



Universidade Estadual Paulista



“Júlio Mesquita Filho”

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO EM PROCESSOS DE
CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS**

JOSÉ EDUARDO TADDEI CARDOSO

BAURU - SP

2018

JOSÉ EDUARDO TADDEI CARDOSO

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO EM PROCESSOS DE
CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Lodi

BAURU - SP

2018

Cardoso, José Eduardo Taddei.

Avaliação de técnicas de remediação em processos de contaminação da água e do solo por hidrocarbonetos / José Eduardo Taddei Cardoso, 2018
139 f.: il.

Orientadora: Paulo Cesar Lodi

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2018

1. Hidrocarbonetos. 2. Postos de combustíveis. 3. Remediação. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru. II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOSÉ EDUARDO TADDEI CARDOSO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 22 dias do mês de junho do ano de 2018, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. PAULO CESAR LODI - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof^a. Dr^a LARISSA QUARTAROLI do(a) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental / Pós doutorado, Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Centro Universitário de Lins - UNILINS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOSÉ EDUARDO TADDEI CARDOSO, intitulada **AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO EM PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APPROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. PAULO CESAR LODI

Prof^a. Dr^a LARISSA QUARTAROLI

Prof. Dr. RICARDO MOLTO PEREIRA

RESUMO

No Brasil, a contaminação por hidrocarbonetos da água subterrânea e do solo, em especial, por óleo diesel e a pela gasolina, têm sido alvo de diversas pesquisas, devido ao grande número de áreas de contaminação e a complexidade dos fenômenos de interação com o solo. Essa contaminação pode ocorrer por derramamentos acidentais, por evaporação e na grande maioria, pela corrosão dos tanques subterrâneos. Para minimizar tais efeitos e atender as demandas ambientais, diversas técnicas de remediação podem ser empregadas. Neste sentido, este trabalho busca avaliar as técnicas de remediação aplicadas para conter a contaminação por hidrocarbonetos em água subterrânea e solo em postos de combustíveis do Estado de São Paulo, através da revisão de técnicas de remediação e da compilação de estudos de casos. Estes estudos foram desenvolvidos nas cidades de Itaporanga, Itaí, Taguaí, Cachoeira Paulista, Caraguatatuba, Avaré, Santo André e São Sebastião com a aplicação das seguintes técnicas de remediação: Biorremediação, Bombeamento e Tratamento, Remoção de Gases, Extração de Vapores do Solo (SVE) e Extração Multifásica (MPE). Os principais resultados mostram que as técnicas de remediação utilizadas em todos os casos apresentaram resultados satisfatórios conseguindo remover grande parte dos contaminantes na fase livre atenuando também na fase dissolvida. Em alguns casos analisados, a associação de técnicas como injeção de Ar no Solo (AS), Extração de Vapores do Solo, Extração Multifásica e Biorremediação proporcionaram aumento de potencial e consequente diminuição do tempo da remediação.

Palavras-chave: Hidrocarbonetos, Postos de combustíveis, Remediação.

ABSTRACT

In Brazil, the contamination by hydrocarbons of groundwater and soil, in particular by diesel oil and by gasoline, has been the subject of several surveys, due to the large number of contamination areas and the complexity of soil interaction phenomena. This contamination can be caused by accidental spills, by evaporation and in the great majority by the corrosion of the underground tanks. To minimize such effects and meet environmental demands, various remediation techniques may be employed. In this sense, this work tries to evaluate the remediation techniques applied to contain the contamination by hydrocarbons in groundwater and soil in fuel stations of the State of São Paulo, through the revision of remediation techniques and the compilation of case studies. These studies were carried out in the cities of Itaporanga, Itaí, Taguaí, Cachoeira Paulista, Caraguatatuba, Avaré, Santo André and São Sebastião with the application of the following remediation techniques: Bioremediation, Pumping and Treatment, Gas Removal, Soil Vapor Extraction (EVS) and Multiphase Extraction (MPE). The main results show that the remediation techniques used in all cases presented satisfactory results, being able to remove much of the contaminants in the free phase, also attenuating in the dissolved phase. In some cases, the association of techniques such as soil air injection (AS), soil vapor extraction, multiphase extraction and bioremediation have led to an increase in potential and consequent reduction of remediation time.

Keywords: Hydrocarbons, Gas stations, Remediation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	2
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS	7
3.2	HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS	9
3.2.1	Hidrocarbonetos Monoaromáticos	9
3.2.2	Hidrocarbonetos Policíclicos	11
3.3	PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO	12
3.3.1	Biorremediação	13
3.3.2	Processos Físicos e Químicos	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	ÁREA 1: ITAPORANGA	22
4.1.1	Localização e caracterização da área	22
4.1.2	Análise Investigativa e método de remediação	23
4.2	ÁREA 2: ITAÍ	25
4.2.1	Localização e caracterização da área	25
4.2.2	Análise Investigativa e método de remediação	26
4.3	ÁREA 3: TAGUAÍ	32
4.3.1	Localização e caracterização da área	32
4.3.2	Análise Investigativa e método de remediação	32
4.4	ÁREA 4: CACHOEIRA PAULISTA	35
4.4.1	Localização e caracterização da área	35
4.4.2	Análise Investigativa e método de remediação	36
4.5	ÁREA 5: CARAGUATATUBA	38
4.5.1	Localização e caracterização da área	38
4.5.2	Análise Investigativa e método de remediação	39
4.6	ÁREA 6: AVARÉ	43
4.6.1	Localização e caracterização da área	43
4.6.2	Análise Investigativa e método de remediação	44
4.7	ÁREA 7: SANTO ANDRÉ	46
4.7.1	Localização e caracterização da área	46
4.7.2	Análise Investigativa e método de remediação	47
4.8	ÁREA 8: ITAÍ	49
4.8.1	Análise Investigativa e método de remediação	49
4.9	ÁREA 9: SÃO SEBASTIÃO	50
4.9.1	Localização e caracterização da área	50
4.9.2	Análise Investigativa e método de remediação	51
5	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES	53

5.1	ÁREA 1.....	53
5.2	ÁREA 2.....	63
5.3	ÁREA 3.....	74
5.4	ÁREA 4.....	77
5.5	ÁREA 5.....	85
5.6	ÁREA 6.....	99
5.7	ÁREA 7.....	111
5.8	ÁREA 8.....	116
5.9	ÁREA 9.....	120
5.10	COMPARATIVO ENTRE OS CASOS.....	128
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
7	CONCLUSÕES.....	131
8	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	132
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Solo contaminado por BTEX.	5
Figura 2: Esquema representativo das principais frações contaminantes envolvidas em vazamentos de derivados de petróleo.	6
Figura 3: Remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos.	7
Figura 4: Grupo de hidrocarbonetos.	8
Figura 5: Representação da estrutura dos BTEX.	10
Figura 6: Estrutura de alguns Hidrocarbonetos Poliaromáticos.	12
Figura 7: Esquema de um <i>Air Stripper</i> de coluna.	17
Figura 8: Esquematisação de um <i>Low Profile Air Strippers</i>	17
Figura 9: Sistema de extração de vapores.	19
Figura 10: Limites do município de Itaporanga-SP.	23
Figura 11: Modelo conceitual do sistema (ET-CBC).	24
Figura 12: Limites do município de Itaí-SP.	26
Figura 13: Locação dos pontos de investigação na Área 2.	27
Figura 14: Sentido da movimentação da água subterrânea.	29
Figura 15: Locação dos pontos PM8 a PM14 – Investigação Detalhada.	30
Figura 16: Instalação do sistema de remediação da Área 2.	31
Figura 17: Cronograma das atividades investigatória.	31
Figura 18: Limites do município de Taguaí - SP.	32
Figura 19: Instalação do Posto, Localização do Sistema de Remediação, Poços de Monitoramento (PM) e Poços de Extração (PE).	34
Figura 20: Limites do município de Cachoeira Paulista - SP.	36
Figura 21: Croqui do sistema de remedição implantado na Área 4.	37
Figura 22: Croqui potenciométrico da Área 4.	38
Figura 23: Limites do município de Caraguatatuba.	39
Figura 24: Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantados na Área 5.	40
Figura 25: Croqui do escoamento subterrâneo da Área 5.	42
Figura 26: Instalação de tanques ecológicos na Área 5.	43
Figura 27: Limites do município de Avaré-SP.	44
Figura 28: Localização das sondagens de reconhecimento e distribuição dos resultados analíticos do solo.	45
Figura 29: Limites do município de Santo André-SP.	47
Figura 30: Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantados na Área 7.	49
Figura 31: Limites do município de São Sebastião -SP.	51
Figura 32: Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantados na Área 9.	52
Figura 33: Comportamento da fase livre nos poços de monitoramento.	56
Figura 34: Comparação das plumas de contaminação.	57
Figura 35: Evolução da concentração de BTEX em PT1.	58

Figura 36: Evolução da concentração de BTEX em PT12.	58
Figura 37: Evolução da concentração de BTEX, naftaleno e fenantreno em PT11...	59
Figura 38: Comportamento da fase dissolvida de BTEX, naftaleno e fenantreno em PT16.....	59
Figura 39: Produto recuperado em litros.	62
Figura 40: Evolução da contaminação em PM 03.	69
Figura 41: Evolução da contaminação em PM 04.	69
Figura 42: Evolução da contaminação em PM 05.	70
Figura 43: Evolução da contaminação em PM 09.	71
Figura 44: Evolução da contaminação em PM 10.	71
Figura 45: Evolução da contaminação em PM 11.	72
Figura 46: Evolução da contaminação em PM 13.	73
Figura 47: Evolução da remediação por coleta.	74
Figura 48: Comportamento Fase Livre.	76
Figura 49: Período de Recuperação de produto.	76
Figura 50: Croqui da pluma dissolvida de benzeno na Área 4.	80
Figura 51: Concentração de BTEX no PM 02 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.	83
Figura 52: Concentração de BTEX no PM 03 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.	83
Figura 53: Concentração de BTEX no PM 04 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.	84
Figura 54: Croqui da pluma de fase livre delimitada na Área 5.	89
Figura 55: Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano horizontal na Área 5. ...	97
Figura 56: Croqui da pluma de benzeno no plano vertical na Área 5.	98
Figura 57: Evolução da espessura de fase livre.	102
Figura 58: Evolução da espessura de fase livre.	104
Figura 59: Evolução das espessuras de fase livre.	107
Figura 60: Evolução das espessuras de fase livre nos poços.	110
Figura 61: Evolução das concentrações de benzeno.	110
Figura 62: Concentrações de benzeno nos poços de monitoramento instalados na Área 7.....	116
Figura 63: Área de interesse induzida pelo bombeamento.	118
Figura 64: Comportamento da fase livre.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição das fases do contaminante.	6
Tabela 2: Valores orientadores para águas subterrâneas no estado de São Paulo para alguns hidrocarbonetos de petróleo.	9
Tabela 3: Propriedades físicas e químicas dos BTEX.	10
Tabela 4: Propriedades físico-químicas de alguns PAH's.	11
Tabela 5: Tipos de configuração de sistemas de remediação.	13
Tabela 6: Tecnologias de tratamento por processos físico-químicos, térmicos e de disposição.	15
Tabela 7: Vantagens e Desvantagens da tecnologia <i>Pump and Treat</i>	16
Tabela 8: Vantagens e desvantagens do sistema <i>Air Stripping</i>	18
Tabela 9: Vantagens e desvantagens do sistema Soil Vapor Extraction (SVE).	19
Tabela 10: Vantagens e desvantagens do sistema MPE.	21
Tabela 11: Aplicações de Peróxido de Hidrogênio.	25
Tabela 12: Aplicações de Produto Bioestimulante.	25
Tabela 13: Informações técnicas dos poços de monitoramento.	27
Tabela 14: Informações técnicas e localização das sondagens.	28
Tabela 15: Características físicas do solo amostrado.	28
Tabela 16: Cargas e potenciais hidráulicos.	28
Tabela 17: Campanhas de Amostragem de Água Subterrânea.	35
Tabela 18: Monitoramento na Área 4.	36
Tabela 19: Dados dos poços de monitoramento instalados na Área 5.	41
Tabela 20: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.	53
Tabela 21: Análise dos Parâmetros BTEX e PAH's – Água.	54
Tabela 22: Análises dos parâmetros BTEX e PAH's - Solo.	54
Tabela 23: Resumo das fases detectadas na Investigação Detalhada.	55
Tabela 24: Quantidade de fase livre identificada no poço de monitoramento.	55
Tabela 25: Resumo de eficiência (ϵ).	60
Tabela 26: Resultados analíticos em água.	60
Tabela 27: Recuperação de óleo diesel.	61
Tabela 28: Resultados analíticos para amostras solos - BTEX.	63
Tabela 29: Resultados analíticos para amostras solos - BTEX.	64
Tabela 30: Resultados analíticos das amostras solos - PAH's.	65
Tabela 31: Resultados analíticos das amostras solos - PAH.	66
Tabela 32: Resultados analíticos das amostras água - BTEX.	66
Tabela 33: Resultados analíticos para amostras água - PAH's.	67
Tabela 34: Estado de contaminação do solo.	68
Tabela 35: Estado de contaminação da água subterrânea.	68
Tabela 36: Fase Livre.	75
Tabela 37: Análise dos Parâmetros BTEX e PAH – Água	75
Tabela 38: Redução das concentrações de poluentes na água subterrânea (benzeno).	77

Tabela 39: Resumo dos dados de dias de operação e volume de produto recuperado na remediação.....	77
Tabela 40: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).	78
Tabela 41: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).....	79
Tabela 42: Concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento na Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).	81
Tabela 43: Concentrações de BTEX e PAH's e amostras de solo da Área 5 e valores de intervenção da CETESB (2005).	86
Tabela 44: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 5 e valores de intervenção da CETESB (2005).....	87
Tabela 45: Dados do monitoramento da espessura da fase livre na Área 5, no período de fevereiro de 2008 a junho de 2009.	90
Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).	91
Tabela 47: Monitoramento do sistema de remediação em abril de 2009.	100
Tabela 48: Monitoramento do sistema de remediação em maio de 2009.	101
Tabela 49: Monitoramento do sistema de remediação em junho de 2009.	103
Tabela 50: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea – BTEX.....	104
Tabela 51: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea BTEX e PAH.	105
Tabela 52: Resultados do monitoramento da fase livre.	106
Tabela 53: Resultados analíticos das amostras de entrada e saída do sistema.	108
Tabela 54: Resultados dos monitoramentos de nível d'água e da fase livre.....	109
Tabela 55: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).	111
Tabela 56: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).....	112
Tabela 57: Concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento do sistema de remediação implantado na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).	114
Tabela 58: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.....	117
Tabela 59: Resultados analíticos das amostras de água para BTEX e PAH.	120
Tabela 60: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 9 e valores de intervenção da CETESB (2005).	121
Tabela 61: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9 e valores de intervenção da CETESB (2005).....	122
Tabela 62: Espessura 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 na Área 9.	124

Tabela 63: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9, no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB (2005).....	125
Tabela 64: Comparativo entre os casos.....	128
Tabela 65: Comparação dos custos na investigação e remediação.	129

LISTA DE SIGLAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo

AS – *Air Stripping* – Remoção de Gases

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

CA – Cota de Arrasamento

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNAPL – *Dense Non-Aqueous Phase Liquids* - Compostos Mais Densos que a Água

EPA - *Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LI - Licença de Instalação

LQ – Limite de Quantificação Laboratorial

LNAPL - *Light Non-AqueousPhaseLiquid* – Compostos Menos Densos que a Água

MPE - *Multi-PhaseExtraction*– Extração Multifásica

NA - Não Aplicável

NC – Não Coletado

ND - Não Detectado

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

NR – Nível de Referência

PAH's - Hidrocarbonetos Poli Aromáticos

PB – Posto de Bombeamento

PE - Posto de Extração

pH - Potencial Hidrogênio

PM - Poço de Monitoramento

PMN - Poço de Monitoramento Profundo

POA - Processos Oxidativos Avançados

PRFL – Poço de Extração da Fase Livre

PT – *Pump and Treat* – Bombeamento e Tratamento

SAO - Separador de Água e Óleo

SVE - *Soil Vapor Extractium* - Extração de Vapores do Solo

SVOC - Compostos Orgânicos Semivoláteis

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

VI - Valor de Intervenção

VOC –*Volatil Organic Compound* - Compostos Orgânicos Voláteis

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas desde sua origem pré-histórica trazem a ocorrência de impactos ambientais devido a geração de resíduos. Com o desenvolvimento das civilizações e a revolução industrial surgiram os motores a combustão que necessitam de combustíveis para seu funcionamento e junto a necessidade de armazenar esses compostos para suprir as demandas industriais. A popularização dos meios de transporte se concretizou nos anos 40 e 50, resultando em elevados números de postos de combustíveis distribuídos em todo o mundo, acarretando o surgimento de alguns problemas ambientais, como as áreas contaminadas. Nesse sentido, os postos de combustíveis, em especial os produtos derivados do petróleo, como o óleo diesel e a gasolina, representam uma importante fonte de contaminação do meio ambiente nas cidades (OLIVEIRA, 1992).

A preocupação dos órgãos ambientais com a contaminação das águas subterrâneas e do solo por hidrocarbonetos aumentou e vem ganhando proporções resultando no surgimento de resoluções e estabelecimento de critérios pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), como a Resolução CONAMA nº 273 que evidenciou o problema dos vazamentos de combustível em postos de gasolina. A CETESB tem atuação voltada à identificação e remediação de áreas contaminadas, como subsídio ao controle ambiental, a reutilização do solo e ao planejamento urbano (SOARES, 2008).

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por produtos derivados do petróleo não é somente uma preocupação nacional. Nos EUA, segundo a Agência de Proteção Ambiental (USEPA), é estimado a existência de 130 mil locais contaminados por vazamento de combustíveis em tanques de armazenamento (SUGIMOTO, 2004).

Segundo levantamentos da Agência Nacional de Petróleo (ANP) existem cerca de 41.689 mil postos de combustíveis no país, mais ainda não existem estatísticas sobre contaminações por BTEX. Um dado preocupante mostra que em função de muitos tanques possuírem mais de 25 anos de uso, a probabilidade de ocorrer rachaduras e corrosão são muito elevadas, possibilitando a ocorrência de vazamentos (ANP, 2017).

1.1 Justificativa

A água é vital para a perpetuação das espécies animais e vegetais. Ao longo dos anos, atividades humanas em diversos seguimentos vêm alterando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. No Brasil, por volta de 55% dos municípios são abastecidos por águas subterrâneas (IBGE, 2000).

Acidentes ambientais em postos de combustíveis relacionam-se com vazamentos e derramamentos gerados por falhas construtivas que atingem o solo e a água subterrânea, contribuindo para a perda qualitativa deste recurso natural tão importante. São denominados como BTEX (benzeno, tolueno, etileno e xileno), os poluentes perigosos contidos na gasolina que alcançam o lençol freático através da contaminação do solo causando males à saúde e tornando o local inadequado para uso a que se destina. Outros agravantes são os gases voláteis que quando liberados, podem vir a causar intoxicação aos seres vivos próximos ao local.

Uma parcela importante do processo de contaminação deriva das atividades das refinarias de petróleo e seus derivados. A contaminação de águas subterrâneas por compostos orgânicos desse tipo acarreta diversos problemas à saúde pública. Compostos BTEX são encontrados em águas subterrâneas com frequência, devido a vazamentos em tanques de estocagem. Para se ter uma ideia da dimensão do problema, nos EUA, estima-se que exista mais de 1,5 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina, sendo que, apenas 400 mil destes foram adequadas as legislações federais. Contudo, aproximadamente 250 mil casos de vazamentos já foram identificados e mais de 97 mil resultaram na implementação de ações remediadoras (USEPA, 1999).

O alto custo e dificuldades tecnológicas associadas à remediação de solo e aquíferos contaminados tornaram necessário desenvolver metodologias de avaliação de áreas degradadas utilizando considerações de análises de risco como ferramenta para tomada de decisão.

Dessa forma, faz-se necessário avaliar a eficiência das técnicas de remediação utilizadas em postos de combustíveis. Para tanto, serão avaliados os casos de remediação das localidades de Itaporanga, Itaí, Taguaí, Cachoeira Paulista, Caraguatatuba, Avaré, Santo André e São Sebastião no estado de São Paulo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as técnicas de remediação aplicadas para conter a contaminação em água subterrânea e solo em postos de combustíveis do Estado de São Paulo.

2.2 Objetivos Específicos

- I) Computar estudos de casos;
- II) Comparar a eficiência das técnicas aplicadas;
- III) Apontar as mais eficientes e discutir os resultados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A CETESB realiza periodicamente levantamentos de áreas contaminadas onde estão localizados postos de serviços, sendo possível constatar a existência de vazamentos oriundos de tanques de armazenamento subterrâneos, os quais encontram-se deteriorados e sem manutenção, ocasionando contaminações do solo e das águas subterrâneas (TROVÃO, 2006).

Devido ao aumento das áreas contaminadas por hidrocarbonetos no Brasil, os órgãos ambientais iniciaram trabalhos de monitoramento e fiscalização sobre as mesmas. No estado do São Paulo a CETESB determinou critérios em que as atividades que impliquem em impactos aos recursos ambientais têm a obrigação de apresentarem e aplicarem um plano de gerenciamento de risco ecológico.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, art. 6, V define como:

A presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentração tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para o uso atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como os bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

A citada Resolução determina que estudos baseados em valores específicos deverão ser realizados em áreas potencialmente contaminadas, de maneira que as atividades que impliquem em impactos aos recursos ambientais devem ser submetidas ao gerenciamento de risco ecológico, executada por empresa competente, a critério do órgão ambiental responsável na região.

A causa da contaminação do solo e da água mais frequente é provocada por vazamentos em tanques subterrâneos e tubulações dos postos de abastecimento, sendo que em alguns casos por extravasamento junto às bombas e bocais de enchimento. Normalmente, a percepção dos vazamentos ocorre após o afloramento do produto em galerias de esgoto ou redes de drenagens de águas pluviais. Outros pontos de percepção de vazamento são os solos dos edifícios, túneis, escavações e poços de abastecimento de água (CETESB, 2006).

A Figura 1 apresenta uma área de contaminação por BTEX.

Figura 1: Solo contaminado por BTEX.



Fonte: Internet, disponível em: <<http://www.tslambiental.com.br/tratamento-solo-contaminado-oleo>> acesso em 22 de setembro de 2017.

Cerca de 31% dos vazamentos se iniciam por problemas de corrosão nos pontos de soldas das chapas dos tanques. Essa corrosão é causada, principalmente, por agentes do subsolo, como a acidez, salinidade, correntes elétricas, umidade etc. Estatísticas apontam que 91% dos tanques subterrâneos sofrem corrosão a partir do exterior, ou seja, da camada que fica em contato com o solo e apenas 9% inicia a corrosão pelo lado interno. O alto teor de enxofre presente no óleo diesel é responsável pela corrosão interna, promovendo a degradação das chapas metálicas com maior oxidação na parte vazia do tanque (MAINER, FERREIRA & NUNES, 1994).

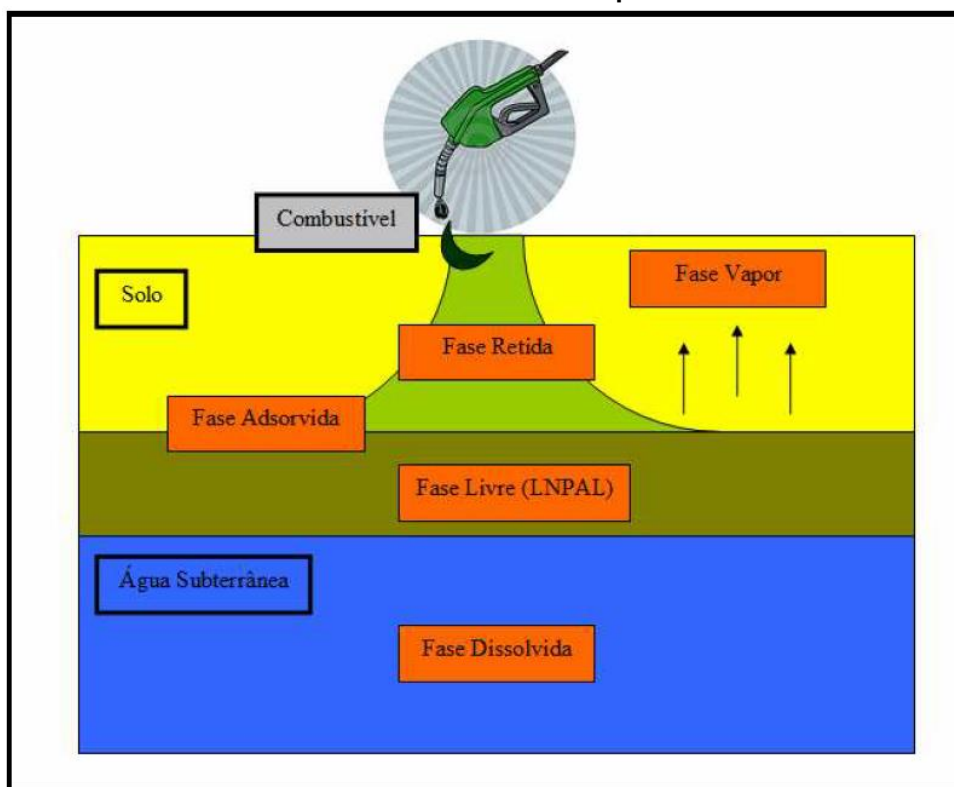
Para minimizar os impactos ambientais provenientes de vazamentos de BTEX, existem tecnologias que podem ser aplicadas de acordo com as características químicas do contaminante e dos mecanismos de transferência de massa. Ferreira (2000) elenca a solubilidade, a densidade e a viscosidade como principais propriedades dos compostos que devem ser analisadas na escolha do tipo de técnica empregada e para análise de transferência de massa, deve-se verificar a condutividade hidráulica e permeabilidade do meio.

A gasolina apresenta uma mistura variada e complexa, com substâncias de características distintas de solubilidade, adsorção no solo e pressão de vapor.

Devido a essa característica, pode formar de três a cinco fases distintas, quando em contato com o solo (TIBURTIUS, 2008).

As principais fases contaminantes estão expostas na Figura 2.

Figura 2: Esquema representativo das principais frações contaminantes envolvidas em vazamentos de derivados de petróleo.



Fonte: TIBURTIUS, 2008.

Como exemplo, podemos na Tabela 1, para um solo caracterizado como areia média e com uma profundidade de 5 metros do lençol freático, a distribuição por fases para a contaminação por gasolina de forma estimada.

Tabela 1: Distribuição das fases do contaminante.

Fase	Volume Contaminado (m³)	% do Total	Volume de Contaminante (m³)	% do Total
Livre	7100	1	18500	62
Adsorvida	250000	20	10000	33
Dissolvida	960000	79	333	1 - 5

Fonte: Oliveira apud TROVÃO, 2006.

A distribuição das fases do contaminante ocorre de forma distinta quanto ao volume contaminado e o volume do contaminante, apresentando grandes

concentrações de contaminante na fase livre e um grande volume de água subterrânea contaminada na fase dissolvida.

A Figura 3 ilustra uma área em processo de remediação de contaminantes decorrentes de vazamentos em tanques de combustível.

Figura 3: Remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos.



Fonte: Internet, disponível em: <<http://www.ia-sustentavel.com/remediacao-areas-contaminadas>>acesso em 22 de setembro de 2017.

3.1 Contaminação por hidrocarbonetos

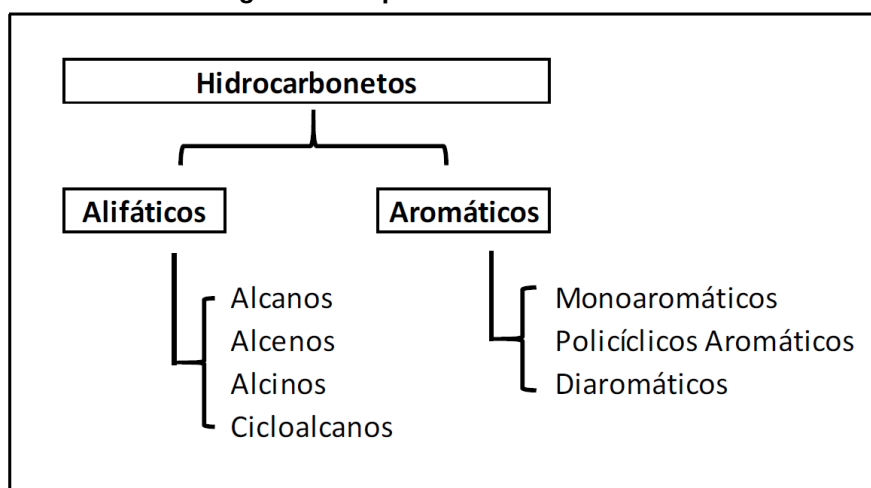
Os problemas de contaminação por Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) são uma preocupação ambiental devido aos potenciais cancerígeno e mutagênico, além do dano ambiental que causam se houver vazamentos no solo e na água subterrânea, fazendo necessária a aplicação de técnicas de remediação que podem ser onerosas e nem sempre obter o sucesso desejado (RIYIS, 2017).

Um exemplo dessa problemática é a quantidade de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no Estado de São Paulo. Segundo o último cadastro de áreas contaminadas da CETESB, há 3217 casos identificados com hidrocarbonetos, sendo uma das principais fontes os vazamentos provenientes de postos de combustíveis (CETESB, 2017).

A CETESB (2001) define os hidrocarbonetos como “gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis”.

Os hidrocarbonetos naturais derivados do petróleo têm sua origem a grandes profundidades, em torno de 150 quilômetros abaixo da terra e por meio de processos geológicos chegam a superfície. Possuem em sua composição compostos ou moléculas que contém apenas carbono e hidrogênio. A Figura 4 apresenta as duas divisões existentes.

Figura 4: Grupo de hidrocarbonetos.



Fonte: Silva apud SOUZA 2016.

Os hidrocarbonetos do petróleo correspondem a uma combinação de componentes, separadas em duas frações principais: alifáticos (alcanos de cadeias retas, alcanos ramificados e cicloalcanos) e aromáticos (hidrocarbonetos monoaromáticos, hidrocarbonetos policíclicos, naftalenos aromáticos e compostos aromáticos sulfonados) (TIBURTIUS, 2008).

A contaminação com derivados de petróleo está relacionada a dois grupos predominantes de hidrocarbonetos: os aromáticos (BTEX e PAH's) e os alifáticos (C₅-C₁₂). Geralmente, os hidrocarbonetos aromáticos são mais tóxicos que os alifáticos, além de possuir uma maior mobilidade em água e uma capacidade maior de volatilização, apresentando risco de contaminação por inalação (SCHWARZENBACH, 1993).

Com o intuito de disciplinar o uso e a exploração das águas subterrâneas, a CETESB estabeleceu valores limites para intervenção em áreas contaminadas por

hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX) e policíclicos (PAH's), que estão descritos na Tabela 2.

Segundo Oliveira (1992), na caracterização de vazamento de gasolina, não é possível a realização de ensaios individuais para cada um dos componentes, com isso, os BTEX são utilizados como parâmetros para quantificar a contaminação.

Tabela 2: Valores orientadores para águas subterrâneas no estado de São Paulo para alguns hidrocarbonetos de petróleo.

Hidrocarbonetos	Valor de intervenção água subterrânea ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
benzeno	⁽¹⁾ 5,00
tolueno	⁽²⁾ 170,0
xilenos	⁽¹⁾ 300,0
naftaleno	⁽³⁾ 100,0

(1) Padrão de potabilidade da Portaria 1.469 para substâncias que apresentam risco à saúde.

(2) Padrão de potabilidade da Portaria 1.469 para aceitação de consumo.

(3) Com base no cenário Agrícola; área proteção máxima.

Fonte: CETESB apud MAZZUCO, 2004.

3.2 Hidrocarbonetos Aromáticos

Os hidrocarbonetos aromáticos estão separados em dois principais grupos: os Hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX), que apresentam apenas um anel de benzênico, e os Hidrocarbonetos Policíclicos (PAH's), que possuem múltiplos anéis.

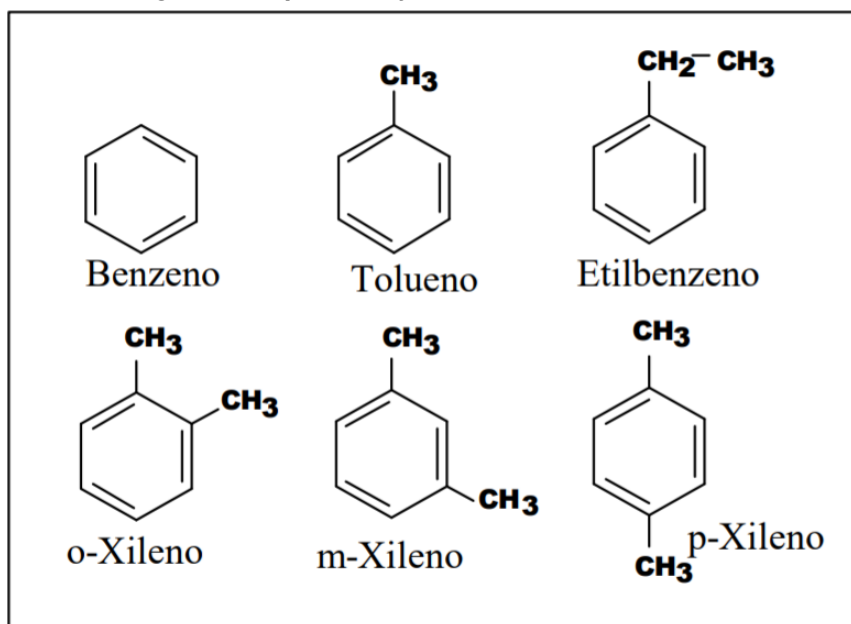
3.2.1 Hidrocarbonetos Monoaromáticos

Os hidrocarbonetos monoaromáticos são compostos orgânicos constituídos por um único anel aromático. Denominados de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) estão entre os principais contaminantes das águas subterrâneas (SILVA et al., 2009).

Os compostos BTEX presentes nos combustíveis são extremamente prejudiciais à saúde humana. O vazamento de BTEX representa a inviabilidade de exploração do aquífero (SUGIMOTO, 2004).

A Figura 5 apresenta as estruturas química dos compostos BTEX.

Figura 5: Representação da estrutura dos BTEX.



Fonte: VALENTIN, 2008.

As principais propriedades físicas e químicas para o entendimento do comportamento ambiental e biológico dos BTEX estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades físicas e químicas dos BTEX.

Substância	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Densidade específica a 20°C (g.cm ⁻³)	Pressão de vapor a 20°C (atm)	Constante de Henry (K _h)	Solubilidade em água a 25°C (mg.L ⁻¹)	Log K _{ow}
benzeno	78,1	0,88	0,125	5500	1780	2,13
tolueno	92,1	0,867	0,037	6600	515	2,69
etilbenzeno	106,1	0,867	0,0125	8700	152	3,13
p-xilenos	106,17	0,86	0,00895	5000	198	2,9 - 3,2
m-xilenos	106,17	0,864	0,00803	5000	187	2,9 - 3,2
o-xilenos	106,17	0,887	0,00895	4000	175	2,9 - 3,2

Fonte: BERTON, 2013

Os compostos BTEX, devido a sua alta solubilidade em água, possuem grande mobilidade e são os primeiros contaminantes presentes na gasolina a alcançarem o lençol freático. Essa mobilidade é facilitada também devido a adição do etanol na composição da gasolina que atua como um co-solvente, facilitando a transferência do BTEX para a fase aquosa.

O benzeno é considerado o hidrocarboneto mais solúvel em água e mais tóxico, tanto ao homem quanto ao meio ambiente. O risco de contaminação

antrópica é extremamente perigoso, pois pode afetar o sistema nervoso central e comprovadamente causar câncer (TIBURTIUS et al, 2004).

3.2.2 Hidrocarbonetos Policíclicos

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH's) são compostos químicos, de formação natural ou antropogênica, produzidos por degradação bioquímica, durante o processo de combustão incompleta de substâncias orgânicas, como o carvão mineral e vegetal, gás ou madeira. Podem derivar ainda do óleo cru, gorduras ácidas insaturadas, terpenóides e esteróides (CROMPTON, 1985).

