e declividades; morraria costeira, com altitudes e declividades medianas e baixada litorânea, composta pela planície litorânea e várzeas de rios. Regionalmente existem três classes de solo significativas, representadas pelos solos que ocorrem nas encostas, com alta declividade, escarpas e serras restritas e apresentam pequenas espessuras; os que ocorrem em posições de meia encosta, com maiores espessuras e textura muito argilosa; e os solos característicos de baixadas e várzeas, geralmente mal drenados. A pluviosidade regional anual média é de 1.200 a 1.300 mm (disponível em http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_569.html).

De acordo com os levantamentos realizados na área estudada, por meio de perfurações, na geologia local há predomínio de areia, com textura variável de fina a grossa, com coloração escura e presença de fragmentos de rocha e pedriscos, características favoráveis ao processo de contaminação de aquíferos (CONSTRUFER, 2011). A área em estudo está localizada sob o Aquífero Litorâneo, caracterizado por ser permeável de porosidade granular, correspondendo a sedimentos ao longo das praias de acordo com Mello e Romeiro (2010).

Por meio de levantamentos na área do Auto Posto Baia do Sol Ltda. foram identificados poluentes em fase livre com até 18 cm de espessura, no PM 01, sendo adotada a técnica de remediação por bombeamento e tratamento da fase livre, que vem sendo desenvolvida desde setembro de 2008, com a operação de um poço de retirada de fase livre –

PRFL 01, instalado ao lado do PM 01. Na Figura 27 pode ser observada a localização dos poços de monitoramento e o sistema de remediação implantado na área do auto posto.

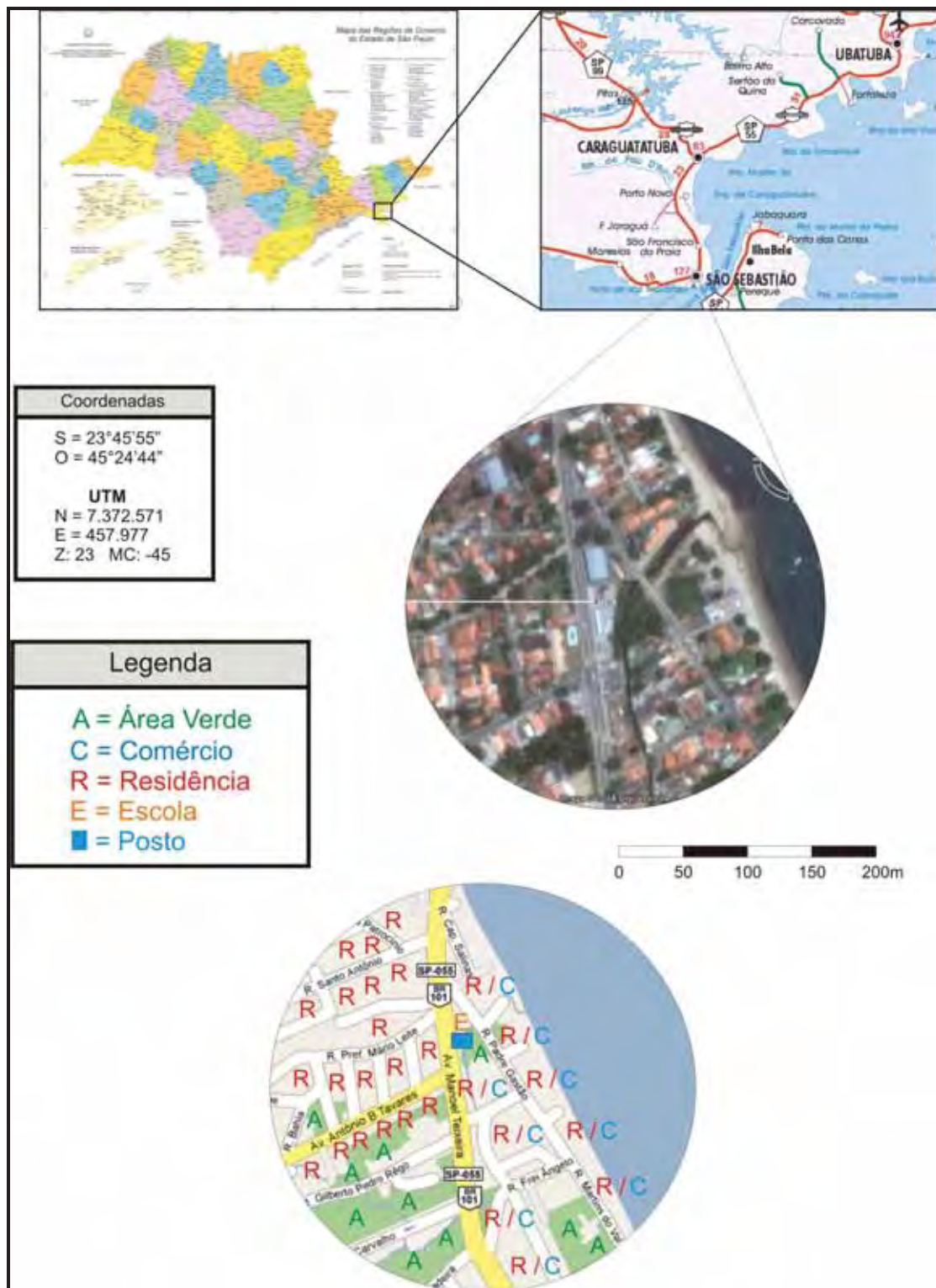


Figura 26 – Croqui de localização do Auto Posto Baia do Sol Ltda., no município de São Sebastião, Litoral Norte do Estado de São Paulo e croqui da área de entorno (Construfer, 2011).

Observou-se que o escoamento da água subterrânea ocorre no sentido da Avenida Manoel Teixeira para o corpo d'água superficial e que o PM 08 se encontra à montante do auto posto.

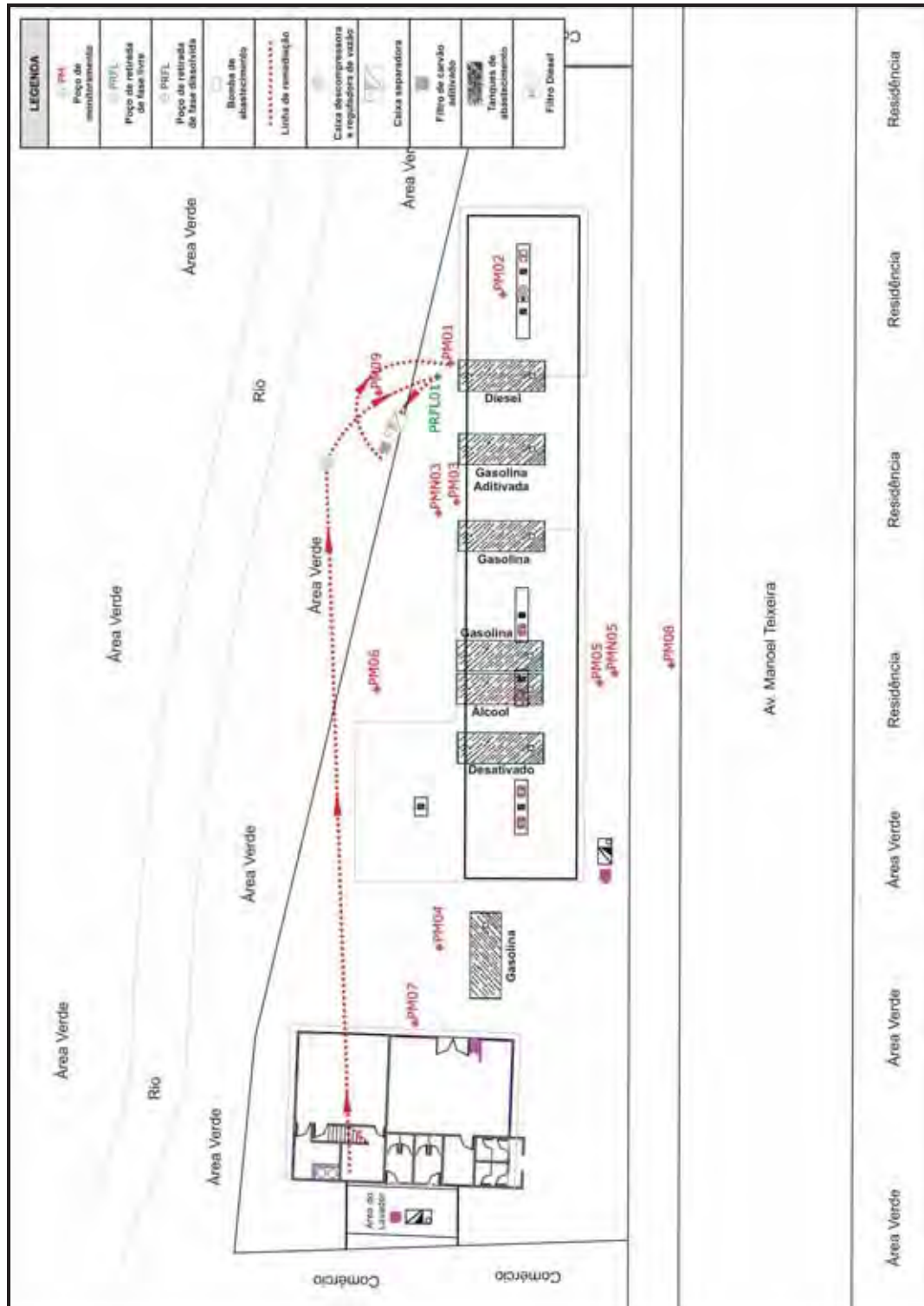


Figura 27 – Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantado na área do Auto Posto Baía do Sol Ltda., São Sebastião/SP (Construfer, 2011).

4.2. AMOSTRAGEM DE SOLO

Nas visitas técnicas da empresa Construfer Engenharia, foram coletadas amostras de solo para análises tátil-visual e para análises químicas em laboratoriais.

Após a definição do local da perfuração, as amostras de solo foram coletadas de metro em metro nos pontos de sondagem durante a escavação dos pontos de monitoramento, sendo realizadas as medições de gases no local, com o aparelho THERMO GASTECH, modelo INNOVA-SV, devidamente calibrado, sendo anotadas as descrições do perfil litológico (Construfer, 2011).

Para as sondagens de investigação foi empregado trado rotativo manual de 4", sendo coletada uma amostra de solo pelo "liner", até atingir o nível de água subterrânea ou até a profundidade de 15 metros. Cada amostra de solo foi dividida em duas subamostras, sendo uma acondicionada em saco plástico impermeável auto-selante e a outra mantida no "liner" sob refrigeração com temperatura inferior a 4 °C. A medição de gases foi realizada em campo em uma das subamostras de solo, que foi posteriormente descartada. A subamostra de solo que apresentou a maior concentração de compostos orgânicos voláteis (VOCs) foi identificada para ser enviada ao laboratório. Essa segunda subamostra de solo, com a maior concentração de voláteis foi acondicionada em frasco de vidro, de 40 mL, com boca larga e tampa com vedação de teflon e mantida sob refrigeração com temperatura inferior de 4°C. A figura 28 apresenta o operador de campo fazendo a leitura das concentrações de VOC



Figura 28 – Leitura das concentrações de VOC no solo (Construfer, 2011).

Foram solicitadas análises em laboratório dos parâmetros BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e PAH (hidrocarbonetos aromáticos polinucleados). Não houve uma data comum para a realização da amostragem de solo nos postos de combustíveis estudados. As amostras de solo foram coletadas respeitando o desenvolvimento de cada projeto e se ajustando às necessidades da investigação ambiental e às condições financeiras de cada empreendimento.

4.3. AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A amostragem de água subterrânea seguiu os procedimentos estabelecidos no manual da qualidade da empresa Construfer Engenharia, que tem como base os procedimentos apresentados pela CETESB/2007. Inicialmente, foram vistoriados todos os poços de monitoramento, e quando estes não apresentavam contaminação de fase livre eram amostrados.

Antes da coleta foi realizada a leitura e anotação do nível da água para todos os poços de monitoramento da área. Desenvolveu-se a purga em todos os poços, de modo a remover a água estagnada e, em seguida, realizou-se a coleta de uma amostra representativa do meio com características da área próxima ao poço de monitoramento. Para esta coleta foi utilizado o "amostrador descartável" (bailer), que é considerado um procedimento prático, seguro e econômico. Antes da coleta, foi analisado o perfil construtivo de cada poço de monitoramento para que esta coleta fosse realizada no meio da seção filtrante. Para as amostras de água subterrânea foram realizadas análises das concentrações de BTEX e PAH. As amostras de água foram devidamente acondicionadas em frascos específicos de acordo com as análises a serem feitas e preservadas a uma temperatura inferior a 4°C. A figura 29 ilustra a coleta de água subterrânea usando o amostrador bailer.



Figura 29 – Coleta de amostra de água subterrânea com o amostrador bailer (Construfer, 2008).

Assim como para a amostragem de solo, também para a água subterrânea foram respeitadas as condições de desenvolvimento de cada projeto, com ajustes às necessidades da investigação ambiental e às condições financeiras de cada empreendimento, não seguindo uma data comum para as áreas estudadas.

4.4. LABORATÓRIO CERTIFICADO

A CETESB exige que todas as análises sejam realizadas por laboratórios certificados, conforme ABNT NBR ISO/IEC 17.025:2005. O Laboratório São Lucas, localizado em Rio Claro, que está devidamente certificado prestou serviço para a empresa Construfer Engenharia para a realização das análises químicas de amostras de solos e águas subterrâneas.

A Construfer Engenharia, com autorização dos responsáveis legais dos empreendimentos, cedeu as informações, com as cadeias de custódias e laudos técnicos, para a realização desse estudo.

Todas as análises seguiram o padrão POPDAM046/USEPA 8015C – Modificado e o padrão POPDAM048/USEPA 8100/GC-FID – Modificado. As análises foram feitas de acordo com o SMEWW/SMWW: "Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water", 21a. edição da American Public Health Association (APHA), da American Water Works Association (AWWA) e da Water Pollution Control Federation (WPCF), USEPA: SW 846-3050/3051 (Usepa 1986, Teste Method for Evaluating Solid Waste Report Number SQ 846, Washington DC) ou similar.

4.5. ELABORAÇÃO DAS PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO

A elaboração das plumas de contaminantes em fase livre, dissolvida e retida seguiram os procedimentos da CETESB aprovados pela Decisão de Diretoria N.º 263/2009/P de 20 de outubro de 2009 (para trabalhos realizados após tal data).

No presente estudo foram elaboradas somente plumas em fase livre e fase dissolvida. Para as plumas em fase livre utilizou-se metade das distâncias entre poços de monitoramento que apresentaram e não apresentaram espessuras de contaminantes para fazer a delimitação das plumas.

Já para as plumas em fase dissolvida utilizou-se a distância de 3/4 para delimitar as plumas de contaminantes entre os poços de monitoramento que apresentaram concentrações dissolvidas na água subterrânea e os que não apresentaram.

4.6. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO POR BOMBEAMENTO E TRATAMENTO

A avaliação da eficiência e eficácia do sistema de remediação por bombeamento e tratamento implantado nos quatro postos de distribuição foi realizada de acordo com o tipo de fase contaminante tratada.

Desta forma, nas áreas dos postos em processo de remediação para a retirada de fase livre, foram inspecionados os poços de monitoramento e as espessuras da pluma de contaminação, analisando se esta diminuiu ou não com o bombeamento. A contaminação em fase dissolvida foi monitorada por meio das análises químicas realizadas em campanhas

semestrais, para avaliar o efeito do sistema de remediação nas concentrações de contaminantes nas plumas.

Como informações adicionais, foram analisadas as concentrações em fase retida em alguns pontos, por meio de análises de amostras de solo.

Todas as concentrações de contaminantes foram comparadas com os valores orientadores para solos e águas subterrâneas estabelecidas para o Estado de São Paulo, aprovados pela Decisão de Diretoria CETESB Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005.

Nesta avaliação foram também considerados outros parâmetros, tais como a litologia do local do empreendimento, o tipo de aquífero, a profundidade do nível freático, as condições climáticas entre outros.

Ainda foi analisada a água tratada pelo sistema de remediação que é reinjetada no aquífero, sendo coletadas amostras das águas que foram bombeadas e tratadas com a passagem pela caixa separadora de água e óleo e, passagem pelo carvão ativado.

5. RESULTADOS

5.1. AUTO POSTO THEREZINHA DA SILVA PONTES

Entre janeiro e abril de 2009 foi verificada a presença de BTEX e PAH no solo e na água subterrânea em concentrações superiores aos valores de intervenção da CETESB (2005), conforme apresentado nas tabelas 5 e 6.

As amostras de solo dos pontos próximos ao PM 02, PM 05 e PM 06 apresentaram concentrações de benzeno acima dos valores de intervenção da CETESB ($80 \mu\text{g kg}^{-1}$).

Tabela 5 – Concentrações de BTEX e PAHs no solo do auto posto Therezinha da Silva Pontes e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2009).

Parâmetros	Pontos amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01 jan/09	PM 02 jan/09	PM 03 jan/09	PM 04 jan/09	PM 05 abr/09	PM 06 abr/09	PM 07 abr/09	PM 08 abr/09		
BTEX $\mu\text{g Kg}^{-1}$	Benzeno	< L.D	1172,682	< L.D	46,859	2071,913	1861,505	27,628	78,299	80
	Tolueno	< L.D	3887,447	< L.D	67,818	2104,166	1464,426	108,520	140,363	30000
	m,p-xileno	< L.D	6159,398	< L.D	321,058	8131,479	1835,664	27,490	<L.D	-
	o-Xileno	< L.D	5979,297	< L.D	32,004	3229,176	664,989	309,115	221,668	-
	Xileno total	< L.D	12138,694	< L.D	353,062	11360,655	2500,653	336,605	221,668	30000
	Etilbenzeno	< L.D	2460,133	< L.D	123,576	1835,631	1265,444	52,921	45,988	40000
	BTEX Total	-	19658,956	-	591,315	17372,365	7092,028	525,674	486,316	---
	PAH $\mu\text{g Kg}^{-1}$	Naftaleno	< L.D	2474,496	< L.D	< L.D	728,525	467,430	<L.D	<L.D
Acenaftileno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Acenafteno		< L.D	73,596	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Fluoreno		< L.D	76,625	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Fenantreno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	40000
Antraceno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Fluoranteno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Pireno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Antraceno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	20000
Criseno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Benzo(b)Fluoranteno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Benzo (k) Fluoranteno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Pireno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	1500
Indeno (1,2,3) Pireno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	25000
Dibenzo (a,h) Antraceno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	600
Benzo (g,h,i) Pirileno		< L.D	< LD	< L.D	< L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
Total PAH	-	2624,717	-	-	728,525	467,430	-	-	---	

Tabela 6 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Therezinha da Silva Pontes e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2009).

