

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA  
EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

GIULIANO GREGORCZYK

WILLIAN JULIO PICCIONI

CURITIBA

2011

GIULIANO GREGORCZYK

WILLIAN JULIO PICCIONI

## **ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão do Curso II, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais – DAQBI - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Valma Martins Barbosa.

CURITIBA

2011

# TERMO DE APROVAÇÃO

**GIULIANO GREGORCZYK  
WILLIAN JULIO PICCIONI**

## **ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM PROCESSOS AMBIENTAIS do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e **APROVADO** pela seguinte banca examinadora:

**Membro 1** – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. MARLENE SOARES  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Membro 2** – PROF<sup>a</sup>. MS. SONIA ZANELLO  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Orientadora** – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. VALMA MARTINS BARBOSA  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia

**Coordenadora de Curso** – PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. VALMA MARTINS BARBOSA

Curitiba, 02 de dezembro de 2011.

## RESUMO

Os postos revendedores de combustíveis são as principais fontes urbanas de contaminação de solo e águas subterrâneas pelas substâncias aromáticas benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, conhecidos como compostos BTEX. Tal contaminação ocorre devido a vazamentos no sistema de armazenamento de combustíveis como também da má operação do empreendimento. Para descontaminação de uma área são utilizadas técnicas de remediação, dentre as quais o Sistema Extração Multifásica, conhecida como MPE (multi-phase extraction), tem sido apontada como alternativa eficiente, segura e pouco onerosa para remoção de compostos tóxicos e enquadra-se como uma das mais utilizadas em postos revendedores combustíveis. Neste trabalho foi avaliada a eficiência da técnica de remediação MPE em três postos revendedores de combustíveis, cada um pertencente a um estado do sul do território brasileiro. A eficiência da técnica nos três casos foi comparada levando-se em consideração as características do meio físico local, da contaminação como também a legislação vigente em cada estado. O sistema MPE mostrou-se eficiente na descontaminação das três áreas estudadas, pois foi capaz de remover se não toda, boa parte da contaminação. Notou-se que alguns fatores exerceram grande influência para o sucesso da remediação como a magnitude da contaminação e a boa operação do empreendimento. Como era de se esperar quanto maior a contaminação maior o tempo despendido na remediação. A realização de estudo de análise de risco e a determinação de níveis alvos a serem atingidos (SSTL's) causaram grande impacto na duração da remediação dos casos onde a contaminação preponderante era de hidrocarbonetos em fase dissolvida. Nos três casos estudados a legislação não teve influência direta na remediação, uma vez que as metas a serem atingidas foram definidas pelos estudos de análise de risco realizados nos estabelecimentos e não pelos valores orientadores impostos pela legislação específica de cada estado. Também percebeu-se que a pluma de contaminação não apenas diminuiu como também não se movimentou em nenhuma direção, nem mesmo na direção do fluxo das águas subterrâneas, implicando que o vácuo aplicado pelo sistema de remediação foi suficiente para direcionar o fluxo da água subterrânea para os poços de extração. Desta forma, o gradiente hidráulico e a velocidade do fluxo das águas subterrâneas não tiveram impacto na eficiência da remediação em nenhum dos três casos.

Palavras chaves: Posto revendedor de combustíveis, Contaminação, BTEX, Remediação, Extração multifásica.

## ABSTRACT

Gas stations are the primary source of soil and underground water contamination with BTEX compounds, such as Benzene, Toluene, Ethyl-Benzene and Xylene. This kind of contamination is due leaks in the storage system and also from bad operational workflow. To solve the problem, the areas are decontaminated with remediation techniques. MPE (Multi-phase Extraction) has been pointed as most effective, safe and low cost operation for toxic compounds removal, therefore is the most used process in this kind of situations. In this study we evaluated the effectiveness of MPE remediation in three fuel vendors, one in each south federative territory of Brazil. The evaluation was based in comparison between the physical features of the place where it was built, the contamination level and the local law. It was found that the MPE is an excellent technique because it could decontaminate if not totally, a great percentage of the toxic compounds found in the ground. It has been observed that some factors were critical for the success of the remediation, like the extension of the contamination and the good application of the technique and like it was expected, the largest area of contaminated soil demanded a larger time of process. The determination of risk analyses and of the targeted levels of contamination caused great impact in the timeline of the decontamination of dissolved hydrocarbon compounds. In all of the three cases in study, the legislation had no influence in the process, once that the goal levels of contamination were not defined by local law, but by each establishment. It was observed as well that the contamination plume has shrunken and did not exhibit any sign of movement, not even in direction of underground water flow. That implies that the vacuum used in the process was effective in pushing the water flow to extraction wells, proving that hydraulic gradient and flow speed of underground water had no influence in the remediation in any of the three observed processes.

Keywords: Fuel vendors, Contamination, BTEX, Remediation, Multi-phase Extraction

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases dos Hidrocarbonetos nas zonas saturadas e insaturadas do solo...	20
Figura 2: Fluxograma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas .....	24
Figura 3: Técnicas de remediação empregadas no estado de São Paulo em 2010 .	26
Figura 4: Fluxograma do Sistema MPE.....	28
Figura 5: Classificação do posto de serviço conforme o ambiente de entorno .....	32
Figura 6: planta baixa do empreendimento e do sistema de remediação (Posto Paraná) .....	57
Figura 7: planta baixa do empreendimento e do sistema de remediação (Posto Santa Catarina).....	58
Figura 8: planta baixa do empreendimento e do sistema de remediação (Posto Rio Grande do Sul) .....	59
Figura 9: Evolução da pluma de fase dissolvida de benzeno durante o processo de remediação no Posto Paraná .....	68
Figura 10: Evolução da pluma de fase dissolvida de benzeno durante o processo de remediação no Posto Santa Catarina.....	72
Figura 11: Evolução da pluma de fase dissolvida de benzeno durante o processo de remediação no Posto Rio Grande do Sul .....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação da espessura de fase livre no Posto Paraná .....	65
Gráfico 2: Variação da espessura de fase livre no Posto Rio Grande do Sul .....	75
Gráfico 3: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Paraná .....	84
Gráfico 4: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Santa Catarina.....	85
Gráfico 5: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Rio Grande do Sul .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades físicas e químicas dos compostos BTEX .....	16
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do sistema MPE .....	29
Tabela 3: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações .....	34
Tabela 4: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações .....	35
Tabela 5: Vias de exposição consideradas na modelagem .....	38
Tabela 6: Concentração de benzeno nos poços do Posto Paraná.....	67
Tabela 7: Concentração de benzeno nos poços do Posto Santa Catarina .....	71
Tabela 8: Concentração de benzeno nos poços do Posto Rio Grande do Sul.....	77
Tabela 9: Características dos Sistemas MPE .....	79
Tabela 10: Evolução das áreas das plumas de contaminação durante a remediação .....	81

## LISTA DE SIGLAS

<b>ABGE</b>	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>BTEX</b>	Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CORSAN</b>	Companhia Riograndense de Saneamento
<b>CQI</b>	Compostos químicos de interesse
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (Agencia de Proteção Ambiental)
<b>FATMA</b>	Fundação do Meio Ambiente
<b>FEPAM</b>	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
<b>HPA / PAH</b>	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
<b>IAP</b>	Instituto Ambiental do Paraná
<b>LNAPL</b>	Líquido leve em fase Não Aquosa
<b>MPE</b>	Sistema de Extração Multifásica
<b>NABR</b>	Níveis aceitáveis baseados no risco
<b>NAPL</b>	Líquido de fase não aquosa
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>PE</b>	Poço de extração
<b>pH</b>	Potencial de hidrogénio iônico
<b>PI</b>	Poço de injeção
<b>PM</b>	Poço de monitoramento
<b>PME</b>	Poço de monitoramento existente
<b>ppb</b>	Partes por bilhão
<b>PVC</b>	Policloreto de vinila
<b>RCBA</b>	Ação Corretiva Baseada em Risco
<b>SAO</b>	Caixa separadora de água e óleo
<b>SASC</b>	Sistema de armazenamento subterrâneo
<b>SEMA</b>	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
<b>SG</b>	Pontos de Sondagem de VOC
<b>SSST</b>	Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho
<b>SSTL</b>	Níveis Alvo Específicos da Área
<b>ST</b>	Pontos de medição de VOC
<b>TPH</b>	Hidrocarbonetos Totais de petróleo
<b>TQ</b>	Troca de tanque
<b>USACE</b>	United States Army Corps of Engineer
<b>USEPA</b>	Agência de Proteção Ambiental Americana
<b>VOC</b>	Compostos Orgânicos Voláteis

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVOS .....	14
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
3.1 A PROBLEMÁTICA DO VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS .....	15
3.2 TOXICIDADE DO BTEX.....	20
3.3 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	21
3.4 PROCESSO DE REMEDIAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	25
3.4.1 Sistema de Extração Multi-Fásica (MPE) .....	26
3.5 LEGISLAÇÃO.....	30
3.6 ANÁLISE DE RISCO.....	35
4 METODOLOGIA.....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....	40
4.1.1 Sondagens .....	40
4.1.2 Amostras indeformadas.....	41
4.1.3 Levantamento Planialtimétrico .....	41
4.1.4 Teste de Permeabilidade - Slug Test .....	42
4.1.5 Medições do nível d'água.....	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO .....	44
4.2.1 Avaliação da Presença de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis).....	44
4.2.2 Amostragem de Solo e Água Subterrânea.....	45
4.2.2.1 Amostragem de Solo.....	45
4.2.2.2 Amostragem de Água Subterrânea .....	46
4.2.3 Confecção das Plumas de contaminação .....	47
4.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA MPE .....	47
5 REGIÕES DE ESTUDOS.....	48
5.1 POSTO PARANÁ .....	48
5.1.1 Histórico Ambiental .....	49
5.2 POSTO SANTA CATARINA.....	51
5.2.1 Histórico Ambiental .....	51
5.3 POSTO RIO GRANDE DO SUL.....	53
5.3.1 Histórico Ambiental .....	53
6 RESULTADOS.....	60

6.1. MEIO FÍSICO .....	60
6.1.1 Paraná.....	60
6.1.2 Posto Santa Catarina .....	61
6.1.3 Posto Rio Grande do Sul.....	62
6.2 CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO .....	64
6.2.1 Posto Paraná.....	64
6.2.1.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor.....	64
6.2.1.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre .....	64
6.2.1.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida .....	65
6.2.1.4 Contaminação do solo.....	69
6.2.2 Posto Santa Catarina .....	69
6.2.2.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor.....	69
6.2.2.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre .....	69
6.2.2.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida .....	70
6.2.2.4 Contaminação do solo.....	73
6.2.3 Posto Rio Grande do Sul.....	73
6.2.3.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor.....	73
6.2.3.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre .....	73
6.2.3.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida .....	75
6.2.3.4 Contaminação do solo.....	79
6.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA MPE .....	79
7 CONCLUSÃO.....	87
8 REFERÊNCIAS.....	88
ANEXOS .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

A contaminação de solos e águas subterrâneas por vazamentos de combustíveis em postos revendedores tem chamado atenção dos órgãos ambientais devido ao grande número de empreendimentos e ao diagnóstico crescente de áreas impactadas por compostos tóxicos. Os postos de abastecimento são as principais fontes de contaminação de solo e águas subterrâneas pelas substâncias aromáticas benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, conhecidos como compostos BTEX. Estes compostos são poderosos depressores do sistema nervoso central e apresentam toxicidade crônica, mesmo em pequenas concentrações (ppb), sendo o benzeno o mais tóxico e comprovadamente carcinogênico (TIBURTIUS et al, 2004)

O maior problema da contaminação com derivados de petróleo está relacionado a dois grupos predominantes de hidrocarbonetos, os hidrocarbonetos aromáticos, incluindo os já citados compostos BTEX, e os hidrocarbonetos alifáticos (C<sub>5</sub>-C<sub>12</sub>). Ambos poderão estar presentes no subsolo como líquido de fase não aquosa (NAPL); entretanto, os hidrocarbonetos aromáticos são geralmente mais tóxicos que os compostos alifáticos. Além disso, os aromáticos possuem maior mobilidade em água, pois sua solubilidade é da ordem de três a cinco vezes maior e possuem maior facilidade de volatilização, apresentando risco de contaminação por inalação (SCHWARZENBACH, 1993).

A gasolina é composta basicamente pela série de hidrocarbonetos C<sub>4</sub> a C<sub>8</sub>. De acordo com a portaria nº309 da ANP de 2001, 45% a 57% do volume da gasolina comum correspondem aos compostos aromáticos e 1,2 a 1,9% corresponde ao composto benzeno. Este fato demonstra a grande concentração de aromáticos em combustíveis derivados do petróleo e as graves consequências que um derramamento acarreta ao meio ambiente e à saúde humana.

Com o objetivo de proteger tanto o solo quanto a água subterrânea, os órgãos ambientais estão exigindo a avaliação do passivo ambiental de postos de combustíveis, na qual devem ser monitorados e quantificados os hidrocarbonetos aromáticos no solo, incluindo os compostos BTEX. Desta maneira, quando estas quantificações apontam valores acima dos padrões aceitos pelos órgãos ambientais competentes, torna-se necessário a intervenção e a utilização de técnicas de remediação para a correção destes valores, fazendo com que enquadrem-se dentro de limites aceitáveis.

A tecnologia de tratamento a ser implementada na recuperação desses locais contaminados deve levar em consideração as características físicas e químicas do contaminante, as características geológicas e hidrogeológicas da área, o tempo disponível para o processo, a extensão da contaminação e a profundidade do lençol freático. A seleção da tecnologia mais adequada também será uma função da melhor relação custo/benefício, tempo de tratamento e utilização posterior que se pretende dar ao local contaminado.

Dentre as técnicas de tratamento de áreas contaminadas, o Sistema Extração Multifásica, conhecida como MPE (*multi-phase extraction*), tem sido apontado como alternativa eficiente, segura e pouco onerosa para remoção de compostos tóxicos e enquadra-se como uma das mais utilizadas em postos revendedores combustíveis. O sistema de extração multifásica é uma tecnologia de remediação *in situ*, que combina as técnicas de bioventilação e de remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, fase vapor, fase dissolvida, adsorvida na matriz do solo e estimulando o processo de biodegradação natural na zona insaturada. As fases, líquida e vapor, extraídas, são tratadas pela separação do contaminante da fase aquosa de forma que possa ocorrer a disposição ou re-injeção no solo, quando permitido pela legislação ambiental (USACE, 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a técnica de remediação MPE em três postos revendedores de combustíveis, cada um pertencente a um estado do sul do território brasileiro. Pretendeu-se comparar a eficiência da técnica levando-se em consideração as características do meio físico local, da contaminação como também a legislação pertinente em cada caso.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Verificar a eficiência de remediação por sistema de extração multifásica, aplicada em áreas contaminadas por vazamentos oriundos de três postos revendedores de combustível localizados na região sul do país.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Estudar as características do meio físico em cada caso;
- 2) Verificar as características da contaminação;
- 3) Levantar a legislação vigente em cada região;
- 4) Comparar a eficiência da remediação por sistema MPE em cada caso, levando em consideração as características locais e da contaminação e legislação aplicável.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A PROBLEMÁTICA DO VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS**

Nas últimas décadas, o aumento populacional e das atividades industriais vêm ocasionando uma crescente demanda de combustíveis automotivos, que por sua vez promove um aumento no número de postos revendedores. Segundo o anuário estatístico da Agencia Nacional do Petróleo (ANP), no ano de 2010 existiam 37.973 postos automotivos no Brasil, sendo 8.033 localizados na região sul. O volume de gasolina comercializada no ano de 2010 no Brasil foi de 29.843.665 m<sup>3</sup>, deste total 6.255.753 m<sup>3</sup> na região sul. Nos últimos 10 anos houve um aumento de 31,88% no volume comercializado de gasolina. Estes números dão uma idéia da grandiosidade do comércio de combustíveis no país.

Este crescimento representa uma ameaça ao meio ambiente, uma vez que pode acarretar num aumento no número dos episódios de vazamentos de combustíveis, impactando o meio ambiente. De acordo com a Agencia de Proteção Ambiental Americana (USEPA), no ano de 2007 foram relatados 7.550 casos de acidentes com tanques de armazenamento subterrâneos. Atualmente existem mais de 446.940 áreas em processo de descontaminação devido a acidentes com tanques subterrâneos naquele país. No Brasil, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) contabilizou, no ano de 2009, 19 emergências ambientais com Postos e sistemas retalhistas de combustíveis no estado de São Paulo. Em um histórico de acidentes ambientais causados em postos revendedores de combustíveis de 1984 a 2004 observou-se que de um total de 550 acidentes o SASC (Sistema de armazenamento subterrâneo) foi responsável por 57,4% das causas de vazamentos (tanque 32,7%, tubulação 17,6%, bomba 3,3 %, tubulação/tanque 3,8%). Também notou-se uma diminuição de 72% no números de acidentes entre os anos de 1999 e 2009, principalmente devido ao crescimento da fiscalização, com aplicação de advertência e multa. Com relação ao número de áreas contaminadas em 2010 neste estado, verificou-se que 79% do total destas áreas são postos revendedores de combustíveis totalizando 2.922.

Os vazamentos podem ocorrer por problemas no SASC ou também por problemas operacionais, como falhas humanas durante a descarga de combustíveis, troca de óleo, lavagem de veículos ou até mesmo no manuseio da bomba de

abastecimento. Depois de ocorrido o vazamento o produto pode ser carregado pela chuva até atingir o solo ou corpo d'água ou infiltrar diretamente no solo por rachaduras no piso da área de abastecimento.

O maior problema devido aos derramamentos de combustíveis automotivo está na periculosidade dos compostos constituintes, principalmente os hidrocarbonetos aromáticos (C<sub>4</sub>-C<sub>8</sub>). Os compostos de maior interesse são os denominados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), pois são os de maior toxicidade e mobilidade na subsuperfície devido, principalmente, às suas características físicas e químicas (Tabela 1). A mobilidade é definida em função das suas características físicas e químicas como a massa molar, a solubilidade, a polaridade, a densidade e os coeficientes de distribuição (SCHWARZENBACH, 1993). O peso molecular afeta a densidade e a solubilidade do composto orgânico em água, sendo que a solubilidade tem grande influência na distribuição dos contaminantes para a água subterrânea (DONAIRE, 2007).

A distribuição dos contaminantes para a água é influenciada pela polaridade, sendo que os compostos do grupo BTEX são apolares e, conseqüentemente hidrofóbicos. A densidade relativa é a relação entre a densidade do composto e a densidade da água e tem influência sobre a flotação dos compostos químicos (SCHWARZENBACH, 1993).

A pressão de vapor é a pressão parcial de um gás em equilíbrio em relação a um composto em estado sólido ou líquido, quanto maior a pressão de vapor de um composto químico maior será o potencial de evaporação desse composto. A constante da Lei de Henry representa o particionamento de um composto químico entre o ar e a água, valores elevados para essa constante indicam que o composto tem a tendência de particionar-se para o ar (SCHNEIDER, 2005).

**Tabela 1: Propriedades físicas e químicas dos compostos BTEX**

(continua)

Composto	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Solubilidade em água (mg/L)	Pressão de Vapor (mm Hg)	Constante da Lei de Henry (atm·m <sup>3</sup> /mol)	Polaridade
<b>Benzeno</b>	0,876	1780	76	5,43. 10 <sup>-3</sup>	Apolar
<b>Etilbenzeno</b>	0,867	152	7	7,90. 10 <sup>-3</sup>	Apolar
<b>Tolueno</b>	0,867	515	22	6,61. 10 <sup>-3</sup>	Apolar

**Tabela 1: Propriedades físicas e químicas dos compostos BTEX****(conclusão)**

Composto	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Solubilidade em água (mg/L)	Pressão de Vapor (mm Hg)	Constante da Lei de Henry (atm·m <sup>3</sup> /mol)	Polaridade
m-Xileno	0,864	200	9	6,91. 10 <sup>-3</sup>	Apolar
O-Xileno	0,880	170	7	4,94. 10 <sup>-3</sup>	Apolar
p-Xileno	0,861	198	9	7,01. 10 <sup>-3</sup>	Apolar

**Fonte: Adaptado de USEPA (1993).**

Após ocorrer um vazamento, ao entrar em contato com o solo, o contaminante infiltra no ambiente e essa infiltração pode ser facilitada conforme a permeabilidade do meio.

A permeabilidade é a capacidade que o solo possui de permitir o escoamento de água entre os seus espaços vazios e pode ser medida pelo coeficiente de permeabilidade. A permeabilidade de um meio é influenciada por diversos fatores, tais quais a granulometria, composição mineralógica, índice de vazios, fluído, estrutura, macro-estrutura e temperatura (OLIVEIRA et al, s.d.).

Segundo Vargas (2010), esses fatores são assim definidos:

a) Granulometria: para exemplificar que o tamanho das partículas que constituem os solos influencia na permeabilidade, verificamos que em solos com partículas com diâmetro superior a 2 mm (solos pedregulhosos sem finos) o valor do coeficiente de permeabilidade é superior a 0,01 cm/s; já nos solos com partículas com diâmetro inferior a 0,074 mm (solos finos) os valores do coeficiente de permeabilidade são bem inferiores.

b) Composição mineralógica: a predominância de alguns tipos de minerais na constituição dos solos faz com que a permeabilidade seja afetada. Por exemplo, argilas moles que são constituídas, predominantemente, de argilo-minerais (caulinitas) possuem um valor de coeficiente de permeabilidade muito baixo, que varia de 10<sup>-7</sup> a 10<sup>-8</sup> cm/s. Já nos solos arenosos, cascalhentos sem finos, que são constituídos, principalmente, de minerais silicosos (quartzo) o valor do coeficiente de permeabilidade é da ordem de 1,0 a 0,01cm/s.

c) Índice de vazios: o índice de vazios está relacionado com a porosidade, quanto mais poroso for um solo (maior a dimensão dos poros), maior será o índice de vazios, conseqüentemente, mais permeável.

d) Fluído: na maioria dos solos o tipo de fluído que se encontra nos poros é a água com ou sem gases (ar) dissolvidos.

e) Estrutura: significa o arranjo das partículas. Nas argilas existem as estruturas isoladas e em grupo que atuam com forças de natureza capilar e molecular, que dependem da forma das partículas, dificultando a passagem da água. Nas areias o arranjo estrutural é mais simplificado, constituindo-se por canalículos, interconectados onde a água flui mais facilmente.

f) Macro-estrutura: ocorre principalmente em solos que guardam as características do material de origem como diaclases, fraturas, juntas, estratificações.

g) Temperatura: em relação à temperatura existe a relação inversamente proporcional com a viscosidade d'água, portanto, maior a permeabilidade, significando que a água escoará mais facilmente pelos poros do solo.

Ocorrida a infiltração no solo, os hidrocarbonetos podem se particionar entre a água, o vapor e os sólidos, ou podem permanecer como líquido na fase de hidrocarboneto livre. A proporção desta partição depende das propriedades individuais de cada composto.

Hidrocarbonetos em fase líquida podem existir no solo como resíduos líquidos relativamente imóveis, adsorvidos em partículas do solo ou como líquido livre nos vazios existentes entre os sólidos do solo.

Uma parcela dos hidrocarbonetos em fase líquida ficará presa pelas forças capilares (adsorvida), depois que a parte principal passar pelas camadas do solo. Essa parcela é conhecida como residual e age como uma fonte de contaminantes que se dissolverão em água e se volatilizarão em vapor do solo. Conseqüentemente, os hidrocarbonetos em fase líquida e em fase dissolvida que emanam desses hidrocarbonetos residuais podem afetar drasticamente a água subterrânea ou colocar em risco de segurança as estruturas da superfície ou da subsuperfície (VALENTIM, 2006).

Hidrocarbonetos em fase dissolvida podem estar presentes na água e nas superfícies dos sólidos de solo. Constituem contaminações por dissolução de aditivos polares e por uma fração emulsionada de hidrocarbonetos que possui maior mobilidade e dissipa-se abaixo no nível da água subterrânea (CZAPLA, 2005).

A profundidade do lençol freático, a condutividade hidráulica do solo, a velocidade da água subterrânea e a temperatura da água, são alguns fatores que interferirão nas concentrações de compostos de hidrocarbonetos dissolvidos em água e nas quantidades de transferência para a água subterrânea (VALENTIM, 2006).

A fase vapor resulta principalmente da volatilização dos hidrocarbonetos livres presentes na zona não-saturada. A volatilização ocorre principalmente a partir de hidrocarbonetos residuais em fase líquida e, numa escala menor, a partir de

hidrocarbonetos residuais em fase dissolvida presentes no solo. A fase vaporizada pode estar presente em meio às demais fases, sendo mais significativa na região vadosa (porção não saturada com água no perfil do solo) do subsolo (VALENTIM, 2006).

Em geral, os hidrocarbonetos em fase de vapor tendem a seguir caminhos mais condutivos e a migrar dessas áreas de grande pressão para áreas de pressão menor. Os vapores dos hidrocarbonetos são mais densos que o ar e, conseqüentemente, podem se acumular em prédios, esgotos, caixas telefônicas subterrâneas e outras estruturas abertas para a atmosfera.

Hidrocarbonetos em fase livre são a porção de hidrocarbonetos não miscíveis em água (*LNAPL-light non aqueous phase liquid*) sobre o topo do aquífero livre e que pode ser mais espesso em casos onde o sistema freático é pouco dinâmico e pouco permeável (várzeas), como também de acordo com o volume de produto derramado. Essa fase não é composta exclusivamente por hidrocarbonetos, assim, não existe um limite estrito entre a fase livre e as demais fases, mas uma banda de transição que pode ser mais ou menos espessa de acordo com diversos fatores, como a viscosidade do hidrocarboneto, a magnitude e a frequência das oscilações freáticas, a quantidade de oxigênio disponível, a porosidade do solo e o tempo transcorrido desde o vazamento (CZAPLA, 2005).

Hidrocarbonetos móveis em fase líquida, dissolvida ou de vapor, tendem a se tornar mais distintos e a se separar com o tempo. Em muitos casos, essas fases estão posicionadas como corpos distintos ou plumas de contaminação que podem migrar para direções diferentes (CZAPLA, 2005). A Figura 1 apresenta um panorama geral das fases dos hidrocarbonetos na zona saturada e não saturada do subsolo.

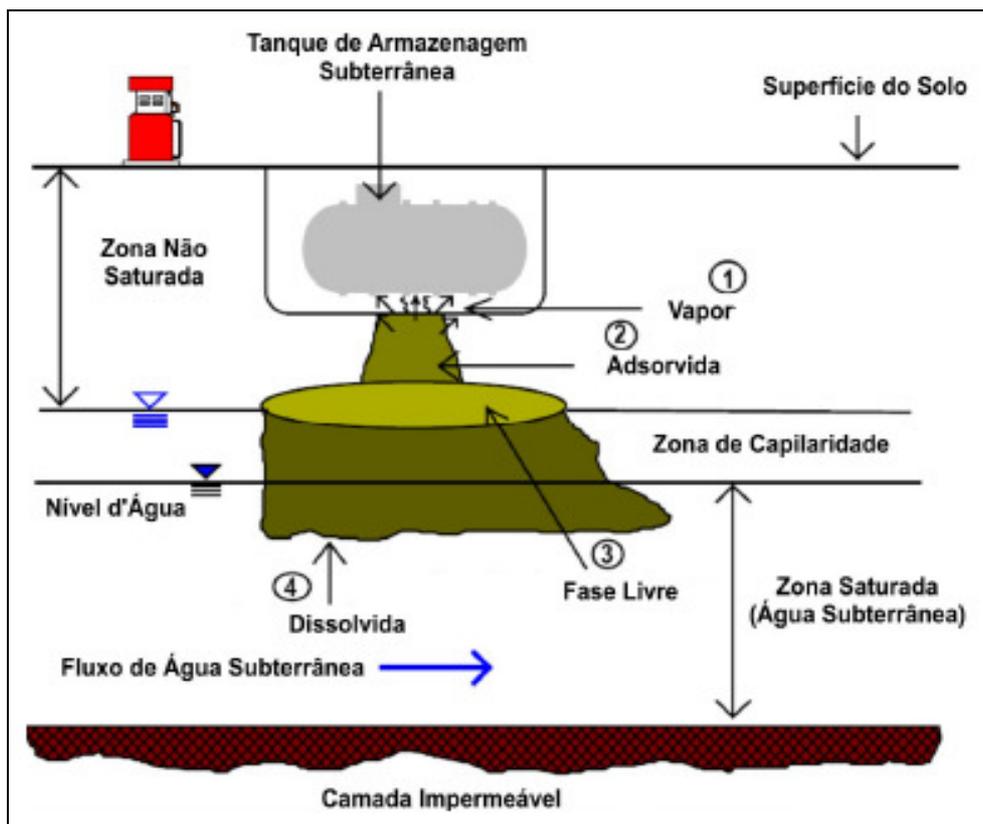


Figura 1: Fases dos Hidrocarbonetos nas zonas saturadas e insaturadas do solo

Fonte: Adaptado de COSAN (2008).

### 3.2 TOXICIDADE DO BTEX

Estudos relacionados com a poluição atmosférica no ar destacam que os hidrocarbonetos aromáticos causam danos à saúde, como distúrbios no modo de falar, na visão, na audição, no controle dos músculos, além de surgimento de tumores cerebrais. Esses danos são ocasionados devido, principalmente, ao caráter tóxico e/ou mutagênico ou cancerígeno do BTEX (TIBURTIUS et al., 2004).

O benzeno está na lista de substâncias cancerígenas da Agência Internacional de Pesquisa de Câncer (Internation Agency for Research on Cancer), pertencente à Organização Mundial da Saúde e da Agência Norte-Americana de Saúde e Segurança Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health). No Brasil o reconhecimento oficial do fator cancerígeno do benzeno foi em 1994, pela portaria da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST nº3), de 10 de março de 1994. A capacidade de provocar danos cromossômicos e à medula óssea do benzeno já foi amplamente demonstrada em humanos e animais, como

observado em trabalhadores expostos ao benzeno que tiveram alterações cromossômicas numéricas e estruturais em linfócitos e células da medula óssea (TIBURTIUS et al., 2004).

Na fauna e flora os hidrocarbonetos aromáticos ligam-se as moléculas protéicas e ao tecido adiposo, sendo transferidos através de bioacumulação, contaminando outros seres, trazendo, assim, implicações para a pesca e saúde pública (TIBURTIUS et al., 2004).

Devido a essa toxicidade as legislações se tornam cada vez mais restritivas. No Brasil, de acordo com a Portaria N°518/2004 do Ministério da Saúde, o benzeno possui padrão de potabilidade de 5 µg/L em água para consumo humano e é considerado o mais tóxico dentre os BTEX. O tolueno, etilbenzeno e os xilenos são compostos regulados com concentração máxima permitida em água potável de 170; 200 e 300 µg/L, respectivamente.

### **3.3 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS**

A CETESB produziu o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e, atualmente, é utilizado como diretriz pelos estados brasileiros no gerenciamento de suas áreas contaminadas. Esse gerenciamento possui o intuito de diminuir os riscos que o meio ambiente e a população estão sujeitos devido à existência dessas áreas.

Em função do nível de informações referente à área estudada, estas podem ser classificadas como áreas potencialmente contaminadas, áreas suspeitas de contaminação e áreas contaminadas.

Conforme descrito no manual de gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2001), as áreas potencialmente contaminadas são aquelas onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger.

As áreas suspeitas de contaminação são aquelas que foram observadas falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos durante a realização da etapa de avaliação preliminar. Esses indícios levam a suspeitar de presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas (CETESB, 2001).

Uma área contaminada pode ser definida como uma área onde há comprovadamente contaminação causada por quaisquer substâncias ou resíduos que pode causar danos à saúde humana e ao meio ambiente (CETESB, 2001).

Após a identificação da área a ser analisada (área potencialmente contaminada) inicia-se a etapa de Avaliação Preliminar, que consiste na realização de um diagnóstico inicial do local, através do levantamento de informações sobre o local, informações coletadas nas inspeções realizadas na área e entrevistas com moradores e/ou proprietário da área. Nessa etapa há a possibilidade de verificar a necessidade da adoção de medidas emergenciais nas áreas; documentar a existência de evidências ou fatos que levem a suspeitar ou confirmar a contaminação nas áreas em avaliação e levantar informações que subsidiem o desenvolvimento das próximas etapas do gerenciamento.

Caso a área estudada for classificada com área supostamente contaminada, os dados coletados serão a base para a etapa de investigação confirmatória, como a definição dos pontos de coletas de amostras e a profundidade de investigação.

A investigação confirmatória consiste na corroboração da existência de contaminação e verificação da necessidade de realização de uma investigação detalhada nas áreas suspeitas. Essa confirmação é baseada na comparação das análises de solo e água subterrânea com valores de intervenção em listas orientadoras. Caso seja confirmada a contaminação, a área é classificada como área contaminada e haverá a necessidade de iniciar o processo de recuperação da área.

Confirmada a contaminação, o órgão ambiental competente necessita definir quais medidas serão adotadas para prevenir um avanço da contaminação e determinar qual a natureza da contaminação, assim realiza-se a investigação detalhada, que é a primeira etapa do processo de recuperação de uma área contaminada. Essa investigação avalia a característica do contaminante e do meio contaminado, definindo as dimensões das áreas afetadas, as características das plumas de contaminação, levando-se em conta a geologia e hidrologia da região, a evolução da contaminação no tempo e espaço, as rotas de migração, entre outras (CETESB, 2001).

Para uma melhor análise da contaminação da área, faz-se a avaliação de risco, que tem como base a investigação detalhada. Essa etapa é uma estimativa dos riscos ao ecossistema, a produção agrícola e, principalmente, à saúde humana que a exposição a uma determinada substância decorrente de uma área contaminada possa acarretar; e tem como princípio o conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento dos contaminantes. Através da quantificação e identificação dos riscos em uma área contaminada poderá definir o grau de remediação a ser atingido e a melhor tecnologia aplicável para o caso, pois se pode avaliar uma determinada área isoladamente, ou mesmo parte desta área individualmente.

Assim, após todas essas etapas, deve-se procurar iniciar a remediação da área analisada. Para o início da remediação, o responsável pela área propõe uma ação remediadora e o órgão ambiental competente avalia e aprova ou não o plano. Para elaboração e detalhamento do projeto de remediação necessita-se de uma investigação para remediação. Essa investigação consiste em oferecer auxílio para desenvolver um projeto de remediação que seja tecnicamente adequado, legalmente cabível e economicamente viável, para cada situação de contaminação.

As informações necessárias incluem a complementação e o refinamento das características geológicas e hidrogeológicas, geoquímicas e hidroquímicas da área de interesse (CETESB, 2007). Com as informações disponíveis e a aprovação do projeto, o processo de remediação da área contaminada tem início e necessita-se de monitoramento para verificar, em especial, se não há um novo vazamento ou se o tratamento escolhido foi o adequado. O processo de remediação somente finaliza quando a concentração dos contaminantes atinge os valores orientadores estabelecidos para a região.

A Figura 2 apresenta de forma esquemática as etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.

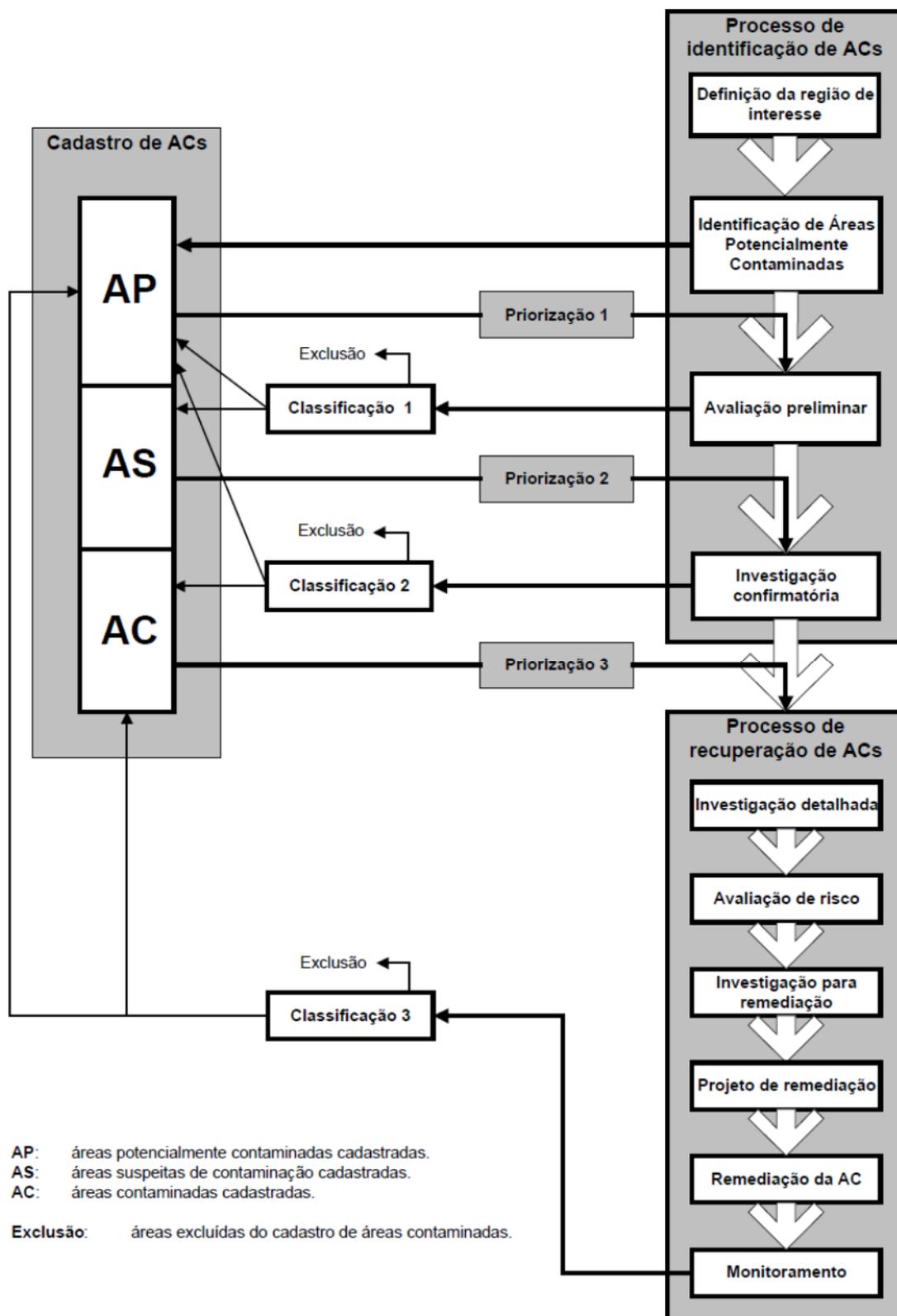


Figura 2: Fluxograma das etapas do gerenciamento de áreas contaminadas  
Fonte: CETESB (2001).

### **3.4 PROCESSO DE REMEDIAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Com o intuito de recuperar uma área impactada com vazamento de combustíveis, diferentes técnicas de remediação são utilizadas como medida de recuperação de sítios contaminados, fazendo com que se enquadrem novamente dentro dos limites aceitáveis.

São vários os fatores a serem considerados antes de se escolher a melhor técnica de remediação. Como a remediação geralmente envolve altos custos e longos períodos de tempo, os fatores tempo e custo possuem grande influência nessa escolha. Entretanto, o tipo e as características físicas e químicas do contaminante, as características geológicas e hidrogeológicas da área e a profundidade do lençol d'água são fatores imprescindíveis.

A companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB) no ano de 2010 registrou um total de 1.772 áreas que encontram-se em remediação, ou nas quais a remediação já foi finalizada. Pode-se constatar que os métodos de remediação por bombeamento e tratamento, recuperação de fase livre e extração multifásica foram as técnicas mais empregadas no tratamento das águas subterrâneas (zona saturada), enquanto que as de remoção de solo/resíduo e a extração de vapores foram as mais utilizadas para tratamento do solo (zona não saturada), como pode ser visto na figura 3.

Os processos de remediação são baseados em tecnologias in situ, ex situ e on site. Na tecnologia in situ o tratamento ocorre no local a ser remediado, sem movimentação do solo, enquanto que na tecnologia ex situ, o material contaminado é removido por escavação de solo ou bombeamento da água e na técnica on site, o tratamento é feito retirando a água ou solo contaminado que será tratado em estações instaladas na área e, posteriormente, será devolvido ou não ao seu lugar de origem (BOOPATHY, 2000).

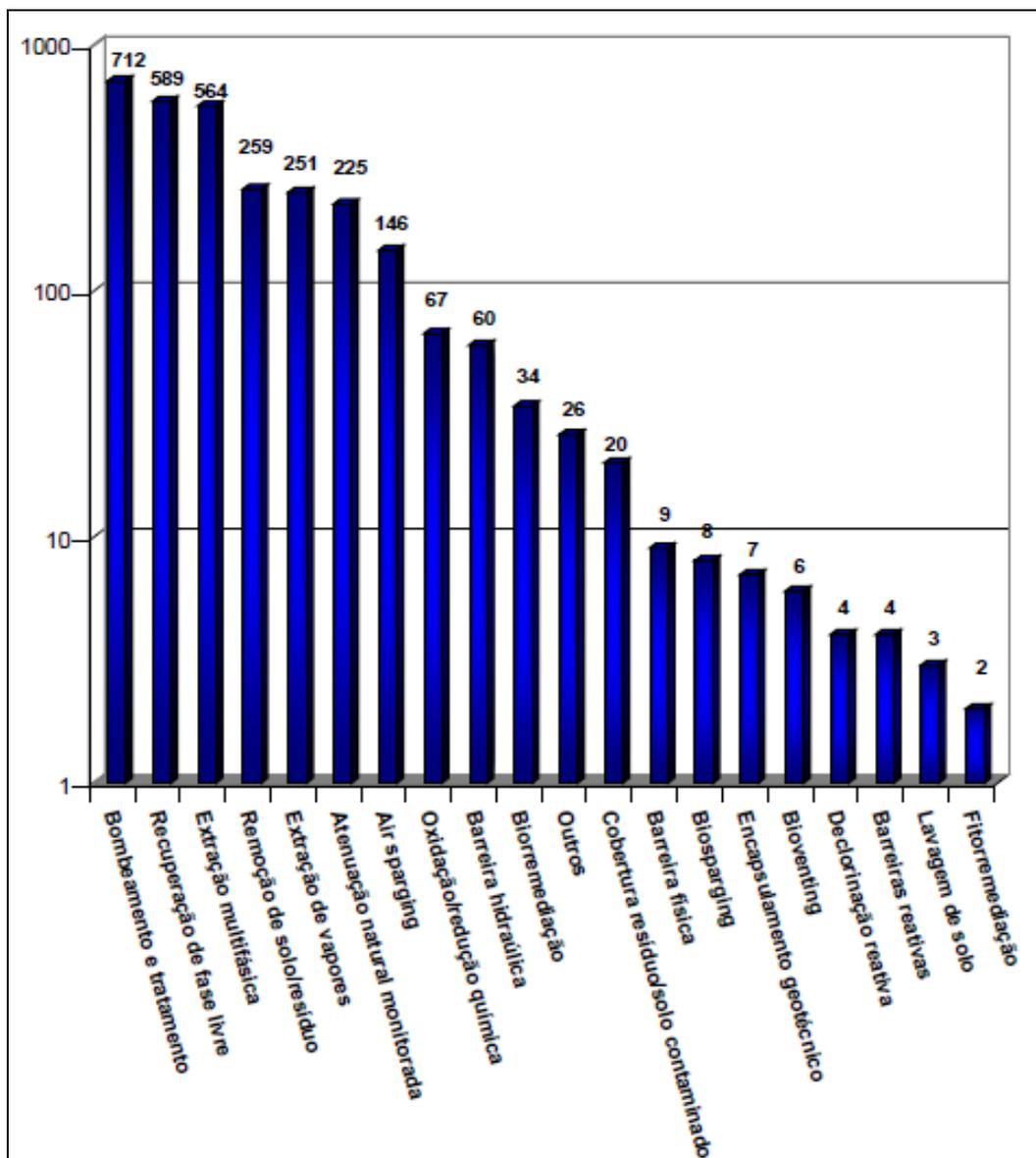


Figura 3: Técnicas de remediação empregadas no estado de São Paulo em 2010  
 Fonte: CETESB (2010).

### 3.4.1 Sistema de Extração Multi-Fásica (MPE)

Dentre as técnicas de tratamento de áreas contaminadas, o Sistema Extração Multifásica tem sido apontado como alternativa eficiente, segura e pouco onerosa para remoção de compostos tóxicos e enquadra-se como uma das mais utilizadas em postos revendedores combustíveis.