Os PAH's pertencem ao grupo de composto com dois ou mais anéis aromáticos condensados e são encontradas como elementos de misturas complexas em todos os compartimentos ambientais (MAZZUCO, 2004).

As propriedades físico-químicas de alguns dos compostos do grupo dos PAH's estão descritas na Tabela 4 e podem definir o comportamento ambiental e biológico desses representantes.

Tabela 4: Propriedades físico-químicas de alguns PAH's.

Substância	PM (g.mol ⁻¹)	Pressão Vapor (atm)	K _H (atm m ³ mol ⁻¹)	S _w (mg.L ⁻¹)	K _{oc} (x 10 ³)	Log (K _{ow})
naftaleno	128,19	3,6 x10 ⁻⁴	1,74 x10 ⁻²	31	0,844	3,4
2-metilnaftaleno	142,20	1,1 x10 ⁻⁴	-	25	2,13	3,9
2,3dimetilnaftaleno	159,20	6,1 x 10 ⁻⁵	-	2,5	5,90	4,4
antraceno	178	7,7 x 10 ⁻⁷	1,60 x 10 ⁻³	1,1	-	4,5
fenantreno	178	1,1 x 10 ⁻⁶	1,31 x 10 ⁻³	0,045	-	4,6
benzo[a]pireno	252	2,1 x 10 ⁻¹⁰	1,86 x 10 ⁻⁵	0,038	-	6,0

(PM) peso molecular, (K_H) constante de Henry, (S_w) solubilidade do composto em água, (K_{oc}) coeficiente de sorção, (K_{ow}) coeficiente de partição octanol/água.

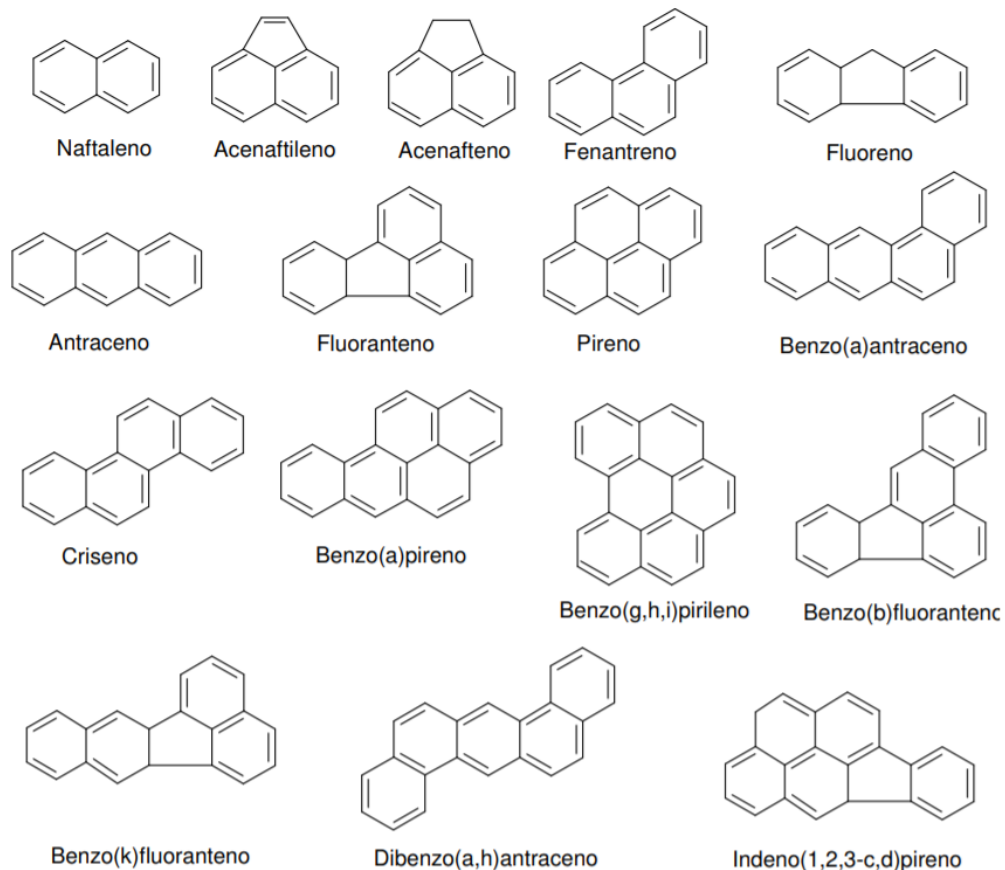
Fonte: NETO, 2000.

A solubilidade do PAH's diminui com o aumento do número de anéis aromáticos, tornando essas substâncias pouco solúveis em água.

Estudos indicam que PAH's de um a três anéis são compostos muito tóxicos, aqueles com alto peso molecular podem causar câncer, problemas congênitos e distúrbios reprodutivos (JUHASZ e NAIDU, 2000).

Existem mais de 100 PAH's reconhecidos pela IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), onde se destacam 16 PAH's, devido as suas importâncias ambientais, industriais e toxicológicas, conforme a Figura 6. (POTIN et al., 2004).

Figura 6: Estrutura de alguns Hidrocarbonetos Poliaromáticos.



Fonte: VALENTIN, 2008.

3.3 Processos de Remediação

O uso das técnicas de remediação de solos e das águas subterrâneas demanda de alto conhecimento das tecnologias de remediação, da aplicabilidade quanto a natureza dos contaminantes e aos fatores hidro geológicas, da limitação das técnicas e da relação custo e benefício. Essas condições são essenciais no sucesso do programa de remediação (SPILBORGH, 1997; NOBRE et al., 2003).

Os processos de remediação devem ser baseados no conhecimento das propriedades dos contaminantes, nas características geológicas e hidrogeológicas da área, no tempo disponível para o processo, na extensão da contaminação, nos

mecanismos de transporte, no caminho percorrido (Fluxo) e na profundidade do lençol freático. De acordo com Riyis (2017), o bom desempenho na aplicação das técnicas de remediação de áreas contaminadas está sujeito à quatro itens: ao diagnóstico do meio físico, a escolha da técnica ou da combinação mais eficiente, a geologia da área e ao tipo de contaminante.

As técnicas de remediação podem ser passivas ou ativas. Na passiva, os processos ocorrem sem a intervenção do homem, através da capacidade de recuperação natural do solo, como na atuação de bactérias que degradam os contaminantes em compostos de menor toxicidade. Na ativa, ocorre a interferência do homem no processo natural de degradação com a aplicação de técnicas de remediação (FREIRE, 2011).

Os sistemas de remediação podem apresentar configurações, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Tipos de configuração de sistemas de remediação.

Remediação	Metodologia
<i>In Situ</i>	Tratamento no Local sem remoção
<i>On Site</i> ou <i>Ex Situ</i>	Remoção e Tratamento no Local
<i>Off Site</i>	Remoção com Tratamento em outra área

Fonte: FREIRE, 2011.

Segundo estudos realizados por Siegrist et. al. (2011) e Stroo et. al. (2012) apud Riyis (2017), são reconhecidos os benefícios da combinação de técnicas de remediação uma vez que não foi desenvolvida uma única técnica que tenha um desempenho superior às outras ou que possa ser utilizada em qualquer tipo de remediação e em todos as áreas.

3.3.1 Biorremediação

O tratamento natural consiste em processos físicos, químicos e biológicos realizados por microrganismos que são estimulados a degradar os contaminantes químicos e compostos tóxicos ou ainda podem transformá-los em subprodutos com menor potencial poluidor ao meio ambiente. Uma reação comum neste tipo de tratamento é a oxirredução realizada pelos microrganismos (SILVA et. al., 2002).

A biorremediação é uma ferramenta viável na restauração ambiental de uma superfície contaminada, principalmente quando a área contaminada possui grande extensão e volume, permitindo a remediação no próprio local. Uma vantagem deste método é o custo relativamente baixo.

Este processo fundamenta-se na ação de microrganismos, através da oxidação biológica, ocorrendo a decomposição da matéria orgânica em substâncias simples como CO_2 , H_2O (TIBURTIUS et. al., 2004).

A técnica opera na zona não saturada do solo atuando na remoção da contaminação de compostos adsorvidos que o bombeamento não consegue atingir. Um fator decisivo na eficiência da biorremediação é a ausência de fase livre (MARIANO, 2006).

Os fatores hidro geológicos que influenciam na biorremediação, de acordo com USEPA apud Mariano (2006) são:

- Permeabilidade do solo e materiais de subsuperfície;
- Tipo de solo: a areia e o cascalho favorecem o transporte de nutrientes;
- Profundidade do nível d'Água;
- Concentração de minerais;
- Potencial Redox;
- pH;
- Temperatura.

3.3.2 Processos Físicos e Químicos

Os processos físico-químicos vêm sendo amplamente empregados na remediação de solos e águas contaminadas. Em destaque, na Tabela 6, os processos mais importantes, assim como suas principais características.

Tabela 6: Tecnologias de tratamento por processos físico-químicos, térmicos e de disposição.

Tecnologias	Aplicação	Categoria	Processo
<i>pump-and-treat</i>	<i>ex situ</i>	tratamento	físico-químico
<i>air stripping</i>	<i>in situ</i>	tratamento	físico
lavagem do solo	<i>in situ</i> <i>ex situ</i>	tratamento	físico
extração de vapor	<i>in situ</i>	tratamento	físico
incineração	<i>ex situ</i>	tratamento	térmico
estabilização	<i>in situ</i>	tratamento	físico-químico
solidificação	<i>ex situ</i>		
aterro de cobertura	<i>ex situ</i>	contenção	disposição
oxidação catalítica	<i>ex situ</i>	tratamento	térmico
barreiras reativas	<i>in situ</i>	tratamento	físico-químico

Fonte: TIBURTIUS, 2008.

3.3.2.1 Bombeamento e Tratamento – *Pump and Treat* (PT)

A técnica de remediação por Bombeamento e Tratamento é o processo mais aplicado para contaminação em águas subterrâneas (TIBURTIUS, 2004).

A técnica consiste no bombeamento de águas subterrâneas contaminadas para tratamento e reinjeção no solo (SCHENK, 2004). Os tratamentos mais utilizados são a caixa separadora de água e óleo, o “*airstripping*” para a remoção de compostos voláteis, o carvão ativado para remoção de constituintes dissolvidos e ainda a bioremediação para remoção de poluentes biodegradáveis.

A aplicação da técnica de forma isolada para a remoção de contaminação residual não é indicada, pois os compostos BTEX são moderadamente hidrofóbicos, ou seja, são absorvidos pelos materiais no aquífero, impedindo a sua remoção por bombeamento (SCHENK, 2004).

A Tabela 7 apresenta as principais vantagens e desvantagens do sistema *Pump and Treat*.

Tabela 7: Vantagens e Desvantagens da tecnologia *Pump and Treat*.

Vantagens	Desvantagens
Flexibilidade do Projeto: os poços podem ser adicionados posteriormente	Se a condutividade é baixa e/ ou a geologia local é complexa e heterogênea, a tecnologia pode não ser a mais adequada para a descontaminação do aquífero
Pode se usar água tratada para a recarga do aquífero	Custos elevados com operação, manutenção e com sistema de monitoramento
Os custos para sua implantação são menores do que para a implantação de barreiras físicas	Requer uso de sofisticados modelos matemáticos para avaliara sua eficiência
Pode-se utilizar os poços de extração para o monitoramento da tecnologia	Requer tempos longos para atingir níveis de contaminação aceitáveis (<i>cleanup</i>)
A água bombeada pode ser tratada por métodos já disponíveis para tratamento de efluentes	Geralmente a tecnologia só é eficiente quando utilizada em conjunto com outras
Evita a migração das plumas de contaminação dissolvidas na água subterrânea para áreas de abastecimento potável em rios, lagos, etc.	Geralmente usadas para aquíferos altamente contaminados, pois a tecnologia possui menor eficiência em concentrações menores

Fonte: Santos apud TAVARES, 2013.

3.3.2.2 Remoção de gases - *Air Stripping* (AS)

A técnica *Air Stripping* consiste na extração de contaminantes orgânicos do solo ou da água subterrânea, através da aplicação de vácuo ou ar (FERREIRA, 2000).

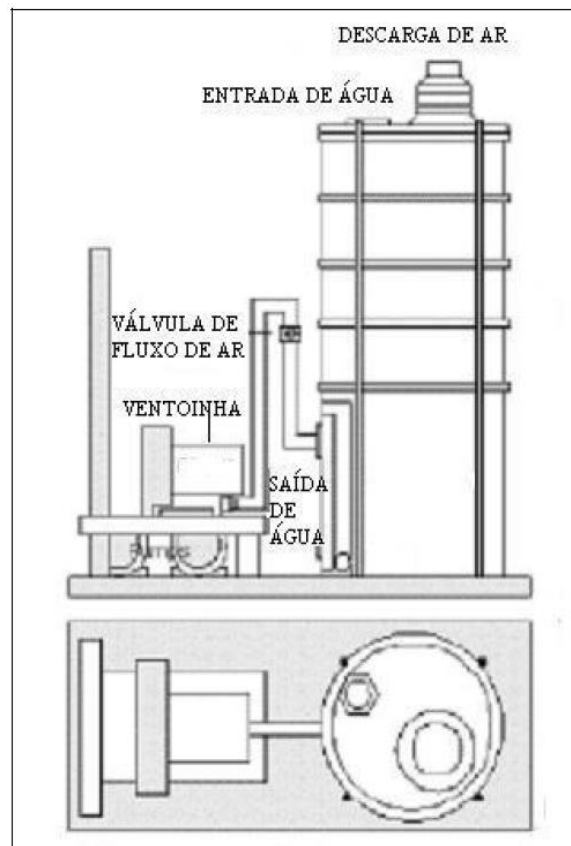
O processo ocorre com a passagem do ar de forma forçada através da água subterrânea contaminada bombeada para tratamento, removendo os compostos contaminantes. (EPA, 2001).

Normalmente, é utilizado de forma conjunta com o Bombeamento e Tratamento na remediação de águas subterrâneas (TIBURTIUS et al., 2004 e USEPA, 2006 [b]).

O processo acontece de forma não destrutiva, através da injeção de ar em águas superficiais ou subterrâneas contaminadas. O contato da corrente de água contaminada como a corrente de ar descontaminado, permite a transferência dos contaminantes orgânicos voláteis na fase líquida para a fase gasosa, que é coletada e tratada posteriormente (SILVA, 2004).

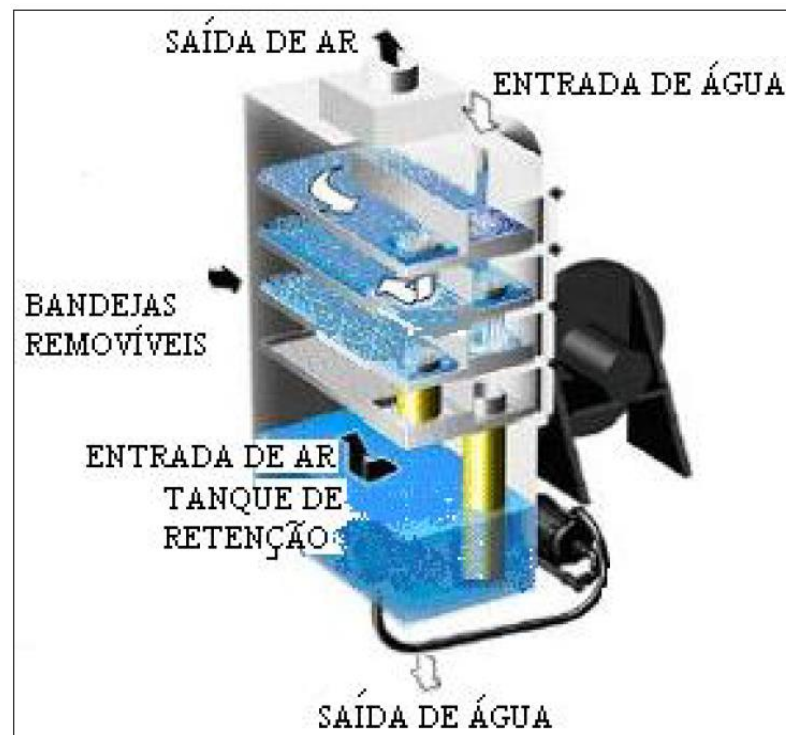
Segundo Negrão (2002), o método de tratamento pode ser realizado através de colunas de *stripping* (Figura 7) ou de tanques de aeração (Figura 8).

Figura 7: Esquema de um *Air Stripper* de coluna.



Fonte: NEGRÃO, 2002.

Figura 8: Esquematização de um *Low Profile Air Strippers*.



Fonte: NEGRÃO, 2002.

As principais vantagens e desvantagens do sistema *Air Stripping* estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8: Vantagens e desvantagens do sistema *Air Stripping*.

Vantagens	Desvantagens
Sistema simples a ser operado	É uma tecnologia que produz resíduo e precisa ser disposto
Ocupa pouco espaço	O gás removido deve ser tratado
Comprovada confiabilidade	Os padrões de qualidade de água para consumo humano podem ter dificuldade de ser atingido
Pouca especialização na manutenção	O crescimento de bactérias e precipitação de ferro podem colmatar o sistema e exigir mais gastos com manutenção
Aplicada em ampla variações de concentrações de efluente	

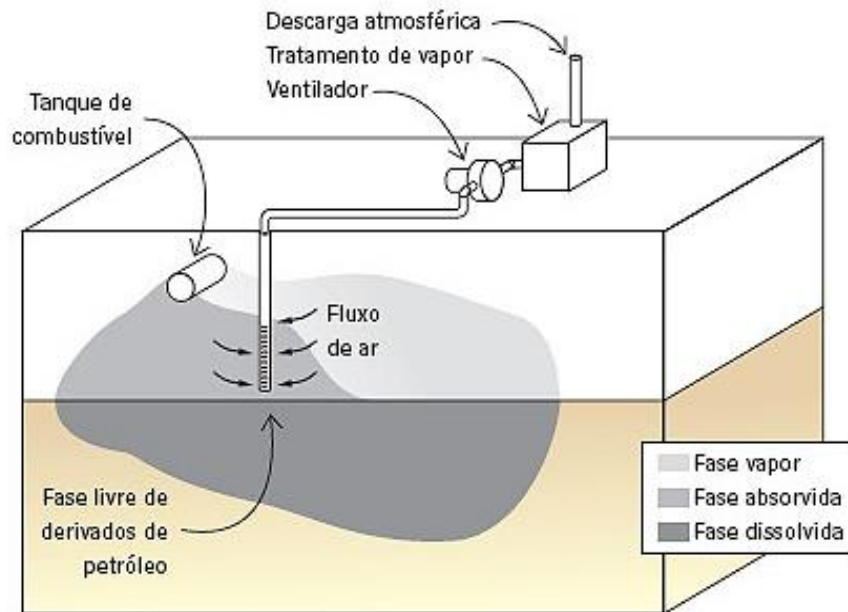
Fonte: Neto apud VERHNJAK, 2015.

3.3.2.3 Extração de Vapores do Solo – *Soil Vapor Extraction (SVE)*

A tecnologia de Extração de Vapores do Solo consiste na implantação de poços de injeção de ar (quente e frio) e poços de extração à vácuo na área contaminada, na zona não saturada e na franja capilar, com o objetivo de acelerar o processo de biodegradação dos compostos de baixa volatilidade na área (FETTER apud SILVA, 2002).

O sistema SVE é aplicada na remoção de compostos orgânicos voláteis (VOC) e compostos orgânicos semivoláteis (SVOC) de uma zona não saturada de solo, reduzindo o tempo de descontaminação (*clean up*), através do uso de poços de extração e injeção, de medidores de vazão, amostradores, compressores de ar e separadores de ar e água (USEPA, 2006 [c]). A Figura 9 apresenta o sistema de forma resumida.

Figura 9: Sistema de extração de vapores.



Fonte: EGRE, 2010.

De acordo com a USEPA (1994), a aplicação da técnica em compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis provenientes de produtos derivados de petróleo como a gasolina tem apresentado ótima eficiência.

Segundo Schmidt (2010), as taxas mais altas de remoção dos voláteis ocorrem no início do processo, que tendem a aumentar. Já nos estágios finais, através da biodegradação, os compostos menos voláteis resistentes e adsorvidos nas partículas sólidas são removidos.

As principais vantagens e desvantagens na utilização do SVE, estão descritas na tabela 9.

Tabela 9: Vantagens e desvantagens do sistema Soil Vapor Extraction (SVE).

Vantagens	Desvantagens
alto custo-benefício	aplicação restrita às zonas não saturadas
desempenho comprovado	baixa eficácia em solos de permeabilidade reduzida ou estratificados
simplicidade na instalação e operação	baixa eficácia em solos estratificados
grande capacidade de associação com outras tecnologias	pouca eficiência na extração de compostos orgânicos semi-voláteis
uso com baixa perturbação no local da contaminação	

Fonte: EPA, 1994.

3.3.2.4 Extração Multifásica - Multi-Phase Extraction (MPE)

O sistema de remediação por Extração Multifásica, também chamado de extração de fase dupla ou *bioslurping*, trata-se do bombeamento para remoção do contaminante na fase livre, de água subterrânea com compostos dissolvidos e de vapor do solo. Tem grande eficiência na redução da concentração de hidrocarbonetos na zona não saturada do solo (ROCHE, 2006).

A tecnologia de MPE consiste em processos combinados de remoção de massa a vácuo e de bioventilação, incitando na zona insaturada o processo de biodegradação natural e permitindo a extração das fases livres, dissolvidas e de vapor na matriz do solo. As fases líquidas e de vapor extraídas são remediadas e encaminhadas para disposição ou retornadas ao solo, de acordo com as normas ambientais (USACE, 1999).

Conforme Nobre et al. (2003), o tratamento da pluma contaminada ocorre na zona de influência criada através da instalação de um sistema de ventilação a vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse. Com a introdução do vácuo nos poços de extração, origina-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, nos quais são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O bom desempenho da técnica na remoção das diferentes fases está relacionado a quantidade de vácuo aplicado e consequentemente ao gradiente de pressão.

A possibilidade de se manter em operação, mesmo quando o ar entra no tubo e o nível da superfície das águas subterrâneas se encontra abaixo do ponto de sucção torna-se uma vantagem perante o bombeamento simples (ACKERMANM, 2004).

A Tabela 10 apresenta as principais vantagens e desvantagens do sistema.

Tabela 10: Vantagens e desvantagens do sistema MPE.

Vantagens	Desvantagens
Efetividade em solos de permeabilidade moderada a baixa.	Requer bomba à vácuo ou soprador.
Remoção efetiva de contaminantes em áreas de baixa permeabilidade, onde a única opção diferente para remediação envolva escavação.	Requer técnicas de separação e tratamento de fases diversificadas.
Remediação efetiva de contaminação em fase dissolvida, vapor, residual e não aquosa.	Requer períodos de partida e períodos de ajustes mais longos do que verificados em bombeamentos convencionais.
Aumento do raio de influência e da zona de captura de poços de extração.	Custos de capitais mais elevados do que de bombeamentos convencionais.
Aumento do total de fluidos recuperados, rebaixamento do nível d'água e espalhamento de LNAPL minimizados e transmissividade do aquífero maximizada.	Limitações de profundidade para algumas configurações de MPE.
Remediação efetiva da zona da franja capilar.	
Remediação mais rápida do que verificada em bombeamentos tradicionais	

Fonte: EPA apud VERHJAK, 2015.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As técnicas de remediação de contaminação do solo e da água por BTEX que foram avaliadas neste trabalho são referentes às aplicadas nos estudos de casos realizados em postos de combustíveis em municípios do Estado de São Paulo.

As informações referentes aos locais estudados, funcionamento do posto, prestação de serviços assim como toda a estrutura e composição desses postos foram retiradas de estudos investigativos prévios realizados pela CETESB.

As análises do solo e da água, o monitoramento, as investigações e as remediações destes foram realizadas por empresas contratadas pela CETESB, e os dados retirados de relatórios elaborados pelas mesmas. Dessa maneira, o material a ser utilizado consiste num montante de dados que estão compilados em trabalhos realizados por Verhnjak (2015), Souza (2016) e Freire (2011). Foram realizadas análises comparativas de todos os processos de contaminação por hidrocarbonetos com ênfase nos processos de remediação aplicados por meio de comparação entre estas, considerando os tipos das plumas de contaminantes em fase livre e em fase dissolvida.

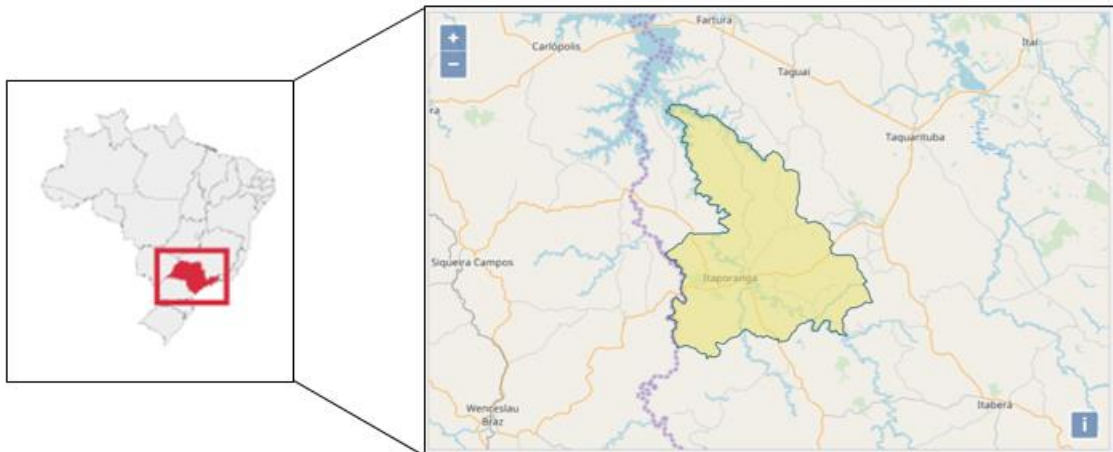
Para organizar os dados, cada posto foi nomeado numericamente e suas respectivas características foram inseridas nos seguintes tópicos.

4.1 Área 1: Itaporanga

4.1.1 Localização e caracterização da área

O município de Itaporanga localiza-se a aproximadamente 350 km da capital de acordo com o IBGE (2017), possui 15000 habitantes. A área 1 em estudo possui formação geológica de rochas sedimentares da bacia do Paraná, com litologia composta por solos dos tipos Argissolos e Latossolos Vermelho Amarelos (CETESB, 2011). Como característica hídrica a região está sobre o aquífero Tubarão e inseridos na Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI 14). A Figura 10 representa os limites do município.

Figura 10: Limites do município de Itaporanga-SP.



Fonte: IBGE, 2017.

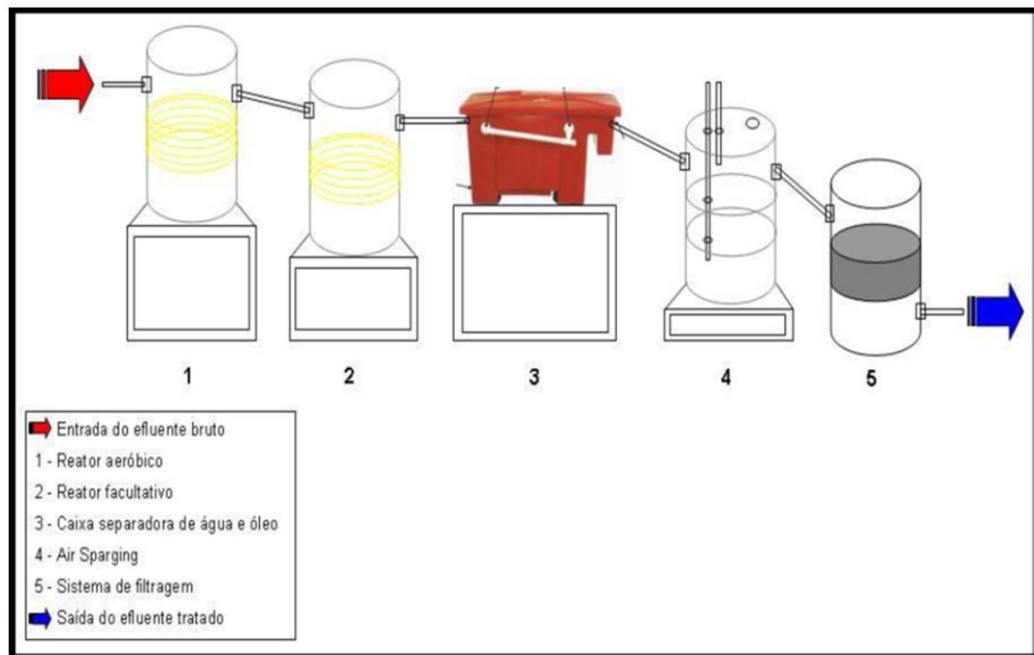
4.1.2 Análise Investigativa e método de remediação

A área em estudo se submeteu a um processo investigativo de Passivo Ambiental, em fevereiro de 2009, apresentando concentrações acima dos limites de intervenção da CETESB (2005) para BTEX e PAH's.

Em março de 2010, em decorrência de um tanque de combustível com vazamento, foi realizado um estudo de investigação detalhada em 20 (vinte) poços de monitoramento (PT1 a PT20) e ensaios em amostras de solo e de água subterrânea que detectaram a presença de contaminantes na fase livre nos poços PT1, PT10, PT11, PT12 e PT 16 e concentrações de BTEX acima dos limites de intervenção da CETESB (2005) nas águas subterrâneas.

Para a remoção da fase livre, o sistema de remediação (ET-CBC) foi adotado no processo de tratamento ao mesmo tempo do tratamento da fase dissolvida restante. O processo complementar adotado foi a associação das técnicas de *Air Sparging*, biorremediação com a utilização de bioestimulantes, como representação na Figura 11.

Figura 11: Modelo conceitual do sistema (ET-CBC).



Fonte: CETESB apud VERHNJAK, 2015.

Nas proximidades dos poços de monitoramento (PT1 e PT4), detectou-se a presença de produto na fase livre. Com isso, dois novos poços de monitoramento foram implantados, adicionou-se uma bomba de captação no PT12 e o bombeamento nos poços PT1, PT4 e PT12 foi iniciado.

O processo de tratamento do efluente bombeado teve seu início no reator aeróbio e posteriormente em um reator facultativo. Em seguida, foi direcionado a uma caixa separadora de água e óleo, onde o óleo separado foi disposto em tambores e a água é encaminhada para o tratamento por *Air Sparging*.

Posterior a extração da fase livre, o processo de biorremediação foi aplicado no processo de tratamento da fase dissolvida, de forma conjunta com o processo de oxidação avançada (POA). Essa técnica tem como objetivo desprender os contaminantes absorvidos na zona não saturada, utilizando-se a aplicação do composto químico denominado de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Aplicações de Peróxido de Hidrogênio.

Data	Poços de Monitoramento Aplicado	Quant. (L)	Total (L)
09/06/2011	PT3, PT10, PT11, PT13, PT14, PT15, PT16	5	35

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

A Tabela 12 apresenta as aplicações da solução nutritiva (NPK) adicionadas ao processo de remediação com o objetivo de acelerar a degradação de contaminantes absorvidos no solo.

Tabela 12: Aplicações de Produto Bioestimulante.

Data	Poços de Monitoramento Aplicado	Quant. (g)	Total (g)
08/11/2011	PT10 e PT16	1000 g	2000 g
	PT11	500 g	500 g
17/05/2012	PT3,PT10,PT11,PT16	200 g	800 g

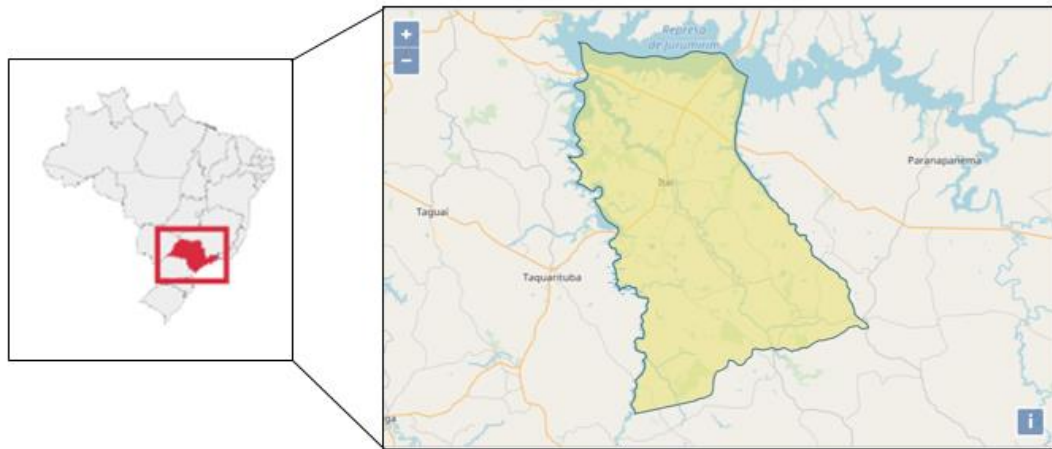
Fonte: CETESB apud VERHNJAK, 2015.

4.2 Área 2: Itaí

4.2.1 Localização e caracterização da área

O município de Itaí possui 26.526 habitantes e localiza-se a 310 km de São Paulo, próxima à fronteira entre os estados de São Paulo e Paraná. Os mananciais que abastecem Itaí estão situados na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, que possui grande potencial hídrico, turístico e energético (Figura 12).

Figura 12: Limites do município de Itaipava-SP.

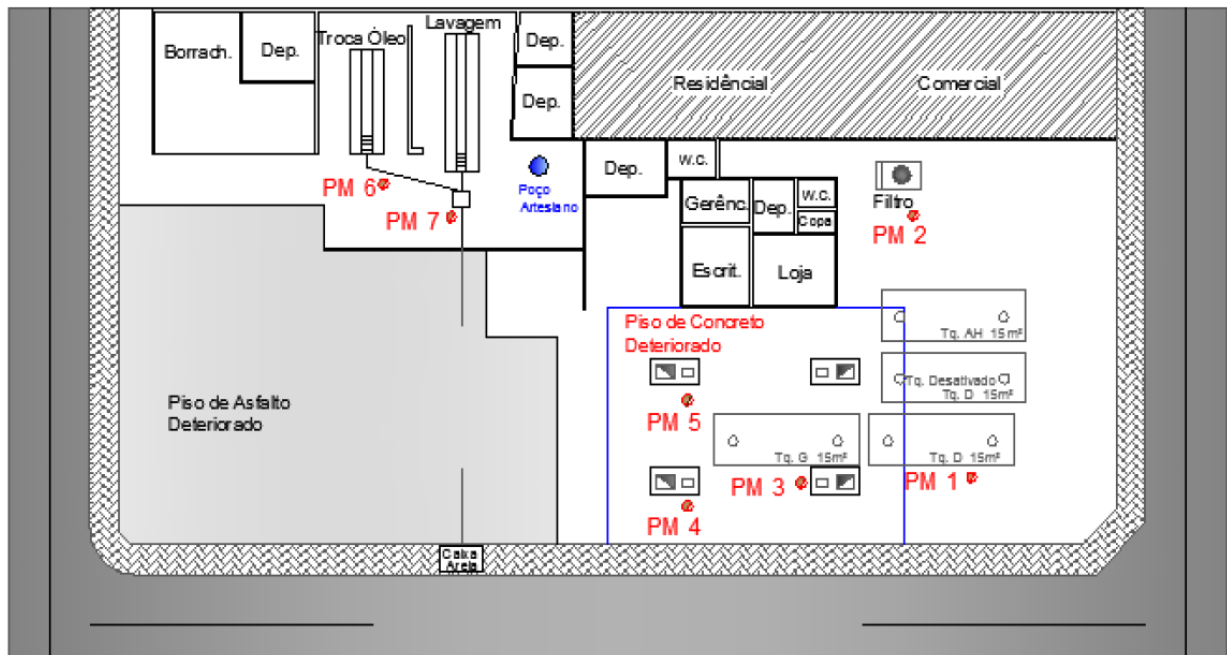


Fonte: IBGE, 2017.