Parâmetros	Pontos amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08		
	Jan/09	Jan/09	Jan/09	Jan/09	Abr/09	Abr/09	Abr/09	Abr/09		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	35,018	46619,200	12919,200	8540,240	49,871	9391,466	4728,398	1419,447	5
	Tolueno	45,679	120445,600	11629,400	381,640	11,712	8259,935	7215,503	2957,484	700
	m,p-xileno	137,253	119291,700	18274,700	1920,100	88,222	4719,424	5683,392	2629,058	-
	o-xileno	52,927	71341,600	10363,800	162,760	3,199	2263,195	2531,660	1052,262	-
	Xileno	190,180	190633,300	28638,500	2082,860	91,421	6982,619	8215,052	3681,320	500
	Etilbenzeno	34,621	25481,200	2681,700	2281,710	82,853	1170,673	1413,734	644,094	300
	BTEX total	305,498	383179,300	55868,800	13286,450	235,857	25804,693	21572,687	8702,345	-
	Naftaleno	0,863	1233,840	488,697	316,854	20,070	219,345	597,525	236,533	140
PAH µg L ⁻¹	Acenaftileno	0,042	6,781	26,813	1,716	<L.D	<L.D	<L.D	1,987	-
	Acenafteno	<LD	3,161	8,881	0,782	<L.D	<L.D	43,255	11,405	-
	Fluoreno	0,045	3,235	11,545	0,526	<L.D	<L.D	41,421	9,766	-
	Fenantreno	0,200	13,520	44,781	1,327	<L.D	<L.D	15,206	2,856	140
	Antraceno	<LD	0,304	2,279	1,135	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Fluoranteno	<LD	0,446	0,242	<LD	<L.D	<L.D	10,020	2,194	-
	Pireno	<LD	1,081	1,298	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	1,75
	Criseno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirleno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	PAH Total	1,149	1262,367	584,538	322,339	20,070	219,345	707,426	264,741	-

Todos os poços de monitoramento apresentaram concentrações de benzeno e o PM 02, PM 03, PM 04, PM 06, PM 07 e PM 08, além de benzeno, apresentaram tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno acima dos valores de intervenção da CETESB (2005).

A figura 30 apresenta o croqui da pluma de benzeno no plano horizontal, ilustrando apenas o *hot spot* da contaminação, visto que os poços de monitoramento não foram suficientes para delimitar a pluma no plano horizontal. Esse fato ocorreu porque o estudo foi realizado seguindo procedimentos anteriores à Decisão de Diretoria N° 263/2009/P, não havendo a instalação de poços de monitoramento profundos para delimitar a pluma de contaminação no plano vertical.

Apesar das plumas de contaminação não estarem delimitadas, devido às altas concentrações de contaminantes, em maio de 2009 foi implantado o sistema de remediação por bombeamento e tratamento, visando atenuar a contaminação nos poços PM 02, PM 03 e PM 04.

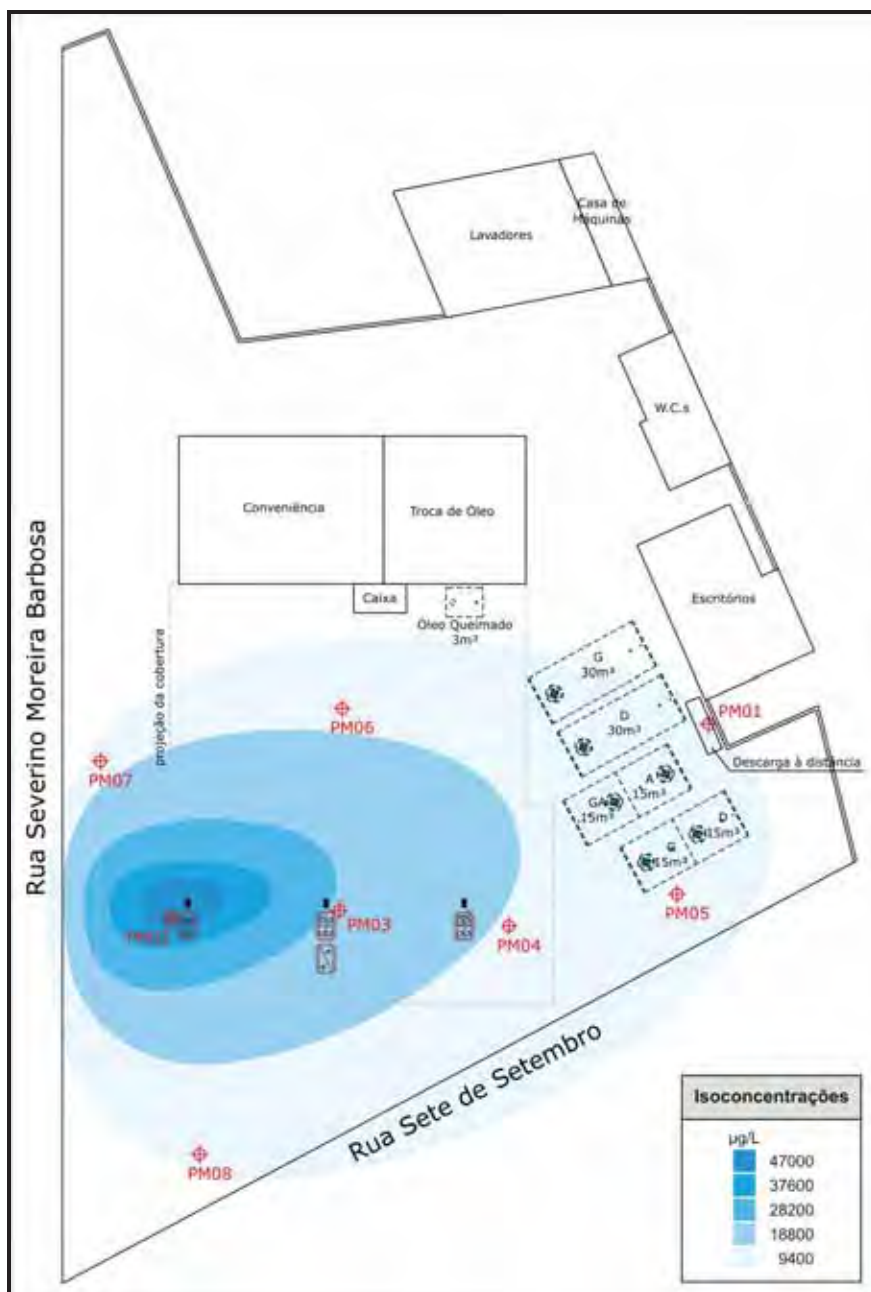


Figura 30 – Croqui da pluma dissolvida de benzeno na área do auto posto Therezinha da Silva Pontes (Construfer, 2009) *Pluma não delimitada.

Observou-se que a contaminação da água subterrânea foi originada por vazamentos e derrames de gasolina, sendo verificada maior contaminação por BTEX do que por PAH. Além disso, a contaminação sofreu grande dispersão, devido, provavelmente à predominância litológica de silte e argila na área.

De acordo com as concentrações de BTEX e PAH nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento, apresentadas na tabela 7, pode ser observado que as concentrações nos pontos PM 02, PM 03, PM 04, foram atenuadas.

Também nas figuras 31 a 33, pode ser observado que as concentrações de contaminantes nos poços de monitoramento diminuíram com as operações de bombeamento.

Tabela 7 – 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, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados						Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 02			PM 03				
	jan/09	abr/10	Mar/11	jan/09	abr/10	mar/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	46619,2	12090,071	1878,7	12919,2	2808,373	127,262	5
	Tolueno	120445,6	10867,564	2590,12	11629,4	2021,903	261,471	700
	m,p-xileno	119291,7	5211,5	3180,74	18274,7	3561,5	249,651	-
	o-xileno	71341,6	2523,634	1882,25	10363,8	2006,624	109,371	-
	Xileno	190633,3	7735,134	5062,99	28638,5	5568,124	359,022	500
	Etilbenzeno	25481,2	1176,222	370,05	2681,7	389,445	81,792	300
	BTEX total	383179,3	31868,991	9901,86	55868,8	10787,845	829,547	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	1233,84	339,45	-	488,697	358,647	-	140
	Acenaftileno	6,781	1,809	-	26,813	0,571	-	-
	Acenafteno	3,161	64,259	-	8,881	6,461	-	-
	Fluoreno	3,235	67,26	-	11,545	9,931	-	-
	Fenantreno	13,52	44,887	-	44,781	6,494	-	140
	Antraceno	0,304	29,23	-	2,279	5,365	-	-
	Fluoranteno	0,446	25,907	-	0,242	3,44	-	-
	Pireno	1,081	3,461	-	1,298	0,779	-	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	1,75
	Criseno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<L.D	-	<LD	<L.D	-	-
	PAH Total	1262,367	576,262	-	584,538	391,688	-	-

Também é preciso considerar que durante o processo de bombeamento foram verificadas grandes interrupções no sistema de remediação, devido à obra de reforma ocorrida no auto posto por ocasião de sua implantação.

Para avaliar a eficiência do tratamento da água bombeada e tratada foram coletadas duas amostras de água após a passagem pelo compartimento do carvão ativado. Em fevereiro de 2011, quando foi realizada a primeira coleta da água tratada, o carvão ativado estava antigo e logo após essa coleta foi substituído. Em março de 2011, na segunda coleta de água, o

carvão ativado estava com apenas um mês de uso, resultando no melhor tratamento da água e óleo. Nestas duas coletas verificou-se que a água subterrânea, mesmo após o tratamento da passagem pela caixa SAO e pelo carvão ativado, a água apresentou concentrações de BTEX acima dos valores de intervenção da CETESB/2005, portanto, o carvão ativado empregado no tratamento da água subterrânea não foi suficiente para baixar as concentrações de BTEX para níveis aceitáveis pela CETESB/2005.

Continuação da tabela 7 – 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, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados					Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 04			Caixa SAO			
	jan/09	abr/10	mar/11	fev/11	mar/11		
BTEX µg/L-1	Benzeno	8540,24	4913,252	622,584	883,786	395,166	5
	Tolueno	381,64	78,037	16,068	138,279	454,888	700
	m,p-xileno	1920,1	633,644	37,343	118,657	400,683	-
	o-xileno	162,76	12,455	25,191	<L.D	243,307	-
	Xileno	2082,86	646,099	62,534	118,657	643,99	500
	Etilbenzeno	2281,71	1430,148	90,15	23,951	643,99	300
	BTEX total	13286,45	7067,536	791,336	1164,673	1594,714	-
PAH µg/L-1	Naftaleno	316,854	392,481	-	-	-	140
	Acenaftileno	1,716	13,698	-	-	-	-
	Acenafteno	0,782	9,009	-	-	-	-
	Fluoreno	0,526	6,429	-	-	-	-
	Fenantreno	1,327	2,732	-	-	-	140
	Antraceno	1,135	0,405	-	-	-	-
	Fluoranteno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	Pireno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<L.D	-	-	-	1,75
	Criseno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<L.D	-	-	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<L.D	-	-	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<L.D	-	-	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<L.D	-	-	-	-
	PAH Total	322,339	424,755	-	-	-	-

Estes resultados mostram que o carvão ativado, que apresent a vida útil entre 1 – 1,5 ano, deve ser trocado com maior frequência para que a água tratada possa ser devolvida ao

meio ambiente com padrões de potabilidade aceitáveis respeitando os limites estabelecidos pela CETESB (2005) e Portaria nº 518 (Ministério da Saúde).

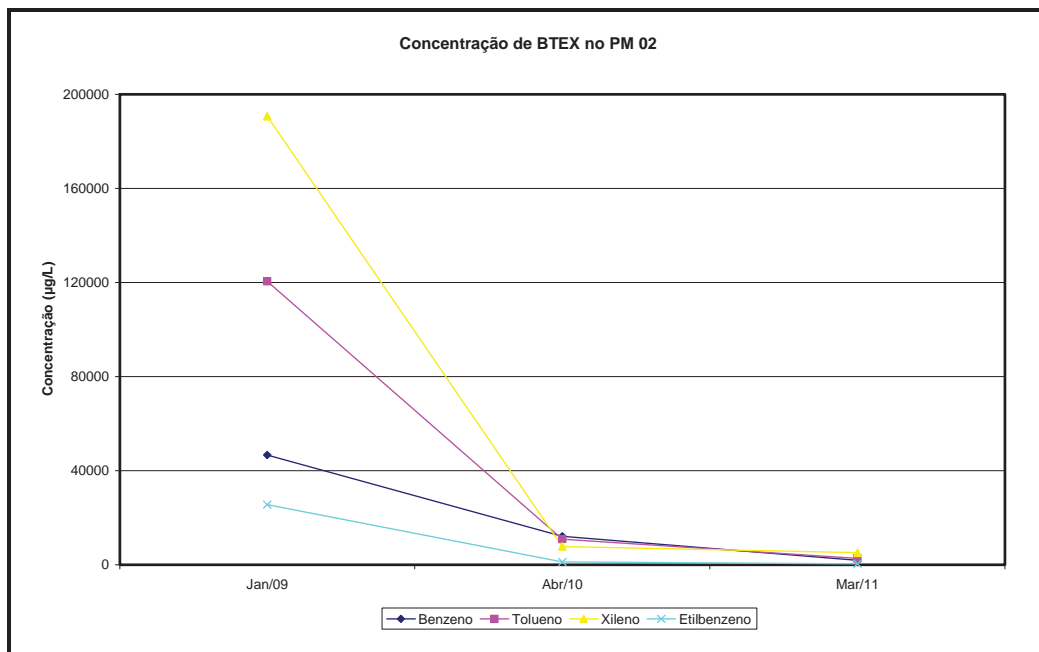


Figura 31 – Concentração de BTEX no PM 02 na área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, no período de janeiro de 2009 a março de 2011 (Construfer, 2011).

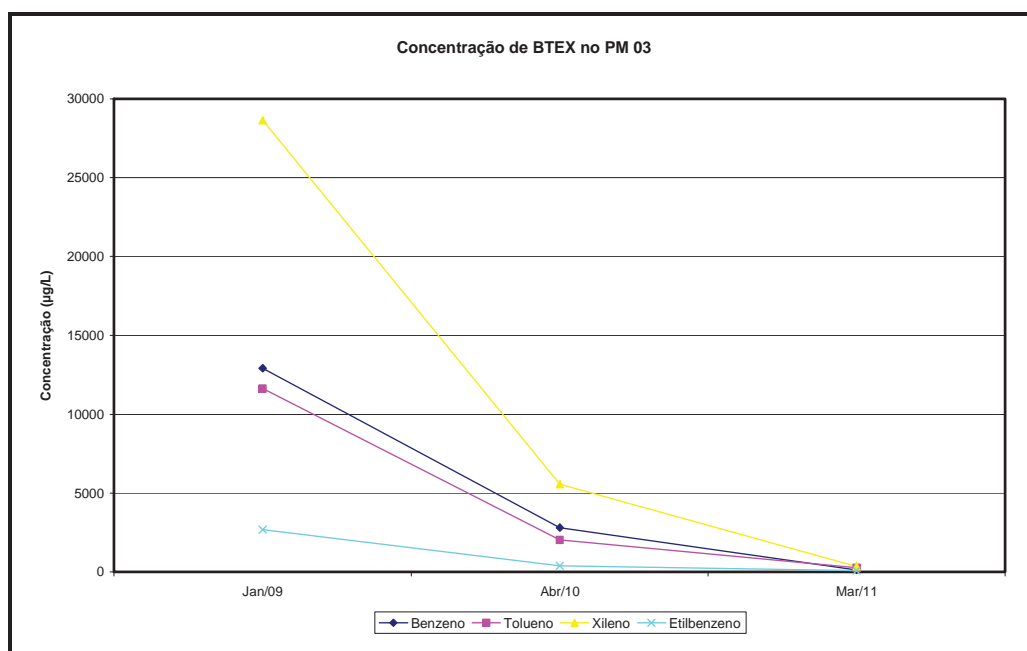


Figura 32 – Concentração de BTEX no PM 03 na área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, no período de janeiro de 2009 a março de 2011 (Construfer, 2011).

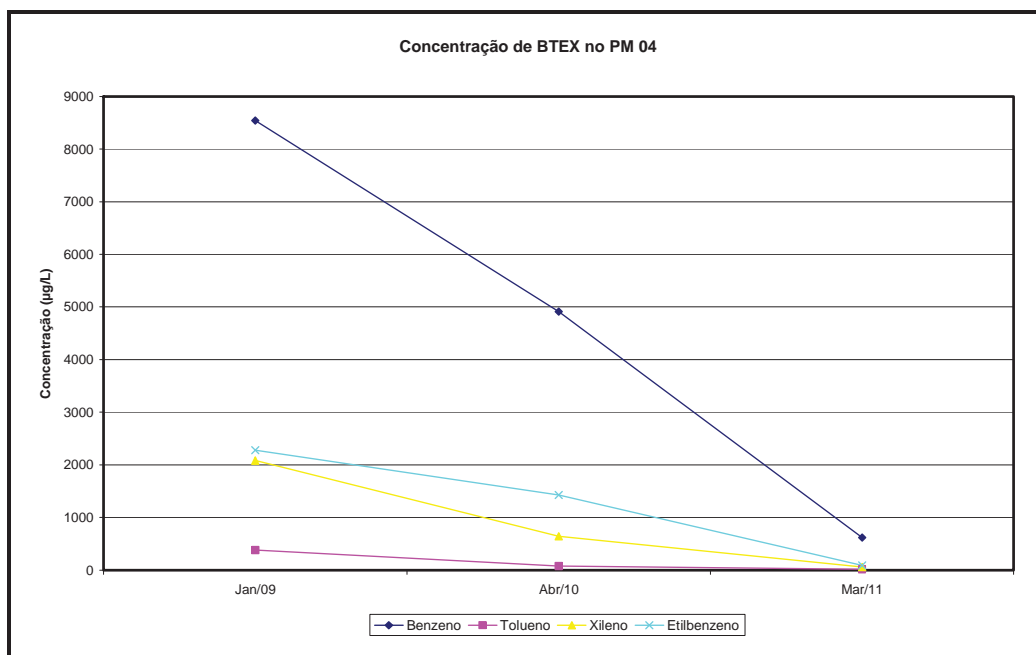


Figura 33 – Concentração de BTEX no PM 04 na área do Auto Posto Therezinha da Silva Pontes, no período de janeiro de 2009 a março de 2011 (Construfer, 2011).

A Construfer Engenharia recomendou a realização do estudo complementar à investigação detalhada, para possibilitar a delimitação da área impactada e para comprovar as baixas concentrações de contaminantes após as operações de bombeamento e tratamento, para que se iniciasse o monitoramento para encerramento, visando à reabilitação da área.

Para a área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, o sistema bombeamento e tratamento foi eficiente para remediar a água subterrânea local, que apresentava altas concentrações de contaminantes dissolvidos, originados de vazamentos e derrames de combustíveis.

O centro da pluma dissolvida de benzeno, que é o contaminante mais preocupante, teve concentrações de até $46.619,2 \mu\text{g L}^{-1}$ no ano de 2009 e, em menos de dois anos, reduziu para $1.878 \mu\text{g L}^{-1}$, mesmo com as pausas no bombeamento devido a obra de reforma.

O solo local foi classificado como de baixa permeabilidade, com um coeficiente médio de aproximadamente $1,2 \text{ m ano}^{-1}$ (CONSTRUFER, 2009). Assim, com pouca mobilidade das plumas de contaminante e levando em consideração a eficiência do sistema, verificou-se também que para a área do auto posto Therezinha da Silva Pontes, o sistema de remediação por bombeamento e tratamento foi eficaz, atenuando as concentrações antes que elas causassem maiores riscos à saúde humana.

De janeiro de 2009 até março de 2011, os responsáveis legais pelo auto posto Therezinha da Silva Pontes somaram custos da ordem de R\$55.000,00 com a investigação ambiental e 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.

