



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental**

MARIANNE RACHEL ABREU TEIXEIRA

**Etapas de uma avaliação ambiental em área
potencialmente contaminada –
Investigação Preliminar, Confirmatória e
Detalhada**

**Rio de Janeiro
2013**



UFRJ

MARIANNE RACHEL ABREU TEIXEIRA

Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada – Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos, *D.Sc.*

Co-orientadora: Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, *D.Sc.*

**Rio de Janeiro
2013**

FICHA CATALOGRÁFICA

Teixeira, Marianne Rachel Abreu.

Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada – Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada / Marianne Rachel Abreu Teixeira. – 2013.

xii, 128f. : 38il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.

Orientadores: Juacyara Carbonelli Campos e Fabiana Valéria da Fonseca Araujo

1. Investigação ambiental. 2. Área contaminada. 3. Posto de combustível. 4. Análise de risco. I. Campos, Juacyara Carbonelli. Araujo, Fabiana Valéria da Fonseca. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



UFRJ

Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada –
Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada

MARIANNE RACHEL ABREU TEIXEIRA

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos, *D.Sc.*

Co-orientadora: Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, *D.Sc.*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Juacyara Carbonelli Campos, *D.Sc.*, UFRJ

Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, *D.Sc.*, UFRJ

Elisabeth Ritter, *D.Sc.*, UERJ

Ladimir José de Carvalho, *D.Sc.*, UFRJ

Maria Cristina Moreira Alves, *D.Sc.*, UFRJ

**Rio de Janeiro
2013**

“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez.”

Jean Cocteau

AGRADECIMENTOS

A Deus, à Nossa Senhora Aparecida e São Jorge, pela força que me concedem a cada dia de minha vida;

A minha mãe Andrea, minha madrinha Karla, minha avó Tecla, meu pai Henrique, por me encorajarem nos momentos mais difíceis dessa jornada, com palavras de apoio e motivação. Sem dúvida, meus guias;

A toda a minha família, por acreditar tanto em mim;

Ao meu namorado Pablo, por toda paciência, ajuda, dedicação e amor sempre presentes durante a execução deste trabalho. Minha fortaleza;

Às orientadoras Juacyara Carbonelli Campos e Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, que aceitaram o desafio de orientar a elaboração dessa dissertação, esclarecendo, criticando e elogiando mesmo através de emails de madrugada, quando preciso;

Aos amigos que vivenciaram cada detalhe desse período e que me acompanharam na luta por esta grande vitória;

À HAZTEC Tecnologia e Planejamento Ambiental S.A., em especial ao Felipe Rocha, por todo o apoio sempre oferecido;

À IPIRANGA Produtos de Petróleo S.A. que permitiu minha ausência para a elaboração da dissertação.

RESUMO

TEIXEIRA, Marianne Rachel Abreu. **Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada – Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada**. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Nos últimos dez anos, com a evolução dos procedimentos ambientais, o número de áreas contaminadas em território nacional teve um aumento considerável, principalmente em terrenos cuja atividade desenvolvida é de postos de abastecimento de combustíveis. Um diagnóstico ambiental focado na investigação do solo e do lençol freático consiste na completa descrição do *site*, de modo a caracterizar a situação ambiental da área estudada. Essa investigação tem por objetivo avaliar se atividades potencialmente poluidoras podem ter gerado algum dano ao meio ambiente, como possíveis vazamentos, descartes inadequados ou má operação. Para um completo estudo de avaliação ambiental, é sugerido pelos órgãos ambientais competentes o seguimento da norma brasileira ABNT NBR 15.515, que define etapas de uma investigação (preliminar, confirmatória e detalhada) visando o fornecimento de orientações técnicas. Neste trabalho, foram realizadas etapas de investigação ambiental em uma antiga área de abastecimento de combustíveis, com avaliação preliminar para elaboração de modelo conceitual, execução de sondagens, instalação de poços de monitoramento, ensaios hidrogeotécnicos e análises químicas de amostras coletadas do solo e das águas subterrâneas. Foi realizada ainda, uma análise de risco à saúde humana para quantificar o risco da contaminação presumida aos receptores locais. Com base nos resultados obtidos ao longo das investigações realizadas, verificou-se que, embora fossem encontradas concentrações de compostos derivados de petróleo superiores a valores de referência, o cenário constatado não conferia risco. Desta forma, não foram recomendadas ações de intervenção na área, porém campanhas de monitoramento trimestrais foram sugeridas para acompanhamento das concentrações destes compostos durante um ciclo hidrogeológico.

Palavras-chave: investigação ambiental, área contaminada, posto de combustível, análise de risco.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Marianne Rachel Abreu. **Etapas de uma avaliação ambiental em área potencialmente contaminada – Investigação Preliminar, Confirmatória e Detalhada.** Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Over the last ten years, with the development of environmental procedures, the number of contaminated areas in the national territory increased considerably, mainly in areas where fuel filling stations are installed. An environmental diagnosis focused on soil and groundwater investigation is the completed description of the site, in order to characterize the environmental situation of analyzed area. Such research aims to evaluate if potentially polluting activities could have generated some environmental damage, through of possible leaks, inadequate disposal or inappropriate operation. Competent environmental bodies suggest the technical standard ABNT NBR 15.515 to achieve a complete study of environmental assessment. This standard defines the stages of an environmental research (Preliminary, Confirmatory and Detailed) providing technical guidance. In the present work, stages of environmental research were carried out in a former area of fuel supply to suit a notification of environmental agency. This research was composed for a preliminary assessment for elaboration of the conceptual model, execution of boreholes, installation of monitoring wells, hydrogeological tests and chemical analyses of the soil samples and groundwater. Risk analysis was also carried out to check if the suspected contamination endangers human health. By analyzing the results obtained of investigations, it was noted that although there was concentrations of compounds derived from petroleum exceeding the reference values, the scene observed not confer risk. Therefore, actions of intervention were not recommended in the area, however quarterly monitoring campaigns were suggested for monitor the concentrations of these compounds during a hydrogeological cycle.

Keywords: environmental research, contaminated area, fuel station, risk analysis.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
OBJETIVO	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS – UMA ATIVIDADE POTENCIALMENTE POLUIDORA	6
MÉTODOS DE PREVENÇÃO E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM POSTOS DE ABASTECIMENTO- -11	11
PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA	16
LEGISLAÇÃO APLICADA E VALORES DE REFERÊNCIA	24
PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS	29
APLICAÇÃO DA ABNT NBR 15.515 E SUAS PARTES	31
<i>ABNT NBR 15.515-1: Avaliação Preliminar</i>	31
<i>ABNT NBR 15.515-2: Investigação Confirmatória</i>	35
<i>Investigação Detalhada</i>	41
3.APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	49
4.METODOLOGIA	53
AVALIAÇÃO PRELIMINAR	53
<i>Levantamento Histórico</i>	53
<i>Caracterização das Cercanias</i>	53
<i>Caracterização do Empreendimento</i>	54
<i>Caracterização Geológica Regional</i>	54
<i>Caracterização Hidrogeológica Regional</i>	57
<i>Ficha técnica</i>	57
<i>Modelo Conceitual</i>	59
INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	60
<i>Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis</i>	60
<i>Execução de Sondagens</i>	62
<i>Instalação dos Poços de Monitoramento</i>	63
<i>Caracterização Hidrogeotécnica</i>	63
<i>Análises Laboratoriais do Solo e da Água</i>	64
INVESTIGAÇÃO DETALHADA	66
<i>Execução de Sondagens Adicionais</i>	66

<i>Instalação dos Poços de Monitoramento</i>	66
<i>Caracterização Hidrogeotécnica</i>	67
<i>Análises Laboratoriais do Solo e da Água Subterrânea</i>	70
<i>Avaliação de Risco (RBCA Tier 2)</i>	70
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
AVALIAÇÃO PRELIMINAR	78
<i>Modelo Conceitual</i>	78
INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA	79
<i>Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis</i>	79
<i>Execução de Sondagens</i>	80
<i>Instalação dos Poços de Monitoramento</i>	81
<i>5.1.1.Caracterização Hidrogeotécnica</i>	85
<i>Resultados Analíticos das Amostras de Solo</i>	86
<i>Resultados Analíticos das Amostras de Água</i>	87
	92
INVESTIGAÇÃO DETALHADA	93
<i>Execução de Sondagens Adicionais</i>	93
<i>Instalação dos Poços de Monitoramento</i>	93
<i>5.1.2.Caracterização Hidrogeotécnica</i>	96
<i>Avaliação de Risco (RBCA Tier 2)</i>	99
<i>5.1.3.Resultados Analíticos das Amostras de Solo</i>	106
<i>Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea</i>	106
6.CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

1. INTRODUÇÃO

Um dos casos mais frequentes de contaminação do solo e/ou das águas subterrâneas em centros urbanos refere-se a tanques de armazenamento de combustíveis existentes em postos de revenda ou consumo de derivados de petróleo. Mesmo em caso de pequenas perdas, vazamento ou derramamento destes produtos pode causar grandes plumas de contaminantes, devido à dificuldade de detecção e controle e à falta de adequada fiscalização.

Em São Paulo, onde a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) promove, desde maio de 2002, o registro atualizado de áreas contaminadas no Estado, após sua última atualização em dezembro de 2011, foram verificados 4.131 registros no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado. Tomando como base os dados deste órgão ambiental, que é o único que possui um controle de áreas contaminadas no país, pode ser visualizada a evolução deste cadastro através do Gráfico 1.

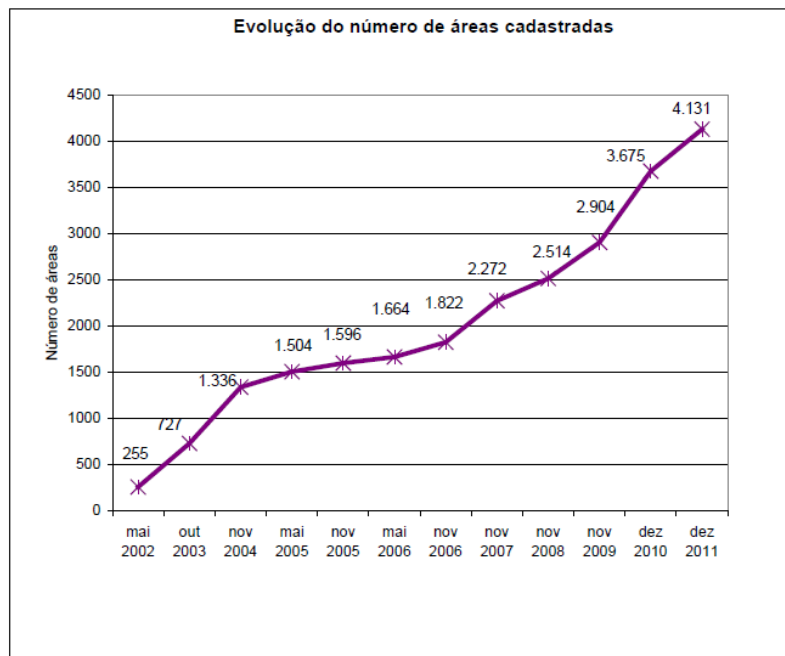


Gráfico 1: Evolução do número de áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo. Fonte: CETESB (2011).

Destas 4.131 áreas contaminadas, aproximadamente 78% referem-se a terrenos onde é desenvolvida atividade de Postos de Combustíveis, conforme é explicitado na Tabela 1.

Tabela 1: Registro de áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo dividido por atividade. Fonte: CETESB (2011).

<i>Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo - dezembro de 2011</i>						
Região	Atividade					Total
	Comercial	Industrial	Resíduos	Postos de combustíveis	Acidentes/ Desconhecida/ Agricultura	
São Paulo	52	146	30	1.093	8	1.329
RMSP - outros	35	148	23	492	10	708
Interior	68	192	43	1.231	15	1.549
Litoral	20	43	24	226	3	316
Vale do Paraíba	4	48	1	175	1	229
<i>Total</i>	179	577	121	3.217	37	4.131

No Brasil, onde atualmente há 39.027 postos de combustíveis cadastrados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2011), sendo 9.053 em São Paulo, as preocupações relacionadas ao potencial de contaminação do solo e de águas subterrâneas por derivados de petróleo vêm crescendo. Nota-se que 35% dos postos cadastrados no Estado supracitado possuem registro de contaminação em suas áreas. No Estado do Rio de Janeiro, onde há 2.196 postos de combustíveis (ANP, 2011), ainda não há registro de áreas contaminadas para tal comparativo, assim como este problema não é tratado de maneira sistematizada pelos dispositivos legais.

Sabe-se que o armazenamento e a distribuição de combustíveis automotivos são realizados através de tanques, tubulações e unidades abastecedoras e de filtragem, sendo estes equipamentos as principais fontes de poluição, tendo em vista seus riscos associados. Além de possíveis explosões, vazamentos de combustíveis podem acarretar sérios impactos ambientais devido à contaminação gerada, que pode vir a comprometer a qualidade de mananciais e de seu uso para abastecimento público.

Estes eventos se manifestam, preferencialmente, como contaminações superficiais provocadas por constantes e sucessivos derramamentos junto às bombas e bocais de enchimentos dos reservatórios ou por vazamentos em tanques e tubulações subterrâneas. Normalmente são percebidos por diferenças significativas no controle de estoque ou por afloramento de produto em galerias, corpos superficiais ou em poços de captação de água subterrânea.

Para identificação de áreas contaminadas são realizados diagnósticos ambientais focados na investigação do solo e do lençol freático, que consistem na completa descrição e análise dos fatores ambientais e suas interações, de modo a caracterizar a situação ambiental da área estudada.

Alinhada a procedimentos estabelecidos pela CETESB (CETESB, 2001), com propostas de resolução CONAMA e com norma técnica ABNT NBR 15515 (2007), as etapas de uma investigação ambiental visam o fornecimento de orientações técnicas e de procedimentos para a identificação e avaliação de indícios de contaminação em terrenos, cujas atividades potencialmente poluidoras podem ter gerado algum dano ao meio ambiente. Tal procedimento divide-se em avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada.

A avaliação preliminar tem como objetivo principal identificar situações ambientais de uso presente e pretérito associadas com a área objeto de análise e propriedades vizinhas, que possam representar passivos ambientais potenciais para o meio em que se inserem. Esta avaliação mostra-se fundamental no estabelecimento do potencial de contaminação de solo e águas subterrâneas e no modelo conceitual inicial de uma eventual sequência de investigações.

Uma vez identificados indícios de contaminação, a área estudada passa a ser denominada de área potencialmente contaminada e, com isso, a próxima etapa a ser realizada é a de investigação confirmatória. Nesta fase, há a execução de perfurações e sondagens, com caracterização do subsolo e

determinação de sua permeabilidade; determinação da profundidade do nível d'água; confecção de mapa potenciométrico; e análise química do solo e das águas subterrâneas.