4.2.2 Análise Investigativa e método de remediação

As atividades de análise investigativa e de investigação confirmatória na área, tiveram início em novembro de 2007, através da implantação de sete pontos de sondagem de solo (PM1, PM2, PM3, PM4, PM5, PM6 e PM7) e quatro poços de monitoramento para coleta de amostras de água subterrânea, instalados nos pontos PM1, PM3, PM4 e PM5, conforme a Figura 13.

Figura 13: Locação dos pontos de investigação na Área 2.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

As informações técnicas referentes aos poços de monitoramento estão indicadas na Tabela 13.

Tabela 13: Informações técnicas dos poços de monitoramento.

Poços de monitoramento		
Pontos	Profundidade (m)	Nível de Água
PM01	7,5	6,65
PM03	7,02	6,24
PM04	6,63	5,92
PM05	6,96	6,22

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

A profundidade e local de instalação dos pontos de sondagem do solo na área estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14: Informações técnicas e localização das sondagens.

Sondagens realizadas		
Pontos	Profundidade (m)	Localização
PM01	7,50	Jusante tanque diesel
PM02	5,09	Jusante filtro diesel
PM03	7,02	Jusante tanque gasolina
PM04	6,63	Jusante bomba diesel
PM05	6,96	Jusante bomba gasolina comum
PM06	2,00	Troca de óleo
PM07	2,00	Lavagem

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

O ensaio granulométrico, realizados em amostras extraídas dos pontos PM1 e PM2 foram classificadas conforme a Tabela 15.

Tabela 15: Características físicas do solo amostrado.

Amostra	Fração Areia (%)	Fração Silte (%)	Fração Argila (%)	Classe de textura
PM1 - 2,0m	54	6	40	Argilosa
PM2 - 8,0m	27	36	37	Argilosa
Classe de textura baseado na fração de argila				
0 - 14%	15 - 24%	25 - 34%	35 - 59%	60 - 100%
Arenosa	Média Arenosa	Média Arenosa	Arenosa	Muito Argilosa

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

A análise do fluxo da água subterrânea, através do cálculo do potencial hidráulico nos pontos PM 01, PM 03, PM 04 e PM 05 e da determinação do mapa isopotencial da área está representada na Tabela 16.

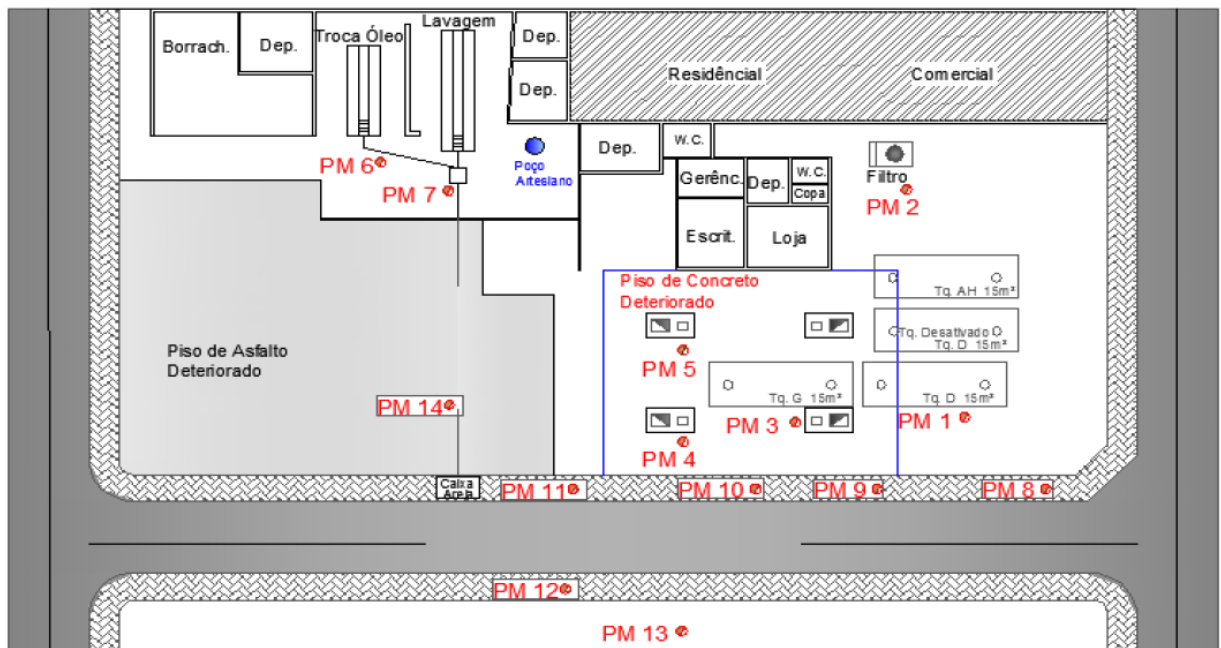
Tabela 16: Cargas e potenciais hidráulicos.

Dados para determinação do fluxo subterrâneo			
Pontos	Profundidade (m)	Nível d'água (m)	Coluna d'água (m)
PM01	7,5	6,65	0,855
PM03	7,02	6,24	0,78
PM04	6,63	5,92	0,71
PM05	6,96	6,22	0,74

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

A Figura 14 apresenta o sentido do fluxo da água subterrânea na área em estudo do posto.

Figura 15: Localização dos pontos PM8 a PM14 – Investigação Detalhada.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

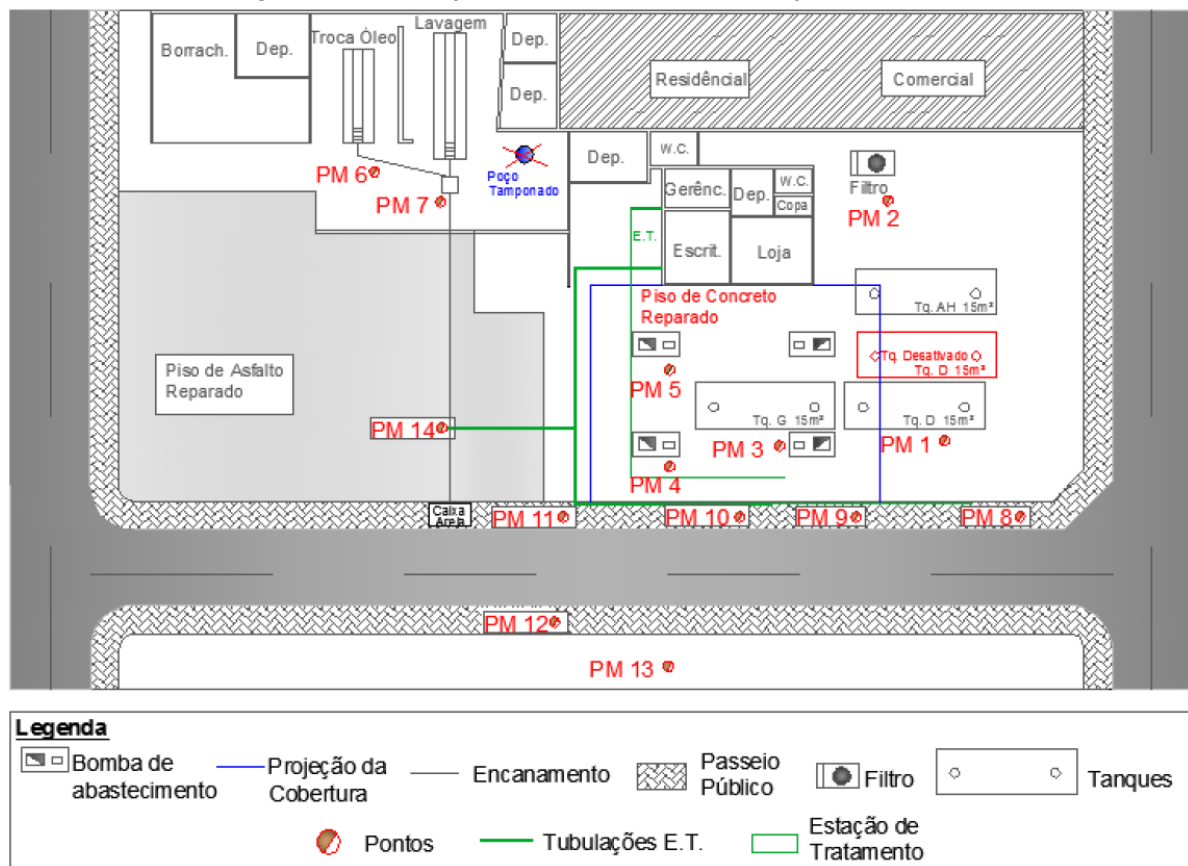
No período de maio de 2009, antes do início do processo de remediação, foram realizadas novas análises investigativas no solo e na água subterrânea dos poços existentes, onde observou-se a presença de BTEX.

Para a remediação das fontes primárias de contaminação, em junho de 2009, foi realizado a regularização e preenchimento de microfissuras no piso de concreto próximo as bombas de abastecimento e a colocação de uma tampa no poço artesiano existente.

Seguindo o plano de intervenção, teve início a instalação de um sistema de remediação para as fontes de contaminação secundária com a utilização das técnicas de bombeamento e tratamento, biorremediação e extração de vapores do solo (SVE) de forma associadas.

O bombeamento ocorreu nos poços de monitoramento PM3, PM4, PM5, PM9, PM10 e conduzidos para tratamento, segundo a Figura 16.

Figura 16: Instalação do sistema de remediação da Área 2.

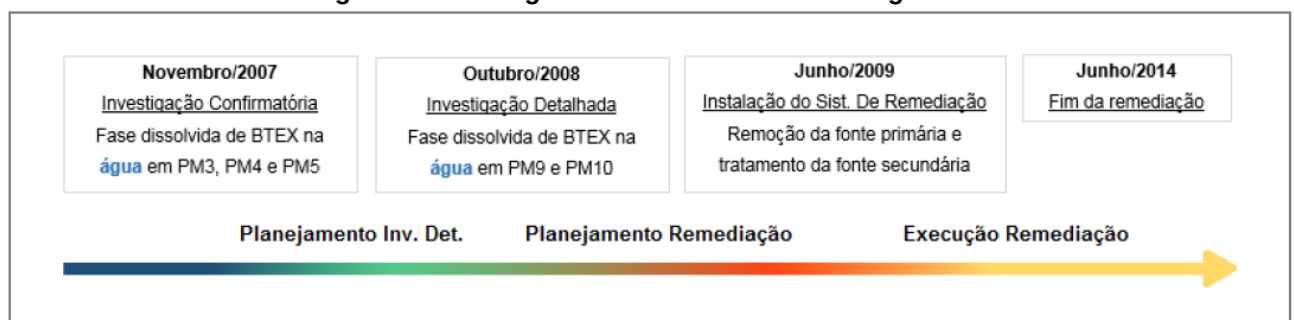


Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

De forma simultânea, o sistema de SVE foi instalado, e a água subterrânea bombeada, após o tratamento das fases dissolvidas e de vapor, foi retornada ao solo.

O resumo das atividades realizadas e programadas, de forma cronológica, estão apresentadas na Figura 17.

Figura 17: Cronograma das atividades investigatória.



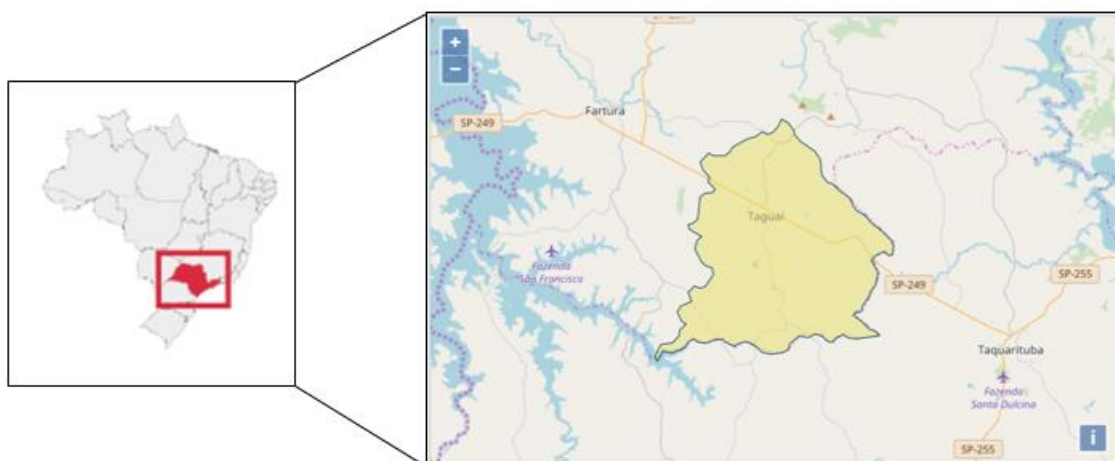
Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

4.3 Área 3: Taguaí

4.3.1 Localização e caracterização da área

A Área 3 localiza-se em Taguaí, município vizinho de Itaporanga, e por essa razão possui as mesmas características litológicas, geológicas e hídricas da Área 1. De acordo com IBGE (2017), Taguaí possui aproximadamente 13111 habitantes e a Figura 18 ilustra a área do município.

Figura 18: Limites do município de Taguaí - SP.



Fonte: IBGE, 2017.

4.3.2 Análise Investigativa e método de remediação

A investigação de passivos ambientais teve início com a locação e a perfuração de quatro poços de sondagem e monitoramento PM01, PM02, PM03 e PM04, durante dezembro de 2004, e na identificação de produto sobrenadante no lençol freático.

Em julho de 2005, após o recebimento de um auto de inflação por parte de CETESB, um processo de investigação detalhado foi elaborado e cinco poços de sondagens extras (ST 05 a ST 08) construídos. Com isso, tornou-se possível a delimitação da pluma, a identificação presença do produto na fase livre no poço PM 02 e o caminho da fase livre de migração.

Três anos depois, a partir da implantação de onze novos poços de sondagens e onze novos poços de monitoramento, a pluma da fase livre foi demarcada nos poços PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-11 e PM-12 e concluiu-se a análise de risco.

O posto recebeu nova notificação da CETESB, no dia 23 de março de 2009, com a exigência de elaboração de uma investigação detalhada, de um plano de intervenção e remoção completa da fase livre. Para isso, nove poços de sondagens adicionais foram implantados, assim como nove poços de monitoramento (PM 17 a PM 27). As análises realizadas no poço PM-04 indicaram a ocorrência de fase livre do produto sobrenadante.

Um sistema de remoção de fase livre de produto sobrenadante foi inserido, de forma emergencial, no período de 23 de outubro de 2009 a 29 de março de 2010, no poço (PM-04).

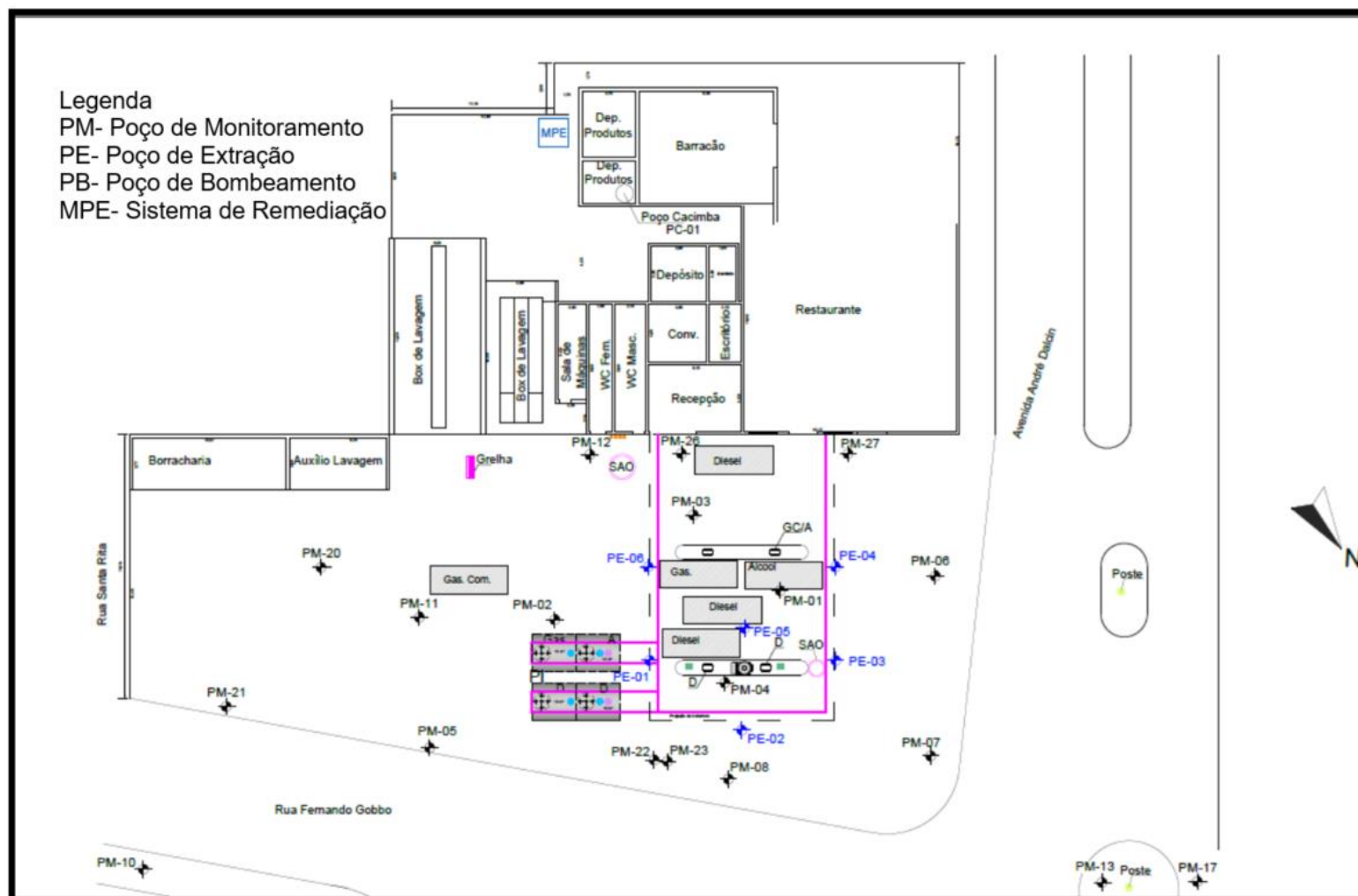
Nos dias 11 de setembro e 10 de novembro de 2010, foram realizados novos ensaios e análise das amostras de água subterrânea nos poços existentes e em dois novos poços de monitoramento (PM-26 e PM-27). Foram detectados produtos sobrenadantes, Benzeno em concentração acima do estabelecido pela CETESB (2005) e delimitada a pluma de fase dissolvida de Benzeno.

Em dezembro de 2010, definiu-se as metas a serem atingidas de remediação, o relatório de investigação detalhado e o plano de intervenção.

O sistema *Pump and Treat* (PT) foi o selecionado para a remoção da fase livre, operando por um período entre (09/09/2006 e 31/05/2008) e de forma complementar ao tratamento das demais fases, o sistema de MPE – *Multi-Phase Extraction*, com início em setembro de 2011.

A Figura 19 apresenta o croqui das instalações do posto, a posição dos poços de monitoramento e extração e localização do sistema de remediação implantado na área.

Figura 19: Instalação do Posto, Localização do Sistema de Remediação, Poços de Monitoramento (PM) e Poços de Extração (PE).



Fonte: CETESB apud VERHJAK, 2017.

Os poços de extração PE-02, PE-03, PE-04, PE-05, e PE-06 foram construídos e o poço de extração PE-01 adaptado no poço de bombeamento PB-1 para o funcionamento do sistema de remediação por MPE.

Durante o período de operação dos sistemas de Bombeamento e Tratamento, monitoramentos regulares da água subterrânea foram desenvolvidos. Além disso, medições mensais do nível de água foram realizadas. A Tabela 17 apresenta a campanhas de amostragem desenvolvida no período.

Tabela 17: Campanhas de Amostragem de Água Subterrânea.

Campanhas	Águas Subterrâneas	Parâmetros
Inicial	8 amostras	BTEX, PAH e Etanol
	27 amostras	Físico Químico Nutrientes e Microbiológicos
Mensal	16 amostras	BTEX, PAH e Etanol
	27 amostras	Físico Químico
Trimestral	16 amostras	BTEX, PAH e Etanol
Final	16 amostras	BTEX, PAH e Etanol

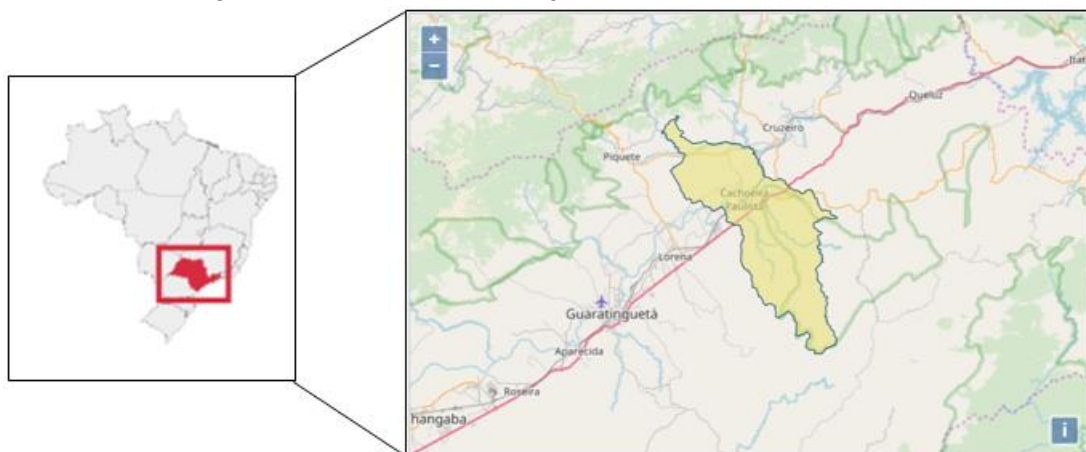
Fonte: Consex Engenharia apud VERHNJAK, 2015.

4.4 Área 4: Cachoeira Paulista

4.4.1 Localização e caracterização da área

A Área 4 em estudo localiza-se na região do vale do Paraíba, no município de Cachoeira Paulista – SP que possui aproximadamente 30 mil habitantes. A região pertence a UGRHI 2, definida pela bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e é composta por conjuntos litológicos de terrenos cristalinos ígneometamórficos, rochas sedimentares cenozoicas e terrenos sedimentares mais recentes. Segundo perfurações investigativas realizadas pela Construferr (2009), a constituição do solo da área é de silte e argila, com o nível do lençol freático variando na profundidade de 0,60 a 1,50 metros. A Figura 20 apresenta os limites do município em que a Área 4 está inserida.

Figura 20: Limites do município de Cachoeira Paulista - SP.



Fonte: IBGE, 2017.

4.4.2 Análise Investigativa e método de remediação

O estudo de passivo ambiental teve início em fevereiro de 2009, com a implantação de oito poços de monitoramento e a retirada de amostras para ensaios. Detectou-se a presença de benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno na área em concentrações acima dos limites de intervenção da CETESB (2005). Com isso, elaborou-se um estudo de investigação detalhado, um plano de intervenção e tratamento e por fim um plano de reforma das instalações do posto de combustível.

A partir dos poços de monitoramento, determinou-se a direção do fluxo de água subterrânea e a carga hidráulica, conforme Tabela 18. A cota de referência considerada foi de 540 metros em relação ao nível do mar.

Tabela 18: Monitoramento na Área 4.

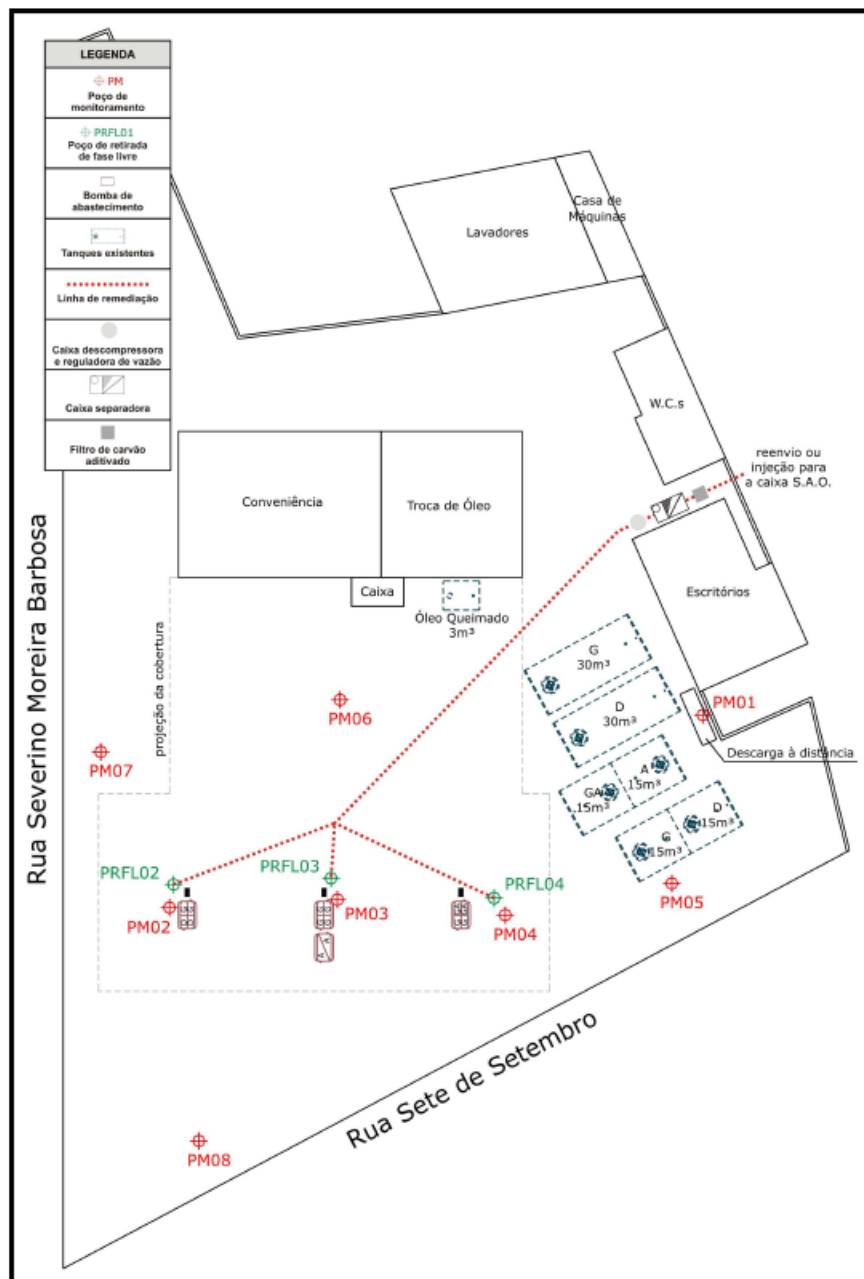
Poço de monitoramento	Cota da tampa (m)	Cota do poço (m)	Fase livre (cm)	Nível da água (m)	Carga hidráulica (m)
PM 01	1,29	538,71	0	1,32	537,39
PM 02	1,23	538,77	0	0,62	538,15
PM 03	1,13	538,87	0	0,86	538,01
PM 04	1,25	538,75	0	1,49	537,26
PM 05	1,43	538,57	0	1,32	537,25
PM 06	1,18	538,82	0	1,92	536,9
PM 07	1,57	538,43	0	0,98	537,45
PM 08	0,99	539,01	0	1,1	537,91

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

A partir de março de 2009, para implantação do sistema de remediação por bombeamento e tratamento, próximo aos dos poços de monitoramento PM 02, PM 03 e PM 04, foram perfurados três poços de extração PRFL 01, PRFL 02 E PRFL 03 respectivamente, com o objetivo de abrandar a contaminação na sua fase dissolvida, conforme croqui representado na Figura 21.

O bombeamento dos três pontos de extração operou até junho de 2011.

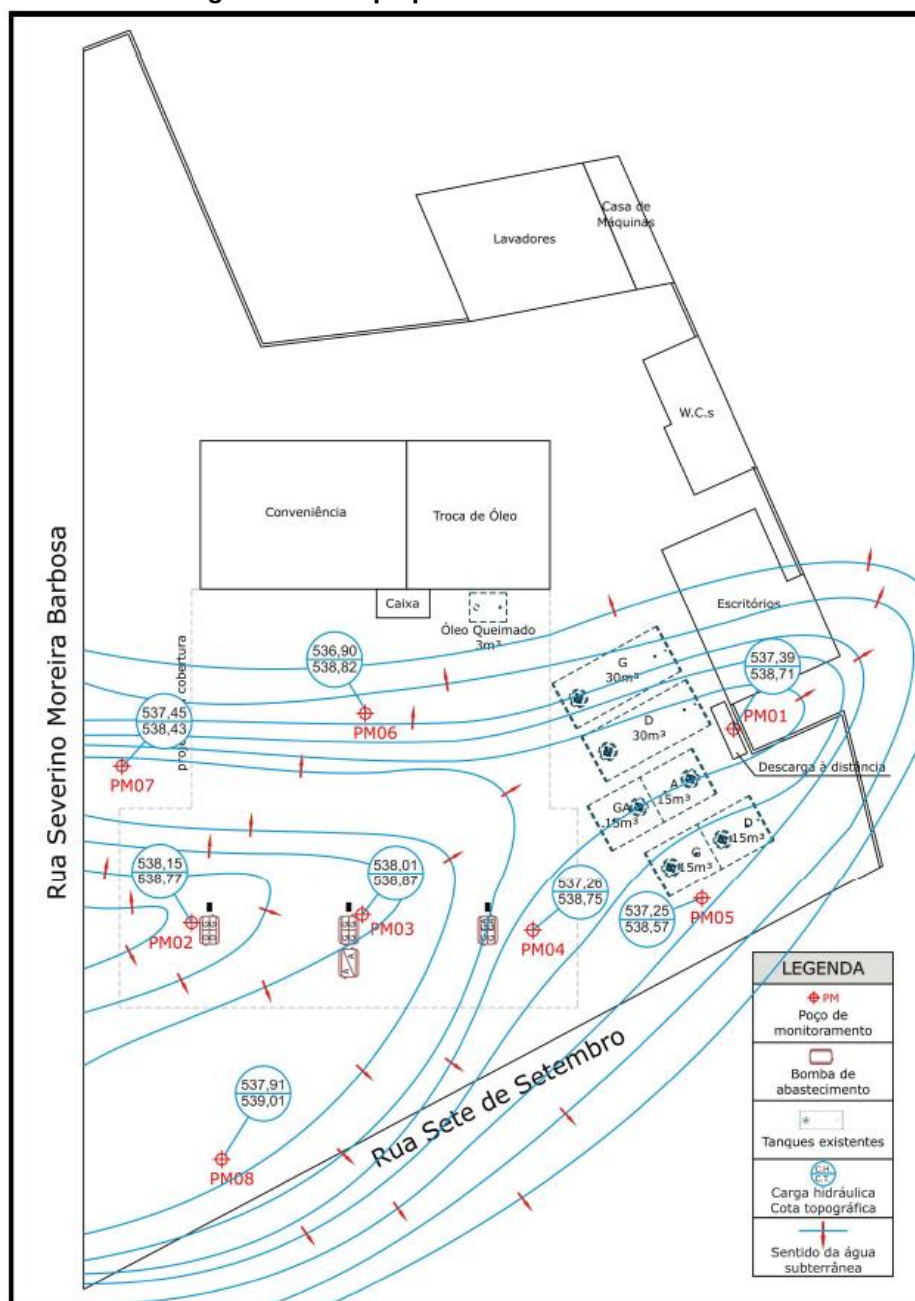
Figura 21: Croqui do sistema de remediação implantado na Área 4.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

O croqui potenciométrico da área em remediação e o sentido do fluxo da água subterrânea estão detalhados na Figura 22.

Figura 22: Croqui potenciométrico da Área 4.



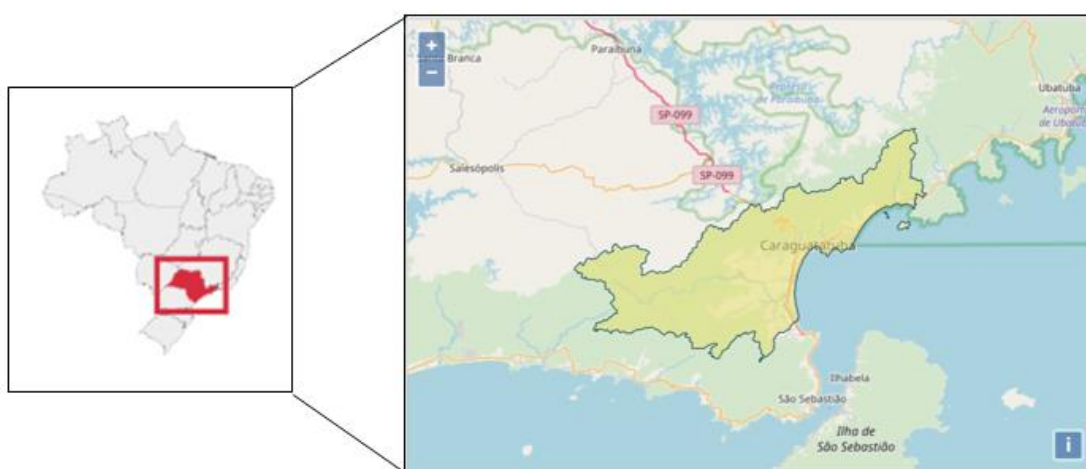
Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

4.5 Área 5: Caraguatatuba

4.5.1 Localização e caracterização da área

Na região litorânea do estado de São Paulo, Caraguatatuba é um importante município e possui aproximadamente 110 000 habitantes (IBGE, 2017). Pertencente a Bacia Hidrográfica do Litoral Norte (UGRHI 03) e com formação da Serra do mar, a geologia é constituída de solos PodizólicoHidromorfo e HidromorfoPodzólico Vermelho-Amarelo intergradeLatossolo Vermelho-Amarelo. Na região o potencial produtivo é considerado baixo devido a faixa de pH dos solos que varia entre 3,8 e 4,8. A Figura 23 exibe os limites de Caraguatatuba.

Figura 23: Limites do município de Caraguatatuba.



Fonte: IBGE, 2017.