5.2. AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS LTDA.

Nas investigações ambientais, realizadas entre março de 2006 e dezembro de 2007, os pontos amostrados na área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., não apresentaram concentrações de contaminantes em fase residual, conforme pode ser observado na tabela 8.

Tabela 8 – Concentrações de BTEX e PAHs em amostras de solo da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. e valores de intervenção da CETESB/ 2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos amostrados										Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10		
	mar/06	mar/06	mar/06	mar/06	dez/07	dez/07	dez/07	dez/07	dez/07	dez/07		
BTEX µg Kg ⁻¹	Benzeno	<L.D	<L.D	<L.D	9,200	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	80
	Tolueno	<L.D	<L.D	<L.D	8,300	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	30000
	m,p-xileno	-	-	-	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	o-Xileno	-	-	-	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Xileno total	<L.D	<L.D	<L.D	403,000	---	---	---	---	---	---	30000
	Etilbenzeno	<L.D	<L.D	<L.D	252,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	40000
	BTEX Total	-	-	-	672,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	---
PAH µg Kg ⁻¹	Naftaleno	<L.D	<L.D	<L.D	111,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	60000
	Acenaftileno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Acenafteno	<L.D	<L.D	<L.D	168,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Fluoreno	<L.D	<L.D	<L.D	40,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Fenantreno	<L.D	<L.D	<L.D	58,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	40000
	Antraceno	<L.D	<L.D	<L.D	137,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Fluoranteno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Pireno	<L.D	<L.D	<L.D	374,000	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Antraceno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	20000
	Criseno	<L.D	<L.D	<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	<L.D	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<L.D	<L.D	<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	<L.D	<L.D	1500
	Indeno (1,2,3) Pireno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	25000
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	600
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	Total PAH	0,000	0,000	0,000	888,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	---

Neste mesmo período foram vistoriados os pontos de monitoramento e coletadas amostras de água subterrânea e, de acordo com as concentrações apresentadas na tabela 9, verificou-se que a área apresentou plumas de contaminantes em fase livre e dissolvida.

Tabela 9 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01		PM 02		PM 03		PM 04			
	mar/06	dez/07	mar/06	Dez/07	mar/06	dez/07	mar/06	dez/07		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD		53,000		6931,000		< LD	1,914	5
	Tolueno	< LD		51,000		522,000		< LD	0,543	700
	Xileno	< LD		8,700		4182,000		< LD	81,757	500
	Etilbenzeno	< LD		< LD		1003,000		< LD	1,122	300
	BTEX total	0,000		112,700		12638,000		0,000	85,336	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	13,600		< LD		95,000		< LD	6,974	140
	Acenaftileno	31,000		< LD		1,210		< LD	< LD	-
	Acenafteno	26,000		< LD		4,410		< LD	< LD	-
	Fluoreno	5,160	FASE LIVRE = 44cm	< LD	FASE LIVRE = 12cm	0,520	FASE LIVRE = 2cm	< LD	< LD	-
	Fenantreno	2,210		< LD		< LD		< LD	0,569	140
	Antraceno	1,180		< LD		< LD		< LD	< LD	-
	Fluoranteno	1,410		< LD		< LD		< LD	0,699	-
	Pireno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	1,75
	Criseno	< LD		< LD		< LD		< LD	0,569	-
	Benzo (b) Fluoranteno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	-
	Benzo (a) Pireno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	< LD		< LD		< LD		< LD	< LD	-
	PAH Total	80,560		0,000		101,140		0,000	8,811	-

Continuação da Tabela 9 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos Amostrados						Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	PM 10		
	dez/07	dez/07	dez/07	dez/07	mai/09	dez/07		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	5	
	Tolueno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	700	
	Xileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	500	
	Etilbenzeno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	300	
	BTEX total	-	-	-	-	-	-	
	PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	1,348	< LD	1,176	< LD	< L.D.	< LD
Acenaftileno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Acenafteno		0,426	< LD	0,300	< LD	< L.D.	< LD	-
Fluoreno		0,417	< LD	0,906	< LD	< L.D.	< LD	-
Fenantreno		1,415	< LD	1,786	< LD	< L.D.	< LD	140
Antraceno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Fluoranteno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Pireno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Benzo (a) Antraceno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	1,75
Criseno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Benzo (b) Fluoranteno		0,478	< LD	0,646	< LD	< L.D.	< LD	-
Benzo (k) Fluoranteno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
Benzo (a) Pireno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	0,7
Indeno (1,2,3) Pireno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	0,17
Dibenzo (a,h) Antraceno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	0,18
Benzo (g,h,i) Pirileno		< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	< LD	-
PAH Total		4,084	-	4,814	-	-	-	-

A figura 34 ilustra as informações referentes às concentrações de contaminantes observadas nos pontos PM 01, PM 02 e PM 03, e delimita a pluma de contaminação da área, podendo ser visualizada a extensão da contaminação originada por derrames de gasolina.

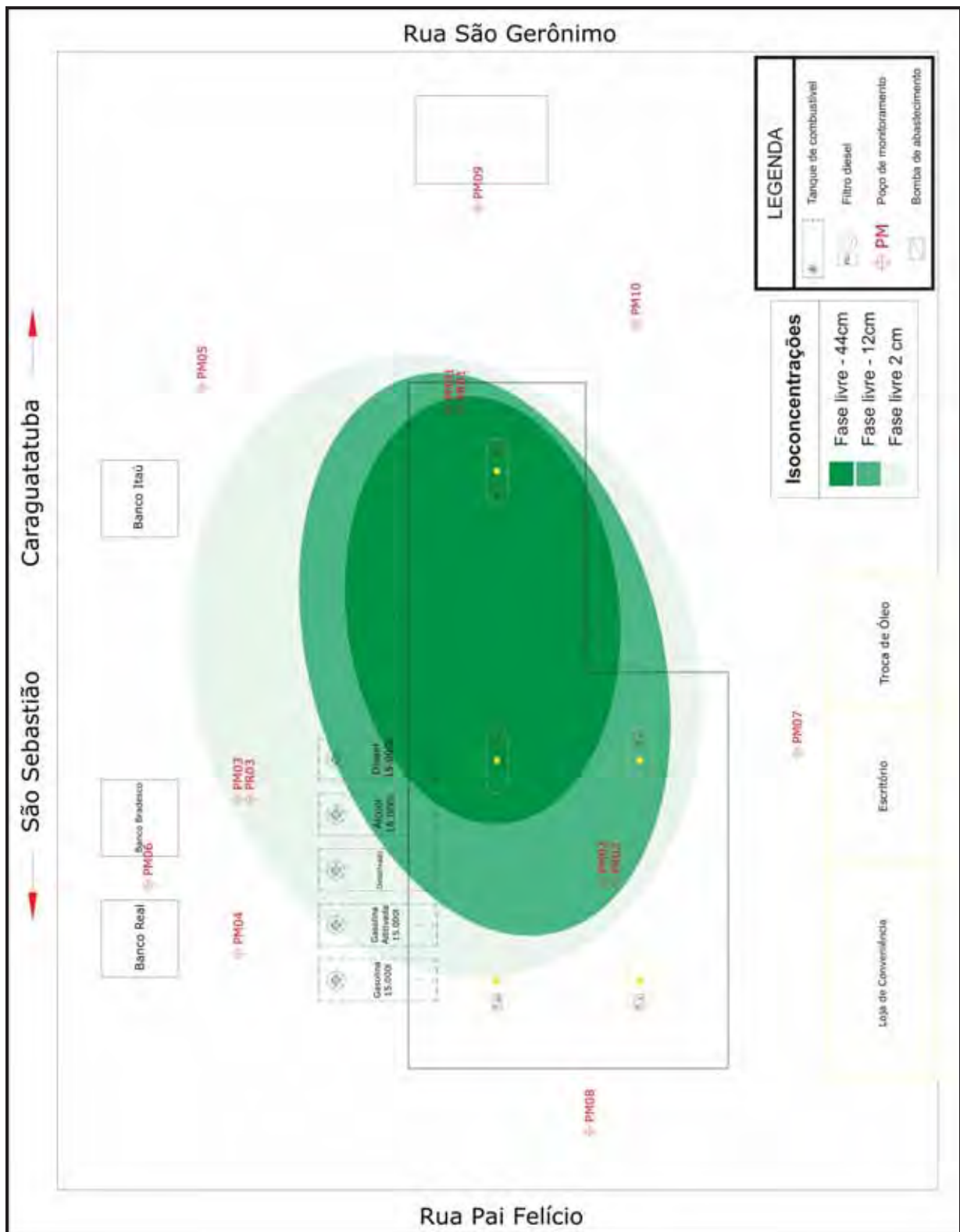


Figura 34 – Croqui da pluma de fase livre delimitada na área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. (Construfer, 2008).

Para remediar essas plumas de contaminação, foi implantado em fevereiro de 2008 o sistema de bombeamento e tratamento da água subterrânea. O sistema operou com 03 (três) pontos de retirada de fase livre (PRFLs): PRFL 01, PRFL 02 e PRFL 03 para remediar os pontos PM 01, PM 02 e PM 03, respectivamente. O sistema operou de fevereiro de 2008 ao final de 2010 nos pontos PRFL 01 e PRFL 02, e até novembro de 2008 no ponto PRFL 03. A tabela 10 apresenta o desempenho do sistema de bombeamento e tratamento na redução da espessura da pluma de fase livre.

Tabela 10 – Dados do monitoramento da espessura da fase livre no auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de fevereiro de 2008 a junho de 2009 (Construfer, 2009).

Dia da visita	PRFL 01		PRFL 02		PRFL 03	
	NA (m)	Espessura fase livre (cm)	NA (m)	Espessura fase livre (cm)	NA (m)	Espessura fase livre (cm)
22-fev-08	0,52	50,0	0,53	7,0	0,27	10,0
1-abr-08	0,65	20,0	0,59	30,0	0,43	3,0
15-abr-08	0,59	16,0	0,51	30,0	0,62	2,0
5-ago-08	0,57	5,0	0,50	13,0	0,60	0,0
14-ago-08	1,38	0,5	0,50	-	0,63	0,0
19-ago-08	1,00	10,0	1,00	2,0	0,54	0,0
3-set-08	1,00	0,0	0,94	4,0	1,07	0,0
10-set-08	1,05	0,0	0,91	3,0	0,80	0,0
9-out-08	1,00	0,0	0,96	3,0	0,87	0,0
10-out-08	1,20	0,0	0,86	2,0	1,00	0,0
27-out-08	1,00	0,0	0,68	2,0	0,70	0,0
7-nov-08	0,91	1,0	0,98	6,0	0,75	0,0
14-nov-08	1,05	0,0	0,93	2,0	0,80	0,0
8-dez-08	0,98	2,0	1,06	0,0	-	0,0
22-jan-09	0,55	0,0	0,60	5,0	-	0,0
18-fev-09	0,78	0,0	0,80	2,0	-	0,0
10-mar-09	0,80	0,0	0,87	filme	-	0,0
25-mar-09	0,73	0,0	0,81	0,0	-	0,0
7-abr-09	0,79	1,0	0,84	0,0	-	0,0
27-abr-09	0,82	0,0	0,91	0,0	-	0,0
13-mai-09	0,80	filme	0,90	filme	-	0,0
19-jun-09	0,65	0,0	0,72	0,0	-	0,0

Estes resultados mostram que o sistema de bombeamento recuperou grande parte da fase livre em apenas cinco meses de operação. No entanto, o período para recuperar toda a fase livre estendeu-se por mais de doze meses, devido à alta variação do nível freático, conforme os dados apresentados na tabela 10. Devido à elevada variação do nível freático,

para que a contaminação em fase livre, contendo pequenas espessuras, pudesse ser bombeada pelo sistema, a bomba teve que ser ajustada à altura do nível freático, o que intensificou a necessidade de técnicos ambientais presentes na área para evitar o atolamento das bombas e o bombeamento de águas subterrâneas, abaixo da zona contaminada.

Em 2010 foram retomadas as atividades de investigação ambiental para avaliar a eficiência do sistema de remediação e para delimitar as plumas de contaminação, de acordo com a Decisão de Diretoria nº 263/2009/P.

No período de setembro de 2010 a janeiro de 2011, foram instalados dois poços de monitoramento profundos, PMN 02 e PMN 03, formando dois conjuntos de poços multiníveis com os poços de monitoramento rasos PM 02 e PM 03, respectivamente, de modo a avaliar a concentração próxima ao nível freático e a concentração de contaminantes 2 a 3 metros abaixo deste. Também foi instalado mais um poço de monitoramento, PM 11. Foram realizadas duas leituras das concentrações para o estudo complementar à investigação detalhada e ao plano de intervenção, uma em setembro de 2010 e outra em janeiro de 2011. A tabela 11 apresenta o histórico das concentrações de contaminantes do auto posto Praia das Palmeiras Ltda.

Tabela 11 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados										Valores de intervenção CETESB (2005)
	PM 01					PM 02					
	mar/06	dez/07	mai/09	jan/11	mar/06	dez/07	mai/09	ago/10	jan/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD			< LD	53,000			2484,158	2639,840	5
	Tolueno	< LD			< LD	51,000			1337,158	3568,810	700
	m,p-xileno				< LD	-			-	4214,420	-
	o-xileno				< LD	-			-	1589,540	-
	Xileno	< LD			-	8,700			4491,413	5803,960	500
	Etilbenzeno	< LD			< LD	< LD			483,119	815,530	300
	BTEX total	0,000			-	112,700			8795,848	12828,140	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	13,600			3,163	< LD			42,437	33,405	140
	Acenaftileno	31,000			51,351	< LD			4,135	0,845	-
	Acenafteno	26,000			6,033	< LD			2,564	0,775	-
	Fluoreno	5,160			3,407	< LD			2,969	<L.D	-
	Fenantreno	2,210			1,843	< LD			<L.D	<L.D	140
	Antraceno	1,180			3,59	< LD			<L.D	<L.D	-
	Fluoranteno	1,410			1,236	< LD			<L.D	<L.D	-
	Pireno	< LD			1,102	< LD			<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	1,75
	Criseno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	-
	Benzo (b) Fluoranteno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Pireno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	< LD			< LD	< LD			<L.D	<L.D	-
	PAH Total	80,560			71,726	0,000			52,105		-

FASE LIVRE = 44cm

FILME

FASE LIVRE = 12cm

FILME

Continuação da tabela 11 - Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados										Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 03					PM 04						
	mar/06	dez/07	mai/09	ago/10	jan/10	mar/06	dez/07	mai/09	set/10	jan/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	6931,000		8018,873	2331,158	6099,080	< LD	1,914	118,914	65,437	3,324	5
	Tolueno	522,000		2789,158	88,658	670,360	< LD	0,543	9,612	6,355	9,189	700
	m,p-xileno					5585,680					64,739	-
	o-xileno					1988,440					8,053	-
	Xileno	4182,000		8603,585	3849,945	7574,120	< LD	81,757	246,134	135,059	72,792	500
	Etilbenzeno	1003,000		1338,108	612,399	1466,800	< LD	1,122	120,848	89,321	47,181	300
	BTEX total	12638,000		20749,724	6882,160	15810,360	0,000	85,336	495,508	296,172	132,486	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	95,000		109,969	1418,209	703,002	< LD	6,974	26,409	23,572	15,281	140
	Acenaftileno	1,210		< L.D.	68,238	13,691	< LD	< LD	< L.D.	0,550	3,198	-
	Acenafteno	4,410		27,817	115,981	29,114	< LD	< LD	< L.D.	0,809	3,464	-
	Fluoreno	0,520		< L.D.	118,544	33,757	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	3,866	-
	Fenantreno	< LD		24,162	90,411	27,103	< LD	0,569	< L.D.	<L.D	1,852	140
	Antraceno	< LD		< L.D.	125,462	29,474	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	2,362	-
	Fluoranteno	< LD		20,951	16,434	4,365	< LD	0,699	< L.D.	<L.D	1,421	-
	Pireno	< LD		< L.D.	12,685	0,939	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	1,023	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	1,75
	Criseno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	0,569	< L.D.	<L.D	<L.D	-
	Benzo (b) Fluoranteno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Pireno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	0,18
	Benzo (g,h,i) Pírileno	< LD		< L.D.	<L.D	<L.D	< LD	< LD	< L.D.	<L.D	<L.D	-
	PAH Total	101,140		182,899	1965,963	841,446	0,000	8,811	26,409	24,931	32,468	-

FASE LIVRE = 2cm

Continuação da tabela 11 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 05				PM 06					
	dez/07	mai/09	set/10	jan/11	dez/07	mai/09	set/10	jan/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	<L	<L.D	<L.D	5
	Tolueno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	< LD	<L.D	<L.D	700
	m,p-xileno				<L.D				<L.D	-
	o-xileno				<L.D				<L.D	-
	Xileno	< LD	< LD	<L.D	-	< LD	< LD	<L.D	-	500
	Etilbenzeno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	< LD	<L.D	<L.D	300
	BTEX total	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	1,348	< L.D.	1,317	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	140
	Acenaftileno	< LD	< L.D.	2,868	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Acenafteno	0,426	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fluoreno	0,417	< L.D.	0,572	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fenantreno	1,415	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	140
	Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fluoranteno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	1,75
	Criseno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	0,478	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,18
Benzo (g,h,i) Pirleno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-	
PAH Total	4,084	-	4,758	-	-	-	-	-	-	

Continuação da tabela 11 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 07				PM 08					
	dez/07	mai/09	set/10	jan/11	dez/07	mai/09	set/10	jan/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	< LD	<L.D	<L.D	5
	Tolueno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	< LD	<L.D	<L.D	700
	m,p-xileno				<L.D				<L.D	-
	o-xileno				<L.D				<L.D	-
	Xileno	< LD	< LD	<L.D	-	< LD	< LD	<L.D	-	500
	Etilbenzeno	< LD	< LD	<L.D	<L.D	< LD	< LD	<L.D	<L.D	300
	BTEX total	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	1,176	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	140
	Acenaftileno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Acenafteno	0,300	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fluoreno	0,906	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fenantreno	1,786	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	140
	Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Fluoranteno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	1,75
	Criseno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	0,646	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	PAH Total	4,814	-	-	-	-	-	-	-	-

Continuação da tabela 11 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados					Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 09		PM 10		PM 11		
	mai/09	set/10	jan/11	jan/11	jan/11		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	< LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	5
	Tolueno	< LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	700
	m,p-xileno			<L.D	<L.D	<L.D	-
	o-xileno			<L.D	<L.D	<L.D	-
	Xileno	< LD	<L.D	-	-	-	500
	Etilbenzeno	< LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	300
	BTEX total	-	-	-	-	-	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	< L.D.	2,370	8,619	< L.D.	< L.D.	140
	Acenaftileno	< L.D.	26,906	10,161	< L.D.	< L.D.	-
	Acenafteno	< L.D.	3,298	2,109	< L.D.	< L.D.	-
	Fluoreno	< L.D.	3,879	3,187	< L.D.	< L.D.	-
	Fenantreno	< L.D.	1,558	1,595	< L.D.	< L.D.	140
	Antraceno	< L.D.	2,309	1,267	< L.D.	< L.D.	-
	Fluoranteno	< L.D.	3,842	2,953	< L.D.	< L.D.	-
	Pireno	< L.D.	4,996	1,815	< L.D.	< L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	1,75
	Criseno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	< 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.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirleno	< L.D.	<L.D	<L.D	< L.D.	< L.D.	-
	PAH Total	-	49,159	31,707	-	-	-

Continuação da tabela 11 – Concentrações de BTEX e PAH na água subterrânea da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., no período de março de 2006 a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados					Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PMN 02		PMN 03		Caixa SAO		
	set/10	jan/11	set/10	jan/11	jan/11		
BTEX µg/L-1	Benzeno	1039,535	249,935	1715,921	46,781	<L.D	5
	Tolueno	978,280	71,897	906,151	57,341	<L.D	700
	m,p-xileno		175,557		487,702	<L.D	
	o-xileno		69,161		63,809	<L.D	
	Xileno	3618,869	244,718	4764,703	551,511	-	500
	Etilbenzeno	321,385	33,687	860,547	175,633	<L.D	300
	BTEX total	5958,069	600,237	8247,322	831,266	-	-
PAH µg/L-1	Naftaleno	8,297	51,682	87,251	19,616	< L.D.	140
	Acenaftileno	<L.D	2,816	3,123	0,795	< L.D.	-
	Acenafteno	<L.D	3,644	0,923	1,111	< L.D.	-
	Fluoreno	<L.D	3,994	0,462	0,987	< L.D.	-
	Fenantreno	<L.D	2,951	<L.D	1,959	< L.D.	140
	Antraceno	<L.D	7,202	<L.D	1,236	< L.D.	-
	Fluoranteno	<L.D	2,606	<L.D	<L.D	< L.D.	-
	Pireno	<L.D	1,248	<L.D	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	< L.D.	1,75
	Criseno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	< L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	<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.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<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.	-
	PAH Total	8,297	76,143	91,759	25,705	-	-

Com base nas duas últimas vistorias aos poços de monitoramento e nas análises químicas das amostras de água subterrânea, pode-se verificar que o sistema de remediação por bombeamento e tratamento foi eficiente e que a área não apresenta mais contaminantes em fase livre. No entanto, a água subterrânea ainda apresenta concentrações de contaminantes em fase dissolvida, sendo observadas concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno e naftaleno, acima dos valores orientadores da CETESB/2005.