Confirmando-se a contaminação no *site* em estudo, torna-se necessária a realização da etapa de investigação detalhada, que terá como objetivo a delimitação das plumas de contaminação observadas e um estudo de Análise de Risco.

Este trabalho consiste no detalhamento de procedimentos de investigação ambiental, conforme a norma ABNT NBR 15.515, e demonstra sua aplicação em uma área de um posto consumidor de combustível localizado na cidade do Rio de Janeiro.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em estudar os procedimentos normativos de investigação ambiental preliminar, confirmatória e detalhada em áreas com potencial de contaminação, explicitando sua aplicação em uma antiga área de armazenamento e abastecimento de combustível derivado de petróleo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste estudo são:

- detalhar a aplicação da norma NBR ABNT 15.515 e suas partes;
- atender à notificação do órgão ambiental do Rio de Janeiro, cujo conteúdo consiste na realização de etapas de investigação ambiental em uma área com potencial de contaminação;
- elaborar uma análise de risco à saúde humana para qualificar e quantificar o risco da contaminação presumida aos receptores locais;

- com base nos resultados obtidos, propor ações ambientais futuras para a área.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, a abordagem foi estruturada em capítulos como descrito a seguir:

- Capítulo II: é apresentada uma revisão bibliográfica que abrange os seguintes itens:
 - Sistema de Armazenamento de Combustíveis – Uma atividade potencialmente poluidora;
 - Métodos de Prevenção e Detecção de Vazamentos em Postos de Abastecimento;
 - Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea;
 - Legislação Aplicada e Valores de Referência;
 - Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais;
 - Aplicação da ABNT NBR 15.515 e suas partes;
- Capítulo III: é apresentada a metodologia experimental aplicada no decorrer da dissertação;
- Capítulo IV: os principais resultados são apresentados e discutidos;
- Capítulo V: são apresentadas as conclusões do trabalho, assim como sugestões para pesquisas posteriores;
- Por fim, serão relacionadas as referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEIS – UMA ATIVIDADE POTENCIALMENTE POLUIDORA

Sistema de armazenamento de combustível caracteriza-se por tanques de armazenamento que acumulam combustíveis líquidos, para posterior distribuição a partir de tubulações e unidades abastecedoras e de filtragem, conforme exemplificado na Figura 1.

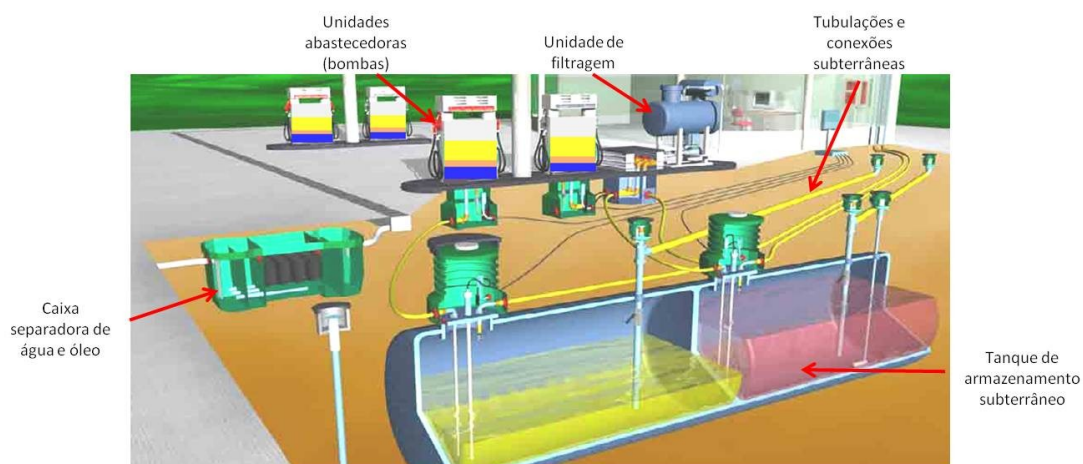


Figura 1: Sistema de Armazenamento de Combustível.

Fonte: Adaptado de Ipiranga (2011).

Estes sistemas dividem-se em SASC (Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustível) e SAAC (Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustível), onde a principal diferença consiste na disposição do tanque.



Figura 2: SASC – tanques e linhas subterrâneos conectados a unidades abastecedoras. Fonte: ABIEPS (2012).



Figura 3: SAAC – tanque aéreo disposto em uma bacia de contenção. Fonte: RS Instalações (2012).

Em SASC, os tanques de armazenamento são instalados em cota inferior ao do piso, enterrados no solo. Tubulações subterrâneas interligam os tanques às bombas de abastecimento, conforme pode ser visualizado na Figura 2. Enquanto que no SAAC o tanque é instalado acima do piso e disposto em uma bacia de contenção para evitar vazamentos para o solo (Figura 3). As tubulações que o ligam às unidades abastecedoras podem ser aéreas ou subterrâneas.

De acordo com a Resolução Nº 273 de 29 de novembro de 2000, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, as principais atividades que armazenam e distribuem combustíveis líquidos são:

- Posto Revendedor - PR: Instalação onde se exerça a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores;
- Posto de Abastecimento - PA: Instalação que possua equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustível automotivo, com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas; e cujos produtos sejam destinados exclusivamente ao uso do detentor das

instalações ou de grupos fechados de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de empresas, cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados;

- Instalação de Sistema Retalhista - ISR: Instalação com sistema de tanques para o armazenamento de óleo diesel, e/ou óleo combustível, e/ou querosene iluminante, destinada ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista;
- Posto Flutuante - PF: Toda embarcação sem propulsão empregada para o armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis que opera em local fixo e determinado.

Dentre os principais combustíveis existentes que são armazenados nos postos, têm-se a gasolina, o álcool e o diesel.

A gasolina possui como principal característica o poder antidetonante ou octanagem, que é a resistência à combustão espontânea, avaliada em relação à temperatura e a pressão. A fração de hidrocarbonetos correspondente à gasolina é composta de numerosos constituintes e a maior parte desses é classificada como alifáticos ou como aromáticos. Os compostos alifáticos incluem constituintes como o butano (C4), o pentano (C5) e o octano (C8). Já os compostos aromáticos incluem compostos como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos (BTEX). (CARVALHO *et al.*, 2008)

O óleo diesel possui como característica principal o número de cetano. Quanto maior for o número de cetano menor será o retardo de ignição e, por conseguinte, melhor será sua capacidade de incendiar-se. O óleo diesel é originado do petróleo constituído por hidrocarbonetos e baixa quantidade de enxofre, nitrogênio e oxigênio. (CARVALHO *et al.*, 2008)

O álcool é menos inflamável e menos tóxico que a gasolina e o diesel. Ele pode ser produzido a partir de biomassa (resíduos agrícolas e florestais). No Brasil, ele é gerado principalmente da cana-de-açúcar. Nos Estados

Unidos, o milho é o mais usado. O álcool no Brasil é usado também como aditivo à gasolina na porcentagem de 20% a 25%, por força de lei. (NETTO *et al.*, 2005)

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 273, 2000, toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, conFiguram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores ou geradores de acidentes ambientais. Por esse motivo, a instalação, modificação, ampliação e operação de postos de abastecimentos dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente.

Em todo mundo, tem crescido a preocupação ambiental com as atividades de revenda e de abastecimento de combustíveis líquidos, uma vez que tais atividades apresentam um alto potencial poluidor do solo e da água subterrânea, particularmente naquelas regiões onde os deslocamentos são fortemente estruturados no transporte individual por veículos de passeio, em detrimento de outras formas de transporte coletivo e de massa. (OLIVEIRA, 1992)

A ocorrência de vazamentos em sistemas de abastecimento de combustíveis tem sido objeto de crescente preocupação, em função dos riscos associados a esses eventos, tanto para a segurança e saúde da população, como para o meio ambiente. Esses eventos se manifestam, na grande maioria dos casos, tanto como contaminações superficiais provocadas por constantes e sucessivos derrames junto às bombas e bocais de enchimentos dos reservatórios de armazenamento, como pelos vazamentos em tanques e/ou tubulações subterrâneas (MACHADO, 1998).

Geralmente, são percebidos após o afloramento do produto em galerias de esgoto, redes de drenagem de águas pluviais, no subsolo de edifícios, em túneis, escavações e poços de abastecimento d'água, razão pela qual as ações emergenciais requeridas durante o atendimento a essas situações requerem a participação de diversos órgãos públicos, além do envolvimento do agente poluidor e suas respectivas subcontratadas (CETESB, 2001).

A Figura 4 ilustra o comportamento de um vazamento de um tanque de combustível subterrâneo.

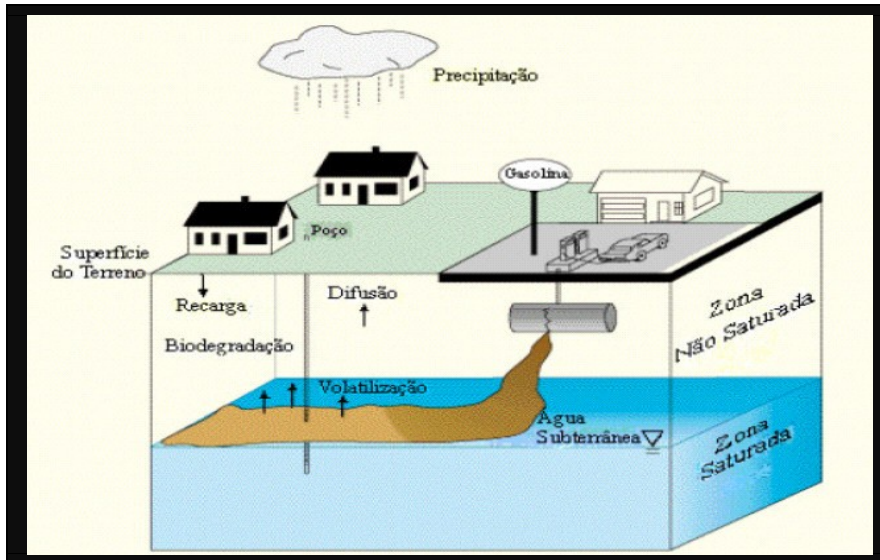


Figura 4: Vazamento de um tanque de combustível. Fonte: Adaptado de MINDRISZ (2006).

MÉTODOS DE PREVENÇÃO E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM POSTOS DE ABASTECIMENTO

Sabe-se que muitas cidades sofreram e sofrem por algum tipo de contaminação provindo de atividades de postos de combustíveis. Em um derramamento de gasolina, uma das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano (CRUZ, 2006).

A principal forma de prevenção é manter a estrutura do estabelecimento conforme as normas estabelecidas para que não ocorra a contaminação do solo e do lençol freático.

Para se evitar a transmissão de esforço às tubulações enterradas e possíveis contaminações do solo e água, o material utilizado na construção do piso deve ser impermeável e resistente. Atualmente, ainda são encontrados pisos não-pavimentados ou mesmo construídos com blocos de concreto, asfalto ou paralelepípedos, os quais permitem que, durante as operações de descarregamento ou de abastecimento dos produtos, qualquer vazamento superficial de combustível infiltre-se no solo.

Os tanques de armazenamento e as tubulações subterrâneas também devem ser controlados. Muitos deles estão sujeitos ao efeito da corrosão, processo que é influenciado pelo pH, umidade e salinidade do solo. (NETTO *et al.*, 2005).

Para instalações novas ou em reforma completa, a Resolução CONAMA Nº 273, 2000, definiu como obrigatório o uso de tanques para armazenamento de combustível subterrâneos de parede dupla, com monitoramento intersticial. Esse tanque possui sensores para monitorar o espaço anular entre as paredes, que indicam a ocorrência de vazamentos. Na Figura 5 pode ser visto um exemplo.

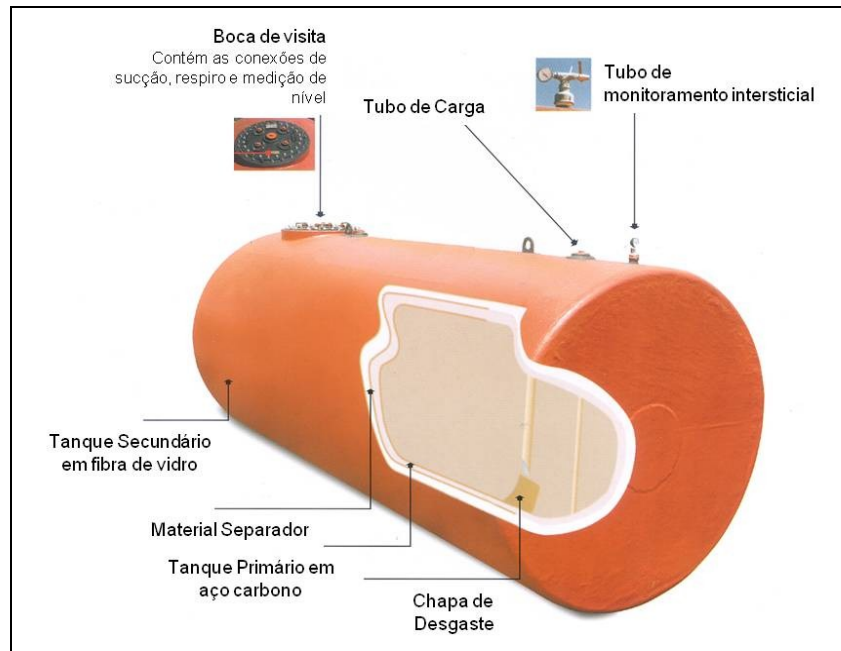


Figura 5: Tanques para armazenamento de combustível subterrâneo de parede dupla. Fonte: Adaptado de Brasil Postos (2012).

Nas bombas de abastecimento e nas unidades de filtragem também é frequente o vazamento de combustível. Esses vazamentos são pequenos, mas por longos períodos de tempo geram grandes contaminações do subsolo. Uma maneira de conter e detectar tais vazamentos é a utilização de câmaras de contenção confeccionadas em material impermeável, instaladas sob as unidades, impedindo o contato direto do produto vazado com o solo e indicando e contendo qualquer vazamento, que podem ser visualizadas na Figura 6.