4.5.2 Análise Investigativa e método de remediação

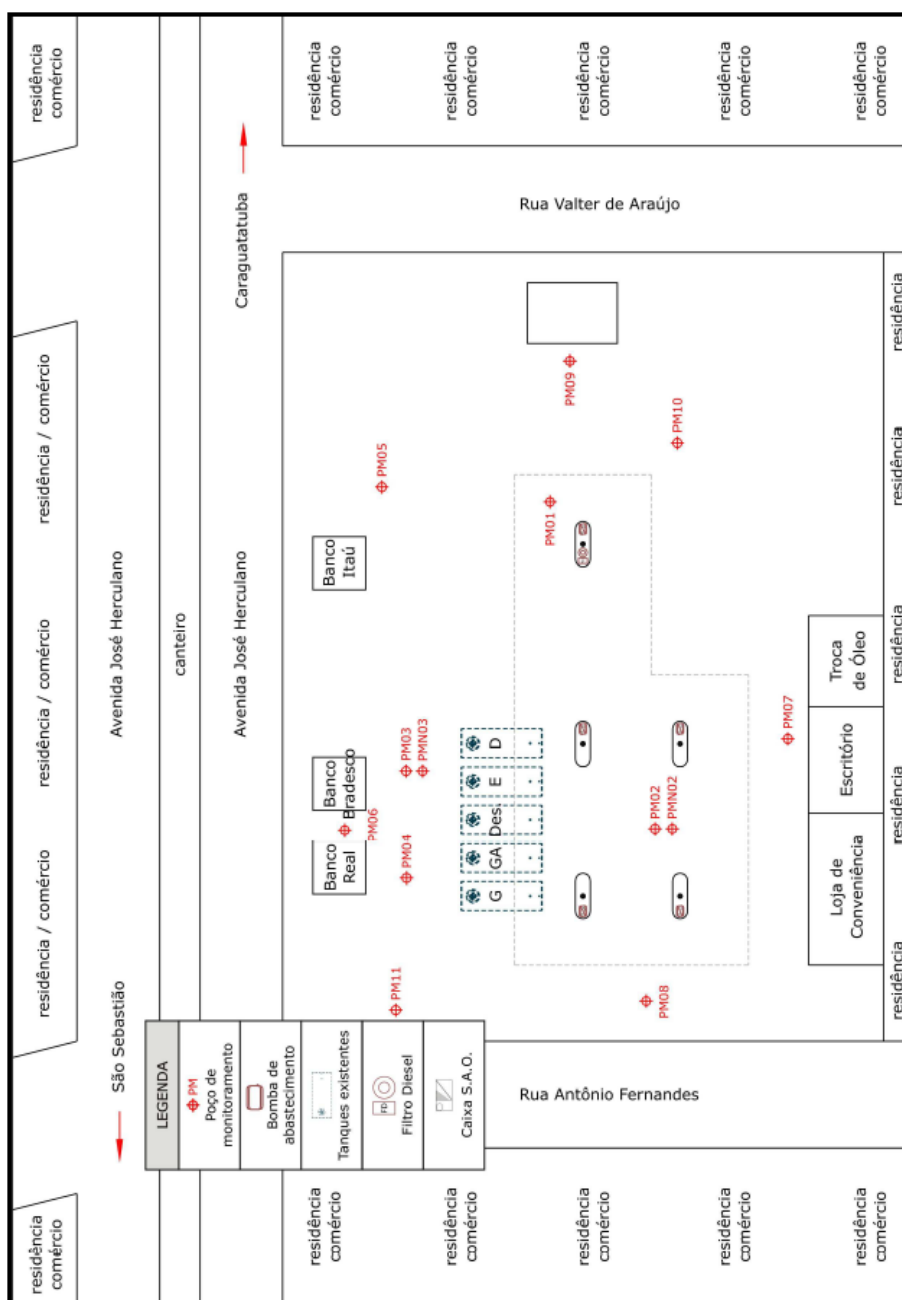
Os estudos investigatórios iniciais foram realizados pela empresa System Work Serviços Ambientais Ltda, no período de maio de 2006, através da instalação de quatro poços de monitoramento (PM) e de medições quanto a concentrações de BTEX e PAH's no solo e na água subterrânea. No poço PM 03 foram detectadas concentrações de BTEX acima dos limites de intervenção da CETESB (2005) na água subterrânea. As amostras do solo apresentaram concentrações dentro dos limites estabelecidos.

A empresa Construfer realizou a instalação de seis poços de monitoramento (PM05 ao PM 10) com o objetivo de realizar uma investigação detalhada no solo e na água subterrânea e para elaboração de um plano de intervenção.

Em dezembro de 2007, iniciou-se o processo de tratamento com a instalação de três poços de extração da fase livre PRFL 01, PRFL 02 e PRFL 03, próximo aos poços de monitoramento PM 01, PM 02 e PM 03 respectivamente.

A Figura 24 apresenta a localização dos novos poços de monitoramento, rasos e profundos, implantados no ano de 2010 e do sistema de remediação aplicado na área.

Figura 24: Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantados na Área 5.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Para a formação de dois conjuntos de poços multiníveis e avaliar a concentração do contaminante abaixo e próximo do nível freático, dois poços de monitoramento profundo, PMN 02 e PMN 03 foram implantados em conjunto com os poços rasos de monitoramento PM 02 e PM 03, no período de setembro de 2010 a janeiro de 2011. Ao mesmo tempo, o poço de monitoramento PM 11 foi instalado. Os dados referentes aos ensaios de monitoramento estão dispostos na Tabela 19. A cota de 5 metros foi a considerada em relação ao nível do mar.

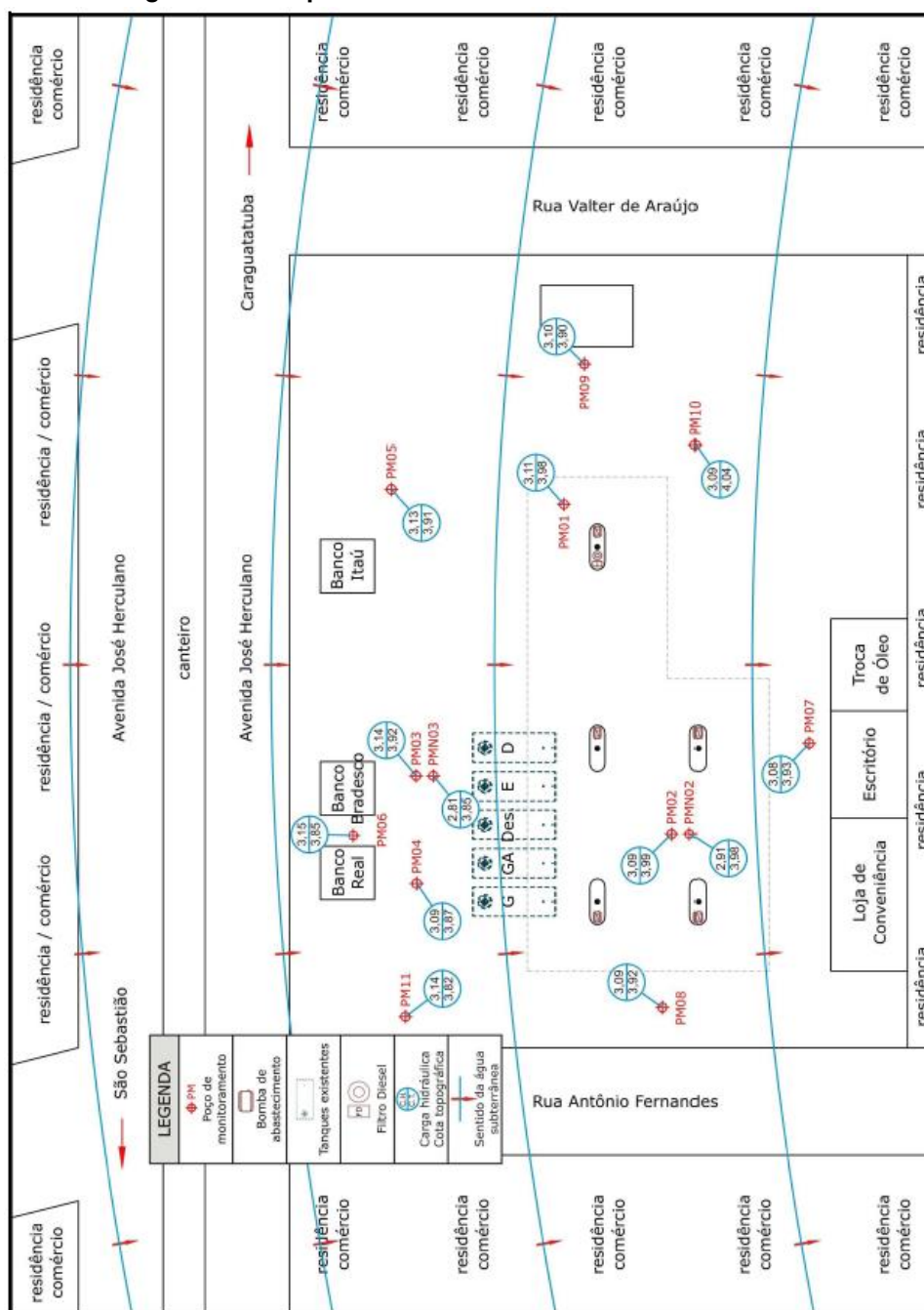
Tabela 19: Dados dos poços de monitoramento instalados na Área 5.

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

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

O croqui do fluxo do escoamento subterrâneo na área de remediação está representado na Figura 25.

Figura 25: Croqui do escoamento subterrâneo da Área 5.



Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

Concomitante ao período de remediação da área, o Posto passou por uma reforma completa na sua estrutura de armazenamento, com a substituição dos tanques de armazenamentos e de outros equipamentos, conforme a Figura 26.

Figura 26: Instalação de tanques ecológicos na Área 5.



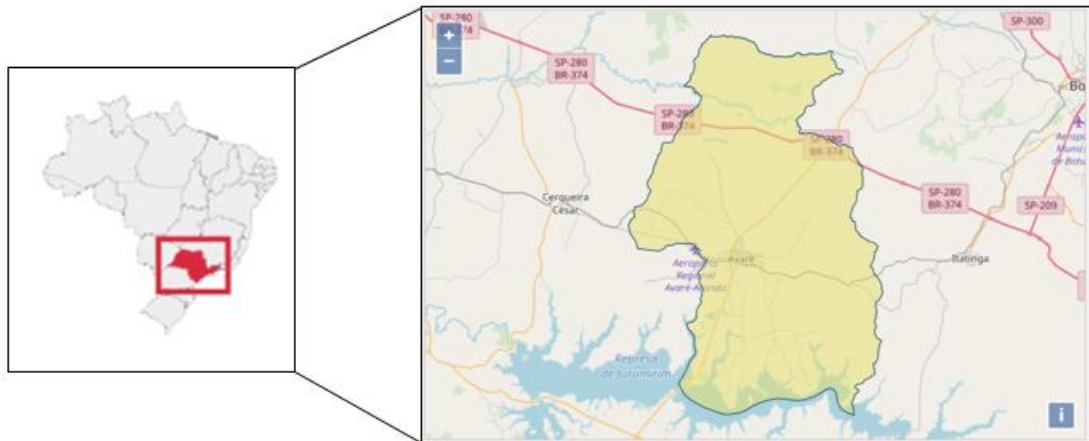
Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

4.6 Área 6: Avaré

4.6.1 Localização e caracterização da área

A Área 6 localiza-se no município de Avaré, que está a 233 km da capital paulista e segundo dados do IBGE possui aproximadamente 85 mil habitantes. Possui como atrativo a represa de Jurumirim, que está inserida na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema (UGHRI 17). De toda a água captada para abastecimento humano da bacia, estima-se que 35,66% é de origem subterrânea e 64,34% das captações corresponde à água superficial (CBH-MP, 2017). Segundo dados da CETESB *apud*. Fogaça (2014), a região de Avaré possui formação de rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, com predominância da formação Serra Geral que é ricamente composta por basalto. A Figura 27 ilustra o perímetro urbano de Avaré.

Figura 27: Limites do município de Avaré-SP.



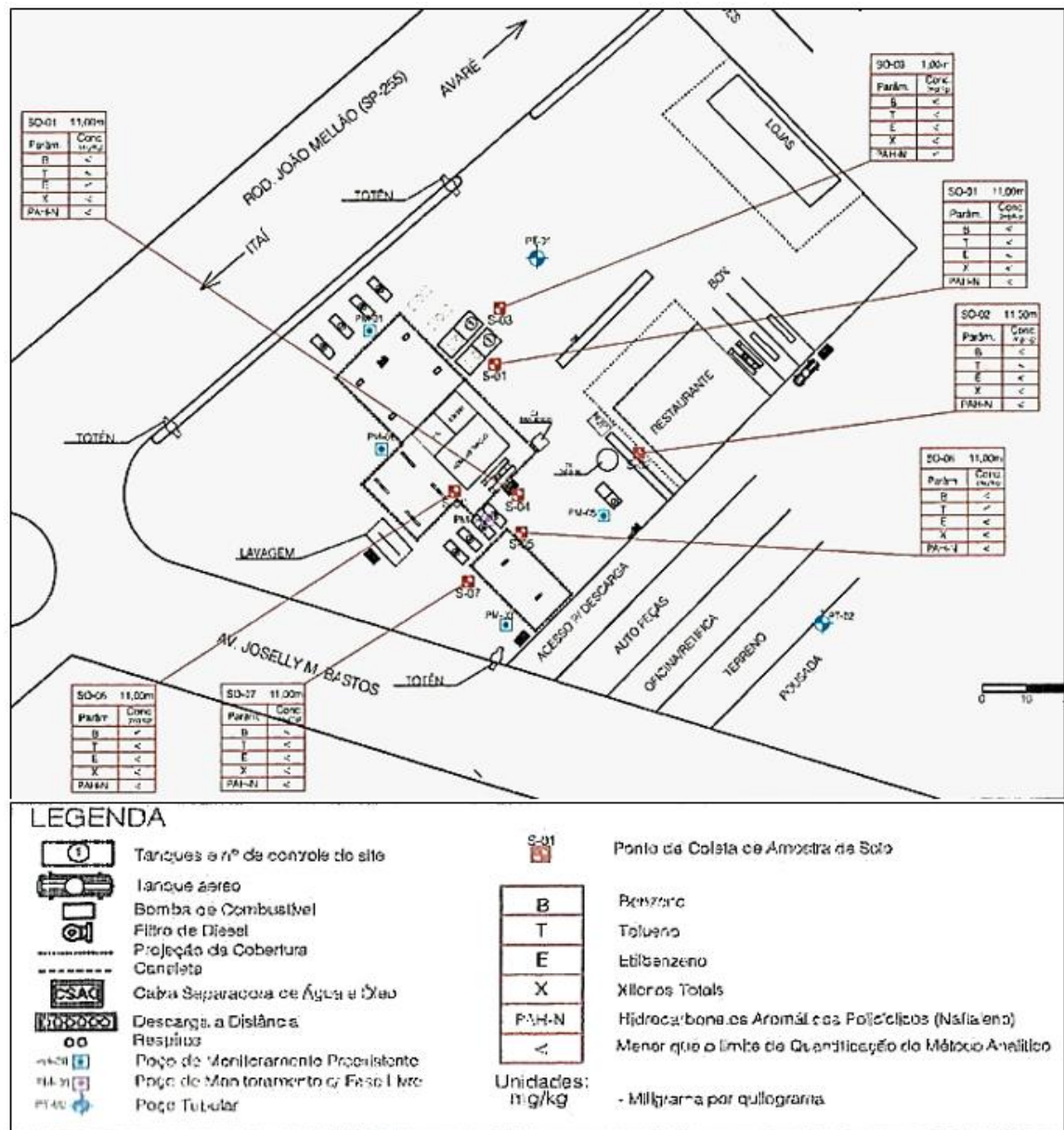
Fonte: IBGE, 2017.

4.6.2 Análise Investigativa e método de remediação

A investigação na área iniciou-se com a instalação de seis poços de sondagem e monitoramento para uma investigação confirmatória, em janeiro de 2003, com a coleta de seis amostras de água subterrânea e solo.

A Figura 28 demonstra a localização dos pontos de sondagem na área do posto em estudo.

Figura 28: Localização das sondagens de reconhecimento e distribuição dos resultados analíticos do solo.



Fonte: Relatório CETESB apud FOGAÇA 2014.

Os ensaios encontraram a presença de BTEX acima dos parâmetros da CETESB (2015) no poço PM-04 e concentrações abaixo dos valores de PAH no poço PM-02.

No mês de outubro de 2007, foram coletadas 13 (treze) amostras de água subterrâneas decorrentes de sete novos poços de monitoramento executados para uma investigação detalhada do local. Constatou-se a presença de benzeno no poço PM-04 de contaminação na fase livre, em concentração acima dos valores de SSTL - *Site-specific target level* (Nível Específico do Local de Destino) de benzeno nos

poços PM-05, PM-07 e PM-10, de tolueno nos poços PM-05 e PM-09, e ainda, a existência na pluma dissolvida de BTEX.

Já no período de julho de 2008, para a execução de um Relatório de Investigação Ambiental Complementar, sete novos poços de monitoramento foram instalados e dezesseis novas coletas realizadas. Foi detectada a ocorrência de benzeno nos poços PME-09, PME-12 e PME-20 em concentração acima dos valores de SSTL e de produto em fase livre no poço PM-14.

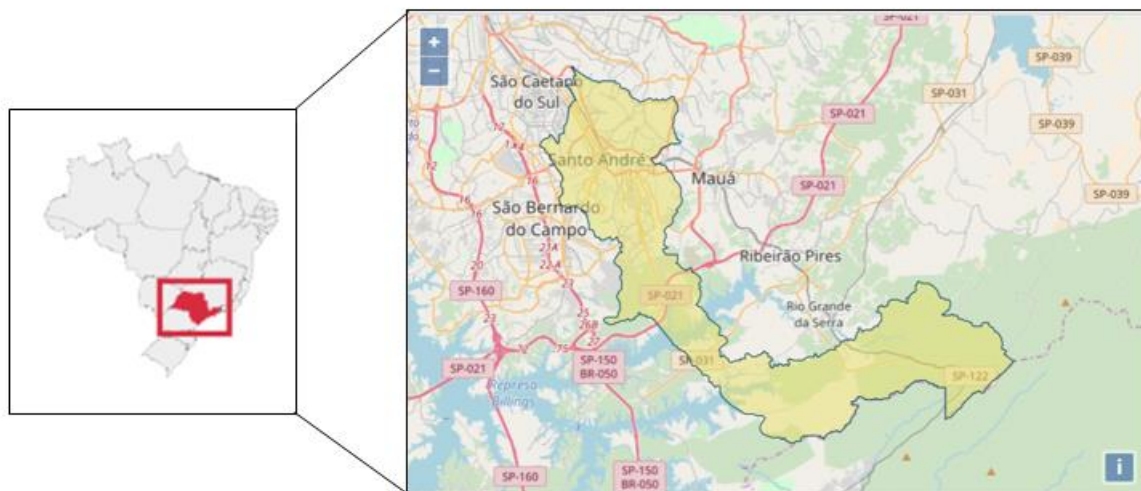
As atividades de remediação na área, através da execução de um poço de bombeamento, de quatro poços de extração de vapores do solo e da instalação de cinco poços para injeção de ar e pôr fim a instalação de mangueiras de ligação entre poços de injeção de ar e extração de vapores.

4.7 Área 7: Santo André

4.7.1 Localização e caracterização da área

A Área 7 está localizado na zona sudeste da grande São Paulo, no município de Santo André, que possui 676.407 mil habitantes. Situado na região dos Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, Santo André possui áreas territoriais próximas à Serra do Mar, com alguns pontos que atingem mais de 1200 m de altitude. O município pertence a bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que está inserida no maior polo econômico do país, centralizando a sede de grandes complexos industriais, comerciais e financeiros do país, fato que faz o uso da água ser elevado assim como a utilização de combustíveis. Os limites de Caraguatatuba estão dispostos na Figura 29.

Figura 29: Limites do município de Santo André-SP.



Fonte: IBGE, 2017.

4.7.2 Análise Investigativa e método de remediação

A empresa Kopf Serviços Ambientais Ltda foi a responsável pela realização da investigação dos passivos ambientais, em novembro de 2006, com a perfuração de três poços de monitoramento de água subterrânea e solo onde constatou-se a presença de Tolueno e Xileno acima das concentrações estabelecidas pela Cetesb 2005.

No período de julho a agosto do ano de 2007, a empresa Ecotest Tecnologia Ambiental Ltda realizou a extração dos tanques danificados.

Em setembro de 2007, a empresa Construfer Engenharia realizou a implantação de mais três poços de monitoramento denominados por PM 03, PM 04 e PM 05. Os ensaios realizados nas amostras de água subterrânea não detectaram concentrações de BTEX e PAH's acima dos limites estabelecidos pela CETESB (2005).

Novos ensaios investigativos, realizados em março de 2009, apontaram a concentrações acima dos limites da CETESB (2005).

No período de agosto a outubro de 2009, para a delimitação da pluma contaminada, novos postos de monitoramento foram executados, assim como a retirada de novas amostras de solo e de água subterrânea. Os testes confirmaram a contaminação da área e um sistema de remediação para atenuação da fase dissolvida no centro da pluma identifica foi instalado, mais precisamente no PM 09.

Após a identificação da presença de Benzeno em alta concentração na área, a técnica de remediação por bombeamento e tratamento foi instalado para atenuação da fase dissolvida. A posição dos poços de monitoramento e a localização da área onde foi instalado o sistema de remediação estão apresentados na Figura 30.

O sistema de bombeamento funcionou de forma intermitente, devido à baixa permeabilidade do solo.

Segundo Fogaça (2014), com a realização de três sondagens de solo e da implantação de três poços de monitoramento (PM1, PM2 e PM3), em novembro de 2009, deu-se início a investigação confirmatória na área e a necessidade de uma investigação detalhada, após a identificação de contaminante na fase livre na água subterrânea.

Para a sondagem do solo e determinação dos perfis de sondagens foram executadas quatro sondagens denominadas SPA-04 a SPA-07 e identificados a profundidade das camadas, a posição do nível d'água e a descrição litológica.

Na amostragem da água subterrânea e a delimitação das plumas livres e dissolvidas, foram perfurados três poços de monitoramento em complemento aos existentes.

A associação das técnicas de bombeamento e tratamento, injeção de ar, sistema de filtragem e biorremediação foram definidas para o processo de remediação da área.

Os poços de monitoramento P16, PM2 e PM5 foram utilizados para o bombeamento e remoção da fase livre e realização de medições periódicas sobre a eficiência do tratamento.

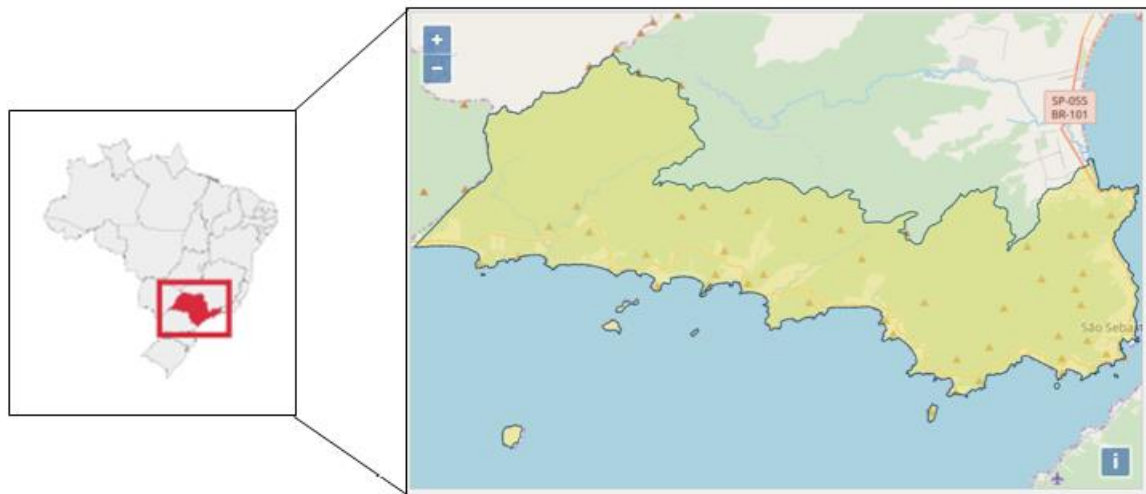
O processo de tratamento do efluente bruto ocorreu em cinco estágios: formação de colônia de bactérias aeróbicas; reator “facultativo”, separação física da fase livre, *Air Sparging* e um sistema de filtragem.

4.9 Área 9: São Sebastião

4.9.1 Localização e caracterização da área

A Área 9 têm sede na cidade de São Sebastião, no litoral do estado de São Paulo, cuja estimativa de população é de 73 942 habitantes (IBGE, 2017). A cidade está inserida nos limites da Bacia Hidrográfica do Litoral Norte (CBH-LN), juntamente com as demais cidades como Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba. A região faz parte da Zona de Cisalhamento Camburu (ZCC) com estrutura de embasamento cristalino de quartzo feldspáticos, característico do litoral paulista. A Figura 31 ilustra a localização de São Sebastião no estado de São Paulo.

Figura 31: Limites do município de São Sebastião -SP.



Fonte: IBGE, 2017.

4.9.2 Análise Investigativa e método de remediação

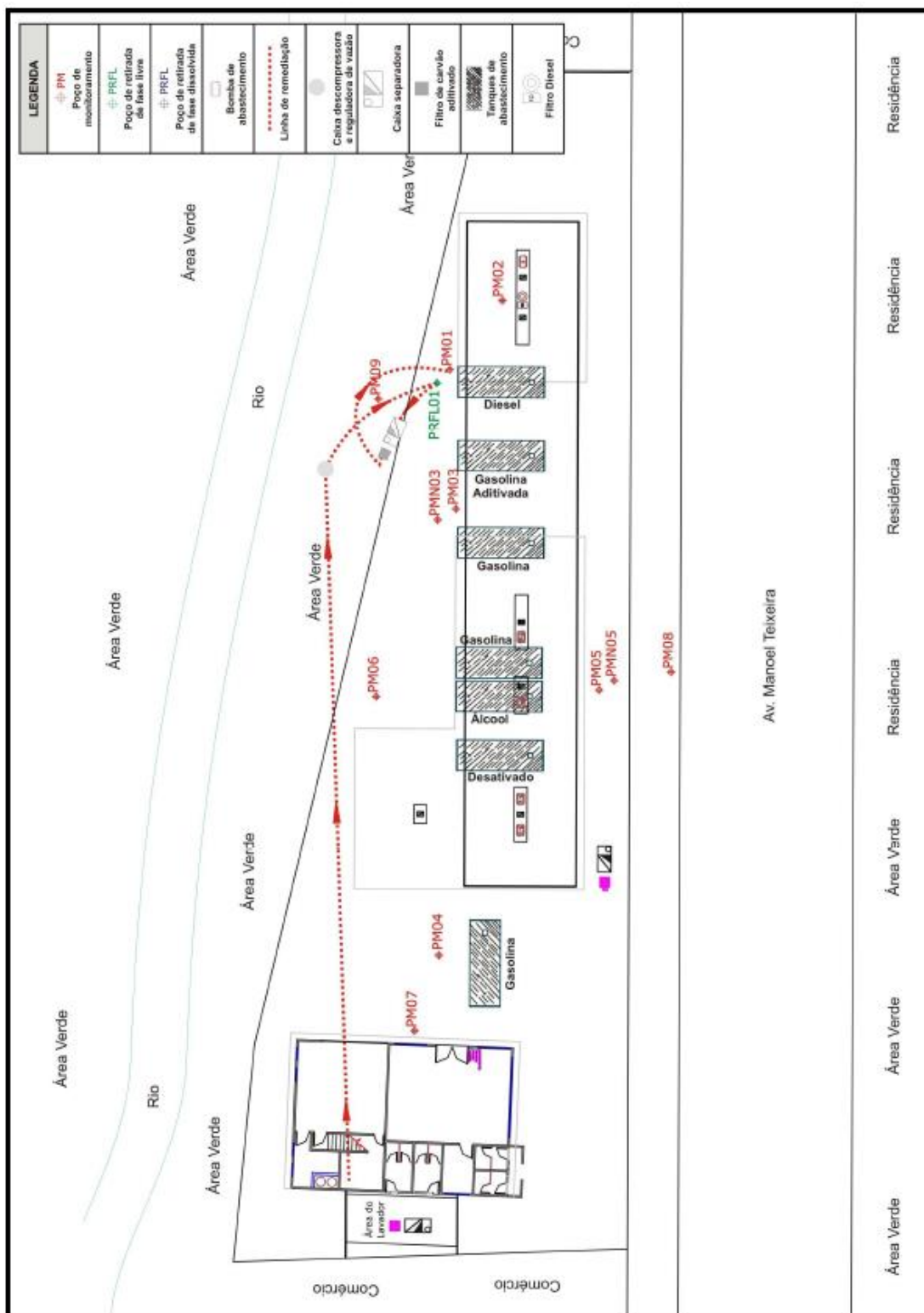
A partir de julho de 2006, após a perfuração de poços de monitoramento na área para a investigação de passivos ambientais, teve início ensaios para avaliar a existência de contaminação de solo e água subterrânea. No entanto, até agosto de 2008, as concentrações não ultrapassaram os limites de intervenção estabelecidos pela CETESB (2005).

Em setembro de 2008, após a identificação de contaminação por poluentes em fase livre, foi implantado um sistema de remediação de bombeamento e tratamento, através da instalação de um poço de extração PRFL 01 ao lado do posto de monitoramento PM 01 para retirada da fase livre. O sistema funcionou até dezembro de 2010.

As investigações ambientais foram retomadas na área em 2010 com a implantação de três novos poços de monitoramento PM 07, PM 08 e PM 09 e dois poços de monitoramento profundo PMN 03 e PMN 05 para a formação de um conjunto de poços multiníveis em conjunto os poços PM 03 e PM 05. E por fim ocorreu a delimitação das plumas de contaminação.

A Figura 32 apresentam a localização dos poços de monitoramento e do sistema de remediação aplicado.

Figura 32: Croqui de localização dos poços de monitoramento e sistema de remediação implantados na Área 9.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

5 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos das análises investigativas referentes aos postos analisados.

5.1 Área 1

Na investigação detalhada, em março de 2010, as amostras dos poços de monitoramento PT1, PT10, PT11, PT12 e PT 16 indicaram a presença de contaminante na fase livre, conforme a Tabela 20.

Tabela 20: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.

Data	Quantidade de fase livre (cm)				
	PT1	PT10	PT11	PT12	PT16
Investigação Detalhada	41,5	2,2	93,5	248,6	3,4

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

Na identificação da fase dissolvida, ensaios efetivados nos poços de monitoramento PT11, PT13, PT14, PT16, PT17, PT18, PT19 e PT20, para os parâmetros de BTEX e PAH's, apontaram amostras acima dos valores de intervenção da CETESB (2005), nos poços PT11 e PT16 para benzeno e xileno.

Nos poços PT11 e PT16, as análises referentes a identificação dos parâmetros de PAH's, indicaram concentrações acima dos limites de intervenção da CETESB (2005), para naftaleno e fenantreno, como apresentado na Tabela 21.

Tabela 21: Análise dos Parâmetros BTEX e PAH's – Água.

	Parâmetros	L.Q (µg L ⁻¹)	Amostras		V. I CETESB Água
			PT11	PT16	
BTEX	Benzeno	0,703	101,932	133,287	5,00
	Tolueno	1,000	< L.Q	< L.Q	700,00
	Etilbenzeno	1,000	< L.Q	< L.Q	300,00
	Xilenos totais	2,750	751,24	1338,734	500,00
	BTEX total		853,172	1472,021	
PAH	Naftaleno	0,155	3763,969	2301,33	140,00
	Fenantreno	0,238	1277,552	654,42	140,00
	Benzo (a) Pireno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,70
	Indeno (1,2,3) Pireno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,18
	PAH's Total		5041,521	2955,75	

L.Q – Limite de Quantificação Laboratorial.

V.I – Valores de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

As análises na fase retida, nas amostras de solo, apontaram concentrações acima dos Limites de Quantificação, no ponto PT16, para os parâmetros benzeno, tolueno e etilbenzeno. Apenas nos pontos PT1 e PT16, para o benzeno, a concentração extrapolou os valores limites de intervenção da CETESB (2005).

A Tabela 22 apresenta os resultados referentes as análises dos parâmetros de PAH's no ponto PT16.

Tabela 22: Análises dos parâmetros BTEX e PAH's - Solo.

	Parâmetros	Amostras	
		PT16 - 9 m	PT16 - 9,7 m
BTEX	Benzeno	190,3009	93,623
	Tolueno	165,731	74,129
	Etilbenzeno	322,564	115,77
	Xilenos totais	< L.Q	< L.Q
	BTEX total	-	-
PAH	Naftaleno	18866,285	7494,423
	Fenantreno	4938,446	2140,318
	Benzo (a) Pireno	< L.Q	< L.Q
	Indeno (1,2,3) Pireno	< L.Q	< L.Q
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< L.Q	< L.Q
	PAH's Total	-	-

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

O resumo dos ensaios referentes a investigação detalhada, em março de 2010, está disposto na Tabela 23.

Tabela 23: Resumo das fases detectadas na Investigação Detalhada.

Local	Fase	Parâmetro
PT11 e PT 16	Fase dissolvida	Benzeno, Xilenos Totais, Naftaleno, Fenantreno
PT16	Fase retida	Benzeno
PT1, PT10, PT11, PT12, PT16	Fase livre	-----

Fonte: VERHNJAK, 2015.

No mesmo período, iniciou-se o processo de remediação por Bombeamento e Tratamento para remoção da fase livre e os resultados quantitativos identificados no monitoramento durante o processo estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Quantidade de fase livre identificada no poço de monitoramento.

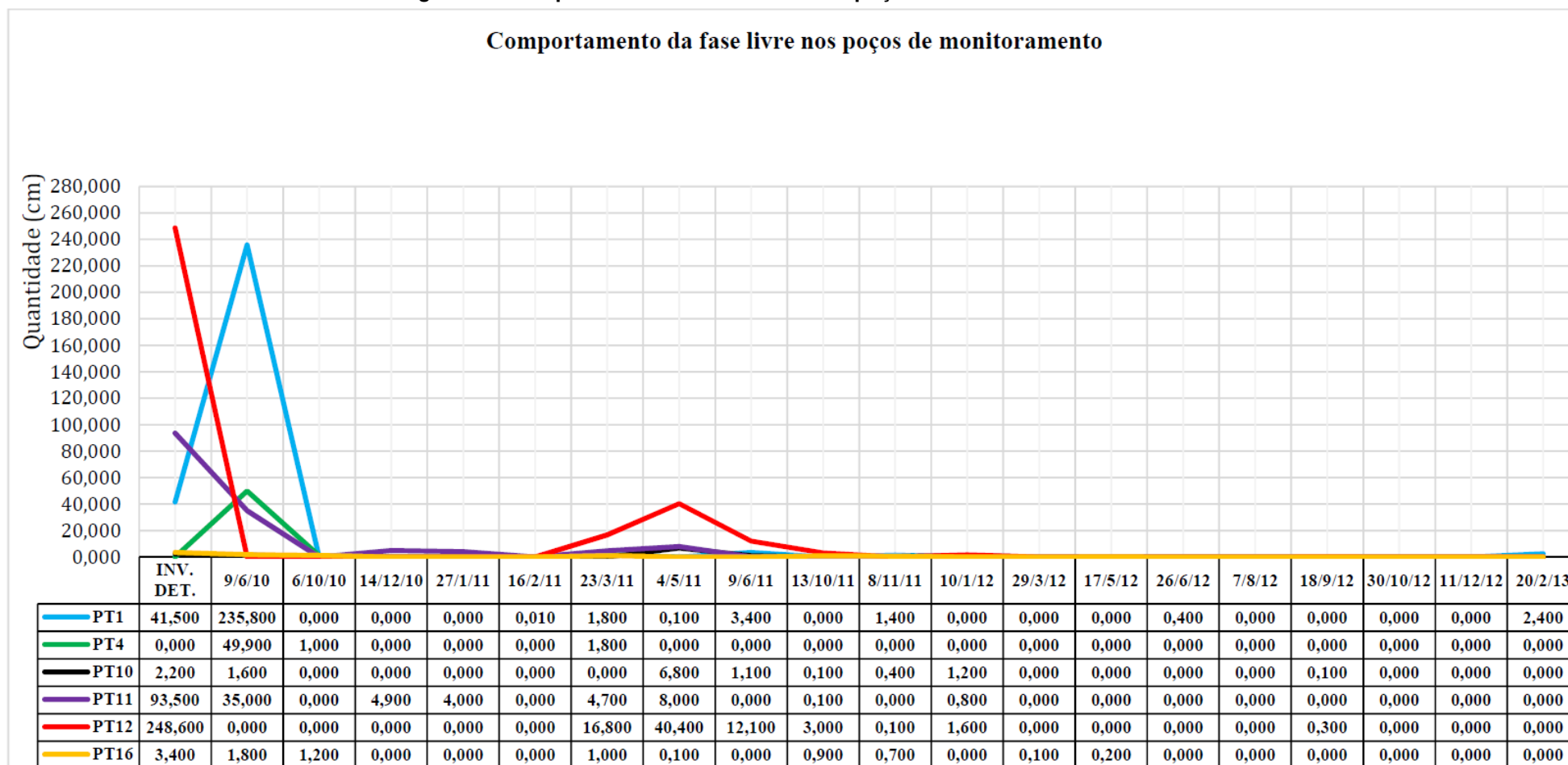
Data	Quantidade de fase livre (cm)				
	PT1	PT10	PT11	PT12	PT16
Investigação Detalhada	41,500	2,200	93,500	248,600	3,400
30/03/2010	0,001	NR	NR	NR	NR
06/05/2010	0,415	0,022	0,935	2,486	0,034
09/06/2010	2,358	0,016	0,350	3,520	0,018
23/07/2010	NR	NR	NR	NR	NR
06/10/2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
04/05/2011	0,100	6,800	8,000	40,400	0,100
09/06/2011	3,400	1,100	0,000	12,100	0,000
13/10/2011	0,000	0,100	0,100	3,000	0,900
08/11/2011	1,400	0,400	0,000	3,000	0,900
10/01/2012	0,000	1,200	0,800	1,600	0,000
29/03/2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100
17/05/2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200
26/06/2012	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000
07/08/2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18/09/2012	0,000	0,100	0,000	0,300	0,000
30/10/2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11/12/2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20/02/2013	2,400	0,000	0,000	0,000	0,000
03/04/2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05/06/2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11/07/2013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

O sistema implantado se mostrou eficiente na remoção da pluma na fase livre e remediou 100% da contaminação, com base nos ensaios de monitoramento realizados.