Na figura 35 é apresentada o croqui da pluma de benzeno em fase dissolvida no plano horizontal, na qual é possível observar que a contaminação está delimitada e contida na área do auto posto, o que pode ser atribuído ao sistema de remediação que atuou como barreira hidráulica, não permitindo que a pluma de contaminação dissipasse para pontos à jusante ao auto posto e atingisse áreas vizinhas.

No entanto, observando o croqui da pluma de benzeno no plano vertical, apresentada na figura 36, foi possível verificar que a pluma não foi totalmente delimitada com a

profundidade do nível freático, ocorrendo diferenças entre as concentrações das amostras coletadas em diferentes níveis do filtro (PM-PMN 02 e PM-PMN03).

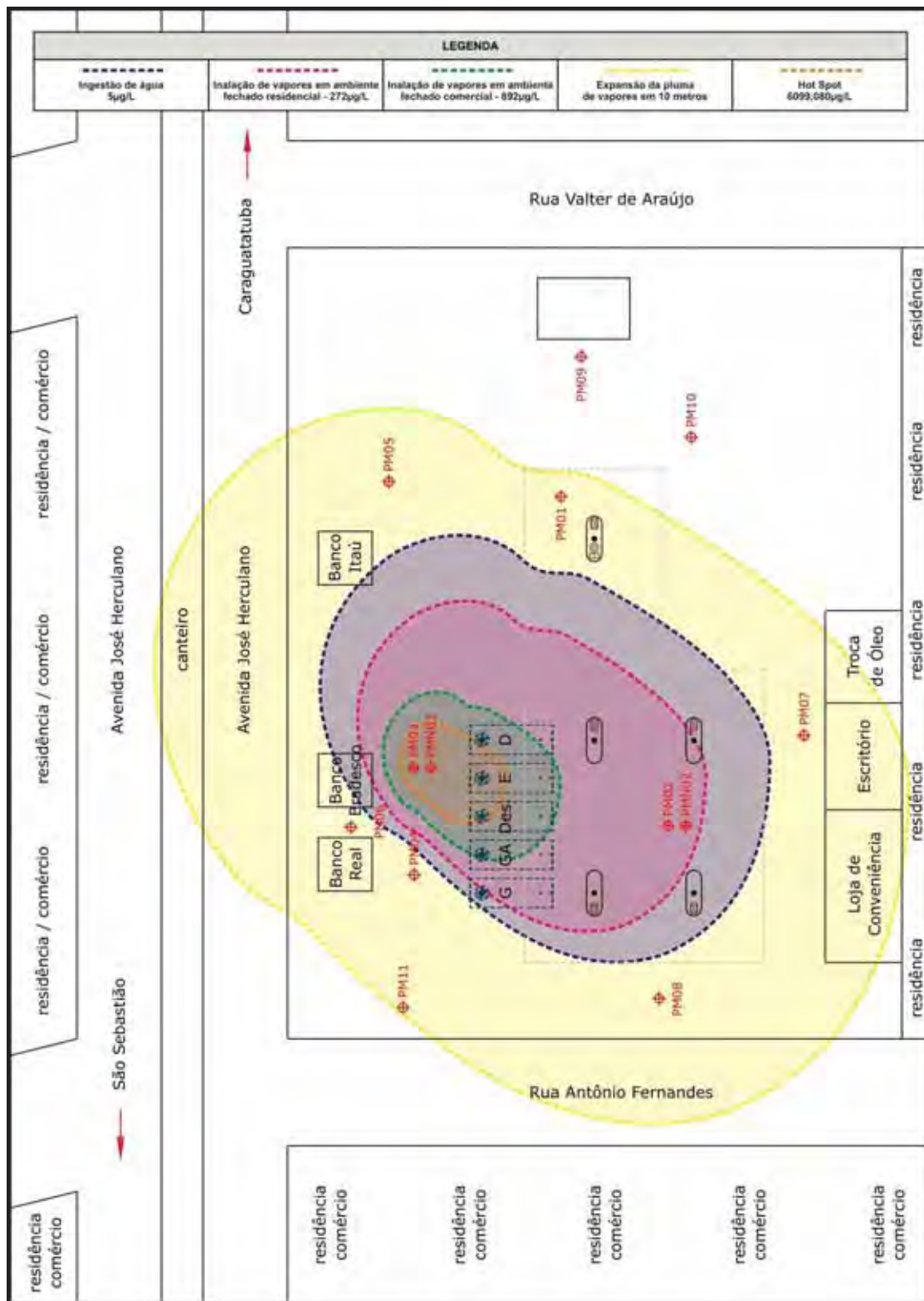


Figura 35 – Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano horizontal na área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. (Construfer, 2011).

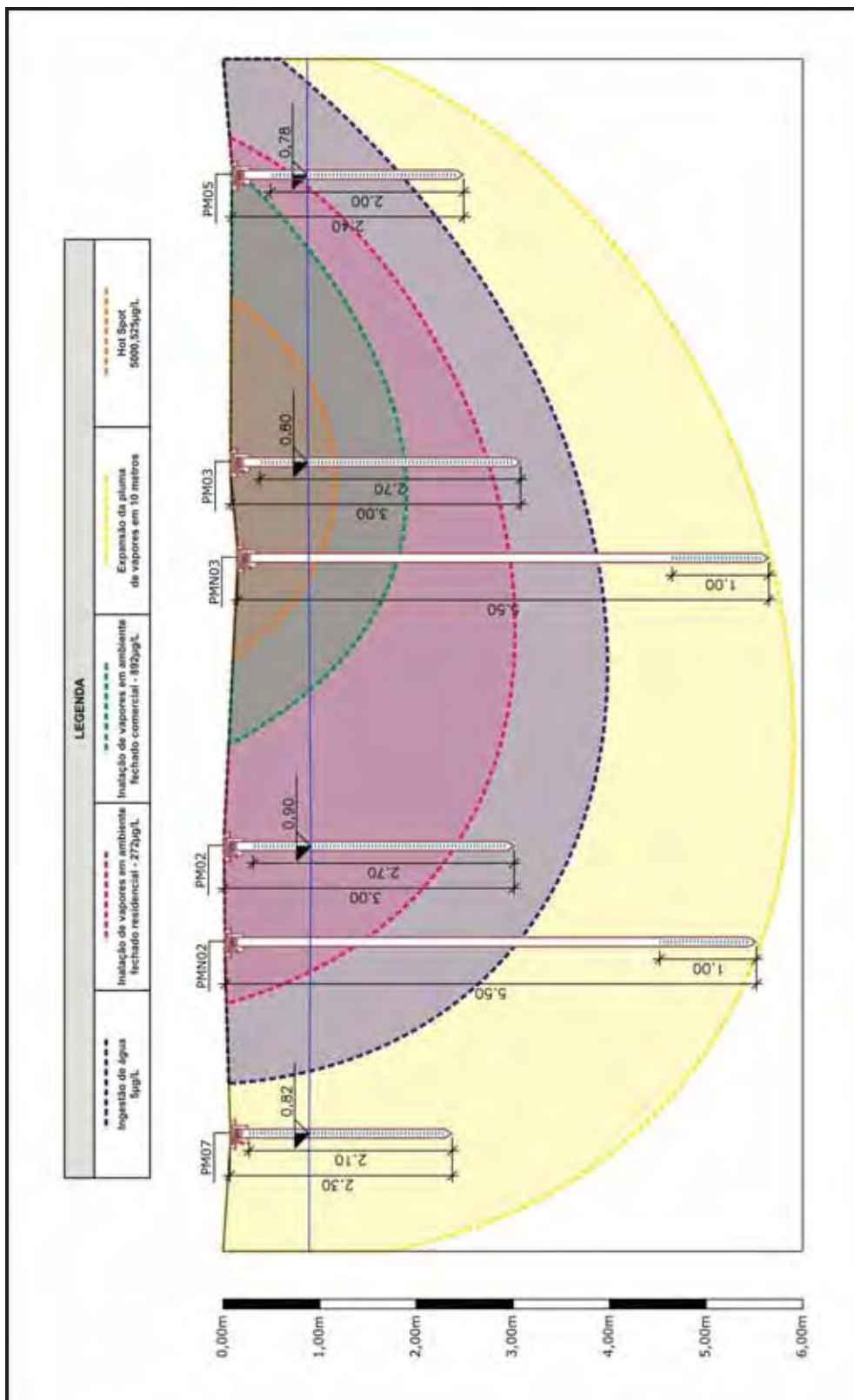


Figura 36 – Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano vertical na área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. (Construfer, 2011).

Deste estudo complementar à investigação detalhada e ao plano de intervenção realizado pela Construfer Engenharia, foi recomendada a reativação do sistema de remediação por bombeamento nos pontos PRFD 02 e PRDF 03, visando atenuar as concentrações de contaminantes, pois atuais oferecem riscos à saúde humana.

Em janeiro de 2011 foi realizada uma análise da água bombeada nos pontos PRFL 01 e PRFL 02 e tratada com carvão ativado, sendo constatado que a água subterrânea bombeada, tratada e injetada em um ponto à montante do sistema de bombeamento, é devolvida ao meio ambiente com níveis de potabilidade adequados ao consumo humano. Este resultado evidenciou que o sistema de bombeamento e tratamento recuperou a fase livre, atenuou as concentrações de contaminantes em fase dissolvida e conseguiu tratar a água bombeada.

Estas avaliações mostraram que o sistema de bombeamento e tratamento foi eficiente para remediar a fase livre, na área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., com solo arenosiltoso e clima quente e impediu que a contaminação atingisse áreas vizinhas, atuando também como uma barreira hidráulica. No entanto, o período para a completa remediação da fase livre, de espessura fina (filme) é muito longo, devido à oscilação do nível freático e à necessidade constante do posicionamento correto da bomba para que esta pudesse bombear a fase livre logo acima do nível freático.

Também é preciso considerar que após o início das atividades de remediação da água subterrânea não ocorreram casos significativos de derrames e vazamentos que pudessem comprometer a área do auto posto. Destaca-se, ainda, que este auto posto passou por reforma, havendo adequações de sumps-bombas-tanques e outros equipamentos, o que pode ter minimizado as possibilidades de novas contaminações do solo e da água subterrânea.

Até o momento, os responsáveis legais pelo auto posto Praia das Palmeiras Ltda. totalizaram custos da ordem de R\$42.400,00 referentes à investigação ambiental e ao processo de remediação por bombeamento e tratamento. Estima-se que os custos para o conclusão da investigação e para a completa remediação da área, mantendo as campanhas semestrais de monitoramento seja de aproximadamente R\$32.000,00. totalizando, portanto custos da ordem de R\$ 74.400,00 para a completa reabilitação da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda.

5.3. AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA.

Nas investigações ambientais, realizadas no período de setembro de 2007 a novembro de 2009, os pontos amostrados apresentaram contaminantes em fase residual, conforme pode ser observado na tabela 12. O ponto PM 03 apresentou concentrações de benzeno e xileno e o PM 07 concentrações de benzeno acima dos valores orientadores da CETESB/2005.

Tabela 12 – Concentrações de BTEX e PAHs no solo da área do auto posto Parada Obrigatória Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2009).

Parâmetros	Pontos Amostrados							Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 03 set/07	PM 04 set/07	PM 05 set/07	PM 06 jul/09	PM 07 jul/09	PM 08 out/09	PM 09 nov/09		
BTEX ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Benzeno	189,383	<L.D.	<L.D.	<L.D.	1774,163	<L.D.	11,885	80
	Tolueno	1588,12	<L.D.	<L.D.	<L.D.	243,034	<L.D.	55,623	30000
	m,p-xileno	24368,76	<L.D.	<L.D.	<L.D.	1034,455	<L.D.	98,279	-
	o-Xileno	11067,17	<L.D.	<L.D.	<L.D.	102,583	<L.D.	72,826	-
	Xileno total	35435,94	-	-	-	1137,038	-	171,105	30000
	Etilbenzeno	6324,423	<L.D.	<L.D.	<L.D.	795,429	<L.D.	10,469	40000
	BTEX Total	43537,86	-	-	-	3949,663	-	249,081	---
PAH ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Naftaleno	7779,347	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	478,989	60000
	Acenaftileno	11,044	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	37,737	-
	Acenafteno	26,844	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	34,108	-
	Fluoreno	6,819	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	50,721	-
	Fenantreno	5,831	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	40000
	Antraceno	11,342	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Fluoranteno	13,35	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Pireno	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Benzo (a) Antraceno	18,566	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	20000
	Criseno	17,672	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Benzo(b)Fluoranteno	14,701	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Benzo (k) Fluoranteno	14,46	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Benzo (a) Pireno	15,12	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	1500
	Indeno (1,2,3) Pireno	14,383	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	25000
	Dibenzo (a,h) Antraceno	18,56	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	600
Benzo (g,h,i) Pirlileno	19,65	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-	
Total PAH	7987,689	-	-	-	-	-	601,555	---	

Neste mesmo período foram vistoriados os poços de monitoramento e coletadas amostras de água subterrânea e, de acordo com os resultados apresentados na tabela 13, verificou-se que as concentrações de benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno, em fase dissolvida, estavam acima dos valores orientadores da CETESB/2005.

Tabela 13 – Concentrações de BTEX e PAH na água subterrânea do Auto Posto Parada Obrigatória Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2009).

Parâmetros	Pontos amostrados									Valores de intervenção CETESB (2005)
	PM 03			PM 04			PM 05			
	set/07	mar/09	ago/09	set/07	mar/09	ago/09	set/07	mar/09	ago/09	
BTEX µg L ⁻¹										
Benzeno	3794,932	2274,598	3256,555	1162,6	3958,489	1065,192	1141,366	49,19	714,3	5
Tolueno	2640,778	735,203	2482,971	5060,661	48,071	25,586	585,538	34,268	6822,973	700
m,p-xileno	5834,143	1891,233	3494,544	6787,374	908,739	542,431	1330,904	158,843	1831,628	-
o-xileno	3168,306	389,845	1049,275	2891,493	6,769	3,183	314,368	62,108	892,277	-
Xileno	9002,449	2281,078	4543,819	9678,867	915,508	545,614	1645,272	220,951	2723,905	500
Etilbenzeno	1937,017	638,339	1015,467	2489,832	994,291	409,897	622,413	32,999	481,119	300
BTEX total	17375,176	5929,218	11298,812	18391,96	5916,359	2046,289	3994,589	337,408	10742,297	-
PAH µg L ⁻¹										
Naftaleno	592,213	18,761	158,795	128,367	145,98	63,649	43,546	2,353	39,762	140
Acenaftileno	0,197	<0,108	4,879	0,039	0,427	0,848	0,058	<0,108	<L.D.	-
Acenafteno	0,878	0,671	2,622	0,187	0,428	0,373	0,304	<0,239	<L.D.	-
Fluoreno	0,349	0,475	0,484	0,165	0,332	0,555	0,514	<0,146	<L.D.	-
Fenantreno	0,431	0,757	<L.D.	0,212	<0,238	<L.D.	0,779	<0,238	<L.D.	140
Antraceno	0,038	<0,253	<L.D.	0,028	<0,253	<L.D.	<0,010	<0,253	<L.D.	-
Fluoranteno	0,133	<0,270	<L.D.	0,045	<0,270	<L.D.	0,123	<0,270	<L.D.	-
Pireno	0,171	1,235	<L.D.	0,061	<0,229	<L.D.	0,12	<0,229	<L.D.	-
Benzo (a) Antraceno	<0,013	<0,154	<L.D.	<0,013	<0,154	<L.D.	<0,013	<0,154	<L.D.	1,75
Criseno	<0,010	<0,159	<L.D.	0,012	<0,159	<L.D.	<0,010	<0,159	<L.D.	-
Benzo (b) Fluoranteno	<0,025	<0,216	<L.D.	<0,025	<0,216	<L.D.	<0,025	<0,216	<L.D.	-
Benzo (k) Fluoranteno	<0,008	<0,267	<L.D.	<0,008	<0,267	<L.D.	<0,008	<0,267	<L.D.	-
Benzo (a) Pireno	<0,013	<0,111	<L.D.	<0,013	<0,111	<L.D.	<0,013	<0,111	<L.D.	0,7
Indeno (1,2,3) Pireno	<0,017	<0,103	<L.D.	<0,017	<0,103	<L.D.	<0,017	<0,103	<L.D.	0,17
Dibenzo (a,h) Antraceno	<0,025	<0,081	<L.D.	<0,025	<0,081	<L.D.	<0,025	<0,081	<L.D.	0,18
Benzo (g,h,i) Pirileno	<0,017	<0,306	<L.D.	<0,017	<0,306	<L.D.	<0,017	<0,306	<L.D.	-
PAH Total	594,41	21,899	166,779	129,116	147,167	65,426	45,444	2,353	39,762	-

Para o auto posto Parada Obrigatória Ltda. não foi delimitada a pluma de contaminantes, visto que a contaminação estava distribuída na área deste empreendimento, não sendo evidenciada as fontes de contaminação. Além disso, há o agravante de existirem outros dois postos de revenda de combustíveis muito próximos, sendo necessária uma avaliação conjunta destes auto postos, uma vez que todas estas áreas são classificadas pela CETESB, como contaminadas, sendo comprovada a presença de contaminantes em altas concentrações à montante do auto posto Parada Obrigatória Ltda.

Continuação da tabela 13 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da área do auto posto Parada Obrigatória Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2009).