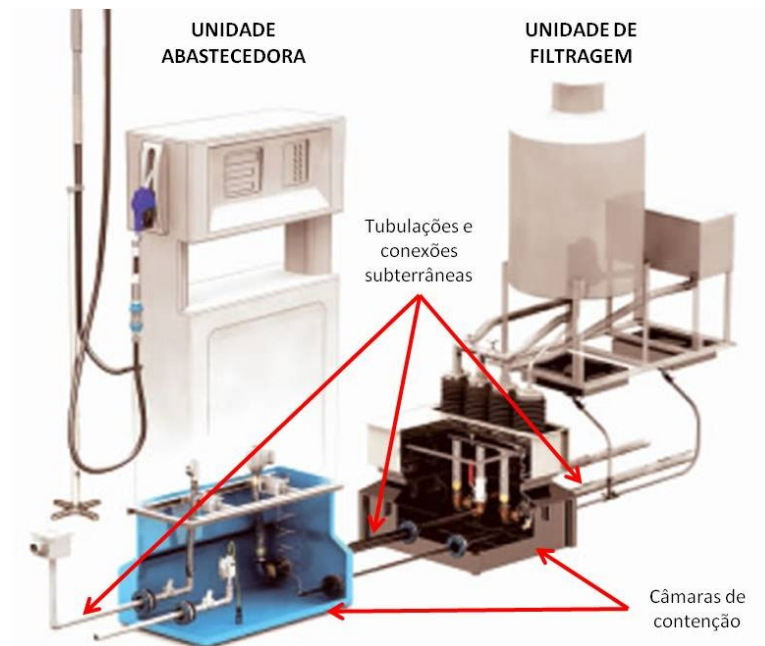


Figura 6: Câmaras de contenção de bomba de abastecimento e filtro.

Fonte: Adaptado de Brasil Postos (2012).

Como método de detecção, utiliza-se controle de movimentação do estoque do combustível, conforme NBR/ABNT 13787 (Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis nos postos de serviço), que estabelece variações máximas de 0,6% de volume de perda ou aumento no volume dos tanques. Em caso de perdas superiores a 0,6% podem ser consideradas situações de vazamento ou roubo de produto. Enquanto que ganhos superiores de 0,6% podem indicar entrada de água nos tanques.

Para confirmação de vazamentos em tanques e tubulações são realizados testes de estanqueidade que, segundo a norma NBR/ABNT 13784, devem ser capazes de detectar a taxa de vazamento de no mínimo 0,378 L/h , com no mínimo 95% de probabilidade de detecção de vazamento e no máximo até 5% de probabilidade de alarme falso.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 273, de 29 de novembro 2000, os métodos de detecção de possíveis vazamentos podem ser:

- ✓ Controle de estoque manual ou automático;
- ✓ Monitoramento intersetorial automático;

- ✓ Poços de monitoramento de cava ou de água subterrânea;
- ✓ Poço de monitoramento de vapor;
- ✓ Válvula de retenção junto a bombas;
- ✓ Proteção contra derramamento;
- ✓ Câmara de acesso à boca de visita do tanque;
- ✓ Contenção de vazamento sob a unidade abastecedora;
- ✓ Canaleta de contenção da cobertura;
- ✓ Caixa separadora de água e óleo;
- ✓ Proteção contra transbordamento;
- ✓ Descarga selada;
- ✓ Câmara de contenção de descarga;
- ✓ Válvula de proteção contra transbordamento;
- ✓ Válvula de retenção de esfera flutuante;
- ✓ Alarme de transbordamento.

O monitoramento rotineiro de vazamentos, utilizando os métodos citados combinados ou empregados separadamente, permite a verificação se o sistema está estanque e operando corretamente.

Nas Figuras 7 e 8 podem ser vistos alguns destes métodos em um posto de serviço como um todo e especificamente no tanque e em uma unidade abastecedora, respectivamente.

Na Figura 7 podem ser visualizados sistemas de detecção e controle de vazamento, como: poço de monitoramento, canaletas de drenagem oleosa, caixa separadora de água e óleo e câmara de contenção de descarga. Já na Figura 8 são ilustrados sensores de detecção, juntamente às câmaras de contenção de bomba e tanque.

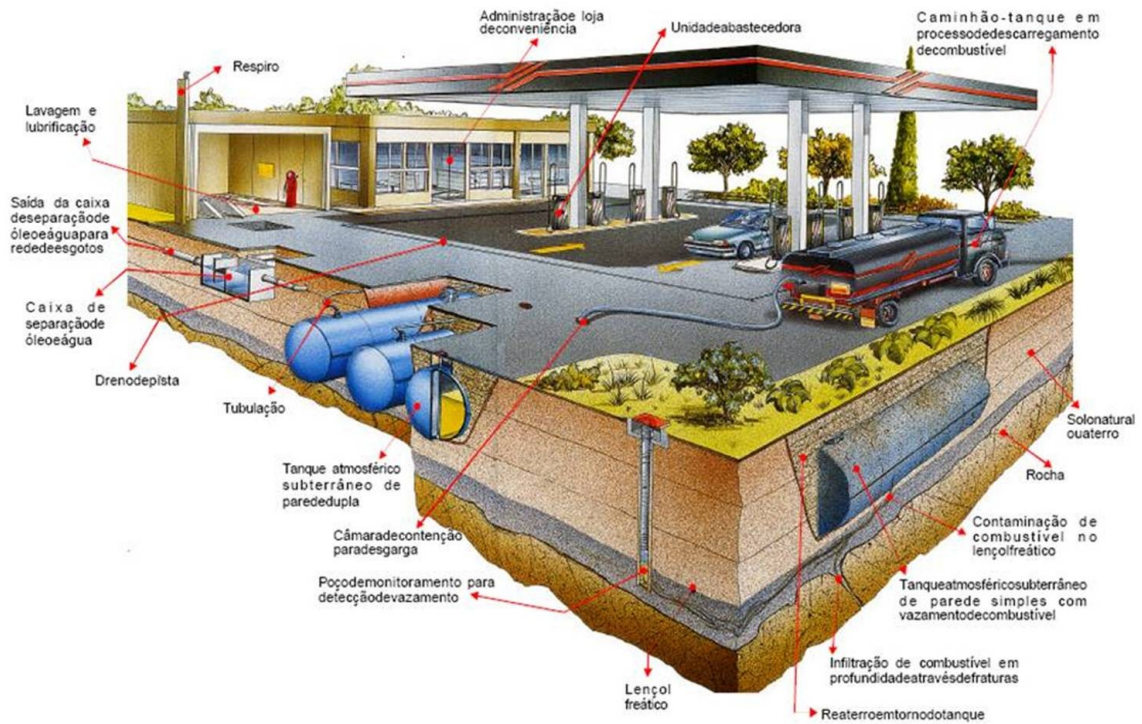


Figura 7: Sistemas de controle de vazamento e detecção em um posto de serviço. Fonte: Adaptado de EPA (1996).

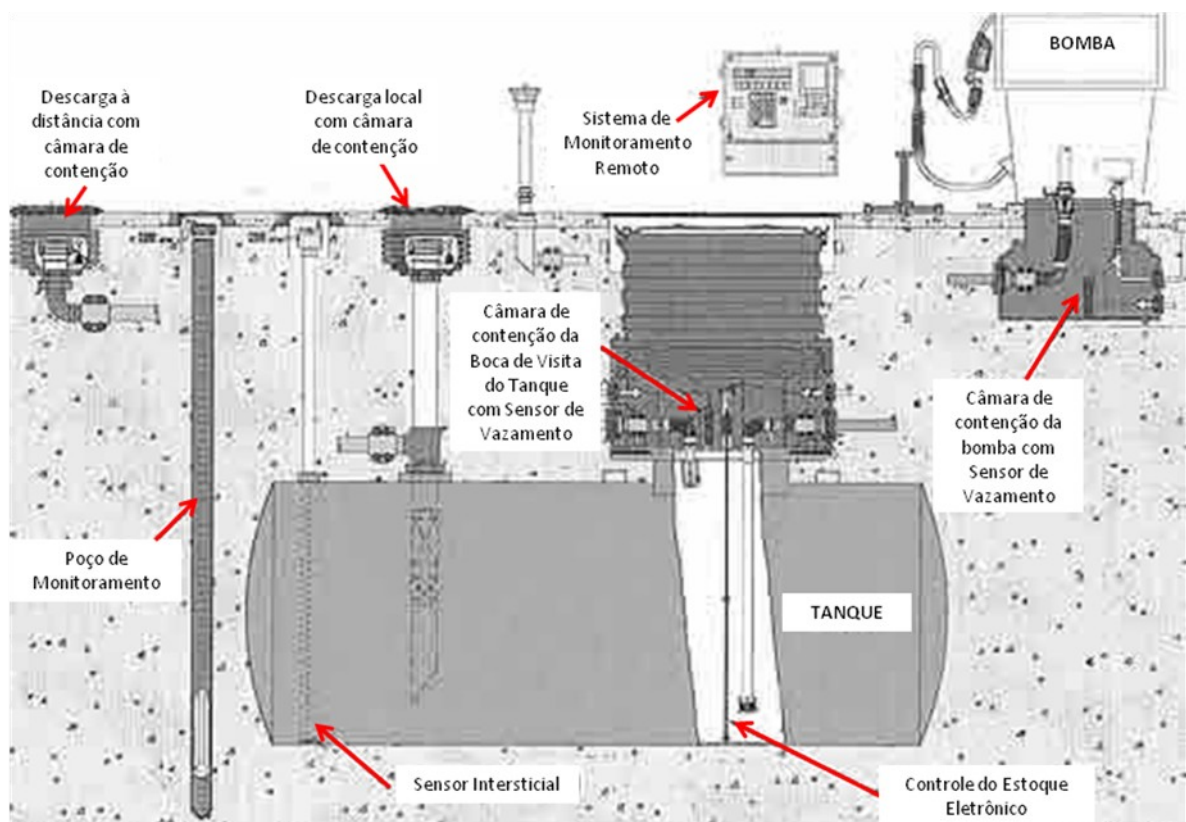


Figura 8: Sistemas de detecção de vazamentos. Fonte: Adaptado do Catálogo ZEPPINI (2012).

PASSIVO AMBIENTAL EM SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA

Segundo a NBR/ABNT 15515-1, define-se passivo ambiental como danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto das ações humanas, que podem ou não ser avaliados economicamente.

O passivo ambiental representa o sacrifício de benefícios econômicos que serão realizados para a preservação, recuperação e proteção do meio ambiente, de forma a permitir a compatibilidade entre o desenvolvimento econômico e o meio ecológico ou em decorrência de conduta inadequada em relação às questões ambientais (RIBEIRO, 2000).

Em caso de acidentes ou vazamentos que representem situações de perigo ao meio ambiente ou a pessoas, bem como na ocorrência de passivos ambientais, os proprietários, arrendatários ou responsáveis pelo estabelecimento, pelos equipamentos, pelos sistemas e os fornecedores de combustível que abastecem ou abasteceram a unidade, responderão solidariamente, pela adoção de medidas para controle da situação emergencial, e para o saneamento das áreas impactadas, de acordo com as exigências formuladas pelo órgão ambiental licenciador (CONAMA, 2000).

A contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos voláteis tem sido destaque nas últimas décadas, principalmente em função da frequência com que episódios de contaminação são verificados e da gravidade com que o meio ambiente é afetado. Embora os grandes vazamentos acidentais de petróleo sejam preocupantes e ocupem grande espaço na mídia, Tiburtius *et al* (2004) citam que a principal fonte de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo seja devido aos pequenos e contínuos vazamentos de combustível em postos de distribuição e consumo favorecidos pelo envelhecimento dos tanques de estocagem.

O solo é definido como material mineral não consolidado (solto) que se estende desde a superfície até o embasamento de rocha. O solo consiste em ar ou vapor, água e uma variedade de sólidos do solo, e é dividido em duas zonas da sub-superfície: as zonas não-saturadas e a zona saturada (FERNANDES, 1997).

A zona não-saturada se estende desde a superfície do chão até o topo da franja capilar e contém vapor do solo e uma quantidade menor de água do solo. A zona saturada se estende desde o topo da franja capilar até o fundo do lençol freático. Nela, os espaços vazios entre os sólidos do solo estão totalmente preenchidos por líquidos, e a água que se encontra nesta zona é chamada de água subterrânea. A franja capilar é a porção superior da zona saturada onde a água subterrânea se encontra, acima da superfície do lençol freático, devido às forças capilares (FERNANDES, 1997). Na Figura 9 pode ser visualizada a descrição acima.

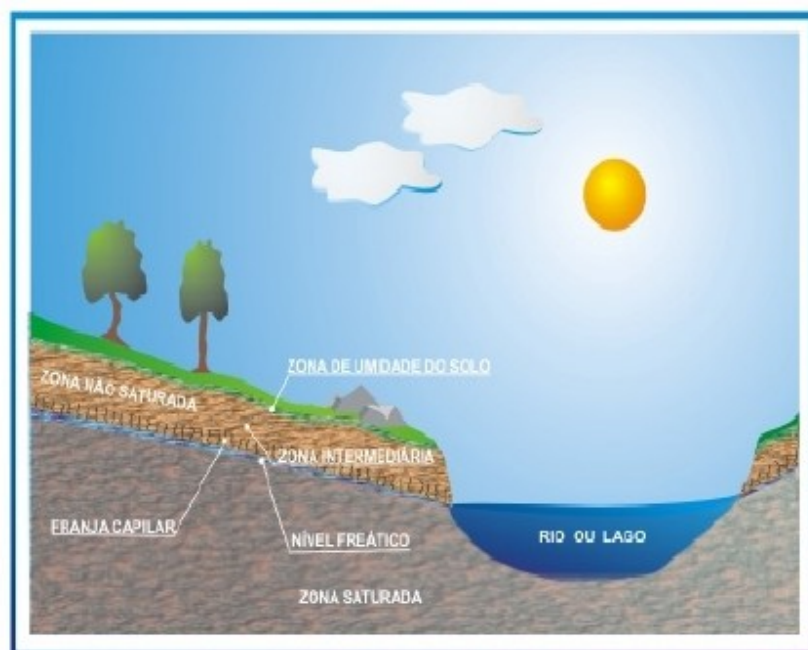


Figura 9: Caracterização esquemática das zonas não saturada, saturada, franja capilar no subsolo. Fonte: Adaptado de Borguetti *et al.* (2004).

Na Figura 10 pode ser visualizado um exemplo de contaminação a partir do vazamento de um tanque. Na zona não-saturada, é observado que parte do produto adsorve ao solo, enquanto que outra infiltra até atingir a zona capilar. Neste momento, o combustível entra em contato com a água e determinada quantidade se dissolve na mesma. Entretanto, o combustível, por ser mais leve que a água subterrânea e se encontrar em grande volume, forma uma fase livre sobrenadante ao lençol freático, que é chamada de fase NAPL (*Non Aqueous Phase Liquids*).

A Figura 10 A mostra a pluma de hidrocarbonetos antes de atingir a franja capilar. Se a fonte de produto fosse cessada neste momento, provavelmente não haveria fase livre. Na Figura 10 B, o vazamento continuou e o volume vazado é suficiente para iniciar o acúmulo de fase livre e o deslocamento da franja capilar. O produto livre está começando a deslocar a franja capilar e alguns dos seus compostos solúveis estão se dissolvendo na água subterrânea. Na Figura 10 C a fonte de contaminantes cessou. Os resíduos de hidrocarbonetos permaneceram no solo abaixo do tanque. A pluma de fase livre se espalhou lateralmente e uma pluma de contaminante dissolvido está migrando no sentido do fluxo subterrâneo (EPA, 1996).