O sistema de extração multifásica é uma tecnologia de remediação in situ que combina as técnicas de bioventilação e remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, fase vapor, fase dissolvida na matriz do solo e

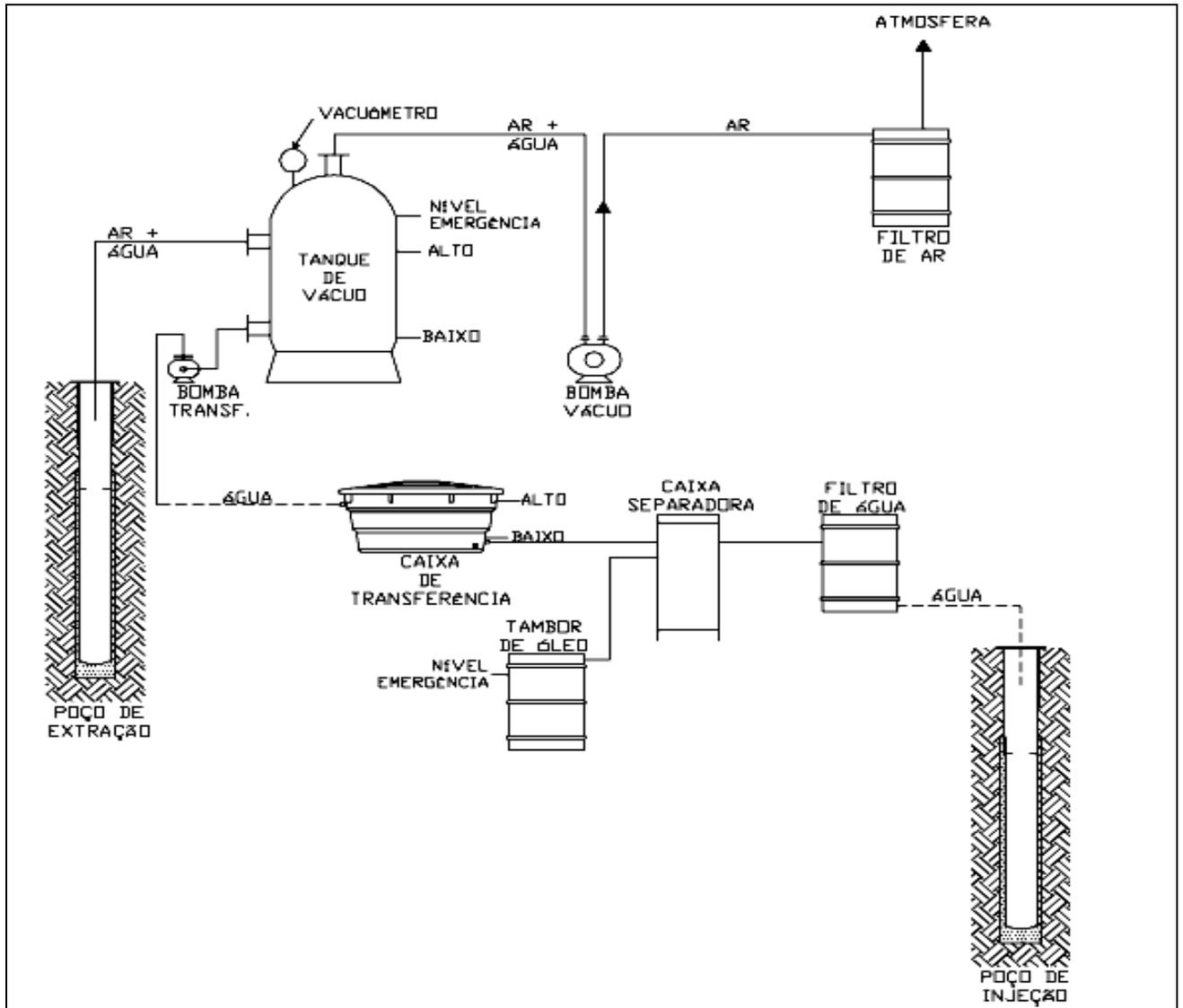
estimulando o processo de biodegradação natural na zona insaturada. As fases, líquida e vapor extraídas são tratadas e coletadas para disposição ou re-injeção no solo, quando permitido pela legislação ambiental (USACE, 1999).

A extração multifásica ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse, visando criar uma zona de influência do sistema em toda a extensão da pluma de contaminação. Pela aplicação do vácuo nos poços de extração cria-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, nos quais são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O gradiente de pressão é diretamente proporcional ao vácuo aplicado, assim, a eficiência na extração das diferentes fases do contaminante será função do sistema a ser implantado (NOBRE et al., 2003).

O sistema é constituído por uma bomba de vácuo, alocada em um abrigo anexo à casa do sistema. A extração ocorre simultaneamente em todos os poços. Entretanto os poços são autônomos (possuem registro individual), possibilitando a operação/extração privilegiada em qualquer área do sistema instalado, de acordo com as informações obtidas a partir das campanhas de análises químicas, o que otimiza o processo de remediação (USACE, 1999).

Os efluentes bombeados a partir dos poços de extração são direcionados inicialmente, por pressão negativa, para um tanque de vácuo onde se dará a separação das fases líquida e gasosa. Os gases contendo compostos orgânicos voláteis (VOC's) serão direcionados, através do compressor, para o tratamento e redução de suas concentrações em um filtro de carvão ativado. O ar, após tratamento será emitido à atmosfera através de uma tubulação de respiro localizada acima do abrigo do sistema em níveis adequados (BALDWIN et al, 2008).

A água contendo hidrocarbonetos em fase livre e dissolvida será direcionada a um sistema de separação e filtragem. Os hidrocarbonetos em fase livre captados após o processo de separação serão armazenados em tambores, visando à destinação adequada; a água com hidrocarbonetos em fase dissolvida será encaminhada ao filtro de carvão ativado, que irá promover a redução das concentrações dos compostos de interesse. Ao final do processo a água tratada será descartada na caixa separadora de água e óleo (SAO) local ou em poços de injeção (EPA, 1999). Vale ressaltar que o recheio do filtro de carvão ativado, depois de saturado, é transportado e destinado por empresa especializada. A figura 4 demonstra o fluxograma do sistema MPE.



**Figura 4: Fluxograma do Sistema MPE**

Fonte: Figura cedida pela Empresa especializada em remediação ambiental

Esse método apresenta boa adaptação a solos com permeabilidade intermediária (areia siltosa, silte arenoso e areia fina). Possui bom desempenho na remoção de produto retido na fase residual. A taxa de remoção de produto pode ser de 5 a 10 vezes mais elevada do que nos métodos tradicionais. Recupera simultaneamente fase livre, vapores, água subterrânea e ainda promove a bioventilação. O custo de manutenção é reduzido porque uma única unidade de bombeamento pode operar mais de 30 poços. Porém podem ocorrer problemas de emulsão dificultando a separação água/óleo devido à ativação do crescimento bacteriano, pode apresentar perda de eficiência em terrenos de baixa

permeabilidade e é limitado a profundidades rasas (menor que 7 metros) (USACE, 1999). A tabela 2 apresenta, de forma resumida, as vantagens e desvantagens do sistema.

**Tabela 2: Vantagens e desvantagens do sistema MPE**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Potencial biodegradação aeróbica de BTEX dissolvidos.	Requer bomba de vácuo ou soprador.
Eficaz em solos de moderada a baixa permeabilidade.	Potencialmente maiores requisitos de tratamento, como resultado de emulsões NAPL e VOC.
Remoção eficaz em locais de baixa permeabilidade, onde a única outra opção viável de reparação seria escavação.	Arranque inicial e os períodos de ajuste podem ser mais longos em comparação com abordagens convencionais de bombeamento.
Eficaz para remediação simultânea de fase dissolvida, vapor, residual e não aquosos.	Custos mais elevados custos de capital em comparação com abordagens convencionais de bombeamento.
Cria potencialmente grande raio de influência e aumentou zona de captura.	Limitações de profundidade se aplicam a algumas configurações MPE.
Aumenta a recuperação de fluido total, minimiza o levantamento e manchas de produto gratuito e maximiza a transmissividade do aquífero na cabeça do poço.	
Redução do número de poços necessários para recuperação.	
Eficaz para a remediação da zona capilar.	
Reduz a duração da reparação dos danos em comparação com abordagens convencionais de bombeamento.	

**Fonte: Adaptado de EPA (1999)**

### 3.5 LEGISLAÇÃO

No âmbito federal a legislação que define os níveis de contaminação do solo por compostos químicos é regida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 420 de 28 de dezembro de 2009 e a que dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços é o CONAMA 273 de 29 de novembro de 2000, alterada pela Resolução CONAMA 319/02, ambas foram redigidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

O CONAMA 273/2000 determina que toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais e que os vazamentos de derivados de petróleo podem causar contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar, trazendo diversos prejuízos ambientais.

Conforme descrito na resolução, os postos dependerão de licenciamento prévio do órgão ambiental competente referente à localização, construção, ampliação, instalação, modificação e operação e em caso de desativação ficam obrigados a apresentar um plano de encerramento de atividades.

Nessa normativa e nas estaduais descritas abaixo as instalações aéreas com capacidade total de armazenagem de até 15 m<sup>3</sup> ficam dispensadas dos licenciamentos, devendo ser construídas de acordo com as normas técnicas brasileiras em vigor, ou na ausência delas, normas internacionalmente aceitas. Os equipamentos e sistemas destinados ao armazenamento e à distribuição de combustíveis automotivos deverão ser testados e ensaiados para a comprovação da inexistência de falhas ou vazamentos, com intervalos de no máximo cinco anos. O órgão ambiental competente deve exigir projeto que especifique equipamentos e sistemas de monitoramento, sistemas de detecção de vazamentos, caracterização geológica do terreno, contemplando a permeabilidade do solo e o potencial de corrosão, detalhamento do tipo de tratamento e controle de efluentes provenientes dos tanques, áreas de bombas e áreas sujeitas a vazamento, além de outros documentos básicos, como declaração da prefeitura de conformidade.

Pode-se destacar que em caso de acidentes ou vazamentos, que representem perigo ao meio ambiente ou a população, são os proprietários, arrendatários ou responsáveis pelo estabelecimento que responderão pela reparação dos danos causados devendo adotar medidas para minimizar os riscos causados. Os mesmos deverão providenciar treinamento de seus funcionários, visando orientar as medidas de prevenção de acidentes e ações imediatas para controle de situações de emergência e risco.

A resolução CONAMA 420/09 dispõe sobre os critérios e valores de qualidade do solo em relação à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Para a avaliação das concentrações de substâncias químicas e controle da qualidade do solo deve-se realizar amostragem e ensaios de campo ou laboratoriais, com análises físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, para que ocorra a classificação da qualidade, determinando quais ações deverão ocorrer, orientados pelos valores descritos no anexo 02 da resolução.

Em relação aos equipamentos para o sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) para postos de serviços utiliza-se como parâmetro o descrito na ABNT NBR 13786/2005. A normativa utiliza critérios de avaliação para a classificação do posto, dividida em quatro classes (Figura 5), conforme análise do ambiente em torno do mesmo numa distância de 100 m a partir do seu perímetro; essa classificação permite a seleção e a distribuição dos equipamentos e sistemas a serem utilizados para o SASC. A norma especifica, ainda, as técnicas para verificação e equipamentos para proteção de vazamentos no SASC.

Classe 0
Quando não possuir nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes
Classe 1
Rede de drenagem de águas pluviais Rede subterrânea de serviços (água, esgoto, telefone, energia elétrica etc.) Fossa em áreas urbanas Edifício multifamiliar, até quatro andares
Classe 2
Asilo Creche Edifício multifamiliar de mais de quatro andares Favela em cota igual ou superior à do posto Edifício de escritórios comerciais de quatro ou mais pavimentos Poço de água, artesiano ou não, para consumo doméstico Casa de espetáculos ou templo Escola Hospital
Classe 3
Favela em cota inferior à do posto Metrô em cota inferior à do solo Garagem residencial ou comercial construída em cota inferior à do solo Túnel construído em cota inferior à do solo Edificação residencial, comercial ou industrial, construída em cota inferior à do solo Atividades industriais e operações de risco <sup>1)</sup> Água do subsolo utilizada para abastecimento público da cidade (independentemente do perímetro de 100 m) Empreendimentos localizados em região que contenha formação geológica cárstica Corpos naturais superficiais de água, bem como seus formadores, destinados a: — abastecimento doméstico; — proteção das comunidades aquáticas; — recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); — irrigação; — criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana (Resolução CONAMA N° 20).
<sup>1)</sup> Entende-se como atividades e operações de risco o armazenamento e manuseio de explosivos, bem como locais de carga e descarga de líquidos inflamáveis (base e terminal).

**Figura 5: Classificação do posto de serviço conforme o ambiente de entorno**  
**Fonte: ABNT (2005)**

A Resolução nº 21 de 04 de julho de 2011 é o principal parâmetro para a o licenciamento ambiental de postos de combustíveis no estado do Paraná, promulgada pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do Paraná. A resolução descreve sobre os procedimentos que os postos de combustíveis e sistemas retalhistas devem seguir para conseguir sua licença para

funcionamento, trazendo as questões de licença prévia, de instalação e de operação, trâmites burocráticos e estudos de identificação de passivos ambientais.

Referente à investigação quanto à contaminação do solo e/ou da água subterrânea em decorrência de vazamento de combustível, o anexo 03 dessa resolução informa os procedimentos que deverão ser realizados e os valores orientadores da qualidade do solo e da água subterrânea, baseados nos valores do CONAMA 420/09. Os parâmetros que deverão ser determinados segundo a resolução são benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos e hidrocarbonetos poliaromáticos nas amostras de solo e água, para as amostras de solo ainda é exigido a determinação de hidrocarbonetos totais de petróleo. Para prevenção de vazamentos os testes de estanqueidade completos dos elementos componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis deverão ser apresentados em intervalos de tempo estabelecido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), principal órgão de competência de controle ambiental do estado.

Em Santa Catarina a Instrução Normativa Nº 01 definida pela Fundação do Meio Ambiente (FATMA) de 21 de fevereiro de 2008, atualizada em julho de 2011, é a norma utilizada para instalação de postos de combustíveis. Nessa normativa existe a exigência da apresentação de vários estudos e relatórios, como estudo de impacto ambiental e de conformidade ambiental, todos relacionados aos impactos que a instalação e o funcionamento do posto de combustível pode acarretar no meio ambiente, inclusive o destino correto do óleo lubrificante usado ou contaminado e laudos do monitoramento das águas subterrâneas.

A normativa menciona que análise dos parâmetros de BTEX, PAH e TPH na amostra de água coletada nos poços de monitoramento devem ser realizadas para verificação de contaminantes. Na ocorrência de vazamento ou acidente deve-se comunicar à FATMA imediatamente e os responsáveis pelo estabelecimento devem adotar medidas emergenciais a fim de minimizar os riscos e impactos às pessoas e ao meio ambiente. Quanto aos valores orientadores da qualidade do solo e água a FATMA não especifica valores, assim são usados parâmetros indicados na lista holandesa e na CETESB.

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) definiu a portaria nº 43 de 08 de setembro de 2009 que dispõe sobre normas e procedimentos para o controle de emissões de efluentes líquidos e atmosféricos de postos de combustíveis e serviços para o licenciamento ambiental no estado do Rio Grande do

Sul. A análise das amostras de efluentes provenientes das áreas de abastecimento de veículos, da troca de óleo e da lavagem de veículos deverá ocorrer semestralmente visando parâmetros quanto ao pH, DQO, Fenóis Total, Óleos e Graxas, Sólidos Sedimentáveis e Vazão. A coleta dessas amostras deverá ser realizada por técnico habilitado e gerado laudo próprio. Os estabelecimentos deverão apresentar anualmente o documento Manutenção do Sistema de Controle de Emissões de Tanques de Armazenagem de Combustível em conjunto com os demais documentos solicitados na Licença de Operação. Assim como no estado de Santa Catarina, a FEPAM não especifica valores orientadores para BTEX, TPH ou PAH, assim também usam valores da CETESB e da lista holandesa.

As penalidades para os responsáveis por degradar o meio ambiente são regidas pela lei federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 ou por leis específicas de cada estado, podendo ocasionar reclusão, suspensão das atividades, multas ou outras penalidades descritas nas normas.

As tabelas 3 e 4 apresentam um comparativo entre os valores orientadores para qualidade do solo e das águas subterrâneas, respectivamente, em relação aos principais compostos mencionados nas legislações descritas acima.

**Tabela 3: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações  
(Solos - mg/kg de peso seco)**

(continua)

Substância	CONAMA 420/09	SEMA 21/11 (IAP)	LISTA HOLANDESA*	CETESB
<b>Benzeno</b>	0,15	0,15	1	0,15
<b>Tolueno</b>	75	75	130	75
<b>Etilbenzeno</b>	95	95	50	95
<b>Xilenos</b>	70	70	25	70
<b>TPH</b>	-	1000	5000	600
<b>HPA (soma)</b>	(a)	(a)	40	(a)

\* valores referentes para solo com teor de argila de 25% e de matéria orgânica de 10%

(a): padrões específicos para cada hidrocarboneto

**Fonte: O autor**

**Tabela 4: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações  
(Águas Subterrâneas - µg/L)**

Substância	CONAMA 420/09	SEMA 21/11 (IAP)	LISTA HOLANDESA*	CETESB
<b>Benzeno</b>	5	5	30	5
<b>Tolueno</b>	700	700	1000	700
<b>Etilbenzeno</b>	300	300	150	300
<b>Xilenos</b>	500	500	70	500
<b>TPH</b>	-	600	600	600
<b>HPA (soma)</b>	(a)	(a)	-	(a)

(a): padrões específicos para cada hidrocarboneto

Fonte: O autor

### 3.6 ANÁLISE DE RISCO

A análise de risco é um estudo que avalia o grau de risco causado por uma determinada contaminação, visando a determinação de padrões específicos para cada sítio em função de suas características físicas, da proximidade de populações e do uso do solo e água subterrânea, ou seja, do risco que a contaminação representa para uma determinada região. É uma tentativa de racionalizar a utilização de recursos para a remediação e resguardar a saúde das populações expostas à contaminação (FINNOT et al, 1997).

A metodologia mais utilizada para a realização do estudo de análise de risco é a metodologia RBCA, estabelecida através das normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*) E-1739/1995 (*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites*) e PS-104/1998 (*Standard Guide for Risk-Based Corrective Action*). Esta metodologia é amplamente utilizada pelas autoridades ambientais dos Estados Unidos da América para o gerenciamento de áreas contaminadas, tendo sido desenvolvidas adaptações desta metodologia para as condições específicas de cada região ou estado daquele país e de outros países como o Canadá, Austrália e União Européia. No Brasil, esse instrumento tem sido aplicado e aceito por diferentes órgãos ambientais. (CÂMARA AMBIENTAL DO

COMÉRCIO E DERIVADOS DE PETRÓLEO DO ESTADO DE SÃO PAULO-GRUPO DE AVALIAÇÃO DE RISCO, 2000).

A análise de risco é realizada por meio do software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, que é um software que consiste em uma biblioteca de dados relacionadas entre si e programadas no software Excel, o qual calcula o risco para efeitos tóxicos e para efeitos carcinogênicos que cada composto, individual ou cumulativamente, pode representar aos seus potenciais receptores, sejam eles do *site* ou de suas vizinhanças (EPA, 2003).

De acordo com CETESB (2001) e Eduardo (2010) a avaliação pode ser feita em três *níveis* de complexidade (*Tier 1, 2 e 3*), opcionalmente progressiva de acordo com o problema em questão, com informações cada vez mais específicas quanto maior for o nível da avaliação.

No *tier 1* é feita uma avaliação geral preliminar, realizada com base em um local hipotético, cujas condições foram previamente definidas de forma conservativa, para definição dos *Níveis aceitáveis baseados no risco – NABR*. Esses valores são estabelecidos utilizando modelos de exposição, destino e transporte para exposição direta e indireta. Caso os valores de concentração de cada contaminante encontrado forem inferiores aos NABR's, então nenhuma ação adicional é requerida. No entanto se isso não ocorrer, deve ser desenvolvido o nível 2 (*Tier 2*) CETESB (2001).

No *tier 2* a avaliação é feita considerando os dados da avaliação anterior (*tier 1*), mas são utilizados dados específicos complementares do local contaminado, tais como parâmetros físicos e químicos do solo e água subterrânea, as vias de exposição aplicáveis, tempos de permanência no local para a população exposta, além de outros dados necessários para subsidiar uma avaliação de risco específica, estabelecendo-se os *Níveis Alvos (site-specific target levels – SSTL's)*, que são valores orientadores estabelecidos especificamente para o local que podem ser maiores ou menores que os *NABR's* estabelecidos no *tier 1* (EDUARDO, 2010).

Caso as concentrações dos contaminantes encontrem-se acima dos valores SSTL's, pode-se recomendar a coleta de dados ainda mais específicos do local e da população exposta, efetuando-se avaliações mais complexas, que incluem o uso de modelos sofisticados de transporte de massa e análise probabilística, aumentando significativamente o custo da avaliação. Este é o chamado nível 3 ("tier" 3) de avaliação. Entretanto em locais onde a extensão da contaminação é reduzida, caso da maioria dos postos de gasolina, julga-se que análises do nível 3 são

desnecessárias e procede-se para elaboração de um plano de remediação CETESB (2001).

Na análise de risco RBCA Tier 2 o risco é calculado através de uma modelagem matemática, onde são simuladas as doses de ingresso (*intake's*) dos compostos químicos de interesse (CQI's) para cada via de exposição, originados do solo e da água subterrânea contaminados, que poderão entrar em contato com os respectivos receptores (residencial, comercial ou trabalhadores de obras), e estas doses de ingresso são associadas aos dados toxicológicos do composto químico, levando também em consideração a via de exposição analisada. Desta forma, os riscos são calculados para cada via de exposição e para cada composto (risco individual). O risco cumulativo é calculado através do somatório dos riscos individuais de cada composto, levando-se em consideração a forma de utilização da área ou possíveis cenários fictícios ou cenários futuros (MARANHÃO et al, 2007). Caso a análise conclua que os riscos calculados são superiores aos máximos aceitáveis, será necessária a implantação de um sistema de remediação que reduza os teores dos contaminantes presentes a níveis que não ofereçam risco, ou a implantação de medidas mitigatórias, que descaracterizem as vias de exposição, como o tamponamento de um poço de captação de água por exemplo (CETESB, 2001).

De acordo com o EPA (2003), o software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, calcula os riscos tóxicos e carcinogênicos individuais e cumulativos levando em consideração os caminhos de exposição *Outdoor air*, *Indoor air*, *Soil*, *Groundwater* e *Surface Water*, onde estão implícitas as vias de exposição, as quais podem ser visualizadas na tabela 5. Este software simula o quanto de contaminantes pode atingir um receptor ocupante do *site*, assim incrementando o risco carcinogênico e tóxico. Desta forma, para desenvolvimento do modelo, faz-se necessário o levantamento dos seguintes dados:

- Identificação dos compostos químicos de interesse (CQI's) e de suas respectivas concentrações nos solos e águas subterrâneas;
- Caracterização do site e das cercanias, para identificação dos potenciais receptores;
- Caracterização das vias de exposição;
- Avaliação da exposição;

- Caracterização dos parâmetros físicos da área saturada e insaturada do solo local; e
- Identificação dos modelos de transporte mais adequados ao cenário criado.

Como resultado desta modelagem obtém-se os riscos potenciais de efeitos adversos a saúde humana e os Níveis-Alvo Específicos da Área (*SSTLs - site-specific target levels*), ou seja, concentrações máximas dos compostos de interesse a serem atingidas pelos métodos de remediação.

**Tabela 5: Vias de exposição consideradas na modelagem**

(continua)

Caminho de exposição	Vias de exposição consideradas	Via de exposição considerada no cálculo do risco
<b>Outdoor air</b> Ar em ambiente aberto	a) Inalação de vapores e particulados do solo superficial; b) Inalação de vapores do solo subsuperficial; c) inalação de vapores provenientes da água subterrânea.	Somatório dos <i>intakes</i> de todas as vias de exposição ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e os dados toxicológicos de cada CQI para inalação
<b>Indoor air</b> Ar em ambiente fechado	a) Inalação de vapores do solo; b) Inalação de vapores provenientes da água subterrânea.	Somatório dos <i>intakes</i> de todas as vias de exposição ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) e os dados toxicológicos de cada CQI para inalação
<b>Soil - Solo</b>	a) Ingestão de solo superficial; b) Contato dermal com solo superficial	Somatório dos <i>intakes</i> de todas as vias de exposição ( $\text{mg}/\text{kg}.\text{dia}$ ) e os dados toxicológicos de cada CQI para ingestão e contato dérmico. Os dados toxicológicos para contato dérmico são extrapolados a partir dos dados para ingestão.
<b>Groundwater</b> Água subterrânea	a) Ingestão de água subterrânea contaminada a partir da lixiviação do solo; b) Ingestão direta de água subterrânea contaminada.	Máximo <i>intake</i> , comparando as duas vias de exposição consideradas ( $\text{mg}/\text{kg}.\text{dia}$ ) e os dados toxicológicos de cada CQI para ingestão

**Tabela 5: Vias de exposição consideradas na modelagem**

**(conclusão)**

Caminho de exposição	Vias de exposição consideradas	Via de exposição considerada no cálculo do risco
<p><b>Surface Water</b> Água superficial</p>	<p>a) Contato dermal com água superficial contaminada a partir da descarga de água subterrânea contaminada a partir da lixiviação do solo + Ingestão de água superficial contaminada a partir da descarga de água subterrânea contaminada a partir da lixiviação do solo;</p> <p>b) Consumo de peixes contaminados a partir da descarga de água subterrânea contaminada a partir da lixiviação do solo;</p> <p>c) Contato dermal com água superficial contaminada a partir da descarga de água subterrânea contaminada + Ingestão de água superficial contaminada a partir da descarga de água subterrânea contaminada;</p> <p>d) Consumo de peixes contaminados a partir da descarga de água subterrânea contaminada.</p>	<p>Máximo <i>intake</i>, comparando as quatro vias de exposição consideradas (mg/kg.dia) e os dados toxicológicos de cada CQI para ingestão e contato dérmico. Os dados toxicológicos para contato dérmico são extrapolados a partir dos dados para ingestão.</p>

**Fonte: Tabela cedida pela Empresa especializada em remediação ambiental**

## **4 metodologia**

Foram escolhidas três áreas alvos com histórico de contaminação e que sofreram processo de recuperação através de remediação por sistema MPE.

As áreas correspondem a três postos revendedores de combustíveis localizados nos estados do Rio Grande de Sul, Santa Catarina e Paraná. Por esta razão, cada posto foi nomeado de acordo com seu estado de localização. Os dados referentes a cada área, estudos e relatórios ambientais dos empreendimentos, assim como os laudos analíticos com resultados das análises dos compostos de interesse foram fornecidos por empresa especializada em remediação ambiental. Também foram realizadas pesquisas bibliográficas, consultas em livros técnicos e pesquisas na internet.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO**

A caracterização do meio físico de cada região foi realizada através da análise dos estudos de investigação ambiental e relatórios de monitoramento da remediação ambiental fornecidos pela empresa especializada. Foram levantados os dados referentes às sondagens realizadas, amostras indeformadas do solo local, medição do nível d'água do lençol freático, levantamento planialtimétrico e teste de permeabilidade.

#### **4.1.1 Sondagens**

As sondagens foram executadas com base na NBR 15.495 (ABNT, 2007), fazendo o uso de trado mecanizado ou manual de 4 polegadas de diâmetro, com o solo sendo analisado tátil e visualmente para avaliação da presença ou não de indícios de hidrocarbonetos e descrito quanto à textura, cor e granulação. A cada 0,5 metros realiza-se a medição da concentração (em ppm) de compostos orgânicos voláteis (VOC) para verificação de contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor ao longo do perfil do solo. A partir das sondagens foi possível determinar os parâmetros geológicos (tipos de solo e rochas) e hidrogeológicos pertinentes (profundidade do nível d'água do lençol freático local, como também a verificação de uma possível contaminação local por hidrocarbonetos em suas fases livre, vapor ou residual.

#### 4.1.2 Amostras indeformadas

Amostras de solo indeformado foram coletadas na área dos empreendimento através da penetração de um cilindro no solo. Quando a amostra preenche este cilindro, excedendo 2 cm de seu comprimento em ambos os lados, esta é cortada. O cilindro é, então, retirado, aparam-se as quinas e envolve-se completamente o cilindro com um pano fino de algodão ou entretela. A amostra é devidamente identificada e transportada. Esse procedimento de coleta segue as exigências das normas NBR 9813 (ABNT, 1987) e NBR 9820 (ABNT, 1997). A amostra indeformada foi utilizada para determinação dos parâmetros físicos e químicos do solo tais quais a densidade real e aparente, porosidade total e efetiva, pH, carbono orgânico total, umidade e granulometria. As determinações em laboratório dos parâmetros acima citados seguiram as normas NBR 6508 (ABNT, 1984), NBR 6457 (ABNT, 1986), NBR 13600 (ABNT, 1996).

#### 4.1.3 Levantamento Planialtimétrico

O levantamento topográfico foi realizado com a finalidade de determinar as cotas altimétricas dos poços de monitoramento, bem como sua localização planimétrica. Com os dados de altimetria e níveis d'água dos poços, foi possível se determinar as cargas hidráulicas nos poços de acordo com a fórmula 1 e dessa forma delinear a superfície potenciométrica local e determinar o sentido de migração das águas subterrâneas. As cotas foram obtidas considerando a relação topográfica entre os poços e são posteriormente transformadas em cotas corrigidas (GOMES et al., 2006).

$$QH = Cc - NA \quad (1)$$

Onde:

QH: carga hidráulica (m)

Cc: Cota corrigida (m)

NA: Nível d'água (m)

#### 4.1.4 Teste de Permeabilidade - Slug Test

O teste de permeabilidade é baseado em recuperação a nível variável do lençol freático, com diferencial de pressão positivo aplicado ao aquífero e recuperação das condições de nível estático do lençol freático superior a 63% da carga inicial. Neste tipo de ensaio, o nível d'água natural é alterado para uma posição que pode ser denominada de nível inicial do ensaio. A tendência do nível d'água voltar à posição original é acompanhada ao longo do tempo do ensaio (ABGE, 1996).

Tal ensaio consiste no rebaixamento manual da água de um determinado poço e posterior acompanhamento da recuperação das condições iniciais do nível d'água do lençol freático. O Ensaio de permeabilidade teve como finalidade a determinação da condutividade hidráulica do terreno investigado

De acordo com Hvorslev (1951) por este método a condutividade é dada pela equação 2.

$$k = \frac{r^2 \ln(L_e/R)}{2LeT_0} \quad (2)$$

Onde:

K – condutividade hidráulica horizontal (cm/s)

r – raio do poço (cm)

$L_e$  – coluna d'água na seção filtrante (cm)

R – raio da sondagem (cm)

$T_0$  – tempo onde  $h/h_0$  (tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial) (s)

Uma vez determinado o coeficiente de condutividade do terreno, pode-se calcular a velocidade das águas subterrâneas. E considerando-se a porosidade efetiva do material em questão, calcula-se a velocidade real ou linear, pela equação 3.

$$v = \frac{K i}{n_e} \quad (3)$$

Onde:

v – velocidade média linear das águas subterrâneas (cm/s)

K – condutividade hidráulica horizontal (cm/s)

i – gradiente hidráulico (adimensional)

$n_e$  – porosidade efetiva do material (%)

O gradiente hidráulico é um valor adimensional que indica a inclinação da superfície piezométrica. Seu cálculo é definido pelo quociente entre a variação da carga hidráulica e o comprimento percorrido, na direção do fluxo das águas subterrâneas, a sua determinação ocorre pela equação 4.

$$i = \frac{h_1 - h_2}{d} \quad (4)$$

Onde:

i – gradiente hidráulico (adimensional)

$h_1$  – cota do poço a montante

$h_2$  – cota do poço a jusante

d – distância entre os poços

#### 4.1.5 Medições do nível d'água

O nível d'água local foi obtido utilizando-se um medidor eletrônico composto por um cabo elétrico revestido por uma fita (trena) com marcação milimétrica conectado a um sensor de interface em sua extremidade inferior. O sensor de interface, quando atinge o nível d'água, emite um sinal sonoro intermitente que permite a identificação do nível d'água conforme norma NBR 15495-1 (ABNT 2007), empregada na construção de poços de monitoramento. No caso de ocorrência de

fase-livre sobrenadante o equipamento acusa sua existência através da emissão de um sinal sonoro contínuo, o que possibilita determinar a espessura da fase livre.

No caso da verificação visual de fase livre nos poços de monitoramento e equipamentos locais, usualmente é utilizado amostrador (bailer) transparente, desenvolvido para a coleta de águas subterrâneas. Este amostrador permite a identificação visual da eventual presença de substâncias menos densas que a água, característica específica dos hidrocarbonetos (LNAPL) parcialmente miscíveis com a água subterrânea. Vale ressaltar que após a sua utilização o bailer foi devidamente descartado para evitar a contaminação cruzada do meio.

Através dos dados de monitoramento do nível do lençol freático de cada região, obtidos durante a operação do sistema de remediação, foi possível verificar a variação do nível do lençol freático em cada região com o tempo como também analisar a evolução da remoção dos hidrocarbonetos em fase livre.

## **4.2 CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO**

A partir de todos os estudos ambientais realizados e informações obtidas com os proprietários dos empreendimentos e especialistas da área de remediação ambiental, foi levantado o histórico de contaminação nas três áreas de estudo.

Para determinação das características da contaminação foram levantados os dados dos relatórios de operação do sistema de remediação em cada Posto. Os dados são referentes às campanhas de análise de VOC (compostos orgânicos voláteis), resultados das amostragens de solo e água subterrânea, levantamento do histórico ambiental do empreendimento e das fases da contaminação e sua quantificação. A partir dos dados da contaminação foi possível confeccionar as plumas de contaminação em fase livre e dissolvida.

### **4.2.1 Avaliação da Presença de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis)**

A avaliação de compostos orgânicos voláteis permite identificar a existência de vapores orgânicos no solo superficial da área investigada, de forma a orientar o mapeamento da contaminação e posteriormente na locação de sondagens e

instalação de poços de monitoramento. As perfurações são locadas em malha com espaçamento regular, de acordo com a área total do estabelecimento, com adensamento nas áreas críticas (intermediações das bacias de contenção de tanques, áreas de carga e descarga de combustível, bombas, filtros, caixa SAO, equipamentos vários e do percurso inferido das linhas subterrâneas) e áreas com histórico de contaminação.

As leituras de VOC foram realizadas de acordo com o documento da CETESB “DECISÃO DE DIRETORIA N° 010/2006/C”, através de perfurações executadas com perfuratriz de 1” de diâmetro onde é introduzida uma sonda de 3/4” de diâmetro, com orifícios de 3 mm de diâmetro em sua parte inferior e borracha de vedação em sua parte superior, conectada por mangueira de teflon ao analisador de gases, nas profundidade de 0,5 m seguida das medições de VOC in situ.

## **4.2.2 Amostragem de Solo e Água Subterrânea**

### **4.2.2.1 Amostragem de Solo**

A amostragem de solo ocorreu durante a realização das sondagens. Durante a execução de cada sondagem foram coletadas amostras de solo a cada 1,0m de profundidade. Cada amostra é identificada e dividida em duas alíquotas. Em uma das alíquotas é realizada a medição de VOC enquanto que a outra alíquota é mantida sob refrigeração (temperatura inferior a 4º C). As duas alíquotas são identificadas com o número da sondagem e a profundidade correspondente. Procedeu-se a leitura de VOC, com a desagregação manual dos torrões existentes (sem abrir a embalagem), seguida de agitação da amostra por pelo menos 15 segundos, mantendo-a em repouso por cerca de 10 minutos até a medição. No momento da medição agitou-se novamente a amostra por 15 segundos e realizou-se imediatamente a medição dos gases presentes nos espaços vazios do recipiente, introduzindo a sonda do analisador de vapores (DECISÃO DE DIRETORIA N° 010/2006/C).

Em cada sondagem, a amostra que apresentou o maior valor na medição de VOC, foi enviada para análise de BTEX e PAH em laboratório. Caso os valores de VOC sejam nulos, a amostra que foi enviada para análise foi a amostra coletada na franja capilar, visando à análise química do material mais próximo ao lençol freático.

As amostras de solo coletadas foram acondicionadas e preservadas de acordo com os procedimentos da norma NBR 15492 (ABNT, 2007), sendo enviadas posteriormente para análise laboratorial, contemplando os parâmetros BTEX e PAH. O método de determinação do parâmetro BTEX utilizado pelo laboratório foi o EPA 8260(C) / EPA 5021(A) e do parâmetro PAH foi o EPA 8270 (D) / EPA 3550 (C). Quando foram identificadas borras oleosas durante as sondagens, a coleta de amostra de solo será 0,5 m abaixo da mesma.

A coleta de amostras de solo tem o objetivo de constatar uma possível contaminação do solo por hidrocarbonetos do grupo BTEX e PAH em fase residual.

#### **4.2.2.2 Amostragem de Água Subterrânea**

A coleta de água subterrânea foi realizada nos poços de monitoramento presentes na área investigada. Foram utilizados amostradores descartáveis (bailer), que consiste de um tubo de PVC transparente equipado com uma válvula de retenção de teflon tipo portinhola na extremidade inferior. Para coleta de cada poço de monitoramento foi utilizado um bailer por poço amostrado. Poços que contenham contaminação em fase livre não são coletados, uma vez que a fase livre já é uma confirmação de contaminação.

Previamente à amostragem, os poços de monitoramento foram esgotados, evitando-se a coleta de água estagnada, o esgotamento foi realizado pela retirada de água do poço com a utilização de bailer. O processo de purga foi executado de forma que se assegure que toda a água estagnada no interior de cada poço seja substituída por água do aquífero, como recomenda a norma NBR 13895 (ABNT, 1997).

Cerca de três horas após serem purgados, os poços foram amostrados através de bailers, sendo a passagem da água para os frascos, adequados aos parâmetros analisados e armazenadas em cooler com gelo e mantidas em refrigeração a uma temperatura inferior a 4°C até serem enviadas ao laboratório para análise. O método de determinação do parâmetro BTEX utilizado pelo laboratório foi o EPA 8260(C) / EPA 5021(A) e do parâmetro PAH foi o EPA 8270 (D) / EPA 3510 (C).

A finalidade da coleta de amostras de água foi verificar a contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos em fase dissolvida.

### **4.2.3 Confeção das Plumas de contaminação**

A partir dos resultados das análises químicas dos parâmetros BTEX e PAH na água e solo, medições de VOC, como também das detecções de fase livre, foram confeccionadas plumas de contaminação. As plumas foram confeccionadas com a utilização do Software de desenho técnico Autocad versão 2007. Foram desenhadas plumas com os resultados anteriores ao início de operação do sistema de remediação, após o término da remediação e no último monitoramento pós remediação. Foram determinadas plumas apenas para o composto Benzeno, pois este composto é o único que, com frequência, apresenta concentrações superiores aos limites estabelecidos (SSTL's) pelas análises de risco realizadas nos empreendimentos. Nas plumas também foram desenhadas as linhas potenciais indicando o sentido do fluxo da água subterrânea, para avaliação do deslocamento da pluma com o tempo, caso tenha ocorrido.

As escalas das plumas tiveram como base os limites estabelecidos pelo CONAMA 420/2009, Lista Holandesa, Nível Alvo (SSTL) e a concentração máxima detectada. O limite das plumas foi determinado seguindo a orientação do documento da CETESB "DECISÃO DA DIRETORIA Nº 263/2009/P" que dispõe sobre o roteiro de execução de investigação detalhada em postos de combustíveis. De acordo com este documento, o limite da pluma de fase livre deve encontrar-se na metade da distância entre o poço com fase livre e o poço sem fase livre. Já o limite da pluma de fase dissolvida deve distanciar um quarto do poço sem contaminação. Escolheu-se desenhar as plumas de acordo com este documento, pois trata-se da legislação mais atual e que dispõe sobre regras de desenho de plumas de contaminação.

### **4.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA MPE**

A comparação da eficiência da remediação da contaminação em postos revendedores de combustíveis por sistema MPE foi realizada pela verificação do decaimento das concentrações dos compostos pertencentes ao grupo BTEX e PAH, com ênfase ao composto Benzeno, uma vez que os limites legais da concentração deste composto na água subterrânea são os mais restritivos. Também foram comparados a redução da área de contaminação ao longo do processo de

remediação e o decaimento da espessura da contaminação em fase livre, caso presente.

A influência do tipo de solo e sua permeabilidade, a velocidade e direção do deslocamento das plumas e o nível de contaminação foram comparados e levados em consideração na análise da eficiência da remediação.

## **5 REGIÕES DE ESTUDOS**

### **5.1 POSTO PARANÁ**

O posto em questão encontra-se localizado no Município de Paranaguá, ocupando uma área de, aproximadamente, 914,0 m<sup>2</sup>. O empreendimento realiza revenda de derivados de petróleo desde o ano de 1955, sua operação consiste do recebimento, armazenamento e distribuição de gasolina comum e aditivada, álcool e diesel para o abastecimento de veículos. Também possui serviço de lavagem que é realizado em box próprio, sendo sua área contemplada por canaletas e seus efluentes destinados para a caixa separadora de água e óleo (SAO). A área da troca de óleo também é realizada em box próprio e o óleo queimado é armazenado em um tambor de 200L que posteriormente é coletado por empresa competente.

A água utilizada para o consumo humano e demais usos no empreendimento é fornecida pela concessionária local. Ressalta-se que foi identificado um poço de captação de água subterrânea nas dependências do empreendimento que é utilizado para a lavagem dos veículos.

O empreendimento possui dois tanques subterrâneos em operação e de parede dupla. Estes possuem boca de visita com sump's e câmara de contenção de descarga.

A região onde localiza-se o estabelecimento possui morfologia plana, sendo classificada como zona urbana, com ocupação predominantemente comercial. De acordo com a Tabela de Classificação de Postos de Serviços da NBR 13786 (ABNT, 2005) em um raio de 100 m, o empreendimento é classificado como Classe 2, em função da existência de edifício multifamiliar com mais de quatro andares e um hospital. Não foi observada a existência de corpos d'água superficiais nas cercanias imediatas ao empreendimento.

### 5.1.1 Histórico Ambiental

Em julho de 2005 foi realizado o serviço de “Caracterização Ambiental Fase II – Avaliação de Risco *RBCA TIER I e TIER II*”. Nessa Investigação foram realizadas 11 sondagens e instalados nove poços de monitoramento (PM-01 a PM-09). Não foi identificada a presença de hidrocarbonetos em fase livre nesses poços. O resultado da análise de risco indicou risco a saúde humana pela Ingestão e Contato Dérmico com a água subterrânea, por receptores internos ao site e Inalação de vapores em ambientes fechados a partir da água subterrânea, também por receptores internos ao site.

Nesse mesmo ano, o posto passou por reforma para troca de todos os tanques e linhas, em atendimento às normas ambientais. Segundo informações do responsável pelo empreendimento, nestas obras, foi destruído um poço de monitoramento (PM-05) localizado na área do posto. E durante uma reforma no passeio público, PM-08 e PM-09 foram destruídos.

No mês de fevereiro de 2008 foi realizado o serviço de “Caracterização Ambiental Detalhada, contemplando uma nova Avaliação de Risco Toxicológico a Saúde Humana - *RBCA TIER II*”, em virtude do novo cenário encontrado no empreendimento, depois de ocorrido uma grande reforma na área. Foram coletadas amostras de água subterrânea nos seis poços de monitoramento existentes e no poço artesiano para análises químicas dos parâmetros BTEX e PAH. Durante esse serviço não foi verificado a presença de hidrocarbonetos em fase livre nos poços existentes.

Em setembro de 2008, foi realizada uma investigação ambiental complementar para verificar o status real da contaminação na área do empreendimento e dar embasamento para o tratamento do solo e água subterrânea. Durante este serviço foram executadas sondagens com trado manual, acompanhadas de medições de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e coletas de amostras de solo e água subterrânea para análises químicas, permitindo a verificação e caracterização da presença de hidrocarbonetos no solo local. Foram executadas sete sondagens (S-01 a S-07) e instalados sete poços de monitoramento (PM-01 a PM-07). Não foi observada a presença de hidrocarbonetos

em fase livre nos poços de monitoramento, entretanto 2 poços já existentes no empreendimento antes da execução dos serviços ambientais (PME-03 e PME-02) apresentaram contaminação para o composto Benzeno (concentrações acima do SSTL).

Neste mesmo estudo constatou-se a presença de 4 tanques subterrâneos desativados, os quais ainda continham combustível em seu interior e não estavam inertizados. Os bocais dos tanques apresentavam somente uma câmara de calçada, remetendo a um poço de monitoramento pré-existente no local. As bocas dos tanques encontravam-se com as tampas soltas. Com a variação do nível d'água no local, o combustível presente nos tanques desativados emergia à superfície, causando derramamento de combustível na pista de abastecimento.

Em abril de 2009, foi instalado um Sistema de Remediação do solo e do lençol freático. Neste serviço não foram instalados novos poços de monitoramento, apenas foram adequados os poços existentes para a instalação do sistema. Durante este serviço. Durante o período de instalação do sistema foi observada a presença de hidrocarbonetos em fase livre no poço PE-04/PME-03, que variou de 3,0 cm até 0,3 cm logo que o sistema entrou em operação.

O sistema implantado no posto foi do tipo Extração Multi-Fases (MPE – *Mult Phase Extraction*), constituído por uma bomba de vácuo, alocada dentro da casa do sistema, com a finalidade de efetuar o rebaixamento do lençol freático e a remoção de contaminantes em fase dissolvida existentes no lençol freático e de hidrocarbonetos em fase adsorvida no solo local, através do bombeamento nos poços PE-01 ao PE-05.

O sistema de extração multifásica (MPE) operou até janeiro de 2010. No entanto para encerrar o caso foi necessário realizar uma nova análise de risco RBCA Tier II, uma vez que o poço de captação de água foi fechado, eliminando a via de exposição “ingestão de águas subterrâneas”. A desconsideração desta via ocasionou uma elevação nos Níveis Alvos (SSTL's), desta forma as concentrações dos compostos BTEX e PAH encontradas nos poços do empreendimento, nas amostragens realizadas nos meses de agosto e novembro de 2009, ficaram abaixo dos novos SSTL's calculados, assim encerrou-se a operação do sistema de remediação.

Com o encerramento da operação do sistema iniciaram-se as campanhas de monitoramento pós remediação, realizadas a cada 6 meses durante 2 anos, totalizando 4 campanhas. Em todas as campanhas realizadas notou-se que as concentrações permaneceram abaixo dos Níveis Alvos SSTL's, demonstrando que a água subterrânea não oferece risco a saúde humana. Diante destes resultados a área pode ser considerada como recuperada.