Parâmetros	Pontos amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 06		PM 07		PM 08	PM 09	PM A	PM B		
	ago/09	nov/09	ago/09	nov/09	nov/09	nov/09	ago/09	ago/09		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	7756,713	8434,382	<L.D.	<L.D.	4228,875	13707,552	<L.D.	<L.D.	5
	Tolueno	388,697	270,663	<L.D.	<L.D.	8148,04	10078,979	<L.D.	<L.D.	700
	m,p-xileno	1380,915	550,805	<L.D.	<L.D.	5648,395	5814,281	<L.D.	<L.D.	-
	o-xileno	55,804	42,145	<L.D.	<L.D.	2657,409	2812,676	<L.D.	<L.D.	-
	Xileno	1436,719	592,95	<L.D.	-	8305,804	8626,957	<L.D.	<L.D.	500
	Etilbenzeno	945,239	964,304	<L.D.	<L.D.	1318,091	1397,866	<L.D.	<L.D.	300
	BTEX total	10527,368	10262,299	-	-	22000,81	33811,354	-	-	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	191,87	-	<L.D.	-	-	4859,540	<L.D.	<L.D.	140
	Acenaftileno	0,914	-	<L.D.	-	-	10,124	<L.D.	<L.D.	-
	Acenafteno	0,311	-	<L.D.	-	-	17,147	<L.D.	<L.D.	-
	Fluoreno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	22,547	<L.D.	<L.D.	-
	Fenantreno	0,542	-	<L.D.	-	-	12,876	<L.D.	<L.D.	140
	Antraceno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	-
	Fluoranteno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	62,399	<L.D.	<L.D.	-
	Pireno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	27,733	<L.D.	<L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	1,75
	Criseno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<L.D.	-	<L.D.	-	-	<LD	<L.D.	<L.D.	-
	PAH Total	193,637	-	-	-	-	5012,366	-	-	-

Apesar das plumas de contaminação não terem sido delimitadas, avaliando as concentrações de BTEX e de PAH nas amostras de água subterrânea da área do auto posto Parada Obrigatória Ltda., apresentadas na tabela 13 juntamente com a figura 25 do croqui de localização dos poços de monitoramento, foi possível verificar que grande parte da contaminação em fase dissolvida estava localizada na projeção da loja de conveniência, posicionada ao lado do setor de troca de óleo. Para atenuar essa contaminação foi instalado um poço para a retirada da fase dissolvida – PRFD 09. Também foi detectada a necessidade da instalação de mais um poço de bombeamento próximo ao PM 08, no entanto, isso não se realizou porque o proprietário da área em questão não autorizou o desenvolvimento do serviço em seu terreno.

Na tabela 14 são apresentadas as concentrações de BTEX e PAH obtidas nos poços de monitoramento localizados no raio de influência do sistema de bombeamento e tratamento implantado na área do auto posto Parada Obrigatória Ltda. Esse sistema vem sendo empregado desde fevereiro de 2010 e se mostrou eficiente, considerando que as concentrações de benzeno no *hot spot* da contaminação diminuíram de 13.707,552 $\mu\text{g L}^{-1}$ para 61,243 $\mu\text{g L}^{-1}$ em um período de 14 meses. Observando a figura 37 foi possível verificar que as concentrações de contaminantes nos poços de monitoramento diminuíram com as operações de bombeamento, evidenciando a eficiência desse sistema de remediação.

Tabela 14 – Concentrações de BTEX e PAHs nos poços de monitoramento do sistema de remediação implantado no auto posto Parada Obrigatória Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados							Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 03			PM 06					
	ago-09	nov-10	abr/11	Ago/09	Nov/09	Set/10	abr/11		
BTEX $\mu\text{g L}^{-1}$	Benzeno	3256,555	2804,730	1621,240	7756,713	8434,382	822,16	324,124	5
	Tolueno	2482,971	429,920	263,410	388,697	270,663	12	6,451	700
	m,p-xileno	3494,544	3963,220	1592,880	1380,915	550,805	17,2	21,301	-
	o-xileno	1049,275	126,590	123,400	55,804	42,145	1,9	6,120	-
	Xileno	4543,819	4089,810	1716,280	1436,719	592,95	19,1	27,421	500
	Etilbenzeno	1015,467	2268,440	133,64	945,239	964,304	23,4	24,146	300
	BTEX total	11298,812	9592,900	3734,570	10527,368	10262,299	876,66	382,142	-
PAH $\mu\text{g L}^{-1}$	Naftaleno	158,795	1,998	-	191,87	-	131,72	-	140
	Acenaftileno	4,879	1,085	-	0,914	-	<L.D.	-	-
	Acenafteno	2,622	0,915	-	0,311	-	0,719	-	-
	Fluoreno	0,484	1,275	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Fenantreno	<L.D.	<L.D.	-	0,542	-	<L.D.	-	140
	Antraceno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Fluoranteno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Pireno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Benzo (a) Antraceno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	1,75
	Criseno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	Benzo (a) Pireno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<L.D.	<L.D.	-	<L.D.	-	<L.D.	-	-
	PAH Total	166,779	5,273	-	193,637	-	132,44	-	-

Continuação da tabela 14 – Concentrações de BTEX e PAH nos poços de monitoramento do sistema de remediação implantado no auto posto Parada Obrigatória Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos Amostrados								Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 08			PM 09			CAIXA SAO			
	Nov/09	Jul/10	abr/11	Nov/09	Jul/10	abr/11	fev-11	abr/11		
BTEX $\mu\text{g L}^{-1}$	Benzeno	4228,875	1138,384	2964,310	13707,552	7393,700	61,243	1580,210	715,950	5
	Tolueno	8148,04	43,591	676,070	10078,979	6917,700	12,284	2790,020	1874,130	700
	m,p-xileno	5648,395	55,975	119,950	5814,281	6288,530	86,621	2296,980	1113,510	-
	o-xileno	2657,409	6,451	363,720	2812,676	4477,050	5,641	1279,170	1599,400	-
	Xileno	8305,804	62,426	483,670	8626,957	10765,580	92,262	3576,150	2712,910	500
	Etilbenzeno	1318,091	15,841	204,120	1397,866	589,890	1,341	62,860	24,240	300
	BTEX total	22000,81	1260,242	4328,170	33811,354	25666,870	167,130	8009,240	5327,230	-
PAH $\mu\text{g L}^{-1}$	Naftaleno	-	4,338	-	4859,540	63,979	-	742,171	-	140
	Acenaftileno	-	0,556	-	10,124	0,585	-	0,865	-	-
	Acenafteno	-	1,94	-	17,147	0,950	-	0,712	-	-
	Fluoreno	-	<LD	-	22,547	0,457	-	1,083	-	-
	Fenantreno	-	<LD	-	12,876	<LD	-	<LD	-	140
	Antraceno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	-
	Fluoranteno	-	<LD	-	62,399	<LD	-	<LD	-	-
	Pireno	-	<LD	-	27,733	<LD	-	<LD	-	-
	Benzo (a) Antraceno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	1,75
	Criseno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	-
	Benzo (a) Pireno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	-	<LD	-	<LD	<LD	-	<LD	-	-
	PAH Total	-	6,834	-	5012,366	65,971	-	744,831	-	-

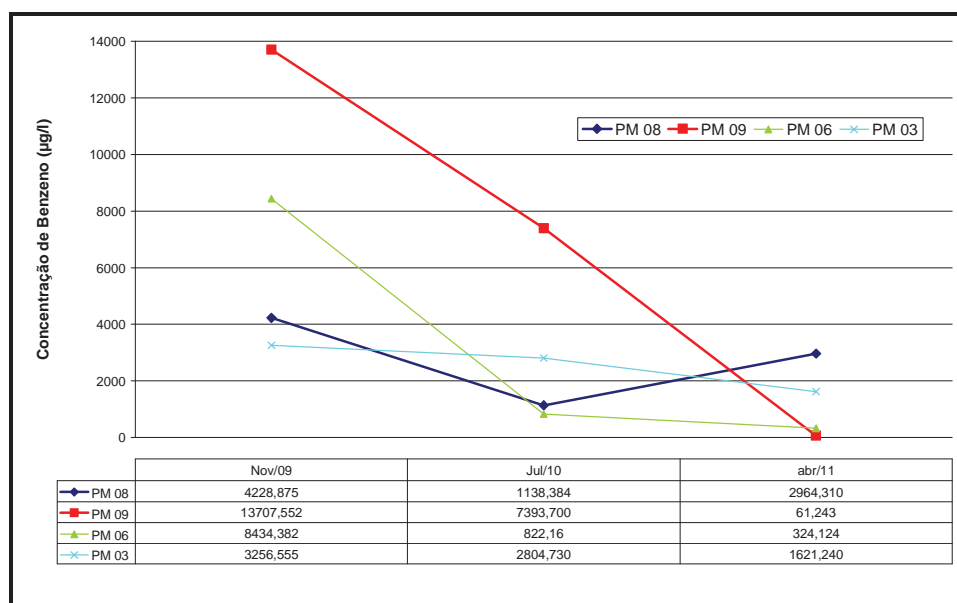


Figura 37 – Concentrações de benzeno nos poços de monitoramento instalados na área do Auto Posto Parada Obrigatória Ltda. (Construfer, 2011).

Nas visitas técnicas quinzenais, realizadas pela empresa Construfer Engenharia, identificou-se que o sistema de remediação precisou ser desligado diversas vezes, devido à baixa eficiência do poço de bombeamento, evidenciando a baixa permeabilidade do solo, com predominância de argila e silte, sobre o Aquífero Cristalino.

A área do auto posto Parada Obrigatória Ltda. apresentou contaminantes em fase residual e em fase dissolvida e a baixa permeabilidade do solo prejudicou as operações de bombeamento da fase dissolvida, mas, por outro lado, o solo argiloso adsorveu os contaminantes na fase residual, impedindo que estes se dispersassem para áreas à jusante do auto posto.

A eficiência do tratamento da água também foi avaliada, sendo que na primeira coleta, realizada em fevereiro de 2011, o carvão ativado estava antigo e logo após a amostragem da água foi realizada sua substituição. Na segunda coleta, realizada em abril de 2011, o carvão ativado estava com apenas dois meses de uso, atuando de forma mais efetiva no processo de tratamento da água e óleo bombeados. As concentrações de BTEX apresentaram-se acima dos valores de intervenção da CETESB (2005), porém, abaixo dos valores verificados no poço em processo de remediação. Portanto, o carvão ativado utilizado não está sendo suficiente para tratar as concentrações de contaminantes BTEX na água subterrânea.

Até o momento, os responsáveis legais pelo auto posto Parada Obrigatória Ltda. somaram custos de R\$50.000,00 com a investigação ambiental e implantação da técnica de remediação por bombeamento e tratamento e estima-se que os custos para a conclusão da investigação e da remediação, com as campanhas semestrais de monitoramento do sistema, sejam de aproximadamente R\$50.000,00. Portanto, o custo total para a reabilitação da área do Auto Posto Parada Obrigatória Ltda. é da ordem de R\$100.000,00.

5.4. AUTO POSTO BAIÁ DO SOL LTDA.

Nas investigações ambientais, realizadas entre julho de 2006 e agosto de 2008, os pontos amostrados não apresentaram concentrações de contaminantes em fase residual, conforme pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Concentrações de BTEX e PAHs no solo do Auto Posto Baía do Sol Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos amostrados						Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04	PM 05	PM 06		
	jul/06	jul/06	jul/06	jul/06	ago/08	ago/08		
BTEX µg Kg ⁻¹	Benzeno	<LD	<LD	<LD	< L.D	< L.D	80	
	Tolueno	<LD	<LD	1840,00	< L.D	< L.D	30000	
	m,p-xileno	-	-	-	< L.D	< L.D	-	
	o-Xileno	-	-	-	< L.D	< L.D	-	
	Xileno total	<LD	<LD	7700,00	-	-	30000	
	Etilbenzeno	<LD	<LD	8000,00	< L.D	< L.D	40000	
	BTEX Total	-	-	17540,00	-	-	-	
	PAH µg Kg ⁻¹	Naftaleno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	60000
Acenaftaleno		<LD	<LD	880,00	<LD	<L.D	-	
Acenafteno		28068,00	26500,00	26730,00	28358,00	<L.D	<L.D	-
Fluoreno		<LD	<LD	190,00	16,00	<L.D	<L.D	-
Fenantreno		<LD	<LD	5520,00	25,00	<L.D	<L.D	40000
Antraceno		<LD	<LD	3850,00	820,00	<L.D	<L.D	-
Fluoranteno		<LD	<LD	83,00	<LD	<L.D	<L.D	-
Pireno		<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Antraceno		17,00	<LD	20,00	<LD	<L.D	<L.D	20000
Criseno		140,00	220,00	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
Benzo(b)Fluoranteno		<LD	84,00	220,00	130,00	<L.D	<L.D	-
Benzo (k) Fluoranteno		210,00	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
Benzo (a) Pireno		<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	1500
Indeno (1,2,3) Pireno		<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	25000
Dibenzo (a,h) Antraceno		<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	600
Benzo (g,h,i) Pirleno		<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
Total PAH		28435,00	26804,00	37493,00	29349,00	-	-	-

Neste mesmo período foram vistoriados os pontos de monitoramento e coletadas amostras de água subterrânea e, de acordo com as concentrações de BTEX e PAHs, apresentadas na tabela 16, a área apresentou contaminação em fase livre no PM 01 e em fase

dissolvida nos poços PM 03, PM 04, PM 05 e PM 06 com valores de benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno acima dos valores de intervenção da CETESB (2005).

Tabela 16 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do Auto Posto Baia do Sol Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos amostrados							Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 01		PM 02		PM 03				
	jul/06	jun/08	nov/08	jul/06	jun/08	jul/06	jun/08		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	<LD	20,238		<LD	<LD	61,800	1535,710	5
	Tolueno	<LD	<LD		<LD	<LD	3888,300	6916,310	700
	m,p-xileno	-	4,645		-	<LD	-	3355,530	-
	o-xileno	-	1,586		-	<LD	-	1394,220	-
	Xileno	<LD	6,231		<LD	-	2733,500	4749,750	500
	Etilbenzeno	<LD	1,058		<LD	<LD	1038,600	865,860	300
	BTEX total	0,000	27,527		0,000	0,000	7722,200	14067,630	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	<LD	34,525		<LD	<LD	<LD	26,075	140
	Acenafileno	4,380	73,489		9,280	<LD	15,540	<LD	-
	Acenafteno	<LD	23,247		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Fluoreno	1,290	50,808		1,360	<LD	3,030	<LD	-
	Fenantreno	1,090	<LD		0,930	<LD	3,090	<LD	140
	Antraceno	6,010	47,501		5,710	<LD	8,630	<LD	-
	Fluoranteno	<LD	26,212		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Pireno	<LD	139,307		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	16,678		<LD	<LD	<LD	<LD	1,75
	Criseno	<LD	15,899		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (a) Pireno	85,600	<LD		9,670	<LD	8,280	<LD	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<LD		<LD	<LD	103,940	<LD	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	-
	PAH Total	98,370	427,666		26,950	0,000	142,510	26,075	-

Continuação da tabela 16 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Baia do Sol Ltda. e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2008).

Parâmetros	Pontos amostrados				Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 04		PM 05			
	PM 06	PM 06	PM 06	PM 06		
	jul/06	jun/08	out/08	out/08		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	<LD	94,063	771,871	4763,247	5
	Tolueno	148,910	2,964	6,953	169,355	700
	m,p-xileno	-	86,343	75,927	1019,352	-
	o-xileno	-	8,860	7,970	77,064	-
	Xileno	963,400	95,203	83,897	1096,416	500
	Etilbenzeno	836,400	105,965	75,832	738,204	300
	BTEX total	1948,710	298,195	938,553	6767,222	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	<LD	70,912	112,718	22,539	140
	Acenaftileno	15,360	<LD	1,163	<L.D	-
	Acenafteno	<LD	<LD	<L.D	0,635	-
	Fluoreno	0,390	<LD	7,425	0,667	-
	Fenantreno	<LD	<LD	20,268	6,485	140
	Antraceno	17,680	<LD	<L.D	<L.D	-
	Fluoranteno	<LD	<LD	1,501	1,262	-
	Pireno	<LD	<LD	19,310	13,943	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<LD	<L.D	<L.D	1,75
	Criseno	<LD	<LD	<L.D	2,078	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
	Benzo (a) Pireno	6,510	<LD	<L.D	<L.D	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	5,810	<LD	<L.D	<L.D	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD	<L.D	<L.D	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD	<L.D	<L.D	-
	PAH Total	45,750	70,912	162,385	47,610	-

Devido à existência de pluma de fase livre, em setembro de 2008, foi implantado o sistema de remediação por bombeamento e tratamento da fase livre identificada no PM 01, mesmo sem a delimitação das plumas de fase dissolvida. A contaminação da água subterrânea foi originada por vazamentos e derrames de gasolina e diesel nos tanques e bombas de combustíveis.

Na tabela 17 são apresentadas as espessuras da fase livre, obtidas no PM 01, no período de setembro de 2008 a dezembro de 2010, após a implantação do sistema de remediação por bombeamento e tratamento.

Tabela 17 – Espessuras da fase livre, obtidas no PM 01, no período de 03/09/2008 a 26/12/2010, após a implantação da técnica de bombeamento e tratamento no auto posto Baía do Sol Ltda. (Construfer, 2011).

Dia da visita	PRFL 01		Tempo entre golpes da bomba	Volume bombeado por período (água + óleo) (L)	Volume total bombeado (água + óleo) (L)	Volume de fase livre removido por período (óleo sem água) (L)	Volume total de fase livre removido (óleo sem água) (L)
	NA (m)	Espessura fase livre (cm)					
3-set-08	2,30	5,00	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19-set-08	2,23	1,00	10,0	11059,2	11059,2	2,0	2,0
3-out-08	2,00	0,00	10,0	9676,8	20736,0	0,0	2,0
13-out-08	2,55	1,00	5,0	13824,0	34560,0	0,0	2,0
27-out-08	2,61	2,00	10,0	9676,8	44236,8	5,0	7,0
7-nov-08	2,49	1,00	15,0	16128,0	36864,0	0,0	7,0
8-dez-08	2,43	2,00	10,0	38707,2	73267,2	3,0	10,0
22-jan-09	2,40	2,00	10,0	60134,4	104371,2	4,0	14,0
7-abr-09	2,60	4,00	10,0	104371,2	141235,2	9,0	23,0
28-abr-09	2,14	1,00	10,0	97459,2	170726,4	2,0	25,0
17-mai-09	2,00	1,00	10,0	79488,0	183859,2	2,0	27,0
17-jun-09	2,28	1,00	15,0	32716,8	173952,0	0,0	27,0
28-jul-09	2,10	1,00	10,0	62899,2	233625,6	5,0	32,0
26-ago-09	2,15	1,00	10,0	69811,2	253670,4	0,0	32,0
21-out-09	2,54	3,00	15,0	58060,8	232012,8	0,0	32,0
20-nov-09	2,25	18,00	15,0	52992,0	286617,6	3,0	35,0
16-dez-09	2,30	14,00	10,0	77414,4	331084,8	3,0	38,0
18-fev-10	2,40	13,00	10,0	82944,0	314956,8	1,0	39,0
11-mar-10	2,34	4,00	10,0	76723,2	363340,8	1,0	40,0
26-mai-10	2,34	filme	10,0	111283,2	442368,0	1,5	41,5
22-jul-10	2,33	0,00	10,0	106444,8	421401,6	0,0	41,5
10-set-10	2,22	0,00	10,0	126489,6	489830,4	0,0	41,5
30-set-10	2,32	0,00	10,0	87782,4	530150,4	0,0	41,5
16-nov-10	2,35	0,00	10,0	80870,4	502272,0	0,5	42,0
13-dez-10	2,37	0,00	10,0	64972,8	554803,2	0,0	42,0
26-dez-10	2,38	0,00	10,0	60134,4	590284,8	0,0	42,0

De acordo com estes resultados verificou-se que houve persistência da fase livre no período de 18 meses, porém, após 06 meses a espessura da pluma diminuiu de 5 cm para 1 cm, indicando que a técnica de bombeamento e tratamento foi eficiente para controlar a pluma de fase livre. No entanto, é preciso considerar que, embora esta técnica tenha sido eficiente para controlar a pluma de fase livre, não foi eficaz, devido ao longo período de bombeamento necessário, que neste caso foi de 18 meses, mesmo o solo da área sendo arenoso.