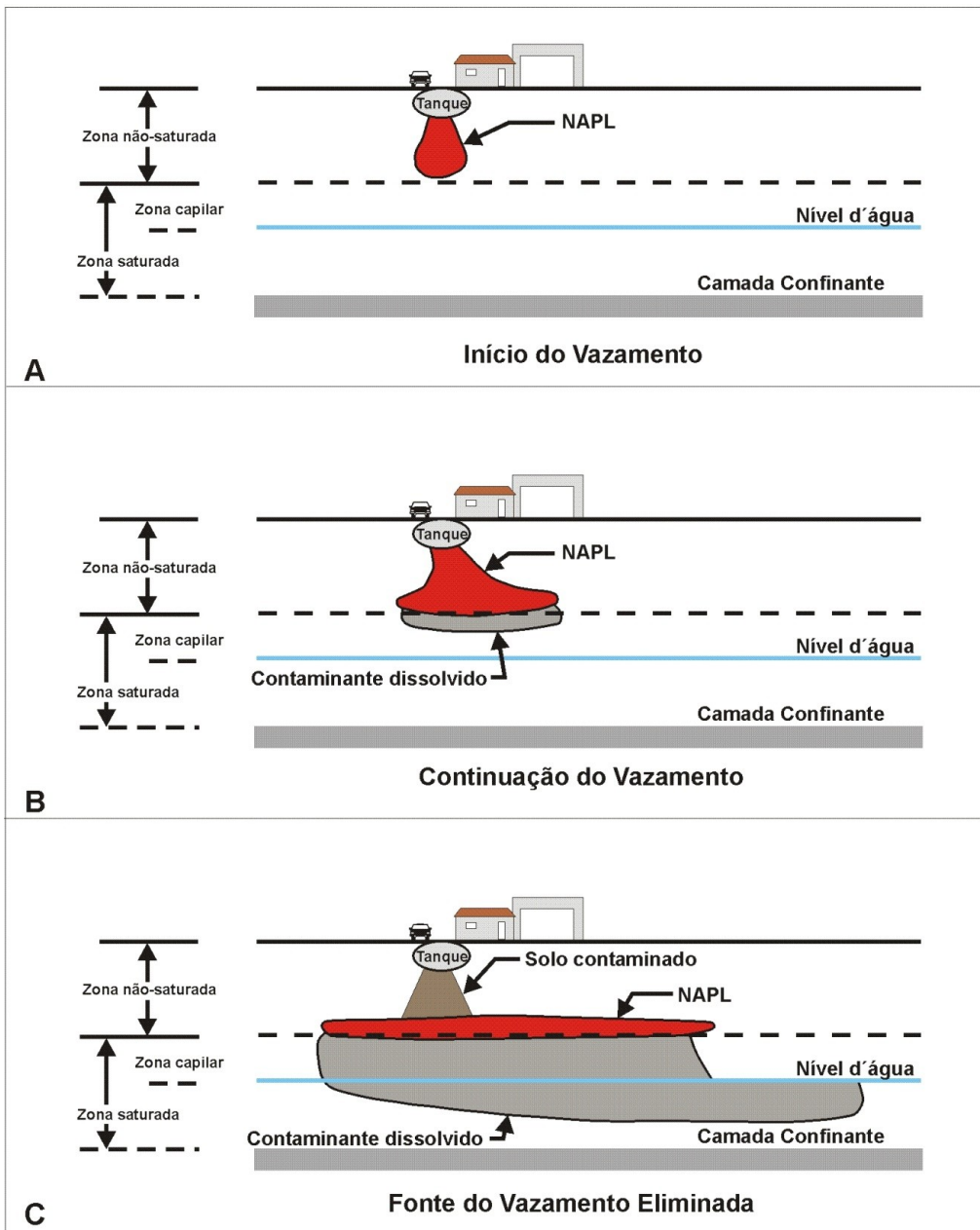


Figura 10: Evolução de um vazamento de combustível a partir de um tanque subterrâneo. Fonte: Adaptado de EPA (1996).

A distribuição dos compostos de hidrocarbonetos de petróleo, após um vazamento de um tanque de combustível, está representada na figura 11. Nela pode-se notar ainda toda a interação entre esses contaminantes e o solo, e dos mesmos com as águas subterrâneas.

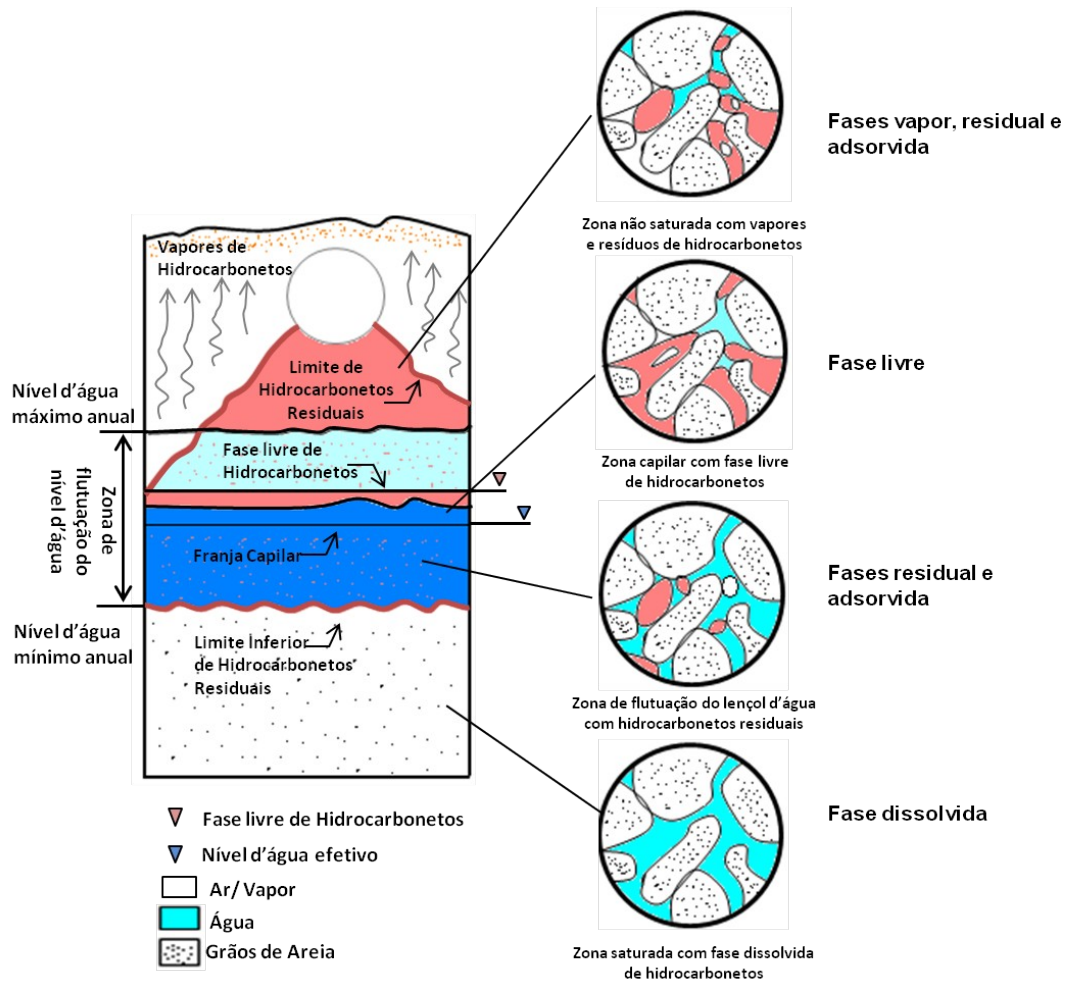


Figura 11: Distribuição vertical das fases dos hidrocarbonetos.

Fonte: Adaptado de EPA (1996).

O combustível quando derramado em subsuperfície tende a migrar verticalmente, sob influência das forças gravitacionais e capilares, infiltrando-se na zona não saturada até atingir a zona saturada. Os compostos dos hidrocarbonetos de petróleo podem se particionar em cinco fases em subsuperfície (EPA, 1996). São elas:

- Vapor (nos interstícios do solo);
- Residual (retido por ação da capilaridade);
- Adsorvido (na superfície das partículas sólidas, incluindo matéria orgânica);
- Dissolvido (dissolvido na água subterrânea);
- Fase livre (hidrocarboneto líquido, móvel), como é ilustrado no exemplo da Figura 12.



Figura 12: Exemplo de fase livre monitorada com um amostrador do tipo *bailer*.

Fonte: Acervo pessoal.

A massa de hidrocarbonetos das fases residual e livre se volatiliza e solubiliza parcialmente para se tornar componentes do vapor do solo e da água subterrânea, respectivamente. A volatilização e solubilização das frações mais leves tendem a tornar a massa remanescente de hidrocarbonetos mais densa e menos móvel.

Quanto aos hidrocarbonetos da fase vapor, estes podem migrar relativamente a grandes distâncias ao longo de caminhos de fluxo preferenciais como fraturas, juntas, camadas de areia e linhas de utilidades subterrâneas.

Preferencialmente, os componentes mais solúveis da massa de hidrocarbonetos irão se dissolver na água subterrânea acima (na zona não saturada) e abaixo do nível d'água (zona saturada).

A proporção em que a massa inicial de contaminante se distribui nestas diversas fases, pode ser estimada a partir do mapeamento da pluma de fase livre e dissolvida e da concentração do contaminante no solo e no vapor do solo. Deve-se atentar para o fato de que a retenção capilar consegue manter na forma imóvel quantidades significativas de produto puro, que age como fonte permanente de contaminação do aquífero e como fonte de vapores para a superfície.

Enquanto a fonte de vazamento continuar fornecendo produto, o solo vai se tornando mais saturado de hidrocarbonetos e o centro de massa da pluma migra descendentemente, deixando uma fase residual de hidrocarbonetos imóveis no solo. Se o volume de hidrocarbonetos que vaza é pequeno em relação à capacidade de retenção do solo, os hidrocarbonetos tenderão a ficar retidos por capilaridade no solo e a massa total de contaminante ficará imobilizada. Para haver acúmulo de fase livre sobre o nível d'água, o volume que vazou deve ser suficiente para exceder a capacidade de retenção do solo entre o ponto de vazamento e o nível d'água (EPA, 1996 *apud* MINDRISZ, 2006).

Com relação aos compostos dissolvidos na água subterrânea, destacam-se os hidrocarbonetos aromáticos dentre os principais componentes dos combustíveis fósseis, pois possuem grande estabilidade em suas ligações químicas além de potencial cancerígeno. A contaminação por gasolina está associada à presença de hidrocarbonetos aromáticos mais leves como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), enquanto que a contaminação por diesel está associada a hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA ou PAH) (CARVALHO *et al.*, 2008).

Para investigação de contaminação em uma área com potencial de contaminação por hidrocarbonetos, são realizadas coletas e análises para avaliação de, no mínimo, compostos aromáticos e poliaromáticos, como BTEX e PAH.

A análise de BTEX quantifica os compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno existente na matriz analisada, cujas estruturas moleculares estão representadas na Figura 13. Recomenda-se que as análises sejam feitas de acordo com a metodologia da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos EPA 8260 (C):2006 e EPA 5021 (A):2003.

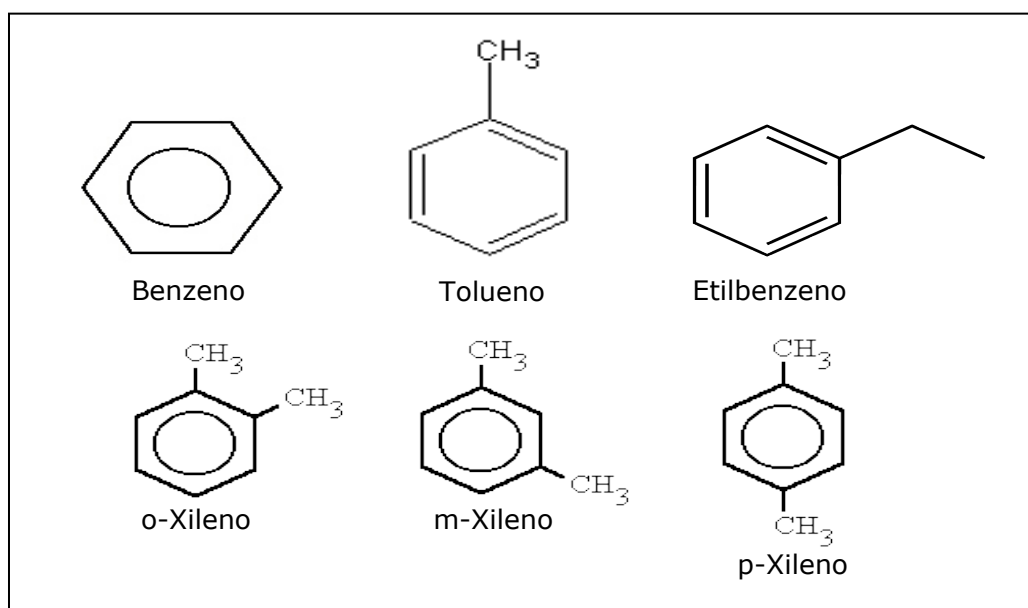


Figura 13: Hidrocarbonetos detectados pela análise de BTEX.

A análise de PAH quantifica os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos, incluindo entre eles o naftaleno e o fenantreno (Figura 14). A metodologia de análise recomendada deve seguir EPA 8270 (D):2007 e EPA 3550 (C):2007.

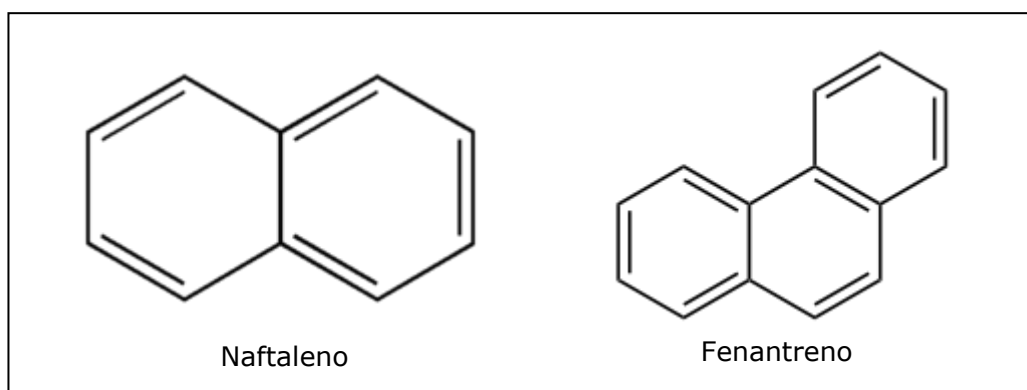


Figura 14: Exemplos de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos detectados pela análise de PAH.