## **5.2 POSTO SANTA CATARINA**

O Posto Santa Catarina localiza-se no município de São Francisco do Sul/SC, ocupando uma área de 473,4 m<sup>2</sup>. O estabelecimento trabalha com revenda de derivados de petróleo desde aproximadamente 1961. Durante toda a operação do empreendimento não foi instalada nenhuma canaleta perimetral e caixa separadora de água e óleo, seu pavimento é constituído de concreto e paralelepípedo, apresentando rachaduras e exposição do solo. Em 1988 o posto passou por reformas para troca de tanque (TQ-01) e linhas em atendimento as normas ambientais. O empreendimento foi desativado em setembro de 2005. Foram retirados todos os tanques de abastecimento e desativadas todas as áreas de troca de óleo e lavagem de veículos.

A região aonde se localiza o empreendimento possui morfologia de vale, sendo classificada como zona urbana, com ocupação predominantemente residencial e comercial. O abastecimento de água da região é realizado pela rede pública da região. De acordo com a Tabela de Classificação de Postos de Serviços da NBR 13.786 (ABNT, 2001) em um raio de 100 m, o empreendimento é classificado como Classe 2, em função da existência de uma escola.

### **5.2.1 Histórico Ambiental**

Entre os meses de setembro e outubro de 2005 foram realizados os serviços de "Caracterização Detalhada com Análise de risco – RBCA Tier II". O trabalho constou na execução de perfurações, 20 pontos, para medições de concentrações de VOC no solo superficial e execução de sete sondagens, sendo instalados seis de poços de monitoramento provisório. Foram coletadas cinco amostras de solo e sete

de água subterrânea para análises dos parâmetros BTEX e PAH. Durante esses serviços verificou-se a ausência de hidrocarbonetos em fase livre nos poços instalados.

No mês de fevereiro de 2007, foi realizado o serviço de “Monitoramento de Qualidade das Águas Subterrâneas Pré-Remediação”. O trabalho consistiu no monitoramento e coleta nos poços existentes no local. Durante o serviço de monitoramento não foi verificada a presença de fase livre nos poços do empreendimento, entretanto notou-se contaminação de benzeno na água subterrânea proveniente do poço PME-01.

Com o intuito de reduzir a concentração do composto benzeno na água subterrânea local, em março de 2007 realizou-se a instalação do sistema de remediação. O serviço contemplou a execução de 8 sondagens com posterior instalação de poços de monitoramento, extração e injeção. Foi instalado um sistema de extração multifásica (MPE), constituído por uma bomba de anel líquido alocada dentro da casa de máquinas do sistema, efetuando o rebaixamento do lençol freático e a remoção dos contaminantes em fase livre e dissolvida através do bombeamento automático dos poços PE-01 ao PE-06. Simultaneamente foi realizada a filtragem do ar em um filtro de carvão ativado objetivando a redução de suas concentrações e emissão para a atmosfera através de respiros. A filtragem da água para redução de suas concentrações foi realizada em um filtro compartimentado de carvão ativado, capaz de realizar também a função de caixa Separadora de Água e Óleo. O efluente gerado é reintroduzido no solo dos poços de injeção PI-01 e PI-02.

O sistema de extração multifásica (MPE) operou até outubro de 2007, depois de atingido as metas de remediação para o site (Níveis Alvo SSTL's definidos na análise de risco de outubro de 2005). Posteriormente foram realizadas quatro campanhas analíticas contemplando amostragem de água subterrânea, para análise dos parâmetros BTEX e PAH, nos poços do empreendimento, visando o monitoramento das concentrações dos compostos de interesse. Em todas as campanhas realizadas notou-se que as concentrações permaneceram abaixo dos Níveis Alvos SSTL's, demonstrando que a água subterrânea não oferece risco a saúde humana. Diante destes resultados a área pode ser considerada como recuperada.

### **5.3 POSTO RIO GRANDE DO SUL**

O Posto Rio Grande do Sul localiza-se no município de Rio Pardo/RS, ocupando uma área de, aproximadamente, 2.600,0 m<sup>2</sup>. O estabelecimento trabalha com revenda de derivados de petróleo há aproximadamente 55 anos, sua operação consiste do recebimento, armazenamento e distribuição de gasolina, álcool e diesel para o abastecimento de veículos. O empreendimento também conta com áreas de abastecimento, tancagem, troca de óleo e lavagem, sendo todas essas áreas pavimentadas em concreto, as demais áreas são pavimentadas em bloquetes de concreto. As áreas de abastecimento, troca de óleo e box de lavagem apresentam canaletas de drenagem, cujos efluentes são direcionados para a caixa Separadora e Água e Óleo (SAO), sendo esta limpada mensalmente. O Posto revendedor conta com 3 tanques subterrâneos para armazenamento de combustíveis, todos com idade aproximada de 16 anos, capacidade de armazenamento de 30.000 litros.

A água utilizada para o consumo humano e uso geral no empreendimento é fornecida pela rede pública, CORSAN; já a água utilizada na lavagem de carros é fornecida por um poço de captação de águas subterrâneas localizado na área do empreendimento.

A região possui morfologia inclinada, sendo classificada como zona urbana, com ocupação residencial e comercial. De acordo com a Tabela de Classificação de Postos de Serviços da ABNT 13.786/01 em um raio de 100 m, o empreendimento é classificado como Classe 1, em função da existência de rede de drenagem de águas pluviais e rede subterrânea de serviços.

#### **5.3.1 Histórico Ambiental**

No mês de maio de 2004 foram realizados serviços de investigação ambiental, constando na execução de sondagens, perfuração de pontos para medição de VOC, instalação de cinco poços de monitoramento e análise química de solo e das águas subterrâneas. Este serviço resultou em um relatório de “Investigação Ambiental e Análise de Risco Tier 1”. Os resultados desta investigação indicaram risco à saúde humana quanto à toxicidade e carcinogenicidade para receptores comerciais no caso de ingestão de água subterrânea. Durante esses

serviços verificou-se a ausência de hidrocarbonetos em fase livre nos poços instalados.

Em maio de 2005, realizou-se serviço de Instalação do Sistema de Remediação do solo e do lençol freático e Análise de Risco RBCA Tier 2. Neste serviço foi contemplada a execução de quatorze sondagens. Foram instalados dez poços de extração, dois poços de monitoramento e dois poços de injeção. Após a instalação e desenvolvimento destes poços, foi observada a presença de 38,0 cm de espessura de hidrocarbonetos em fase livre no poço PE-09 e 5,0 cm no poço PE-10. O sistema implantado no empreendimento foi do tipo Extração Multi-Fases, constituído por uma bomba de anel líquido, alocada dentro da casa do sistema, com a finalidade de efetuar o rebaixamento do lençol freático e a remoção de contaminantes em fase livre e dissolvida existentes no lençol freático e de hidrocarbonetos em fase adsorvida no solo local, através do bombeamento nos poços PE-01 ao PE-10. A análise de risco realizada indicou a existência de risco carcinogênico para a via de exposição às águas subterrâneas, relacionada às vias de ingresso de ingestão e contato dermal, sendo este último o mais restritivo.

Em abril de 2006, foi diagnosticada uma diferença de nível no tanque de armazenamento de diesel no empreendimento, fato que foi confirmado após a presença de Fase livre nos poços próximos a esta área de tancagem.

Em outubro de 2006, o flexível da bomba de diesel do empreendimento foi trocado devido a vazamentos existentes no local, o poço PE-10, localizado próximo à bomba apresentou cerca de 5,5 cm de fase livre com aparência de produto novo.

O sistema MPE automático implantado no empreendimento operou até o mês de maio de 2008, seu encerramento ocorreu para realização do estudo de Investigação Ambiental Complementar na área do empreendimento. A investigação complementar teve o objetivo de identificar os pontos mais impactados por hidrocarbonetos em fase livre e dissolvida nas águas subterrâneas e adsorvida no solo, a projeção de função para cada um destes poços (poços de extração, monitoramento e injeção) e sua interligação, objetivando uma posterior instalação de mais um sistema de remediação, porém móvel, para a área, visando o aumento da eficiência da descontaminação da área.

O trabalho consistiu na execução de quatro sondagens (S-01 a S-04), sendo instalados quatro poços de monitoramento (PM-03 a PM-06). Foram realizadas coletas de amostras de solo nas sondagens S-01 a S-04 e de água subterrânea, amostradas em todos os poços do empreendimento, incluindo os novos poços instalados, para análises laboratoriais dos parâmetros BTEX e PAH. Nas análises de água subterrânea, as amostras coletadas nos poços PE-06 e PE-07 apresentaram concentrações para o composto Benzeno inseridas acima dos valores de SSTL estabelecidos para o local e, também, inseridos no Nível de Intervenção da lista orientadora utilizada (Lista Holandesa). Além disso, foram verificados hidrocarbonetos em fase livre nos poços PE-10.

Em setembro de 2008, foi instalado um sistema de remediação do tipo Extração Multi-Fases (MPE) móvel, sendo constituído por um compressor radial que gera um rebaixamento do lençol freático e a remoção de contaminantes em fase livre e dissolvida na água subterrânea e adsorvida existentes no solo local, através dos poços PE-06, PE-07, PE-10 e PM-06. A diferença entre o MPE fixo e automático e o MPE móvel é que o MPE móvel é operado manualmente e pode ser descolado de um poço a outro, focando assim a extração nos poços mais contaminados. A água após tratamento é destinada à caixa separadora de água e óleo do empreendimento e o ar, após tratamento, é emitido na atmosfera. Durante a instalação do sistema de saneamento do solo e lençol freático foi observada a presença de hidrocarbonetos em fase livre nos poços PE-10 (40,0 cm) e PM-06 (0,1 cm).

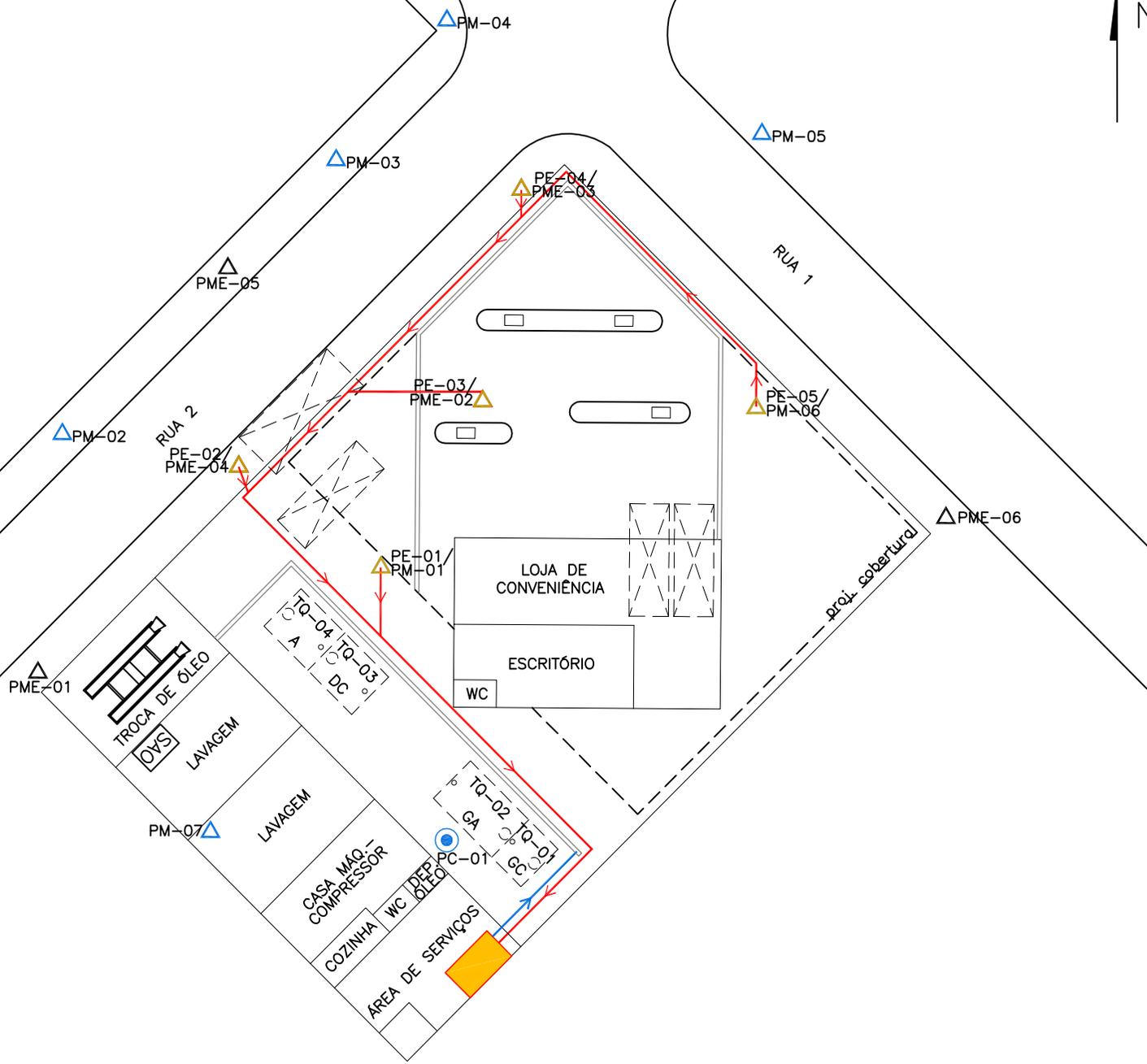
O sistema de extração multifásica (MPE) móvel operou até maio de 2009, mês no qual uma nova análise de risco foi realizada na área do empreendimento, uma vez que o cenário ambiental foi modificado com a destruição do poço cacimba existente. O resultado da análise de risco não indicou a existência de risco carcinogênico e tóxico à saúde humana para as vias de exposição analisadas e as concentrações dos compostos BTEX e PAH ficaram todas abaixo dos novos SSTL's estabelecidos, desta forma encerrou-se o processo de remediação no site.

Com o encerramento da remediação deram-se início aos monitoramentos pós remediação, contemplando quatro campanhas analíticas realizadas semestralmente. Nas duas primeiras campanhas realizou-se que as concentrações

permaneceram abaixo dos Níveis Alvos SSTL's. Entretanto na terceira campanha verificou-se fase livre em três poços e na quarta campanha, realizada em maio de 2011, encontrou-se fase livre em apenas um. Diante deste cenário, atualmente está em trâmite a instalação de um novo sistema de remediação.

As figuras 6, 7 e 8 demonstram a planta baixa do empreendimento e do sistema de remediação dos postos Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul respectivamente.

PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO COM SISTEMA DE REMEDIAÇÃO MPE



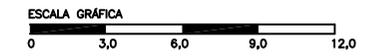
LEGENDA:

- TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
- BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- POÇO PROFUNDO
- ELEVADOR HIDRÁULICO
- CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- POÇO DE MONITORAMENTO
- POÇO DE EXTRAÇÃO/ POÇO DE MONITORAMENTO
- HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA E ADSORVIDA
- ÁGUA PÓS-TRATAMENTO A SER REINJETADA
- SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

ESCALA: GRÁFICA

FIGURA 6

FONTE:  
ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL





POSTO SANTA CATARINA

PLANTA BAIXA DO  
EMPREENDIMENTO COM SISTEMA  
DE REMEDIAÇÃO MPE

LEGENDA:

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA
- PM-XX  POÇO DE MONITORAMENTO
- PE-XX  POÇO DE EXTRAÇÃO
- PI-XX  POÇO DE INJEÇÃO
- PM-XX  POÇO DESTRUÍDO EM DEZEMBRO DE 2007
-  HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA E ADSORVIDA
-  ÁGUA PÓS-TRATAMENTO DIRECIONADA À REINJEÇÃO
-  ABRIGO DO SISTEMA

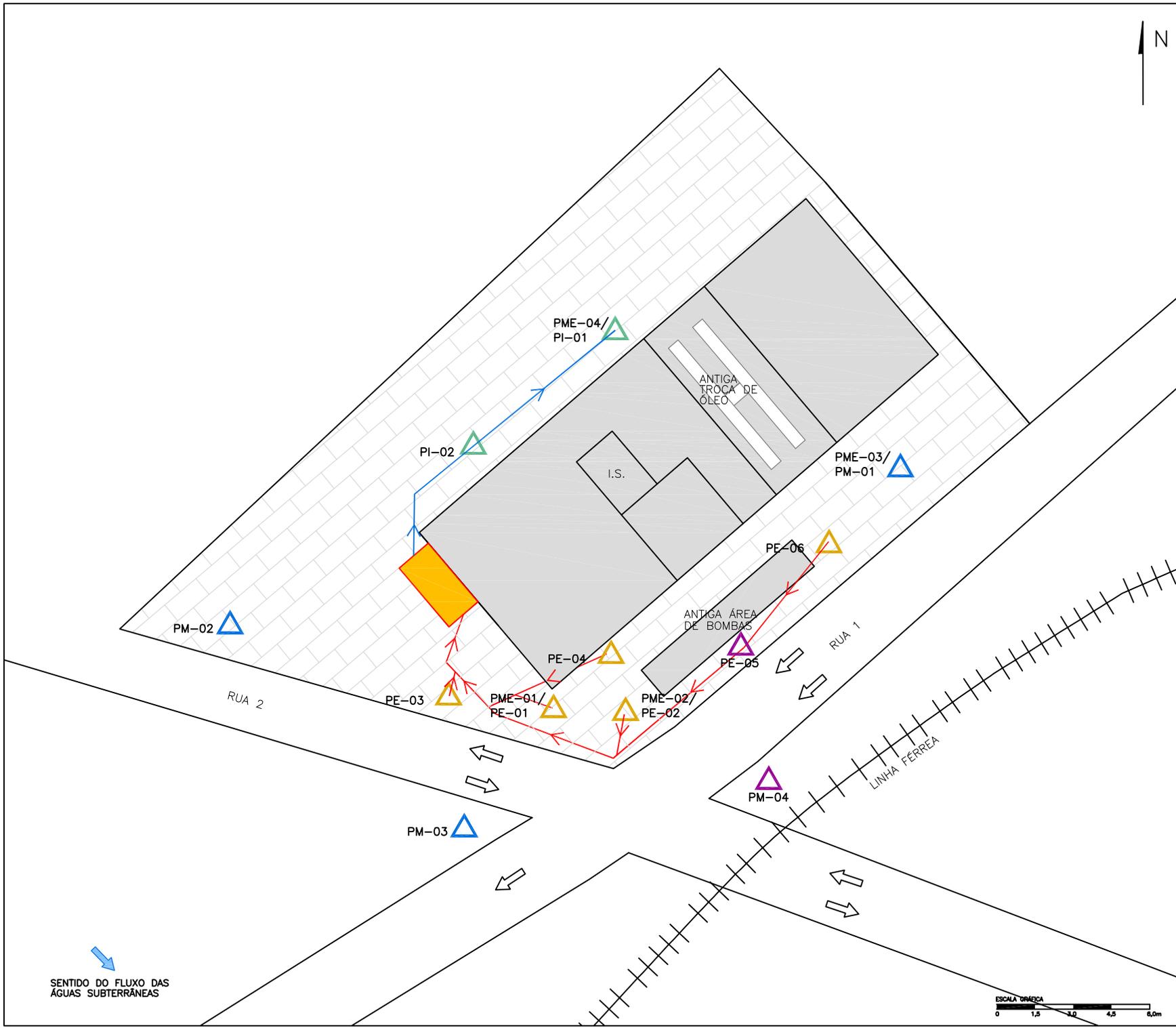
ESCALA:

GRÁFICA

FIGURA 7

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM  
REMEDIÇÃO AMBIENTAL

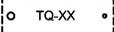
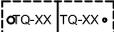


SENTIDO DO FLUXO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO COM SISTEMA DE REMEDIAÇÃO MPE

LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO
-  TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  RESPIROS
-  POÇO EXISTENTE
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  FILTRO DE ÓLEO
-  POÇO CAÇIMBA
-  POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
-  POÇO DE EXTRAÇÃO/
-  SONDAGEM/ POÇO DE MONITORAMENTO/
-  POÇO DE INJEÇÃO/
-  HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA E ADSORVIDA
-  ÁGUA PÓS-TRATAMENTO DIRECIONADA A SAO
-  ABRIGO DO SISTEMA

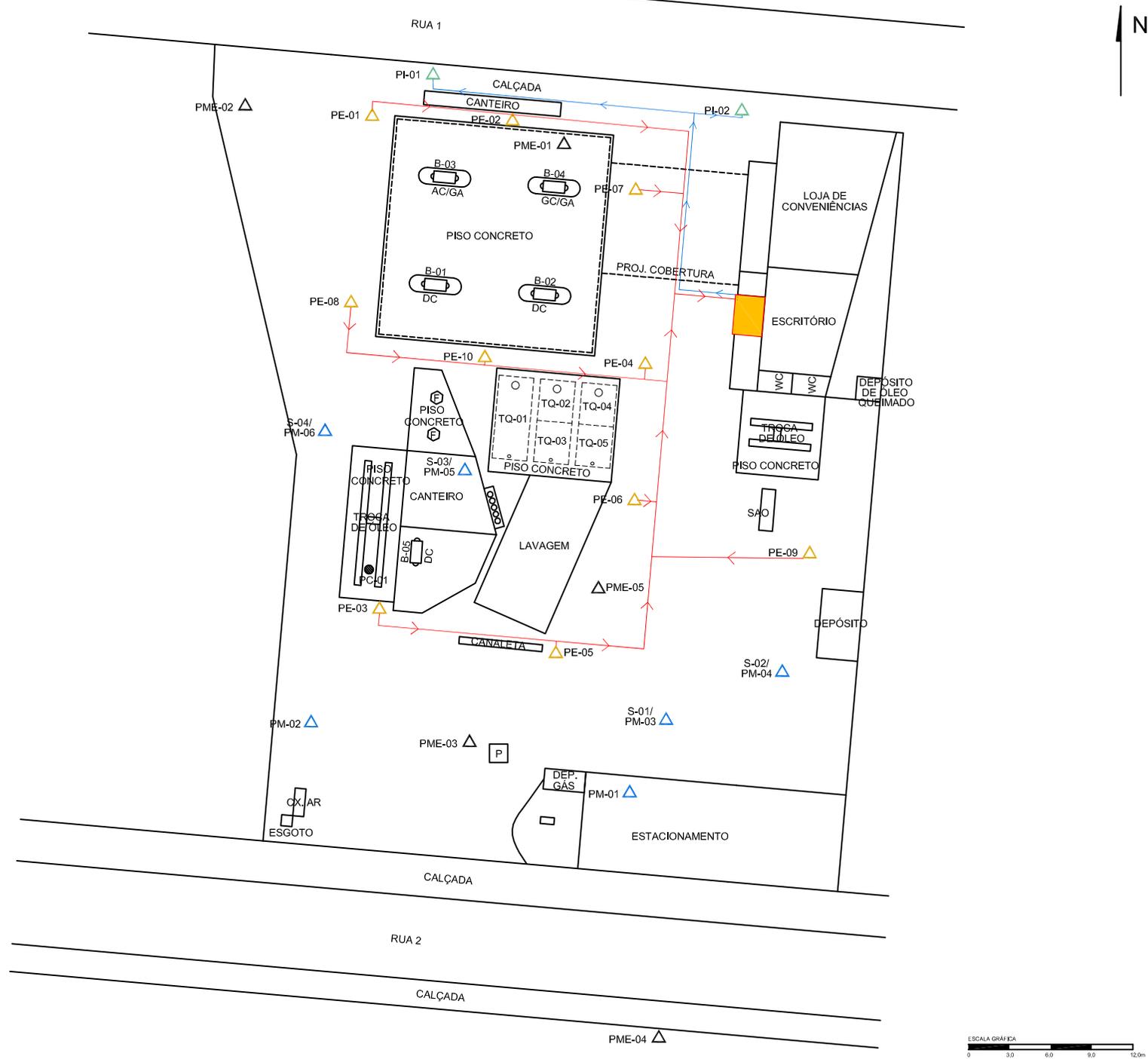
ESCALA:

GRÁFICA

FIGURA 8

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



## **6 RESULTADOS**

### **6.1. MEIO FÍSICO**

#### **6.1.1 Paraná**

O posto Paraná está situado na cidade de Paranaguá/PR, cuja localização encontra-se no litoral do estado paranaense. Segundo Chemas et al. (2002) a litologia encontrada no município é constituída, da base para o topo, por camadas arenosas conglomeráticas com argila subordinada, argila siltosa, areia siltosa e areia inconsolidada. O solo predominantemente encontrado na região é o Espodossolo, que de acordo com Oliveira (2007) são solos que apresentam textura arenosa ao longo do perfil, sendo poucos os casos reconhecidos com textura média. Essa textura foi encontrada em todas as sondagens realizadas no empreendimento, que ao total somam 18 e atingiram profundidade máxima de 4,2 m. Nestas sondagens o horizonte predominantemente encontrado é composto por um solo arenoso de granulometria fina e coloração variando do cinza ao marrom.

Na área do estabelecimento foi coletada uma amostra indeformada do solo para determinação dos parâmetros físicos. Os resultados dessa amostra indicaram que o solo local possui uma porosidade total de 42,6%, porosidade efetiva de 9,9%, densidade de 1,69 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 32,10% e quantidade de matéria orgânica, expressa como percentagem de carbono orgânico total, de 0,6%.

O aquífero local encontrado é de caráter livre, com nível d'água variando em média entre 0,37 e 1,53 m, cuja variação ocorre principalmente pelos episódios de chuva, o gráfico que demonstra a variação do nível d'água nos poços do empreendimento pode ser visualizado no anexo II. A direção do fluxo da água foi determinada por meio do levantamento topográfico e medição dos níveis do lençol freático nos poços do empreendimento, o resultado demonstrou que o fluxo se dá preferencialmente para o sentido norte-nordeste.

Com relação à permeabilidade do aquífero local, foi realizado ensaio slug test para determinação do coeficiente de permeabilidade nos poços PM-05 e PM-01. Os cálculos utilizados para determinação dos coeficientes encontram-se no anexo I. Os resultados do ensaio demonstraram que o tempo ( $T_0$ ) decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial foi 6,09 minutos para o PM-01 e 128,66

minutos para o PM-05. Sendo assim, calcularam-se os coeficientes de permeabilidade para os dois poços, sendo obtido o valor de  $1,22 \times 10^{-4}$  cm/s para o poço PM-01, e o valor de  $4,60 \times 10^{-6}$  cm/s para o poço PM-05.

As leituras obtidas ao longo do ensaio são compatíveis com a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade ( $k = 10^{-6}$  a  $10^{-4}$  cm/s) apresentados por Fetter (1999). para terrenos compostos por areia argilosa.

Também foi determinado o gradiente hidráulico das águas subterrâneas locais. Para o cálculo adotou-se as cargas hidráulicas dos poços de monitoramento PME-04 (98,83m) e do PM-06 (99,06m), e admitindo-se entre os dois uma distância de 27,0 m, obteve-se um gradiente hidráulico (i) de 0,852%. Com os valores de K médio igual a  $6,33 \times 10^{-5}$  cm/s, de i igual a 0,852% e considerando a porosidade efetiva obtida pela amostra indeformada 9,9% , foi calculado a velocidade média do fluxo das águas subterrâneas, a qual foi de 1,72 m/ano.

### **6.1.2 Posto Santa Catarina**

O posto Santa Catarina está situado na cidade de São Francisco do Sul/SC, cuja localização encontra-se no litoral do estado de Santa Catarina. De acordo com Higashi e Figueiredo (2003) o município encontra-se inserido sobre terrenos pertencentes aos depósitos aluvionares marinhos e fluviais e secundariamente, sobre o Complexo Granulítico de Santa Catarina (A(T-B)sc). Os depósitos aluvionares marinhos e fluviais são compostos por sedimentos de granulação variável, representado por areias e argilas, localmente também se observam cascalheiras de origem fluviais. Nas sondagens realizadas na área do empreendimento, as quais totalizam 15 e atingiram uma profundidade máxima de 3,5 m, foram encontrados dois perfis predominantes do solo local o primeiro corresponde por solo arenoso, de granulometria média a fina e de coloração cinza escura e o segundo é constituído por um solo areno-argiloso, com granulometria fina de coloração cinza escuro com porções de cor amarela. De acordo com estes perfis encontrados pode-se identificar que, para na área de interesse, o solo Arenoso é o mais significativo.

Na área do estabelecimento foi coletada uma amostra indeformada do solo para determinação dos parâmetros físicos. Os resultados dessa amostra indicaram que o solo local possui uma porosidade total de 45,2%, porosidade efetiva de 5,3%,

densidade de 1,58 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 39,2% e quantidade de matéria orgânica, expressa como percentagem de carbono orgânico total de 3,83%.

O aquífero local encontrado é de caráter livre, com nível d'água variando em média entre 0,50 e 2,0 m, cuja variação ocorre principalmente pelos episódios de chuva, o gráfico que demonstra a variação do nível d'água nos poços do empreendimento pode ser visualizado no anexo II. A direção do fluxo da água foi determinada por meio do levantamento topográfico e medição dos níveis do lençol freático nos poços do empreendimento, o resultado demonstrou que o fluxo se dá preferencialmente para o sentido sul-leste.

Com relação à permeabilidade do aquífero local, foi realizado ensaio slug test para determinação do coeficiente de permeabilidade nos poços PM-01. Os cálculos utilizados para determinação do coeficiente encontra-se no anexo I. Os resultados do ensaio demonstraram que o tempo ( $T_0$ ) decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial foi 9 minutos. Sendo assim, calculou-se o coeficiente de permeabilidade, sendo obtido o valor de  $1,02 \times 10^{-4}$  cm/s.

As leituras obtidas ao longo do ensaio são compatíveis com a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade ( $k = 10^{-6}$  a  $10^{-4}$  cm/s) apresentados por Fetter (1999) para terrenos compostos por areia argilosa.

Também foi determinado o gradiente hidráulico das águas subterrâneas locais. Para o cálculo adotou-se as cargas hidráulicas dos poços de monitoramento PM-02 (101,24m) e do PM-04 (99,67m), e admitindo-se entre os dois uma distância de 22,0 metros obtém-se um gradiente hidráulico ( $i$ ) de 7,136%. Com os valores de  $K$  igual a  $1,02 \times 10^{-4}$  cm/s, de  $i$  igual a 7,136% e considerando a porosidade efetiva obtida pela amostra indeformada 5,3%, foi calculado a velocidade média do fluxo das águas subterrâneas, a qual foi de 43,45 m/ano.

### **6.1.3 Posto Rio Grande do Sul**

O posto Rio Grande do Sul está situado na cidade de Rio Pardo/RS, cuja localização encontra-se na região centro-leste do estado. De acordo com Freitas et al. (2005) a geologia regional é definida por depósitos aluviais e rochas sedimentares. A cidade encontra-se sobre a Formação Sanga do Cabral, com arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos e argilosos de cores avermelhadas e

rosadas, em que predominam estruturas acanaladas de origem fluvial. Nas sondagens realizadas na área do empreendimento, as quais totalizam 28 e atingiram uma profundidade máxima de 5,3 m, foi verificado que o solo local é predominantemente arenoso de coloração marrom, seguido por uma seqüência de argilas arenosas variando de cinza a marrom, por vezes com fragmentos de rocha nas porções mais profundas. Com base nas sondagens executadas, o subsolo da área investigada é caracterizado por um solo argilo arenoso de coloração cinza.

Na área do estabelecimento foi coletada uma amostra indeformada do solo para determinação dos parâmetros físicos. Os resultados dessa amostra indicaram que o solo local possui uma porosidade total de 43,25%, densidade de 2,97 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 14,67% e quantidade de matéria orgânica, expressa como percentagem de carbono orgânico total de 4,19%.

O aquífero local encontrado é de caráter livre, com nível d'água variando em média entre 0,50 e 5,0 m, cuja variação ocorre principalmente pelos episódios de chuva, o gráfico que demonstra a variação do nível d'água nos poços do empreendimento pode ser visualizado no anexo II. A direção do fluxo da água foi determinada por meio do levantamento topográfico e medição dos níveis do lençol freático nos poços do empreendimento, o resultado demonstrou que o fluxo se dá preferencialmente para o sentido sul-leste.

Com relação à permeabilidade do aquífero local, foi realizado ensaio slug test para determinação do coeficiente de permeabilidade no poço PM-05. Os cálculos utilizados para determinação do coeficiente encontra-se no anexo I. Os resultados do ensaio demonstraram que o tempo ( $T_0$ ) decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial foi 132 minutos. Sendo assim, calculou-se o coeficiente de permeabilidade, sendo obtido o valor de  $5,53 \times 10^{-6}$  cm/s.

As leituras obtidas ao longo do ensaio são compatíveis com a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade ( $k = 10^{-6}$  a  $10^{-4}$  cm/s) apresentados por Fetter (1999) para terrenos compostos por argila arenosa. A partir desta classificação, pode-se admitir uma porosidade efetiva ( $n_e$ ) de 7% para o material em questão (FETTER, 1999).

Também foi determinado o gradiente hidráulico das águas subterrâneas locais. Para o cálculo adotou-se as cargas hidráulicas dos poços de monitoramento PME-04 (95,83m) e do PI-02 (99,38m), e admitindo-se entre os dois uma distância de 67,0 metros obtém-se um gradiente hidráulico ( $i$ ) de 5,29%. Com os valores de K

igual a  $5,53 \times 10^{-6}$  cm/s, de  $i$  igual a 5,29% e considerando a porosidade efetiva de 7% para o solo em questão, foi calculado a velocidade média do fluxo das águas subterrâneas, a qual foi de 1,75 m/ano.

## **6.2 CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO**

### **6.2.1 Posto Paraná**

#### **6.2.1.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor**

No ano de 2009 foi instalado sistema de remediação MPE para descontaminação da área, antes disso foram realizados três estudos de investigação para determinar as dimensões da contaminação no empreendimento, o primeiro desses estudos foi realizado em 2005. Neste estudo foi realizada análise de VOC em 24 pontos a partir de malha regular com espaçamento de 10x10 metros e adensamentos de até 5 metros de distância. Pode-se verificar pela pluma de VOC (anexo IV) que as concentrações variaram desde valores nulos até uma concentração máxima de 10.000 ppm. Verificou-se três pontos críticos (SG-02, SG-03 e S-19). Estes três pontos encontram-se próximos aos antigos tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis. A área total do empreendimento que apresentou concentrações de VOC não nula é de aproximadamente de 384,4 m<sup>2</sup>.

#### **6.2.1.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre**

Durante a instalação do sistema de remediação foi encontrada contaminação por hidrocarbonetos em fase livre no poço PME-03/PE-04 com variação de 2,0 cm a 3,0 cm. Entretanto, logo que o sistema entrou em operação, em apenas 20 dias, houve remoção de 100% da fase livre, como pode ser visualizado no gráfico 1. A pluma de fase livre encontra-se no anexo IV.



**Gráfico 1: Variação da espessura de fase livre no Posto Paraná**

Fonte: o autor

### 6.2.1.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida

Ao todo foram realizadas dez campanhas analíticas, constando da coleta de água subterrânea para análise dos parâmetros BTEX e PAH, sendo que das dez, três foram realizadas durante os estudos de investigação ambiental, outras três durante a operação do sistema de remediação e as últimas quatro durante o monitoramento pós remediação. A análise da contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida foi realizada apenas levando-se em consideração o composto Benzeno, uma vez que esta é a única substância que apresentou concentrações acima das matas de remediação (SSTL's). Os resultados analíticos de todos os compostos analisados podem ser verificados no anexo III.

Os resultados foram comparados com os valores da legislação local vigente (SEMA Nº21/2011) e níveis alvos (SSTL's), definidos na análise de risco. No caso do Posto Paraná, em 2008 foram definidos SSTL's através da realização de análise de risco, o resultado deste estudo demonstrou que a via de exposição mais restritiva, que se completava e que, portanto, era a aplicável foi a via de ingestão de água subterrânea contaminada a partir do poço de captação localizado em área comercial e dentro da pluma de contaminação, ou seja, on-site. Estes SSTL's se mostraram válidos até 2010, ano no qual uma nova análise de risco foi realizada, desta vez considerando que o poço de captação estava à montante da pluma de contaminação e não dentro da pluma, ou seja, off-site. Desta forma, os novos SSTL's calculados

foram menos restritivos e eram referentes a mesma via de exposição, ou seja, ingestão de água subterrânea contaminada a partir do poço de captação localizado em área comercial, porém considerando uma distância de 13 metros da pluma de contaminação. A evolução das concentrações de benzeno nos poços do Posto Paraná encontra-se na tabela 6.

Os poços PE-03/PME-02 e PE-04/PME-03 foram os que apresentaram as maiores concentrações de Benzeno, entretanto verificou-se grande diminuição após o início da remediação. Em apenas um mês a contaminação de benzeno já encontrava-se removida do poço PE-03/PME-02. Durante a operação do sistema, a qual durou 9 meses, verificou-se a redução aproximada de 41,4% da área da fase dissolvida de benzeno, sendo a pluma baseada na legislação local vigente (5 µg/L), e uma redução de 88,6% na concentração média de benzeno nos poços PE-03/PME-02 e PE-04/PME-03, esta redução pode ser visualizada na figura 9.

Posteriormente ao encerramento da operação do sistema de remediação, começaram a ser realizados os monitoramentos pós remediação, os quais consistem da realização de quatro campanhas analíticas, com periodicidade trimestral, com o intuito de comprovar a estabilização das concentrações dos compostos de interesse. Os resultados obtidos demonstraram que as concentrações de benzeno tiveram uma pequena elevação, porém no último monitoramento, mesmo com este leve aumento, as concentrações deste composto permaneceram abaixo do Nível Alvo em todos os poços.

**Tabela 6: Concentração de benzeno nos poços do Posto Paraná**

Poços	Benzeno									
	Invest. (jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Investi. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)
PE-01/ PM-01	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	<0,1
PE-02/PME-04	118,9	ND	ND	36,6	-	ND	<1,0	<1,0	2,30	4,00
PE-03/PME-02	976,4	511,9	586,2	3,80	<1,0	<1,0	2,70	5,3	16,1	20,6
PE-04/PME-03	191,2	2.839,2	761,8	777,0	128,4	152,9	105,3	40,0	257,0	345,5
PE-05/PM-06	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND
PM-02	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-03	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	ND
PM-04	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	ND
PM-05	x	x	<1,0	ND	-	-	ND	-	-	ND
PM-07	x	x	ND	-	-	-	ND	-	<1,0	ND
PME-01	Nd	211,1	ND	-	-	-	ND	ND	-	ND
PME-05	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND
PME-06	1,4	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND
PC-01	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-
SSTL*	86,0									
SSTL indicado	400,0									
SEMA	5,0									

Nota: SSTL \* - Valores calculados na Análise de Risco RBCA Tier 2 realizada em fevereiro de 2008, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - On-site (0 m) comercial

SSTL indicado - Valores calculados na nova Análise de Risco RBCA Tier 2 em janeiro de 2010, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - Off-site 1 (13m) comercial

SEMA - Valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011

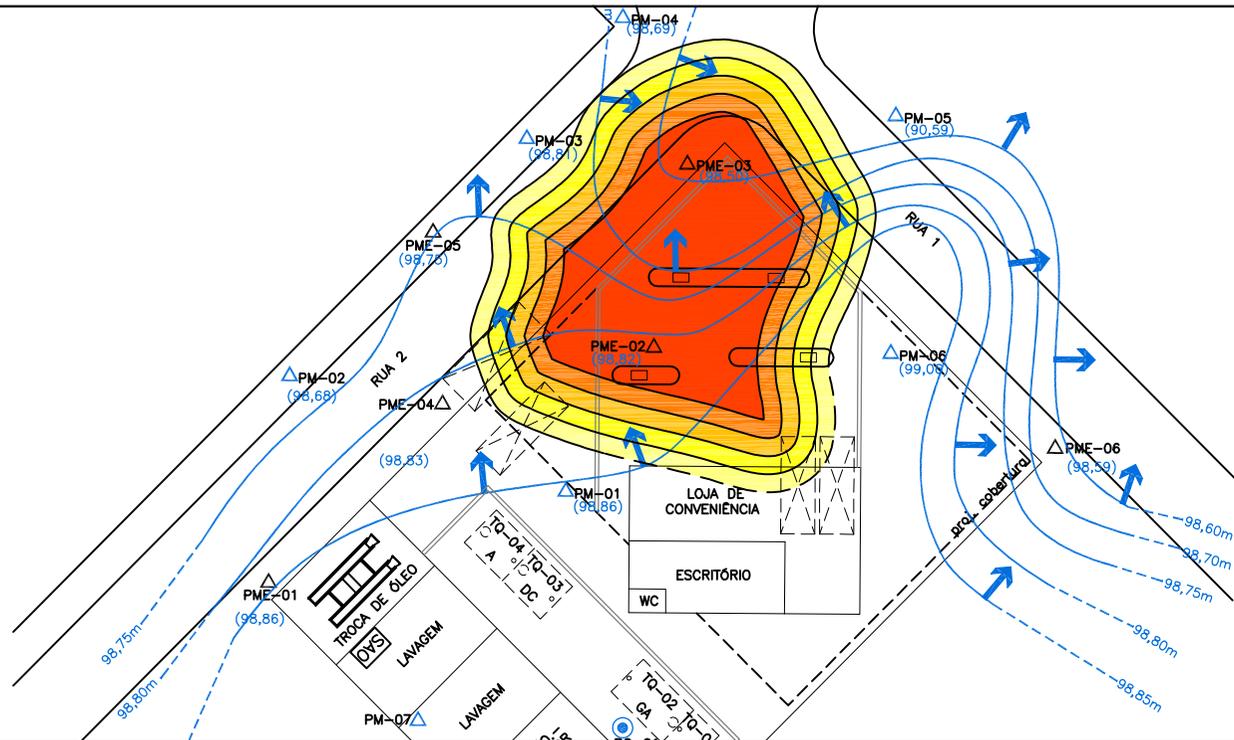
(ND) não detectado; (-) poços não amostrados; (Operação) coleta realizada durante a operação do sistema de remediação; (Pós) Campanha analítica de monitoramento pós remediação; (Invest.) campanha analítica realizada durante o estudo de investigação ambiental; (X) Poço ainda não existente

PC-01 - Poço de captação de águas

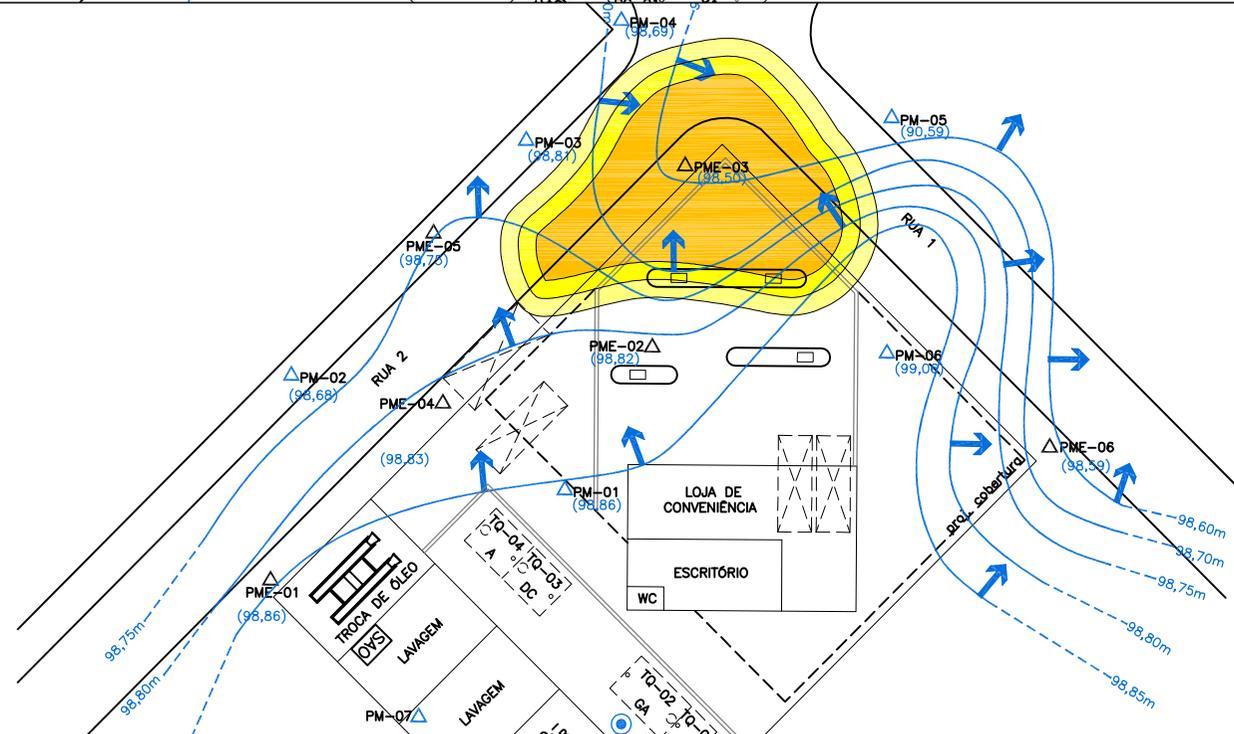
Poços instalados em Julho de 2005.

Poços instalados em Setembro de 2008.

Fonte: O autor



SETEMBRO DE 2008

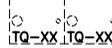
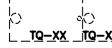
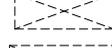
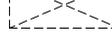


ABRIL DE 2010

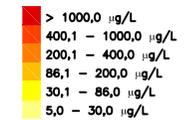
POSTO PARANÁ

EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO DURANTE O PROCESSO DE REMEDIAÇÃO POR MPE

LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  POÇO PROFUNDO
-  ELEVADOR HIDRÁULICO
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  PME-XX △
-  PM-XX △
-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO

- CONAMA 420/09 E IAP/2011: 5,0 µg/L
- LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L
- SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ DEZ/09): 86,0 µg/L
- SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE JAN/10): 400,0 µg/L

ESCALA:

SEM ESCALA

FIGURA 9

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

#### **6.2.1.4 Contaminação do solo**

Durante todo o histórico de serviços ambientais na área do empreendimento foram executadas um total de 18 sondagens, todas anteriores a implantação do sistema de remediação, sendo onze no ano de 2005 e sete em 2008. A planta do empreendimento indicando a localização das sondagens encontra-se no anexo IV. Foram coletadas amostras de solo em todas as sondagens realizadas, os resultados das análises dos parâmetros BTEX e PAH demonstraram que o solo do empreendimento não esteve contaminado por estes compostos, uma vez que todas as amostras apresentaram concentrações, para todos os compostos analisados, abaixo dos limites impostos tanto pela legislação local vigente (SEMA Nº 21/2011) e dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados nas duas análises de Risco realizadas no empreendimento. Os resultados podem ser visualizados no anexo III.