O resultado do comportamento da fase livre nos poços de monitoramento está representado na Figura 33.

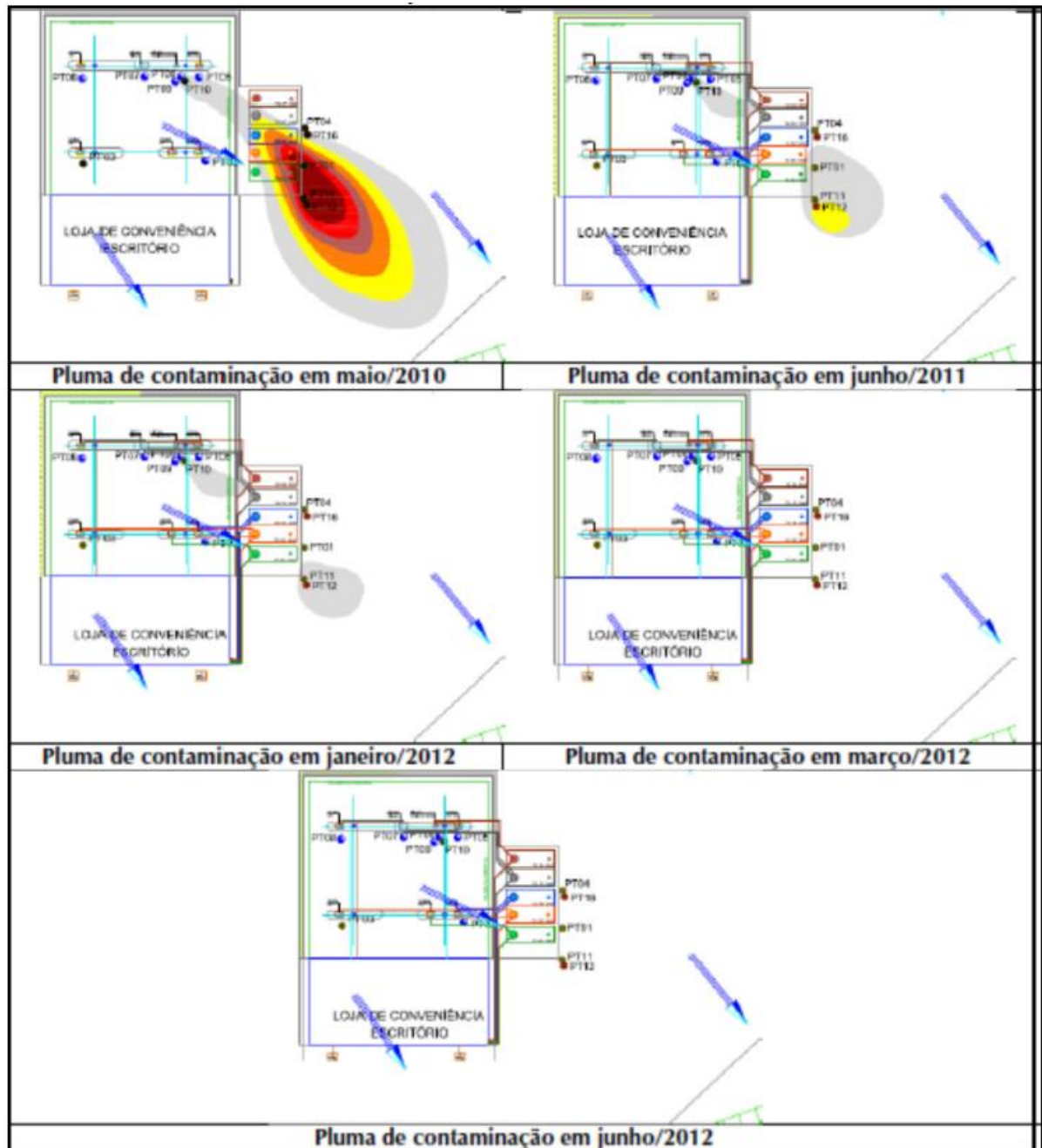
Figura 33: Comportamento da fase livre nos poços de monitoramento.



Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

As comparações entre as plumas de contaminação indicam uma redução considerável durante o período entre maio de 2010, ainda no estudo de investigação, até junho de 2011, já com a remediação em andamento. Em março de 2012, a pluma foi atenuada de forma total, conforme a Figura 34.

Figura 34: Comparação das plumas de contaminação.

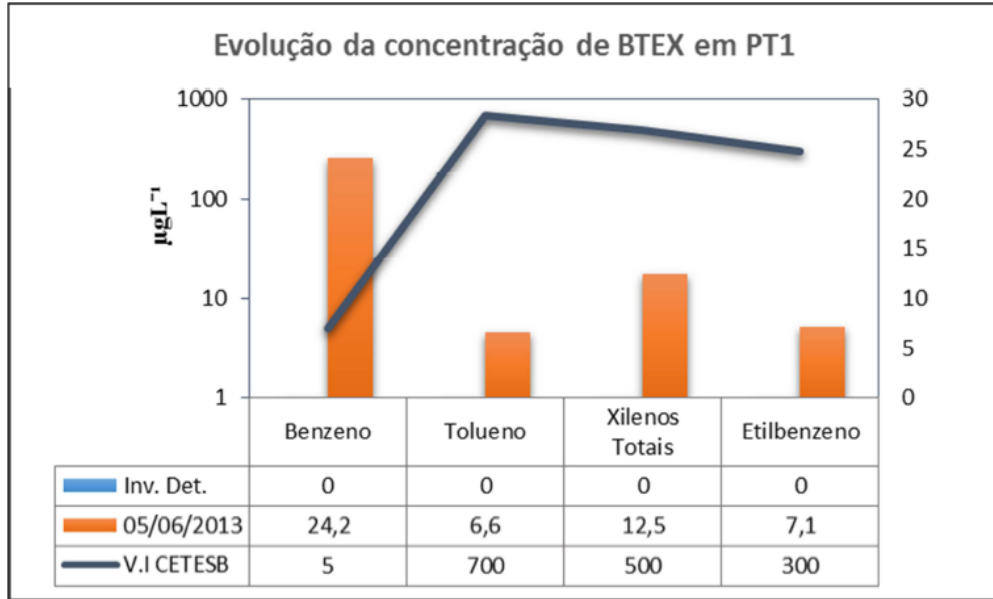


Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

O comportamento da fase dissolvida, com base na investigação detalhada, é apresentado através de gráficos, apenas dos poços PT1, PT11, PT12 e PT16 que indicaram a presença de contaminantes nas coletas.

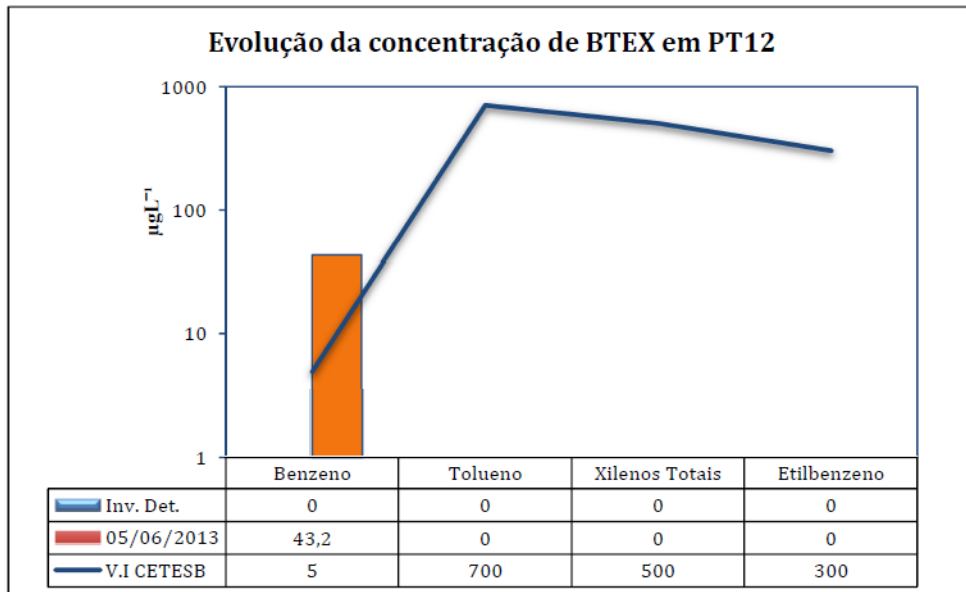
As Figuras 35 e 36 revelam a evolução da concentração de BTEX na fase dissolvida nos poços PT1 e PT12.

Figura 35: Evolução da concentração de BTEX em PT1.



Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

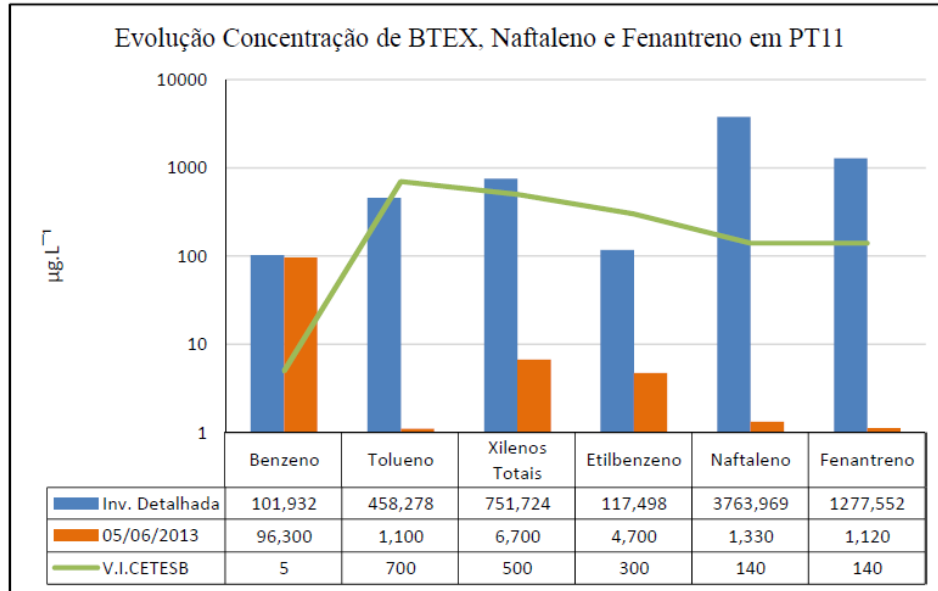
Figura 36: Evolução da concentração de BTEX em PT12.



Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

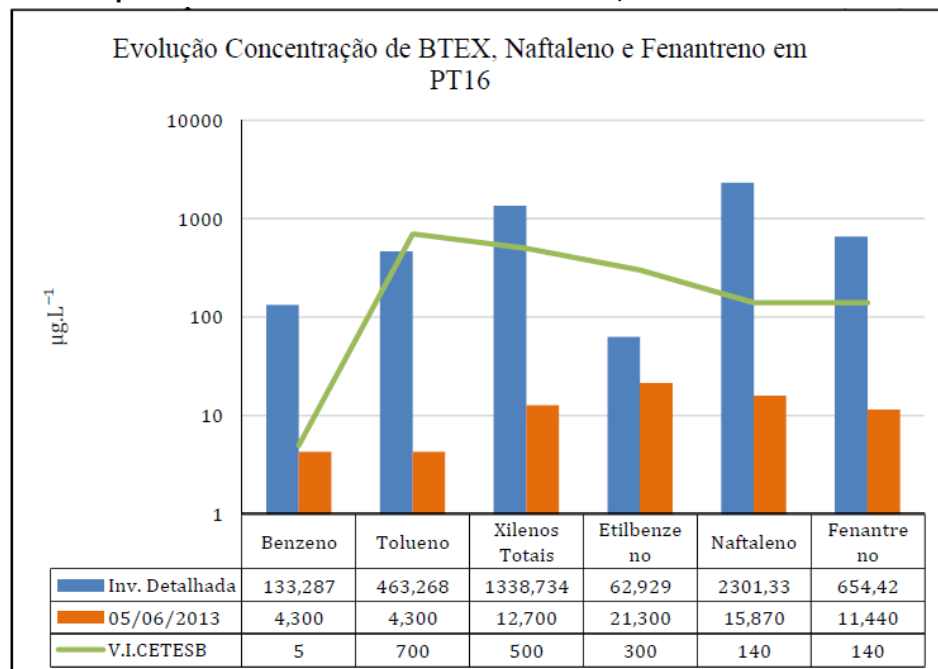
O comportamento da fase dissolvida dos parâmetros de BTEX, naftaleno e fenantreno, nos poços PT11 e PT16 estão expressos nas Figura 37 e 38.

Figura 37: Evolução da concentração de BTEX, naftaleno e fenantreno em PT11.



Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

Figura 38: Comportamento da fase dissolvida de BTEX, naftaleno e fenantreno em PT16.



Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

A eficiência na redução dos contaminantes na fase dissolvida, nos poços PT11 e PT16, são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25: Resumo de eficiência (ε).

	Parâmetros	PT11 (%)	PT16 (%)
BTEX	Benzeno	5,52	96,77
	Tolueno	99,76	99,07
	Xilenos totais	99,11	99,05
	Etilbenzeno	96,00	66,15
PAH	Naftaleno	99,60	99,31
	Fenantreno	99,01	98,25

Fonte: VERHNJAK, 2015.

Os resultados analíticos para os parâmetros de BTEX e PAH's em água estão descritos na Tabela 26.

Tabela 26: Resultados analíticos em água.

	Parâmetros	L.Q ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Amostras		Legislação	V. I CETESB Água
			Poço Tubular	Saída Estação de Tratamento		
BTEX	Benzeno	0,703	ND	ND	VI - CETESB (água)	5,00
	Tolueno	0,866	ND	ND		700,00
	m.p-xileno	1,951	ND	ND		-
	o-xileno	0,799	ND	ND		-
	Xilenos totais	2,750	ND	ND		500,00
	Etilbenzeno	0,988	ND	ND		300,00
PAH	Naftaleno	0,155	11,034	48,417		140,00
	Acenaftileno	0,108	22,831	110,203		-
	Fluoreno	0,239	10,535	138,652		-
	Fenantreno	0,146	1,345	27,333		-
	Antraceno	0,238	0,993	10,772		140,00
	Fluoranteno	0,270	22,703	68,583		-
	Pireno	0,229	1,558	47,852		-
	Benzo (a) Antraceno	0,154	1,690	22,603		-
	Criseno	0,159	ND	< L.Q		1,75
	Benzo (b) Fluoranteno	0,216	ND	< L.Q		-
	Benzo (k) Fluoranteno	0,267	ND	< L.Q		-
	Benzo (a) Pireno	0,111	ND	< L.Q		-
	Indeno (1,2,3) Pireno	0,103	ND	< L.Q		0,70
	Dibenzo (a,h) Antraceno	0,081	ND	< L.Q		0,17
	Benzo (g,h,i) Pirileno	0,306	ND	< L.Q		0,18

Fonte: CBC Ambiental apud VERHNJAK, 2015.

A Tabela 27 apresenta a porcentagem de produto recuperado em função do tempo de monitoramento.

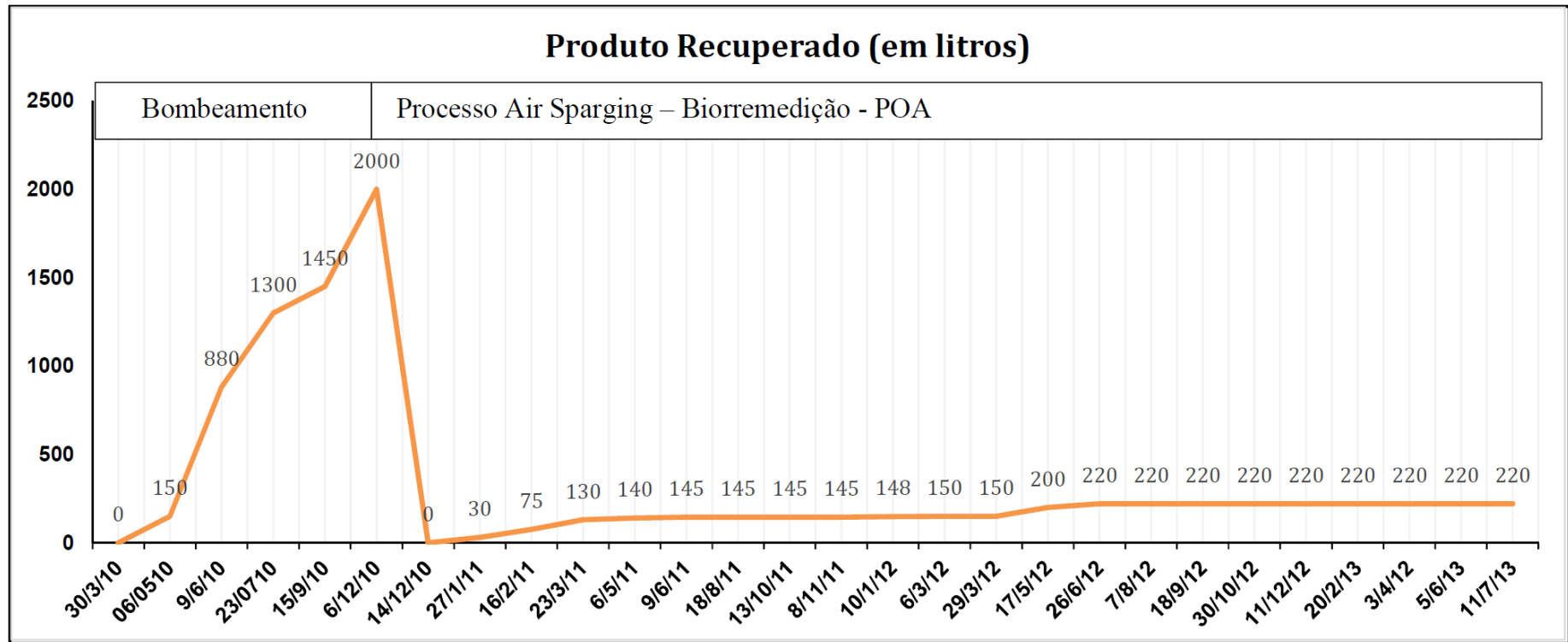
Tabela 27: Recuperação de óleo diesel.

Período	Dias	Remoção	%
30/03/2010 a 14/12/2010	259	2000	90,90
14/12/2010 a 11/07/2013	940	220	9,09
Total		2220	

Fonte: VERHNJAK, 2015.

A quantidade de produto recuperado durante o processo associado de remediação composto por Bombeamento e Tratamento, *Air Sparging*, Biorremediação e POA está representado na Figura 39.

Figura 39: Produto recuperado em litros.



Fonte: VERHNJAK, 2015.

5.2 Área 2

Os ensaios de investigação confirmatória, realizados em novembro de 2007, nas amostras dos pontos PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, PM 05, PM 06 e PM 07 não indicaram a presença de contaminante no solo e na fase livre. No entanto, nas amostras da água subterrânea, na fase dissolvida, foram encontrados valores acima dos padrões permitidos pela CETESB (2005) de Benzeno e Xilenos Totais no ponto PM 03, de Benzeno no ponto PM 04 e de todos os parâmetros de BTEX no ponto PM 05.

As amostras de água subterrânea apontaram a presença de BTEX na fase dissolvida, provenientes de vazamentos de gasolina.

Em outubro de 2008, para a delimitar e quantificar a contaminação, foi realizado uma investigação detalhada nas amostras retiradas dos poços de monitoramento PM 08, PM 09, PM 10, PM 11, PM 12, PM 13 e PM 14, e os resultados expostos para as análises das amostras de solo e para os parâmetros BTEX, estão indicados nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 28: Resultados analíticos para amostras solos - BTEX.

BTEX	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras						V.I.
		PM 8		PM 9		PM 10		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Benzeno	3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	32,540	80
Tolueno	2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	149,536	30000
m, p-xileno	4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	653,970	X
o- xileno	2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	220,678	X
Xileno Total	X	X	X	X	X	X	874,648	30000
Etilbenzeno	1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	222,288	40000
BTEX Total	X	X	X	X	X	X	1279,011	X

L.Q: Limite de Quantificação.

V.I: Valor de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

Tabela 29: Resultados analíticos para amostras solos - BTEX.

BTEX	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras								V.I.
		PM 11		PM 12		PM 13		PM 14		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Benzeno	3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	<3,999	80
Tolueno	2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	<2,012	30000
m, p-xileno	4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	<4,295	X
o- xileno	2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	<2,597	X
Xileno Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	30000
Etilbenzeno	1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	<1,803	40000
BTEX Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

L.Q: Limite de Quantificação.

V.I: Valor de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

Todos os pontos avaliados não indicaram concentração de contaminantes superiores aos limites de intervenção da CETESB (2005). O Ponto PM 10 apresentou uma maior presença de contaminantes do grupo BTEX, porém dentro dos padrões permitidos.

Os resultados dos ensaios referentes a concentração de PAH's no solo estão expressos nas Tabelas 30 e 31.

Tabela 30: Resultados analíticos das amostras solos - PAH's.

PAH	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras						V.I.
		PM 8		PM 9		PM 10		
		1m	7m	1m	7m	1m	7m	
Naftaleno	23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	60000
Acenaftileno	27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	X
Acenafteno	13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	X
Fluoreno	27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	X
Fenantreno	34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	40000
Antraceno	37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	X
Fluoranteno	10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	X
Pireno	26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	X
Benzo(a) antraceno	22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	20000
Criseno	10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	X
Benzo(b) Fluoranteno	17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	X
Benzo(k) Fluoranteno	28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	X
Benzo (a) Pireno	14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	1500
Indeno (1,2,3) pireno	18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	25000
Dibenzeno (a,h) antraceno	13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	600
Benzo (g,h,i) Perileno	30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	X
PAH Total	X	X	X	X	X	X	X	X

L.Q: Limite de Quantificação.

V.I: Valor de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

Tabela 31: Resultados analíticos das amostras solos - PAH.

PAH	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras								V.I.
		PM 11	PM 12	PM 13	PM 14	PM 11	PM 12	PM 13	PM 14	
Naftaleno	23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	<23,239	60000
Acenaftileno	27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	<27,021	X
Acenafteno	13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	<13,554	X
Fluoreno	27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	<27,334	X
Fenantreno	34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	<34,152	40000
Antraceno	37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	<37,582	X
Fluoranteno	10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	<10,057	X
Pireno	26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	<26,912	X
Benzo(a) antraceno	22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	<22,872	20000
Criseno	10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	<10,164	X
Benzo(b) Fluoranteno	17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	<17,348	X
Benzo(k) Fluoranteno	28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	<28,356	X
Benzo (a) Pireno	14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	<14,580	1500
Indeno (1,2,3) pireno	18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	<18,991	25000
Dibenzeno (a,h) antraceno	13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	<13,290	600
Benzo (g,h,i) Perileno	30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	<30,379	X
PAH Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

L.Q: Limite de Quantificação.

V.I: Valor de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

As concentrações de PAH's obtidas em todos os pontos ficaram abaixo dos limites de Quantificação, com isso, sem a presença de contaminante.

Os ensaios realizados em amostras de água subterrânea, tem seus resultados apresentados na Tabela 32 para os parâmetros BTEX, e na Tabela 33 para análise dos PAH's.

Tabela 32: Resultados analíticos das amostras água - BTEX.

BTEX	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras						V.I.
		PM 8	PM 9	PM 10	PM 11	PM 13	PM 14	
Benzeno	0,800	<0,800	68,859	15,025	<0,800	<0,800	<0,800	5
Tolueno	0,402	<0,402	<0,402	24,143	<0,402	<0,402	<0,402	700
m, p-xileno	0,896	<0,896	2,046	304,318	<0,896	<0,896	<0,896	X
o- xileno	0,519	<0,519	2,543	149,319	<0,519	<2,519	<0,519	X
Xileno Total	X	X	4,589	453,637	X	X	X	500
Etilbenzeno	0,361	<0,361	<0,361	30,007	<0,361	<0,361	<0,361	300
BTEX Total	X	X	73,448	X	X	X	X	X

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

Foram identificadas concentrações de benzeno acima dos limites de intervenção da CETESB (2005), nas amostras ensaiadas de água subterrânea nos pontos PM 09 e PM 10.

Tabela 33: Resultados analíticos para amostras água - PAH's.

PAH	LQ (mgkg ⁻¹)	Amostras					V.I.
		PM 8	PM 9	PM 10	PM 11	PM 13	
Naftaleno	0,155	3,235	3,809	22,609	0,155	0,155	140
Acenaftileno	0,108	1,268	0,575	0,473	0,108	0,108	X
Acenafteno	0,239	0,239	0,239	0,479	0,239	0,239	X
Fluoreno	0,146	0,146	0,146	0,360	0,146	0,146	X
Fenantreno	0,238	8,340	10,348	0,238	0,238	0,238	140
Antraceno	0,253	0,253	0,560	0,253	0,253	0,253	X
Fluoranteno	0,27	18,064	10,414	0,270	0,270	0,270	X
Pireno	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229	0,229	X
Benzo(a) antraceno	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	1,75
Criseno	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	X
Benzo(b) Fluoranteno	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	0,216	X
Benzo(k) Fluoranteno	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	X
Benzo (a) Pireno	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,7
Indeno (1,2,3) pireno	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,17
Dibenzeno (a,h) antraceno	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,18
Benzo (g,h,i) Perileno	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	X
PAH Total	X	X	X	X	X	X	X

L.Q: Limite de Quantificação.

V.I: Valor de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

A ausência de água no poço PM 12 no momento da coleta, impossibilitou a análise da água subterrânea e no ponto PM 14 permitiu apenas a realização de ensaios para os parâmetros de BTEX.

Em maio de 2009, novos ensaios confirmatórios para a presença de contaminantes de solo e de água subterrânea foram realizados e os resultados apresentado nas Tabelas 34 e 35.

Tabela 34: Estado de contaminação do solo.

Ponto	Amostras de solo		Situação
	Parâmetro BTEX	PAH	
PM3	ND	ND	Ausente
PM4	ND	ND	Ausente
PM5	ND	ND	Ausente
PM9	ND	ND	Ausente
PM10	X	ND	Presença de BTEX
PM11	ND	ND	Ausente
PM13	ND	ND	Ausente

ND – Não detectado.

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

Tabela 35: Estado de contaminação da água subterrânea.

Ponto	Amostras de água subterrânea		Situação
	Parâmetro BTEX	PAH	
PM3	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM4	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM5	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM9	X	X	BTEX acima dos V.I., presença de PAH
PM10	X	X	BTEX acima dos V.I., presença de PAH
PM11	X	ND	BTEX acima dos V.I.
PM13	X	ND	BTEX acima dos V.I.

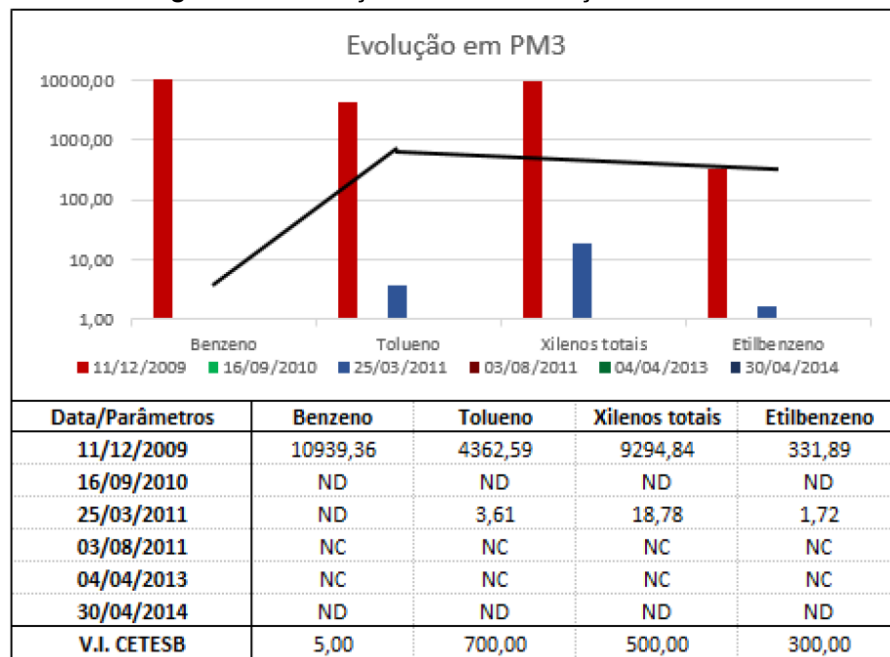
ND – Não detectado.

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

O processo de remediação ocorreu de junho de 2009 a julho de 2014, com a aplicação do sistema de bombeamento e tratamento de forma associada com a biorremediação e o sistema de extração de vapores do solo (SVE) com a remediação média de 0,34 m³ diários e totalizando de forma aproximada, 627 m³ de efluente tratado.

As Figuras 40 a 46 indicam a evolução da concentração dos contaminantes nos pontos PM 03, PM 04, PM 05, PM 09, PM 10, PM 11 e PM 13, respectivamente.

Figura 40: Evolução da contaminação em PM 03.



ND = Não detectado

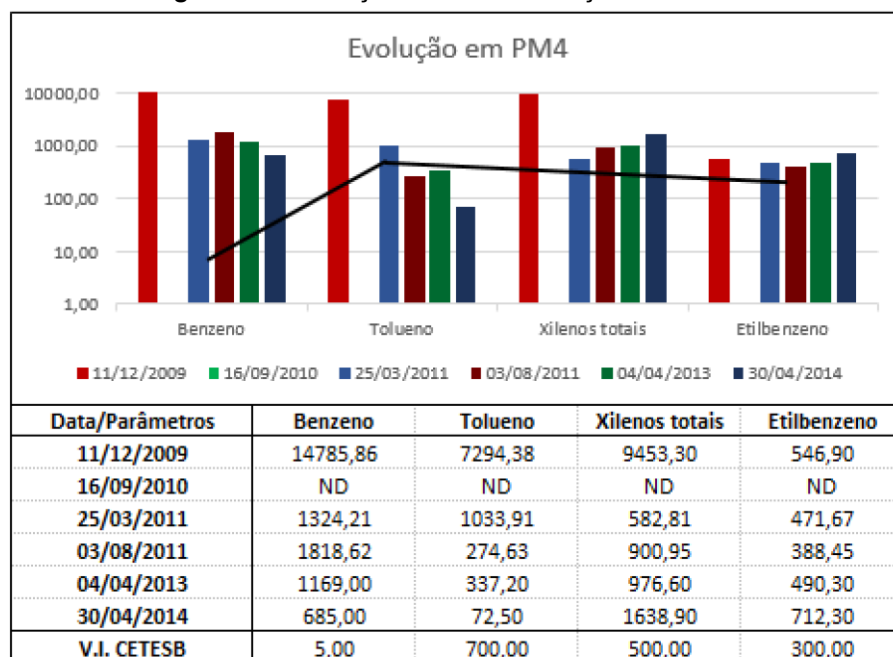
NC = Não coletado

— Valor de Intervenção

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No Ponto PM 03, a remediação alcançou uma redução de 100%, com a ausência de concentrações de hidrocarboneto na última coleta.

Figura 41: Evolução da contaminação em PM 04.



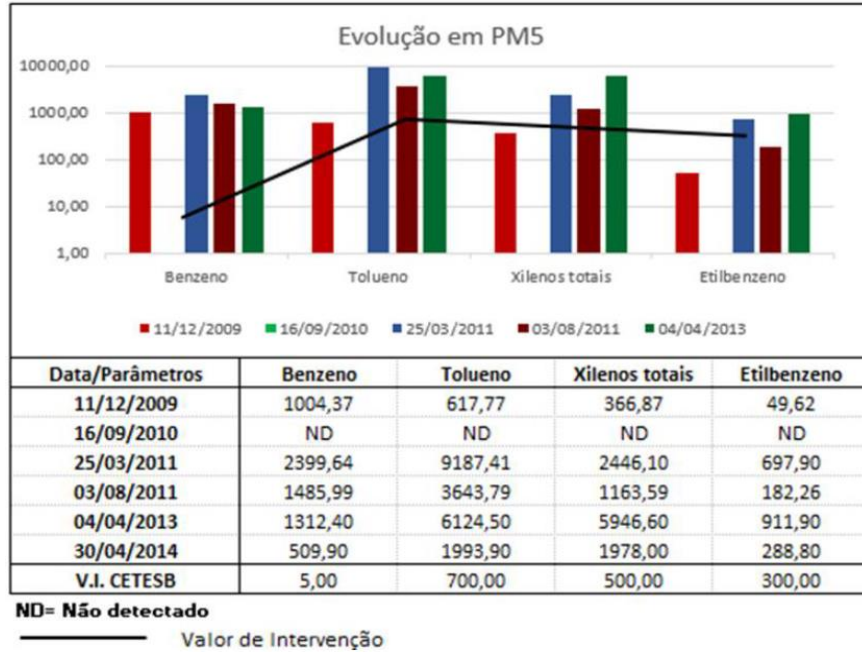
ND = Não detectado

— Valor de Intervenção

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No Ponto PM 04, ocorreu a redução de 95,4% para benzeno, 99,0% para tolueno, 82,7% para xilenos totais e aumento de 30% para Etilbenzeno, provavelmente justificado pelo deslocamento da pluma.

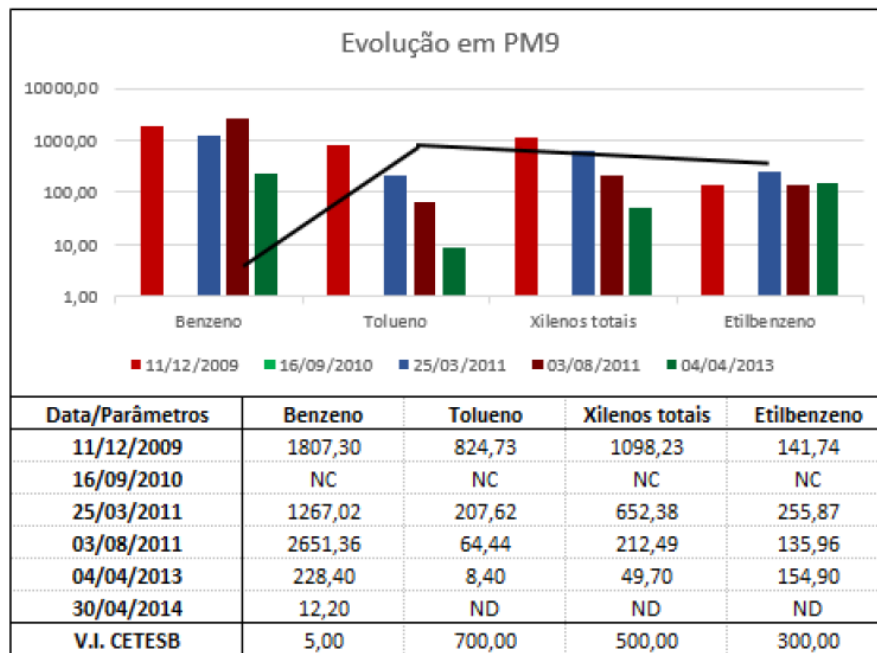
Figura 42: Evolução da contaminação em PM 05.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No ponto PM 05, apenas o benzeno sofreu uma redução de 49,2%. Os demais parâmetros de BTEX sofreram aumento, de 222,7% o tolueno, de 439,1% os xilenos totais, de 482,0% o etilbenzeno. O fato da bomba de sucção estar localizada próxima ao ponto PM 05 explica a migração de contaminantes da fase residual dos outros pontos para o ponto estudado.