LEGISLAÇÃO APLICADA E VALORES DE REFERÊNCIA

Atualmente a Resolução CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”, é a referência de legislação a nível federal do processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

Esta Resolução estabelece que, para o gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir procedimentos e ações de investigação e de gestão, que contemplem as seguintes etapas:

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar. E, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes;

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, e, sendo realizada, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação;

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

Como definição, será considerada Área Suspeita de Contaminação (AS), pelo órgão ambiental competente, aquela em que, após a realização de uma

avaliação preliminar, forem observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo.

Área Contaminada sob Investigação (AI) é aquela em que comprovadamente for constatada, mediante investigação confirmatória, a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação.

Será declarada Área Contaminada sob Intervenção (ACI), pelo órgão ambiental competente, aquela em que for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana.

Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR) é aquela em que o risco for considerado tolerável, após a execução de avaliação de risco.

Para considerar uma área contaminada, após análises químicas das concentrações dos compostos de interesse, torna-se necessária a comparação dos resultados analíticos com valores orientadores. Tais valores são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea. Eles se dividem, conforme a Resolução CONAMA N° 420, 2009, como:

- Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;
- Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais;
- Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem

riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Foi estipulado na Resolução CONAMA N° 420, 2009, um prazo de quatro anos, a contar da publicação desta resolução, que os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) do solo para substâncias químicas naturalmente presentes deverão ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal. Quanto aos demais valores, deverão ser adotadas as concentrações estabelecidas na resolução.

Ainda na Resolução CONAMA N° 420, 2009, foram estabelecidas as seguintes classes de qualidade dos solos, segundo a concentração de substâncias químicas:

I - Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II - Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III - Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e

IV - Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

Ressalta-se que esta resolução estabelece ainda valores de investigação para as águas subterrâneas, porém não a classifica.

Na Figura 15, extraída do Anexo III da Resolução n° 420/2009, pode ser observado o fluxo das etapas de um processo de gerenciamento de área contaminadas, conforme detalhamento supracitado.

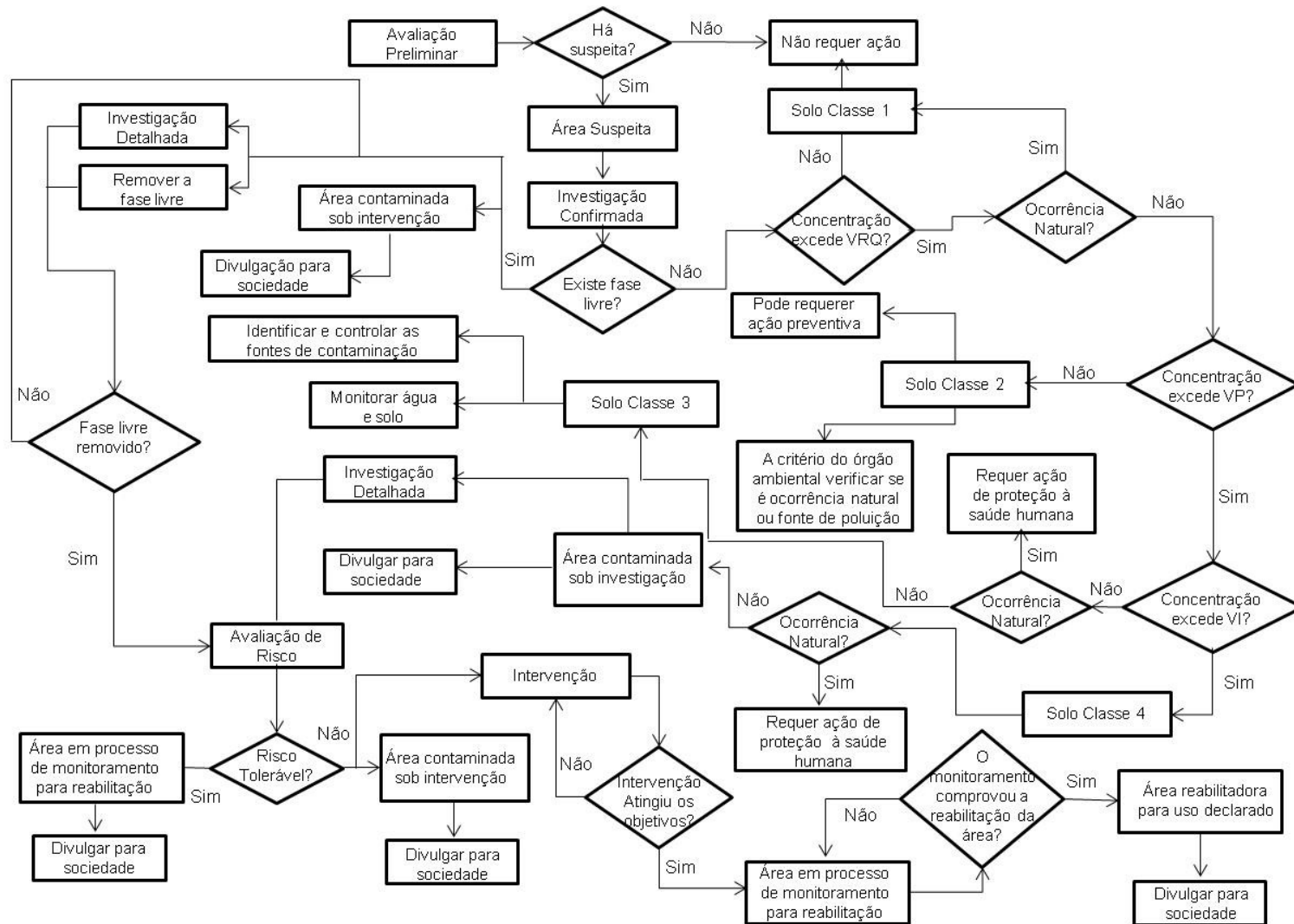


Figura 15: Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas. Fonte: CONAMA (2009).

O Estado do Rio de Janeiro, que tem como órgão ambiental competente o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), ainda não possui lista de valores de referência de qualidade para todos os compostos definidos na Resolução CONAMA Nº 420/2009. Entretanto, INEA publicou a Diretriz DZ-1841, “para licenciamento ambiental e para a autorização do encerramento das atividades de postos de serviço que disponham de sistemas de condicionamento ou armazenamento de combustíveis, graxas, lubrificantes e seus respectivos resíduos”, que definiu valores de intervenção para o solo e para água subterrânea específicos para área de postos de serviço e que contemplam apenas os compostos derivados de petróleo – BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) e PAH (Hidrocarbonetos Poliaromáticos). Nesta diretriz também são estabelecidos procedimentos para serviços de investigação ambiental em área de postos.

PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS

Segundo a norma ABNT NBR 15.515-2, a etapa inicial de identificação de passivo ambiental em solo e água subterrânea consiste em uma avaliação preliminar, a qual identifica a possível existência de contaminação na área.

A avaliação preliminar supracitada, que segue a NBR 15.515-1, tem como objetivo encontrar indícios de uma possível contaminação, realizada com base nas informações disponíveis, como levantamento histórico, entrevistas, imagens, fotos e inspeções em campo, visando fundamentar a suspeita de contaminação de uma área.

Sendo evidenciados indícios de contaminação ou quando há incerteza sobre a existência da mesma, torna-se necessária a realização da etapa de investigação confirmatória, conforme orientações da NBR 15.515-2.

Caso a contaminação já tenha sido constatada na etapa inicial, o estudo sobre a área impactada deve ser direcionado para investigação detalhada. Na detecção de fase livre ou situação de perigo, devem-se adotar imediatamente ações emergenciais, visando a eliminação dos riscos identificados.

Na Figura 16, é apresentado o fluxograma das etapas de avaliação de passivo ambiental, seguindo a NBR 15.515 e suas partes.

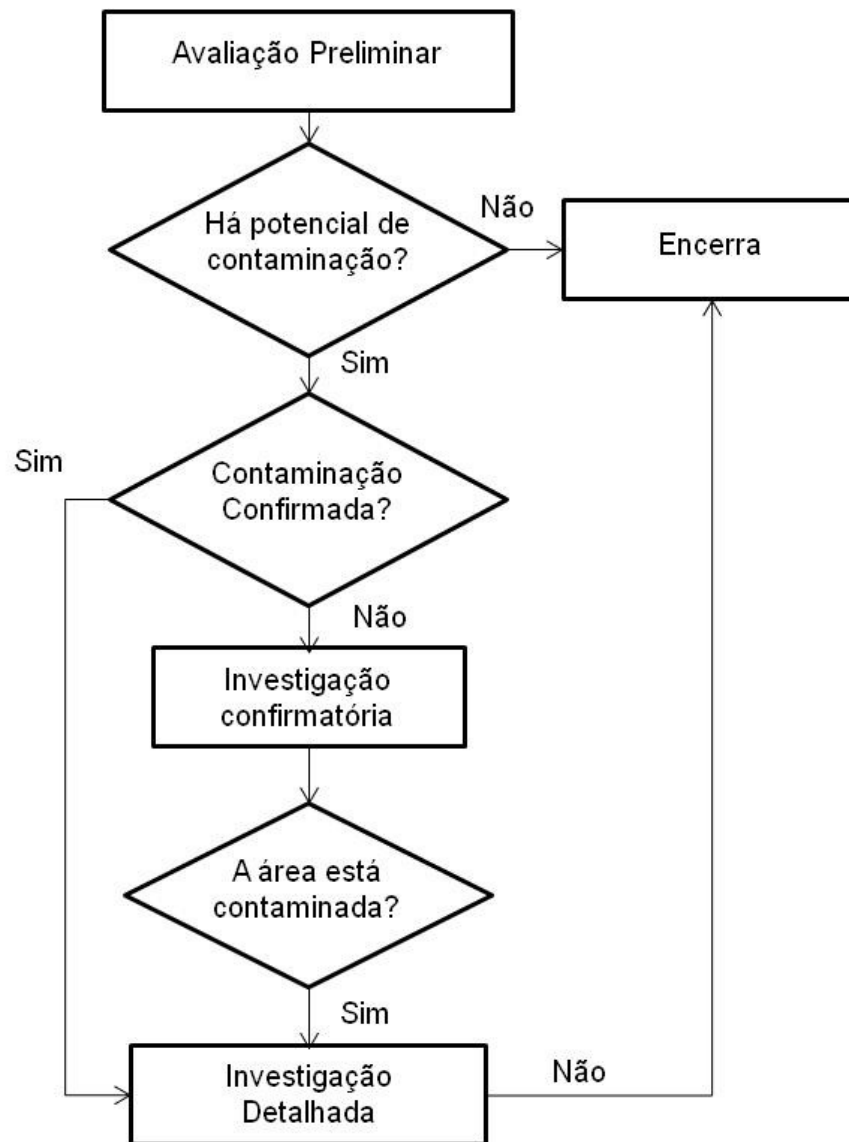


Figura 16: Fluxograma das etapas de avaliação de passivo ambiental.
Fonte: ABNT (2007).

APLICAÇÃO DA ABNT NBR 15.515 E SUAS PARTES

A ABNT NBR 15.515, sob título geral “Passivo ambiental em solo e água subterrânea”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Avaliação Preliminar;
- Parte 2: Investigação Confirmatória;
- Parte 3: Investigação Detalhada.

ABNT NBR 15.515-1: Avaliação Preliminar

A parte da norma referente à Avaliação Preliminar teve sua primeira edição publicada em Dezembro de 2007, passando a ter validade em 10 de Janeiro de 2008. Em 05 de Abril de 2011, foi publicada ainda uma errata que teve por objetivo corrigir alguns tópicos da norma.

Esta NBR é baseada na ASTM (Sociedade Americana de Testes e Materiais) E 1527:2005, cujo título é “Prática Padrão para a Avaliação Ambiental: Fase I – Processo de Avaliação Ambiental do Site”.

De acordo com a ASTM que a deu origem, a Fase I de uma avaliação ambiental deve ser realizada por um profissional ambiental, cujas atribuições incluem:

- revisão completa de registros existente sobre a área investigada;
- visita ao local;
- entrevistas com o proprietário e/ou operador da propriedade; e
- relatório técnico com dados recolhidos, que inclui fotografias da área multitemporais, ou seja, registradas em períodos diferentes de tempo.

Na Figura 17, é exibido o fluxograma da sequência dos procedimentos da avaliação preliminar.

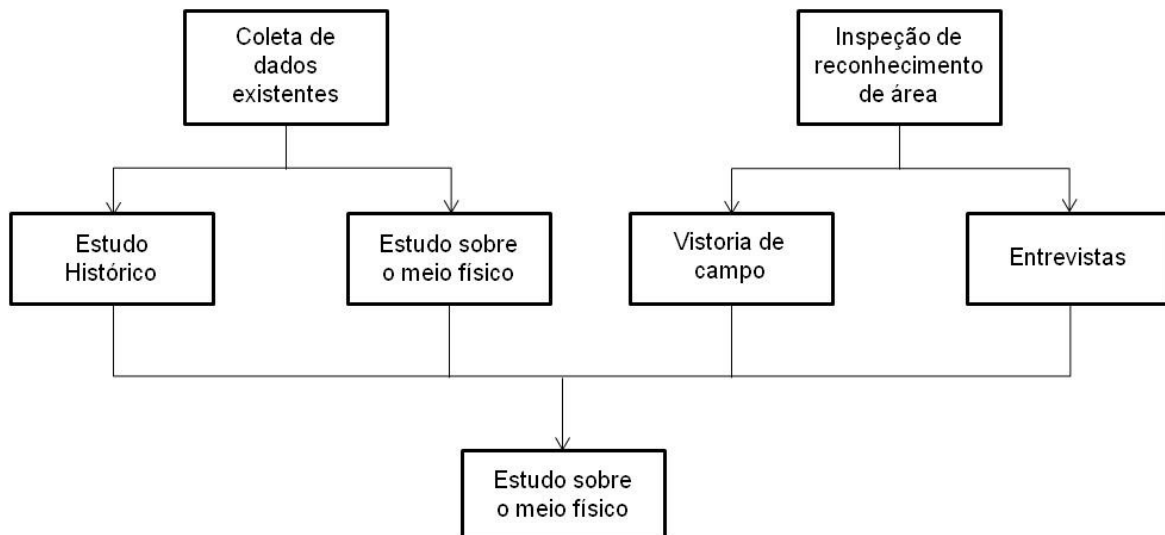


Figura 17: Fluxograma das etapas da Avaliação Preliminar.
Fonte: ABNT (2007).

As etapas de uma Avaliação Preliminar são detalhadas a seguir.

Coleta de dados existentes

A coleta de dados existentes contempla o levantamento de dados históricos da área e o estudo do meio físico. Essas informações permitem a definição de uma estratégia de atuação.