#### **6.2.2 Posto Santa Catarina**

##### **6.2.2.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor**

Foi realizada apenas uma campanha de medição de VOC na área do Posto Santa Catarina, a qual ocorreu no ano de 2005. Neste estudo foi realizada análise de VOC em 20 pontos a partir de malha regular com espaçamento de 10x10 metros e adensamentos de até 5 metros de distância. Pode-se verificar pela pluma de VOC (anexo V) que as concentrações variaram desde valores nulos até uma concentração máxima de 6.360 ppm. Verificou-se dois pontos críticos (SG-05 e SG-07). Ambos os pontos encontram-se próximos à antiga área de abastecimento. A área total do empreendimento que apresentou concentrações de VOC não nula é de aproximadamente de 36,15 m<sup>2</sup>.

##### **6.2.2.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre**

Não foi relatada contaminação por hidrocarbonetos em fase livre na área do Posto Santa Catarina.

### **6.2.2.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida**

Foram realizadas dez campanhas analíticas nos poços do empreendimento, constando da coleta de água subterrânea para análise dos parâmetros BTEX e PAH, sendo que das dez, três foram realizadas antes da operação do sistema de remediação, outras duas durante a operação do sistema, uma no encerramento da remediação e as últimas quatro durante o monitoramento pós remediação. A análise da contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida foi realizada apenas levando-se em consideração o composto Benzeno, uma vez que esta é a única substância que apresentou concentrações acima das metas de remediação (SSTL's). No entanto os resultados analíticos de todos os compostos analisados podem ser verificados no anexo III.

Os resultados foram comparados com os valores do CONAMA 420/09, valores orientadores da Lista Holandesa e níveis alvos (SSTL's), definidos na análise de risco. A análise de risco do Posto Santa Catarina foi realizada em 2005 e como não há poço de captação de águas na área do empreendimento, o resultado demonstrou que os SSTL's mais restritivos e que se aplicavam eram aqueles referentes a via de exposição inalação de vapores provenientes de água subterrânea contaminada em ambiente fechado comercial (on-site), uma vez que a pluma de contaminação encontrava-se em área comercial. A evolução da contaminação do Posto Santa Catarina por fase dissolvida de Benzeno encontra-se na tabela 7.

Anteriormente a operação do sistema apenas dois poços apresentaram concentração acima dos SSTL do composto benzeno (PE-01 e PE-5). Porém com o início da operação do sistema as concentrações tiveram um forte declínio, e em apenas sete meses as concentrações de benzeno já estavam todas abaixo das metas de remediação, com isso a remediação foi encerrada. A operação do sistema foi responsável por uma redução aproximada de 37,4% da área da fase dissolvida de benzeno, sendo a pluma baseada na resolução CONAMA 420/09, e uma redução de 97,0% na concentração média de benzeno nos seis poços de extração, esta redução pode ser visualizada na figura 10.

Posteriormente ao encerramento da operação do sistema de remediação, começaram a ser realizados os monitoramentos pós remediação, os quais consistem da realização de quatro campanhas analíticas, com periodicidade trimestral, com o

intuito de comprovar a estabilização das concentrações dos compostos de interesse. Os resultados obtidos demonstraram que as concentrações de benzeno permaneceram estáveis e abaixo do Nível Alvo em todos os poços.

**Tabela 7: Concentração de benzeno nos poços do Posto Santa Catarina**

Poços	Benzeno								
	Invest. (Out/05)	Pré-Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	5,78	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	19,70	-	1,0	*	*	*	*
PE-01	18,00	528,7	-	-	22,60	-	-	53,60	104,4
PE-02	1165,4	446,2	-	-	30,80	19,10	11,70	67,80	24,40
PE-03	x	x	16,10	-	0,50	0,50	0,70	14,20	<1,0
PE-04	x	x	275,5	Nd	Nd	-	0,40	<1,0	<1,0
PE-05	x	x	2399,0	31,90	51,90	*	*	*	*
PE-06	x	x	66,40	Nd	0,60	-	0,40	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>460,0</b>								
<b>CONAMA</b>	<b>5,0</b>								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>30,0</b>								

Nota: (Nd) não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Invest.) Investigação Ambiental; (Pré-rem.) Estudo Pré-remediação; (Instalação do Sist.) Instalação do sistema de remediação; (Oper. Sist.) Operação do sistema de remediação; (Encer. Sist.) Encerramento do sistema de remediação; (Pós rem.) Pós remediação.

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (Inalação em ambientes fechados - On-Site - Comercial)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

Fonte: O autor

POSTO SANTA CATARINA

EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO DURANTE O PROCESSO DE REMEDIAÇÃO POR MPE

LEGENDA:

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA

- PM-XX  POÇO DE MONITORAMENTO
- PE-XX  POÇO DE EXTRAÇÃO
- PI-XX  POÇO DE INJEÇÃO
- PM-XX  POÇO DESTRUIDO EM DEZEMBRO DE 2007

-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO (µg/L)

-  > 1000,1 µg/L
-  460,1 - 1000,0 µg/L
-  100,1 - 460,0 µg/L
-  30,1 - 100,0 µg/L
-  5,0 - 30,0 µg/L

VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO  
 CONAMA 420/09: 5,0 µg/L  
 LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L  
 SSTL: 460,0 µg/L

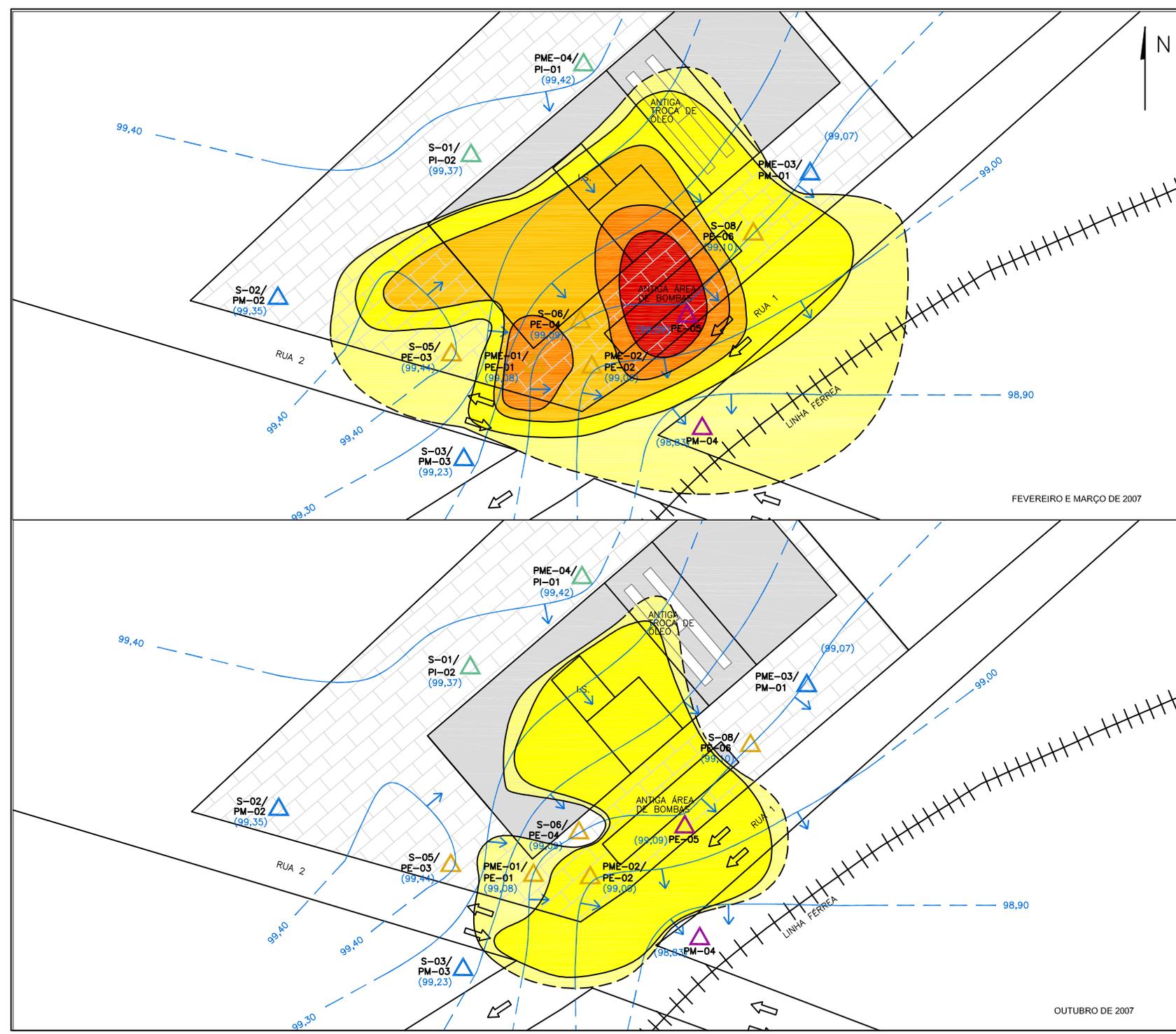
ESCALA:

SEM ESCALA

FIGURA 10

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



FEVEREIRO E MARÇO DE 2007

OCTUBRO DE 2007

#### **6.2.2.4 Contaminação do solo**

Durante todo o histórico de serviços ambientais na área do empreendimento foram executadas um total de 15 sondagens, todas anteriores a implantação do sistema de remediação, sendo sete no ano de 2005 e oito em 2007. Foram coletadas amostras de solo em treze das sondagens realizadas, os resultados das análises dos parâmetros BTEX e PAH demonstraram que o solo do empreendimento esteve contaminado por benzeno nas sondagens SG-05, SG-07 e ST-01, entretanto as concentrações encontravam-se abaixo dos Níveis Alvos (SSTL's) não apresentando, portanto, risco a saúde humana. Os resultados podem ser visualizados no anexo III e a pluma de contaminação no anexo V.

#### **6.2.3 Posto Rio Grande do Sul**

##### **6.2.3.1 Contaminação por hidrocarbonetos em fase vapor**

No ano de 2004 foi realizada análise de VOC em 34 pontos, sendo que destas 34 medições, 19 apresentaram valores não nulos, sendo que os pontos com as maiores concentrações encontravam-se próximos da área de tancagem (SG-31) e da área de abastecimento (SG-22). A área total do empreendimento que apresentou concentrações de VOC não nula é de aproximadamente de 1.132,53 m<sup>2</sup>, conforme pode ser visualizado na pluma que encontra-se no anexo VI.

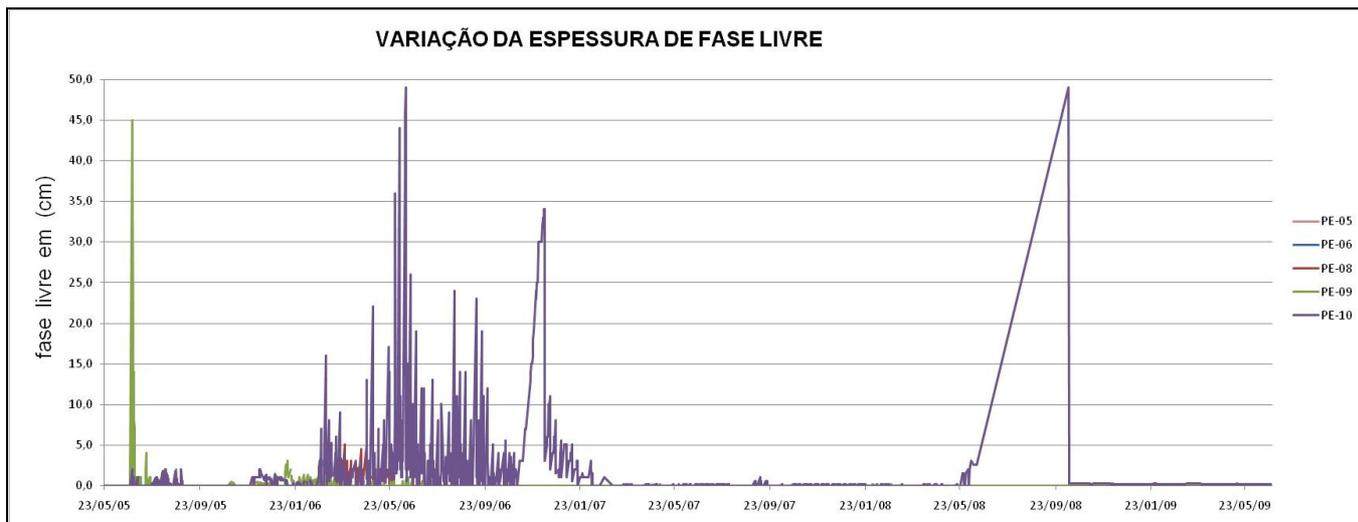
##### **6.2.3.2 Contaminação por hidrocarbonetos em fase livre**

A primeira constatação de fase livre no empreendimento ocorreu no ano de 2005 nos poços PE-09 (38,0 cm) e PE-10 (5,0 cm), diante deste relato foi instalado sistema MPE para descontaminação da área. Durante a operação do sistema também foi relatada fase livre nos poços PE-05, PE-06 e PE-08. No início da operação (2005) a fase livre era encontrada apenas nos poços PE-05, PE-09 e PE-10 com espessuras que variaram de 0,1 cm até 49,0 cm, sendo que no PE-10 a fase livre era relatada praticamente todos os dias, mesmo com o sistema operando, demonstrando a grande quantidade de produto contaminante presente no aquífero

freático. As fases livre encontradas nos poços PE-06 e PE-08 eram encontradas esporadicamente e variaram de 0,1 cm até 5,0 cm.

O sistema MPE automático operou até abril de 2008 e devido a persistência da fase livre no PE-10 o sistema foi substituído por um sistema MPE móvel, com o intuito de focar o bombeamento apenas nos poços que ainda apresentavam fase livre esporádicas (PE-06, PE-07, PE-10 e PM-06). Durante a mudança do sistema fixo para o sistema móvel o bombeamento permaneceu parado por quatro meses, com esta paralisação houve um acúmulo de fase livre no PE-10, sendo relatado um pico de 49,0 cm em maio de 2008, no entanto logo com o retorno da operação essa fase livre foi reduzida para 0,2 cm.

A remediação no empreendimento encerrou-se em 2009 em virtude da remoção da fase livre nos poços do empreendimento e realização de uma nova análise de risco. Após o encerramento começaram os monitoramentos trimestrais pós remediação. No terceiro monitoramento (Novembro 2010) foi relatada fase livre em três poços, sendo um deles o PE-03 com 4,0 cm, este poço nunca havia apresentado fase livre anteriormente e diante disso conclui-se que um houve um novo aporte de contaminação no site. A fase livre no PE-03 foi relatada também na realização do quarto monitoramento pós remediação, diante disso um novo sistema de remediação deve ser instalado no empreendimento. A área impactada por hidrocarbonetos em fase livre durante a operação do sistema de remediação no empreendimento foi de aproximadamente 798,94 m<sup>2</sup>. A remediação ambiental no empreendimento durou aproximadamente 4 anos e chegou a remover a contaminação por fase livre nos poços do empreendimento (gráfico 2), entretanto em virtude da má operação do posto novos aportes de contaminação ocorreram, sendo necessário a continuação do processo de remediação.



**Gráfico 2: Variação da espessura de fase livre no Posto Rio Grande do Sul**  
**Fonte: O autor**

### 6.2.3.3 Contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida

Ao todo foram realizadas 16 campanhas analíticas nos poços do empreendimento, constando da coleta de água subterrânea para análise dos parâmetros BTEX e PAH, sendo que duas foram realizadas antes da remediação, cinco durante a operação do sistema de remediação automático, outras cinco durante a operação do sistema de remediação manual e as últimas quatro durante o monitoramento pós remediação. A análise da contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida foi realizada apenas levando-se em consideração o composto Benzeno, uma vez que esta é a única substância que apresentou concentrações acima das matas de remediação (SSTL's). No entanto os resultados analíticos de todos os compostos analisados podem ser verificados no anexo III.

Os resultados são comparados com os valores do CONAMA 420/09, valores orientadores da Lista Holandesa e níveis alvos (SSTL's), definidos nas duas análises de risco realizadas. A primeira análise de risco foi realizada em 2005, o resultado demonstrou que os SSTL's aplicáveis e que se completavam na época era referente a via de exposição contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site) em virtude da existência do poço de captação de água subterrânea na área comercial do estabelecimento e que estava localizado dentro da

pluma de contaminação, estes SSTL's foram válidos até o ano de 2009, ano no qual uma nova análise de risco foi realizada, uma vez que o poço de captação foi destruído, eliminando assim as vias de exposição ingestão e contato dermal com água subterrânea contaminada, elevando assim os valores dos SSTL's. O resultado desta nova análise de risco indicou que os novos SSTL's aplicáveis eram referentes a via de exposição volatilização de água subterrânea contaminada em ambiente fechado residencial (off-site – 17m), uma vez que a contaminação distanciava-se 17 m das residências vizinhas. A evolução da contaminação do Posto Santa Rio Grande do Sul por fase dissolvida de Benzeno encontra-se na tabela 8.

Os poços PE-06 e PE-07 foram os que apresentaram as maiores concentrações de Benzeno, entretanto a contaminação por fase dissolvida não se mostrou significativa quando comparada com a contaminação por fase livre, a pluma de fase dissolvida em 7 das 16 campanhas de amostragem esteve aliada a pluma de fase livre. Comparando os resultados com os SSTL's, percebeu-se que os SSTL's calculados em 2009 nunca foram excedidos para nenhum composto, pois a via considerada é pouco restritiva. A figura 11 apresenta a pluma de contaminação anterior e posterior a operação do sistema de remediação.

**Tabela 8: Concentração de benzeno nos poços do Posto Rio Grande do Sul**

Poços	Benzeno															
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	Pós (Nov/09)	Pós (Mai/10)	Pós (Nov/10)	Pós (Mai/11)
PE-01	x	-	-	Nd	40,00	-	8,10	4,60	-	1,80	-	-	1,20	<1,0	<1,0	<1,0
PE-02	x	-	-	30,00	101,00	-	46,30	55,40	8,00	-	-	-	Nd	9,70	22,00	7,80
PE-03	x	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	Nd	FL	FL
PE-04	x	Nd	Nd	-	-	Nd	4,30	19,90	29,40	13,90	4,60	-	16,00	1,40	5,60	Nd
PE-05	x	Nd	52,00	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	-	5,70	Nd	Nd	-
PE-06	x	-	-	146,00	189,00	153,00	41,60	86,60	34,40	20,50	20,20	-	6,70	53,00	152,70	Nd
PE-07	x	-	-	-	-	-	238,30	430,00	281,40	572,00	661,00	450,20	229,40	104,00	93,30	Nd
PE-08	x	0,50	Nd	Nd	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	Nd	-	Nd
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	3,00	-	-	<1,0	<1,0	3,50	Nd
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	7,40	4,90	FL	FL	Nd	14,80	Nd	<1,0	<1,0	<1,0
PM-01	x	Nd	Nd	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	1,30	-	<1,0	-	-	-	-	-	Nd
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	Nd	-	-	<1,0	Nd	Nd
PME-01	88,70	23,30	-	-	-	-	-	1,80	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd
PME-02	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd
PME-03	Nd	Nd	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	Nd	-
PME-04	2,30	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd
PME-05	3,30	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd
PC-01	Nd	9,90	-	-	-	-	3,80	1,70	2,40	-	-	-	-	-	-	Nd
PI-01	x	1,10	-	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd
PI-02	x	Nd	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd
CONAMA	5,0															
Lista Holandesa	30,0															
SSTL Antigo	62,0															
SSTL Indicado	2.300,0															

Nota: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; ((Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Pós) Monitoramento Pós remediação  
Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

PC-01 - Poço de captação de águas

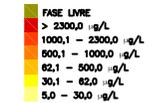
Fonte: O autor

EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO DURANTE O PROCESSO DE REMEDIAÇÃO POR MPE

LEGENDA:

- TQ-XX ○ TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX ○ TQ-XX ○ TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- FILTRO DE ÓLEO
- PC-01 POÇO CAÇIMBA
- PME-XX Δ POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- PE-XX Δ POÇO DE EXTRAÇÃO/
- S-XX/ PM-XX Δ SONDAGEM/ POÇO DE MONITORAMENTO/
- PI-XX Δ POÇO DE INJEÇÃO/
- PI-XX Δ POÇO NÃO AMOSTRADO/ NÃO EXISTENTE
- (xx,xx) — LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
- SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO - μg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO

- CANAMA 420/09 : 5,0 μg/L
- LISTA HOLANDESA: 30,0 μg/L
- SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ MAI/09): 52,0 μg/L
- SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE MAI/09): 2300,0 μg/L

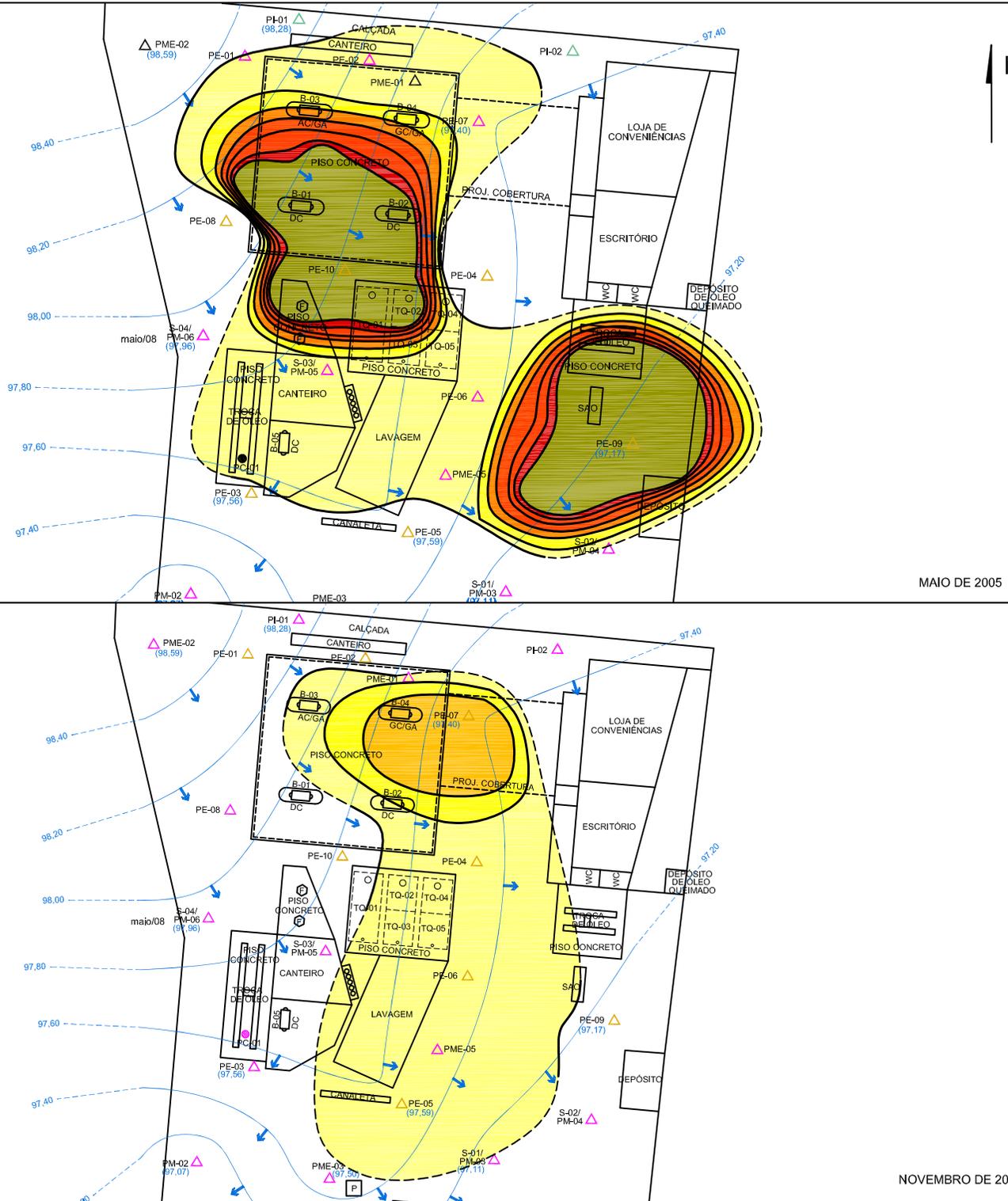
ESCALA:

SEM ESCALA

FIGURA 11

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



MAIO DE 2005

NOVEMBRO DE 2009

### 6.2.3.4 Contaminação do solo

Durante todo o histórico de serviços ambientais na área do empreendimento foram executadas um total de 26 sondagens, sendo dez no ano de 2004, doze em 2005 e quatro em 2008. Foram coletadas amostras de solo em 18 sondagens, os resultados das análises dos parâmetros BTEX e PAH demonstraram que apenas a amostra referente a sondagem SG-02 apresentou concentração para o composto Benzeno acima do valor orientador da resolução CONAMA 420/09, as demais amostras apresentaram concentrações, para todos os compostos analisados, abaixo dos valores orientadores da legislação vigente e dos SSTL's calculados para a área. Os resultados podem ser visualizados no anexo III e a pluma de contaminação no anexo VI.

### 6.3 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO POR SISTEMA MPE

Os três casos em estudos sofreram remediação por sistema MPE automático, entretanto a eficiência da descontaminação foi diferente em cada caso. A tabela 9 resume as características dos sistemas MPE em cada um dos 3 casos.

**Tabela 9: Características dos Sistemas MPE**

Empreendimento	Início da operação	Tempo de operação	Término da Operação	Quantidade de poços extraídos	Contaminação
Posto Paraná	abril de 2009	9 meses	janeiro de 2010	5 poços	Fase vapor Fase livre Fase dissolvida
Posto Santa Catarina	março de 2007	7 meses	outubro de 2007	6 poços	Fase vapor Fase dissolvida Fase adsorvida
Posto Rio Grande do Sul	maio de 2005	3 anos e 8 meses	maio de 2009	10 poços por 3 anos/4 poços por 8 meses	Fase vapor Fase livre Fase dissolvida Fase adsorvida

**Fonte: O autor**

O sistema MPE atua mais eficientemente na descontaminação de áreas compostas por solo argilo-arenoso, com condutividade hidráulica variando de  $K=10^{-3}$  a  $K=10^{-5}$  cm/s (USEPA,1996). Os solos encontrados nos Postos Paraná e Santa Catarina possuem textura arenosa e o coeficiente de condutividade hidráulica

enquadra-se no intervalo acima citado, já o solo encontrado no Posto Rio Grande do Sul apresenta uma maior quantidade de argila e a condutividade hidráulica é da ordem de  $10^{-6}$ , este fato pode ter contribuído para a menor eficiência da remediação neste posto. Em solos argilosos a movimentação do contaminante no subsolo é mais lenta e a adsorção é mais forte, o que retarda a extração dos mesmos (EPA, 1999). Com relação a porosidade tanto total quanto efetiva, foram encontrados valores muito semelhantes nos três casos, não sendo possível atribuir alguma influência na comparação da eficiência nos processos de remediação.

Uma das funções do método MPE é conter tanto a evolução quanto o deslocamento da pluma pela aplicação de vácuo (EPA, 1999). Visualizando a evolução das plumas de contaminação de benzeno (anexos IV, V e VI), percebeu-se que nos três casos a pluma não apenas diminuiu como também não se movimentou em nenhuma direção, nem mesmo na direção do fluxo das águas subterrâneas, implicando que o vácuo aplicado foi suficiente para direcionar o fluxo das águas para os poços de extração. Desta forma o gradiente hidráulico e a velocidade do fluxo das águas subterrâneas não influenciaram na eficiência da remediação em nenhum dos três casos.

A distância entre a bomba a vácuo e os poços de extração, a quantidade de poços de extração e o nível d'água influenciam no vácuo aplicado e consequentemente na eficiência de extração da contaminação, uma vez que quanto maior a malha de extração maior é a perda de vácuo nas linhas de extração (USACE, 1999). O nível d'água médio dos poços de extração do posto Rio Grande do Sul é um pouco mais baixo, principalmente no poço PE-10, o qual chega a 5,0 m, além disso, a quantidade de poços de extração é maior do que nos outros dois casos. Comparando a malha de linhas de extração dos três sistemas, verificou-se que ela é maior no Posto Rio Grande do Sul, seguido do Posto Paraná e a menor malha é encontrada no Posto Santa Catarina em decorrência da menor área do estabelecimento e de contaminação. Isto indica que a perda de vácuo no sistema do Posto Rio Grande do Sul é maior do que nos outros dois casos, o que também pode ter prejudicado a eficiência na descontaminação deste site.

As ocorrências de falhas operacionais têm papel importante na eficiência da descontaminação de uma determinada área, de nada adianta remediar uma área se os vazamentos continuarem a ocorrer. Dentre os três empreendimentos o Posto Santa Catarina era o único desativado e por consequência a descontaminação não

foi prejudicada por falhas de operação ou ocorrência de novos aportes de contaminação. Já os postos Paraná e Rio Grande do Sul estavam em operação durante a remediação da área, no Posto Paraná não foram relatados problemas operacionais considerados significantes para influenciar na remediação, no entanto no Rio Grande do Sul foram relatados vazamentos de diesel no filtro de diesel próximo ao PE-10, canaletas de drenagem oleofílicas entupidas causando vazamento de água para piso impermeável, manchas de óleo na área de troca de óleo, vazamento de água na caixa separadora água-óleo do estabelecimento, armazenamento inadequado de óleo automotivo usado, infiltração de produto no poço de captação. Todos esses problemas operacionais podem ter acarretado novos aportes de contaminação e conseqüentemente afetado na eficiência da descontaminação da área.

A dimensão da contaminação e as fases que se encontram os contaminantes são fundamentais na projeção do sistema MPE como também na eficiência da redução desta contaminação (USACE, 1999). Dentre os três empreendimentos estudados a maior contaminação foi encontrada no Posto Rio Grande do sul, seguido pelo Posto Paraná e a menor contaminação foi encontrada no Posto Santa Catarina, por isso era esperado que a remediação no Posto Rio Grande do Sul fosse a mais demorada dentre as três estudadas. A contaminação no posto Rio Grande do sul além de apresentar a maior área de abrangência ela também está distribuída em todas as quatro fases analisadas (vapor, dissolvida, livre e residual). As áreas das plumas e sua evolução com a operação do sistema de remediação podem ser visualizadas na tabela 10.

**Tabela 10: Evolução das áreas das plumas de contaminação durante a remediação**

(continua)

STATUS DA REMEDIAÇÃO	PLUMA DE VOC (m <sup>2</sup> )	PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO (m <sup>2</sup> )*	PLUMA DE FASE LIVRE (m <sup>2</sup> )	PLUMA DE FASE RESIDUAL NO SOLO (m <sup>2</sup> )
<b>ANTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	384,4	410,68	113,53	0
<b>POSTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	NR	240,65	0	NR
<b>POSTERIOR AO MONITORAMENTO PÓS REMEDIAÇÃO</b>	NA	410,68	0	NR

**Tabela 10: Evolução das ares das plumas de contaminação durante a remediação**

(conclusão)

STATUS DA REMEDIAÇÃO	PLUMA DE VOC (m <sup>2</sup> )	PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO (m <sup>2</sup> )*	PLUMA DE FASE LIVRE (m <sup>2</sup> )	PLUMA DE FASE RESIDUAL NO SOLO (m <sup>2</sup> )
<b>POSTO SANTA CATARINA</b>				
<b>ANTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	36,15	259,2	0	145,21
<b>POSTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	NR	151,3	0	NR
<b>POSTERIOR AO MONITORAMENTO PÓS REMEDIAÇÃO</b>	NR	75,55	0	NR
<b>POSTO RIO GRANDE DO SUL</b>				
<b>ANTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	1132,53	896,3	314,22	305,14
<b>POSTERIOR A REMEDIAÇÃO</b>	NR	822,88	0	NR
<b>POSTERIOR AO MONITORAMENTO PÓS REMEDIAÇÃO</b>	NR	209,08	88,38	NR

Nota: (NA) Não realizado; (\*) Pluma baseada nos poços que apresentaram concentração de Benzeno acima de 5µg/L

Fonte: O autor

Com relação a contaminação por fase livre, o Posto Paraná apresentou apenas um poço com variação de 2,0 a 3,0 cm, entretanto em 20 dias de remediação a fase livre foi totalmente removida e não voltou a aparecer, o que demonstra que a contaminação era pontual e o solo não apresentava contaminação residual e não atuou como fonte secundária de fase livre, neste caso o sistema MPE se mostrou muito eficiente na remoção de fase livre.

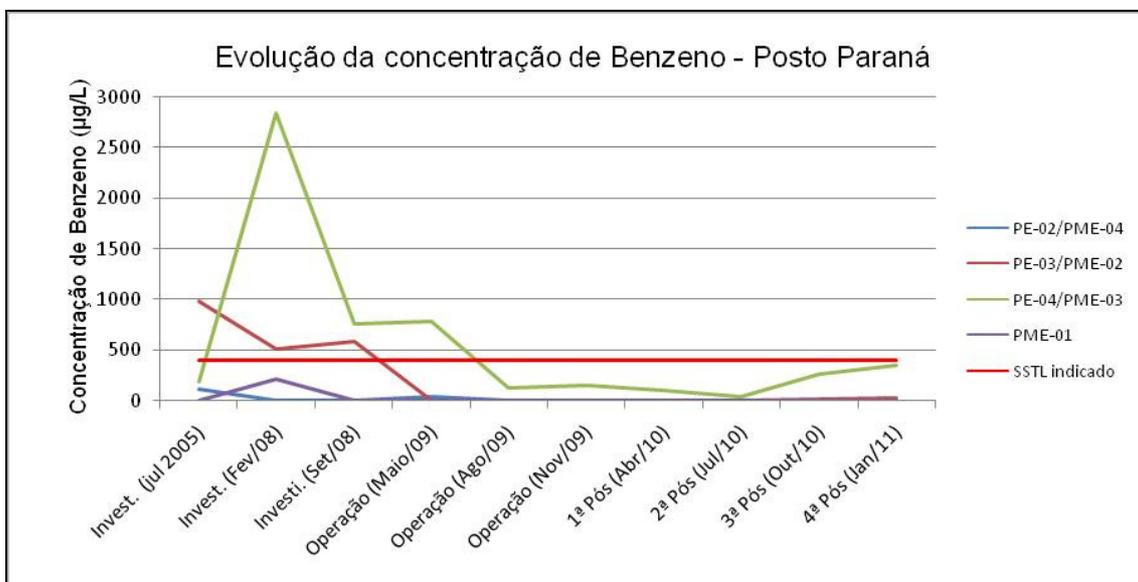
Silva (2009) avaliou a remoção de fase livre em dois postos revendedores de combustíveis por sistema MPE, em um dos estabelecimentos a pluma de fase livre possuía uma área de aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup> e a espessura em um dos poços chegou a atingir aproximadamente 78 cm, com a operação do sistema toda a fase livre foi removida em um ano, já no segundo empreendimento estudado a pluma de fase livre tinha uma área de 40 m<sup>2</sup> e em 16 meses 99% da fase livre foi removida. No posto Rio Grande do Sul a espessura de fase livre chegou a atingir 49 cm e a pluma era de aproximadamente 621,3 m<sup>2</sup>, três anos e oito meses de operação não foram suficientes para remover a fase livre nos poços do empreendimento. Para melhorar a eficiência da remediação em 2008 o antigo sistema MPE automático foi substituído por um MPE móvel com o intuito de focar a remediação nos poços que apresentavam fase livre, durante a substituição a remediação ficou paralisada por quatro meses. Com a paralisação no bombeamento notou-se o reaparecimento da

fase livre no PE-10 com uma espessura de 49,0 cm. Este reaparecimento foi explicado por Silva (2009) e ocorre pois a operação do sistema causa o rebaixamento do aquífero e remove a fase livre presente na água subterrânea, no entanto ainda existe contaminação na fase residual do solo. Com o desligamento do sistema, o aquífero retorna ao seu nível inicial e a contaminação existente no solo acaba sendo carregada para a água subterrânea, ou seja, o solo atua como fonte secundária de fase livre. A fase livre nos poços do empreendimento chegou a ser removida no Posto Rio Grande do Sul, entretanto em virtude de novos aportes de contaminação ela voltou a ser relatada um ano e meio depois de finalizado o bombeamento, porém este retorno ocorreu em um poço que nunca havia apresentado contaminação anteriormente.

Dentre todos os compostos analisados nas amostragens de água subterrânea (BTEX e PAH) o composto benzeno foi o que com mais frequência apresentou concentrações acima dos valores orientadores da legislação e também dos Níveis Alvos determinados nas análises de risco, por isso esse composto tem papel fundamental e influência direta no tempo de remediação de uma determinada área. Neste estudo foi considerado que a contaminação de benzeno ocorre quando a concentração ultrapassa 5 µg/L (CONAMA 420/09). O Posto Paraná apresentou redução aproximada de 41,4% na área de contaminação de benzeno durante a operação do sistema (área anterior e posterior a remediação), e uma redução 92% na concentração média de benzeno nos poços PE-03/PME-02 e PE-04/PME-03. No posto Santa Catarina a redução média na concentração de benzeno nos seis poços de extração foi de aproximadamente 97,0%, essa melhor eficiência pode ter ocorrido, pois apesar de apresentar uma maior quantidade de poços contaminados, a área contaminada no posto Santa Catarina era menor do que a área contaminada do Posto Paraná, já a redução na área da pluma foi menor no Posto Santa Catarina (37,4% - área anterior e posterior a remediação) pois havia poucos poços delimitando a pluma de contaminação, então a pluma acabou sendo delimitada pelos poços mais afastados, tornando-a maior. Outro fato a destacar é que o Posto Santa Catarina nunca apresentou fase livre, o que indica que a contaminação ocorrida possui proporções bem menores do que os outros dois casos estudados.

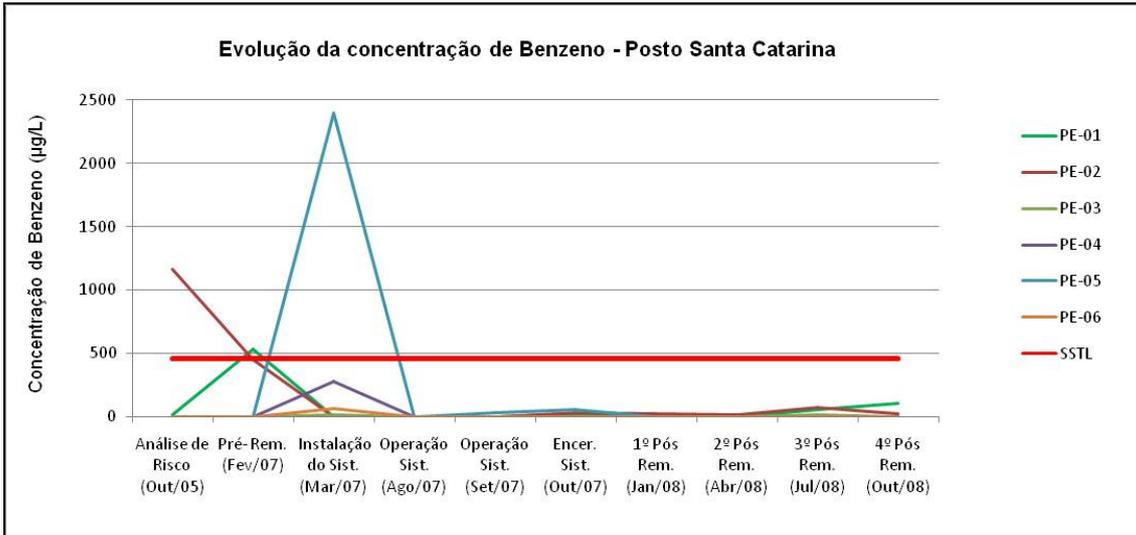
O posto Rio Grande do Sul com exceção do poço PE-07 foi o que apresentou as menores concentrações de benzeno e a pluma de fase dissolvida esteve aliada a pluma de fase livre em 7 das 16 campanhas analíticas. A área da pluma de fase dissolvida foi maior do que a encontrada nos outros dois casos, pois os poços contaminados estavam localizados muito longe uns dos outros e muitos poços não eram coletados, o que dificultou a delimitação exata da pluma. Este também foi o motivo da pequena redução da pluma entre o período anterior e posterior a remediação, sendo esta de apenas 8,2%.

Verificou-se variação nas concentrações de benzeno após a paralisação do sistema de remediação (monitoramentos Pós Remediação) nos três casos. O aumento nas concentrações pode ocorrer tanto por novos aportes de contaminação, como por carreamento de hidrocarbonetos em fase residual retida no solo para a água subterrânea através da variação do nível d'água, já o declínio pode ocorrer pela atenuação natural (EPA, 1996). A variação de Benzeno nos três casos pode ser visualizados nos gráficos 3, 4 e 5.



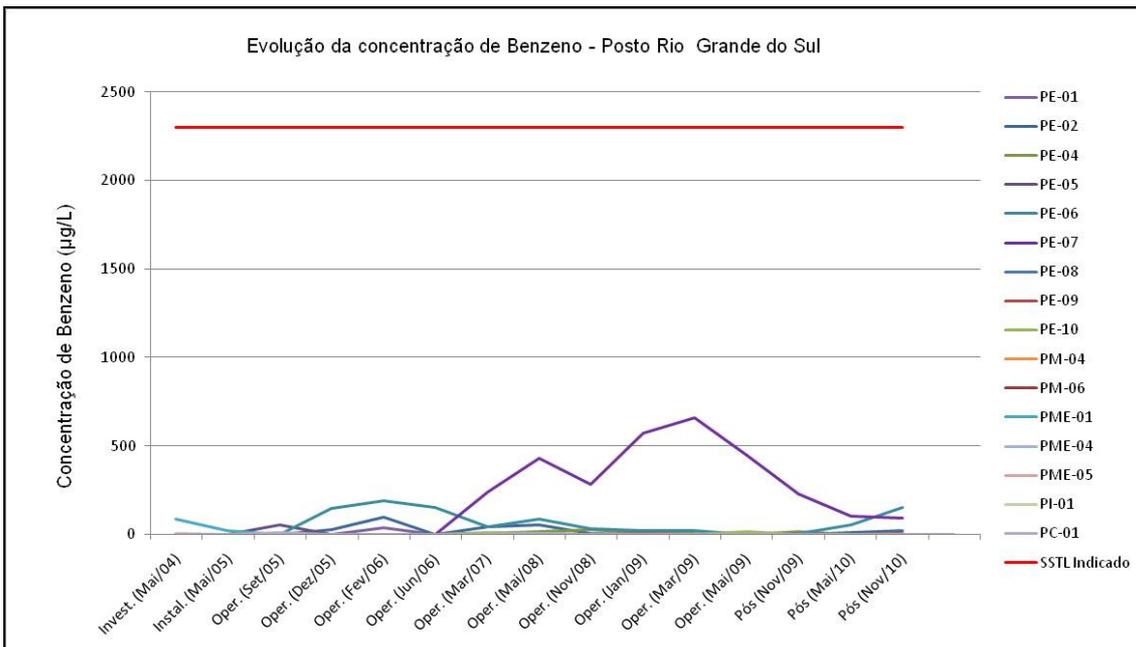
**Gráfico 3: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Paraná**

Fonte: O autor



**Gráfico 4: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Santa Catarina**

Fonte: O autor



**Gráfico 5: Evolução da concentração de Benzeno – Posto Rio Grande do Sul**

Fonte: O autor

A determinação de metas de remediação através da realização de uma análises de risco tem impacto fundamental no tempo de remediação das áreas contaminadas, é uma tentativa de racionalizar a utilização de recursos para a remediação e resguardar a saúde das populações expostas à contaminação

(FINNOT et al, 1997). As metas de concentração de BTEX e PAH a serem atingidas durante a remediação foram definidas por estudo de análise de risco nos três casos estudados. No caso do Posto Paraná, por exemplo, a remediação só pode ser finalizada em virtude da determinação de novos SSTL's menos restritivos. Comparando-se os SSTL's estabelecidos nas três áreas, percebe-se que no Posto Rio Grande do sul, a via de exposição considerada e aplicável é a menos restritiva e a que oferece menor risco a saúde humana em relação aos outros dois casos, porém a utilização de SSTL's como meta de remediação não ocasionou impacto na remediação, uma vez que a contaminação predominante era por hidrocarbonetos em fase livre e não em dissolvida. Já no Postos Santa Catarina e Paraná os SSTL's foram determinantes na finalização da remediação, caso as concentrações fossem comparadas com os valores orientadores da legislação vigente (Posto Santa Catarina: CONAMA 420/09; Posto Paraná: SEMA 21/11) a remediação teria que continuar, uma vez que em nenhum dos casos foi atingido o valor de 5µg/L de Benzeno em todos os poços, ou seja, a pluma de contaminação não foi totalmente removida.

Com a realização da Análise de Risco os níveis de concentração dos parâmetros BTEX e PAH a serem atingidos pela remediação tornam-se menos restritivo, desta forma a legislação local acaba não influenciando na eficiência no processo de descontaminação. Nos três casos estudados a legislação não teve influência na remediação, uma vez que as metas a serem atingidas foram definidas pelas análises de risco realizadas nos estabelecimentos e não pelos valores orientadores impostas pela legislação específica de cada estado.