O longo período necessário à remediação total da fase livre pode ser atribuído à alta variação do nível freático (tabela 17), sendo necessário o ajuste constante da bomba do sistema à altura do nível freático para que a contaminação em fase livre, mesmo quando em pequenas espessuras, pudesse ser bombeada pelo sistema, evitando com esse procedimento, possíveis atolamentos das bombas e o bombeamento de águas subterrâneas abaixo da zona contaminada.

Em 2010 foram retomadas as atividades de investigação ambiental, com delimitação das plumas de contaminação, de acordo com a Decisão de Diretoria nº 263/2009/P. Em dezembro de 2010 foram instalados dois poços de monitoramento profundos, PMN 03 e PMN 05, formando dois conjuntos de poços multiníveis com os poços de monitoramento rasos PM 03 e PM 05 respectivamente, de modo a avaliar as concentrações de contaminantes próximas ao nível freático e a concentração de contaminantes 2 a 3 metros abaixo. Também foram instalados mais três poços de monitoramento, PM 07, PM 08 e PM 09.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 18, as concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea diminuíram nos poços de monitoramento PM 01, PM 02 e PM 09, bem como nos poços PM 03 e PMN 03, permanecendo uma pluma pontual no PM 01, com concentrações inferiores às máximas aceitáveis (CMA) para a área do auto posto, o que indica que o sistema de bombeamento e tratamento implantado na área não só controlou os poluentes em fase livre como atenuou as concentrações de poluentes em fase dissolvida.

Com base nestes resultados, pôde-se observar que a contaminação foi remediada nesse ponto do aquífero, tendo em vista que não há mais pluma de fase livre e a pluma de fase dissolvida apresentou baixas concentrações de poluentes, que foram pontuais, pois foi verificada apenas concentrações de naftaleno acima dos valores de intervenção da CETESB (2005) no PM 01.

Verificou-se também que a água bombeada do PM 01 e que passou por tratamento pela caixa SAO (caixa separadora de água e óleo) e por carvão ativado, não apresentou concentrações de contaminantes BTEX, podendo ser reinjetada no aquífero, livre de poluentes.

Tabela 18 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Baía do Sol, no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados												Valores de intervenção CETESB (2005)		
	PM 01				PM 02				PM 03						
	jul/06	jun/08	nov/08	dez/10	jul/06	jun/08	mar/10	dez/10	jul/06	jun/08	mar/10	dez/10			
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	<LD	20,238		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	61,800	1535,710	1489,483	<LD	5	
	Tolueno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	3888,300	6916,310	1197,862	<LD	700	
	m,p-xileno	-	4,645		<LD	-	<LD	<LD	<LD	-	3355,530	1798,159	<LD	-	
	o-xileno	-	1,586		<LD	-	<LD	<LD	<LD	-	1394,220	672,405	<LD	-	
	Xileno	<LD	6,231		-	<LD	-	-	-	2733,500	4749,750	2470,564	-	500	
	Etilbenzeno	<LD	1,058		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1038,600	865,860	386,131	<LD	300	
	BTXE total	0,000	27,527		-	0,000	0,000	-	-	7722,200	14067,630	5544,040	-	-	
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	<LD	34,525		148,975	<LD	<LD	10,107	6,824	<LD	26,075	29,538	24,326	140	
	Acenaftileno	4,380	73,489		539,911	9,280	<LD	1,691	27,552	15,540	<LD	<LD	2,170	-	
	Acenafteno	<LD	23,247		23,613	<LD	<LD	0,762	27,552	<LD	<LD	<LD	0,352	-	
	Fluoreno	1,290	50,808		60,972	1,360	<LD	3,351	11,557	3,030	<LD	<LD	1,606	-	
	Fenantreno	1,090	<LD		108,719	0,930	<LD	10,883	2,772	3,090	<LD	<LD	<LD	140	
	Antraceno	6,010	47,501		10,735	5,710	<LD	<LD	7,249	8,630	<LD	<LD	<LD	-	
	Fluoranteno	<LD	26,212		37,884	<LD	<LD	<LD	6,208	<LD	<LD	<LD	<LD	-	
	Pireno	<LD	139,307		54,747	<LD	<LD	0,846	3,610	<LD	<LD	<LD	<LD	-	
	Benzo (a) Antraceno	<LD	16,678		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,75
	Criseno	<LD	15,899		5,419	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (a) Pireno	85,600	<LD		<LD	9,670	<LD	<LD	<LD	<LD	8,280	<LD	<LD	<LD	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	103,940	<LD	<LD	<LD	0,17
Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,18	
Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD		<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-	
PAH Total	98,370	427,666		990,935	26,950	0,000	27,640	93,323	142,510	26,075	29,538	28,454	-		

Continuação da tabela 18 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Baia do Sol Ltda., no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados										Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PMN 03		PM 04		PM 05		PM 06		PMN 05			
	dez/10	jul/06	jun/08	mar/10	dez/10	mar/10	dez/10	mar/10	dez/10	dez/10		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	<LD	<LD	94,063	96,857	<LD	3735,615	1721,871	31,892	3,745	<LD	5
	Tolueno	<LD	148,910	2,964	10,790	<LD	130,111	51,974	64,647	0,944	<LD	700
	m,p-xileno	<LD	-	86,343	23,258	<LD	1665,211	365,067	<LD	2,366	<LD	-
	o-xileno	<LD	-	8,860	2,586	<LD	27,015	11,360	<LD	3,211	<LD	-
	Xileno	-	963,400	95,203	25,844	-	1692,226	376,427	<LD	5,577	-	500
	Etilbenzeno	<LD	836,400	105,965	16,459	<LD	938,226	376,078	12,140	1,073	<LD	300
	BTEX total	-	1948,710	298,195	149,950	-	6496,178	2526,350	108,679	11,339	-	-
	Naftaleno	92,988	<LD	70,912	21,410	1,398	170,103	145,396	<LD	0,532	<LD	140
Acenaftileno	<LD	15,360	<LD	0,951	2,499	<LD	7,038	<LD	2,833	<LD	-	
Acenafteno	1,666	<LD	<LD	28,055	0,498	<LD	0,825	<LD	0,346	<LD	-	
Fluoreno	<LD	0,390	<LD	33,566	0,870	<LD	0,457	<LD	0,868	<LD	-	
Fenantreno	<LD	<LD	<LD	25,416	<LD	<LD	1,771	<LD	1,030	<LD	140	
Antraceno	<LD	17,680	<LD	0,533	<LD	<LD	1,654	<LD	0,654	<LD	-	
Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	10,781	<LD	<LD	1,827	<LD	<LD	<LD	-	
Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,302	<LD	<LD	<LD	-	
PAH µg L ⁻¹	Benzo (a) Antraceno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,75
	Criseno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	6,510	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	5,810	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	PAH Total	94,654	45,750	70,912	120,710	5,265	170,103	160,269	-	6,263	-	-

Continuação da tabela 18 – Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea do auto posto Baia do Sol Ltda., no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB/2005 (Construfer, 2011).

Parâmetros	Pontos amostrados				Valores de intervenção CETESB (2005)	
	PM 07	PM 08	PM 09	CAIXA SAO		
	dez/10	Dez/10	dez/10	dez/10		
BTEX µg L ⁻¹	Benzeno	<LD	323,415	<LD	<LD	5
	Tolueno	<LD	44,120	<LD	<LD	700
	m,p-xileno	<LD	764,643	<LD	<LD	-
	o-xileno	<LD	22,160	<LD	<LD	-
	Xileno	-	786,803	-	-	500
	Etilbenzeno	<LD	740,501	<LD	<LD	300
	BTEX total	-	1894,839	-	-	-
	Naftaleno	<LD	237,537	<LD	-	140
PAH µg L ⁻¹	Acenaftileno	<LD	0,585	<LD	-	-
	Acenafteno	<LD	0,869	<LD	-	-
	Fluoreno	<LD	0,547	<LD	-	-
	Fenantreno	<LD	0,660	<LD	-	140
	Antraceno	<LD	0,810	<LD	-	-
	Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	-	-
	Pireno	<LD	<LD	<LD	-	-
	Benzo (a) Antraceno	<LD	<LD	<LD	-	1,75
	Criseno	<LD	<LD	<LD	-	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	-	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<LD	<LD	<LD	-	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<LD	<LD	-	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<LD	<LD	-	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD	<LD	-	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD	<LD	-	-
	PAH Total	-	241,008	-	-	-

Com base nas últimas vistorias dos poços de monitoramento e nas análises químicas das amostras de água subterrânea, pode-se verificar que o sistema de bombeamento e tratamento remediou a contaminação em fase livre, mas a água subterrânea ainda apresentou contaminantes como benzeno, etilbenzeno, xileno e naftaleno, em fase dissolvida, em concentrações acima dos valores de intervenção da CETESB (2005).

A figura 38 apresenta o croqui da pluma de fase dissolvida do benzeno no plano horizontal, na qual pode ser observado que essa pluma não foi totalmente delimitada pelos trabalhos executados em 2010, pelo fato do ponto PM 08, que seria o delimitante, apresentou concentrações de contaminantes. No entanto, a localização do PM 08 à montante das

principais fontes de contaminação e a litologia próxima à Avenida Manoel Texeira, constituída de rochas sedimentar pouco alterada, são fatores que não permitiram a instalação de mais poços delimitantes.

Conforme pode ser observado na figura 39, croqui da pluma de benzeno no plano vertical, foi delimitada pelo nível freático. A instalação de poços de monitoramento profundos permitiu verificar que os contaminantes se estabilizaram próximo à zona vadosa, não sendo verificadas concentrações de contaminantes em águas mais profundas.

O estudo complementar à investigação detalhada e ao plano de intervenção realizado pela Construferr Engenharia, recomendou a ampliação do sistema de remediação com o bombeamento no ponto PRFD 05, visando atenuar a pluma de contaminantes em fase dissolvida. Com base nestes resultados verificou-se que o sistema de bombeamento e tratamento foi eficiente na remediação de contaminantes em fase livre na área do Auto Posto Baia do Sol Ltda., que apresenta solo areno-siltoso e clima quente, característicos do Aquífero Sedimentar Litorâneo.

No período de três anos, os responsáveis legais pelo auto posto Baia do Sol Ltda. somaram um gasto de R\$50.000,00 com os trabalhos de investigação ambiental e de remediação por bombeamento e tratamento. Para a conclusão da investigação e da remediação por bombeamento e tratamento, com as campanhas semestrais de monitoramento da área contaminada, será necessário investir, aproximadamente, R\$30.000,00. E, portanto, o custo total para a reabilitação da área do Auto Posto Baia do Sol Ltda. será da ordem de R\$80.000,00.

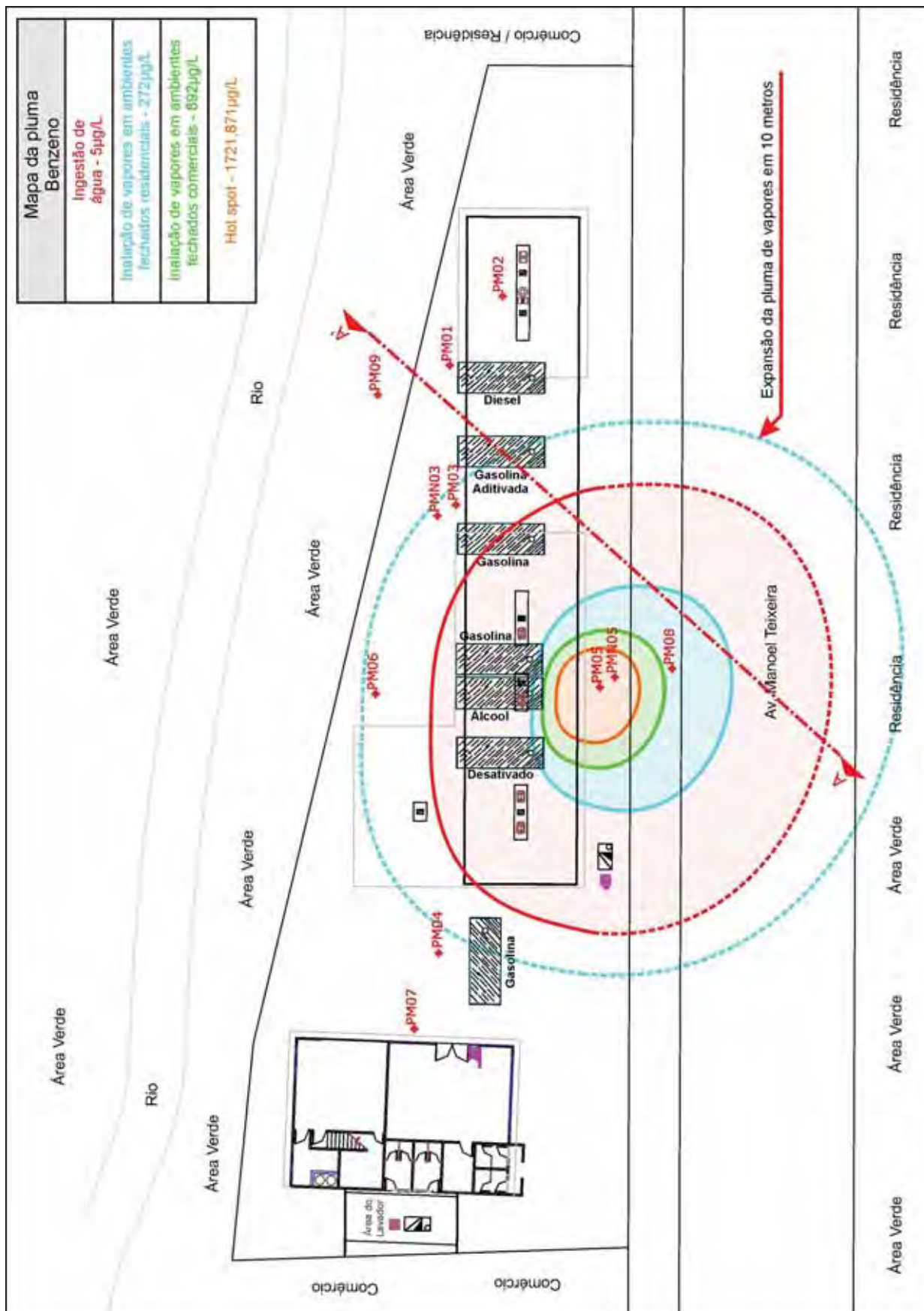


Figura 38 – Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano horizontal, na área do auto posto Baia do Sol Ltda. (Construfer, 2011).

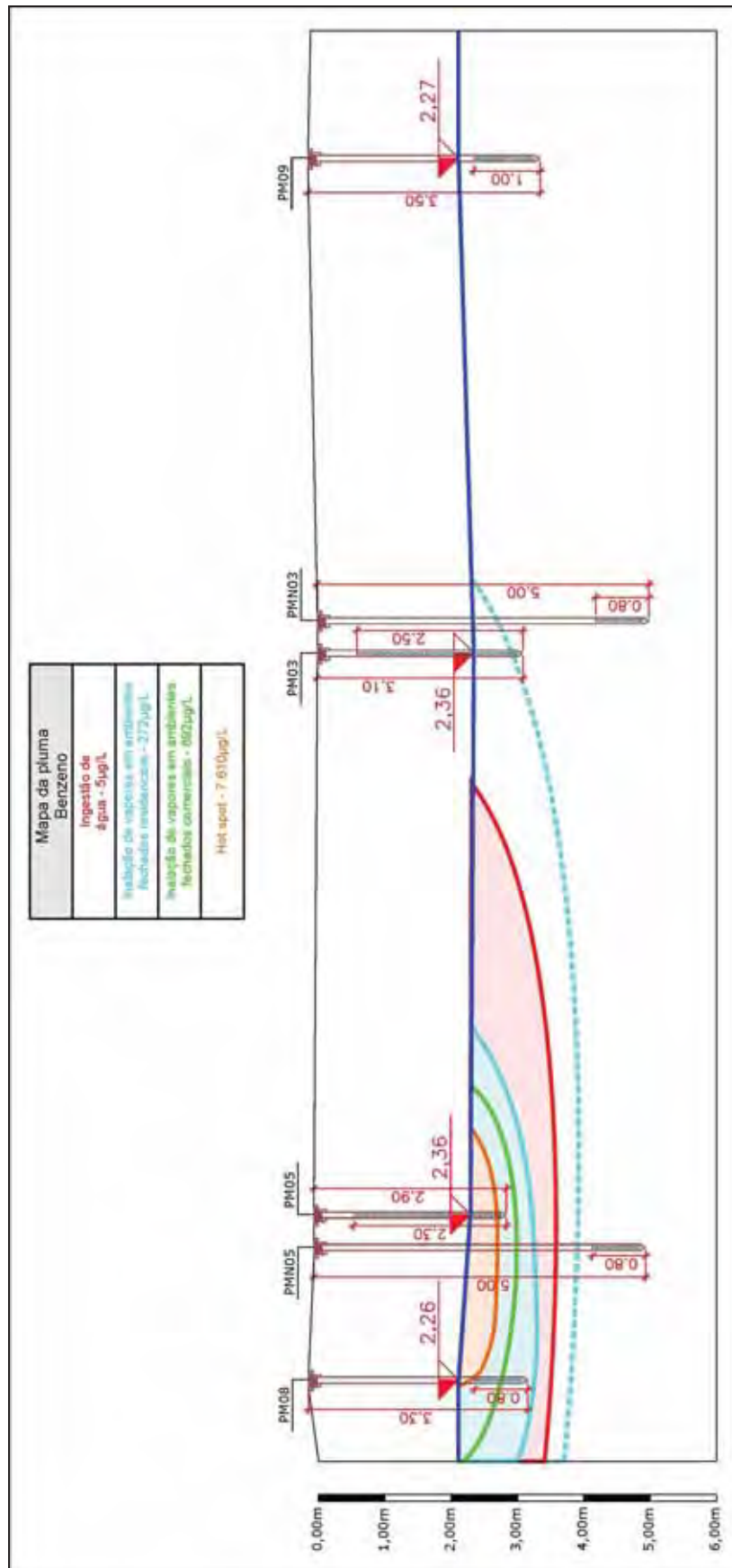


Figura 39 – Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano vertical, na área do auto posto Baía do Sol Ltda. (Construfer, 2011).