Estudo Histórico

O levantamento histórico possibilita o recolhimento de dados disponíveis sobre as atividades ocorridas na área em estudo e em suas cercanias. Trata-se de uma tarefa multidisciplinar, que exige conhecimento histórico-social, urbanístico, administrativo, além de conhecimentos sobre processos industriais, substâncias químicas e o meio ambiente, em geral.

Um recurso que possibilita uma visão histórica da área é a utilização de fotos ou imagens aéreas multitemporais.

Estudo sobre o meio físico

Consiste no levantamento de dados quanto às características geológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas, dentre outras. Estes dados auxiliam na identificação de vias potenciais de transporte de contaminantes e localização de bens a proteger.

Inspeção de reconhecimento da área

A inspeção de reconhecimento consiste em uma vistoria detalhada, que pode ser acompanhada de pessoas detentoras de conhecimento do local. O objetivo desta inspeção, juntamente com entrevistas, é de adquirir informações que não seriam obtidas com base em uma primeira observação.

Entrevistados que estejam ou estiveram ligados à área, como proprietários ou funcionários, assim como também vizinhos, poderão auxiliar com informações referentes a:

- Histórico de uso, relacionando as atividades desenvolvidas (industrial, comercial e/ou residencial), e ocupação da área;
- Acidentes ocorridos, que possam ter ocasionado contaminação no solo, da água ou do ar;
- Manuseio e armazenamento de substâncias;
- Reclamação da população quanto à atividade desenvolvida na área;
- Reformas e afins, dentre outras.

Durante a inspeção da área, são recolhidas informações que irão auxiliar na elaboração do Modelo Conceitual. Para facilitar na obtenção dos dados necessários, no Anexo B da NBR 15.515-1 há um modelo de Ficha Técnica, cujos itens estão apresentados no item xxx. Esta ficha tem como objetivo facilitar na busca de dados, orientando durante a inspeção da área como um *check list*.

Guia para o preenchimento da ficha técnica

Os itens abordados na Ficha Técnica foram elaborados para definir se existem indícios de contaminação na área e se há fontes ativas com suspeita de contaminação. Além disso, esta ficha também identifica os bens a proteger e as principais vias de propagação dos contaminantes na área e em suas adjacências.

Conforme detalhado na norma, a estrutura da ficha é baseada em itens que são agrupados de forma a se obterem dados e informações referentes aos diferentes aspectos envolvidos na avaliação de uma área.

Os tópicos de preenchimento da ficha seguem abaixo:

- Identificação da área
- Disposição de resíduos sólidos
- Área industrial/comercial
- Outras fontes/fontes desconhecidas
- Descrição da área e suas adjacências
- Eventos importantes/existência de riscos
- Atividades anteriores desenvolvidas na área
- Fontes de informação
- Observações gerais
- Croqui da área
- Mapa de localização

Com base no levantamento acima, é possível elaborar o Modelo Conceitual que irá orientar quanto aos próximos passos. O Modelo consiste em uma Tabela, conforme exemplo abaixo (Tabela 2), com informações quanto a:

- fontes identificadas no local (por exemplo, instalações, equipamentos, áreas de produção);

- classificação da área (área com potencial de contaminação – AP – ou área já com contaminação confirmada – AC);
- substâncias ou produtos manuseados nas fontes relacionadas;
- mecanismos de liberação destas substâncias para o meio (por exemplo, vazamentos, derramamentos);
- via de transporte dos contaminantes (por exemplo, infiltração no solo, volatilização de vapores, transporte pela água subterrânea);
- receptores ou bens a proteger que podem ser atingidos por esta contaminação.

Tabela 2: Informações mínimas necessárias para elaboração do Modelo conceitual.

Fontes	Classificação (AP ou AC)	Substâncias ou produtos	Mecanismo de liberação	Via de transporte dos contaminantes	Receptores/bens a receber

Com base neste levantamento, é possível identificar a necessidade de novas etapas de investigação. Sendo identificadas áreas com potencial de contaminação ou áreas visivelmente contaminadas, torna-se necessária a realização de uma investigação confirmatória e/ou detalhada no local.

ABNT NBR 15.515-2: Investigação Confirmatória

Esta parte da norma, publicada em 2011, estabelece os requisitos necessários para o desenvolvimento de uma investigação confirmatória em áreas onde foram identificados indícios reais ou potenciais de contaminação do solo e água subterrânea após a realização da investigação preliminar.

Para atendimento a esta norma, são necessárias ainda seguir as referências normativas abaixo:

ABNT NBR 15492: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental;

ABNT NBR 15515-1: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar;

ABNT NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção;

ABNT NBR 15495-2: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento;

ABNT NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga.

Como o próprio nome já diz, uma investigação confirmatória é uma etapa de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo e nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação.

A confirmação da contaminação se dá basicamente pela coleta e análises químicas de amostras representativas de solo e/ou da água subterrânea, para substâncias químicas de interesse (SQI), em pontos suspeitos ou com relevante indício de contaminação. Em determinadas situações, outros meios podem ser amostrados, como gases do solo, sedimentos, água superficial ou biota.

As etapas da investigação confirmatória são exibidas no apresentado na Figura 18.

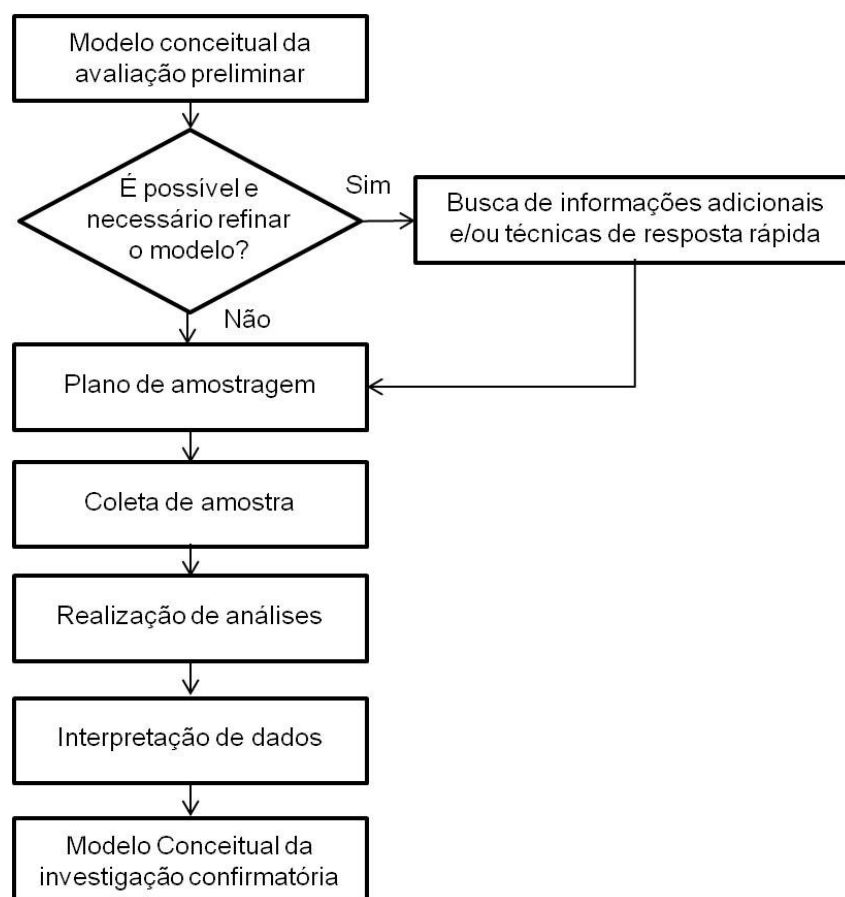


Figura 18: Fluxograma das etapas da Investigação Confirmatória.
 Fonte: ABNT (2011).

Levantamento de informações adicionais

De acordo com as etapas acima apresentadas, o primeiro passo para iniciar a investigação confirmatória é identificar a necessidade de refinar o modelo conceitual, considerando a busca de informações adicionais e/ou técnicas para o estudo.

Neste levantamento devem ser consideradas técnicas analíticas de resposta rápida, uma vez que esta etapa definirá o Plano de Amostragem que ocorrerá na sequência.

Na norma são exemplificados alguns métodos analíticos de resposta rápida (*real time*), sendo o mais utilizado na prática, em áreas com potencial de contaminação por hidrocarbonetos, exemplificado na tabela 3:

Tabela 3: Exemplo de um método analítico de resposta rápida para definição de Plano de Amostragem.

Técnica	Analitos	Meios avaliados	Qualitativo/ Quantitativo	Fatores limitantes
PID	VOC (mais sensível aos aromáticos)	Ar/gás e vapores do solo	Qualitativo a semiquantitativo (concentrações totais)	Interferências: vapor d'água, compostos orgânicos naturais. Falso negativo em altas concentrações de metano

Legenda: PID: detector de fotoionização; VOC: Compostos Orgânicos Voláteis.

Atualmente os detectores de compostos orgânicos voláteis já possuem sensores com exclusão de metano, de modo a não obterem um resultado falso negativo com leituras de compostos orgânicos naturalmente presentes no solo que não a contaminação que se deseja medir.

Ainda são utilizados métodos geofísicos como técnicas de resposta rápida, por exemplo, radar de penetração no solo, resistividade elétrica, polarização induzida, magnetometria, indução eletromagnética, sistema de refração, sísmica de reflexão de alta resolução, dentre outras.

Plano de Amostragem

O Plano de Amostragem deve ser executado com base no Modelo Conceitual desenvolvido na Avaliação Preliminar ou aprimorado no levantamento de informações adicionais da Investigação Confirmatória.

O Modelo Conceitual irá orientar quanto às áreas com potencial de contaminação, em condições atuais e/ou referente a atividades passadas. O Plano de Amostragem irá considerar:

- A identificação das atividades suspeitas ou com relevante potencial de contaminação;

- Identificação de substâncias contaminantes potenciais contidas em matérias-primas, produtos, emissões atmosféricas, efluentes ou resíduos;
- Identificação e caracterização das fontes potenciais ou reais de contaminação que existam, ou existiram;
- Identificação dos possíveis mecanismos de liberação dos contaminantes a partir de cada fonte primária e/ou secundária identificada, dentre outras.

O Plano deverá ainda contemplar as técnicas de perfuração, coleta e instalação de poços a serem realizadas, considerando ainda os parâmetros a amostrar e as metodologias de análises químicas.

Meios a serem amostrados

Os meios a serem amostrados devem ser definidos previamente, de acordo com as áreas suspeitas de contaminação, como, por exemplo, solos, sedimentos, rochas, aterros, águas subterrâneas, águas superficiais e vapores do solo. Comumente em investigação confirmatória são coletadas amostras de solo e água subterrânea, uma vez que são os meios mais afetados em áreas de revenda e consumo de combustíveis.

- Distribuição dos pontos amostragem

Os pontos de amostragem são distribuídos de acordo com as fontes identificadas no Modelo Conceitual, onde se espera ocorrência das maiores concentrações das substâncias de interesse. A distribuição dos pontos de coleta deve ser condicionada a localização de cada uma das fontes suspeitas ou de relevantes locais potencialmente contaminados que tenham sido identificados.

A quantidade de pontos deve ser o suficiente para identificar a contaminação em cada área fonte suspeita.

- Profundidade da amostragem

A profundidade deve ser estabelecida de acordo com as características dos contaminantes suspeitos, tendo em vista que cada substância possui mobilidade e interação diferenciadas com o meio afetado. Dessa forma, as amostras devem ser coletadas nas profundidades de maior probabilidade de ocorrência do contaminante investigado.

- Definição das substâncias químicas de interesse a serem analisadas

As substâncias a serem analisadas são escolhidas com base nas informações relativas aos contaminantes possíveis existentes na área, definidas na etapa da Avaliação Preliminar.

- Definição do número de campanhas de amostragem

A repetição de campanhas de amostragem só se dá quando necessária a confirmação dos resultados analíticos.

- Realização de análises químicas

As análises químicas devem ser realizadas em laboratórios que atendam os requisitos estabelecidos na ABNT NBR ISO/IEC 17025 ou de acordo com os requisitos estabelecidos por órgãos ambientais competentes.

É importante que seja mantida a rastreabilidade das amostras através da cadeia de custódia, que é o documento que registra o caminho da amostra desde a coleta até o momento da análise, indicando os responsáveis pelo processo.

Interpretação dos resultados

Posteriormente ao envio dos resultados analíticos pelo laboratório, é realizada a comparação das concentrações obtidas nas amostras com os valores orientadores, que podem ser definidos pelos órgãos ambientais competentes ou, na ausência de valores específicos para cada região, estipulados pela lista CONAMA nº 420/2009.

Sendo identificadas concentrações superiores aos valores orientadores, deve ser elaborado um plano de ação para as etapas posteriores, que podem caracterizar ações de intervenção imediatas e/ou uma investigação detalhada da área.

Investigação Detalhada

Esta parte da norma, durante o desenvolvimento deste trabalho, ainda estava sob consulta pública e, portanto, ainda não foi publicada. As informações contidas neste tópico consideram o texto sob consulta, sem suas devidas revisões, caso venham ocorrer, e as demais legislações que contribuíram para a elaboração desta parte.

Sabe-se que uma Investigação Detalhada tem por objetivo caracterizar e mapear uma contaminação em solo ou água subterrânea com base no histórico de monitoramento, avaliação preliminar, investigação confirmatória ou estudos ambientais relacionados à área em questão.

As principais atividades a serem desenvolvidas em uma Investigação Detalhada são:

- Mapeamento horizontal e vertical da contaminação;
- Caracterização do meio físico e do entorno;
- Estimativa da quantidade de contaminantes no solo e na água subterrânea;
- Identificação e caracterização de outras fontes de contaminação não apontadas nas etapas anteriores;

- Identificar das vias de exposição e receptores para a realização de Avaliação de Risco à Saúde Humana;
- Subsidiar plano de ações necessárias.

Em caso de risco iminente, identificado nas etapas anteriores, deverão ser consideradas ações emergenciais concomitantes a realização de investigação detalhada. Tal fato ocorre eventualmente em ocorrência de fase livre e intrusão de vapores, por exemplo.

A seguir são apresentados os itens necessários para realização de um plano de trabalho para uma Investigação Detalhada.

Plano de Investigação Detalhada

Caracterização de entorno

Este item complementa as informações já levantadas nos serviços anteriores, podendo ser inseridas fotos aéreas, mapas planialtimétricos ou imagens de satélite com base georreferenciada (UTM) da região.

Caracterização geológica

- a) realização de sondagens, conforme a norma NBR 15492 e ao tipo e a finalidade da amostra;
- b) descrição do solo, sedimento, rocha e/ou aterro de acordo com as recomendações do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, e outros documentos aplicáveis à descrição desses materiais;
- c) elaboração dos perfis das sondagens executadas e de seções geológicas longitudinais e transversais;
- d) coleta de amostra indeformada do material que compõe as camadas representativas do solo para determinação de granulometria,

porosidade total e efetiva, densidade real e aparente, umidade e fração de carbono orgânico;

e) confecção de planta com a localização das sondagens executadas e dos pontos de amostragem.