## 7 CONCLUSÃO

O sistema MPE mostrou-se eficiente na descontaminação das três áreas estudadas, pois foi capaz de remover se não toda, boa parte da contaminação. Notou-se que alguns fatores exerceram grande influência para o sucesso da remediação como a magnitude da contaminação e a boa operação do empreendimento. Como era de se esperar quanto maior a contaminação maior o tempo despendido na remediação. A realização de análise de risco e a determinação de níveis alvos a serem atingidos (SSTL's) causaram grande impacto na duração da remediação dos casos em que a contaminação era por hidrocarbonetos em fase dissolvida.

Nos três casos estudados a legislação não teve influência na remediação, uma vez que as metas a serem atingidas foram definidas pelas análises de risco realizadas nos estabelecimentos e não pelos valores orientadores impostas pela legislação específica de cada estado.

Com relação às variáveis físicas, a condutividade hidráulica pode ter influenciado no sucesso da descontaminação. O solo do Posto Rio Grande do Sul a condutividade era menor do que nos outros dois casos o que pode ter contribuído para menor eficiência de remoção dos contaminantes, porém neste caso outros fatores foram mais significantes para o maior tempo despendido na remediação, como a maior área e magnitude da contaminação e os novos aportes de contaminação causados pela má operação do Posto.

Nos três casos percebeu-se que a pluma de contaminação apenas diminuiu como também não se movimentou em nenhuma direção, nem mesmo na direção do fluxo das águas subterrâneas, implicando que o vácuo aplicado foi suficiente para direcionar o fluxo das águas para os poços de extração. Desta forma o gradiente hidráulico e a velocidade do fluxo das águas subterrâneas não influenciaram na eficiência da remediação em nenhum dos três casos.

## 8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2010. Disponível em <[www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)>. Acesso em 07 de Maio de 2011.

\_\_\_\_\_. **Portaria n° 309/2001**. Disponível em <[www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)>. Acesso em 07 de Maio de 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E-1739-95 (Reapproved2002) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites.

\_\_\_\_\_. PS-104/1998 (Standard Guide for Risk-Based Corrective Action).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de permeabilidade em solos - Orientações para sua execução no campo**. 3 ed. São Paulo, Boletim n°.4, 35p 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13786:2005 versão corrigida 2009**. Posto de serviço - Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 6508:1984**. Determinação de massa específica de solo. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 6457:1986**. Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9813:1987**. Solo - Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego de cilindro de cravação - Método de ensaio. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 11 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9820:1997**. Coleta de amostras indeformadas de solos em furos de sondagem - Procedimento. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 11 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 13600:1996.** Determinação de teor de matéria orgânica no solo. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 13895:1997.** Construção de poços de monitoramento e amostragem. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15492:2007.** Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 10 de Outubro de 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15495-1:2007 versão corrigida 2009 .** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulosos Parte 1: Projeto e construção. Disponível em < <http://www.abnt.org.br> > Acesso em 11 de Outubro de 2011.

BALDWIN, Brett R. et al. **Enumeration of aromatic oxygenase genes to evaluate biodegradation during multi-phase extraction at a gasoline-contaminated site.** Journal of Hazardous Materials. Disponível em < [www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat) > Acesso em 25 de Setembro de 2011.

BOOPATHY, R. **Factors Limiting Bioremediation Technologies.** *Bioresource Technology*, v.74, p. 63-67, 2000

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N°518/2004.** Disponível em < [www.portal.saude.gov.br/portal/saude/default.cfm](http://www.portal.saude.gov.br/portal/saude/default.cfm) > Acesso em 05 de Maio de 2011.

\_\_\_\_\_. Presidência da República. **Lei N° 9.605/1998.** Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm) > Acesso em 05 de Maio de 2011.

BRITO, Flávia do V. et al. **Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil.** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.portalabpg.org.br>> Acesso em 15 de Setembro de 2011.

CÂMARA Ambiental do Comércio e derivados de Petróleo do Estado de São Paulo- Grupo de Avaliação de Risco. **Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos:** Procedimentos. São Paulo, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão da Diretoria Nº 195/2005/E** – Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo> > Acesso em 05 de Maio de 2011.

\_\_\_\_\_. **Decisão da Diretoria Nº 010/2006/C** – Procedimentos para o Licenciamento de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo> > Acesso em 10 de Agosto de 2011

\_\_\_\_\_. **Decisão da Diretoria Nº 263/2009/P** – Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo> > Acesso em 10 de Outubro de 2011

\_\_\_\_\_. **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo, 2001.

\_\_\_\_\_. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI**. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo> > Acesso em 05 de Maio de 2011.

\_\_\_\_\_. **Relatório de atendimento a acidentes ambientais em postos e sistemas retalhistas de combustíveis 1984 a 2004**, 2005. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em 28 de Abril de 2011.

\_\_\_\_\_. **Relatório de emergências químicas atendidas pela CETESB em 2009, 2010**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em 29 de Abril de 2011.

\_\_\_\_\_. **Texto Explicativo: Relações de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo**, 2010. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em 29 de Abril de 2011.

\_\_\_\_\_. **Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC)**. São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2.ed. - São Paulo, 2001

\_\_\_\_\_. **Capítulo X - Investigação para Remediação**. São Paulo, 2007

CONNOR, John A. et al. **Parameter Estimation Guidelines for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Modeling**. NGWA Petroleum Hydrocarbons Conference. Houston, Texas, 1996. Disponível em < <http://www.gsi-net.com/files/papers/param.pdf> > Acesso em 25 de Outubro de 2011.

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 30 de Março de 2011.

\_\_\_\_\_. **Resolução Nº 273/2000** - Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300> > Acesso em 30 de Março de 2011.

COSAN. **Manual de remediação**. 1ª edição. São Paulo/SP, 2009.

COUTINHO, Rômulo C. P. et al. **Técnicas para Remediação de Aquíferos Contaminados por Vazamentos de Derivados de Petróleo em Postos de Combustíveis**. São Paulo, 2007. Disponível em: < [http://www.abrh.org.br/novo/xvii\\_simp\\_bras\\_rec\\_hidric\\_sao\\_paulo\\_053.pdf](http://www.abrh.org.br/novo/xvii_simp_bras_rec_hidric_sao_paulo_053.pdf) > Acesso em 20 de Setembro de 2011.

CZAPLA, Ana Carolina. **Remediação de Solo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

DONAIRE, Patrícia PulciniRosvald. **Tratamento de água subterrânea contaminada com BTEX utilizando fotocatalise heterogênea**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2007.

EDUARDO, Carlos. **Avaliação de risco toxicológico e aspectos metodológicos da abordagem RBCA – Risk-based Corrective Action**, 2010. Disponível em < <http://www.intertox.com.br> > Acesso em 25 de Outubro de 2011

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **How to Effectively Recover Free Product at Leaking Underground Storage Tank Sites: A Guide for State Regulators**. 1996.

\_\_\_\_\_. **Multi-Phase Extraction: State-of-the-Practice**. 1999.

\_\_\_\_\_. **Fact sheet for the RBCA Tool Kit for Chemical Releases**. 2003.

FETTER, C.W. **Contaminant Hidrogeology**. 2.ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

FINOTTI, Alexandra R. et al. **Uso da ação corretiva baseada no risco - RCBA – nos Casos de contaminação de Solos e Águas Subterrâneas por gasolina no Brasil**. 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Foz do Iguaçu: ABES p 2453-2464 1997

FREITAS, Marcos A. de F. et al. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Um Avanço no Conhecimento das Águas Subterrâneas no Estado**. Porto Alegre, [s.d.]. Disponível em < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_hidro\\_rs.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidro_rs.pdf) > Acesso em 20 de Outubro de 2011.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa Nº. 01/2008 versão julho/2011**. Disponível em <<http://www.fatma.sc.gov.br>> Acessado em 01 de Maio de 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Portaria Nº 43/2009**. Porto Alegre, 2009

HIGASHI, Rafael. R. et al. **Análise geotécnica preliminar de São Francisco do Sul como subsídio ao estudo de impactos ambientais utilizando sistema de informações geográficas**. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2003, Belo Horizonte. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte: 2003.

HVORSLEV, M. J. **Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations**, Bull. nº. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50, 1951.

MARANHÃO, Denise et al **Procedimentos de Investigação e Avaliação da Contaminação em postos de Combustíveis, utilizando metodologias de análise de risco: Aplicação da ACBR em Estudo de caso na RMS**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Gerenciamento de Tecnologias Ambientais e Tecnologias - Universidade Federal da Bahia, 2007.

NOBRE, Manoel M. et al. **Remediação de Solos** - Revista Química e Derivados, 2003. Disponível em < <http://www.quimicaederivados.htm> > Acesso em 17 de Setembro de 2011.

NETTO, Cláudia N. et al. **Estudo qualitativo de segurança em postos revendedores de combustíveis**. Dissertação (Especialista em Engenharia de

Segurança no Trabalho) – Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

OLIVEIRA, Aline P. de et al. **Spodosols pedogenesis under barreiras formation and sandbank environments in the south of Bahia**, Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34 n. 3. Viçosa 2010.

OLIVEIRA, Luiz A. et al. **Estudo comparativo entre Condutividade Hidráulica e Textura de Latossolos Arenosos na Micro-Bacia do Córrego Pirapitinga, Município de Ituiutaba/MG**. [s.d]. Disponível em < [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo3/060.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/060.pdf) > Acesso em 20 de Setembro de 2011.

SCHNEIDER, Marcio R. **Intemperismo de fontes de contaminação em aquíferos impactados por derramamentos de gasolina e álcool e a influência sobre o risco à saúde humana**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: < <http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0241.pdf> > Acesso em 18 de Agosto de 2011.

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

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução Nº 021/2011**. Disponível em < <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos> > Acesso em 15 de Abril de 2011.

SILVA, Aurora et al. **Use of solvent extraction to remediate soils contaminated with hydrocarbons**, Journal of Hazardous Materials, vol. 124, p. 224–229, 2005. Disponível em < <http://www.mendeley.com/research/solvent-extraction-remediate-soils-contaminated-hydrocarbons/> > Acesso em 18 de Outubro de 2011.

SILVA, Palloma Ribeiro da. **Avaliação de processos de caracterização e remediação de passivos ambientais de contaminação por hidrocarbonetos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia na Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009. Disponível em < [http://www.ppgec.feis.unesp/teses/2009/palloma\\_final.pdf](http://www.ppgec.feis.unesp/teses/2009/palloma_final.pdf) >. Acesso em 17 de Outubro de 2011.

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

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEER. **Multi-Phase Extraction - Engineer Manual** - Washington D.C., 1999

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ground Water Issue: Light Nonaqueous Phase Liquids**. Washington, D.C, 1995.

\_\_\_\_\_. **UST Program Facts. Office of solid waste and emergency response**, Washington, D.C, 2007.

VALENTIM, Leonardo A. **Boas Práticas de Laboratório: Aplicação para Avaliar o Impacto Ambiental Causado pelo Derrame de Derivados de Petróleo**. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2006

VARGAS, Rosane M. de A. **Unidade 6 - Permeabilidade dos Solos** - Notas de Aula: Mecânica dos Solos - Universidade Federal Rural Do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em < [www.ufrj.br](http://www.ufrj.br) > Acesso em 13 de Outubro de 2011.

## **ANEXOS**

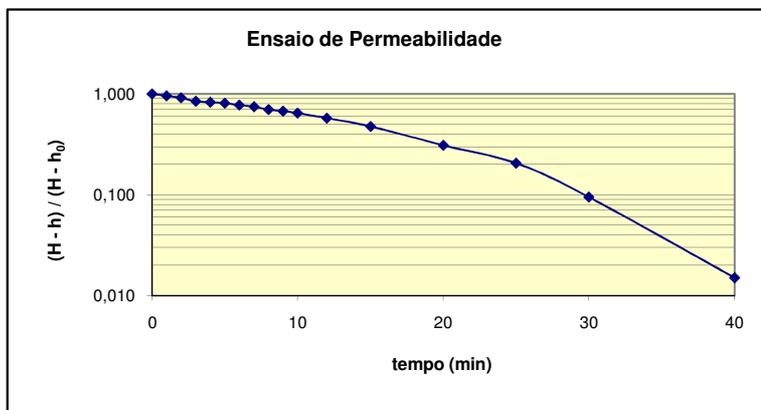
**ANEXO I**  
**ENSAIOS DE PERMEABILIDADE "SLUG TEST"**

## POSTO PARANÁ

Ensaio de Permeabilidade n. 01		<b>PM-01</b>	Nível Estático (H) Nível Dinâmico (Ho)	<b>Ensaio realizado em : 28/08/2008</b>
H (m) = 0,85		H <sub>0</sub> (m) = 2,85		
DURAÇÃO DO TESTE		NÍVEL D'ÁGUA (h)	Diferença do Nível Estático e o Nível Dinâmico (H - h)	Relação entre o Nível Dinâmico e o Nível Estático (H - h) / (H - Ho)
minutos	segundos	metros	metros	metros
0	0	2,85	-2,00	1,000
1	60	2,76	-1,91	0,955
2	120	2,68	-1,83	0,915
3	180	2,54	-1,69	0,845
4	240	2,50	-1,65	0,825
5	300	2,47	-1,62	0,810
6	360	2,40	-1,55	0,775
7	420	2,34	-1,49	0,745
8	480	2,25	-1,40	0,700
9	540	2,20	-1,35	0,675
10	600	2,14	-1,29	0,645
12	720	2,00	-1,15	0,575
15	900	1,80	-0,95	0,475
20	1200	1,47	-0,62	0,310
25	1500	1,26	-0,41	0,205
30	1800	1,04	-0,19	0,095
40	2400	0,88	-0,03	0,015

### Dados do Poço de Monitoramento

Raio Poço	r	2,540	cm
Raio da Sond	R	5,080	cm
Compr. filtro	L	295,000	cm



### Cálculo do Coeficiente de Condutividade Hidráulica

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2 L T_0}$$

#### Resultados :

K = 1,22E-04 cm/s
K = 1,05E-01 m/dia
T <sub>0</sub> = 6,087 minutos

Onde:

K - condutividade hidráulica  
r - raio do revestimento do poço

R - raio da sondagem

L - comprimento do filtro

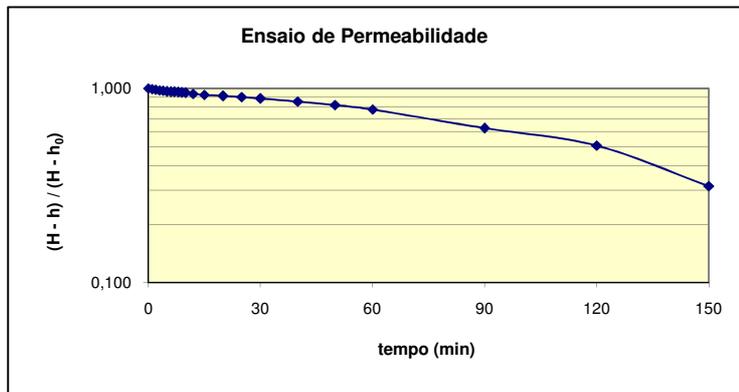
T<sub>0</sub> - tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial (H)

## POSTO PARANÁ

Ensaio de Permeabilidade n. 02		<b>PM-05</b>	Nível Estático (H) Nível Dinâmico (H <sub>0</sub> )	<b>Ensaio realizado em : 28/08/2008</b>
H (m) = 1,39		H <sub>0</sub> (m) = 3,97		
DURAÇÃO DO TESTE		NÍVEL D'ÁGUA (h)	Diferença do Nível Estático e o Nível Dinâmico (H - h)	Relação entre o Nível Dinâmico e o Nível Estático (H - h) / (H - H <sub>0</sub> )
minutos	segundos	metros	metros	metros
0	0	3,97	-2,58	1,000
1	60	3,95	-2,56	0,992
2	120	3,93	-2,54	0,984
3	180	3,91	-2,52	0,977
4	240	3,90	-2,51	0,973
5	300	3,88	-2,49	0,965
6	360	3,87	-2,48	0,961
7	420	3,87	-2,48	0,961
8	480	3,86	-2,47	0,957
9	540	3,85	-2,46	0,953
10	600	3,84	-2,45	0,950
12	720	3,81	-2,42	0,938
15	900	3,78	-2,39	0,926
20	1200	3,75	-2,36	0,915
25	1500	3,72	-2,33	0,903
30	1800	3,68	-2,29	0,888
40	2400	3,60	-2,21	0,857
50	3000	3,51	-2,12	0,822
60	3600	3,40	-2,01	0,779
90	5400	3,00	-1,61	0,624
120	7200	2,70	-1,31	0,508
150	9000	2,20	-0,81	0,314

### Dados do Poço de Monitoramento

Raio Poço	r	2,540	cm
Raio da Sond	R	5,080	cm
Compr. filtro	L	396,000	cm



### Cálculo do Coeficiente de Condutividade Hidráulica

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2 L T_0}$$

#### Resultados :

K = 4,60E-06 cm/s
K = 3,97E-03 m/dia
T <sub>0</sub> = 128,660 minutos

Onde:

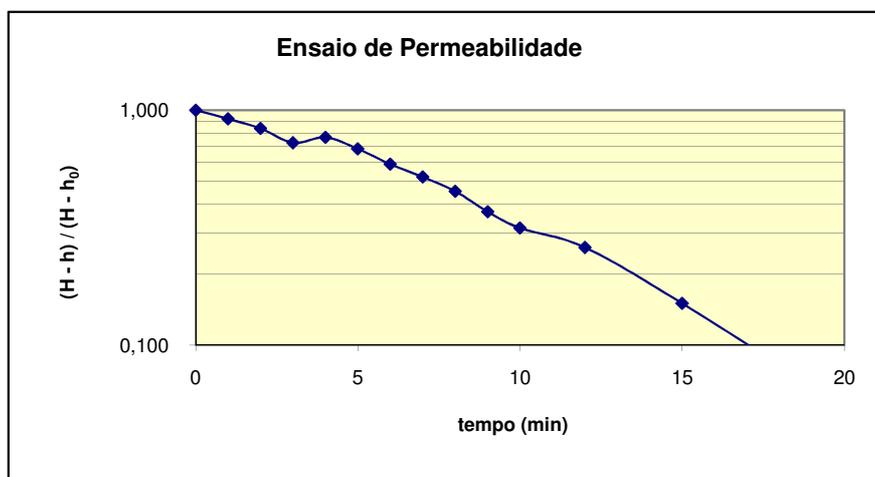
- K - condutividade hidráulica
- r - raio do revestimento do poço
- R - raio da sondagem
- L - comprimento do filtro
- T<sub>0</sub> - tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial (H)

**POSTO SANTA CATARINA**

Ensaio de Permeabilidade n. 01		PM-01	Nível Estático (H) : Nível Dinâmico (Ho):	Ensaio realizado em : 29/03/2007
H (m) = 1,85		H <sub>0</sub> (m) = 3,00		
DURAÇÃO DO TESTE		NÍVEL D'ÁGUA (h)	Diferença do Nível Estático e o Nível Dinâmico (H - h)	Relação entre o Nível Dinâmico e o Nível Estático (H - h) / (H - Ho)
minutos	segundos	metros	metros	metros
0	0	3,00	1,15	1,000
1	60	2,94	1,09	0,918
2	120	2,88	1,03	0,836
3	180	2,80	0,95	0,726
4	240	2,83	0,98	0,767
5	300	2,77	0,92	0,685
6	360	2,70	0,85	0,589
7	420	2,65	0,80	0,521
8	480	2,60	0,75	0,452
9	540	2,54	0,69	0,370
10	600	2,50	0,65	0,315
12	720	2,46	0,61	0,260
15	900	2,38	0,53	0,151
20	1200	2,31	0,46	0,055
25	1500	2,27	0,42	0,000

**Dados do Poço de Monitoramento**

Raio Poço	r	2,540	cm
Raio da Sond	R	5,080	cm
Compr. filtro	L	220,000	cm



**Cálculo do Coeficiente de Condutividade Hidráulica**

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2 L T_0}$$

Resultado :

K = 1,02E-04 cm/s
K = 8,84E-02 m/dia
T <sub>0</sub> = 9,00 minutos

Onde:

- K - condutividade hidráulica
- r - raio do revestimento do poço
- R - raio da sondagem
- L - comprimento do filtro
- T<sub>0</sub> - tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial (H)

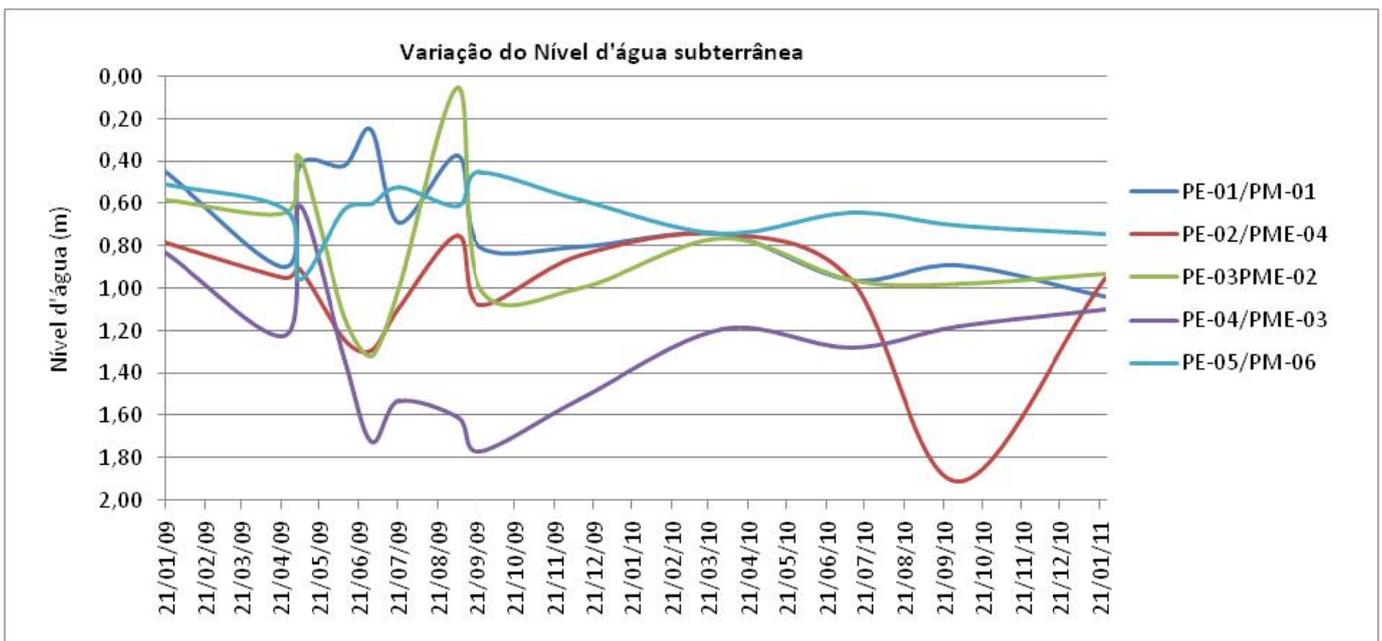
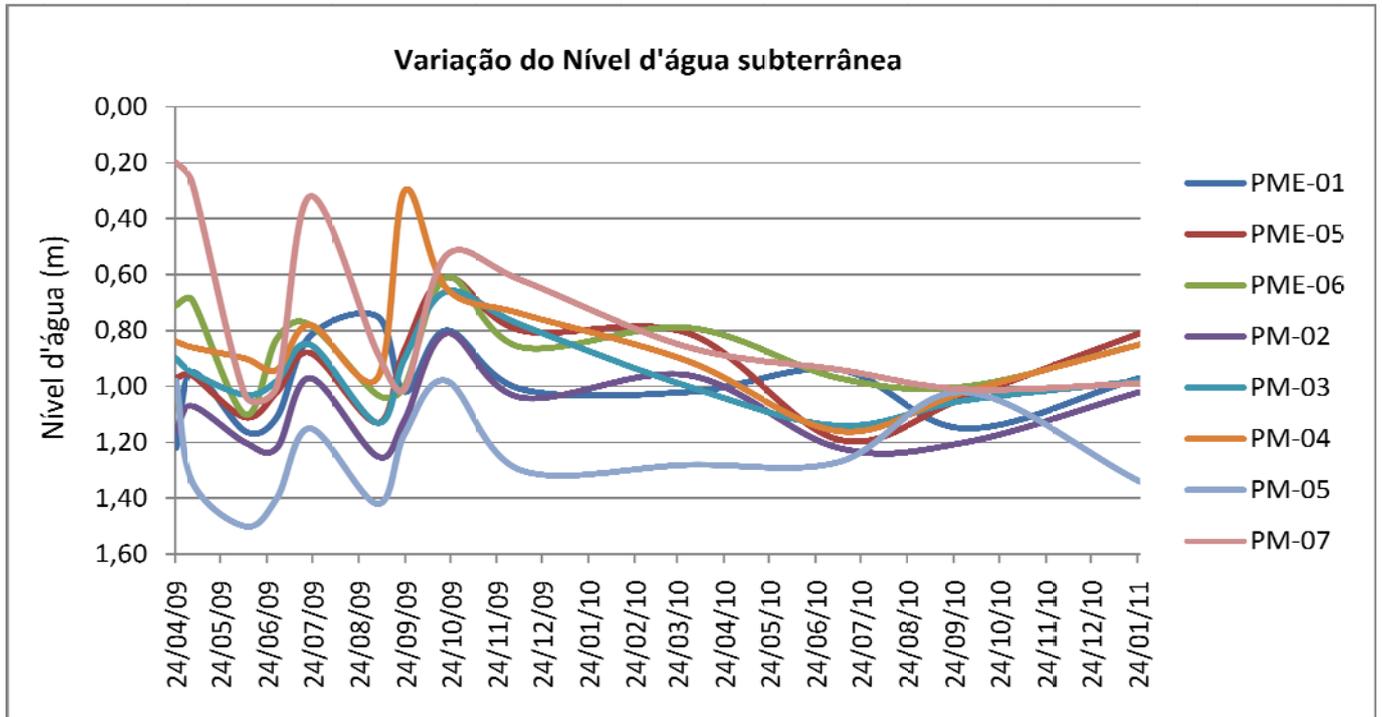


## **ANEXO II**

### **GRÁFICOS DE MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA E FASE LIVRE**

## POSTO PARANÁ

### GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

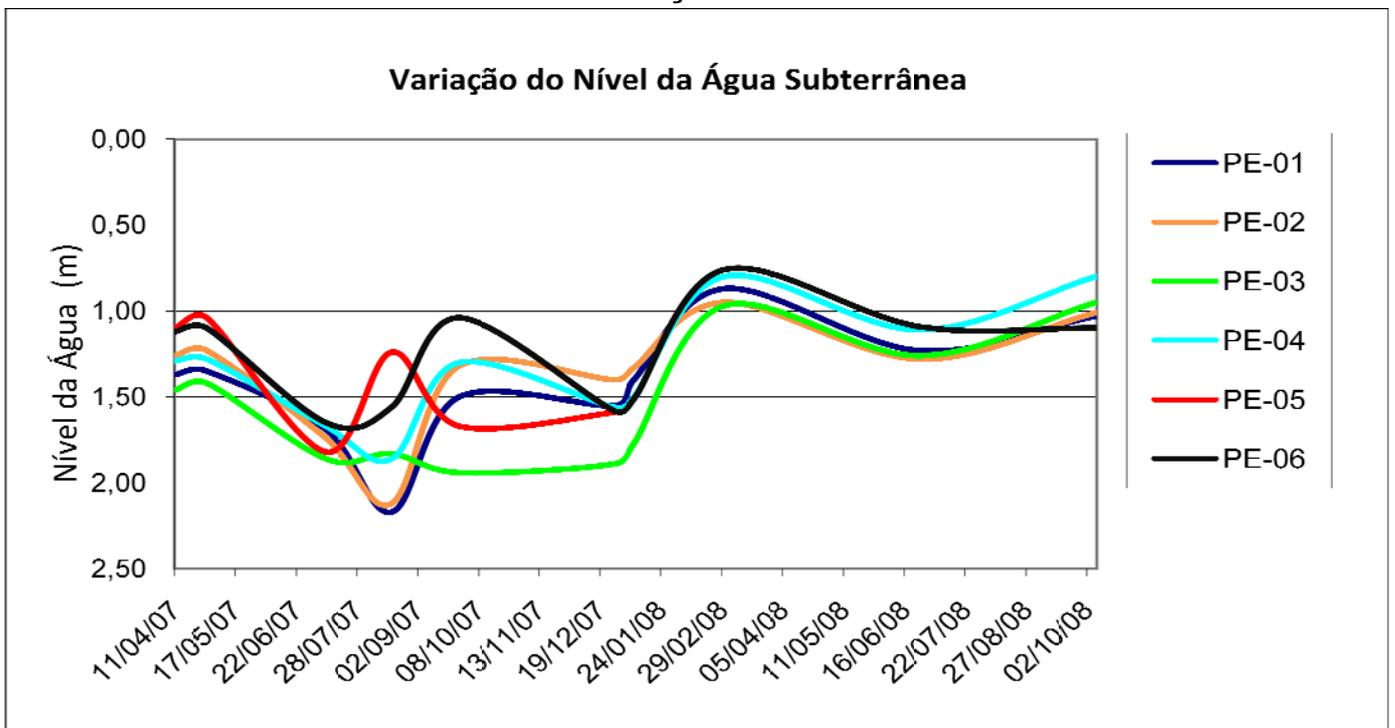


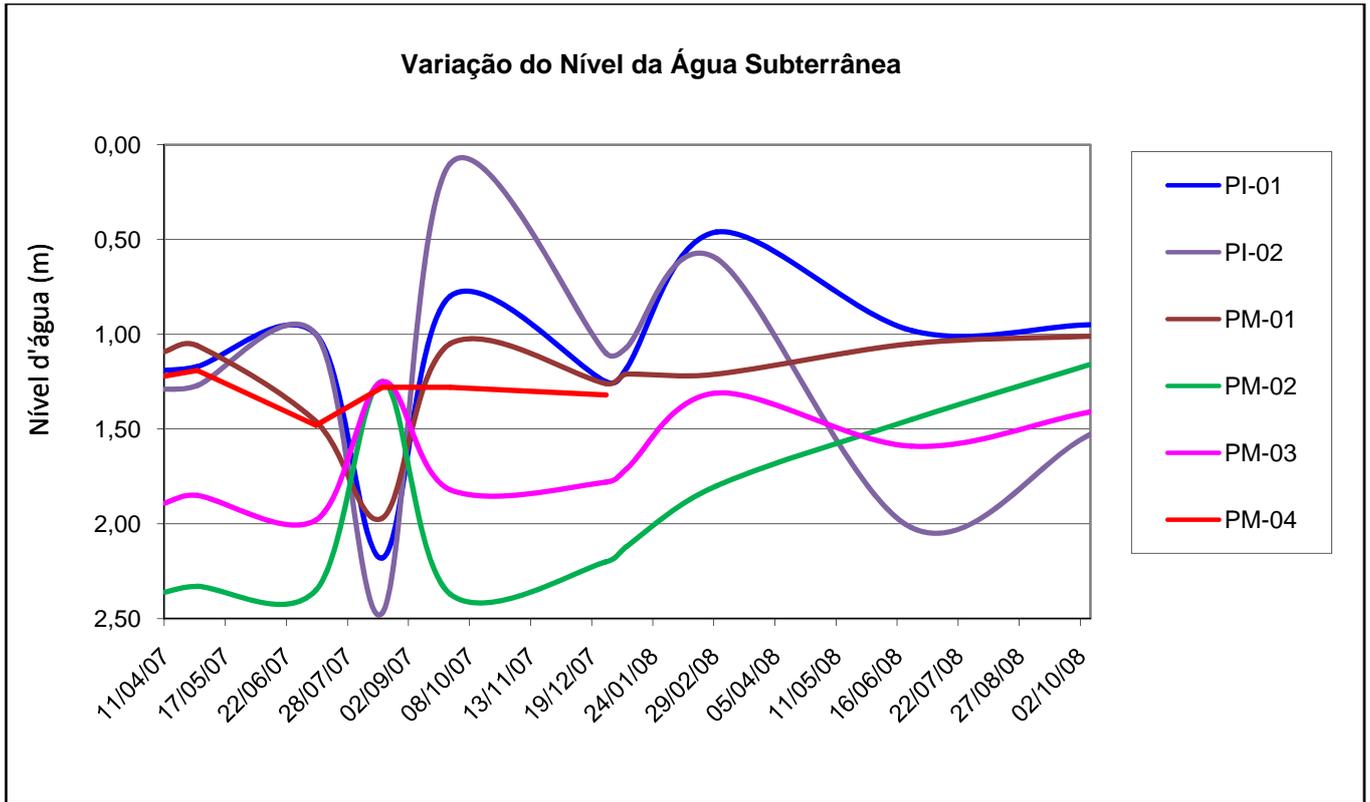
## GRÁFICO DE FASE LIVRE



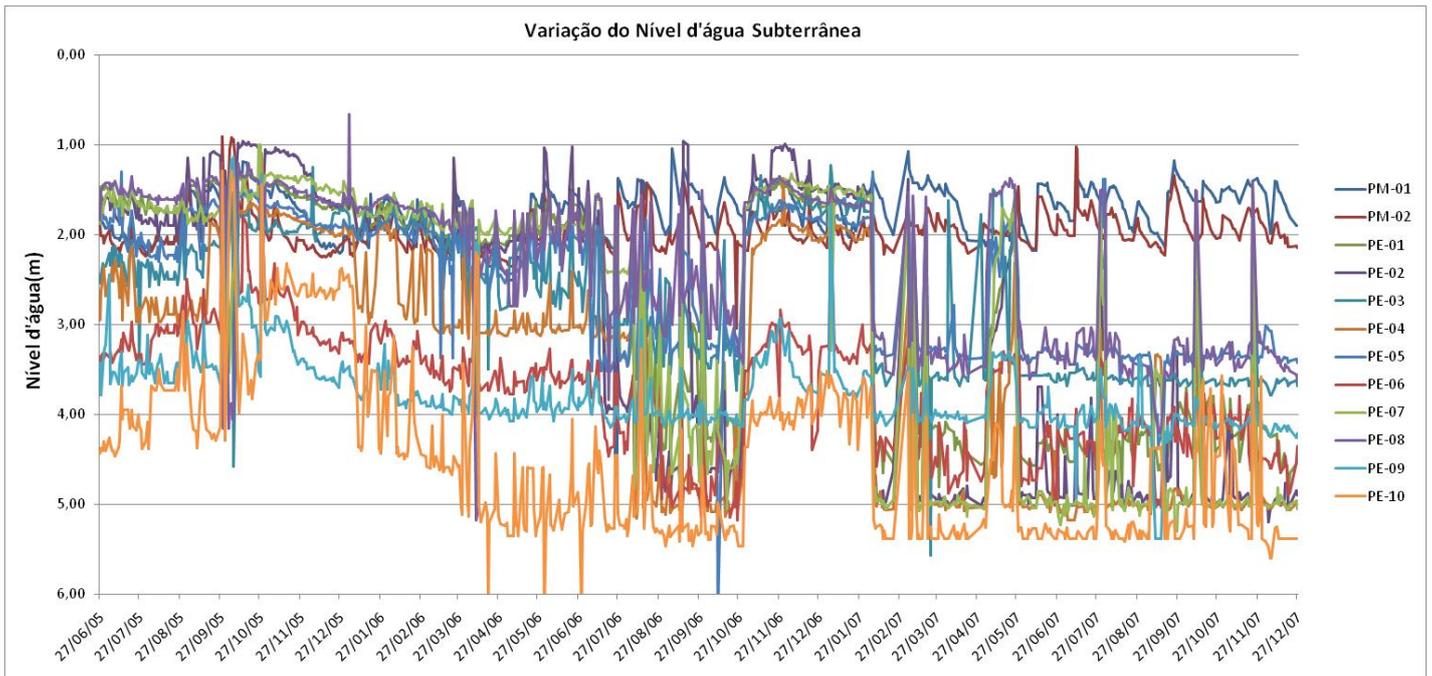
## POSTO SANTA CATARINA

### GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

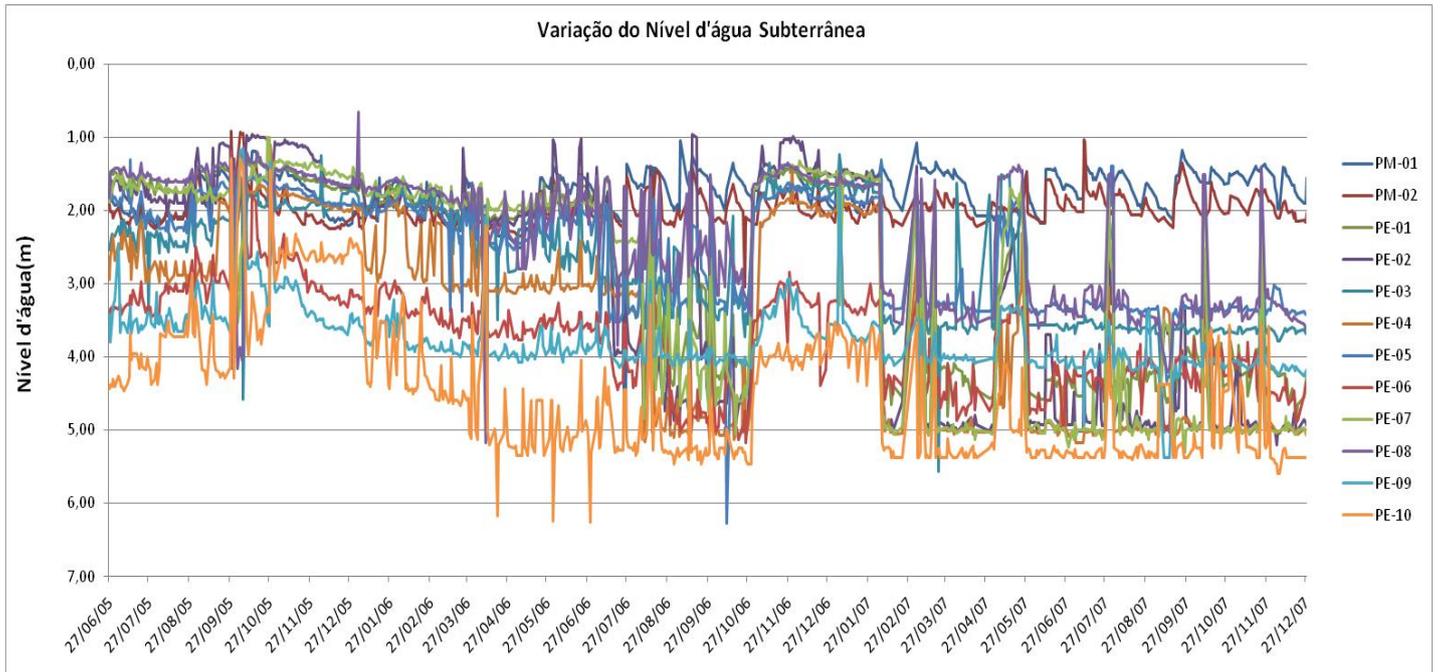




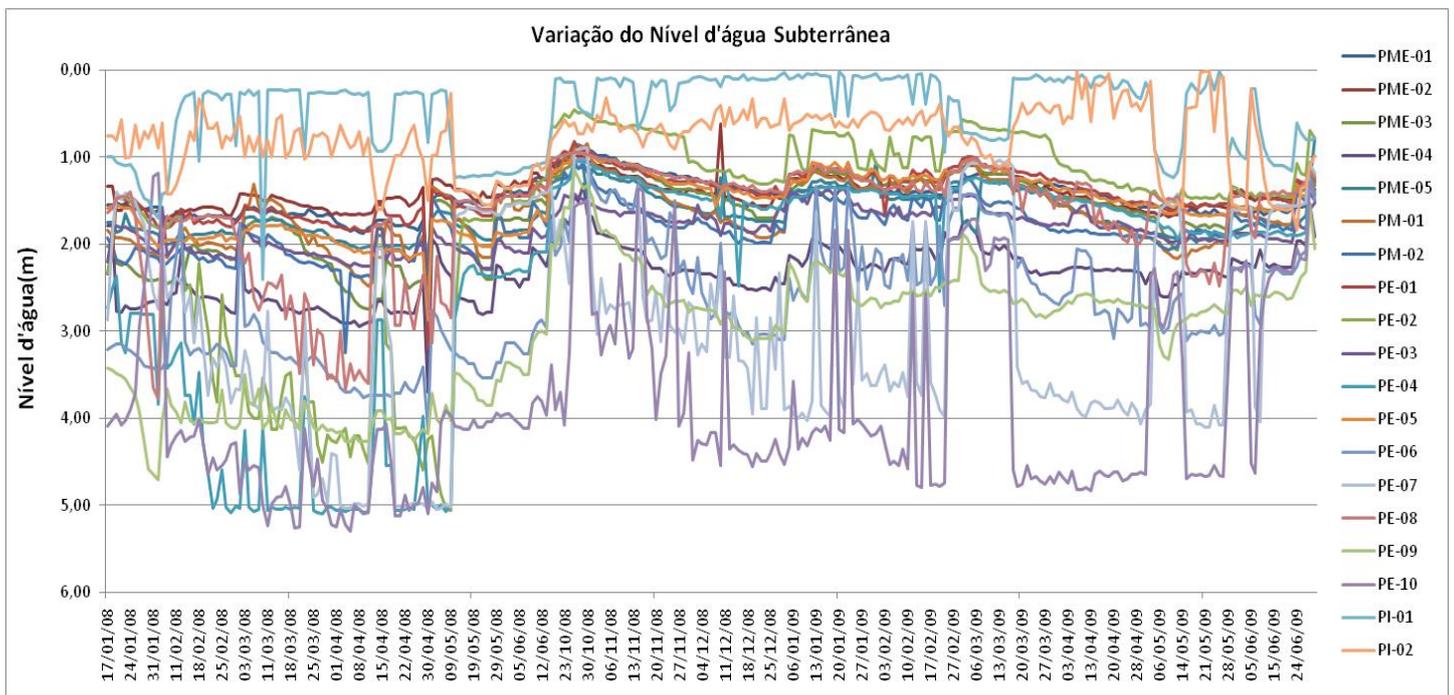
**POSTO RIO GRANDE DO SUL**  
**GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA**  
**(2005-2007 8h)**



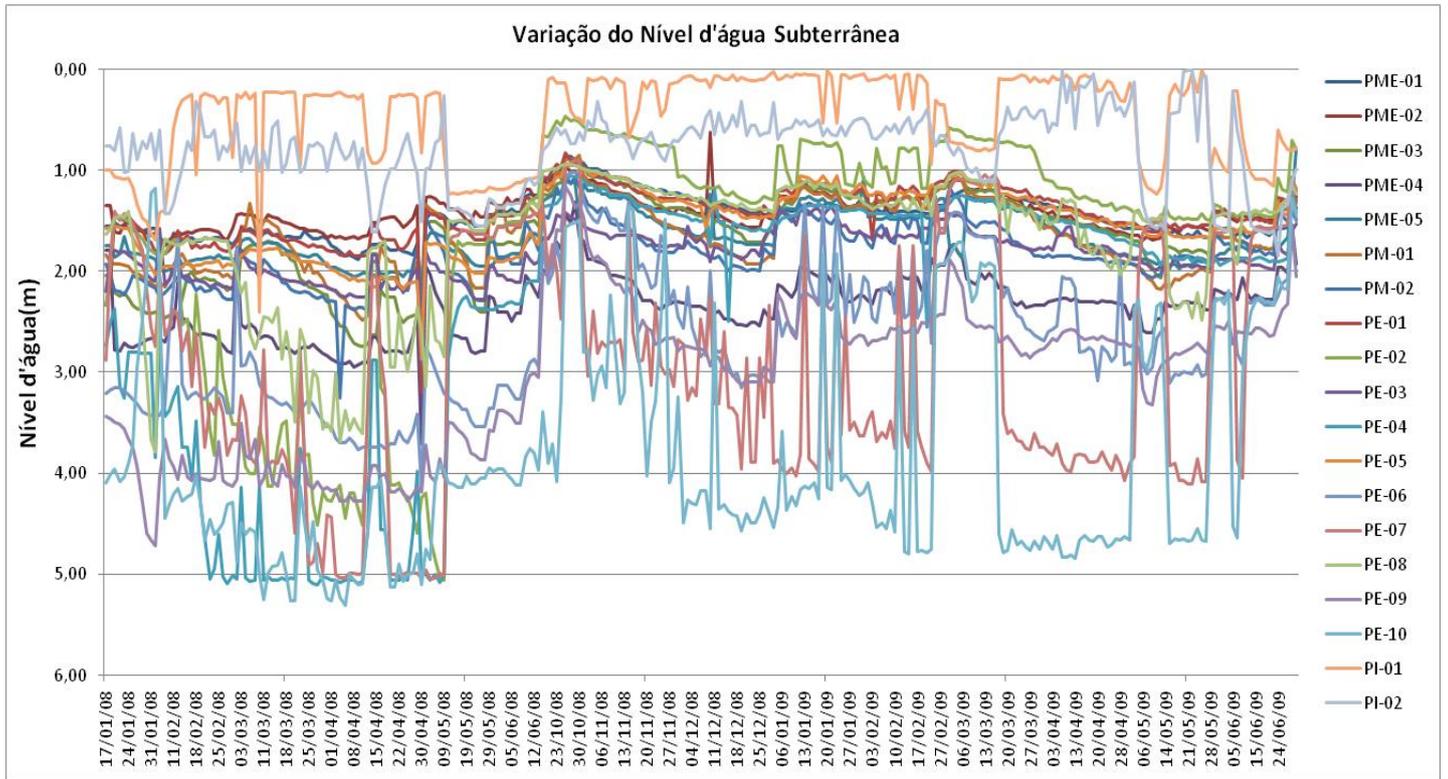
### (2005-2007 17h)