6. DISCUSSÕES

Em investigação ambiental realizada no auto posto Therezinha da Silva Pontes, localizado no município de Cachoeira Paulista, no Vale do Paraíba, verificou-se concentrações de contaminantes BTEX e PAH acima dos limites de intervenção da CETESB (2005) no solo e na água subterrânea conforme apresentados nas tabelas 5 e 6.

Os BTEX correspondem a cerca de 18% dos hidrocarbonetos que compõem a gasolina e dentro destes 18%, 31% corresponde ao m-xileno e 11% ao benzeno. Como citado por Corseuil e Martins (1997), os hidrocarbonetos monoaromáticos, tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) são considerados perigosos por serem depressores do sistema nervoso central. Por outro lado, os PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) são componentes presentes no diesel e no óleo lubrificante e também são considerados potencialmente carcinogênicos (TEIXEIRA, 2008).

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 do auto posto em maio de 2009.

Entre maio de 2009 e março de 2011 o sistema de bombeamento e tratamento atuou com pausas de operação, 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 1.879 $\mu\text{g L}^{-1}$. No entanto, quando se avaliou a água bombeada e tratada, verificou-se que o carvão ativado, da forma como estava sendo utilizado, sem a troca por um longo período, sendo usado em sua forma saturada, não estava sendo suficiente para reduzir a concentração de contaminantes em níveis aceitáveis para que a água fosse reinjetada no aquífero. Neste caso, foi identificada a necessidade de substituição do carvão com maior frequência nos filtros empregados para o tratamento da água.

É preciso considerar que a área se encontra sob o Aquífero Sedimentar, da grupo Taubaté e, que embora esteja sobre um solo de baixa permeabilidade, com textura silto-argilosa predominante, apresenta um nível freático muito próximo à superfície, com profundidades que variam de 0,60 a 1,90 metros. Essas características tornam esse aquífero

altamente vulnerável à poluição por hidrocarbonetos, decorrente de vazamentos e derrames acidentais do auto posto Therezinha da Silva Pontes.

Além disso, a textura fina do solo, principalmente devido à presença de grande quantidade de argila, possibilitou a ocorrência de pluma do contaminante benzeno em fase residual e, 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 em fase retida no caso de plantações e outros fins no local que se encontra pluma de contaminantes.

No caso da área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda., localizado no município de Caraguatatuba, esta apresenta características muito peculiares e que aumentam sua vulnerabilidade à poluição por hidrocarbonetos, quando comparada à área do auto posto Therezinha da Silva Pontes Ltda., de Cachoeira Paulista. A área do auto posto Praia das Palmeiras Ltda. se encontra sobre o Aquífero Sedimentar Litorâneo, com solo de textura areno-siltosa, de alta permeabilidade e com um nível freático muito próximo à superfície, com profundidades que variam de 0,70 a 1,10 metros.

Considerando as características dessa área, de acordo com Santos (2009), a advecção é o processo físico de maior influência na migração dos poluentes, pelo qual o poluente dissolvido é transportado juntamente com o fluxo da água subterrânea, na velocidade intersticial do meio poroso. Sara (2003) afirma que esse processo pode ser intensificado com as características climatológicas da área, quando localizada em uma região de clima quente e úmido, a viscosidade diminui, favorecendo o processo de contaminação com a propagação das plumas de contaminantes.

Foi possível observar que, devido à alta permeabilidade do solo, não foi detectada pluma de contaminantes em fase residual, mas foi identificada a pluma de contaminantes em fase livre e dissolvida de BTEX, sendo implantado em fevereiro de 2008 o sistema de remediação por bombeamento e tratamento em três pontos com bomba para a recuperação da fase livre, que chegou a atingir uma espessura próxima a 0,44 metros.

De acordo com Sauck (2000), a fase livre não é composta exclusivamente por hidrocarbonetos, apenas 50% dos vazios do solo são ocupados por hidrocarbonetos, sendo o restante ocupado por água e ar. Por essa razão, não existe um limite entre a fase livre e as

demais fases, mas pode ocorrer a formação de uma camada de transição que pode ser mais ou menos espessa, de acordo com a viscosidade do hidrocarboneto, com a magnitude e frequência de oscilações freáticas, com a quantidade de oxigênio disponível, com a porosidade do solo e, ainda, de acordo com o tempo transcorrido após o vazamento, além de outros intervenientes.

Os hidrocarbonetos monoaromáticos, BTEX são os que possuem maior solubilidade em água e, portanto, são os primeiros contaminantes que atingem o lençol freático (CORSEUIL e MARINS, 1997). Conforme estudos realizados por Silva (2002), os BTEX possuem solubilidade muito superior aos PAHs. O benzeno puro, por exemplo, possui solubilidade de 1.750 mg L⁻¹, enquanto que a solubilidade do naftaleno puro é de 31 mg L⁻¹, indicando que a distribuição da pluma de contaminação dos BTEX impactam uma área muito maior do que a dos PAHs como pode ser evidenciado na tabela 9, que apresenta o histórico das concentrações de contaminantes da área do Auto Posto Praia das Palmeiras.

Após cinco meses de operação do sistema de remediação, verificou-se que grande parte dos contaminantes em fase livre havia sido removida, no entanto, somente após o décimo segundo mês de operação toda a pluma foi recuperada. Coutinho e Gomes (2007) também encontraram resultados similares em um posto de combustível em Belém (PA), que passou por processo de remediação para a recuperação de espessuras filmes de fase livre com a operação do sistema de remediação extração multifásica por 10 meses.

Outro resultado favorável ao processo de remediação, observado no Auto Posto Praia das Palmeiras foi o tratamento eficiente da água bombeada por carvão ativado, que foi reinjetada no aquífero, livre de contaminantes derivados de petróleo, evidenciado pela amostra identificada no Caixa SAO, apresentada na tabela 11, em que não foram verificadas concentrações de contaminantes BTEX e PAHs.

Conforme USEPA (1996), o sistema de remediação por bombeamento e tratamento, possui boa eficiência em solos homogêneos (Tabela 19), como no caso do Auto Posto Praia das Palmeiras, em que o perfil é predominantemente arenoso.

A área do auto posto Parada Obrigatória Ltda., localizada no município de Santo André, região metropolitana de São Paulo, sobre o Aquífero Cristalino foi identificado um solo com predominância de textura argilo-siltosa, que confere baixa permeabilidade e, portanto, retardo no processo de lixiviação de contaminantes. Além disso, o nível freático na área desse auto posto encontra-se a profundidades que variam de 3,0 a 4,5 metros, superiores às profundidades das demais áreas estudadas, o que, de certa forma, diminui a vulnerabilidade

desse aquífero à poluição. O sistema de remediação por bombeamento e tratamento foi instalado para atenuar a pluma de contaminantes em fase dissolvida de BTEX e PAHs, e teve sua eficiência comprovada, diminuindo as concentrações de benzeno de 13.707,55 $\mu\text{g L}^{-1}$ para 61,25 $\mu\text{g L}^{-1}$, em um período de 14 meses, mesmo com as pausas na operação do sistema, devido à baixa permeabilidade do solo, que exigiu ajustes constantes da bomba.

Tabela 19 – Viabilidade da técnica de bombeamento e tratamento em diferentes sites (Adaptado de USEPA, 1996).

Característica do Contaminante				
Hidrogeologia	Móvel e volátil	Móvel dissolvido	LNALP	DNALP
Homogêneo com um perfil	A (1)	A (1-2)	B (2-3)	B (3)
Homogêneo com diferentes perfis	A (1)	A (1-2)	B (2-3)	B (3)
Heterogêneo com um perfil	B (2)	B (2)	B (3)	C (4)
Heterogêneo com diferentes perfis	B (2)	B (2)	B (3)	C (4)
Fraturado	B (3)	B (3)	C (4)	C (4)

Nota: as células com sombra do grupo A representam tipos de sites viáveis para o bombeamento e tratamento, enquanto as células com sombra do grupo C representam inviabilidade. Os números indicam a facilidade da remediação, em que 1 é o mais fácil e 4 mais difícil.

Assim como no auto posto Therezinha da Silva Pontes Ltda., o tratamento da água bombeada por carvão ativado não conseguiu remover totalmente os contaminantes e a água reinjetada no aquífero ainda apresentava derivados de petróleo, isso porque, o carvão ativado já havia superado seu tempo de vida útil e precisava ser substituído.

Conforme USEPA (1996), a técnica de bombeamento e tratamento apresenta baixa eficiência em aquíferos fraturados, tanto na remediação de LNAPL como DNALP, o que pode ter dificultado a remediação da área em questão. Além desta peculiaridade, a área é influenciada por três postos de combustíveis, ocasionando uma dificuldade na interpretação dos centros das plumas de contaminação.

Estudos realizados por Abdanur (2005) indicam que, mesmo quando o aquífero apresenta baixas concentrações de contaminantes, o tempo requerido no processo de remediação varia, conforme as características específicas do local. No caso do Auto Posto Parada Obrigatória, o tempo requerido para a remediação, de mais de 14 meses de operação, conforme observado na tabela 14, está relacionado à baixa capacidade de extração do poço de bombeamento, às dificuldades para a completa interpretação dos dados, pelo fato da

proximidade dos três postos de combustíveis e devido à falta de autorização para ampliação do sistema de remediação por parte do responsável legal do terreno vizinho.

A área do auto posto Baia do Sol Ltda., localizado no município de São Sebastião, encontra-se sobre o Aquífero Sedimentar Litorâneo, com solo constituído basicamente por areia e sedimentos, que lhe confere a característica de alta permeabilidade. Além disso, o nível freático dessa área é relativamente raso, apresentando profundidades que variam de 2,0 a 2,6 metros. Apesar da constituição arenosa do solo, foi detectada a presença de pluma de contaminantes em fase residual, além da pluma de fase livre. O sistema de bombeamento e tratamento adotado foi eficiente e, após 18 meses de operação, conseguiu remediar a pluma de fase livre, que chegou a atingir uma espessura de 18 centímetros. Neste caso, o tratamento da água bombeada e tratada por carvão ativado foi eficiente e a água pôde ser reinjetada no aquífero, livre de contaminantes derivados de petróleo.

Conforme o guia de sistema de remediação por bombeamento e tratamento da água subterrânea, elaborado pela USEPA (1996), a combinação da técnica de biorremediação com o bombeamento e tratamento pode aumentar a eficiência e eficácia do processo em áreas contaminadas por derivados de petróleo e deve ser uma alternativa em solos arenosos. Isso porque, de acordo com Andrade et al. (2010), a biorremediação apesar de ser eficiente em solos contaminados por petróleo, também é dificultada pela baixa permeabilidade do meio em que o contaminante adsorvido no solo não fica disponível para a biodegradação. No caso do Auto Posto Baia do Sol, essa alternativa seria favorecida pela alta permeabilidade do solo local e pelo alto teor de matéria orgânica, sendo portanto, um ambiente favorável ao processo de biodegradação. No entanto, segundo Corseiul et al. (1997), a adição de etanol na gasolina tem efeito negativo sobre a biodegradação dos BTEX e, somente após o completo desaparecimento do etanol há possibilidade de ocorrer a biodegradação do benzeno. É preciso considerar que os efeitos negativos sobre a biodegradação, observados no estudo de Corseiul et al. (1997), devido à presença de etanol na gasolina brasileira, são menores que os efeitos benéficos da diminuição da poluição atmosférica pela mistura de etanol na gasolina. De acordo com Trovão (2006), os combustíveis contendo etanol espalham-se mais rapidamente que os combustíveis sem este aditivo e, o solo contaminado com gasolina misturada ao etanol pode ser considerado uma fonte constante de contaminação, uma vez que o combustível pode transitar de uma fase para outra, justificando, assim, a persistência da fase livre.

O sistema de remediação instalado no Auto Posto Baía do Sol passou a atuar como barreira hidráulica, impedindo que a pluma de contaminação atingisse o corpo d'água localizado à jusante ao Auto Posto, conforme pode ser observado na tabela 18.

Segundo Maresco et al. (2001), além dos processos de intervenção em postos de combustíveis, a atenuação natural dos BTEX deve ser considerada em algumas áreas que apresentem boas condições para a biodegradação dos compostos. No caso do Auto Posto Baía do Sol, além da recuperação pontual da fase livre, a barreira hidráulica que impediu que a pluma de contaminação atingisse áreas de interesse e as características locais como o solo rico em matéria orgânica, podem ter favorecido ao processo de atenuação natural dos contaminantes.

Com base nos resultados obtidos nos quatro estudos de caso, foi possível verificar que, solos predominantemente argilosos, tendem a adsorver os contaminantes derivados de petróleo, atenuando os picos de concentração e o avanço das plumas de contaminação, sendo este, um fator de segurança natural para a proteção de aquíferos, como o Aquífero Sedimentar da Grupo Taubaté e o Cristalino, reduzindo sua vulnerabilidade à poluição decorrente de vazamentos e derrames acidentais em postos de revenda de combustíveis. Neste contexto, o Aquífero Sedimentar Litorâneo, apresentou maior vulnerabilidade em relação aos demais avaliados neste estudo, exigindo, portanto, maiores cuidados por parte dos postos de revenda de combustíveis, referentes à adequação de suas instalações e de descarte de resíduos. Além disso, são necessárias ações de gestão e a tomada de medidas mais severas por parte dos órgãos ambientais e de fiscalização, para que a preservação dos aquíferos seja garantida.

Em avaliações de campo também foi possível observar que os solos argilosos foram os que apresentaram menor permeabilidade, o que prejudicou o bom desempenho do processo de bombeamento, destacando-se a área do auto posto Parada Obrigatória Ltda., em que o sistema teve inúmeras pausas, devido ao poço de bombeamento apresentar baixa capacidade de extração nestas condições.

Por outro lado, nas áreas dos auto postos localizados no litoral norte, sobre solos arenosos, as operações de bombeamento foram favorecidas, mas devido à influência das marés, o nível freático apresentou grande variação, o que também prejudicou o bom desempenho do sistema, sendo necessários constantes ajustes da bomba ao nível freático, de tal forma que a contaminação em fase livre, mesmo em pequenas espessuras, denominadas de “filmes”, pudessem ser bombeadas. Nestes casos, as visitas técnicas foram intensificadas e o processo de bombeamento foi interrompido muitas vezes.

Outro fato importante a ser destacado diz respeito à qualidade da água bombeada e tratada por carvão ativado, que para os auto postos, Therezinha da Silva Pontes Ltda. e Parada Obrigatória Ltda., não foi eficiente, devido ao elevado tempo de uso do carvão ativado no sistema. Nestes casos, a água reinjetada no aquífero ainda apresentava contaminantes derivados de petróleo em concentrações acima dos padrões aceitáveis pela CETESB (2005). Apesar disso, os contaminantes apresentavam concentrações inferiores à da água bombeada, demonstrando que o sistema foi capaz de atenuar estas concentrações, mesmo quando o carvão ativado estava sendo usado a mais tempo do que deveria, sendo recomendado, neste caso, a limpeza continua do sistema e a troca mensal do carvão ativado para que não ocorra sua saturação.

De um modo geral, o sistema de bombeamento e tratamento foi eficiente na remediação das plumas em fase livre e atenuou as plumas em fase dissolvida. Por outro lado, a técnica apresentou baixa eficácia, devido ao longo período de bombeamento necessário à completa remediação das plumas de contaminantes, períodos condizentes com resultados de outros trabalhos. Por exemplo, em estudos de Abdanur (2005), o sistema de bombeamento implementado para remediar o aquífero livre 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 em até 97,9% do valor encontrado no início da remediação.

Comparando-se os valores referentes à implantação e operação do sistema de remediação, apresentados nos estudos de caso com os valores citados por Cruz (2006), observa-se que estes são equivalentes aos apresentados nos estudos de caso conforme tabela 20.

Tabela 20 – Comparação dos custos gastos na investigação e remediação por bombeamento e tratamento em áreas de postos de combustíveis contaminados por hidrocarbonetos.

Custos na investigação e remediação de passivos ambientais		
Identificação do Auto Posto	Valor de investigação ambiental + remediação	Valor estimado da remediação
Auto Posto Therezinha da Silva Pontes	R\$55.000,00	R\$22.000,00
Auto Posto Praia das Palmeiras	R\$42.000,00	R\$20.000,00
Auto Posto Parada Obrigatória	R\$50.000,00	R\$20.000,00
Auto Posto Baía do Sol	R\$50.000,00	R\$18.000,00
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 deste 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, pois 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, e necessários à completa remediação das áreas contaminadas. Apesar disso, no mesmo estudo, Sillos (2006) relata 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). 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 evidencia que existe atualmente uma tendência mundial para a escolha de técnicas de remediação sustentáveis, em que implica na conformidade das atividades corretivas com os princípios de desenvolvimento sustentável. Neste sentido, Stier (2004) diz que ao analisar o processo de tomada de decisão em estudos de caso, conclui-se que o sucesso da remediação está diretamente relacionado à compreensão abrangente das condições do site e não do uso da tecnologia mais recente.

7. RECOMENDAÇÕES

RECOMENDAÇÕES PARA OS ESTUDOS DE CASO

Para a remediação e a posterior obtenção do termo de reabilitação das áreas sob a influência dos postos de revenda de combustíveis estudadas, foram feitas as recomendações descritas a seguir.

1 - Dar continuidade às operações de bombeamento e tratamento no auto posto Therezinha da Silva Pontes Ltda. e realizar um estudo complementar à investigação detalhada, adequando os trabalhos realizados aos procedimentos recentes, determinados pela CETESB, como a delimitação das plumas de contaminação por completo, nos planos horizontal e vertical, para que se possa avaliar a necessidade de adoção de novas medidas;

2 - Apesar da contaminação em fase livre ter sido remediada, o auto posto Praia das Palmeiras necessita da ampliação do sistema de remediação, para atenuar a pluma de contaminação em fase dissolvida. Após atingir as concentrações máximas aceitáveis, será possível iniciar o monitoramento, visando o encerramento, com a realização de quatro campanhas semestrais para avaliar as concentrações de contaminantes nos períodos de chuva e de estiagem;

3 - Embora o sistema de remediação tenha se mostrado eficiente na atenuação da contaminação da área do auto posto Parada Obrigatória Ltda., a real extensão e profundidade da pluma de contaminação não é conhecida. Portanto, recomenda-se a continuidade da investigação detalhada desta área, contemplando também as áreas vizinhas contaminadas, unificando o problema, de tal forma que a reabilitação seja realizada considerando a situação real da área (pluma de contaminação oriunda de três postos de combustíveis);

4 - O auto posto Baía do Sol Ltda. deve continuar com a ampliação do sistema de remediação e, assim que suas metas forem atingidas, deverá iniciar o monitoramento para encerramento, com a realização de quatro campanhas semestrais, para confirmar que a área não apresenta contaminação, que não oferece riscos à saúde pública e impactos ambientais.

De um modo geral, recomenda-se a maior fiscalização e intervenção dos órgãos responsáveis pela qualidade dos aquíferos, principalmente nas áreas mais vulneráveis à contaminação, como no estudo de caso do Aquífero Sedimentar Litorâneo.

RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA O SISTEMA DE REMEDIAÇÃO POR BOMBAMENTO E TRATAMENTO

Para melhorar a eficiência do sistema de remediação por bombeamento e tratamento recomenda-se que:

- 1 – Sejam realizadas vistorias semanais ao sistema, para que a bomba seja ajustada à altura ideal do projeto, melhorando a eficiência do bombeamento da remediação, principalmente em se tratando de recuperação de fase livre em espessuras filmes;
- 2 – O carvão ativado deverá ser trocado com maior frequência, para que com as operações da remediação, o carvão não chegue a ficar saturado, aumentando, com isso, a eficiência do tratamento da água subterrânea;
- 3 – Os pontos de remediação deverão estar localizados de forma a também atuarem como barreiras hidráulicas, assegurando as áreas à jusante dos pontos contaminados;
- 4 – Especialmente nas áreas de armazenamento de combustíveis devem ser realizados testes de estanqueidade para garantir que estas áreas não recebam novas cargas de contaminantes, com vazamentos e derrames de linhas-bombas-tanques;
- 5 – Em alguns casos, onde as condições locais sejam favoráveis (solos arenosos e com elevado teor de matéria orgânica), a biorremediação pode ser uma técnica complementar ao sistema de bombeamento e tratamento.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os postos de revenda de combustíveis, principalmente os que possuem muito tempo de operação, são potencialmente, poluidores do meio ambiente, devido aos vazamentos e derrames de combustíveis, que podem percolar no solo e atingir os aquíferos.

Diante das exigências ambientais e da necessidade e importância da preservação dos aquíferos, os custos com investigação ambiental e remediação de solos e de águas subterrâneas devem ser considerados investimentos. No entanto, é preciso realizar uma boa investigação ambiental, que inclua todas as possíveis fontes de contaminação e que delimite as plumas de contaminação das substâncias químicas de interesse, adotando os procedimentos estabelecidos pela CETESB, aprovados pela Decisão de Diretoria N° 103/200/C/E de 22 de junho de 2007 e N° 263/2009/P de 20 de outubro de 2009.

No caso de identificação de pluma de contaminantes em fase livre, o sistema de remediação deve ser implantado imediatamente à ocorrência, de tal forma que a recuperação (retirada) do contaminante da área possa ser completa. O sistema de remediação também deverá ser implantado para os casos de identificação de plumas de contaminantes em fase residual e dissolvida, que ofereçam riscos à saúde humana no cenário de exposição, como inalação, ingestão, contato, entre outros.

Embora existam diversas técnicas de remediação, para que um projeto seja bem sucedido é preciso elaborar um modelo conceitual, com a interpretação correta dos dados disponíveis, associando informações do meio físico (hidrogeologia, geologia, pedologia, clima, entre outras) às características e comportamento dos contaminantes e os cenários de risco, alinhando tais fatores aos conceitos de remediação sustentável, como descrito por Hoffman (1993) e Lopes (2005).

O sistema de remediação por bombeamento e tratamento tem sido a técnica mais utilizada no Brasil e no mundo e sua eficiência em remediar diferentes aquíferos contaminados por derivados de petróleo, classificados como NAPL (menos densos que a água), foi evidenciada neste estudo pela remediação (recuperação) da pluma em fase livre e pela atenuação da pluma em fase dissolvida.

De um modo geral, verificou-se neste estudo que essa técnica se mostrou mais eficiente em solos arenosos, considerando que a baixa permeabilidade dos solos argilosos prejudicou o desempenho do processo de bombeamento, tornando-o mais lento.

Outra vantagem observada para a técnica de bombeamento e tratamento é que esta não oferece riscos ao funcionamento dos postos de revenda de combustíveis, não sendo necessária a interdição desta atividade comercial durante a remediação da área.

Apesar da técnica de bombeamento e tratamento ter se mostrado eficiente, em alguns casos exigiu um tempo maior para a descontaminação da área. No entanto, quando o sistema implantado é bem dimensionado e as características do meio físico são favoráveis, poderá atuar como barreira hidráulica, não deixando a contaminação atingir áreas à jusante, assegurando as áreas vizinhas. Além disso, com relação aos custos para implantação e operação, a aplicação da técnica do bombeamento e tratamento na remediação de áreas contaminadas por derivados de petróleo, mesmo exigindo um tempo maior de operações, quando comparada a outras técnicas, ainda é vantajosa. Também foi observada neste estudo uma tendência à seleção de técnicas de remediação in situ, com base no conceito de remediação sustentável.

Diante de tais considerações, é possível concluir que 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 que tem eficiência comprovada, principalmente para solos arenosos, com média a alta permeabilidade, como comprovado neste estudo.

9. 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.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Construção de poços de monitoramento e amostragem – NBR-13895, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Método de purga – NBR-15847, 2010.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar – NBR-15515-1, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Avaliação Confirmatória – NBR-15515-2, 2011.

ALVES, L. Metanol combustível potente. Brasil Escola. Acesso em 5 de junho de 2010. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/quimica/metanol-combustivel-potente.htm>>.

ANDRADE, J.A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I.C.S.F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Eclética Química, volume 35, número 3. São Paulo, 2010.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim mensal da qualidade dos combustíveis automotivos brasileiros. Brasília, 2007.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim mensal da qualidade dos combustíveis automotivos brasileiros. Brasília., 2009.

BARROS, D.; OLIVEIRA, V.; SANTANA, M.F.E.; CARVALHO, D. D. Caracterização ambiental dos postos de revenda de combustíveis no Rio de Janeiro. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal, 2008, 17p.

CEMBRANELLI, M.A.R. Lixiviação de íons inorgânicos em solos que receberam fertilizantes nitrogenados. Dissertação de Mestrado (Mestre em Gestão de Recursos Agroambientais). IAC, Campinas, 2006, 82p.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Clima dos Municípios Paulistas. Acessado em 23 de janeiro de 2012. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>.

CETESB. Glossário Ecológico Ambiental. Acesso em 05 Junho 2010. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/glossario/glossario_p.aspl>.

CETESB. 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. São Paulo, 2005, 4p.

CETESB. Procedimento para identificação de passivos ambientais em estabelecimento com SASC. Decisão de Diretoria nº 010-2005-C, de 26-01-2006 Roteiro IV e anexos. São Paulo, 2006, 11p

CETESB. Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007. São Paulo, 2007, 40 p.

CETESB. 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. São Paulo, 2009, 55 p.

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

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 273, 20000, 4 p.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Relatório de Investigação Detalhada – Auto Posto Praia das Palmeiras. Guaratinguetá, 2007.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Memorial de Serviços Executados – Auto Posto Praia das Palmeiras. Guaratinguetá, 2008.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea e Verificação da Eficiência e Eficácia do Sistema de Remediação - Auto Posto Praia das Palmeiras. Guaratinguetá, 2009.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Estudo Complementar a Investigação Detalhada e ao Plano de Intervenção - Auto Posto Praia das Palmeiras. Guaratinguetá, 2011.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Plano de Intervenção: implantação de um sistema de remediação para atenuação da fase dissolvida - Auto Posto Parada Obrigatória. Guaratinguetá, 2010.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Verificação da Eficiência e Eficácia do Sistema de Remediação - Auto Posto Parada Obrigatória. Guaratinguetá, 2010.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea - Auto Posto Parada Obrigatória. Guaratinguetá, 2011.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Investigação Detalhada - Auto Posto Baia do Sol Ltda. Guaratinguetá, 2008.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Monitoramento da Eficiência e Eficácia do Sistema de Remediação - Auto Posto Baia do Sol Ltda. Guaratinguetá, 2009.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea - Auto Posto Baia do Sol Ltda. Guaratinguetá, 2010.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Estudo Complementar a Investigação Detalhada e ao Plano de Intervenção - Auto Posto Baia do Sol Ltda. Guaratinguetá, 2011.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Investigação de Passivo Ambiental - Auto Posto Therezinha da Silva Pontes. Guaratinguetá, 2009.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Investigação Detalhada - Auto Posto Therezinha da Silva Pontes. Guaratinguetá, 2009.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Plano de Intervenção - Auto Posto Therezinha da Silva Pontes. Guaratinguetá, 2009.

CONSTRUFER ENGENHARIA. Verificação da Eficiência e Eficácia do Sistema de Remediação - Auto Posto Therezinha da Silva Pontes. Guaratinguetá, 2011.

CORSEUIL, H.X.; MARINS, M.M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: o problema é grave? Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, v.2, n.2, 50-54p.

CORSEUIL, H.X.; MARINS, M.D.M. Efeitos causados pela mistura de gasolina e álcool em contaminações de águas subterrâneas. Bol. Téc. Petrobrás, v.41, n.3/4. Rio de Janeiro, 1998, 10-11p.

CORSEUIL, H.X.; SANTOS, R.F.; FERNANDES, M. Contaminação de aquíferos por derramamentos de gasolina e álcool. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Foz do Iguaçu, 1997, 5p.

COUTINHO, R.C.P; GOMES, C.C. Técnicas para remediação de aquíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007, 19p.

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

DEMUELENAERE, R.G.A. Caracterização de propriedades de transporte de metais pesados em solos residuais do Rio Janeiro. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil). PUC, Rio de Janeiro, 2004, 120p.

ECKERT, P.; ROHNS, H.P.; SCHUBERT, J. Field investigation for in situ remediation of BTEX contaminated groundwater by addition of nitrate. Groundwater quality: remediation and protection. IAHS Publ. Institute of Applied Geology, University of Bochum – Germany, 1998, 3p.

EXPLORE VALE. Características de Cachoeira Paulista. Acessado em: 10 de janeiro de 2011. Disponível em < <http://www.explorevale.com.br/cidades/cachoeirapaulista/index.htm> >.

FAVERA, C.H.D. Sites contaminados por hidrocarbonetos: Principais técnicas de remediação e estudo de caso. UFSM, trabalho de conclusão de curso – engenharia civil. Rio Grande do Sul, 2008, 104p.

FAUST, C.R. Transport of immiscible fluids within and below the unsaturated zone: a numerical model. Water Resources. Virginia, 1985, 587-596 p.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os componentes do meio físico. São Paulo. 1998, 527 – 557p.

FETTER, C.W. Contaminant Hydrogeology. Macmillan. New York, 1993, 458p.

FITTS, C.R. Groundwater Science. Academic Press, Amsterdam, 2002, 450p.

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, 2007, 1539-1544p.

FOSTER, S. e HIRATA, R. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. Boletim do Instituto Geológico, n. 10. São Paulo, 1993, 92 p.

FÚLFARO, A.J. e BJOMBERG, A.J.S. Geologia. Capítulo 1. Solos do Interior de São Paulo. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – Núcleo Regional de São Paulo (ABMS) e Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (USP). São Carlos. 1993.

GIAMPÁ, C.E.Q. Demanda por água na América Latina cresceu 76% em 15 anos. Revista Água e o Meio Ambiente Subterrâneo. ABAS – Revista Técnica Águas Subterrâneas 2010 – Ano 3 n° 18, 10-11p.

GOUVÊA, J.L.N. Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas. Dissertação de Mestrado (Mestre em Saúde Pública). USP, São Paulo, 2004, 214p.

GUIGUER, N. Poluição das Águas Subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento. Waterloo Hydrogeologic, Inc, 1996, 356p.

HIRATA, R. Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquíferos. I Seminário- Taller: Protección de aquíferos frente a la contaminación: Metodología. México, 2001.

HOFFMAN, F. Ground-water Remediation Using “Smart Pump and Treat”. University of California. California, 1993.

HUTLEY, D.; HAWK, R.N.; CORLEY, H.P. Nonaqueous phase hydrocarbon in a fine-grained sandstone: 1. Comparison between measured and predicted saturations and mobility. Groundwater, v.32, n.4, 1994, 6p.

IBGE. Censo Demográfico Brasil 2010. Acesso em 19 de março de 2011. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>

INGEBRITSEN, S.E; SANFORD, W.E. Groundwater in geologic process. New York: Cambridge University Press, 1999, 341p.

INSTITUTO GEOLÓGICO. Mapa hidrogeológico do Estado de São Paulo. São Paulo. 2005.

IRITANI, M.A. e EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Secretária do Estado do Meio Ambiente – SMA. São Paulo, 2009. 104p.

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

NUNES, C.C. e CORSEUIL, H. X. Importância do etanol na atenuação natural de águas subterrâneas impactadas por gasolina. Eng. Sanitária Ambiental, Vol.12 - Nº 3 - jul/set 2007, 259-265p.

MANCINI, T.M. Métodos de caracterização de áreas potencialmente contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002, 187p.

MARESCO, V.S; KEARNS, A.; BYRNES, T.R. Evidence for natural attenuation of BTEX after termination of a groundwater pump-and-treat system – A case study. Acessado em 5 de Junho de 2011. Disponível < info.ngwa.org/gwol/pdf/950162056.PDF>.

MARQUES, C.E.B.; PUGAS, C.G.S.; da SILVA, F.F.; MACEDO, M.H.A; PASQUALETTO, A. O licenciamento ambiental dos postos de revenda varejista de combustíveis de Goiânia. Goiânia, 2008, 31p.

MARQUES, E.J.N.; LOCATELLI, M.A.F.; JARDIM, W.F. Remediação ex-situ de solos contaminados com Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH) oriundos de óleos combustíveis. 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. UNICAMP, Campinas, 2009. 1p.

MELLO, A.Y.I. e ROMEIRO, A.R. Importância da Escala para a Valoração dos Serviços Ecosistêmicos. V Encontro Nacional da Anppas. Florianópolis, 2010, 17p.

MICHELIS, C., SCHNEIDER, M.R., COELHO, J.I.E. Avaliação de risco à saúde humana em terminais de Armazenamento de petróleo e derivados: estudos de casos – XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, MT, Brasil, Outubro, 2004. 12p.

OLIVEIRA, E. Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo. Dissertação de Mestrado. USP/IGC. São Paulo, 1992, 112p.

OLIVEIRA, E. Era da água. Blog da água e meio ambiente subterrâneo. Acesso em: 05 Junho 2011. Disponível em < <http://eradaagua.wordpress.com/> >.

OLIVEIRA, E. O etanol é um contaminante? Revista Meio Ambiente Industrial, Ed. 26, p. 94-95, 2000.

PEDROSA, T.R.M.A.M; CASTRO, D.L. de; BRANCO, R.M.G.C. Caracterização de plumas de contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método do Radar de Penetração do Solo (GPR). Revista de Geologia, Vol.19. N.1, 2006, 73-86p.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Poluição das águas subterrâneas. Acessado em 15 de Março de 2011. Disponível em <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-poluicao-da-agua/poluicao-das-aguas-subterraneas-2.php>>.

QUEIROZ, P.I.B. Um método numérico para análise de adensamento e transporte de contaminantes no solo. Tese de Doutorado (Doutor em Ciências) ITA, São José dos Campos, 2002, 166p.

SAAD, R. Os impactos da legislação ambiental na indústria. Revista e portal meio filtrante. Ano VIII – Edição nº 38 – Maio/Junho de 2009. Acesso em: 05 Junho 2010. Disponível em <http://www.meiofiltrante.com.br/ver_materiadetalhe-485-n38.htm>.

SALGADO, P.E.T e MARONA, H.R.N. Informações gerais e ecotoxicológicas de solventes clorados. Série Caderno de Referência Ambiental v. 15. Salvador, 2004, 510p.

SANTOS, A.H.P. dos. Simulação composicional para transporte de hidrocarbonetos em aquíferos. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Petróleo). UNICAMP. Campinas, 1998, 132p.

SANTOS, D.A.R. Análise do Monitoramento ambiental da delimitação das plumas de contaminantes provenientes de vazamentos em postos de combustíveis: estudo de caso no médio Vale do Paraíba. Dissertação de Mestrado, UNESP/FEG. Guaratinguetá, 2009, 126p.

SANTOS, R.F., MONTENEGRO, M.A.P, LUZ, L.B., CORSEUIL, H.X. Influência do Etanol da Biodegradação do Benzeno em Aquíferos Contaminados com Derramamentos de Gasolina. In: 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA), Gramado, 1996.

SARA, M.N. Site Assessment and remediation handbook. Second Edition. Lewis Publishers. London, 2003, 1160p.

SAUCK, W.A. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sand sediments. Journal of Applied Geophysics, vol. 44, 2000,151-165p.

SBPE – SOCIEDADE BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. Seminário sobre desabastecimento do álcool e o risco do metanol. Rev. Brasileira de Energia, vol.1 n.2, 1989, 5p.

SCHNEIDER, M.R. Intemperismo de fontes de contaminação em aquíferos impactados por derramamentos de gasolina e álcool e a influência sobre o risco à saúde humana. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Ambiental). UFSC, Florianópolis, 2005, 192p.

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.

SILVA, J.A.F. Sistematização e avaliação de técnicas aplicadas à caracterização e diagnóstico de área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geociências), UNESP. Rio Claro, 2002, 138p.

SILVA, M.A.B. Sistema de classificação Fuzzy para áreas contaminadas. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005, 221p.

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

SUGIMOTO, L. Sensores detectam e monitoram contaminação de águas subterrâneas. Jornal da Unicamp. Campinas, 2004, 1p.

STEWART, R. Groundwater remediation. Environmental Geoscience, an online textbook. 2008. Acesso em 05 de Junho de 2009. Disponível em <<http://oceanworld.tamu.edu/resources/environment-book/groundwaterremediation.html>>.

SYSTEM WORK AMBIENTAL. Laudo Técnico de Passivo Ambiental – Auto Posto Praia das Palmeiras. 2007.

TEIXEIRA, R. M. Postos de combustíveis - contaminação de aquíferos e solos por vazamento em tanques subterrâneos. Blog Saneamento Ambiental, 2008. Acesso em: 05 Junho 2009. Disponível em < http://sanambiental.blogspot.com/2008_10_01_archive.html>.

TIBURTIUS, E.R.L., ZAMORA, P.P., LEAL, E.S. Contaminação de águas por BTEX e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. Quim. Nova, 2004, 441-446p.

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. Light nonaqueous phase liquids. United States Environmental Protection Agency. EPA, Washington, 1995, 28p.

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

USEPA – United States of Environmental Protection Agency. Pump and treat ground-water remediation: a guide for decision makers and practitioners. EPA, Washington, 1996, 75p.

USEPA - United States of Environmental Protection Agency. Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments. United States Environmental Protection Agency. EPA, Washington, 1997, 28p.

WEBER J.W.J.; McGINLEY, P.M.; LYNN, E.K. Sorption phenomena in subsurface systems: concepts, models and effects on contaminant fate and transport. Water Research, 1991, 499-528p.

ANEXO

AUTORIZAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

AUTORIZAÇÃO

Marco Antônio Nobre de Aquino Almeida, engenheiro civil, com registro no CREA de São Paulo sob nº 060.171.016-9, proprietário da empresa **CONSTRUFER ENGENHARIA**, sob razão social de Marco Antônio Nobre de Aquino Almeida EPP, inscrita no CNPJ nº 53.329.926/0001-91, estabelecida a Avenida Professor João Rodrigues Alckmin nº 515, Beira Rio, Guaratinguetá/SP, telefone (12) 3125-1317, empresa responsável pelo gerenciamento ambiental das áreas do **AUTO POSTO PARADA OBRIGATÓRIA LTDA, AUTO POSTO BAIA DO SOL LTDA., AUTO POSTO PRAIA DAS PALMEIRAS e THEREZINHA DA SILVA PONTES**, vem por meio desta, autorizar a divulgação das informações acerca dos resultados das operações dos sistemas de remediação implantados nas áreas dos supracitados Auto Postos para fins acadêmicos, vinculados ao trabalho (dissertação) de pesquisa de **Priscyla A. de Campos Freire**, discente do **Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental - UNESP**.

Guaratinguetá, 10 de agosto de 2011.


Marco Antônio Nobre de Aquino Almeida
Diretor e Proprietário
CONSTRUFER ENGENHARIA