Figura 43: Evolução da contaminação em PM 09.



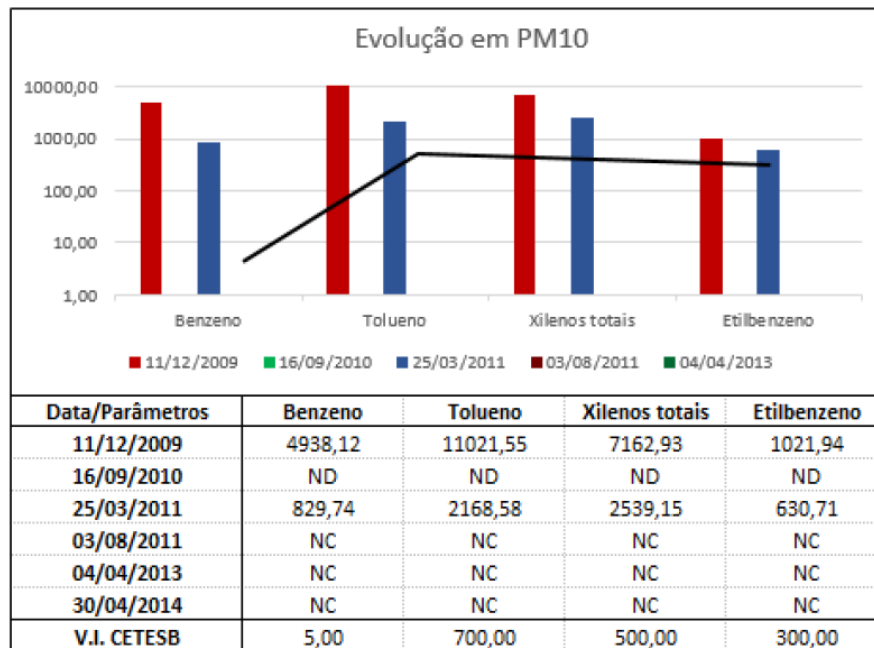
NC = Não coletado

— Valor de Intervenção

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No ponto PM9, a atenuação de benzeno foi de 99,3%, de tolueno de 100%, de xilenos totais de 100% e de etilbenzeno de 100%.

Figura 44: Evolução da contaminação em PM 10.



NC = Não coletado

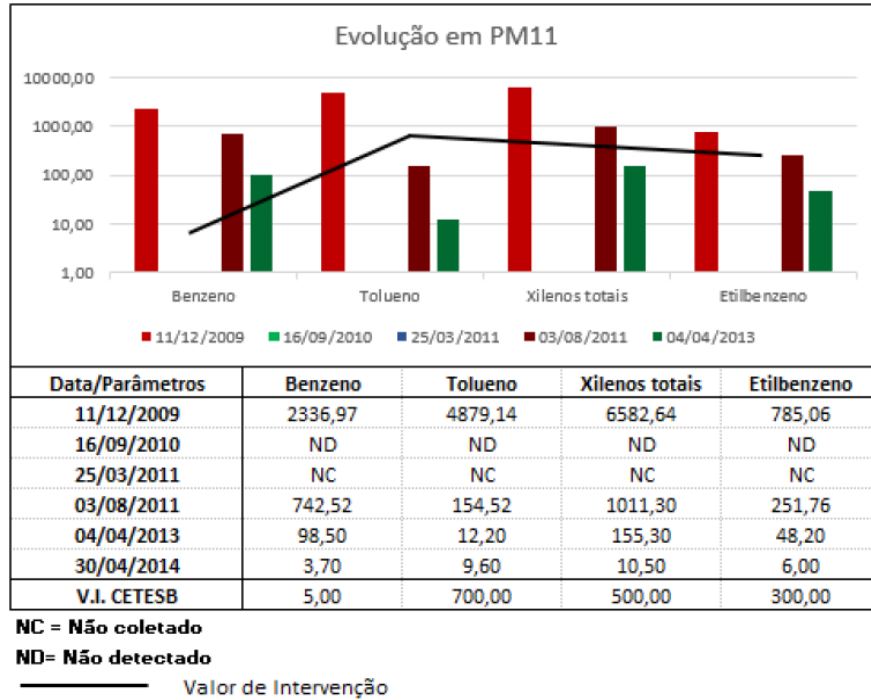
ND= Não detectado

— Valor de Intervenção

Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

As amostras coletadas no ponto PM 10, até a terceira coleta, indicaram uma redução de 83,20% de benzeno, 90,3% para tolueno, 64,55% para xilenos totais e 38,3% para etilbenzeno. As demais coletas não foram realizadas devido ao baixo nível de água no momento das coletas.

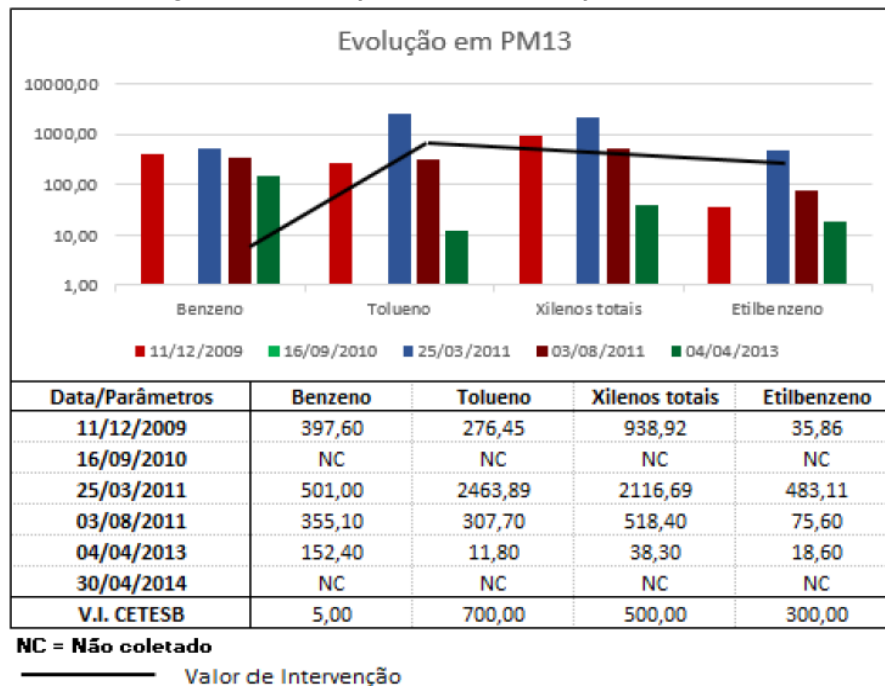
Figura 45: Evolução da contaminação em PM 11.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No ponto PM 11, todos os parâmetros de BTEX sofreram reduções, para benzeno de 99,8%, para tolueno de 99,8%, para xilenos totais de 99,8% e para etilbenzeno de 99,2%.

Figura 46: Evolução da contaminação em PM 13.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

No ponto PM 13, o sistema atenuou a concentração de benzeno em 61,7%, de tolueno em 95,7%, de xilenos totais em 96,0% e de etilbenzeno em 48,1%.

A Figura 47, apresenta a evolução da remediação, observando o comportamento da pluma em função do tempo de remediação de cada coleta.

Figura 47: Evolução da remediação por coleta.



Fonte: CBC Ambiental apud SOUZA 2016.

5.3 Área 3

No processo de investigação detalhado da qualidade do solo e da água subterrânea, foram observados os valores descritos na Tabela 36, para a fase livre identificada nos poços de monitoramento PM2 e PM4.

Tabela 36: Fase Livre.

Data	Fase Livre (cm)	
	PM2	PM4
julho-05	40	
março-09		53

Fonte: Consex Engenharia apud VERHNJAK, 2015.

Nas análises desenvolvidas para a identificação da fase dissolvida, realizadas nas amostras dos poços de monitoramento: PM1, PM2, PM3, PM4, PM5, PM6, PM7, PM8, PM9, PM11, PM12, PM22, PM23, PM24, PM26, PM27, para os parâmetros de BTEX e PAH's. Identificou-se a presença de Benzeno, acima dos valores limites de intervenção da CETESB (2005) nos poços PM2, PM4, PM8 e PM22, conforme a Tabela 37.

Tabela 37: Análise dos Parâmetros BTEX e PAH – Água

Parâmetros		L.Q (µg L ⁻¹)	Amostras					V. I CETESB Água
			PM1	PM2	PM4	PM8	PM22	
BTEX	Benzeno	0,703	<0,900	5,983	207,00	7,525	5,983	5,00
	Tolueno	1,000	<0,900	<0,900	<4,5	91,33	<0,900	700,00
	Etilbenzeno	1,000	<0,900	<0,900	15,09	29,33	<0,900	300,00
	Xilenos totais	2,750	13,320	<0,900	330,1	276,9	<0,900	500,00
	BTEX total		13,320	5,983	553,00	7,525	5,983	
PAH	Naftaleno	0,155	2,13	2,24	66,1	19,8	2,24	140,00
	Fenantreno	0,238	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	140,00
	Benzo (a) Pireno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,70
	Indeno (1,2,3) Pireno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	< L.Q	0,18
	PAH's Total		2,13	2,24	66,1	19,8	2,24	

L.Q – Limite de Quantificação Laboratorial.

V.I – Valores de Intervenção CETESB (2005).

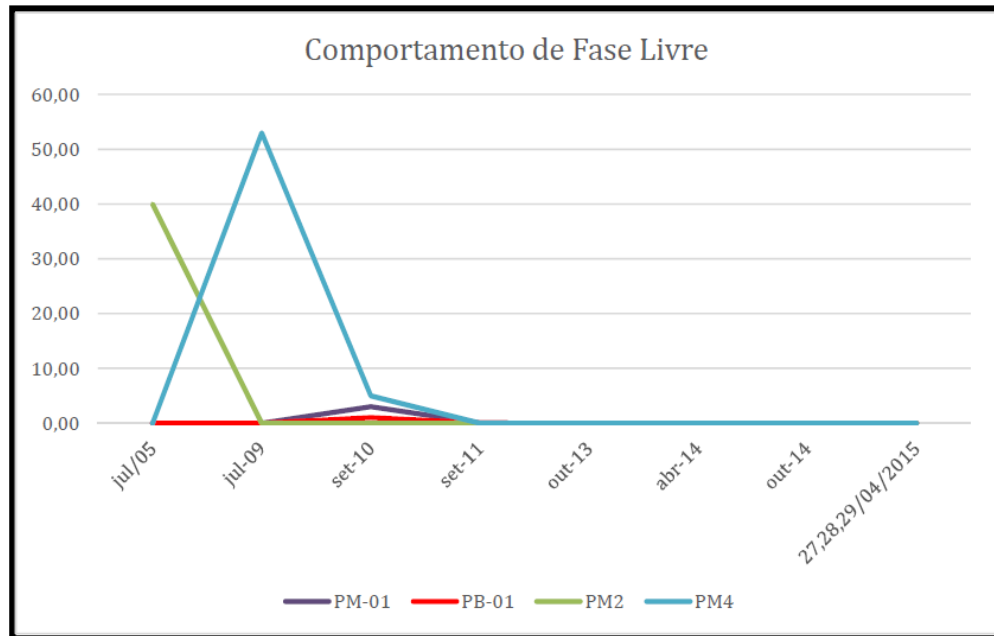
Fonte: Consex Engenharia apud VERHNJAK, 2015.

A investigação inicial apontou a presença de contaminação na fase livre e na fase dissolvida da área em estudo.

Na aplicação do sistema de extração da fase livre, utilizou-se a remediação por Bombeamento e Tratamento, que operou no período de (09/09/2006 a 31/05/2008), recuperando 573 litros de produto (0,69l/dia) e bombeando 2.116.470,9 litros de água, a uma vazão média de 174,80l/h.

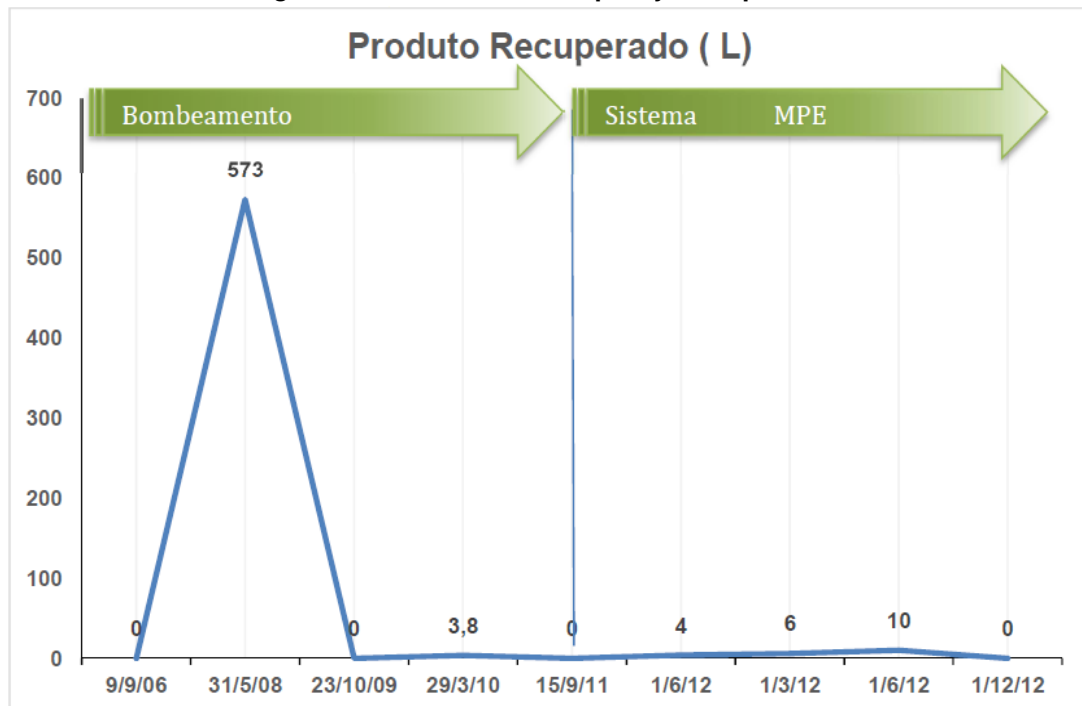
As Figuras 48 e 49 apresentam o monitoramento da fase livre até setembro de 2001, quando a sua redução se deu por completa e o sistema de remediação MPE, iniciado em seguida.

Figura 48: Comportamento Fase Livre.



Fonte: VERHNJAK, 2015.

Figura 49: Período de Recuperação de produto.



Fonte: VERHNJAK, 2015.

Os resultados dos ensaios do comportamento da fase dissolvida, estão apresentados na Tabela 38.

Tabela 38: Redução das concentrações de poluentes na água subterrânea (benzeno).

Amostragem Benzeno	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM8	PM9	PM22	PM23
	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)	(µg L-1)
23/07/2013	3,04	<0,900	<0,900	2,909	<0,900	<0,900	<0,900	<0,900	<0,900
09/10/2013	<0,900	5,983	<0,900	207	<0,900	7,525	5,6	126,8	169,9
11/04/2014	<0,900	6,828	6,053	249,9	7,195	5,736	4,682	251,4	279,3
08/10/2014	10,61	40,14	<0,900	360,4	<0,900	<0,900	<0,900	<0,900	<0,900
29/04/2015	22,08	23,13	<0,900	35,11	<0,900	<0,900	<0,900	24,89	45,41

Fonte: VERHNJAK, 2015.

O sistema de remediação por Bombeamento recuperou 573 litros de produto, a uma média de 0,69 l/dia. Para isso, foram bombeados 2.116.470,9 litros de água a uma vazão média de 174,80 l/h. O sistema se mostrou eficiente na remoção da fase livre. Já o sistema de remediação por Extração Multifásica (MPE) recuperou 8 litros de óleo diesel.

O resumo da remediação com a associação das técnicas está descrito conforme a Tabela 39.

Tabela 39: Resumo dos dados de dias de operação e volume de produto recuperado na remediação.

Sistema de remediação	Operação (dias)	Volume Bombeado (m³)	Vol. Bombeado Vazão Média (l/h)	Produto Recuperado (l)	Produto Recuperado (l/dia)
Bombeamento	630	2116,47	174,80	573,00	0,69
	157	ND	ND	3,80	0,02
Extração Multifásica (MPE)	1458	ND	ND	10,00	145,80
Total	2245	-	-	586,80	146,51

ND – Dados não disponíveis.

Fonte: VERHNJAK, 2015.

5.4 Área 4

Os ensaios investigativos em amostras de solo (Tabela 40), e em amostras de água subterrânea (Tabela 41), no período entre janeiro e abril de 2009,

apontaram concentrações de BTEX e PAH's superiores aos padrões de intervenção estabelecidos pela CETESB (2005) nos poços de monitoramento.

Tabela 40: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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 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 µg Kg ⁻¹	Naftaleno	< L.D	2474,496	< L.D	< L.D	728,525	467,430	<L.D	<L.D	60000
	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	-	-	---

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Nos pontos próximos aos poços de monitoramento PM 02, PM05 e PM 06, as amostras de solo exibiram concentrações de Benzeno acima dos valores de intervenção da CETESB (2005).

Tabela 41: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	-
PAH µg L ⁻¹	Naftaleno	0,863	1233,840	488,697	316,854	20,070	219,345	597,525	236,533	140
	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) Pirileno	<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	-

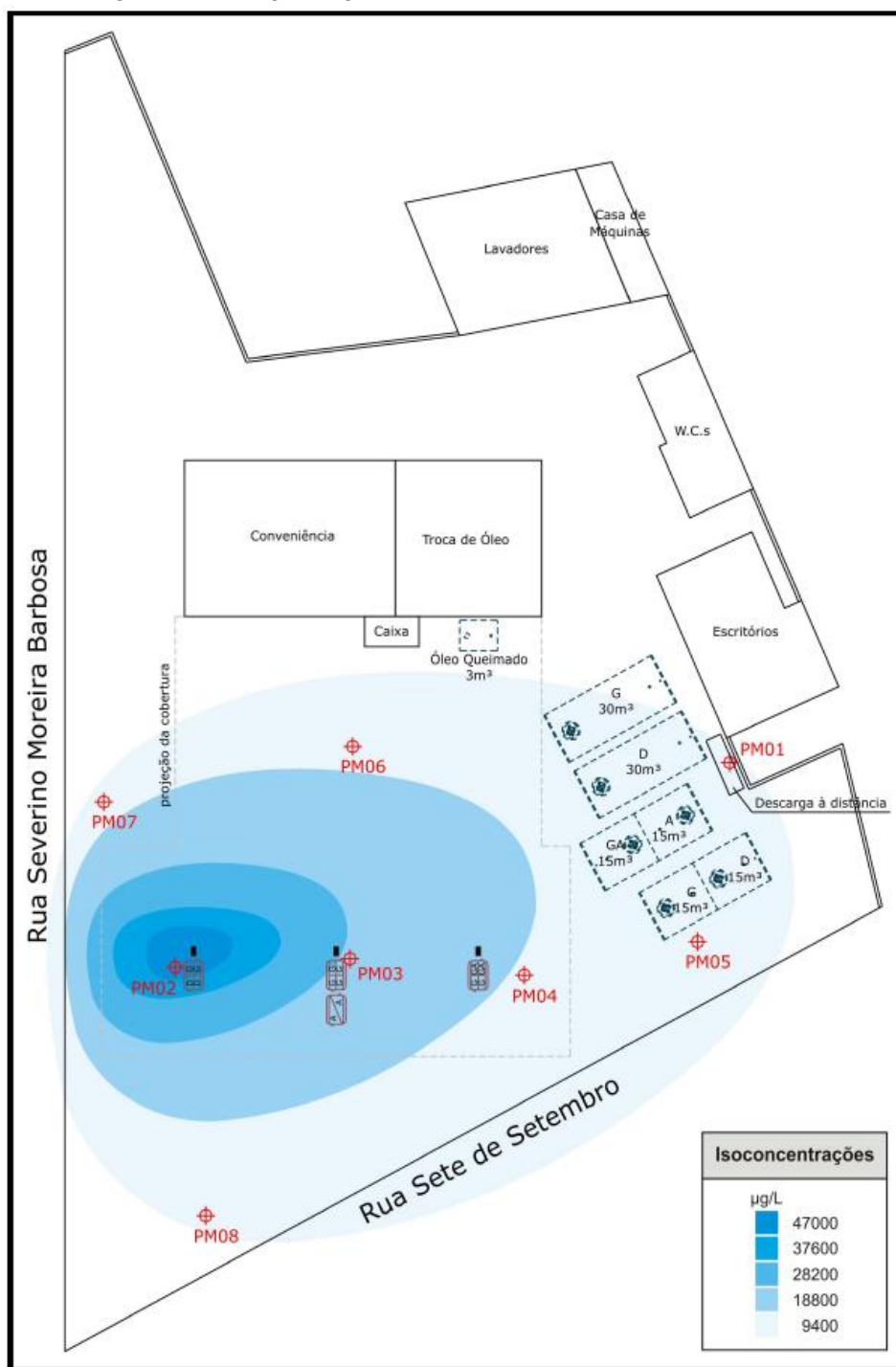
Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

De acordo com os valores de intervenção da CETESB (2005), em todos os poços de monitoramento de água subterrânea apresentaram concentrações superiores para benzeno.

Nos poços de monitoramento PM 02, PM 03, PM 04, PM06, P M07 e PM 08 foram encontradas concentrações acima dos limites para tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno.

Como os poços de monitoramento implantados não atingiram a profundidade necessária para determinação da pluma de contaminante no plano vertical, apenas determinou-se o croqui da pluma de benzeno no plano horizontal, conforme a Figura 50.

Figura 50: Croqui da pluma dissolvida de benzeno na Área 4.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Em maio de 2009, devido as elevadas concentrações de contaminantes, nos poços PM 02, PM 03 e PM 04 foi implantado um sistema de remediação por Bombeamento e Tratamento e as concentrações de BTEX e PAH's observadas no período estão dispostas na Tabela 42.

Tabela 42: Concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento na Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 42: Concentrações de BTEX e PAH nos poços de monitoramento do sistema de remediação por bombeamento e tratamento da Área 4 e valores de intervenção da CETESB (2005).

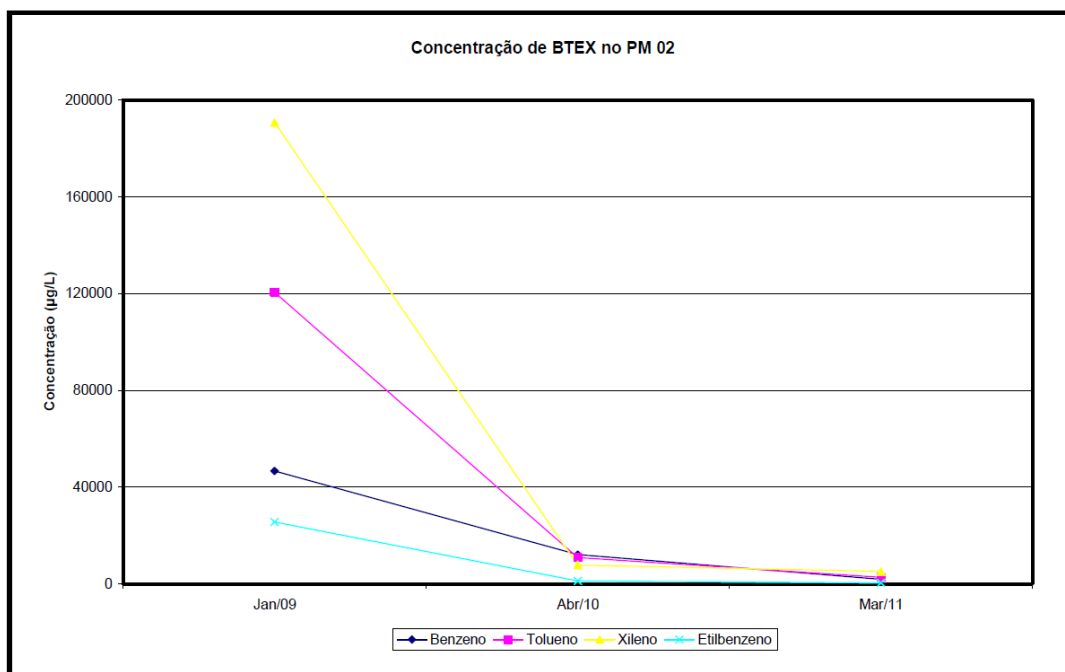
Parâmetros		Pontos amostrados					Valores de intervenção CETESB (2005)
		PM 04			Caixa SAO		
		jan/09	abr/10	mar/11	fev/11	mar/11	
BTEX µg/L-1	Benzeno	8540,24	4913,252	622,584	883,786	395,166	5
	Tolueno	381,64	78,037	16,068	138,279	454,888	700
	m,p-xileno	1920,1	633,644	37,343	118,657	400,683	-
	o-xileno	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	-	-	-	-

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

O sistema de remediação operou de forma intermitente devido a obras de reforma na área do posto.

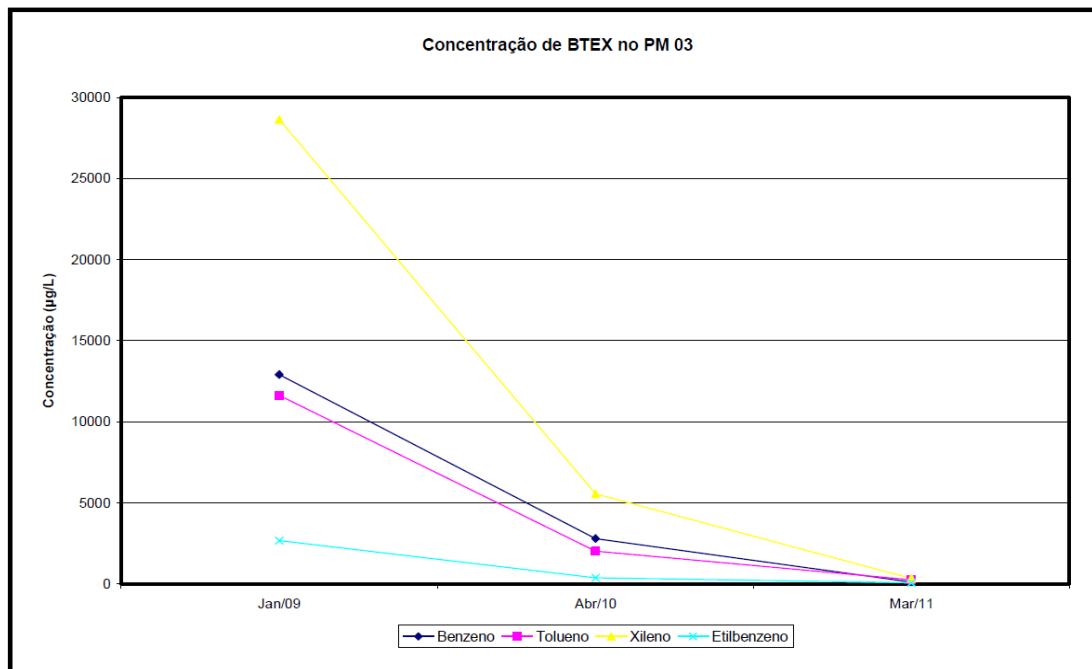
A contaminação por BTEX e PAH's foram atenuadas em todos os poços de aplicação do sistema. A concentração de BTEX durante o processo pode ser observada nos gráficos conforme as Figuras 51, 52 e 53.

Figura 51: Concentração de BTEX no PM 02 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.



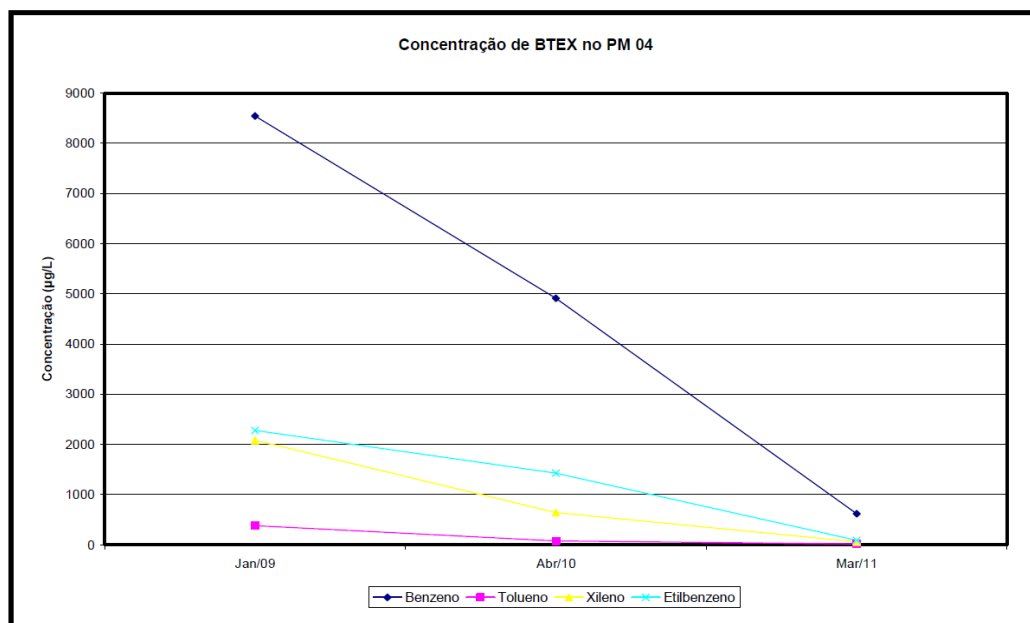
Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Figura 52: Concentração de BTEX no PM 03 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Figura 53: Concentração de BTEX no PM 04 na Área 4, no período de janeiro de 2009 a março de 2011.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

De forma concomitante ao tratamento, amostras da água bombeada e tratada após passagem pela caixa SAO (Caixa Separação de Água e Óleo) e por compartimento de carvão ativado, foram coletadas e ensaiadas para a avaliação do tratamento. Análises mais recentes, realizadas em março de 2011, apenas com um mês de uso do carvão ativado demonstraram resultados melhores no tratamento da água e do óleo. Ainda assim, o tratamento não reduziu a contaminação para os padrões aceitáveis estabelecidos pela CETESB (2005).

A troca do carvão ativado do sistema de tratamento da água bombeada deve ser realizada de forma mais frequente para uma maior eficiência do sistema e atingir os limites dos padrões de potabilidade aceitáveis pela Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde e pela CETESB (2005).

O sistema de Bombeamento e Tratamento se mostrou eficiente na extração das altas concentrações de contaminantes presentes na água subterrânea decorrentes de vazamentos e derrames de combustíveis. As concentrações para todos os parâmetros de BTEX foram reduzidas.

A pluma dissolvida de benzeno, considerada a mais preocupante devido à sua alta concentração, sofreu uma grande redução na área, como no posto PM 02, onde passou de uma concentração de 46.619,2 µg L⁻¹ para 1.878 µg L⁻¹.

A empresa Construfer Engenharia, responsável pela execução do processo de remediação, indicou a realização de um novo estudo ambiental para determinação da concentração de produto restante na área impactada e o monitoramento para encerramento das atividades de reabilitação da área.

De acordo com os representantes do Posto, no período de janeiro de 2009 a março de 2011, durante a investigação ambiental e a implantação do sistema de remediação por Bombeamento e Tratamento, o custo atingiu o valor de R\$ 55.000,00. O custo estimado para a complementação da investigação e do sistema de remediação na área é de aproximadamente R\$ 50.000,00, totalizando o valor de R\$ 105.000,00 o custo para todo o processo de reabilitação da área.

5.5 Área 5

No período entre março de 2006 e dezembro de 2007, investigações ambientais em poços de monitoramento para contaminação no solo foram realizadas e não apresentaram valores acima do limite de interdição da CETESB (2005), conforme detalhamento na Tabela 43.

Tabela 43: Concentrações de BTEX e PAH's e amostras de solo da Área 5 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	80
	Tolueno	<L.D	<L.D	<L.D	8,300	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	30000
	m,p-xileno	-	-	-	-	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	-
	o-Xileno	-	-	-	-	<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	40000
	BTEX Total	-	-	-	672,500	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	60000
	Acenaftileno	<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	-
	Fluoreno	<L.D	<L.D	<L.D	40,000	<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	40000
	Antraceno	<L.D	<L.D	<L.D	137,000	<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	-
	Pireno	<L.D	<L.D	<L.D	374,000	<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	20000
	Criseño	<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	-
	Benzo (k) Fluoranteno	<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	1500
	Indeno (1,2,3) Pireno	<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	600
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<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	---

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Ensaios investigativos em amostras de água subterrânea, no mesmo período, foram realizadas nos poços de monitoramento onde detectou-se a presença de plumas com contaminantes em fase livre e dissolvida. Os resultados estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 5 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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		0,569	140	
	Antraceno	1,180		< LD		< LD		< LD	-	
	Fluoranteno	1,410		< LD		< LD		0,699	-	
	Pireno	< LD		< LD		< LD		< LD	-	
	Benzo (a) Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	1,75		
	Criseno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,569	-		
	Benzo (b) Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	-		
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	-		
	Benzo (a) Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,7		
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< 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	80,560		0,000		101,140		0,000	8,811	-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

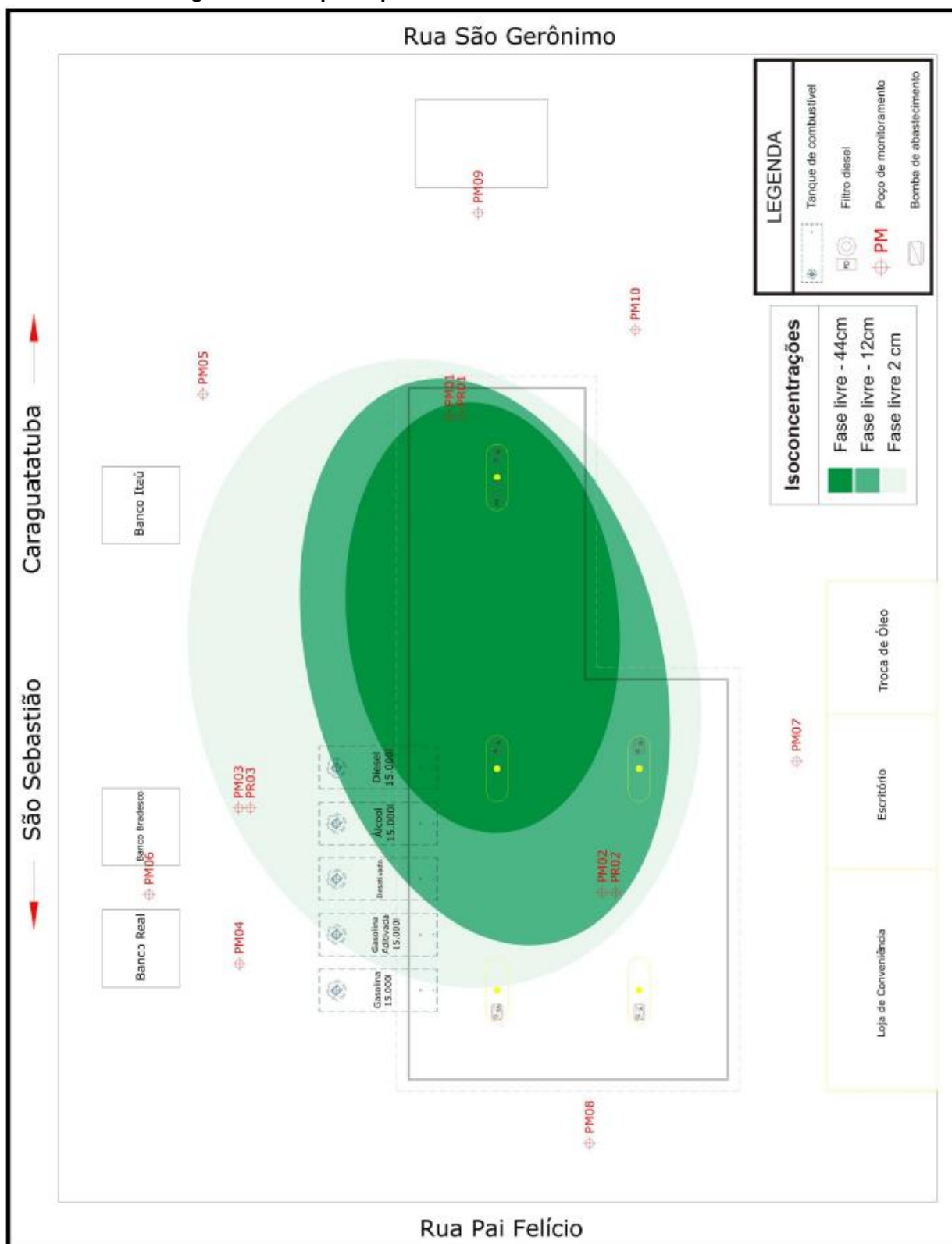
Continuação da Tabela 44: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 5 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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 $\mu\text{g L}^{-1}$	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 $\mu\text{g L}^{-1}$	Naftaleno	1,348	< LD	1,176	< LD	< L.D.	140
	Acenaftileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Acenafteno	0,426	< LD	0,300	< LD	< L.D.	-
	Fluoreno	0,417	< LD	0,906	< LD	< L.D.	-
	Fenantreno	1,415	< LD	1,786	< LD	< L.D.	140
	Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Benzo (a) Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	1,75
	Criseno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Benzo (b) Fluoranteno	0,478	< LD	0,646	< LD	< L.D.	-
	Benzo (k) Fluoranteno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	Benzo (a) Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	< LD	< LD	< LD	< LD	< L.D.	-
	PAH Total	4,084	-	4,814	-	-	-

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

O croqui delimitando a área de contaminação da pluma na fase livre, Figura 54, foi construído baseando-se nos dados obtidos nos pontos de monitoramento PM 01, PM 02, e PM 03.