### (2008-2009 8h)

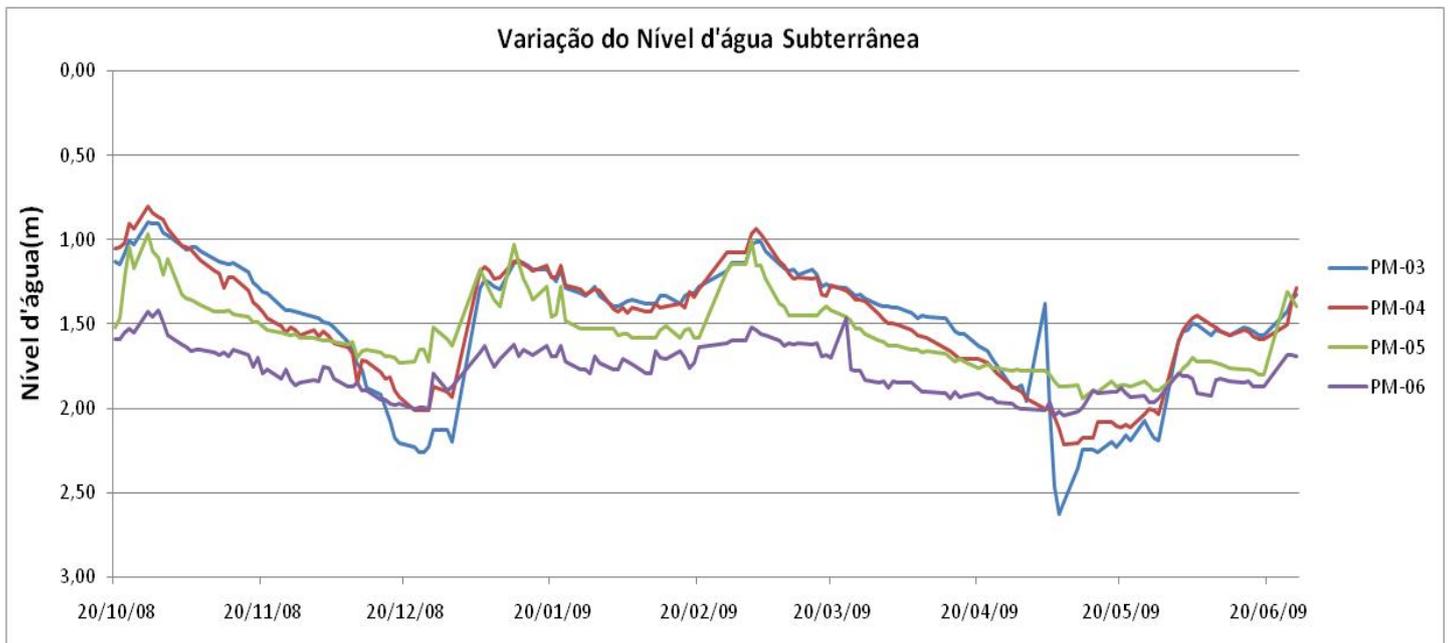


**(2008-2009 17h)**



**NOVOS PM'S**

**(8h)**



**(17h)**

Varição do Nível d'água Subterrânea

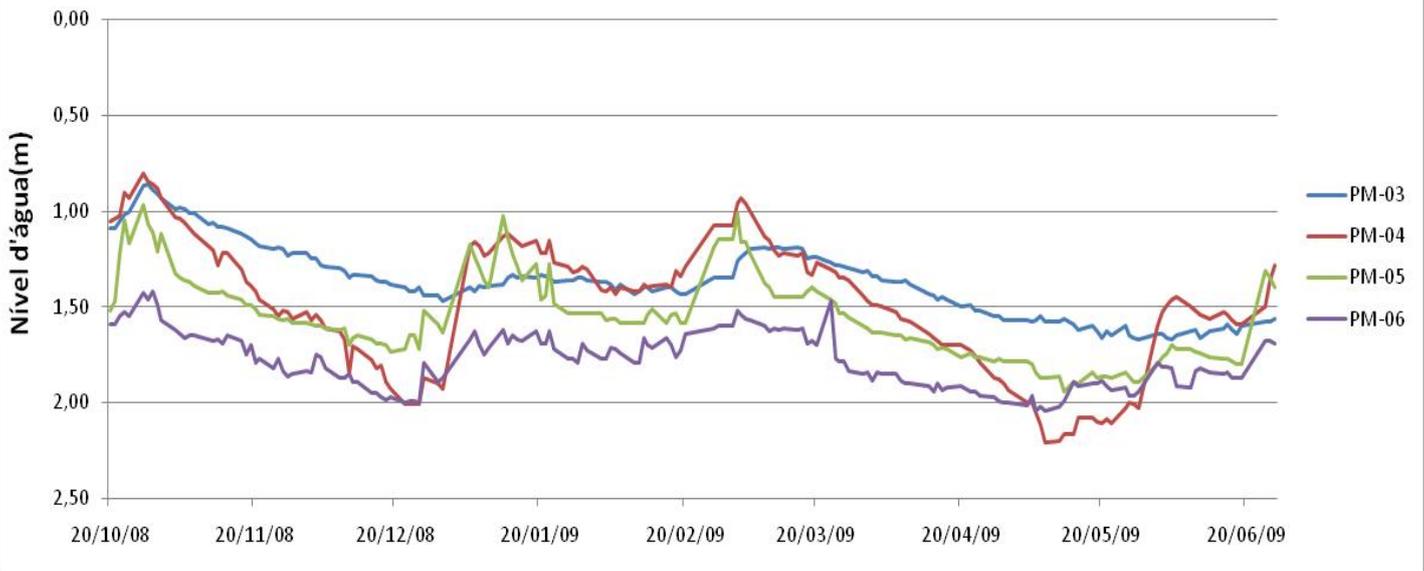
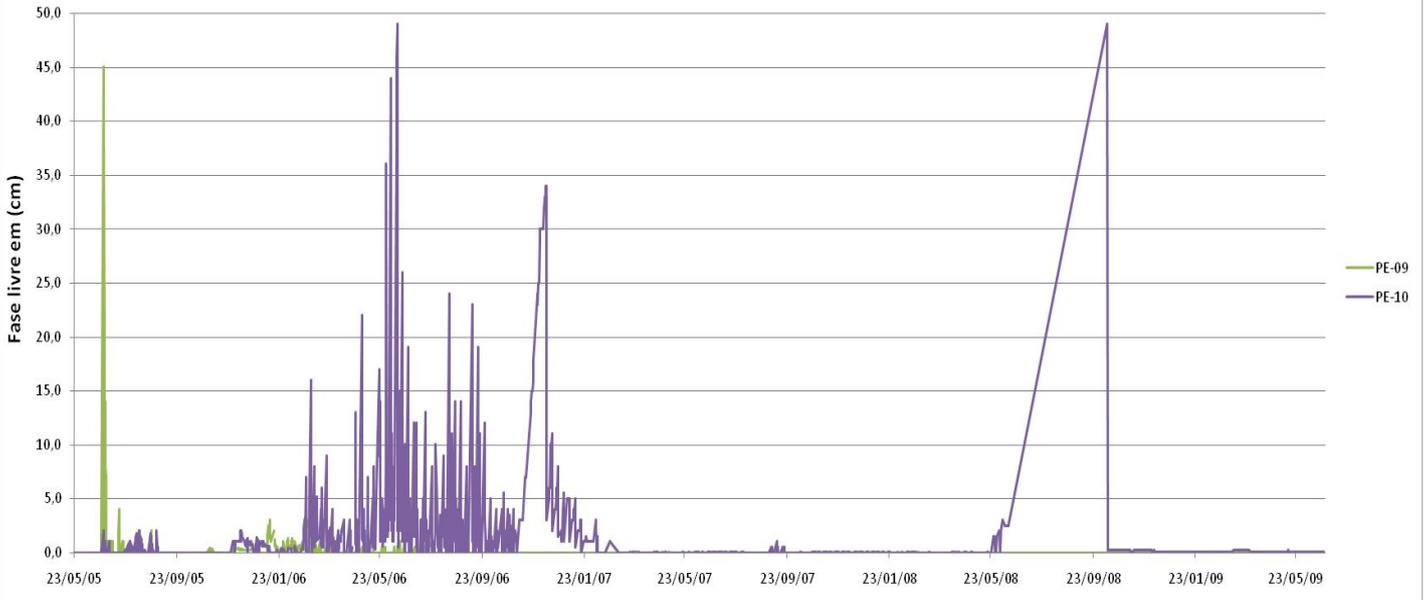
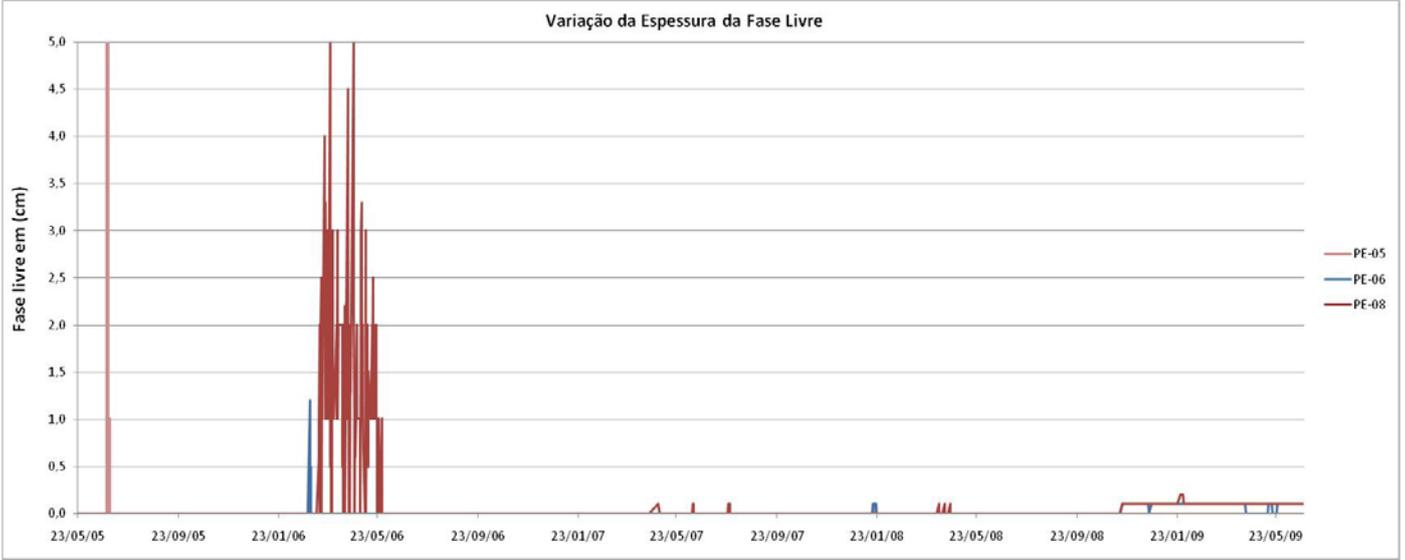


GRÁFICO DE FASE LIVRE

Varição da Espessura da Fase Livre



Varição da Espessura da Fase Livre



**ANEXO III**  
**RESULTADOS ANALÍTICOS**

POSTO PARANÁ

Tabela 1a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)

Poços	Benzeno								Tolueno								Etilbenzeno								Xilenos															
	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)
PE-01/PM-01	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	<0,1	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	1,40	ND	-	<1,0	ND	x	x	ND	ND	-	<1,0	ND	-	ND	ND
PE-02/PME-04	118,9	ND	ND	36,60	-	ND	<1,0	<1,0	2,30	4,00	19,8	ND	ND	1,40	-	<1,0	2,60	1,90	1,80	2,7	110,6	ND	ND	4,80	-	<1,0	ND	ND	1,90	48,2	49,7	ND	ND	6,50	-	<1,0	16,80	54,90	72,40	379,7
PE-03/PME-02	976,4	511,90	586,20	3,80	<1,0	<1,0	2,70	5,30	16,10	20,60	54,1	26,60	158,20	3,50	ND	ND	ND	8,30	1,70	548,70	620,2	127,00	388,90	33,20	ND	<1,0	ND	<1,0	1,40	52,00	175,2	64,90	401,90	20,00	<1,0	1,10	<1,0	<1,0	6,20	385,6
PE-04/PME-03	191,2	2.839,20	761,80	777,00	128,40	152,90	105,30	40,00	257,00	345,50	29,7	75,00	22,20	70,20	18,40	3,10	22,80	1,10	34,50	93,80	196,7	1.195,90	396,90	222,00	58,40	19,20	34,20	1,10	102,20	164,8	82,3	1.571,70	258,70	1.963,90	158,70	35,70	315,20	10,1	775,90	2133,4
PE-05/PM-06	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	<1,0	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-02	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-03	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-04	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-05	x	x	<1,0	ND	-	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	ND	-	-	ND	-	-	ND	x	x	<1,0	ND	-	-	ND	-	-	ND	x	x	1,80	ND	-	-	<1,0	-	-	<1,0
PM-07	x	x	ND	-	-	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	-	<1,0	<1,0	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	ND
PME-01	Nd	211,10	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	Nd	5,50	ND	-	-	-	ND	<1,0	-	<1,0	Nd	33,60	ND	-	-	-	ND	ND	-	<1,0	Nd	9,30	ND	-	-	-	ND	<1,0	-	ND
PME-05	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	2,60	-	-	-	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	<1,0	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND
PME-06	1,4	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	2,5	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	<1,0
PC-01	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-
SSTL*	86,0								26.000,0								13.000,0								198.000,0															
SSTL indicado	400,0								530.000,0								170.000,0								200.000,0															
SEMA	5,0								700,0								300,0								500,0															

Obs: (ND) não detectado; (-) poços não amostrados; (Operação) coleta realizada durante a operação do sistema de remediação; (PC-01) Poço de captação de águas  
(Nº Pós) Campanha analítica de monitoramento pós remediação; (Invest.) campanha analítica realizada durante o estudo de investigação ambiental; (X) Poço ainda não existe  
SEMA - Valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011  
Poços instalados em Setembro de 2008.  
Poços instalados em Julho de 2005.  
SSTL indicado - Valores calculados na nova Análise de Risco RBCA Tier 2 em janeiro de 2010, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - Off-site 1 (13m) comercial  
SSTL\* - Valores calculados na Análise de Risco RBCA Tier 2 realizada em fevereiro de 2008, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - On-site (0 m) comercial

Tabela 1b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Nafaleno								Fenantreno								Antraceno								Fluoranteno															
	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev08)	Invest. (Set08)	Operação (Mai09)	Operação (Ago09)	Operação (Nov09)	1ª Pós (Abr10)	2ª Pós (Jul10)	3ª Pós (Out10)	4ª Pós (Jan11)
PE-01/PM-01	x	x	0,13	0,05	-	ND	0,04	-	ND	ND	x	x	<0,03	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND
PE-02/PME-04	17,37	ND	5,78	ND	-	5,85	4,67	83,85	43,54	ND	0,29	ND	0,05	ND	-	0,04	0,26	0,86	0,66	<0,03	Nd	ND	<0,03	ND	-	<0,03	<0,03	0,19	0,19	ND	Nd	ND	<0,03	<0,03	-	0,04	0,03	0,20	0,04	ND
PE-03/PME-02	279,58	187,73	139,69	0,27	5,49	2,57	5,69	7,46	13,39	19,95	Nd	0,35	0,28	ND	0,12	0,05	<0,03	0,09	0,03	0,49	Nd	0,05	0,03	ND	ND	<0,03	ND	<0,03	ND	0,14	Nd	0,24	0,06	ND	0,08	ND	<0,03	<0,03	<0,03	ND
PE-04/PME-03	300,92	347,37	103,13	ND	127,20	79,15	13,48	141,91	448,79	25,88	Nd	1,70	0,30	ND	0,06	0,06	ND	0,06	0,39	0,44	Nd	0,11	<0,03	ND	ND	<0,03	ND	ND	<0,03	0,06	Nd	0,08	<0,03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE-05/PM-06	x	x	6,45	0,81	0,22	-	-	0,24	3,94	<0,03	x	x	10,81	0,60	0,56	-	-	ND	0,05	<0,03	x	x	0,33	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	x	x	<0,03	ND	0,04	-	-	ND	ND	ND
PM-02	x	x	<0,03	-	-	-	0,04	ND	0,14	0,06	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND
PM-03	x	x	ND	-	-	-	-	-	<0,03	-	x	x	0,13	ND	-	-	-	-	-	ND	x	x	0,03	ND	-	-	-	-	-	ND	x	x	<0,03	ND	-	-	-	-	-	ND
PM-04	x	x	0,06	ND	0,10	-	-	-	0,04	-	x	x	<0,03	ND	ND	-	-	-	-	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	ND
PM-05	x	x	0,20	ND	-	-	0,37	-	-	ND	x	x	0,09	ND	-	-	-	-	-	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	ND
PM-07	x	x	<0,03	-	-	-	0,07	-	<0,03	<0,03	x	x	<0,03	-	-	-	ND	-	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	-	-	-	ND	x	x	ND	-	-	-	-	-	-	ND
PME-01	Nd	136,91	0,08	-	-	-	<0,03	0,16	-	0,04	Nd	0,27	<0,03	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	0,05	ND	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	0,12	ND	-	-	-	-	-	-	ND
PME-05	Nd	ND	0,03	ND	-	-	-	-	<0,03	0,04	Nd	ND	ND	<0,03	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	ND
PME-06	Nd	ND	0,03	-	-	-	-	-	0,72	-	4,96	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND
PC-01	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-
SSTL*	31.000,0								2.000,0								45,0								206,0															
SSTL indicado	>31.000,0								>990,0								>43,0								>260,0															
SEMA	140,0								140,0								5,0								1,0															

Obs: (ND) não detectado; (-) poços não amostrados; (Operação) coleta realizada durante a operação do sistema de remediação; (PC-01) Poço de captação de águas  
(Nº Pós) Campanha analítica de monitoramento pós remediação; (Invest.) campanha analítica realizada durante o estudo de investigação ambiental; (X) Poço ainda não existe  
SEMA - Valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011  
Poços instalados em Setembro de 2008.  
Poços instalados em Julho de 2005.  
SSTL indicado - Valores calculados na nova Análise de Risco RBCA Tier 2 em janeiro de 2010, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - Off-site 1 (13m) comercial  
SSTL\* - Valores calculados na Análise de Risco RBCA Tier 2 realizada em fevereiro de 2008, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - On-site (0 m) comercial

POSTO PARANÁ

Tabela 2a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Benzo(a)antraceno										Criseno								Benzo(k)fluranteno											
	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)
PE-01/PM-01	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND
PE-02/PME-04	Nd	ND	ND	ND	-	ND	<0,03	0,06	<0,03	ND	Nd	ND	ND	ND	-	ND	ND	0,05	0,13	0,05	Nd	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND
PE-03/PME-02	Nd	0,05	<0,03	ND	<0,03	ND	ND	ND	ND	<0,03	Nd	0,04	0,04	ND	<0,03	<0,03	ND	<0,03	ND	<0,03	Nd	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE-04/PME-03	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE-05/PM-06	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	0,08	0,06	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND
PM-02	x	x	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	
PM-03	x	x	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	-	
PM-04	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	ND	
PM-05	x	x	ND	ND	-	-	ND	-	ND	-	x	x	ND	ND	-	-	ND	-	-	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	-	ND	
PM-07	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	-	-	-	-	ND	-	ND	
PME-01	Nd	ND	ND	-	-	-	ND	ND	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	ND	ND	-	Nd	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	-	
PME-05	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	<0,05	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	
PME-06	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	ND	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	
PC-01	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	
SSTL*	3,4										1,8								4,3											
SSTL indicado	>10,0										>2,0								>0,6											
SEMA	1,75										0,05								0,05											

Obs: (ND) não detectado; (-) poços não amostrados; (Operação) coleta realizada durante a operação do sistema de remediação; (PC-01) Poço de captação de águas  
 (Nº Pós) Campanha analítica de monitoramento pós remediação; (Invest.) campanha analítica realizada durante o estudo de investigação ambiental; (X) Poço ainda não existente  
 SEMA - Valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011  
 Poços instalados em Setembro de 2008.  
 Poços instalados em Julho de 2005.  
 SSTL indicado - Valores calculados na nova Análise de Risco *RBCA* Tier 2 em janeiro de 2010, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - Off-site 1 (13m) comercial  
 SSTL\* - Valores calculados na Análise de Risco *RBCA* Tier 2 realizada em fevereiro de 2008, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - On-site (0 m) comercial

Tabela 2b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Benzo(a)pireno										Indeno(1,2,3-cd)pireno								Benzo(g,h,i)perileno											
	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)	Invest. (Jul 2005)	Invest. (Fev/08)	Invest. (Set/08)	Operação (Maio/09)	Operação (Ago/09)	Operação (Nov/09)	1ª Pós (Abr/10)	2ª Pós (Jul/10)	3ª Pós (Out/10)	4ª Pós (Jan/11)
PE-01/PM-01	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	ND
PE-02/PME-04	Nd	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND
PE-03/PME-02	Nd	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	0,07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE-04/PME-03	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PE-05/PM-06	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	ND	ND
PM-02	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	ND	ND	ND	x	x	ND	-	-	-	-	ND	ND	ND	
PM-03	x	x	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	x	x	ND	ND	-	-	-	-	-	-	
PM-04	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	x	x	ND	ND	ND	-	-	ND	-	ND	
PM-05	x	x	ND	ND	-	-	ND	-	ND	-	x	x	ND	ND	-	-	ND	-	-	x	x	ND	ND	-	-	-	ND	-	ND	
PM-07	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	0,07	x	x	ND	-	-	-	ND	-	ND	x	x	ND	-	-	-	-	ND	-	ND	
PME-01	Nd	ND	ND	-	-	-	ND	ND	-	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	ND	ND	-	Nd	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	-	
PME-05	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	ND	ND	Nd	ND	ND	ND	-	-	-	-	ND	ND	
PME-06	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	ND	ND	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	Nd	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND	
PC-01	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	
SSTL*	0,3										3,4								0,7											
SSTL indicado	>1,6										>3,8								>0,3											
SEMA	0,7										0,17								0,05											

Obs: (ND) não detectado; (-) poços não amostrados; (Operação) coleta realizada durante a operação do sistema de remediação; (PC-01) Poço de captação de águas  
 (Nº Pós) Campanha analítica de monitoramento pós remediação; (Invest.) campanha analítica realizada durante o estudo de investigação ambiental; (X) Poço ainda não existente  
 SEMA - Valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011  
 Poços instalados em Setembro de 2008.  
 Poços instalados em Julho de 2005.  
 SSTL indicado - Valores calculados na nova Análise de Risco *RBCA* Tier 2 em janeiro de 2010, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - Off-site 1 (13m) comercial  
 SSTL\* - Valores calculados na Análise de Risco *RBCA* Tier 2 realizada em fevereiro de 2008, considerando a via de exposição: Ingestão de água subterrânea - On-site (0 m) comercial

**POSTO PARANÁ**

**Tabela 3a** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2005

COMPOSTOS	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	ST-08	ST-09	ST-10	ST-11	Limite de Detecção	Valores Orientadores		
													SEMA Nº21/2011 (Residencial)	SSTL's calculados em 2008 (Ingestão de fase dissolvida a partir de lixiviação de solo subsuperficial para Água subterrânea (On-Site - Comercial))	SSTL's calculados em 2010 (Ingestão de fase dissolvida a partir de lixiviação de solo subsuperficial para Água subterrânea (Off-Site 1 (13 m) - Comercial))
<b>BTEX (µg/Kg)</b>															
Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	80,0	25,0	400,0
Tolueno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	30.000,0	488.000,0	550.000,0
Etilbenzeno	nd	nd	101,6	nd	35,2	34,3	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	40.000,0	393.000,0	240.000,0
Xilenos	nd	nd	323,2	220,3	112,7	143,1	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	30.000,0	313.000,0	330.000,0
<b>PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) (mg/kg)</b>															
Naftaleno	0,012	0,005	13,76	0,369	3,51	0,154	0,011	nd	nd	0,0	nd	0,01	30,0	374,0	300,0
Fenantreno	0,0062	0,037	0,272	0,019	6,08	0,184	0,025	nd	nd	0,0	0,0	0,01	15,0	136,0	84,0
Antraceno	nd	0,007	nd	0,006	nd	0,052	0,084	nd	nd	nd	nd	0,01	-	4,0	6,1
Fluoranteno	0,021	nd	nd	0,039	nd	nd	0,171	nd	nd	0,0	nd	0,01	-	47,0	76,0
Benzo(a)antraceno	0,01	nd	nd	0,013	0,134	nd	0,097	nd	nd	0,0	nd	0,01	9,0	47,0	21,0
Criseno	0,014	0,043	nd	0,018	0,592	0,262	0,126	nd	nd	0,0	0,0	0,01	-	2,0	3,7
Benzo(k)fluoranteno	0,007	nd	nd	0,005	nd	nd	0,066	nd	nd	0,0	nd	0,01	0,4	14,0	4,1
Benzo(a)pireno	0,011	nd	nd	0,008	nd	nd	0,08	nd	nd	0,0	nd	0,01	0,4	10,0	9,3
Indeno(1,2,3- cd)pireno	0,008	nd	nd	0,005	nd	nd	0,042	nd	nd	0,0	nd	0,01	2,0	10.000,0	78,0
Benzo(ghi)perileno	0,01	nd	nd	0,006	nd	nd	0,048	nd	nd	nd	nd	0,01	-	7,0	2,5

Obs: (nd) não detectado; (-) sem referência

Concentrações acima dos valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011

Concentrações acima dos SSTL's calculados em 2008

Concentrações acima dos SSTL's calculados em 2010

## POSTO PARANÁ

**Tabela 3b** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2008

COMPOSTOS	SG-01	SG-02	SG-03	SG-04	SG-05	SG-06	SG-07	Limite de Detecção	Valores Orientadores		
	(1,00 m)	(1,00 m)	(3,00 m)	(3,00 m)	(1,50 m)	(0,50 m)	(2,00 m)		SEMA Nº21/2011 (Residencial)	SSTL's calculados em 2008 (Ingestão de fase dissolvida a partir de lixiviação de solo subsuperficial para Água subterrânea (On-Site - Comercial)	SSTL's calculados em 2010 (Ingestão de fase dissolvida a partir de lixiviação de solo subsuperficial para Água subterrânea (Off-Site 1 (13 m) - Comercial)
<b>BTEX (µg/Kg)</b>											
Benzeno	nd	nd	nd	nd	<1,0	nd	nd	1,0	80,0	25,0	400,0
Tolueno	nd	nd	nd	nd	3,1	<1,0	nd	1,0	30.000,0	488.000,0	550.000,0
Etilbenzeno	nd	nd	nd	nd	1,7	nd	nd	1,0	40.000,0	393.000,0	240.000,0
Xilenos	nd	nd	nd	nd	31,4	nd	nd	1,0	30.000,0	313.000,0	330.000,0
<b>PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) (mg/kg)</b>											
Naftaleno	nd	<0,01	0,01	<0,01	0,04	1,45	nd	0,01	30,0	374,0	300,0
Fenantreno	nd	0,07	0,08	0,01	<0,01	3,35	0,03	0,01	15,0	136,0	84,0
Antraceno	nd	0,01	<0,01	0,02	nd	nd	<0,01	0,01	-	4,0	6,1
Fluoranteno	<0,01	0,37	0,19	0,06	0,02	nd	<0,01	0,01	-	47,0	76,0
Benzo(a)antraceno	0,01	0,27	0,16	0,35	0,02	<0,50	0,01	0,01	9,0	47,0	21,0
Criseno	nd	0,22	0,09	0,14	<0,01	<0,50	<0,01	0,01	-	2,0	3,7
Benzo(k)fluoranteno	<0,01	0,14	0,05	0,18	nd	nd	<0,01	0,01	0,4	14,0	4,1
Benzo(a)pireno	nd	0,18	0,08	0,26	<0,01	nd	<0,01	0,01	0,4	10,0	9,3
Indeno(1,2,3- cd)pireno	<0,01	0,15	0,05	0,2	0,01	nd	<0,01	0,01	2,0	10.000,0	78,0
Benzo(ghi)perileno	nd	0,08	0,02	0,10	nd	nd	nd	0,01	-	7,0	2,5

Obs: (nd) não detectado; (-) sem referência

Concentrações acima dos valores orientadores definidos pela resolução SEMA nº 21/2011

Concentrações acima dos SSTL's calculados em 2008

Concentrações acima dos SSTL's calculados em 2010

**POSTO SANTA CATARINA**

**Tabela 1a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)**

Poços	Benzeno									Tolueno									
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Ago/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	5,78	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	-	Nd	1,30	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	-	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	-	Nd	-	-	nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	19,70	-	1,0	*	*	*	*	x	x	2,70	-	-	1,10	*	*	*	*
PE-01	18,00	528,7	-	-	22,60	-	-	53,60	104,4	1,58	25,50	-	-	-	1,50	-	-	<1,0	1,90
PE-02	1165,4	446,2	-	-	30,80	19,10	11,70	67,80	24,40	89,40	23,10	-	-	-	18,70	0,90	Nd	1,30	<1,0
PE-03	x	x	16,10	-	0,50	0,50	0,70	14,20	<1,0	x	x	Nd	-	-	Nd	1,00	Nd	<1,0	Nd
PE-04	x	x	275,5	Nd	Nd	-	0,40	<1,0	<1,0	x	x	38,40	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PE-05	x	x	2399,0	31,90	51,90	*	*	*	*	x	x	81,80	-	2,50	5,80	*	*	*	*
PE-06	x	x	66,40	Nd	0,60	-	0,40	Nd	Nd	x	x	0,90	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd	x	x	Nd	-	-	0,20	1,50	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>460,0</b>									<b>71.000,0</b>									
<b>CONAMA</b>	<b>5,0</b>									<b>700,0</b>									
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>30,0</b>									<b>1.000,0</b>									

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-) Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encr. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

**Tabela 1b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)**

Poços	Etilbenzeno									Xilenos									
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Ago/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	0,84	Nd	-	-	Nd	0,80	-	Nd	Nd	1,68	Nd	-	-	-	Nd	0,70	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	29,00	-	0,20	*	*	*	*	x	x	6,50	-	-	1,50	*	*	*	*
PE-01	5,55	342,0	-	-	4,00	-	-	7,80	7,50	8,28	11,60	-	-	-	10,40	-	-	4,10	9,40
PE-02	537,4	217,2	-	-	18,70	9,80	3,50	16,60	<1,0	794,00	172,20	-	-	-	83,70	2,00	0,30	1,80	<1,0
PE-03	x	x	40,30	-	0,30	0,80	Nd	2,00	Nd	x	x	22,10	-	-	0,6	1,00	Nd	8,20	Nd
PE-04	x	x	367,7	2,90	Nd	-	2,30	5,40	Nd	x	x	503,80	-	5,40	6,6	-	2,00	3,50	Nd
PE-05	x	x	563,0	14,60	44,00	*	*	*	*	x	x	1367,60	-	79,00	269,60	*	*	*	*
PE-06	x	x	73,90	1,10	1,30	-	1,10	1,00	<1,0	x	x	21,10	-	0,60	0,80	-	0,30	<1,0	<1,0
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	0,20	0,70	-	-	Nd	x	x	Nd	-	-	0,20	0,40	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>&gt; 169.000,0</b>									<b>&gt; 198.000,0</b>									
<b>CONAMA</b>	<b>300,0</b>									<b>500,0</b>									
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>150,0</b>									<b>70,0</b>									

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-) Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encr. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

**POSTO SANTA CATARINA**

**Tabela 2a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)**

Poços	Naftaleno									Fenantreno								
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	1,53	Nd	-	-	Nd	Nd	-	0,05	0,07	0,16	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*	x	x	0,05	-	Nd	*	*	*	*
PE-01	522,94	48,74	-	-	0,70	-	-	7,81	38,10	8,73	9,86	-	-	0,05	-	-	0,1	0,03
PE-02	512,6	43,16	-	-	24,43	1,54	1,21	8,18	59,10	8,36	Nd	-	-	0,99	Nd	0,1	0,78	0,81
PE-03	x	x	Nd	-	1,54	4,08	Nd	3,16	0,33	x	x	0,06	-	0,75	Nd	Nd	0,8	0,32
PE-04	x	x	305,9	11,94	Nd	-	Nd	1,50	0,80	x	x	0,42	0,13	Nd	-	Nd	0,34	Nd
PE-05	x	x	150,0	2,60	16,33	*	*	*	*	x	x	0,94	0,17	0,22	*	*	*	*
PE-06	x	x	155,10	Nd	Nd	-	Nd	0,59	0,15	x	x	0,32	Nd	Nd	-	Nd	<0,03	Nd
PI-01	0,59	0,08	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	<0,03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>&gt; 31.000,0</b>									<b>&gt; 2.000,0</b>								
<b>CONAMA</b>	<b>140,0</b>									<b>140,0</b>								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>70,0</b>									<b>5,0</b>								

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-) Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encer. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

**Tabela 2b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)**

Poços	Antraceno									Fluoranteno								
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	0,06	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	0,04	-	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*
PE-01	Nd	0,80	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd
PE-02	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	<0,03	Nd
PE-03	x	x	0,06	-	0,11	Nd	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-04	x	x	0,05	0,04	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	<0,03	Nd
PE-05	x	x	Nd	Nd	0,05	*	*	*	*	x	x	Nd	0,04	Nd	*	*	*	*
PE-06	x	x	0,06	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>&gt; 45,0</b>									<b>-</b>								
<b>CONAMA</b>	<b>-</b>									<b>-</b>								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>5,0</b>									<b>1,0</b>								

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-) Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encer. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

**POSTO SANTA CATARINA**

**Tabela 2c - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)**

Poços	Benzo(a)antraceno									Criseno								
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*
PE-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd
PE-02	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	<0,03	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	<0,03	<0,03
PE-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	0,11	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	0,0	0,19
PE-04	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	<0,03	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	<0,03	Nd
PE-05	x	x	Nd	0,10	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	0,13	Nd	*	*	*	*
PE-06	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>-</b>									<b>&gt; 1,8</b>								
<b>CONAMA</b>	<b>1,75</b>									<b>-</b>								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>0,5</b>									<b>0,2</b>								

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-)Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encr. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

**Tabela 2d - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)**

Poços	Benzo(k)Fluoranteno									Benzo(a)pireno								
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*
PE-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd
PE-02	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	<0,03	Nd	Nd
PE-04	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PE-05	x	x	Nd	Nd	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	Nd	Nd	*	*	*	*
PE-06	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	<b>-</b>									<b>-</b>								
<b>CONAMA</b>	<b>-</b>									<b>0,7</b>								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	<b>0,05</b>									<b>0,05</b>								

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-)Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encr. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

## POSTO SANTA CATARINA

**Tabela 2e - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)**

Poços	Indeno(1,2,3-cd)pireno									Benzo(ghi)perileno								
	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)	Análise de Risco (Out/05)	Pré- Rem. (Fev/07)	Instalação do Sist. (Mar/07)	Operação do Sist. (Set/07)	Encer. Sist. (Out/07)	1º Pós Rem. (Jan/08)	2º Pós Rem. (Abr/08)	3º Pós Rem. (Jul/08)	4º Pós Rem. (Out/08)
PM-01	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd
PM-02	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	x	x	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-
PM-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-
PM-04	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	-	Nd	*	*	*	*
PE-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd
PE-02	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-03	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-04	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PE-05	x	x	Nd	Nd	Nd	*	*	*	*	x	x	Nd	Nd	Nd	*	*	*	*
PE-06	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	x	x	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd
PI-01	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-
PI-02	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd	x	x	Nd	-	Nd	Nd	-	-	Nd
<b>SSTL</b>	-									-								
<b>CONAMA</b>	1,75									-								
<b>Nível I (Holandesa)</b>	0,05									0,05								

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não instalado; (-) Poço não amostrado; (\*) Poço destruído devido a reformas no entorno do empreendimento; (Pré-Rem) Estudo de Pré-Remediação; (Instalação do Sist.) Estudo de Instalação do Sistema de Remediação; (Operação do Sist.) Amostragem realizada durante a Operação do Sistema de Remediação; (Encr. Sist.) Estudo de Encerramento do Sistema de Remediação; (Nº Pós Rem) Monitoramentos Pós Remediação

Valores acima dos SSTL's aplicáveis (volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados comerciais- On-Site)

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

## POSTO SANTA CATARINA

**Tabela 3a** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2005

COMPOSTOS	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-07	LIMITE DE DETECÇÃO	SSTL (volatilização do solo para ambientes fechados - comercial - on site)	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA
<b>BTEX (µg/kg)</b>									
Benzeno	1.272,30	77,97	ND	34,30	ND	1,0	3.000	80	1.000,0
Tolueno	1.648,40	1.293,80	ND	236,60	ND	1,0	500.000	30.000	130.000,0
Etilbenzeno	5.761,20	6.929,50	ND	604,90	ND	1,0	1.300.000	40.000	50.000,0
Xilenos	8.897,60	11.082,60	ND	1.976,80	ND	1,0	35.000.000	30.000	25.000,0
<b>PAH's (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) (mg/kg)</b>									
Naftaleno	22,08	36,04	0,02	7,61	ND	0,01	>1.506	60,0	-
Fenantreno	0,96	3,97	ND	3,53	ND	0,01	>866.000	40,0	-
Antraceno	0,05	0,23	ND	0,20	ND	0,01	>24.000	-	-
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-
Benzo(a)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	20,0	-
Criseno	ND	ND	ND	0,19	ND	0,01	2.500,00	-	-
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-
Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	1,5	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	25,0	-
Benzo(ghi)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-

(ND) não detectado; (NC) não calculado; (-) sem referência

**Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's)**

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

## POSTO SANTA CATARINA

**Tabela 3b** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2007

COMPOSTOS	SG-01	SG-02	SG-03	SG-04	SG-05	SG-06	SG-07	SG-08	LIMITE DE DETECÇÃO	SSTL (volatilização do solo para ambientes fechados - comercial - on site)	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA
<b>BTEX (µg/kg)</b>												
Benzeno	ND	ND	ND	18,00	94,00	ND	2.914,00	2,00	1,0	3.000	80	1.000,0
Tolueno	ND	ND	ND	10,00	29,00	ND	592,00	ND	1,0	500.000	30.000	130.000,0
Etilbenzeno	ND	ND	ND	278,00	999,00	3.019,00	45.340,00	4,00	1,0	1.300.000	40.000	50.000,0
Xilenos	ND	ND	ND	63,00	399,00	6.734,00	116.985,00	4,00	1,0	35.000.000	30.000	25.000,0
<b>PAH's (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) (mg/kg)</b>												
Naftaleno	ND	ND	ND	0,66	0,47	0,72	4,52	ND	0,01	>1.506	60,0	-
Fenantreno	ND	ND	ND	0,02	0,04	0,08	0,65	ND	0,01	>866.000	40,0	-
Antraceno	ND	ND	ND	ND	0,02	0,03	0,25	ND	0,01	>24.000	-	-
Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-
Benzo(a)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	20,0	-
Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	2.500,00	-	-
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-
Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	1,5	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	25,0	-
Benzo(ghi)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	NC	-	-

(ND) não detectado; (NC) não calculado; (-) sem referência

**Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's)**

**Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09**

**Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa**

POSTO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 1a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)

Poços	Benzeno														Tolueno																			
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mar/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mar/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)		
PE-01	x	-	-	Nd	40,00	-	8,10	4,60	-	1,80	-	-	1,20	<1,0	<1,0	<1,0	x	-	-	Nd	3,00	-	0,60	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd		
PE-02	x	-	-	30,00	101,00	-	46,30	55,40	8,00	-	-	-	Nd	9,70	22,00	7,80	x	-	-	2,00	3,00	-	0,90	Nd	1,70	-	-	Nd	1,80	1,00	Nd			
PE-03	x	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	Nd	FL	FL	x	Nd	Nd	-	-	-	Nd	0,60	-	Nd	-	-	Nd	FL	Nd			
PE-04	x	Nd	Nd	-	-	Nd	4,30	19,90	29,40	13,90	4,60	-	16,00	1,40	5,60	Nd	x	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	<1,0	Nd	-	<1,0	Nd	<1,0			
PE-05	x	Nd	52,00	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	-	5,70	Nd	-	-	x	Nd	19,00	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	1,70	Nd	Nd	-			
PE-06	x	-	-	146,00	189,00	153,00	41,60	86,60	34,40	20,50	20,20	-	6,70	53,00	152,70	Nd	x	-	-	3,00	9,00	6,80	2,00	1,80	1,60	<1,0	Nd	-	<1,0	1,40	4,30			
PE-07	x	-	-	-	-	-	238,30	430,00	281,40	572,00	661,00	450,20	229,40	104,00	93,30	Nd	x	-	-	-	-	-	4,90	1,20	1,50	2,90	1,00	1,10	<1,0	<1,0	<1,0	Nd		
PE-08	x	0,50	Nd	Nd	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	Nd	-	Nd	x	Nd	Nd	Nd	-	FL	1,10	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	<1,0	-	Nd		
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	3,00	-	-	<1,0	<1,0	3,50	Nd	x	FL	Nd	-	-	Nd	Nd	-	<1,0	-	-	Nd	<1,0	<1,0	<1,0	Nd		
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	7,40	4,90	FL	FL	Nd	14,80	Nd	<1,0	<1,0	<1,0	x	FL	FL	-	FL	FL	7,10	Nd	FL	FL	Nd	6,10	Nd	Nd	Nd	Nd		
PM-01	x	Nd	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	1,30	-	<1,0	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	<1,0	Nd	Nd	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	
PME-01	88,70	23,30	-	-	-	-	-	1,80	-	-	-	-	-	-	-	-	14,50	33,10	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-02	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	3,40	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-03	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-04	2,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1,0	
PME-05	3,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PC-01	Nd	9,90	-	-	-	-	3,80	1,70	2,40	-	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	4,90	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-01	x	1,10	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-02	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONAMA	5,0														700,0																			
Lista Holandesa	30,0														1.000,0																			
SSTL Antigo	62,0														13.000,0																			
SSTL Indicador	2.300,0														>530.000,0																			

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL s calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL s calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

Tabela 1b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro BTEX (µg/L)

Poços	Etilbenzeno														Xileno																				
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mar/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mar/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)			
PE-01	x	-	-	6,00	12,00	-	1,50	Nd	-	Nd	-	-	<1,0	Nd	<1,0	Nd	x	-	-	Nd	5,00	-	0,90	Nd	-	<1,0	-	-	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
PE-02	x	-	-	29,00	26,00	-	3,50	Nd	17,30	-	-	-	Nd	15,60	31,90	Nd	x	-	-	9,00	6,00	-	2,70	Nd	6,80	-	-	<1,0	6,30	21,80	1,30	-	-		
PE-03	x	Nd	Nd	-	-	-	Nd	0,30	-	<1,0	-	-	-	Nd	FL	FL	x	Nd	Nd	-	-	-	Nd	2,60	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-		
PE-04	x	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	12,00	Nd	Nd	Nd	x	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	57,80	Nd	Nd	Nd	-	-		
PE-05	x	Nd	8,00	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	-	33,40	Nd	Nd	-	x	0,60	45,00	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	-	8,30	Nd	Nd	-	-	-		
PE-06	x	-	-	Nd	26,00	23,70	1,00	14,10	31,00	1,1	6,80	-	Nd	8,00	73,90	Nd	x	-	-	251,00	348,00	310,90	17,80	236,20	232,70	48,60	18,90	-	Nd	74,20	442,10	-	-		
PE-07	x	-	-	-	-	-	35,50	36,80	78,80	55,30	75,00	40,20	40,50	20,30	21,50	Nd	x	-	-	-	-	-	38,60	54,00	61,60	128,70	69,90	60,60	16,40	10,50	12,60	<1,0			
PE-08	x	Nd	Nd	Nd	-	FL	0,40	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	Nd	-	-	x	0,80	Nd	Nd	-	FL	0,20	Nd	Nd	FL	Nd	-	<1,0	-	-	-	-		
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	<1,0	-	-	<1,0	<1,0	<1,0	Nd	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	<1,0	-	-	<1,0	1,80	<1,0	Nd	-		
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	1,10	Nd	FL	FL	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	FL	-	FL	FL	7,80	0,40	FL	FL	Nd	Nd	<1,0	<1,0	<1,0	Nd	-		
PM-01	x	Nd	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1,0	
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	NN	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	<1,0	
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-01	8,00	1,80	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,20	69,40	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	<1,0	-	-	-	-	-	-	
PME-02	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	5,90	11,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-03	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-04	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-05	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC-01	Nd	Nd	-	-	-	-	35,50	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	38,60	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-01	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-02	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONAMA	300,0														500,0																				
Lista Holandesa	150,0														70,0																				
SSTL Antigo	4.800,0														86.000,0																				
SSTL Indicador	>170.000,0														45.000,0																				

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL s calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL s calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