Caracterização hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica consiste no estudo da dinâmica dos fluxos subterrâneos e do comportamento dos contaminantes nas zonas não saturada e saturada. São atividades inerentes a esta caracterização:

a) instalação de poços de monitoramento, de acordo com as normas ABNT NBR 15495-1 e ABNT NBR 15495-2, com seções filtrantes posicionadas de acordo com a distribuição litológica e do tipo do contaminante existente;

b) medição de cota topográfica absoluta, com leitura a partir do topo do tubo de revestimento do poço e do nível d'água, para o cálculo do potencial hidráulico;

c) realização de ensaios de permeabilidade para determinação da condutividade hidráulica e, juntamente com potencial hidráulico, determinação da velocidade do lençol freático na área estudada;

d) elaboração de mapas potenciométricos abrangendo as plumas de contaminação.

Mapeamento da contaminação

Consiste no mapeamento da extensão da contaminação, identificando e delimitando a área de solo impactado e as plumas de fase livre e de fase dissolvida existentes.

Para traçar o limite horizontal da área de solo contaminado, a linha delimitante deverá passar pelo ponto situado na metade da distância entre o ponto de amostragem que apresente concentrações acima dos valores de

referência e o ponto de amostragem que apresente concentrações inferiores aos mesmos valores.

Para realizar a delimitação da zona em fase retida no plano vertical, o ponto-limite será definido na metade da distância entre um ponto de amostragem onde foi quantificada concentração acima e outro ponto de amostragem onde foi detectado valor inferior ao valor de referência.

Quando constatada concentração acima do valor de referência na amostra coletada na franja capilar, o limite inferior da zona de fase retida será a profundidade do nível d'água medido. Já o limite superior poderá ser identificado a partir de amostragem ou considerando, sempre que possível, a posição da fonte primária mais próxima.

O mapeamento da zona saturada refere-se à delimitação da fase livre e pluma de fase dissolvida. Para tal, os poços de monitoramento devem ser instalados e desenvolvidos de acordo com as recomendações da série de normas ABNT NBR 15495.

A delimitação da distribuição da fase livre será definida quando for obtido um número suficiente de pontos-limite necessário para o seu fechamento.

A partir da confirmação da existência de fase livre é necessária a implementação de medidas emergenciais para remoção da substância em fase livre conforme os procedimentos técnicos aplicáveis.

Para a delimitação da distribuição da fase livre no plano horizontal deverá ser considerado que o ponto-limite da área de ocorrência da fase livre é a metade da distância entre um ponto de medição (poço de monitoramento) onde foi observada a presença de fase livre e outro ponto de medição onde não foi observada fase livre.

Na definição dos limites da fase livre sobrenadante aparente considera-se que o ponto-limite superior será obtido na cota superior do nível da fase livre

medida no poço de monitoramento e o ponto-limite inferior será, de forma conservadora, a cota do nível d'água subterrânea medida no mesmo poço.

Em casos onde o produto contaminante é mais denso que a água, o poço de monitoramento deverá ter seção filtrante curta e ser posicionada na base da sondagem.

Nesta situação, para a delimitação da distribuição da fase livre aparente no plano vertical, considera-se como ponto-limite superior a cota superior do nível da fase livre medida no poço de monitoramento e no ponto-limite inferior, por conservadorismo, a cota do obstáculo à infiltração.

Para o mapeamento da pluma dissolvida são instalados poços de monitoramento e poços multiníveis. Preferencialmente, a seção filtrante do poço de monitoramento deve ter um comprimento máximo de 3,0 (três) metros e estar posicionada na zona saturada, ou seja, no ato da instalação o topo da seção filtrante é posicionado próximo do nível d'água estabilizado.

Na caracterização da pluma em fase dissolvida utilizam-se poços de monitoramento com captação em diferentes profundidades e seções curtas na profundidade desejada de investigação. Esses podem ser instalados mais de uma tubulação no mesmo furo ou cada um em uma sondagem individualizada.

Para realizar a delimitação da pluma em fase dissolvida no plano horizontal, considera-se como limite da pluma o ponto situado na metade da distância entre os pontos de amostragem que apresentem concentrações superiores aos valores de referência e o primeiro ponto inferior.

A delimitação das plumas no plano vertical deverá ser realizada por meio da utilização de conjunto de poços multiníveis em quantidade suficiente para estimar a espessura da pluma próxima a área fonte e ao longo do eixo longitudinal de movimentação, bem como caracterizar a existência ou não de fluxo vertical.

Atualização do Modelo Conceitual

Com base nas novas informações, o modelo conceitual da área poderá ser atualizado e validado com os dados obtidos na Investigação Detalhada, de forma a aprimorar o modelo conceitual da Investigação Confirmatória, que será a base para o planejamento e realização das etapas seguintes.

Avaliação de Risco à Saúde Humana

O Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana é um procedimento para Ações Corretivas com Base em Risco (ACBR) que representa uma metodologia de tomada de decisões, que foi elaborado tomando como base a metodologia descrita na norma ASTM 204-01 *Guide for Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites (RBCA)*, desenvolvida pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)* para áreas contaminadas.

O ACBR é uma metodologia flexível, tecnicamente defensável, para tomada de decisão com base na quantificação do risco toxicológico da saúde humana para áreas contaminadas. O ACBR é um procedimento que integra métodos de avaliação de exposição e de risco e modelos matemáticos de transporte de contaminantes, fornecendo subsídios ao processo de tomada de decisão relacionada à alocação de recursos, à urgência de ações corretivas, à necessidade de remediação, aos níveis de remediação aceitáveis e às alternativas tecnológicas aplicáveis.

Estas avaliações devem ser desenvolvidas por meio de *software*, como, por exemplo, o *RBCA Tool Kit*, ou através das Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação, fornecidas pela CETESB. A metodologia escolhida deverá ser definida pelo órgão ambiental ou justificada pelo executante.

- *Software RBCA Tool Kit*

O *Risk-based Corrective Action* é um procedimento eficiente de criação de decisões baseadas no risco, desenvolvido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para áreas contaminadas.

A elaboração de cenários é fundamental para a avaliação feita no RBCA. Estes devem representar a evolução do contaminante partindo da origem da contaminação até chegar aos receptores potenciais, passando pelos diferentes caminhos de exposição (ASTM, 1995).

A avaliação de risco terá como resultado concentrações mínimas aceitáveis para o cenário em questão – *SSTL (Site Specific Target Levels)*.

- Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação – CETESB

A CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo determinou em sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a elaboração de planilhas para avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, objetivando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco realizados no Estado de São Paulo.

Essas planilhas possibilitam a quantificação do risco à saúde humana em áreas contaminadas sob investigação e no estabelecimento de concentrações máximas aceitáveis (CMAs), auxiliando os profissionais que atuam no gerenciamento de áreas contaminadas na elaboração de Planos de Intervenção.

- Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana

O relatório deverá exibir todos os valores de entrada utilizados, inclusive os valores *default* da metodologia escolhida. Além disso, deverá objetivamente

indicar a existência ou não de risco no *site* e a necessidade de ações de intervenção, apontando os valores-alvos para remediação, caso necessária. Solicita-se ainda que as telas representativas da Avaliação de Risco, seja *RBCA* ou *CETESB*, sejam anexadas ao relatório.

Plano de Ação

Com base nos estudos realizados, é avaliada a necessidade de ações complementares de investigação ou de ações de intervenção na área. A decisão de ações futuras é definida a partir do cenário observado.

Caso a área contaminada ofereça risco aos receptores locais, tornam-se necessárias ações de intervenção imediatas no local para remoção da contaminação observada.

As ações de intervenção dependem da extensão contaminação e do tipo do contaminante existente, podendo variar entre escavação e destinação de solo contaminado, bombeamento da fase livre identificada e/ou da água subterrânea contaminada para tratamento *ex situ*, dentre outras.

Em caso de não terem sido identificadas concentrações acima dos valores calculados, baseados em risco, ou dos valores de referência, podem ser solicitados monitoramentos periódicos, com amostragem da matriz de interesse, para acompanhamento e confirmação da ausência de risco aos receptores locais.

3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para exemplificar e explorar a aplicação da norma ABNT NBR 15.515 e suas partes, foi utilizado um estudo de caso em uma área com potencial de contaminação e que teve seu processo acompanhado junto ao órgão ambiental do Estado – Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

Trata-se de um empreendimento localizado na região portuária da cidade do Rio de Janeiro (Figura 19), que realiza atividade de descarregamento e armazenamento de cargas. Na área havia um tanque aéreo de combustível para o abastecimento de máquinas e carretas do empreendimento.

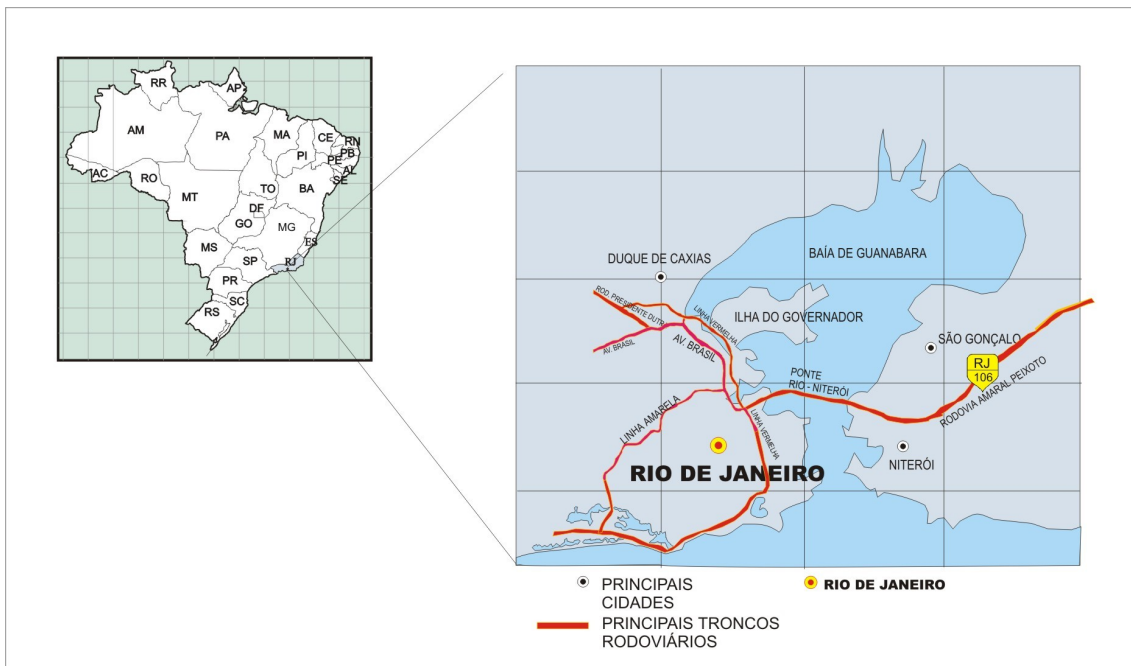


Figura 19: Mapa de Localização da Área Investigada.

Com a abertura de um processo de licenciamento ambiental junto ao INEA, o empreendimento foi notificado a realizar Investigações Ambientais na área. O licenciamento ambiental é o procedimento administrativo por meio do qual o INEA autoriza a localização, instalação, ampliação, operação ou encerramento de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidores e aqueles capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

O Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) foi instituído pelo [Decreto Estadual nº 42.159](#), de 2 de dezembro de 2009, em consonância com o Decreto-lei nº 134, de 16 de junho de 1975, alterado em parte pela Lei Estadual nº 5.101, de 4 de outubro de 2007.

Na ocasião o empreendimento foi notificado com o objetivo de obter o Termo de Encerramento de sua atividade de abastecimento de combustível em determinada área, uma vez que o tanque utilizado foi removido da mesma em 2008 e transferido para outro local.

Segundo o INEA, Termo de Encerramento (TE) consiste em um ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental atesta a inexistência de passivo ambiental que represente risco ao ambiente ou à saúde da população, quando do encerramento de determinada atividade ou após a conclusão do procedimento de recuperação da área, estabelecendo suas restrições de uso.

A área em questão, denominada por área de abastecimento, era pavimentada em concreto e contemplada por canaletas de drenagem oleosa ligadas à caixa separadora de água e óleo (SAO).

Havia uma bomba de abastecimento ligada ao tanque aéreo de armazenamento de combustível através de tubulações subterrâneas. Ressalta-se ainda que este tanque encontrava-se instalado em uma bacia de contenção de concreto, onde minimizaria ou até extinguiria qualquer possibilidade de vazamento de produto combustível para o solo.

Segundo a notificação emitida pelo órgão ambiental, foram solicitadas as seguintes etapas de gerenciamento de áreas contaminadas, definidas na Resolução CONAMA nº 420 / 2009:

- Apresentação de relatório de Avaliação Preliminar conforme escopo da ABNT/NBR 15515-1 (Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar);

- Apresentação de relatório de Investigação Confirmatória da qualidade do solo e água subterrânea com perfuração de sondagens e instalação de poços de monitoramento, conforme ABNT/NBR 15495, incluindo amostragens e análises de solo e água subterrânea. As substâncias químicas de interesse (SQIs) a serem analisadas dependerão do tipo de matérias primas e produtos utilizados, armazenados e manipulados pelo empreendimento, assim como dos utilizados e manuseados antes da instalação da atividade. Estas informações deverão ser levantadas e apresentadas no relatório, incluindo a justificativa de escolha dos parâmetros;

- Caso as concentrações dos SQIs estejam acima do Valor de Investigação para solo e água subterrânea (Resolução CONAMA nº 420 / 2009), apresentar:
 - a. Relatório de Investigação detalhada da qualidade do solo e água subterrânea, definindo a extensão da área contaminada (vertical e horizontal), com caracterização geológica, hidrogeológica e geoquímica. Para isso devem-se perfurar novas sondagens e instalar novos poços de monitoramento para definição dos limites da pluma de contaminação da área contaminada;
 - b. Relatório de Avaliação de Risco, para solo (com coleta de amostra indeformada para caracterização dos parâmetros físicos) ou água subterrânea.
 - i. Considerar no cálculo de Metas de Remediação Específicas da Área um critério de risco carcinogênico de 10^{-5} e não carcinogênico de 1.
 - ii. Apresentar os riscos individuais e cumulativos à saúde humana e ao meio ambiente. A partir dos resultados, propor ações futuras.
 - iii. Entre as vias de exposição existentes, considerar também as de contato dermal com o solo e a água subterrânea, ingestão de água subterrânea e recreação em águas superficiais;

- iv. Esses dados devem ser apresentados em forma de relatório detalhado da avaliação com todos os parâmetros considerados (*default* e específicos), informando sua procedência e motivos pelos quais foram utilizados (incluir fontes de consulta);
 - v. Avaliar os seguintes parâmetros na amostra indeformada: porosidade total e efetiva, conteúdo volumétrico de água, densidade seca dos grãos, pH, fração de carbono orgânico ou carbono Orgânico Total;
- Apresentação de plano de intervenção ou de monitoramento com cronograma das ações.