Figura 54: Croqui da pluma de fase livre delimitada na Área 5.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Em fevereiro de 2008, o sistema de remediação da pluma contaminada por Bombeamento e Tratamento foi implantado para remediar os pontos PM 01, PM 02 e PM 03, através da instalação de três pontos de retirada da fase livre (PRFLs): PRFL 01, PRFL 02 e PRFL 03.

A operação ocorreu nos pontos PRFL 01 e PRFL 02 do mês de fevereiro de 2008 ao final de 2010. Já no ponto PRFL 03, a operação ocorreu de forma reduzida somente até novembro de 2008. O monitoramento da espessura da fase livre, no decorrer do tratamento, pode ser observado na Tabela 45.

Tabela 45: Dados do monitoramento da espessura da fase livre na Área 5, no período de fevereiro de 2008 a junho de 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

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Os cinco primeiros meses demonstraram uma grande recuperação da fase livre pelo sistema de Bombeamento. A grande variação do nível freático, influenciou

na posição das bombas, na necessidade de técnicos presentes e prolongou o tratamento da fase livre por mais doze meses.

Com os dados resultantes do monitoramento de dois poços multiníveis, no período de setembro de 2010 a janeiro de 2011 e as leituras anteriores ao período, o histórico das concentrações de contaminantes na área foram expostos na Tabela 46.

Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

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
	Acenafileno	31,000			51,351	< LD			4,135	0,845	-
	Acenafeno	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		-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

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
	Acenafileno	1,210		< L.D.	68,238	13,691	< LD	< LD	< L.D.	0,550	3,198	-
	Acenafeno	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) Pirileno	< 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

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

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) Pirileno	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	< LD	< L.D.	<L.D	< L.D.	-
	PAH Total	4,084	-	4,758	-	-	-	-	-	-

Fonte: Construído a partir de FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

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	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

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 $\mu\text{g L}^{-1}$	Benzeno	< LD	<L.D	<L.D	<L.D	5
	Tolueno	< LD	<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	300
	BTEX total	-	-	-	-	-
PAH $\mu\text{g L}^{-1}$	Naftaleno	< L.D.	2,370	8,619	< L.D.	140
	Acenaftileno	< L.D.	26,906	10,161	< L.D.	-
	Acenafteno	< L.D.	3,298	2,109	< L.D.	-
	Fluoreno	< L.D.	3,879	3,187	< L.D.	-
	Fenantreno	< L.D.	1,558	1,595	< L.D.	140
	Antraceno	< L.D.	2,309	1,267	< L.D.	-
	Fluoranteno	< L.D.	3,842	2,953	< L.D.	-
	Pireno	< L.D.	4,996	1,815	< 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	-	49,159	31,707	-	-

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 46: Concentrações de BTEX e PAHs na água subterrânea da Área 5, no período de março a janeiro de 2011 e valores orientadores da CETESB (2005).

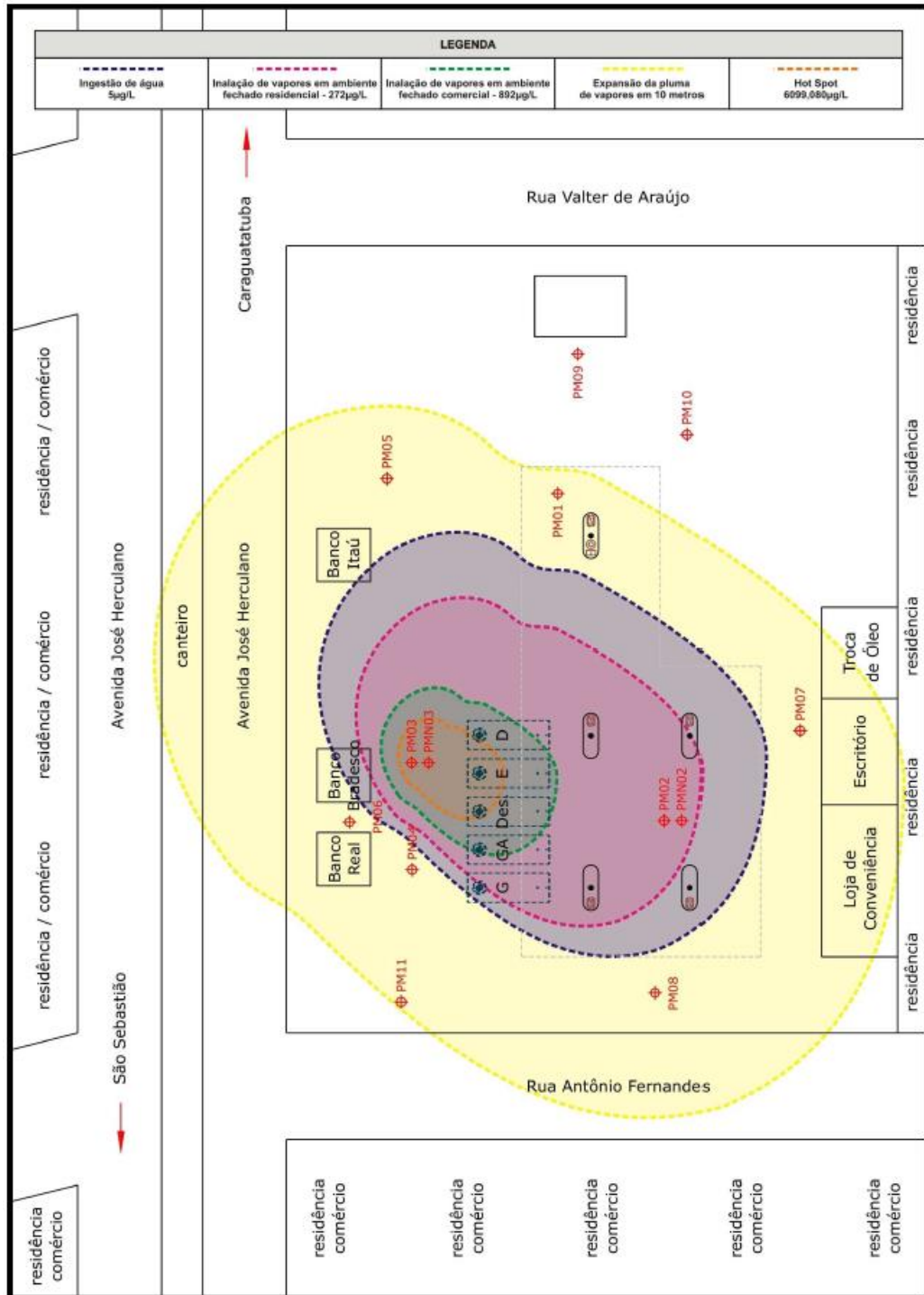
Parâmetros		Pontos Amostrados					Valores de intervenção CETESB (2005)
		PMN 02		PMN 03		Caixa SAO	
		set/10	jan/11	set/10	jan/11	jan/11	
BTEX µg/L-1	Benzeno	1039,535	249,935	1715,921	46,781	<L.D	5
	Tolueno	978,280	71,897	906,151	57,341	<L.D	700
	m,p-xileno		175,557		487,702	<L.D	
	o-xileno		69,161		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	-	-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

As análises químicas nas amostras de água subterrânea e vistorias nos poços de monitoramento, demonstraram a eficiência da remediação por bombeamento e tratamento e a ausência de contaminantes na fase livre. Na fase dissolvida, foram detectadas concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno e naftaleno acima dos limites de intervenção da CETESB (2005).

O croqui da pluma de benzeno em fase dissolvida no plano horizontal é apresentado na Figura 55.

Figura 55: Croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano horizontal na Área 5.

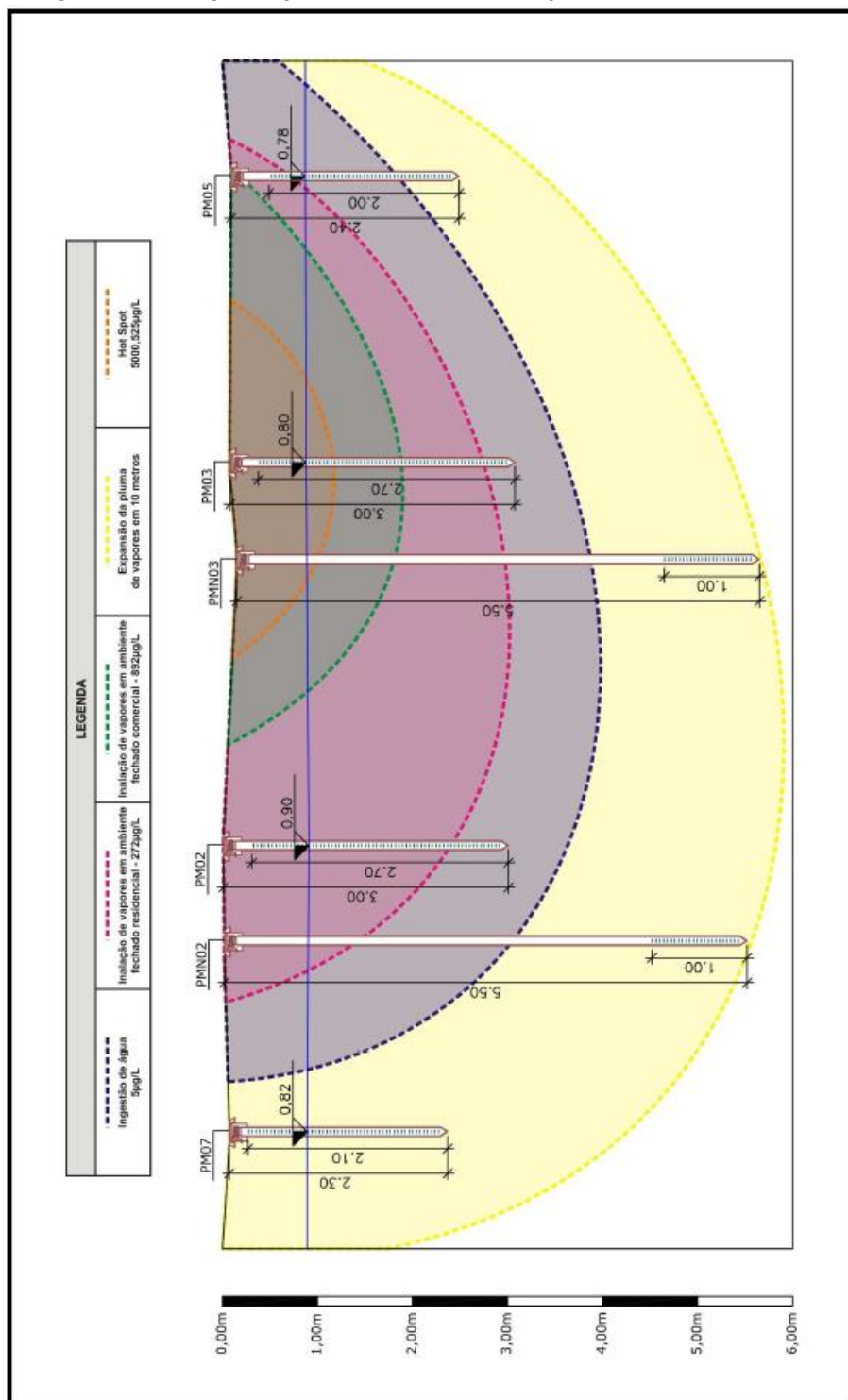


Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

O croqui da pluma dissolvida de benzeno no plano horizontal demonstra que sistema de remediação pode atuar como barreira hidráulica, impedindo a expansão da pluma contaminante para fora do limite da área do posto. Já o croqui da pluma de benzeno no plano vertical, de acordo com a Figura 56, evidencia divergências entre

as concentrações de amostras coletadas em diferentes níveis do filtro, e com isso, incertezas na delimitação da pluma em relação a profundidade do nível freático.

Figura 56: Croqui da pluma de benzeno no plano vertical na Área 5.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Nos pontos PRFL 01 e PRFL 02, a empresa Construfer Engenharia responsável pelo tratamento, recomendou a reativação do sistema de remediação por bombeamento, baseada em estudo complementar, análise investigativa e ao plano de intervenção executado.

Análises laboratoriais, realizadas em janeiro de 2011, nas águas bombeadas pelos poços PRFL 01 e PRFL 02, após o tratamento com carvão ativado, apontaram níveis de potabilidade adequados ao consumo humano.

A extração da fase livre, através do sistema de remediação por bombeamento e tratamento se mostrou eficiente. Vale considerar que devido a variações do nível freático e no posicionamento da bomba, o processo complementar para remediação da fase livre, de espessura fina, acaba por prolongar o tempo da remediação.

O sistema de remediação por bombeamento e tratamento, associado ao tratamento com carvão ativado, atendeu a demanda de recuperação da contaminação da fase livre, atenuou a fase dissolvida e tratou a água bombeada.

A granulometria do solo, de composição areno-siltoso, associada ao clima quente, impediu um maior espalhamento da pluma na área contaminada, agindo como uma barreira hidráulica.

Os custos referentes ao processo de investigação ambiental e remediação por bombeamento e tratamento alcançaram o valor de R\$ 42.400,00. Presume-se que o complemento da remediação, englobando gastos com campanhas de monitoramento, investigações e completa remediação atinja em torno de R\$ 32.000,00. O custo total do processo de remediação da área contaminada é estimado em R\$ 74.400,00. Os valores citados acima foram estimados no ano de 2011.

5.6 Área 6

A remediação da fase livre iniciou-se em abril de 2009, com a implantação do de um poço de bombeamento, de quatro poços de extração de vapores do solo e da instalação de cinco poços para injeção de ar e pôr fim a instalação de mangueiras de ligação entre poços de injeção de ar e extração de vapores. O monitoramento do primeiro mês de operação desse sistema está apresentado na Tabela 47.

Tabela 47: Monitoramento do sistema de remediação em abril de 2009.

Poços	FL (m)	NA (m)	Espessura de Fase Livre (m)
AS -01	Ausente	11,45	0,00
AS -02	Ausente	11,47	0,00
AS -03	-	-	-
AS -04	-	-	-
AS -05	Ausente	10,98	0,00
PB-01/SVE-04	11,36	11,37	0,01
PM-02	Ausente	11,69	0,00
PM-05	-	-	-
PM-06	Ausente	10,86	0,00
PM-07	Ausente	11,63	0,00
PM-08	Ausente	11,61	0,00
PM-09	Ausente	11,67	0,00
PM-11	Ausente	11,3	0,00
PM-12/SVE-05	-	-	-
PM-13	Ausente	9,39	0,00
PM-14	Ausente	11,47	0,00
PM-16	Ausente	9,27	0,00
PM-17	Ausente	9,9	0,00
PM-18	Ausente	9,42	0,00
PM-19	Ausente	11,79	0,00
SVE-02	Seco	Seco	-
SVE-03	Seco	Seco	-

(-) não mensurado.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Durante visita técnica realizada no dia 25 de abril de 2009 e com base no monitoramento realizado, constatou-se a presença de produto na fase livre no poço PB-01/SVE-04, de espessura 1,0 cm. Nos demais poços, não foram detectadas e presença de fase livre.

O monitoramento do segundo mês de operação do sistema, em maio de 2009, está disposto na Tabela 48.

Tabela 48: Monitoramento do sistema de remediação em maio de 2009.

Poços	FL (m)	NA (m)	Espessura de Fase Livre (m)
AS -01	Ausente	11,48	-
AS -02	Ausente	11,48	-
AS -03	-	-	-
AS -04	-	-	-
AS -05	Ausente	11,05	-
PB-01/SVE-04	11,51	11,52	0,01
PM-02	Ausente	11,67	-
PM-05	Ausente	11,61	-
PM-06	Ausente	10,86	-
PM-07	Ausente	11,62	-
PM-08	Ausente	11,63	-
PM-09	Ausente	11,50	-
PM-10	Ausente	11,64	-
PM-11	Ausente	11,45	-
PM-12/SVE-05	Ausente	9,38	-
PM-13	Ausente	11,52	-
PM-14	11,50	11,52	0,02
PM-16	Ausente	9,28	-
PM-17	Ausente	10,00	-
PM-18	Ausente	10,02	-
PM-19	Ausente	11,80	-
SVE-02	Ausente	*	*
SVE-03	Ausente	*	*

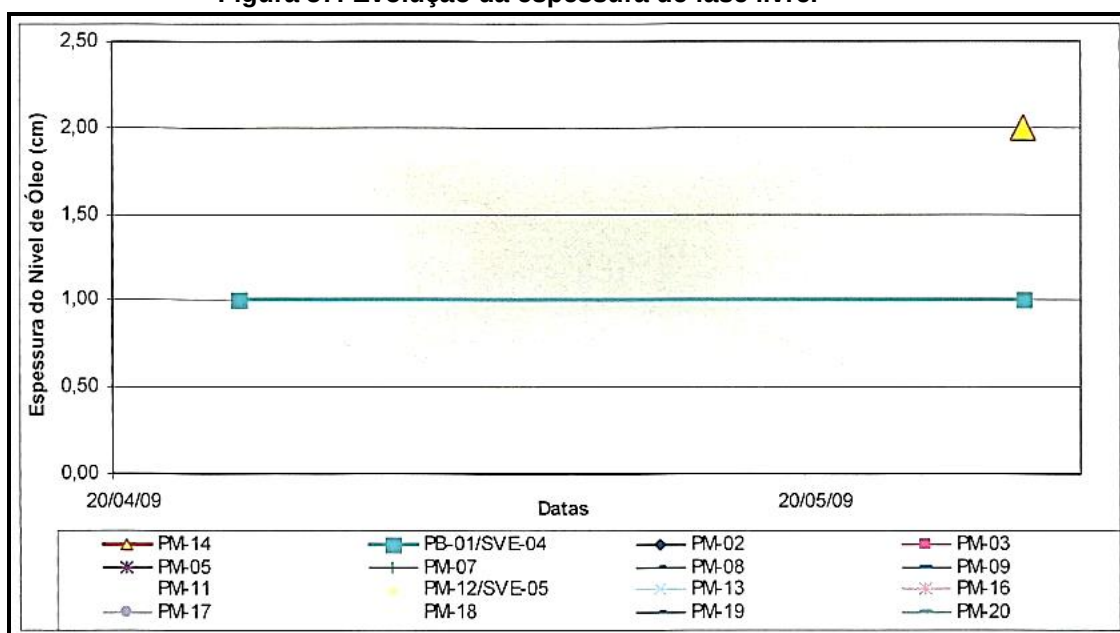
(-) não mensurado.

(*) não existente.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Detectou-se a presença de produto na fase livre nos poços PB-01/SVE-04 (1,0 cm) e no poço PM-14 (2,0 cm).

A Figura 57 apresenta a evolução das espessuras de fase livre nos meses de abril e maio com o processo de remediação aplicado na área.

Figura 57: Evolução da espessura de fase livre.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Em junho de 2009, a remediação apresentou uma diminuição da espessura da fase livre no poço PM-14 (1,0 cm) e se manteve estável no PB-01/SVE-04 (1,0 cm). Não foram identificados produtos na fase livre nos demais poços, conforme a Tabela 49.

Tabela 49: Monitoramento do sistema de remediação em junho de 2009.

Poços	FL (m) 21/06	FL (m) 27/06	NA (m) 21/06	NA (m) 27/06	Espessura de Fase Livre (m) 21/06	Espessura de Fase Livre (m) 27/06
AS -01	Ausente	Ausente	11,517	11,38	0,0	0,0
AS -02	Ausente	Ausente	11,570	11,41	0,0	0,0
AS -03	-	-	-	-	-	-
AS -04	-	-	-	-	-	-
AS -05	Ausente	Ausente	11,065	10,99	0,00	0,00
PB-01/SVE-04	Ausente	11,51	11,43	11,39	0,00	0,01
PM-02	Ausente	Ausente	11,903	11,18	0,00	0,00
PM-05	Ausente	Ausente	11,923	11,95	0,00	0,00
PM-06	Ausente	Ausente	11,112	11,14	0,00	0,00
PM-07	Ausente	Ausente	12,365	12,41	0,00	0,00
PM-08	Ausente	Ausente	11,817	11,20	0,00	0,00
PM-09	Ausente	Ausente	11,813	11,03	0,00	0,00
PM-11	Ausente	Ausente	11,544	11,56	-	0,00
PM-12/SVE-05	Ausente	Ausente	11,01	11,12	-	0,00
PM-13	Ausente	Ausente	9,546	9,68	0,00	0,00
PM-14	11,648	11,50	11,668	11,76	0,02	0,01
PM-16	-	Ausente	-	8,98	-	0,00
PM-17	-	Ausente	-	9,82	-	0,00
PM-18	Ausente	Ausente	9,752	9,58	0,00	0,00
PM-19	-	Ausente	-	11,67	-	0,00
SVE-02	**	**	**	**	-	-
SVE-03	**	**	**	**	-	-

(-) não mensurado.

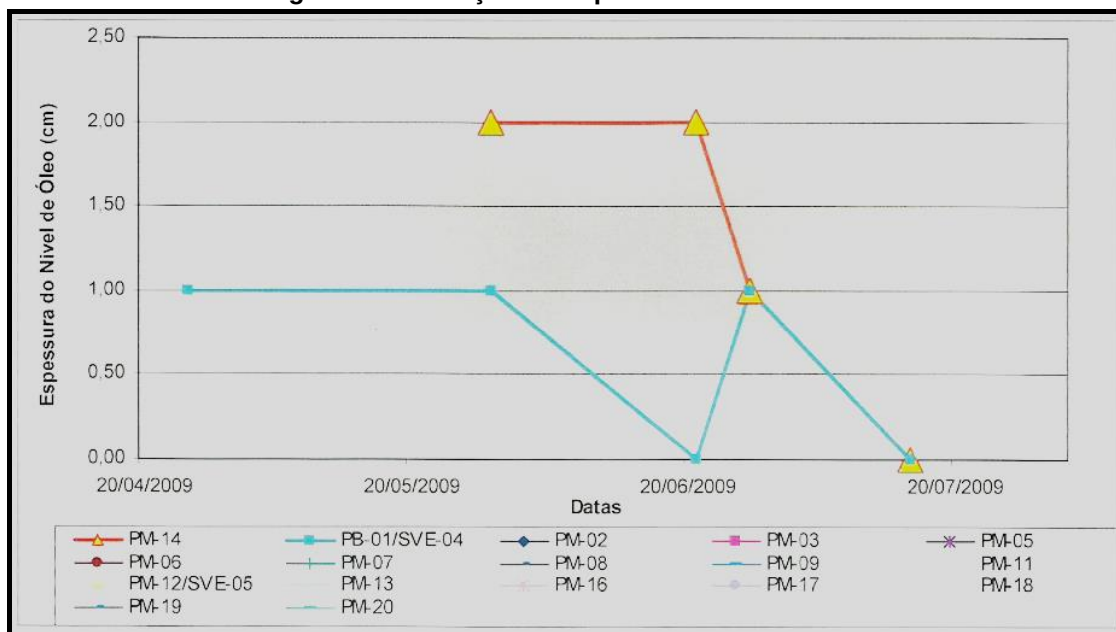
(*) não existente.

(**) poço de extração de vapores de solo, sem água.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

A evolução do sistema de tratamento está apresentada na Figura 58.

Figura 58: Evolução da espessura de fase livre.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

De acordo com monitoramentos realizados no final do mês de junho de 2009, o poço PB-01/SVE-04 apresentou produto na fase livre na espessura de 1,0 cm no dia 27 de junho. Já no poço PM-14, verificou-se a presença do produto na espessura de 2,0 cm no dia 21 de junho e de 1,0 cm no dia 27 de junho.

Os ensaios realizados em amostras de água subterrânea para os parâmetros de BTEX estão dispostos na Tabela 50.

Tabela 50: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea – BTEX.

Parâmetro	AS-01 PM-16	AS-02 PM-11	AS-03 PM-12	AS-04 PM-09	AS-05 PM-05	AS-06 PM-06	AS-07 PM-13	AS-08 PM-19	LQ
Benzeno	9,9	7,3	148,7	353,4	611,2	206,4	377,1	ND	1,0
Etilbenzeno	<	<	15,4	382,2	128,9	107,7	30,3	<	1,0
Xileno	10,6	2,8	201,3	2209,0	1577,7	1014,5	764,3	<	1,0
Tolueno	ND	<	183,1	829,0	864,2	131,0	87,1	ND	1,0

(<) Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

L.Q: Limite de Quantificação.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Os ensaios indicaram concentrações de benzeno em todos os poços, salvo o poço PM-19. Apenas no poço PM-05, a concentração excedeu os valores de referência SSTL.

Foram realizados ensaios em amostras retiradas junto a entrada e saída do sistema, para os parâmetros de BTEX e PAH, conforme a tabela 51.

Tabela 51: Resultados analíticos das amostras de água subterrânea BTEX e PAH.

Parâmetro	AS-09 Entrada do Sistema	AS-10 Saída do Sistema	LQ
BTEX			
Benzeno	393,3	34,3	1,0
Etilbenzeno	287,0	2,8	1,1
Xileno	3710,0	19,4	1,2
Tolueno	1968,8	36,6	1,3
PAH			
Fenantreno	0,11	ND	0,03
Antraceno	<	ND	0,03
Fluoranteno			0,03
Benzo(a)antraceno	ND	ND	0,03
Criseno	ND	ND	0,03
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	0,03
Benzo(a)pireno	ND	ND	0,03
Benzo(g,h,i)pireno	ND	ND	0,03
Naftaleno	238,35*	6,67	0,03
Indeno {1,2,3 -cd} pireno	ND	ND	0,03
Pireno	ND	ND	0,03
Dibenzeno (a,h) antraceno	ND	ND	0,03
Acenaftileno	ND	ND	0,03
Acenafteno	0,19	ND	0,03
Fluoreno	0,08	ND	0,03
Benzo(b) fluoranteno	ND	ND	0,03

(<) Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

L.Q: Limite de Quantificação.

N.D: Não detectado.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

A diminuição nas concentrações dos parâmetros de BTEX e PAH nas amostras de saída do sistema em relação as amostras encontradas na entrada do sistema indicam a eficiência do sistema de remediação aplicado.

Com a continuidade da remediação, os ensaios referentes ao monitoramento do sistema no mês de setembro de 2009 estão apresentados na Tabela 52.

Tabela 52: Resultados do monitoramento da fase livre.

Poços	FL (m)	NA (m)	Espessura de Fase Livre (m)
AS -01	-	11,587	Ausente
AS -02	-	11,63	Ausente
AS -03	-	12,00	Ausente
AS -04	-	11,281	Ausente
AS -05	-	10,968	Ausente
PB-01/SVE-04	-	12,65	Ausente
PM-02	-	11,775	Ausente
PM-05	-	11,79	Ausente
PM-06	-	11,03	Ausente
PM-07	-	12,238	Ausente
PM-08	-	11,683	Ausente
PM-09	-	11,715	Ausente
PM-11	-	11,40	Ausente
PM-12/SVE-05	-	11,00	Ausente
PM-13	-	9,407	Ausente
PM-14	-	11,70	Ausente
PM-16	-	8,80	Ausente
PM-17	-	9,879	Ausente
PM-18	-	9,411	Ausente
PM-19	-	12,02	Ausente
SVE-01		*	
SVE-02		*	
SVE-03		*	

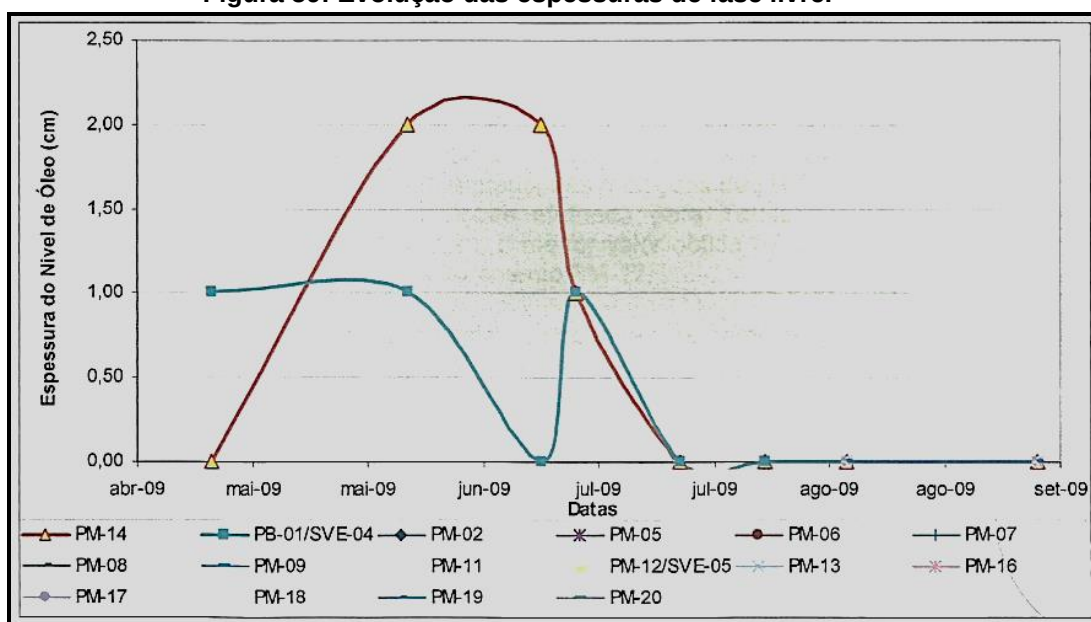
(-) não existente.

(*) poço de extração de vapores de solo, sem água.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Os resultados referentes a evolução do sistema de remediação e do monitoramento do produto na fase livre estão dispostos na Figura 59.

Figura 59: Evolução das espessuras de fase livre.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Os ensaios realizados na entrada e saída do sistema de remediação, para análise dos parâmetros de BTEX e PAH, estão na Tabela 53.

Tabela 53: Resultados analíticos das amostras de entrada e saída do sistema.

Parâmetro	Entrada				Saída				LQ
	26/06/09	16/07/09	13/08/09	16/09/09	26/06/09	16/07/09	13/08/09	16/09/09	
BTEX									
Benzeno	393,3	<	1,5	2,4	34,3	<	<	<	1,0
Etilbenzeno	1968,8	<	3,5	11,6	36,6	<	<	<	1,0
Xileno	287,0	<	<	3,3	2,8	<	<	<	1,0
Tolueno	3710,0	<	7,4	59,5	19,4	<	<	5,3	1,0
PAH									
Fenantreno	238,35	<	<	<	6,67	<	<	<	0,3
Antraceno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Fluoranteno	0,19	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Benzo(a)antraceno	0,08	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Criseno	0,11	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Benzo(k)fluoranteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Benzo(a)pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Benzo(g,h,i)pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Naftaleno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Indeno {1,2,3 -cd} pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Pireno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Dibenzeno (a,h) antraceno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Acenaftileno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Acenafteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Fluoreno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3
Benzo(b) fluoranteno	<	<	<	<	<	<	<	<	0,3

(<) Concentração menor do que o limite de quantificação do método utilizado pelo laboratório.

L.Q: Limite de Quantificação.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

As amostras indicaram a presença de compostos BTEX na entrada do sistema em todos os parâmetros analisados, com uma redução da concentração na saída dos xilenos totais e ausência dos demais parâmetros, evidenciando a eficiência do sistema de remediação implantado na área.

No caso do parâmetro PAH, as concentrações identificadas na entrada so sistema foram totalmente extintas no processo, conforme os valores do monitoramento encontrados na saída do sistema.

No período de janeiro e fevereiro de 2010, as análises das águas subterrâneas estão apresentadas na Tabela 54.

Tabela 54: Resultados dos monitoramentos de nível d'água e da fase livre.

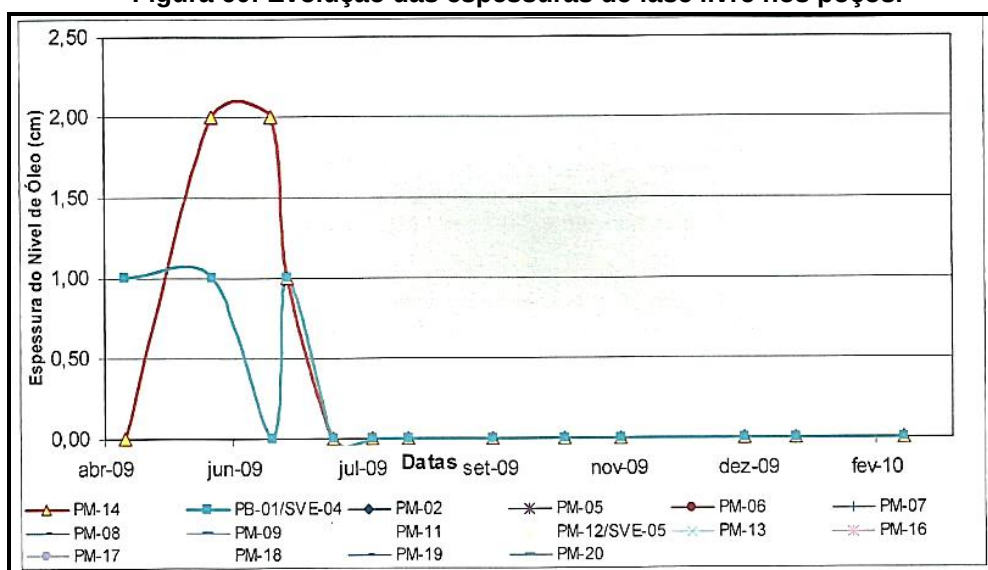
Poços	11/jan			22/fev		
	F.L. (m)	N.A. (m)	Espessura F.L. (m)	F.L. (m)	N.A. (m)	Espessura F.L. (m)
AS -01	Ausente	10,800	-	Ausente	10,350	-
AS -02	Ausente	10,820	-	Ausente	10,351	-
AS -03	Ausente	10,920	-	Ausente	10,560	-
AS -04	Ausente	10,660	-	Ausente	11,180	-
AS -05	Ausente	10,350	-	Ausente	9,830	-
PB-01/SVE-04	Ausente	10,735	-	Ausente	10,200	-
PM-02	Ausente	11,090	-	Ausente	10,570	-
PM-05	Ausente	11,210	-	Ausente	10,770	-
PM-06	Ausente	10,310	-	Ausente	9,740	-
PM-07	Ausente	11,660	-	Ausente	11,710	-
PM-08	Ausente	10,960	-	Ausente	10,430	-
PM-09	Ausente	11,080	-	Ausente	10,570	-
PM-11	Ausente	10,790	-	Ausente	10,270	-
PM-12/SVE-05	Ausente	10,450	-	Ausente	9,820	-
PM-13	Ausente	10,790	-	Ausente	8,420	-
PM-14	Ausente	10,450	-	Ausente	10,470	-
PM-16	Ausente	8,850	-	Ausente	7,910	-
PM-17	Ausente	10,960	-	Ausente	8,985	-
PM-18	Ausente	8,290	-	Ausente	8,440	-
PM-19	Ausente	9,380	-	Ausente	10,900	-
SVE-01						
SVE-02	Poços Secos			Poços Secos		
SVE-03						

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Os resultados demonstraram uma redução nas concentrações dos compostos BTEX em relação as análises realizadas em setembro de 2009.