POSTO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 2a - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Naftaleno														Fenantreno																		
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	Oper.Man (Nov/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)
PE-01	x	-	-	Nd	6,54	-	0,27	1,01	-	3,32	-	-	6,89	6,73	3,03	1,43	x	-	-	0,76	0,10	-	Nd	Nd	-	<0,03	-	-	0,56	0,09	Nd	Nd	
PE-02	x	-	-	0,64	9,58	-	0,05	Nd	11,76	-	-	2,25	43,69	59,75	Nd	Nd	x	-	-	0,12	0,03	-	Nd	0,05	0,04	-	-	0,06	<0,03	0,08	Nd		
PE-03	x	0,02	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	0,03	-	-	-	3,30	FL	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,19	Nd	-	Nd	-	-	2,38	FL	FL		
PE-04	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	0,74	0,62	-	46,45	1,30	0,91	1,02	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	0,20	0,17	0,22	-	1,32	0,13	Nd	<0,03		
PE-05	x	0,73	0,07	0,92	-	0,19	Nd	Nd	-	2,06	-	63,50	1,65	0,82	-	x	0,15	0,10	0,15	-	0,18	Nd	0,08	-	1,13	-	-	0,05	0,79	0,09	-		
PE-06	x	-	-	1,77	0,34	0,40	-	1,03	12,70	1,74	19,41	-	0,65	84,93	76,55	0,90	x	-	-	0,88	0,03	Nd	0,18	Nd	1,14	Nd	2,74	-	0,47	2,90	3,60	0,10	
PE-07	x	-	-	-	-	-	4,47	2,58	11,32	12,14	4,51	9,55	10,50	9,77	15,00	4,20	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	0,19	0,11	0,04	0,05	0,09	0,14	0,18	0,10	
PE-08	x	0,63	1,58	0,91	-	FL	0,48	Nd	1,80	FL	5,27	-	-	8,37	-	0,24	x	0,08	1,90	1,82	-	FL	0,05	0,17	0,46	FL	4,46	-	12,77	-	0,31		
PE-09	x	FL	6,90	-	-	-	3,23	Nd	-	5,19	-	-	3,83	2,97	1,25	Nd	x	FL	2,58	-	-	-	2,11	2,69	-	0,30	-	-	0,18	0,05	Nd	Nd	
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	4,46	Nd	FL	FL	16,55	2,12	0,10	1,79	0,46	Nd	x	FL	FL	-	FL	FL	3,26	1,68	FL	FL	12,19	2,91	0,04	Nd	Nd	Nd	
PM-01	x	<0,01	-	0,33	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	1,38	Nd	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	<0,03	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	2,31	0,16	x	x	x	x	x	x	x	x	0,69	-	-	-	-	-	0,64	Nd	
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	10,61	-	-	-	-	-	0,10	x	x	x	x	x	x	x	1,06	-	1,25	-	-	-	-	-	Nd	
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	<0,03	-	-	-	-	0,13	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	<0,03	-	-	-	<0,03	-	-	-	
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	92,70	-	7,26	-	6,69	6,60	Nd	-	x	x	x	x	x	x	x	18,89	74,36	-	9,75	-	-	-	-	4,58	
PME-01	15,32	16,04	5,69	-	-	-	-	Nd	-	-	0,63	-	-	-	-	Nd	1,4	0,6	0,40	-	-	-	Nd	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	Nd	
PME-02	99,39	4,54	-	-	-	-	0,03	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	579,2	2,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PME-03	8,88	0,38	-	-	-	-	-	Nd	-	2,38	-	-	-	1,93	-	-	-	5,34	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,77	
PME-04	1,58	-	-	-	-	-	-	Nd	-	1,08	-	-	-	-	-	<0,03	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48	0,05	-	-	-	<0,03	
PME-05	7,88	-	-	-	-	-	-	Nd	-	1,11	-	-	-	-	-	0,1	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	
PC-01	0,61	1,27	-	-	-	-	2,23	Nd	0,10	-	-	-	-	-	-	-	0,9	0,04	-	-	-	-	0,44	1,71	0,04	-	-	-	-	-	-	2,15	
PI-01	x	0,06	-	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	x	0,02	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PI-02	x	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd
CONAMA	140,0														140,0																		
Lista Holandesa	70,0														5,0																		
SSTL Antigo	19.000,0														450,0																		
SSTL Indicado	23.000,0														NC																		

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

Tabela 2b - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Antraceno														Fluoranteno																		
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	
PE-01	x	-	-	0,04	0,05	-	Nd	0,04	-	<0,03	-	-	Nd	0,04	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-02	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	<0,03	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-03	x	0,02	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	Nd	-	-	-	0,78	FL	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	Nd	-	-	-	-	Nd	FL	FL
PE-04	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	0,05	<0,03	Nd	-	0,14	0,07	<0,03	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	0,07	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	
PE-05	x	0,04	Nd	Nd	-	0,11	Nd	0,06	-	0,08	-	-	Nd	0,17	0,04	-	x	<0,01	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	
PE-06	x	-	-	0,13	Nd	Nd	Nd	Nd	<0,03	Nd	0,23	-	0,12	0,11	<1,50	<0,03	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	<0,03	
PE-07	x	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	<0,03	Nd	FL	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-08	x	0,10	0,11	1,16	-	FL	0,18	0,19	0,08	-	0,23	-	-	Nd	-	<0,03	x	0,02	Nd	Nd	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	-	-	Nd	
PE-09	x	FL	0,27	-	-	-	2,49	1,45	-	-	-	-	0,04	Nd	Nd	Nd	x	FL	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	-	Nd	
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	2,67	0,78	FL	FL	1,30	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	FL	-	FL	FL	Nd	Nd	FL	FL	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PM-01	x	<0,01	-	0,03	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	0,34	-	-	-	-	-	-	0,05	Nd	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	0,17	-	-	-	-	-	-	0,11	Nd	x	x	x	x	x	x	x	x	0,10	-	-	-	-	-	-	Nd	
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	0,27	-	0,09	-	-	-	-	-	Nd	x	x	x	x	x	x	x	-	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	Nd	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	12,80	Nd	-	0,38	-	1,8	<1,50	0,13	-	x	x	x	x	x	x	x	0,50	Nd	-	Nd	-	-	-	-	0,19	
PME-01	0,09	0,06	0,04	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	0,05	0,01	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PME-02	44,76	0,22	-	-	-	-	-	Nd	0,32	-	-	-	-	-	-	Nd	18,61	0,08	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	
PME-03	0,31	0,10	-	-	-	-	-	0,03	-	-	0,08	-	-	0,06	-	-	-	0,12	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PME-04	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	
PME-05	0,05	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	<0,03	-	-	-	-	Nd	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd
PC-01	0,83	0,02	-	-	-	-	-	1,47	Nd	-	-	-	-	-	-	0,09	0,05	<0,01	-	-	-	-	-	-	0,50	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd
PI-01	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd
PI-02	x	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd
CONAMA	-														-																		
Lista Holandesa	5,0														1,0																		
SSTL Antigo	>45,0														>206																		
SSTL Indicado	NC														NC																		

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

POSTO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 2c - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Benzo(a)antraceno														Criseno																		
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	
PE-01	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	<0,03	Nd	Nd	
PE-02	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd		
PE-03	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	Nd	-	-	-	0,44	FL	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	<0,03	-	-	1,00	FL	FL		
PE-04	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	0,05	Nd	0,03	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	<0,03	Nd	0,18	-	0,05	<0,03	<0,03	Nd	
PE-05	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	0,12	-	Nd	-	-	Nd	Nd	0,03	-	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	0,08	-	<0,03	-	-	Nd	<0,03	<0,03	-	
PE-06	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	0,10	-	Nd	Nd	<1,50	Nd	x	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	<0,03	0,46	-	<0,03	0,07	<1,5	Nd	
PE-07	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-08	x	<0,01	Nd	-	-	FL	Nd	Nd	<0,03	FL	0,08	-	-	Nd	-	Nd	x	0,02	Nd	Nd	-	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	0,64	-	2,18	-	Nd	
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	0,80	-	0,08	-	Nd	0,11	0,46	Nd	
PE-10	x	FL	FL	-	-	FL	FL	0,41	FL	FL	0,60	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	FL	-	-	FL	FL	Nd	FL	FL	2,55	1,00	Nd	<0,03	0,04	Nd	
PM-01	x	<0,01	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,03	Nd	-	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	1,87	3,40	-	0,16	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	2,12	3,80	-	0,86	-	0,28	<1,5	0,36	-	
PME-01	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-02	2,86	0,08	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	14,42	0,03	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-03	0,08	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-
PME-04	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-
PME-05	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC-01	0,71	<0,01	-	-	-	-	-	0,44	<0,03	-	-	-	-	-	-	-	2,75	0,04	-	-	-	-	-	0,53	<0,03	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-01	x	<0,01	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-02	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONAMA	1,75														-																		
Lista Holandesa	0,5														0,2																		
SSTL Antigo	>2,4														0,047																		
SSTL Indicado	>10,0														>2,0																		

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper. Aut.) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper. Man.) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

Tabela 2d - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Benzo(k)fluoranteno														Benzo(a)pireno																		
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper. Aut. (Set/05)	Oper. Aut. (Dez/05)	Oper. Aut. (Fev/06)	Oper. Aut. (Jun/06)	Oper. Aut. (Mar/07)	Oper. Man. (Mai/08)	Oper. Man. (Nov/08)	Oper. Man. (Jan/09)	Oper. Man. (Mar/09)	Oper. Man. (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	
PE-01	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-02	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-03	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	Nd	-	-	-	-	FL	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	-	-	-	Nd	FL	FL		
PE-04	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-05	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	-	x	<0,01	Nd	-	-	-	Nd	Nd	Nd	-	-	-	Nd	Nd	Nd	-	
PE-06	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	0,04	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd								
PE-07	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-08	x	<0,01	Nd	-	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	0,15	-	-	Nd	-	Nd	x	<0,01	Nd	Nd	-	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	Nd	-	Nd	
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	-	Nd	Nd	Nd	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-10	x	FL	FL	-	-	FL	FL	Nd	FL	FL	1,40	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	FL	-	-	FL	FL	Nd	FL	FL	Nd	0,74	Nd	Nd	Nd	Nd	
PM-01	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-01	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-02	1,69	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	<0,01	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-03	Nd	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-04	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-05	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PC-01	Nd	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-01	x	<0,01	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI-02	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CONAMA	-														0,7																		
Lista Holandesa	0,05														0,05																		
SSTL Antigo	0,43														0,24																		
SSTL Indicado	>0,6														>1,6																		

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper. Aut.) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper. Man.) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

POSTO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 2e - Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas para o parâmetro PAH (µg/L)

Poços	Indeno(1,2,3-cd)pireno																Benzo(ghi)perileno																
	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	Invest. (Mai/04)	Instal. (Mai/05)	Oper.Aut (Set/05)	Oper.Aut (Dez/05)	Oper.Aut (Fev/06)	Oper.Aut (Jun/06)	Oper.Aut (Mar/07)	Oper.Man (Mai/08)	Oper.Man (Nov/08)	Oper.Man (Jan/09)	Oper.Man (Mar/09)	Oper.Man (Mai/09)	1º Pós (Nov/09)	2º Pós (Mai/10)	3º Pós (Nov/10)	4º Pós (Mai/11)	
PE-01	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-02	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
PE-03	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	FL	FL	x	<0,01	Nd	-	-	-	0,14	Nd	-	Nd	-	-	-	Nd	FL	FL	
PE-04	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	<0,01	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-05	x	<0,01	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	<0,01	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-06	x	-	-	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	Nd	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd														
PE-07	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-08	x	<0,01	Nd	Nd	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	Nd	-	Nd	x	<0,01	Nd	Nd	-	FL	Nd	Nd	Nd	FL	Nd	-	-	Nd	-	Nd	
PE-09	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	Nd	
PE-10	x	FL	FL	-	FL	FL	Nd	Nd	FL	FL	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	x	FL	FL	-	FL	FL	Nd	Nd	FL	FL	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	
PM-01	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-02	x	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-03	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PM-04	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	x	x	x	x	x	x	x	Nd	-	Nd	-	-	-	-	-	-	
PM-05	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	
PM-06	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	Nd	Nd	x	x	x	x	x	x	x	Nd	Nd	-	Nd	-	-	Nd	-	-	
PME-01	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	<0,01	Nd	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-02	Nd	<0,01	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	Nd	Nd	<0,01	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-03	Nd	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	Nd	-	Nd	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	Nd	-	-	
PME-04	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PME-05	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	Nd	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
PC-01	Nd	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	Nd	0,05	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	
PI-01	x	<0,01	-	Nd	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	Nd	x	<0,01	-	Nd	-	-	-	Nd	Nd	-	-	-	-	-	-	-	
PI-02	x	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	x	<0,01	-	-	-	-	-	Nd	-	-	-	-	-	-	-	-	
CONAMA	1,75																-																
Lista Holandesa	0,05																0,05																
SSTL Antigo	0,023																>0,7																
SSTL Indicado	>3,8																NC																

OBS: (Nd) Não detectado; (X) Poço ainda não existente; (FL) fase livre; (-) Não coletado; (Oper.Aut) Operação do Sistema de remediação automático; (Oper.Man) Operação do Sistema de remediação manual; (Instal.) Instalação do Sistema de remediação; (Invest.) Investigação Ambiental; (Nº Pós) Monitoramento Pós remediação

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2005, considerando a via de exposição: contato dermal com água subterrânea contaminada em ambiente comercial (on-site)

Valores acima dos SSTL's calculados na Análise de Risco de 2009, considerando a via de exposição: volatilização de água subterrânea contaminada em ambientes fechados residenciais (Off-site 17m)

Concentrações superiores aos valores orientadores da Lista Holandesa

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA Nº 420/09

## POSTO RIO GRANDE DO SUL

**Tabela 3a** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2004

COMPOSTOS	ST-01 3,0 m	ST-02 3,0 m	ST-05 1,0 m	ST-08 3,0 m	ST-09 2,0 m	ST-10 1,0 m	LIMITE DE DETECÇÃO	SSTL CALCULADO EM 2005 (Sem informação sobre a via considerada)	SSTL calculado em 2009 (lixiviação do solo para água subterrânea com posterior volatilização de água subterrânea para ambientes fechados - residencial - off site 2 - 17m)	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA
<b>BTEX (µg/kg)</b>											
Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,0	170,0	9.900	80	1.000,0
Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,0	78000,0	1.900.000	30.000	130.000,0
Etilbenzeno	382,50	ND	ND	ND	ND	ND	1,0	79000,0	860.000	40.000	50.000,0
Xilenos	75,00	ND	ND	ND	ND	209,50	1,0	940000,0	1.200.000	30.000	25.000,0
<b>PAH's (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) (mg/kg)</b>											
Naftaleno	0,75	0,03	0,29	ND	ND	0,37	0,01	1.700,00	1.200,00	60,0	-
Fenantreno	0,06	0,15	0,49	ND	ND	0,05	0,01	290,00	NC	40,0	-
Antraceno	0,01	0,01	0,03	ND	ND	0,01	0,01	>27	NC	-	-
Fluoranteno	0,01	0,00	0,01	ND	ND	ND	0,01	>328	NC	-	-
Benzo(a)antraceno	ND	ND	0,01	ND	ND	0,02	0,01	4,60	86,00	20,0	-
Criseno	0,01	0,00	0,02	ND	ND	0,02	0,01	0,42	15,00	-	-
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	11,00	16,00	-	-
Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	0,46	38,00	1,5	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	4,60	320,00	25,0	-
Benzo(ghi)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	>46	NC	-	-

(ND) não detectado; (NC) não calculado; (-) sem referência

Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2009

Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2005

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

## POSTO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 3b - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2005

COMPOSTOS	SG-01 ( 1,5 m)	SG-02 ( 1,0 m)	SG-03 (2,5 m)	SG-04 (2,0 m)	SG-05 ( 1,5 m)	S-07 (2,0 m)	S-08 ( 1,5 m)	S-12 ( 0,5 m)	LIMITE DETECÇÃO	SSTL CALCULADO EM 2005 (Sem informação sobre a via considerada)	SSTL calculado em 2009 (lixiviação do solo para água subterrânea com posterior volatilização de água subterrânea para ambientes fechados - residencial - off site 2 - 17m)	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA
<b>BTEX (µg/kg)</b>													
Benzeno	4,00	151,00	ND	2,70	8,40	7,00	18,10	ND	1,00	170,0	9.900	80	1.000,0
Tolueno	83,50	1.058,30	ND	18,10	367,00	105,90	536,30	ND	1,00	78000,0	1.900.000	30.000	130.000,0
Etilbenzeno	172,20	3.840,00	ND	16,90	138,70	10,30	675,80	ND	1,00	79000,0	860.000	40.000	50.000,0
Xilenos	110,20	1.791,60	4,40	398,40	9.795,30	146,90	8.938,30	ND	1,00	940000,0	1.200.000	30.000	25.000,0
<b>PAH's (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) (mg/kg)</b>													
Naftaleno	0,490	17,346	0,071	0,007	0,150	0,002	2,736	ND	0,10	1.700,00	1.200,00	60,0	-
Fenantreno	0,234	0,956	0,097	0,167	0,382	0,014	3,110	ND	0,10	290,00	NC	40,0	-
Antraceno	0,020	0,085	0,008	0,017	0,032	0,002	0,205	ND	0,10	>27	NC	-	-
Fluoranteno	0,003	0,010	0,005	0,004	0,005	0,001	0,043	ND	0,10	>328	NC	-	-
Benzo(a)antraceno	0,003	0,010	0,002	0,003	0,005	ND	0,024	ND	0,10	4,60	86,00	20,0	-
Criseno	0,016	0,074	0,010	0,021	0,027	ND	0,170	ND	0,10	0,42	15,00	-	-
Benzo(k)fluoranteno	ND	0,001	ND	ND	ND	ND	0,003	ND	0,10	11,00	16,00	-	-
Benzo(a)pireno	ND	0,005	0,001	ND	ND	ND	0,006	ND	0,10	0,46	38,00	1,5	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,10	4,60	320,00	25,0	-
Benzo(ghi)perileno	ND	0,003	0,002	ND	ND	ND	0,004	ND	0,10	>46	NC	-	-

(ND) não detectado; (NC) não calculado; (-) sem referência

Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2009

Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2005

Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09

Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa

## POSTO RIO GRANDE DO SUL

**Tabela 3c** - Resultados Analíticos das Amostras de Solo coletadas no ano de 2008

COMPOSTOS	SP-01	SP-02	SP-03	SP-04	LIMITE DE DETECÇÃO	SSTL CALCULADO EM 2005 (Sem informação sobre a via considerada)	SSTL calculado em 2009 (lixiviação do solo para água subterrânea com posterior volatilização de água subterrânea para ambientes fechados - residencial - off site 2 - 17m)	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA
<b>BTEX (µg/kg)</b>									
Benzeno	ND	ND	ND	ND	1,000	170,0	9.900	80	1.000,0
Tolueno	ND	ND	ND	ND	1,000	78000,0	1.900.000	30.000	130.000,0
Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	1,000	79000,0	860.000	40.000	50.000,0
Xilenos	ND	ND	ND	ND	1,000	940000,0	1.200.000	30.000	25.000,0
<b>PAH's (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) (mg/kg)</b>									
Naftaleno	0,010	0,210	ND	0,080	0,010	1.700,00	1.200,00	60,0	-
Fenantreno	0,020	0,300	ND	0,080	0,010	290,00	NC	40,0	-
Antraceno	ND	0,140	ND	ND	0,010	>27	NC	-	-
Fluoranteno	ND	ND	ND	0,010	0,010	>328	NC	-	-
Benzo(a)antraceno	ND	0,020	ND	ND	0,010	4,60	86,00	20,0	-
Criseno	ND	0,010	ND	ND	0,010	0,42	15,00	-	-
Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	0,010	11,00	16,00	-	-
Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	0,010	0,46	38,00	1,5	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	0,010	4,60	320,00	25,0	-
Benzo(ghi)perileno	ND	ND	ND	ND	0,010	>46	NC	-	-

(ND) não detectado; (NC) não calculado; (-) sem referência

**Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2009**

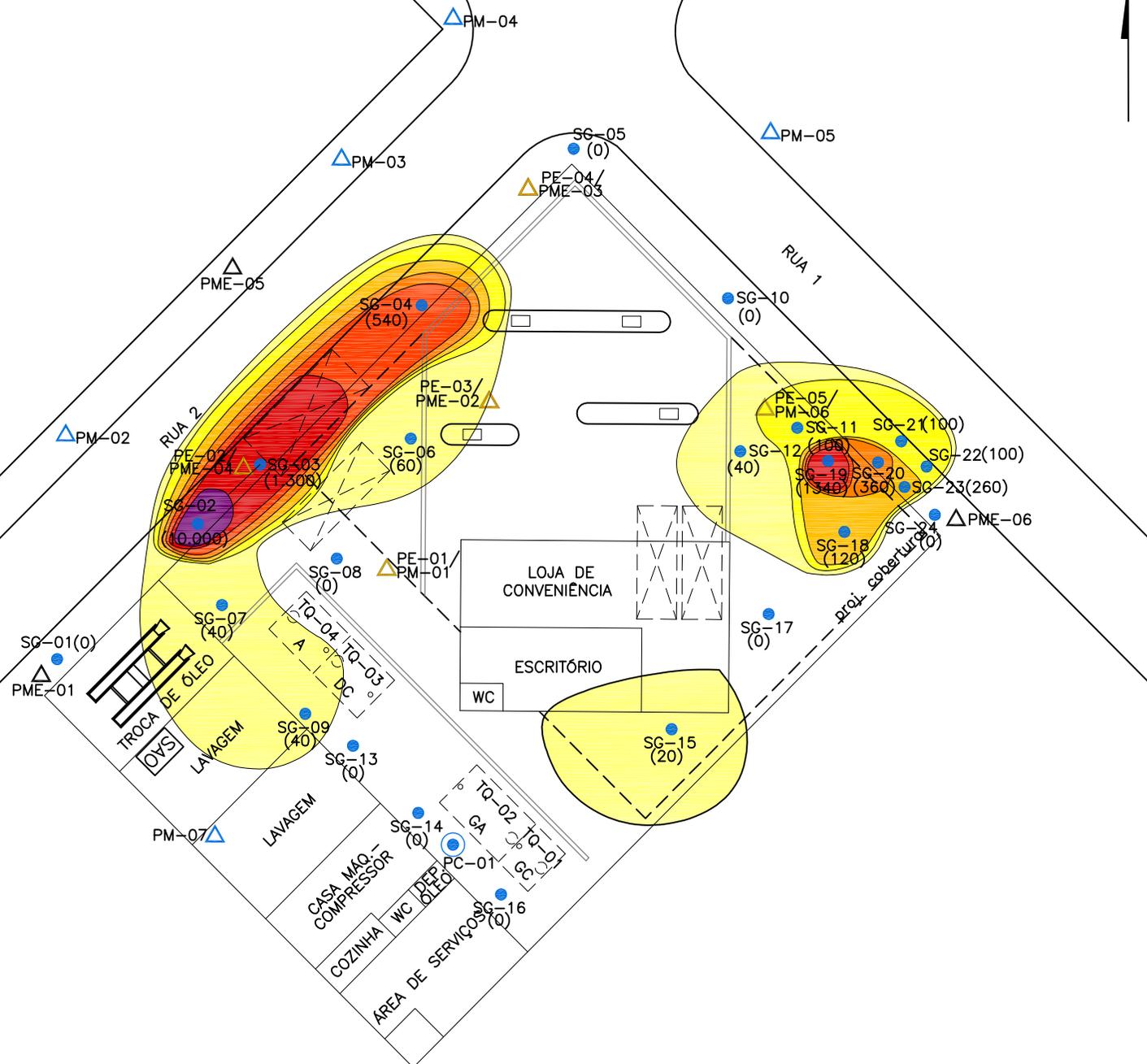
**Concentrações acima dos Níveis Alvos (SSTL's) calculados em 2005**

**Concentrações acima dos valores orientadores da resolução CONAMA 420/09**

**Concentrações acima dos valores orientadores da Lista Holandesa**

**ANEXO IV**  
**PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO - POSTO PARANÁ**

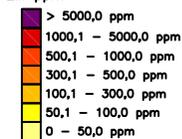
MALHA E PLUMA DE VOC



LEGENDA:

- TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
- TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
- BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- POÇO PROFUNDO
- ELEVADOR HIDRÁULICO
- CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADOS EM SET/08
- POÇO DE EXTRAÇÃO/POÇO DE MONITORAMENTO

CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM ppm



ÁREA TOTAL DA PLUMA: 384,4 m<sup>2</sup>

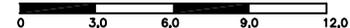
ESCALA:

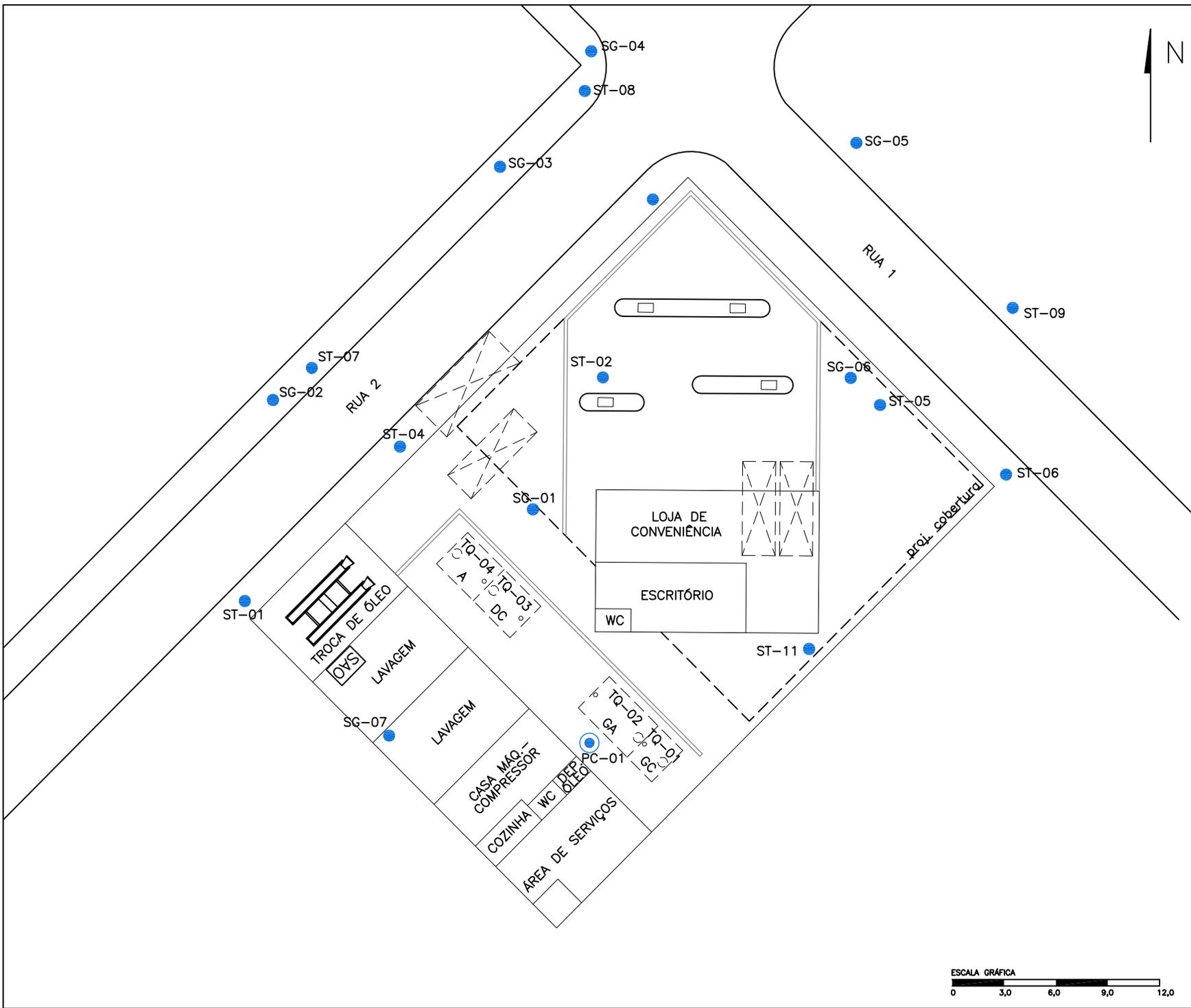
GRÁFICA

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

ESCALA GRÁFICA

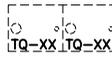
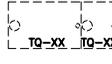
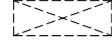
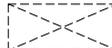




POSTO PARANÁ

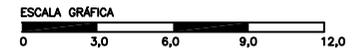
PLANTA BAIXA COM LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS REALIZADAS

LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  POÇO PROFUNDO
-  ELEVADOR HIDRÁULICO
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  ST-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2005
-  SG-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2008

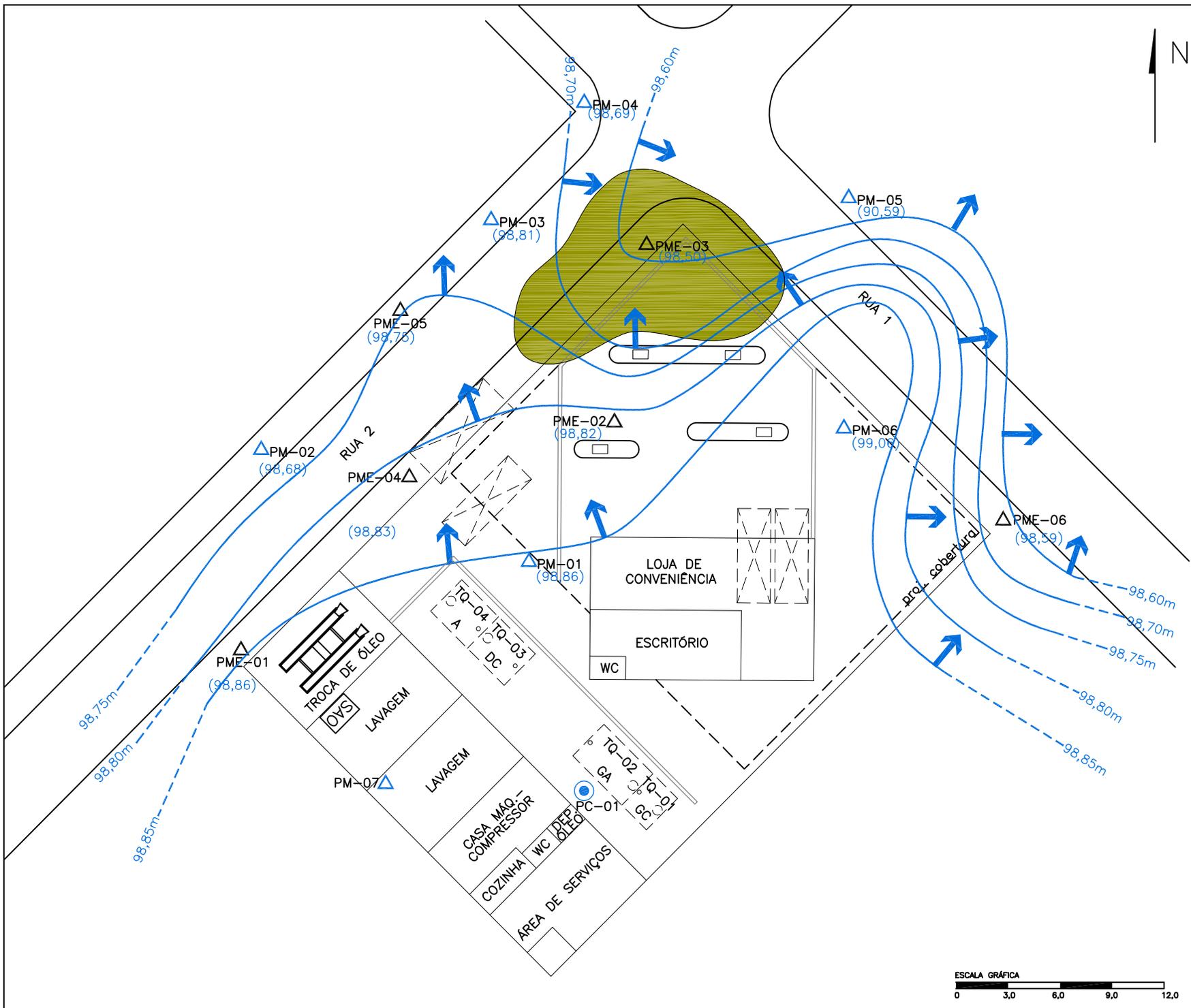
ESCALA: GRÁFICA

FONTE:  
ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

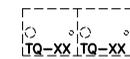
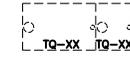
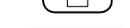
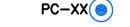
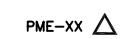
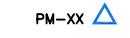


INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

ABRIL 2009



LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  POÇO PROFUNDO
-  ELEVADOR HIDRÁULICO
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  PME-XX △ POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
-  PM-XX △ POÇO DE MONITORAMENTO
-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
-  FASE LIVRE - VARIAÇÃO DE 3,0 CM (12/04/09) A 0,3 CM (24/04/09)

ÁREA DA PLUMA: 113,53 m<sup>2</sup>

ESCALA:

GRÁFICA

PLUMA DE FASE LIVRE ANTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

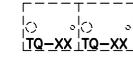
FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

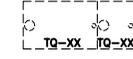
ESCALA GRÁFICA



LEGENDA:



TANQUE SUBTERRÂNEO  
COMPARTIMENTADO  
15.000L/15.000L



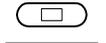
TANQUE SUBTERRÂNEO  
COMPARTIMENTADO  
20.000L/10.000L



TANQUE SUBTERRÂNEO  
DESATIVADO 15.000L



TANQUE SUBTERRÂNEO  
DESATIVADO 30.000L



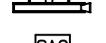
BOMBA DE ABASTECIMENTO



CANALETA



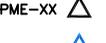
POÇO PROFUNDO



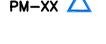
ELEVADOR HIDRÁULICO



CAIXA SEPARADORA  
DE ÁGUA E ÓLEO



POÇO DE MONITORAMENTO  
EXISTENTE



POÇO DE MONITORAMENTO

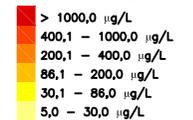


LINHA EQUIPOTENCIAL  
(CARGA HIDRÁULICA EM  
METROS)



SENTIDO DO FLUXO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO

CONAMA 420/09 E IAP/2011: 5,0 µg/L

LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L

SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ DEZ/09): 86,0 µg/L

SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE JAN/10): 400,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA: 410,68 m<sup>2</sup>

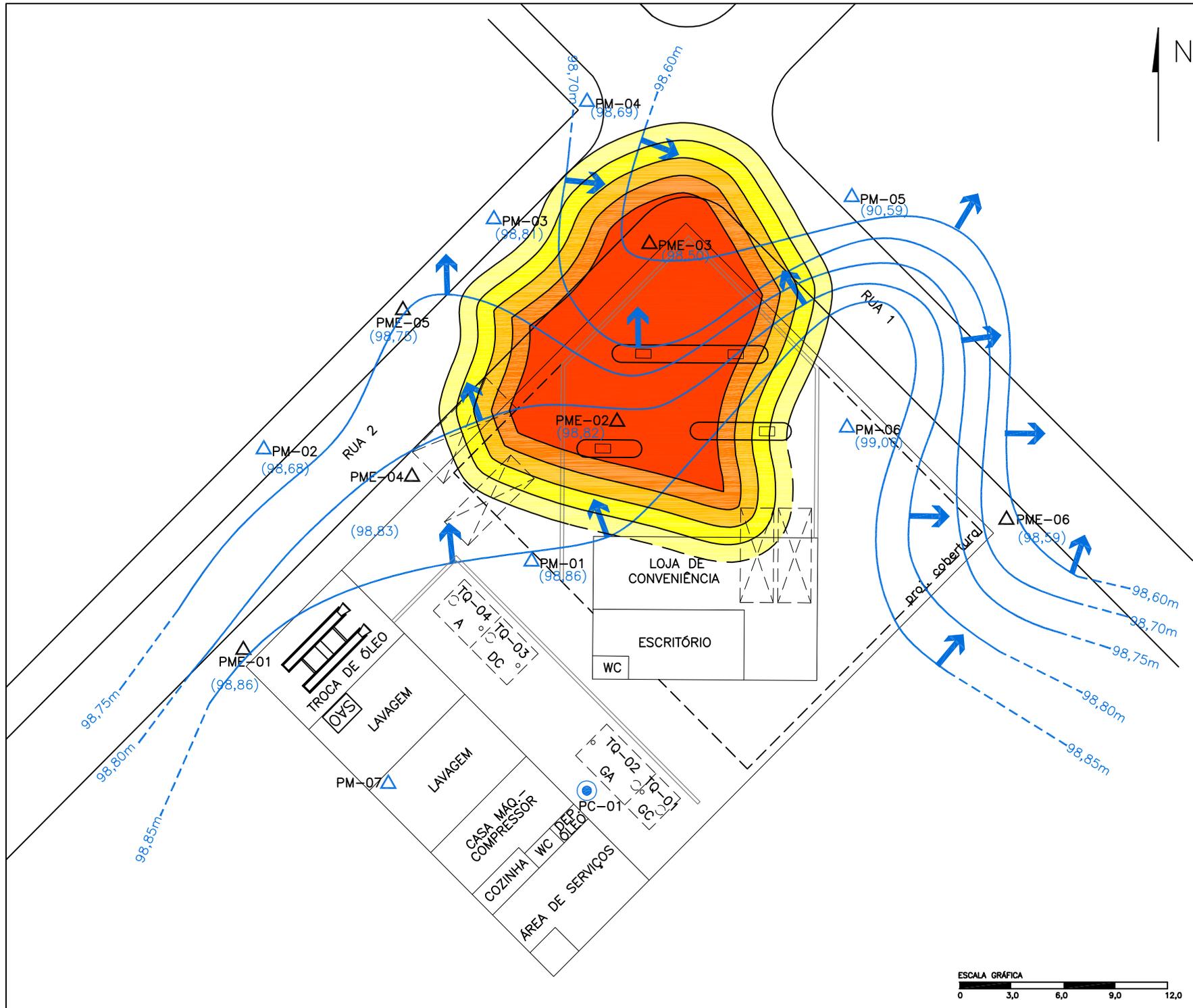
ESCALA:

GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE  
BENZENO ANTERIOR A OPERAÇÃO DO  
SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE:

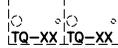
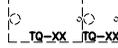
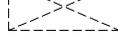
ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM  
REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



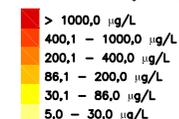
PRIMEIRO MONITORAMENTO  
PÓS-REMEDIAÇÃO

ABRIL 2010

LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  POÇO PROFUNDO
-  ELEVADOR HIDRÁULICO
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  PME-XX △
-  PM-XX △
-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO

- CONAMA 420/09 E IAP/2011: 5,0 µg/L
- LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L
- SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ DEZ/09): 86,0 µg/L
- SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE JAN/10): 400,0 µg/L

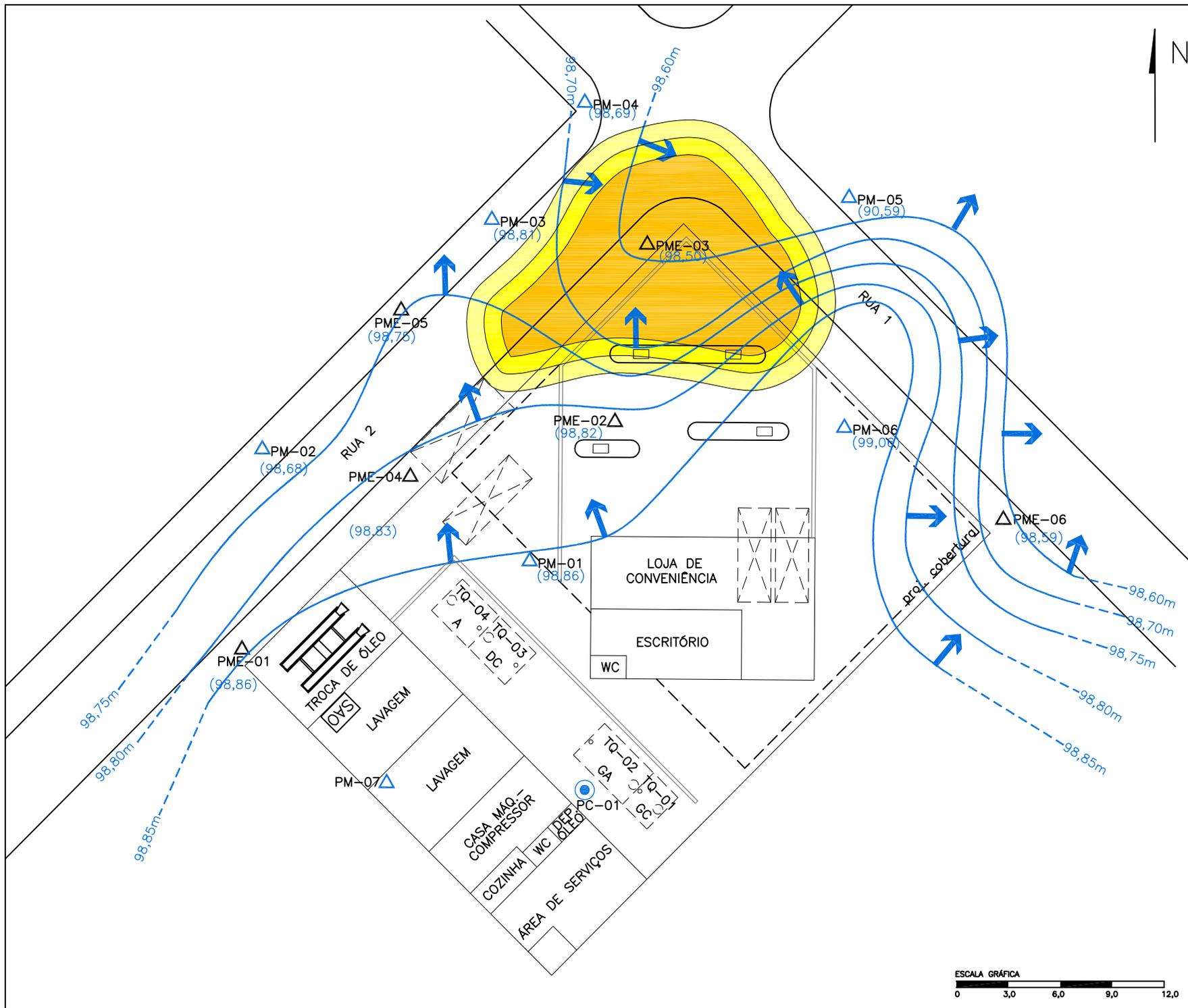
ÁREA TOTAL DA PLUMA: 240,65 m<sup>2</sup>

ESCALA: GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO POSTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE:

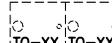
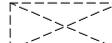
ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



ÚLTIMO MONITORAMENTO  
PÓS-REMEDIAÇÃO

JANEIRO 2011

LEGENDA:

-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 15.000L/15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO COMPARTIMENTADO 20.000L/10.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 15.000L
-  TANQUE SUBTERRÂNEO DESATIVADO 30.000L
-  BOMBA DE ABASTECIMENTO
-  CANALETA
-  POÇO PROFUNDO
-  ELEVADOR HIDRÁULICO
-  CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
-  PME-XX △ POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
-  PM-XX △ POÇO DE MONITORAMENTO
-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L

> 1000,0	µg/L
400,1 - 1000,0	µg/L
200,1 - 400,0	µg/L
86,1 - 200,0	µg/L
30,1 - 86,0	µg/L
5,0 - 30,0	µg/L

VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO

CONAMA 420/09 e IAP/2011: 5,0 µg/L

LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L

SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ DEZ/09): 86,0 µg/L

SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE JAN/10): 400,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA: 410,68 m<sup>2</sup>

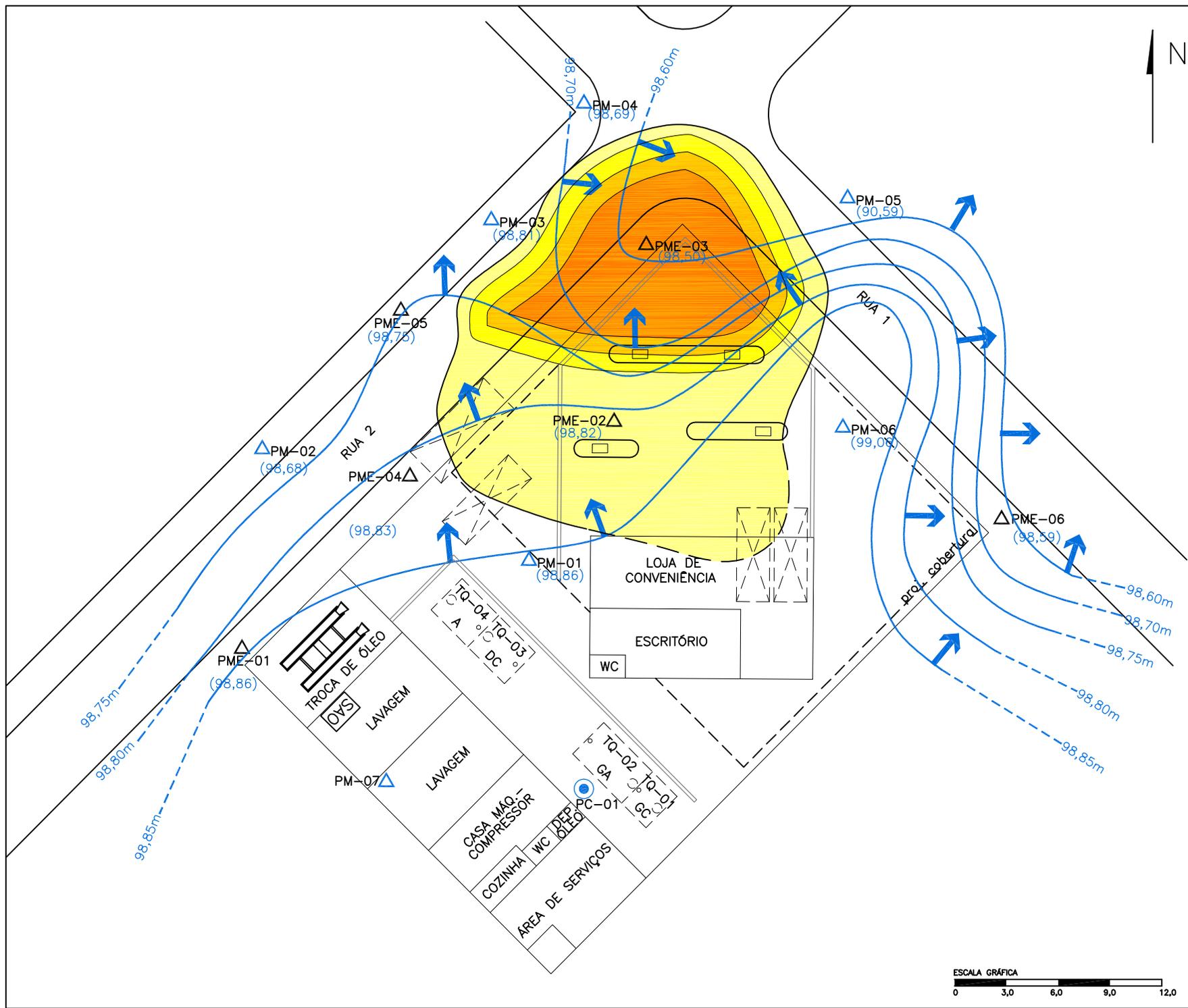
ESCALA:

GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO ENCONTRADA NO ÚLTIMO MONITORAMENTO PÓS-REMEDIAÇÃO

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



**ANEXO IV**

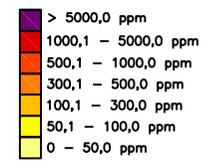
**PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO - POSTO SANTA CATARINA**

POSTO SANTA CATARINA

MALHA E PLUMA DE VOC

- LEGENDA:**
-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
  -  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
  -  RAMPA
  -  PM-XX POÇO DE MONITORAMENTO
  -  PE-XX POÇO DE EXTRAÇÃO
  -  PI-XX POÇO DE INJEÇÃO
  -  PM-XX POÇO DESTRUIDO EM DEZEMBRO DE 2007
  -  SG-XX PONTO DE MEDIÇÃO DE VOC

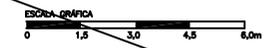
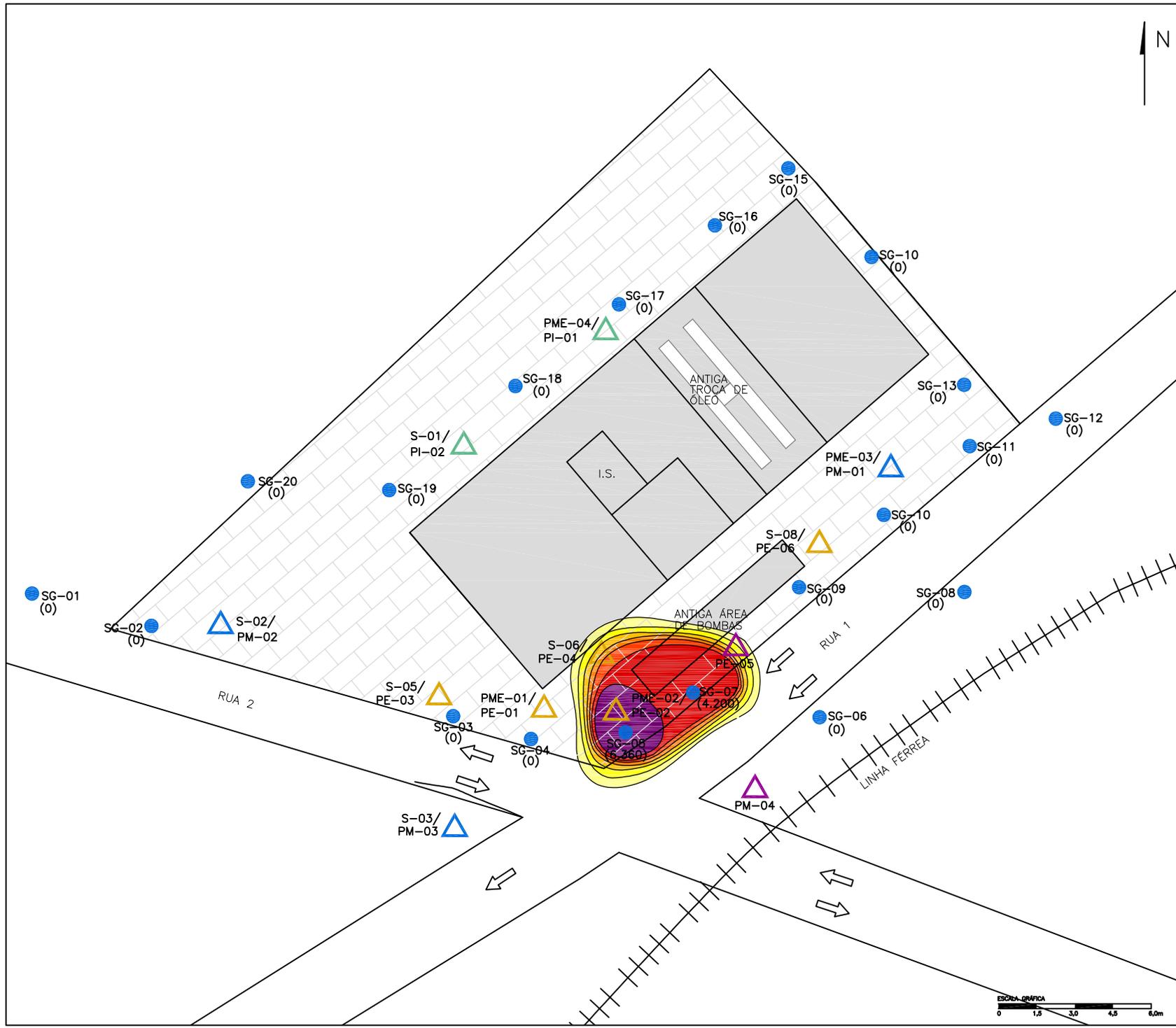
CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM ppm



ÁREA TOTAL DA PLUMA: 36,15 m<sup>2</sup>

ESCALA:  
GRÁFICA

FONTE:  
ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIÇÃO AMBIENTAL





# POSTO SANTA CATARINA

## PLANTA BAIXA COM LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS E PLUMA DE CONTAMINAÇÃO DE BENZENO NO SOLO

### LEGENDA:

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA
-  ST-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2005
-  SG-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2007

### VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO NO SOLO (µg/L)

-  > 3000,1 µg/L
-  2000,1 - 3000,0 µg/L
-  1000,1 - 2000,0 µg/L
-  500,1 - 1000,0 µg/L
-  80,0 - 500,0 µg/L

### VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO NO SOLO

- CONAMA 420/09: 80,0 µg/L
- LISTA HOLANDESA: 1.000,0 µg/L
- SSTL: 3.000,0 µg/L

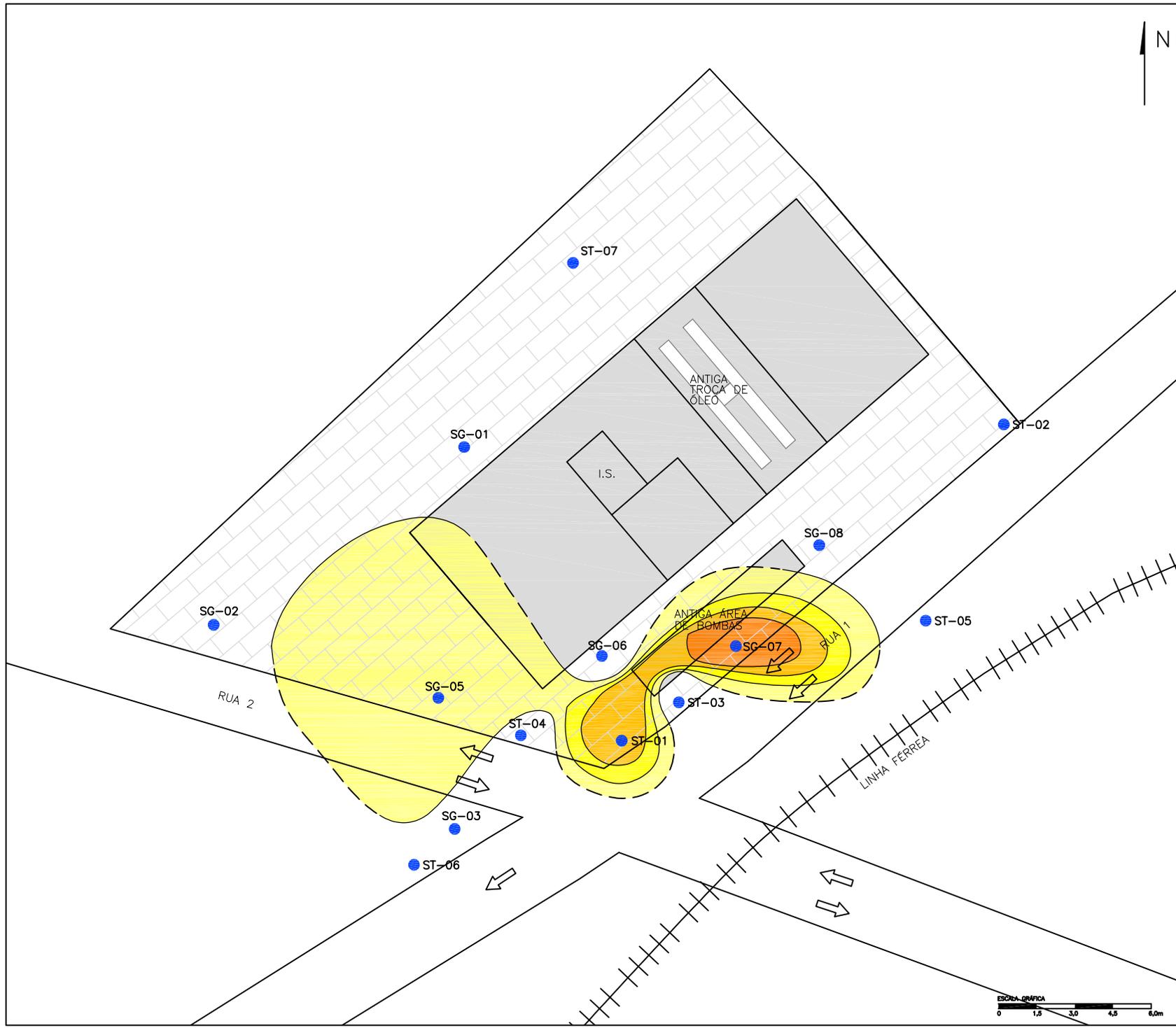
ÁREA DA PLUMA: 145,1 m<sup>2</sup>

ESCALA:

GRÁFICA

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



POSTO SANTA CATARINA

PRÉ-REMEDIAÇÃO E INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FEVEREIRO E MARÇO 2007

LEGENDA:

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA
-  PM-XX  POÇO DE MONITORAMENTO
-  PE-XX  POÇO DE EXTRAÇÃO
-  PI-XX  POÇO DE INJEÇÃO
-  PM-XX  POÇO DESTRUIDO EM DEZEMBRO DE 2007
-  (XX,XX) LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO (µg/L)

-  > 1000,1 µg/L
-  460,1 - 1000,0 µg/L
-  100,1 - 460,0 µg/L
-  30,1 - 100,0 µg/L
-  5,0 - 30,0 µg/L

VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO

- CONAMA 420/09: 5,0 µg/L
- LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L
- SSTL: 460,0 µg/L

ÁREA TOTAL DA PLUMA: 259,2 m<sup>2</sup>

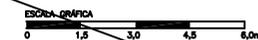
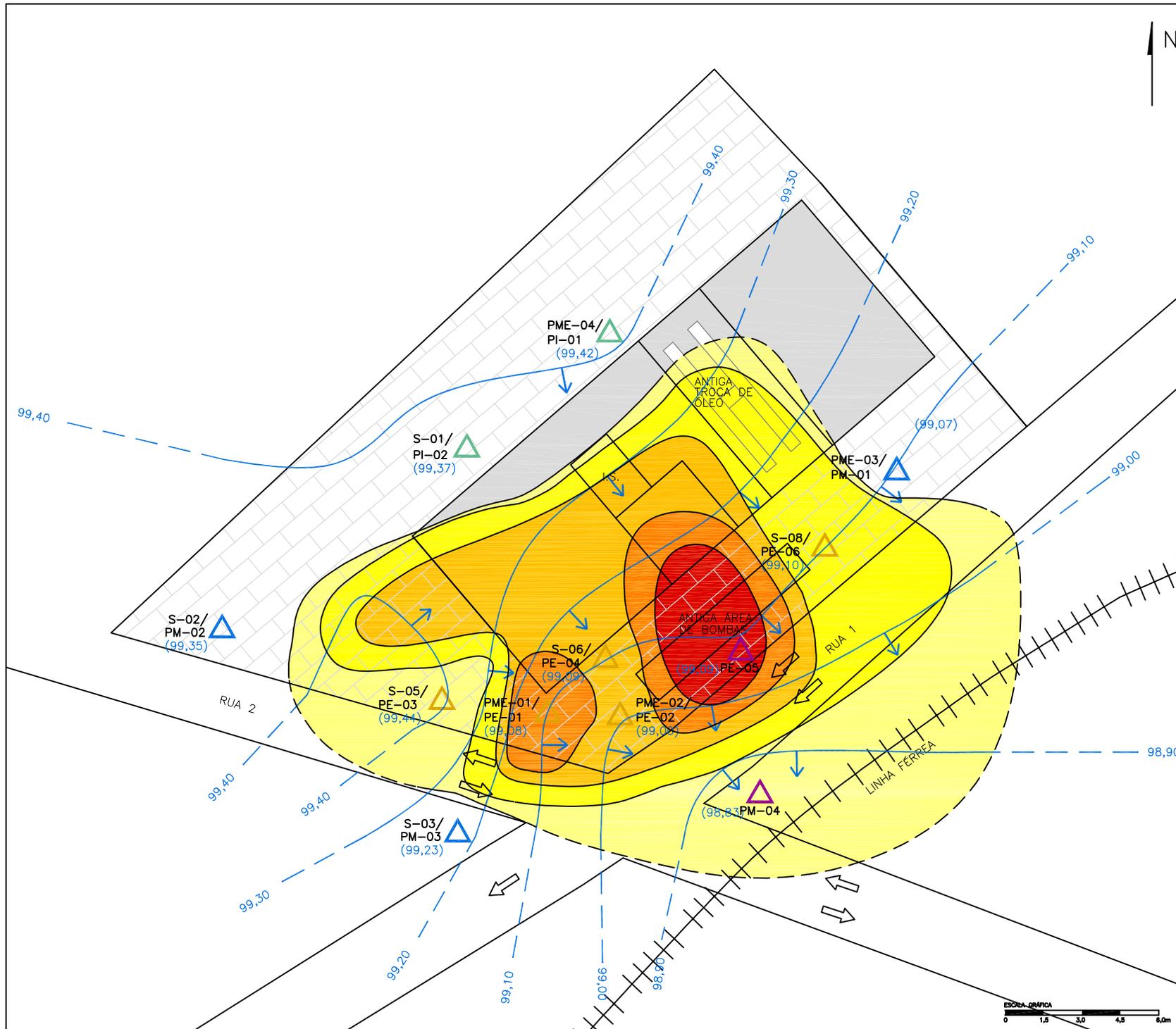
ESCALA:

GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO ANTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



POSTO SANTA CATARINA

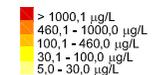
ENCERRAMENTO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

OUTUBRO 2007

LEGENDA:

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA
-  PM-XX POÇO DE MONITORAMENTO
-  PE-XX POÇO DE EXTRAÇÃO
-  PI-XX POÇO DE INJEÇÃO
-  PM-XX POÇO DESTRUIDO EM DEZEMBRO DE 2007
-  LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO (µg/L)



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO

CONAMA 420/09: 5,0 µg/L  
LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L  
SSTL: 460,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA: 151,3 m<sup>2</sup>

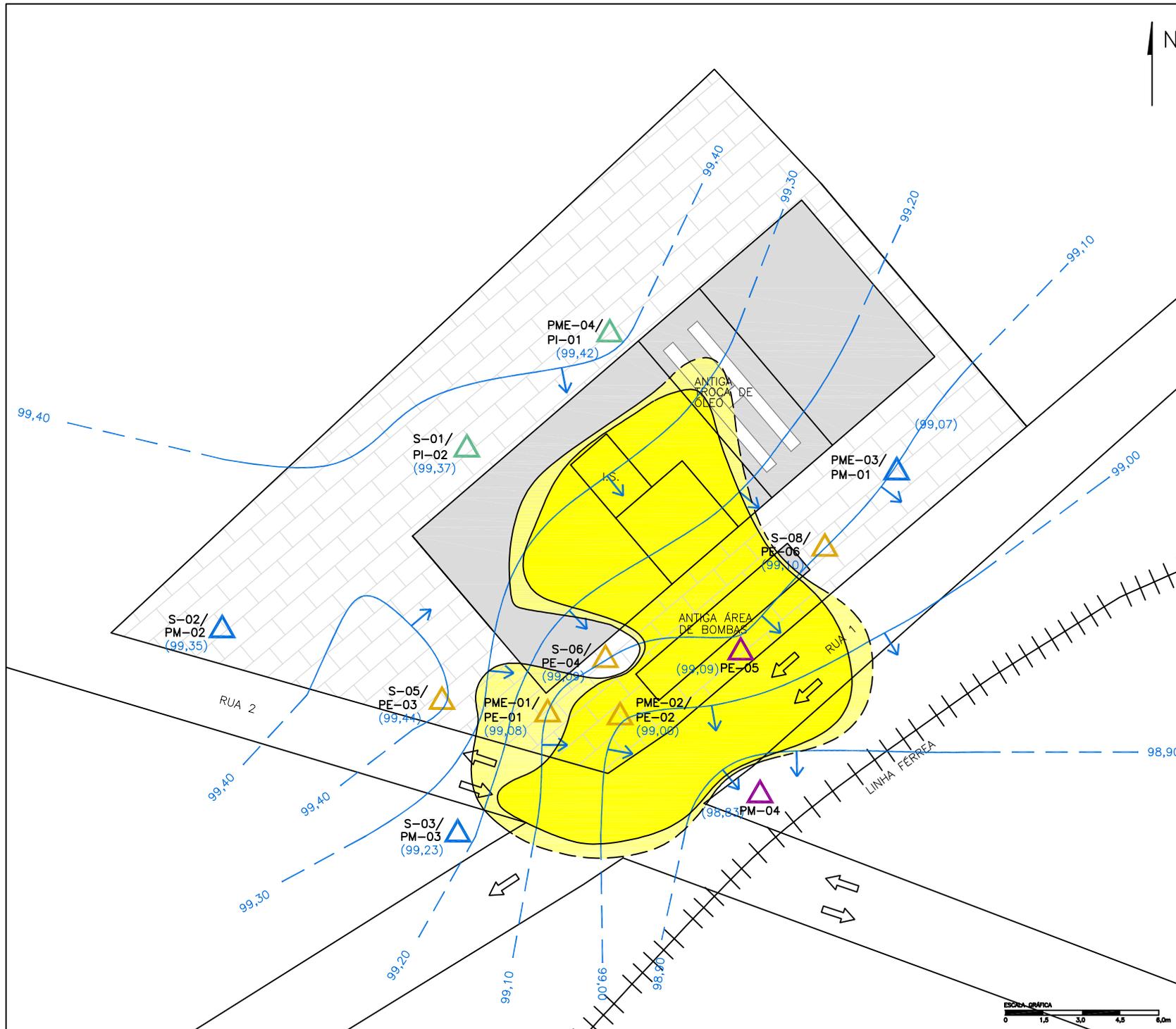
ESCALA:

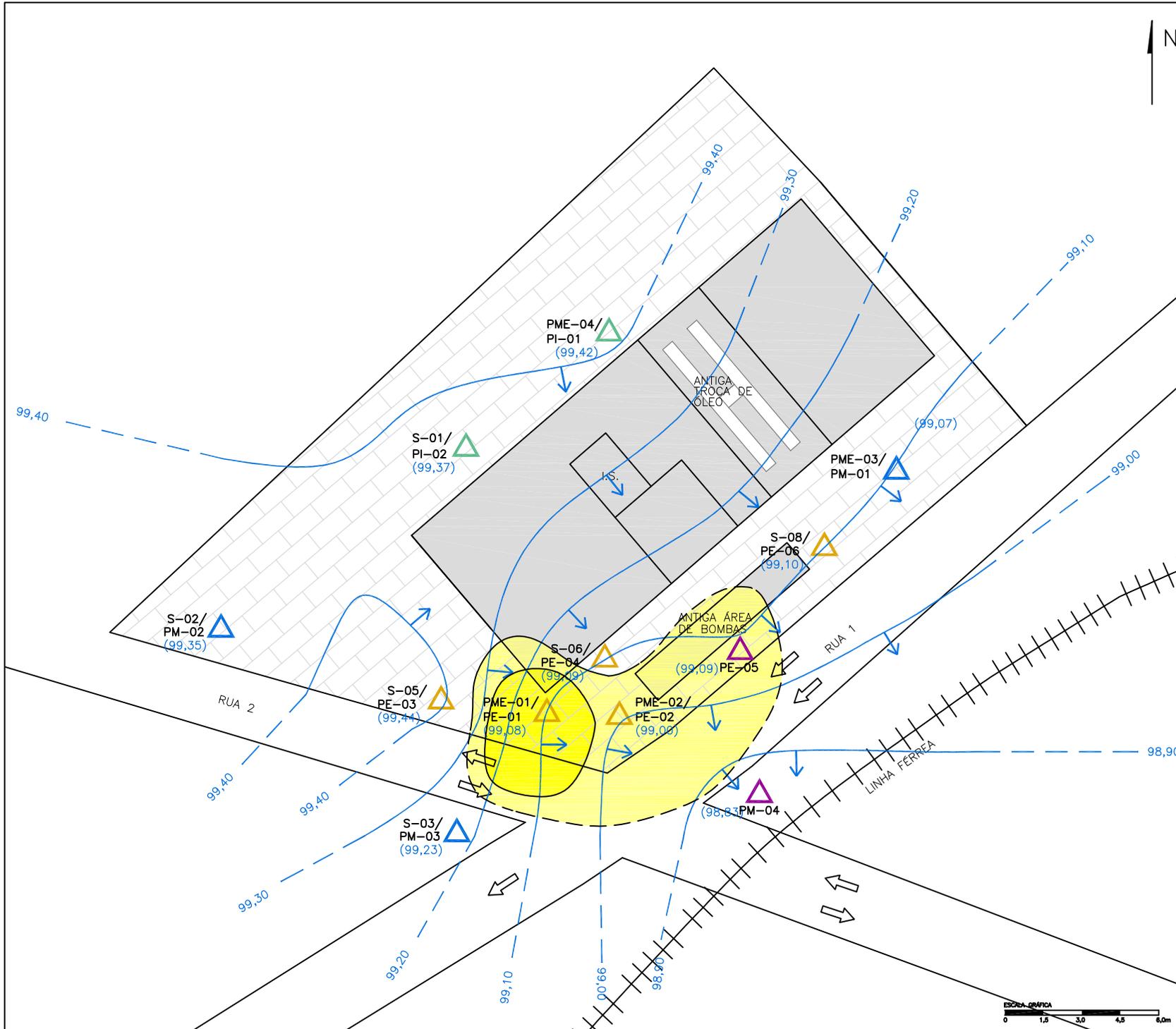
GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO POSTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE:

EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL





**POSTO SANTA CATARINA**

**ÚLTIMO MONITORAMENTO  
PÓS- REMEDIAÇÃO**

OCTUBRO  
2008

**LEGENDA:**

-  PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO
-  PAVIMENTAÇÃO EM PEDRAS PARALELAS
-  RAMPA
-  PM-XX ▲ POÇO DE MONITORAMENTO
-  PE-XX ▲ POÇO DE EXTRAÇÃO
-  PI-XX ▲ POÇO DE INJEÇÃO
-  PM-XX ▲ POÇO DESTRUIDO EM DEZEMBRO DE 2007
-  (XX,XX) LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
-  SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

**VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO (µg/L)**

-  > 1000,1 µg/L
-  460,1 - 1000,0 µg/L
-  100,1 - 460,0 µg/L
-  30,1 - 100,0 µg/L
-  5,0 - 30,0 µg/L

**VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO**  
 CONAMA 420/09: 5,0 µg/L  
 LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L  
 SSTL: 460,0 µg/L

**ÁREA DA PLUMA: 75,55 m<sup>2</sup>**

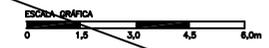
ESCALA:

**GRÁFICA**

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO  
 ENCONTRADA NO ÚLTIMO  
 MONITORAMENTO DE PÓS-REMEDIAÇÃO

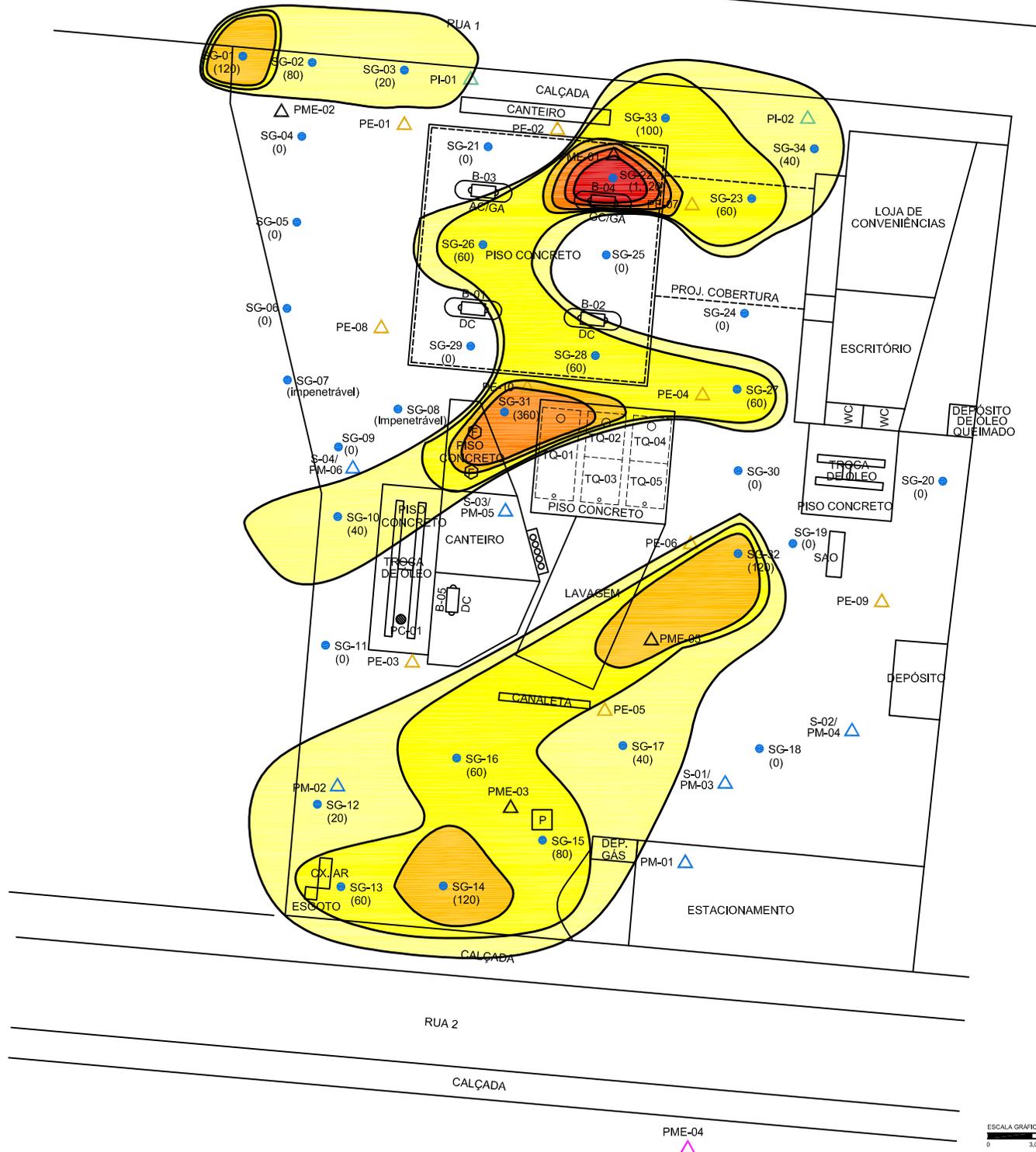
FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA  
 EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



**ANEXO IV**

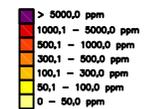
**PLUMAS DE CONTAMINAÇÃO - POSTO SANTA CATARINA**



LEGENDA:

- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- XXX RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- F FILTRO DE ÓLEO
- POÇO CAÇIMBA
- △ POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- △ POÇO DE EXTRAÇÃO/POÇO DE MONITORAMENTO
- △ SONDAGEM/POÇO DE MONITORAMENTO
- △ POÇO DE INJEÇÃO
- SG-19 PONTO DE MEDIÇÃO DE VOC

CONCENTRAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM ppm



ÁREA TOTAL DA PLUMA: 1.132, 53 m<sup>2</sup>

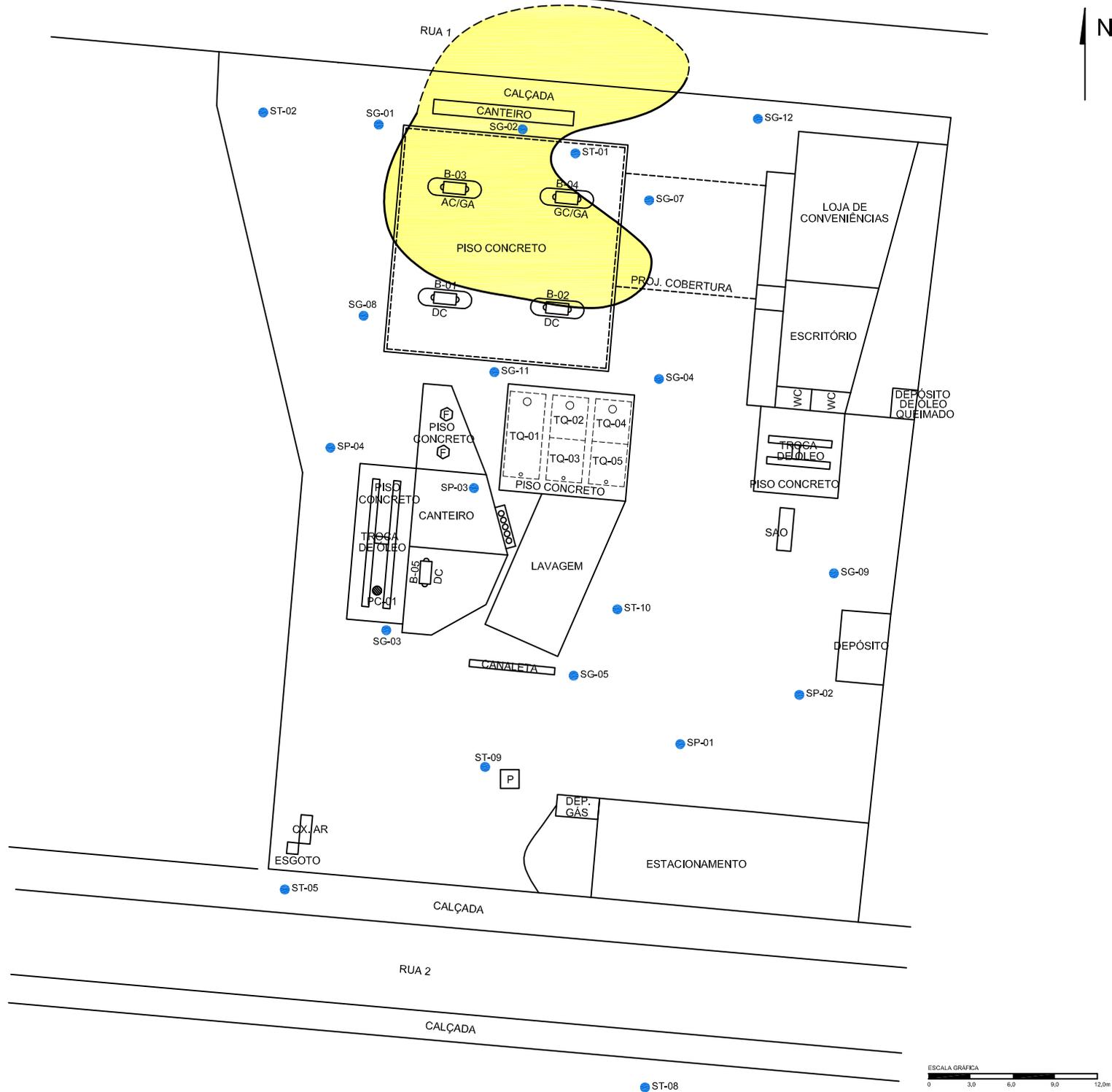
ESCALA: GRÁFICA

PLANTA BAIXA COM MALHA DE VOC

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL





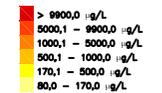
POSTO RIO GRANDE DO SUL

PLANTA BAIXA COM LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS E PLUMA DE CONTAMINAÇÃO DE BENZENO NO SOLO

LEGENDA:

- TQ-XX TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- F FILTRO DE ÓLEO
- PC-01 POÇO CAÇIMBA
- ST-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2004
- SG-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2005
- SP-XX SONDAGEM REALIZADA EM 2008

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO NO SOLO µg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO NO SOLO  
 CONAMA 420/09 : 80,0 µg/L  
 LISTA HOLANDESA: 1000,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ MAI/09): 170,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE MAI/09): 9900,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA: 305,14 m<sup>2</sup>

ESCALA:

GRÁFICA

PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO COM A LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS REALIZADAS E PLUMA DE CONTAMINAÇÃO DE BENZENO NO SOLO

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO



LEGENDA:

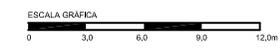
- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX ○ TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- F FILTRO DE ÓLEO
- PC-01 POÇO CAÇIMBA
- PME-xx Δ POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- PE-xx Δ POÇO DE EXTRAÇÃO/
- S-xx/ PM-xx Δ SONDAGEM/ POÇO DE MONITORAMENTO/
- PI-xx Δ POÇO DE INJEÇÃO/
- (xx,xx) — LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
- SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
- PLUMA DE FASE LIVRE
- PLUMA COM MAIOR ESPESURA DE FASE LIVRE E OBSERVADA EM MAIOR FREQUÊNCIA
- PLUMA COM MENOR ESPESURA DE FASE LIVRE E OBSERVADA EM MENOR FREQUÊNCIA

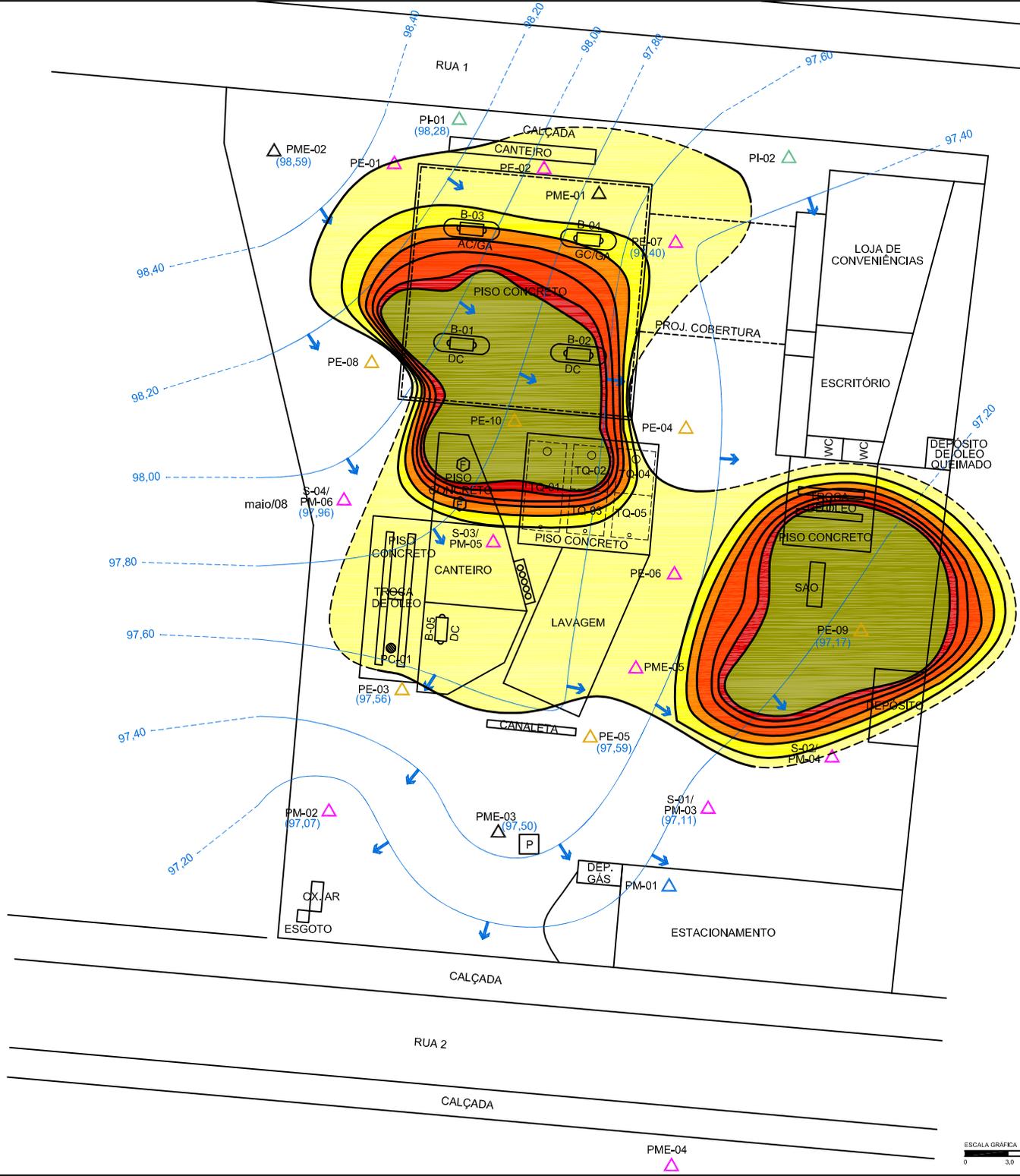
ÁREA TOTAL DA PLUMA: 621,3 m<sup>2</sup>

ESCALA: GRÁFICA

PLUMA DE FASE LIVRE ENCONTRADA DURANTE A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL





POSTO RIO GRANDE DO SUL

INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

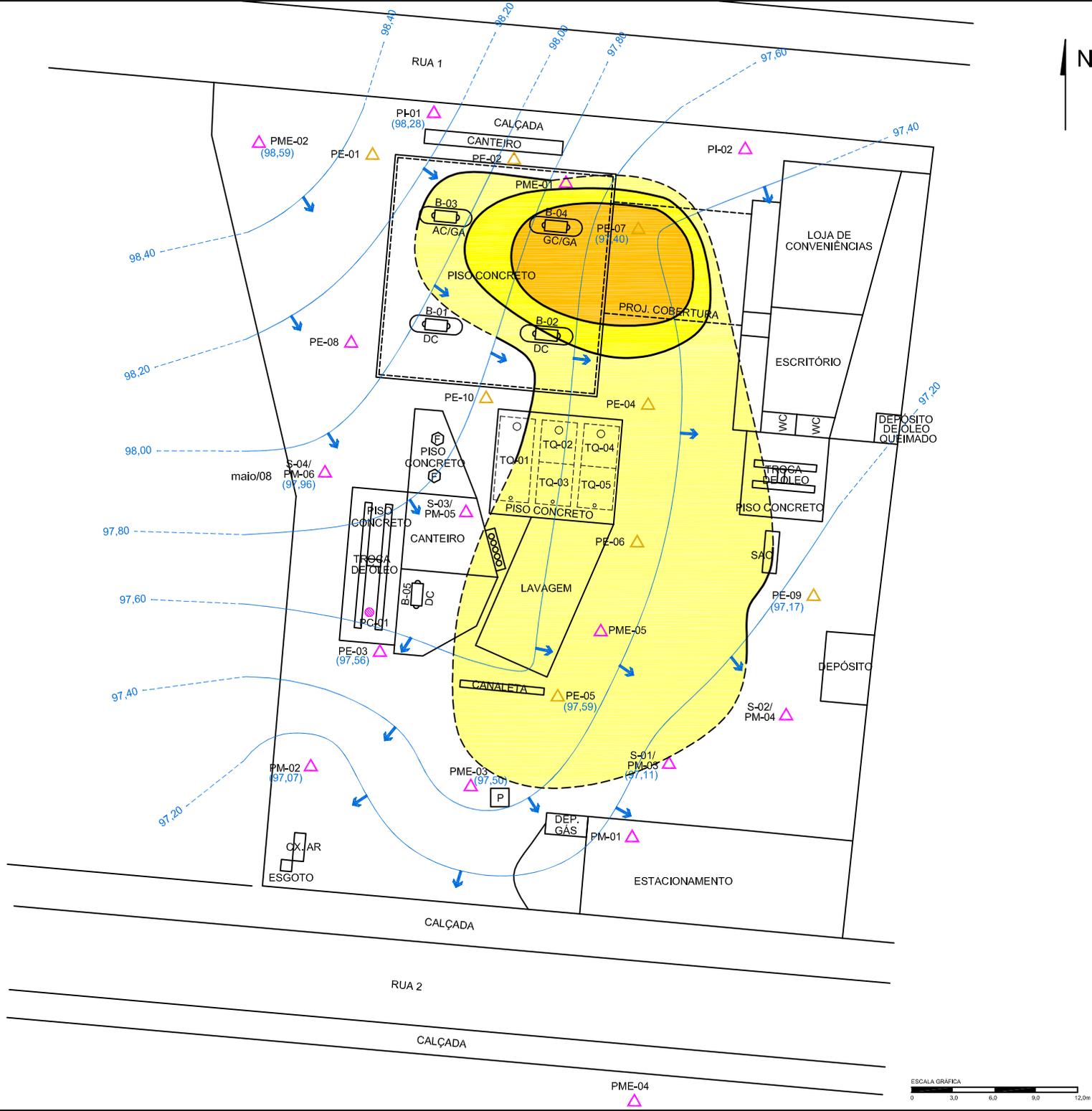
- LEGENDA:**
- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO
  - TQ-XX ○ TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
  - X BOMBA DE ABASTECIMENTO
  - CANALETA
  - RESPIROS
  - P POÇO EXISTENTE
  - SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
  - F FILTRO DE ÓLEO
  - PC-01 POÇO CAÇIMBA
  - PME-XX POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
  - PE-XX POÇO DE EXTRAÇÃO/
  - S-XX/ PM-XX SONDA/ POÇO DE MONITORAMENTO/
  - PI-XX POÇO DE INJEÇÃO/
  - PI-XX POÇO NÃO AMOSTRADO/ NÃO EXISTENTE
  - (xx.xx) — LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
  - SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
- VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L**
- |  |                      |
|--|----------------------|
|  | FASE LIVRE           |
|  | > 2300,0 µg/L        |
|  | 1000,1 – 2300,0 µg/L |
|  | 500,1 – 1000,0 µg/L  |
|  | 82,1 – 500,0 µg/L    |
|  | 30,1 – 82,0 µg/L     |
|  | 5,0 – 30,0 µg/L      |
- VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO**
- CONAMA 420/09 : 5,0 µg/L
  - LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L
  - SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ MAI/09): 62,0 µg/L
  - SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE MAI/09): 2300,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA DE FASE LIVRE: 314,22 m<sup>2</sup>  
 ÁREA DA PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO: 896,3 m<sup>2</sup>  
 ÁREA TOTAL DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO: 1210,52 m<sup>2</sup>

ESCALA: GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO ANTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE: ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



POSTO RIO GRANDE DO SUL

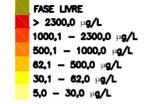
PRIMEIRO MONITORAMENTO PÓS REMEDIAÇÃO

NOVEMBRO - 2009

LEGENDA:

- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- F FILTRO DE ÓLEO
- PC-01 POÇO CAÇIMBA
- PME-xx POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- PE-xx POÇO DE EXTRAÇÃO/
- S-xx/PM-xx SONDAGEM/ POÇO DE MONITORAMENTO/
- PI-xx POÇO DE INJEÇÃO/
- PI-xx POÇO NÃO AMOSTRADO
- (xx.xx) LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
- SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE BENZENO  
 CONAMA 420/09 : 5,0 µg/L  
 LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ MAI/09): 82,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE MAI/09): 2300,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA: 822,88 m²

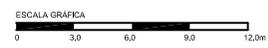
ESCALA:

GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO POSTERIOR A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

FONTE:

ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL



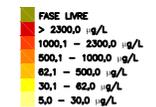
ÚLTIMO MONITORAMENTO PÓS REMEDIAÇÃO

MAIO - 2011

LEGENDA:

- TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO
- TQ-XX | ○ TQ-XX • TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO
- X BOMBA DE ABASTECIMENTO
- CANALETA
- RESPIROS
- P POÇO EXISTENTE
- SAO CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO
- F FILTRO DE ÓLEO
- PC-01 POÇO CAÇIMBA
- PME-xx POÇO DE MONITORAMENTO EXISTENTE
- PE-xx POÇO DE EXTRAÇÃO/
- S-xx/ PM-xx SONDAGEM/ POÇO DE MONITORAMENTO/
- PI-xx POÇO DE INJEÇÃO/
- PX-xx POÇO NÃO AMOSTRADO
- (xx,xx) LINHA EQUIPOTENCIAL (CARGA HIDRÁULICA EM METROS)
- SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE BENZENO µg/L



VALORES MÁXIMO PERMITIDO DE DE BENZENO  
 CONAMA 420/09 : 5,0 µg/L  
 LISTA HOLANDESA: 30,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO VÁLIDO ATÉ MAJ/09): 62,0 µg/L  
 SSTL (CENÁRIO A PARTIR DE MAJ/09): 2300,0 µg/L

ÁREA DA PLUMA DE FASE LIVRE: 88,38 m<sup>2</sup>  
 ÁREA DA PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO: 209,08 m<sup>2</sup>

ESCALA: GRÁFICA

PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZENO ENCONTRADA NO ÚLTIMO MONITORAMENTO DE PÓS- REMEDIAÇÃO

FONTE:  
 ADAPTADO DA EMPRESA ESPECIALIZADA EM REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