A evolução das espessuras de produto na fase livre durante o processo de remediação, desde o início do tratamento até fevereiro de 2010, estão dispostos na Figura 60.

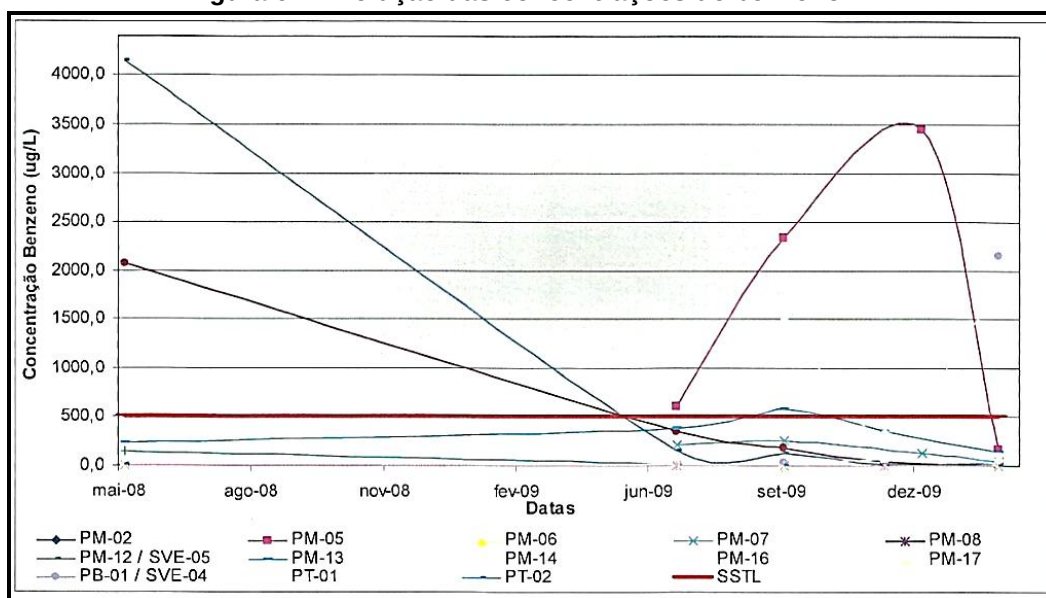
Figura 60: Evolução das espessuras de fase livre nos poços.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

A Figura 61 apresenta a evolução das concentrações de benzeno no processo de remediação aplicado na área até o período analisado.

Figura 61: Evolução das concentrações de benzeno.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

5.7 Área 7

No intervalo entre setembro de 2007 a novembro de 2009, as investigações ambientais no solo apontaram concentrações de benzeno e xileno no ponto PM 03 e de benzeno no ponto PM 07 acima dos limites de intervenção da CETESB (2005) e ainda a presença de contaminantes em fase residual, conforme a Tabela 55.

Tabela 55: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).

Parâmetros		Pontos Amostrados							Valores de intervenção CETESB (2005)
		PM 03	PM 04	PM 05	PM 06	PM 07	PM 08	PM 09	
		set/07	set/07	set/07	jul/09	jul/09	out/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) Pirileno	19,65	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<LD	-
	Total PAH	7987,689	-	-	-	-	-	601,555	---

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

A Tabela 56 apresenta os resultados identificados nas amostras provenientes dos poços de monitoramento da água subterrânea que indicaram concentrações acima dos valores orientadores da CETESB (2005), na fase dissolvida, de benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno e naftaleno.

Tabela 56: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	-	

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 56: Concentrações de BTEX e PAH's no solo na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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
	Acenafileno	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	-	-	-

Fonte: Construído apud FREIRE, 2011.

As concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento após a implantação do sistema de Bombeamento e Tratamento, instalado próximo ao PM 09, denominado de PRFD 09, para a retirada da contaminação na fase dissolvida estão apresentados na Tabela 57.

Tabela 57: Concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento do sistema de remediação implantado na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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 µg 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 µg 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	-	-

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

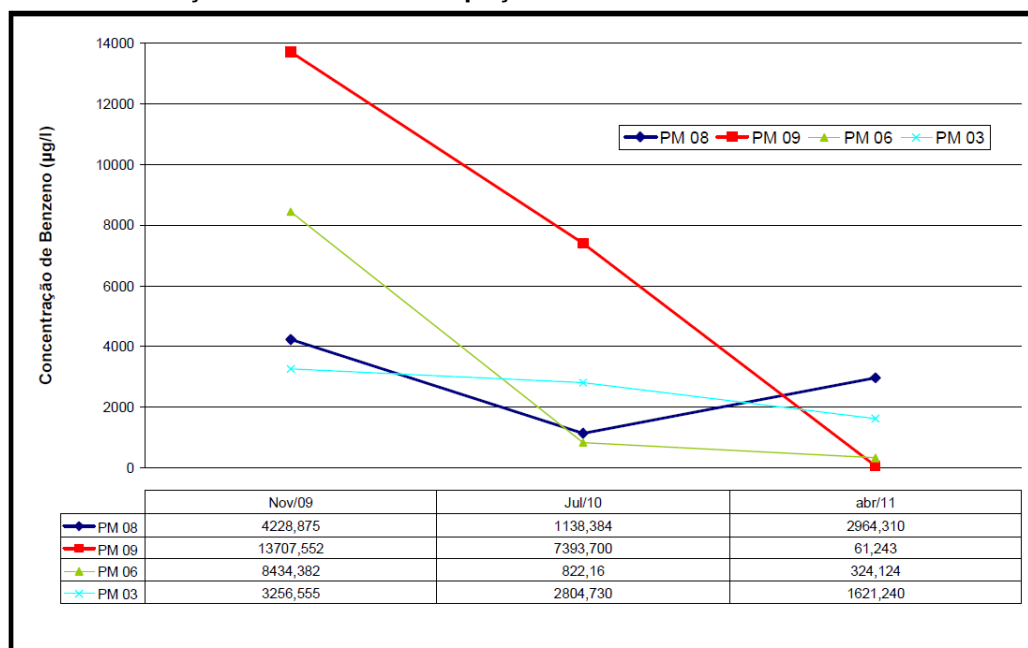
Continuação da Tabela 57: Concentrações de BTEX e PAH's nos poços de monitoramento do sistema de remediação implantado na Área 7 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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 µg 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 µg 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	-	-

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

As concentrações de benzeno, no período de 14 meses de aplicação do sistema de remediação estão dispostas na Figura 62.

Figura 62: Concentrações de benzeno nos poços de monitoramento instalados na Área 7.



Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Conforme relatos da empresa Construer Engenharia, a baixa permeabilidade do solo influenciou diretamente na baixa eficiência do poço de bombeamento e na operação do sistema de remediação, que operou de forma intermitente.

De acordo com os representantes legais do Posto 6, entre os anos de 2009 e 2011, os custos com as investigações ambientais, com a implantação e operação da técnica de bombeamento e tratamento totalizam R\$ 50.000,00. Os valores estimados para os processos complementares de investigação e remediação somam por volta de R\$ 50.000,00. Com isso, os valores finais para reabilitação total da área estão estimados em aproximadamente R\$ 100.000,00.

5.8 Área 8

O sistema de remediação aplicado na área foi concentrado na eliminação do produto na fase livre identificada nas análises investigativas realizadas nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5.

A remediação teve seu início com a implantação do sistema de remediação integrado entre as técnicas de bombeamento, injeção de ar (Air Sparging), e biorremediação. O monitoramento do produto na fase livre durante o período de 1

ano de operação, ou seja, entre outubro de 2010 a outubro de 2011, está disposto na Tabela 58.

Tabela 58: Quantidade de fase livre identificada nos poços de monitoramento.

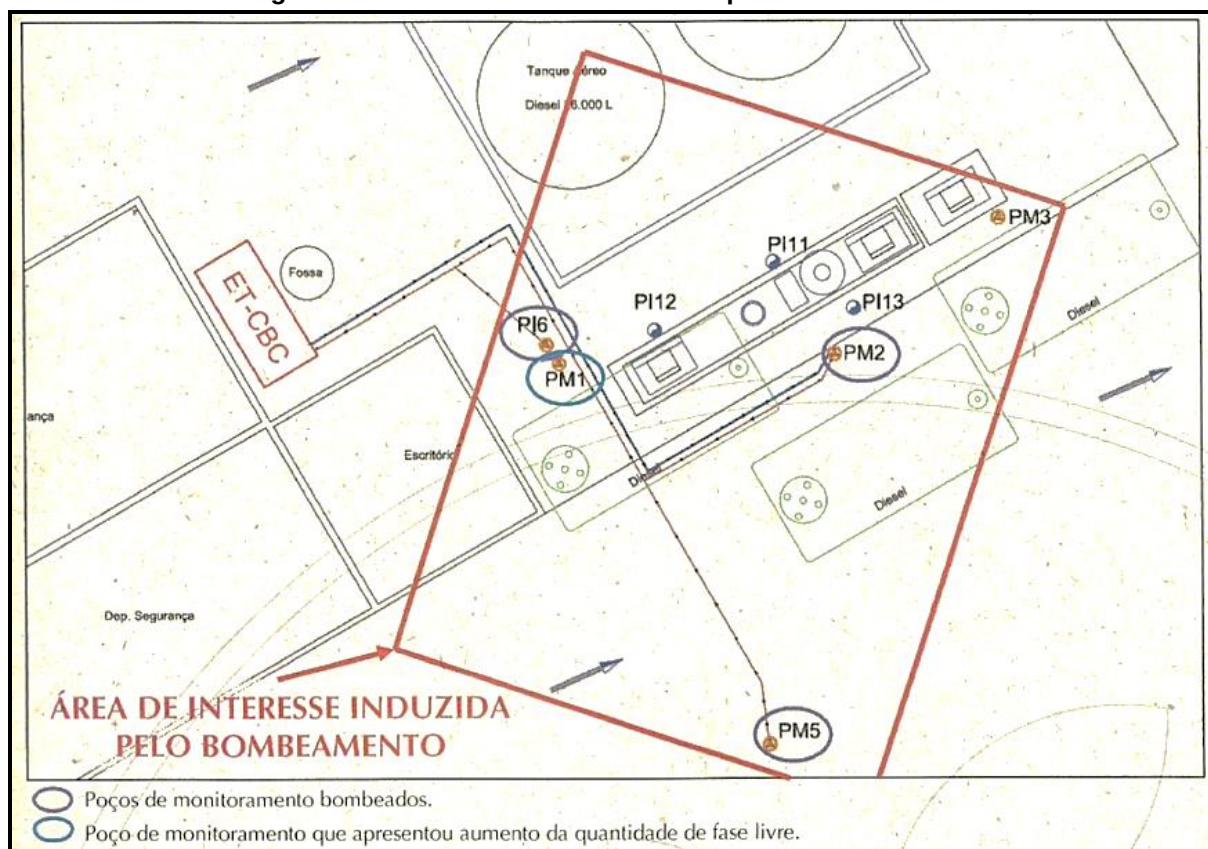
Data	Quantidade de fase livre (cm)			
	PM1	PM2	PM3	PM5
Investigação				
2010	16,0	0,0	0,0	0,0
2011	0,8	9,0	1,2	51,9
12/10/2011	N.R.	20,6	N.R.	49,9
07/12/2011	0,1	0,0	2,7	0,0
12/01/2012	15,7	0,0	1,4	0,0
26/03/2012	0,0	0,0	3,9	0,0
15/05/2012	0,0	0,0	3,0	1,0
26/06/2012	0,0	0,0	1,5	0,0
07/08/2010	0,0	0,0	0,0	0,0
20/09/2012	0,0	0,0	0,0	0,0
31/10/2012	0,1	0,0	0,0	0,0

N.R. – Não realizado.

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

A ausência do produto na fase livre nos poços PM2, PM3, PM5 demonstraram a eficiência no processo de remediação. Apenas no poço PM1, a meta de remediação inicial não foi atingida possivelmente devido ao bombeamento da água subterrânea para o poço de monitoramento P16, conforme a Figura 63.

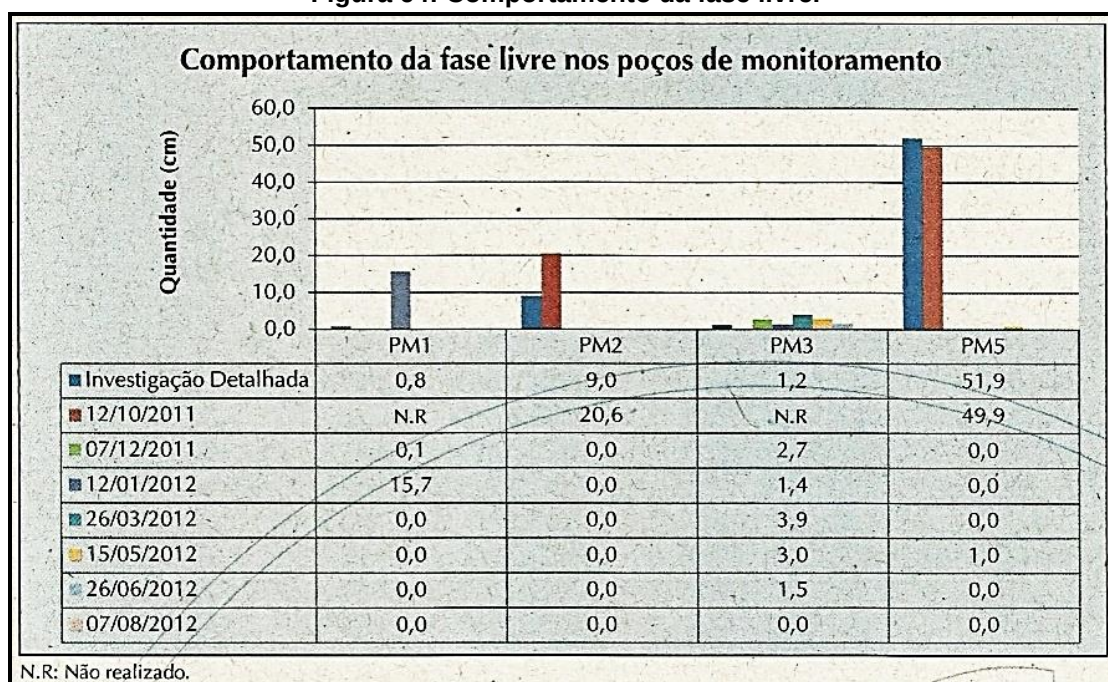
Figura 63: Área de interesse induzida pelo bombeamento.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

O comportamento da fase livre, nos poços de monitoramento PM1, PM2, PM3 e PM5, no período entre a instigação detalhada até outubro de 2012, durante o processo de remediação estão dispostos na Figura 64.

Figura 64: Comportamento da fase livre.



Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

As investigações nas amostras de água subterrânea para verificação da existência de contaminação na fase dissolvida, ocorreram apenas após a confirmação da remoção completa do produto na fase livre. A Tabela 59 apresenta o resultado analítico nas amostras para os parâmetros de BTEX e PAH.

Tabela 59: Resultados analíticos das amostras de água para BTEX e PAH.

Parâmetros		L.Q em $\mu\text{g L}^{-1}$	AMOSTRA Saída da ET	V. I CETESB Água
BTEX	Benzeno	1,000	< L.Q	5,00
	Tolueno	1,000	< L.Q	700,00
	Etilbenzeno	1,000	< L.Q	300,00
	o-xileno	1,000	< L.Q	-
	m.p-xileno	2,000	< L.Q	-
	Xileno total	3,000	< L.Q	500,00
	BTEX total	-	-	-
PAH	Naftaleno	0,050	< L.Q	140,00
	Acenaftileno	0,050	< L.Q	-
	Acenafteno	0,050	< L.Q	-
	Fluoreno	0,050	< L.Q	-
	Fenantreno	0,050	< L.Q	140,00
	Antraceno	0,050	< L.Q	-
	Fluoranteno	0,050	< L.Q	-
	Pireno	0,050	< L.Q	-
	Benzo (a) Antraceno	0,050	< L.Q	1,75
	Criseno	0,050	< L.Q	-
	Benzo (b) Fluoranteno	0,050	< L.Q	-
	Benzo (k) Fluoranteno	0,050	< L.Q	-
	Benzo (a) Pireno	0,050	< L.Q	0,70
	Indeno (1,2,3) Pireno	0,050	< L.Q	0,17
	Dibenzo (a,h) Antraceno	0,050	< L.Q	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	0,050	< L.Q	-
	PAH's Total	-	-	-

L.Q – Limite de Quantificação Laboratorial.

V.I – Valores de Intervenção CETESB (2005).

Fonte: CETESB apud FOGAÇA, 2014.

Os parâmetros analisados apresentaram uma concentração abaixo dos Limites de Quantificação (L.Q.), e consequentemente inferiores aos valores de Intervenção da CETESB (2005). Com isso, a eficiência do sistema na remediação da fase dissolvida foi de 100%.

5.9 Área 9

Os ensaios investigatórios tiveram início em julho de 2006 e até o período de agosto de 2008, não indicaram contaminantes em fase residual em concentrações acima dos parâmetros da CETESB (2005), conforme a Tabela 60.

Tabela 60: Concentrações de BTEX e PAH's no solo da Área 9 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	-
	Fluoreno	<LD	<LD	190,00	16,00	<L.D	-
	Fenantreno	<LD	<LD	5520,00	25,00	<L.D	40000
	Antraceno	<LD	<LD	3850,00	820,00	<L.D	-
	Fluoranteno	<LD	<LD	83,00	<LD	<L.D	-
	Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	-
	Benzo (a) Antraceno	17,00	<LD	20,00	<LD	<L.D	20000
	Criseno	140,00	220,00	<LD	<LD	<L.D	-
	Benzo(b)Fluoranteno	<LD	84,00	220,00	130,00	<L.D	-
	Benzo (k) Fluoranteno	210,00	<LD	<LD	<LD	<L.D	-
	Benzo (a) Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	1500
	Indeno (1,2,3) Pireno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	25000
	Dibenzo (a,h) Antraceno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	600
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<LD	<LD	<LD	<LD	<L.D	-
	Total PAH	28435,00	26804,00	37493,00	29349,00	-	-

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

Nas amostras referentes ao monitoramento da água subterrânea, no mesmo período das amostras anteriores, constatou-se a presença benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno acima dos valores orientadores de intervenção da CETESB (2005), a presença de contaminação na fase livre no PM 01 e na fase dissolvida nos poços PM 03, PM 04, PM 05 e PM 06. Os resultados estão dispostos na Tabela 61.

Tabela 61: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9 e valores de intervenção da CETESB (2005).

Parâmetros		Pontos amostrados						Valores de intervenção CETESB (2005)	
		PM 01		nov/08	PM 02		PM 03		
		jul/06	jun/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	Fase Livre	<LD	<LD	<LD	26,075	140
	Acenaftileno	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	-

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 61: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9 e valores de intervenção da CETESB (2005).

Parâmetros		Pontos amostrados				Valores de intervenção CETESB (2005)
		PM 04		PM 05	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	-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Para a remediação da fase livre, em setembro de 2008, foi aplicado a técnica de remediação por bombeamento e tratamento no poço de monitoramento PM 01, que operou até dezembro de 2010, conforme o monitoramento das espessuras da fase livre apresentado na Tabela 62.

Tabela 62: Espessura 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 na Área 9.

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

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

O monitoramento das concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea estão dispostos na Tabela 63.

Tabela 63: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9, no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	Fase livre	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	1,75
	Criseno	<LD	15,899		5,419	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	-
	Benzo (b) Fluoranteno	<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	-
	Benzo (a) Pireno	85,600	<LD		<LD	9,670	<LD	<LD	<LD	8,280	<LD	<LD	<LD	0,7
	Indeno (1,2,3) Pireno	<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	0,18
	Benzo (g,h,i) Pirileno	<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

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 63: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9, no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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	-	-
PAH µg L ⁻¹	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	-
	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	-	-

Fonte: Construfer apud FREIRE, 2011.

Continuação da Tabela 63: Concentrações de BTEX e PAH's na água subterrânea da Área 9, no período de junho de 2006 a dezembro de 2010 e valores de intervenção da CETESB (2005).

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 $\mu\text{g L}^{-1}$	Benzeno	<LD	323,415	<LD	5
	Tolueno	<LD	44,120	<LD	700
	m,p-xileno	<LD	764,643	<LD	-
	o-xileno	<LD	22,160	<LD	-
	Xileno	-	786,803	-	500
	Etilbenzeno	<LD	740,501	<LD	300
	BTEX total	-	1894,839	-	-
PAH $\mu\text{g L}^{-1}$	Naftaleno	<LD	237,537	<LD	140
	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	-	-

Fonte: Construer apud FREIRE, 2011.

Os poços PM 01, PM 02, PM 03, PMN 03 e PM 09 apresentaram uma redução na concentração de BTEX e PAH's na água subterrânea.

Durante o período de funcionamento do sistema de remediação, de 2008 a 2010, de acordo com os responsáveis legais da área, os gastos com investigação ambiental, e remediação somaram o valor aproximado de R\$ 50.000,00. Os valores estimados para o término dos processos de tratamento foram estimados em R\$

30.000,00. Com isso, os custos finais para a reabilitação da área totalizaram R\$ 80.000,00.

5.10 Comparativo entre os casos

Apresentado os resultados dos ensaios investigativos ambientais e das aplicações das técnicas de remediação em áreas contaminadas, uma análise comparativa entre os casos está disposta de forma resumida na Tabela 64.

Tabela 64: Comparativo entre os casos.

Município	Contaminação	Contaminante	Situação	Técnica Aplicada
Área 4: Cachoeira Paulista	Solo Água Subterrânea	Benzeno BTEX e PAH's	BTEX acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento
Área 5: Caraguatatuba	Fase Livre Água Subterrânea	BTEX e PAH's	Ausência de Fase Livre BTEX acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento
Área 7: Santo André	Solo Água Subterrânea	Benzeno e Xileno BTEX e PAH's	BTEX acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento
Área 9: São Sebastião	Fase Livre Água Subterrânea	BTEX e PAH's	Ausência de Fase Livre BTEX acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento
Área 1: Itaporanga	Fase Livre Água Subterrânea	BTEX e PAH's	Ausência de Fase Livre Benzeno acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento, <i>Air Sparging</i> e Biorremediação com Bioestimulantes
Área 8: Itaí	Fase Livre Água Subterrânea	BTEX e PAH's	Ausência de Fase Livre Remoção da Fase Dissolvida	Bombeamento e Tratamento, <i>Air Sparging</i> e Biorremediação
Área 2: Itaí	Água Subterrânea	BTEX	BTEX acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento, Biorremediação e Extração de Vapores (SVE)
Área 3: Taguaí	Fase Livre Água Subterrânea	Benzeno	Ausência de Fase Livre Benzeno acima do V.I.	Bombeamento e Tratamento, Biorremediação e Extração Multi-fase (MPE)
Área 6: Avaré	Fase Livre Água Subterrânea	BTEX e PAH's	Ausência de Fase Livre Remoção da Fase Dissolvida	Extração de Vapores (SVE), Extração Multi-fase (MPE) e <i>Air Sparging</i>

Nos casos onde a vistorias ocorreram de forma semanal, a eficiência do bombeamento da remediação foi superior aos demais casos, recuperando contaminantes na fase livre em espessuras filmes devido ao melhor ajuste na altura da bomba.

As condições favoráveis no local, como o elevado teor de matéria orgânica e o solo arenoso influenciam de forma direta na eficácia do sistema.

O valor dos custos da investigação ambiental e da remediação das áreas dos postos onde foram aplicadas somente a técnica de bombeamento e tratamento estão apresentadas na Tabela 65, tomando como base os custos no ano de 2011.

Tabela 65: Comparação dos custos na investigação e remediação.

Identificação do Posto	Valor de investigação ambiental + remediação	Valor estimado da remediação	Valor total recuperação
Área 4	R\$55.000,00	R\$50.000,00	R\$105.000,00
Área 5	R\$42.400,00	R\$32.000,00	R\$74.400,00
Área 7	R\$50.000,00	R\$50.000,00	R\$100.000,00
Área 9	R\$50.000,00	R\$30.000,00	R\$80.000,00

Fonte: FREIRE, 2011.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das avaliações realizadas para os casos estudados fica claro que os postos de combustíveis são potencialmente poluidores do meio ambiente, principalmente por vazamentos nos tanques de armazenamento subterrâneos antigos, que sofrem processo de corrosão e geram vazamentos de produtos contaminantes que percolam no solo e acabam por atingir o lençol freático.

A realização de uma boa investigação ambiental, que considere todas as fontes poluidoras e delimite as plumas de contaminação é de total importância na escolha do sistema de remediação. A correta interpretação dos dados disponíveis, em conjunto com as informações do meio físico (geologia, pedologia, hidrologia, clima), o comportamento e características dos contaminantes e os cenários de riscos são importantes fatores a serem considerados.

O monitoramento do processo, após a implantação do sistema de remediação, é indispensável na verificação da eficiência do tratamento da contaminação presente na água subterrânea.

7 CONCLUSÕES

Os estudos de casos analisados permitiram concluir que:

- A técnica de Bombeamento e Tratamento é o sistema de remediação da fase livre mais difundido e de grande aplicabilidade em postos de combustível, apresentando alta eficiência, mesmo com a descontinuidade do processo em alguns casos.
- O sistema de remediação baseado na tecnologia *Air Sparging* e Biorremediação, atuando concomitantemente, se mostrou eficiente no tratamento potencial da fase dissolvida remanescente, como nas Áreas 1 e 8.
- Na Área 6, o emprego de forma conjunta das técnicas de DPE (*Dual Phase Extraction*), SVE (*Soil Vapor Extraction*) e *Air Sparging*, atenuou de forma considerável as concentrações de produto contaminado na fase livre e dissolvida na área impactada por BTEX e PAH.
- O peróxido de hidrogênio, aplicado em solo arenoso, estimulou a oxidação dos hidrocarbonetos e otimizou a remediação da contaminação por óleo diesel.
- A aplicação da solução nutritiva bioestimulante, o NPK, acelerou a biodegradação dos hidrocarbonetos e o processo de Biorremediação.
- A associação das técnicas de Bombeamento e Tratamento, Biorremediação e Extração de Vapores do Solo (SVE) demonstrou grande eficiência na redução das concentrações de BTEX totais, como na Área 2.
- A utilização de carvão ativado no tratamento reduziu a concentração dos contaminantes por BTEX aos limites de aceitação da CETESB (2005). A troca do carvão ativado com maior frequência é imprescindível para a maior eficiência no processo, de acordo com os ensaios de monitoramento realizados.

8 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram a necessidade de uma padronização na apresentação de ensaios investigativos e de monitoramento em processos de remediação em áreas contaminadas, através da criação de normas e procedimentos de rotina que uniformizariam os processos de remediação e a disposição dos resultados, tanto dos estudos investigativos, como dos ensaios de monitoramento da remediação aplicada.

A criação de um modelo de investigação ambiental e monitoramento de áreas contaminadas, com procedimentos definidos, desde a implantação até o encerramento da remediação na área, possibilitariam uma melhor análise das técnicas aplicadas em diferentes áreas e facilitaria a comparação entre estudos de casos. Com isso, tornaria possível uma discussão mais precisa quanto a eficiência das técnicas aplicadas e uma comparação entre elas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Anuário Estatístico de Petróleo e do Gás Natural 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: jul. 2017.

BERTON, S. M. H. Estudo da toxicidade de hidrocarbonetos monoaromáticos utilizando *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* e *Desmodesmus subspicatus*. Tese (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CBH-MP- Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema. Disponível em: <<http://cbhmp.org/>> Acesso em: dez. 2017.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade do ar. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#hidro>. Acesso em: abr. de 2018.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 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. 11p. São Paulo, 2006.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. 274 p., São Paulo, 2006.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 038/2017/C de 07 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do “Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo. 2017.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas. 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: abr. de 2018.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução no 273/00, 2000. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html> Acesso em: set. 2017.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 420/2009 – Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama> > Acesso em: ago.de 2017.

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

CONSTRUFER ENGENHARIA. Investigação Detalhada - Auto Posto Praia dos Palmares Ltda., 2009.

CROMPTON, T. R. Determination of organic substances in water. Chichester: John Wiley, 1985. V. 1.

EGLE, T. Área Limpa. Revista Técnica, Edição 156, 2010. Disponível em <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/156/artigo285478-2.aspx>> Acesso em: jan.de 2018.

FERREIRA, M. M. Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Departamento de Ciência do Solo, Setor de Física do Solo – Universidade Federal de Lavras. 34p. Lavras, 2000. Disponível em<<http://pt.scribd.com/doc/82866673/Apostila-de-Fisica-Do-Solo-Pratica-UFLA>> Acesso em: jun. de 2017.

FOGAÇA, P. H. C; Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP. 2014. 174 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. UNESP-Bauru. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

FREIRE, P. A. C. Bombeamento e tratamento de plumas de hidrocarbonetos em diferentes aquíferos contaminados por postos de combustíveis, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, 142p. Bauru, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itai/panorama> > Acesso em: dez. de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/taguai/panorama> > Acesso em: dez.de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itaporanga/panorama> > Acesso em: dez.de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/cachoeira-paulista/panorama> > Acesso em: dez.de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/caraguatatuba/panorama> > Acesso em: dez.de 2017.

JUHASZ, A.L.; NAIDU, R. Bioremediation of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: a Review of the Microbial Degradation of Benzo[a] pyrene. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Austrália, v.45. p. 57-88, 2000.

MAINIER, F. B., FERREIRA, J. C., NUNES, L. P. Uma visão crítica da importância da proteção catódica nos projetos de tanques de armazenamento de combustíveis e produtos químicos com relação à proteção de aquíferos. In: *Seminário de Proteção Catódica e Controle de Interferência*, Associação Brasileira de Corrosão, 4. Anais, São Paulo, 8-10 de Junho, São Paulo, 1994.

MARIANO, A. P. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. 2006. 162 p. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo, 2006.

MAZZUCO, L.M. Atenuação natural de hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados com óleo diesel. 2004. 98p. Tese (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Química, Florianópolis, 2004.

MILLER, A. D. Remediação de Fase Livre de Gasolina por Bombeamento Duplo: Estudo de Caso. São Paulo, 133f. Dissertação (Mestrado em Geociências) –Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

NEGRÃO, P. Extração de Compostos Orgânicos Voláteis de Águas Subterrâneas através de *Air Strippers*. Clean News, v. 5, Campinas, 2002.

NETO, A.D.P.; MOREIRA, J.C.; OLIVEIRA, A.S.; BAREK, J. Avaliação da Contaminação Humana por Hidrocarbonetos Policíclico Aromáticos (PAH's) e seus Derivados Nitrados (NPAH): uma revisão metodológica. Química Nova. v 23, n.6, p.765-773, São Paulo, 2000.

NOBRE, Manoel M. Remediação de Solos - Revista Química e Derivados, 2003. Disponível em < <http://www.quimicaederivados.htm> > Acesso em: set. de 2017.

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

POTIN, O. Bioremediation of an aged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) - contaminated soil by filamentous fungi isolated from the soil. International Biodeterioration and Biodegradation, Oxford, v.54, n.1, p.45-52, 2004.

RIYIS, M. T. Amostragem de Solo para Reabilitação de Áreas Contaminadas. ECD Ambiental. 27/07/2017. Disponível em: <<http://www.ecdambiental.com.br/2017/07/amostragem-de-solo-para-reabilitacao-de.html>> Acesso em: abr. de 2018.

SCHENK, T. Desenvolvimento e aplicação de técnicas microbiológicas progressivas para a remediação de contaminantes orgânicos no solo e nas águas subterrâneas. In: MOERI, E.; COELHO, R.; MARKER, A. (Ed.). Remediação e revitalização de áreas contaminadas. São Paulo, 2004.

SCHWARZENBACH, R. P. et al. Environmental Organic Chemistry. 1^a Ed., JohnWiley & Sons, Inc. NY, 681 p., 1993.

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

SILVA, R.L.B.; BARRA, C.M.; MONTEIRO, T.C.N. e BRILHANTE, O.M. Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18, 6, p.1599-1607, Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: dez. de 2017.

SOARES, A. Bases Técnicas para Remediação de Solos e Águas Subterrâneas Utilizando Processos Oxidativos Avançados. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências. UNICAMP. Campinas, 2008.

SOUZA, R. B. G. Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos do solo e da água da região de Avaré, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2016.

SPILBORGS, M. C. F. Biorremediação de aquíferos contaminado com hidrocarbonetos. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SUGIMOTO, L. Sensores detectam e monitoram contaminação de águas subterrâneas. Jornal da Unicamp, ed. 274, 2004. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/unicamphoje/ju/novembro2004/ju274pag11.htm> >. Acesso em: jan. de 2018.

TAVARES, S.R. L. Remediação de Solo e Águas Contaminadas por Metais Pesados - Conceitos Básico & Fundamentos. p. 147. Rio de Janeiro, 2013.

TIBURTIUS, E.R.L. Remediação de solos e águas contaminadas por compostos orgânicos voláteis (BTX), utilizando processos Fenton e lavagens com biosurfactantes. Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado defendida em 2008. Curitiba, 2008.

TIBURTIUS, E. R. L. Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados, 2004. Química Nova, v. 27, n. 3, São Paulo, 2004.

TROVÃO, R. S. Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos – SP. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

UGRHI-02 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Paraíba do Sul. Disponível em http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6962/ugrhi_02_04.pdf Acesso em: dez. de 2017.

UGRHI-03 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Litoral Norte. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/8163/relatorio-tecnico-cbh-ln-criticidade-2014.pdf> Acesso em: dez. de 2017.

UGRHI-14 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema. Disponível em http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6997/caracterizacao_geral_da_ugrhi_14.html Acesso em: dez. de 2017.

UGRHI-17 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema. Disponível em <http://cbhmp.org/ugrhi-17/> Acesso em: dez. de 2017.

USEPA [a] - United State Environmental Protection Agency, (1999). Office of Underground Storage Tanks, Markets and Technology Trends. EPA-510- B99-007, May 1999.

USEPA [b] - United States Environmental Protection Agency. A Citizen's Guide to Air Stripping EPA/542/F-01/016 December 2001. Acesso em 26/12/2017. Disponível em: <http://www.clu-in.org/download/citizens/airstripping.pdf>

USEPA [c] - United States Environmental Protection Agency. A Citinzen's Guide to In situ Flushing. 1996, 4pp. EPA 542-F-01-007. Acesso em 26/12/2017. Disponível em: <http://clu-in.org/download/citizens/citsve.pdf>

USEPA [d] - United States Environmental Protection Agency. Soil Vapor Extraction. In: How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites – a guide for corrective action plan reviewers. Washington, 1994. Chapter 2, p. II-1 – II-31. EPA-510-R04-002. Acesso em 18/05/2018. Disponível em:

<https://www.epa.gov/ust/how-evaluate-alternative-cleanup-technologies-underground-storage-tank-sites-guide-corrective>

VALENTIN, C. Ap. Estudo da degradação de Geomembrana de Polietileno de Alta Densidade de 2,5 mm de espessura frente à gasolina, Óleo Diesel e Álcool combustível. 2008. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

VERHNJAK, M. S. S. Avaliação da eficiência da técnica de remediação de solo contaminado por hidrocarbonetos, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2015.