Conforme os itens da notificação supracitada, o objetivo deste estudo de caso é atender à solicitação do órgão ambiental utilizando as orientações da Resolução CONAMA nº 420 / 2009, juntamente a ABNT NBR 15515 e suas partes. Diante dos resultados analíticos obtidos ao longo do projeto, serão recomendadas ações futuras para área investigada.

4. METODOLOGIA

A seguir, será apresentada a metodologia das etapas de investigação ambiental, com o objetivo de obter o Termo de Encerramento da atividade da antiga área de abastecimento existente.

AVALIAÇÃO PRELIMINAR

A Avaliação Preliminar foi realizada para subsidiar a Investigação Confirmatória, como critério de priorização de áreas conforme ABNT/NBR 15515-1, por meio de um diagnóstico inicial mediante coleta de dados existentes e realização de inspeção de reconhecimento da área.

Levantamento Histórico

Foram realizadas entrevistas com funcionários antigos e, segundo informações obtidas na área e nas cercanias imediatas, não há registros da ocorrência de vazamentos, perda de produto, histórico de acidentes ambientais, envolvimento com órgãos ambientais ou reclamações das circunvizinhanças devido a odor e/ou presença de combustíveis.

Em maio de 2010, foi realizada uma sondagem com coleta de amostra de solo e água subterrânea para análises laboratoriais. Os resultados analíticos das amostras de água indicaram concentrações de PAH acima dos limites de intervenção adotados (CETESB, 2005).

Caracterização das Cercanias

A morfologia da região é plana e a área é classificada como zona portuária. Com base na morfologia e padrão de drenagens locais, o sentido do fluxo das águas subterrâneas regional é inferido de Noroeste para Sudeste.

A água utilizada para consumo humano é fornecida pela concessionária local Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE).

Na região, tem a presença de um corpo hídrico em suas cercanias. A Baía de Guanabara está localizada a, aproximadamente, 120,0 m à Sudeste da área investigada e, por isso, o fluxo das águas subterrâneas ser inferido neste sentido.

Caracterização do Empreendimento

O empreendimento realiza atividade de descarregamento e armazenamento de cargas. Segundo informações obtidas com funcionários, na área havia um tanque aéreo de 15.000 L, que armazenava diesel para o abastecimento de máquinas e carretas.

A antiga área de abastecimento era pavimentada em concreto e contemplada por canaletas de drenagem oleosa ligadas à caixa separadora de água e óleo (SAO).

A área investigada atualmente é pavimentada em blocos de concreto, com rachaduras e/ou imperfeições entre eles.

Caracterização Geológica Regional

Segundo o [Departamento Nacional de Produção Mineral](#), a cidade de Rio de Janeiro encontra-se inserida geologicamente na Faixa Ribeira, que possui estruturação regional de trend NE – SW, englobando um conjunto de rochas proterozóicas e fanerozóicas. Os corpos geológicos predominantes na região são constituídos principalmente por gnaisses facoidais, leptinitos, kinzigitos e charnokitos que são os tipos mais característicos e distribuem-se ao longo das serras, morros, morrotes e também subjacente às camadas de sedimentos nos vales, baixadas, planícies litorâneas e baías que configuram o cenário geomorfológico da região. Estes distribuem-se irregularmente como faixas ou bolsões entre os migmatitos (DNPM, 1984).

As rochas proterozóicas são representadas por Ortognaisses TTG com intercalações de anfibolito e intrusões de granada leucogranitos (Complexo Rio Negro); granitos com xenólitos de paragnaisses (Suíte Rio de Janeiro) e; por (hornblenda)-biotita granitóides (Granitóides pós-tectônicos).

As rochas ígneas fanerozóicas são representadas por sienitos, nefelina sienitos, foiaitos, fonolitos, traquitos, tinguaitos, pulaskitos, umptekitos e fenitos (Rochas alcalinas cretáceas) além de intrusões de rochas básicas representadas por diques de basalto, diabásio e gabro.

Os depósitos quaternários são de origem flúvio-marinho-lagunar e são compostos por areias e lamas sobrejacentes a camadas de areias biodetríticas e/ou sedimentos lamosos de fundo lagunar com ocorrências de turfas. Os sedimentos arenosos são compostos por lentes de silte e argila, areias brancas, vasas, mangues e cascalhos. Nos depósitos associados ao canal fluvial (depósitos residuais de canais) ocorrem areias e cascalhos. O retrabalhamento das encostas pelos agentes erosivos e intempéricos gerou os depósitos associados às encostas, que são representados por colúvios, elúvios e depósitos de tálus que recobrem as mesmas e são compostos por sedimentos areno-argilosos de granulação variada e por seixos, blocos e matacões.

O mapa geológico-regional é apresentado na Figura 20.

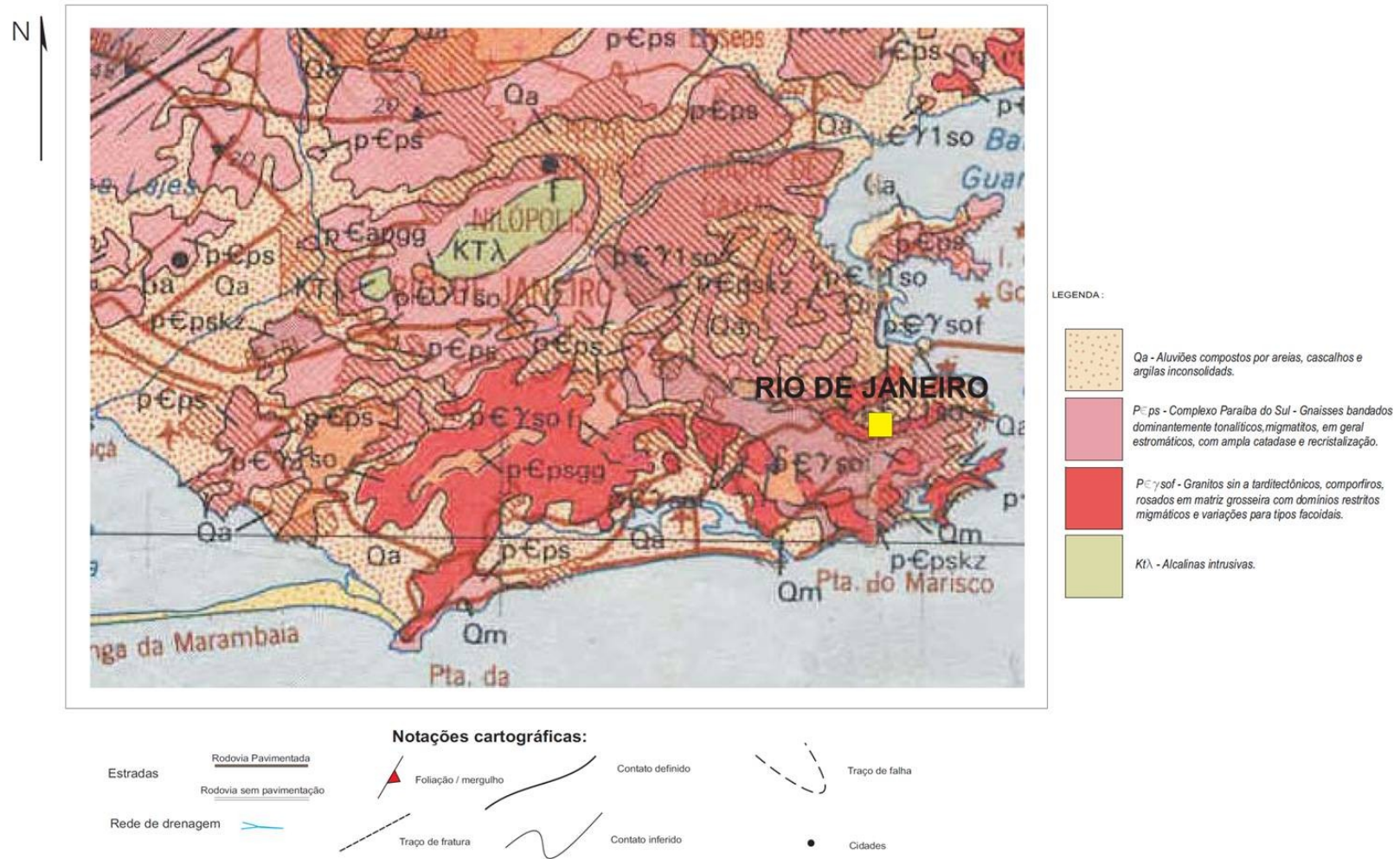


Figura 20: Mapa geológico-regional. Fonte: Adaptado de DNPM (1984).

Caracterização Hidrogeológica Regional

Para caracterização hidrogeológica foi consultado o Serviço Geológico do Brasil. A hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro caracteriza-se pelas águas subterrâneas estarem espacialmente mais distribuídas em aquíferos fissurais, uma vez que os aquíferos porosos estão nas planícies litorâneas e bacias sedimentares.

Apesar da maior parte do território do Estado do Rio de Janeiro ser constituída por rochas cristalinas, a intensa atividade tectônica é responsável pela ocorrência de diversas zonas de cisalhamento, algumas de expressão regional, como o Graben do Paraíba do Sul e o Graben Guanabara, que possibilitaram acumulação excepcional de água. Por outro lado, a água que ocorre nas rochas cristalinas do Estado do Rio de Janeiro possui, em sua grande maioria, um valor bastante baixo de sólidos totais dissolvidos (CPRM, 2001).

Ficha técnica

De acordo com a ficha técnica anexa a ABNT NBR 15.515-1, foi de relevância importância a caracterização da área quanto ao seu uso atual e anterior, para elaboração do Modelo Conceitual.

Tendo em vista que o estudo abrange apenas a área de abastecimento, o foco inicialmente se limitou a sua extensão. De acordo com o histórico da área de abastecimento havia um tanque aéreo de 15.000 L que armazenava diesel para o abastecimento de máquinas e carretas. Este tanque foi instalado em 1999 e removido da área em 2008.

A antiga área de abastecimento era pavimentada em concreto, possuía bacia de contenção para o tanque de armazenamento e era contemplada por canaletas de drenagem oleosas ligadas à caixa separadora de água e óleo

(SAO). Havia uma bomba de abastecimento interligada ao tanque por tubulações subterrâneas.

A caixa separadora sofria limpeza mensal e seus efluentes eram recolhidos por empresa competente, para tratamento adequado. Não havia disposição de resíduos sólidos na área.

Com base em estudos complementares e fotos multitemporais, na área de estudos não foram desenvolvidas atividades anteriores com potencial de contaminação.

Nas figuras 21 e 22 são apresentados o croqui da área avaliada e de suas circunvizinhanças.

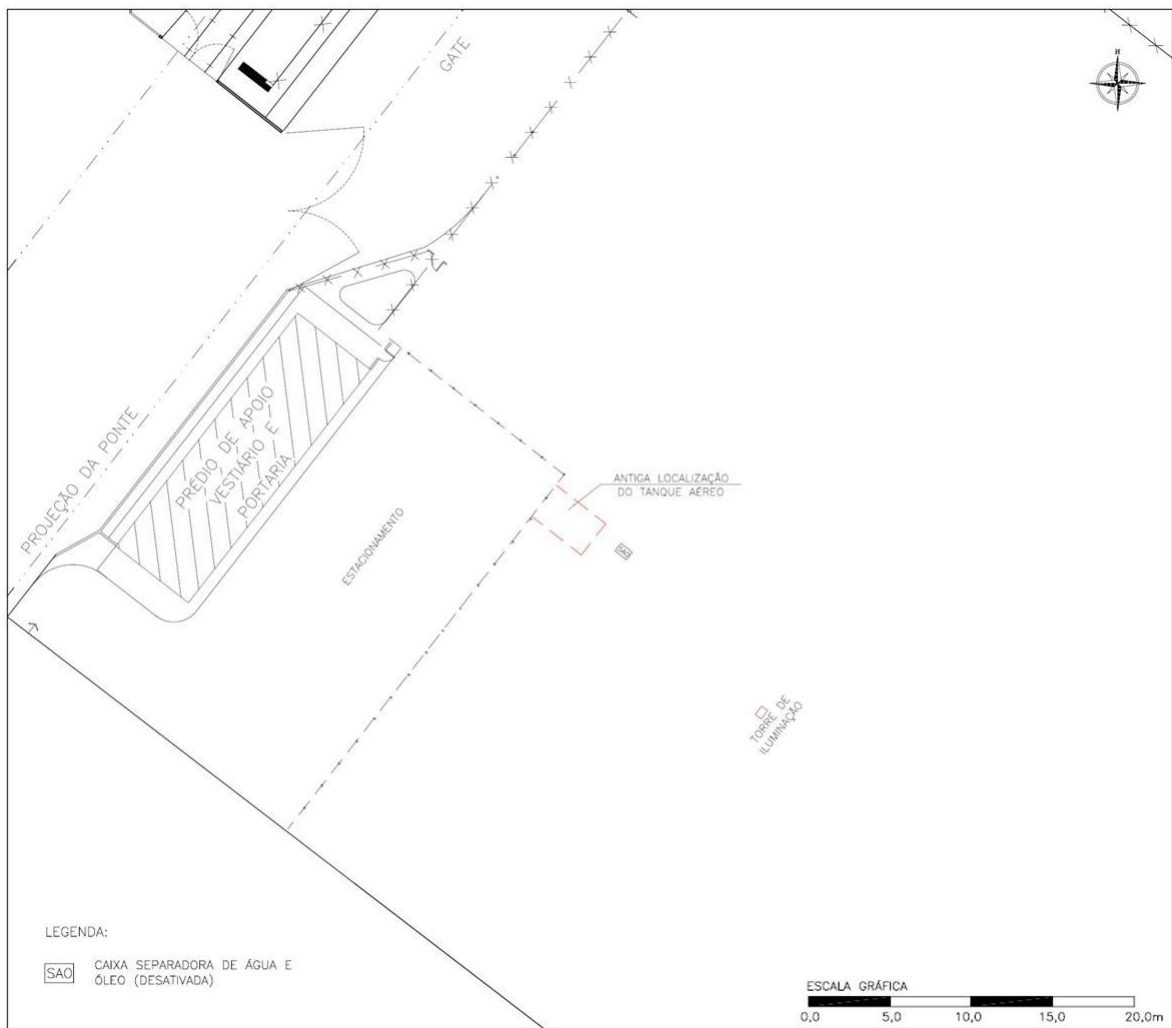


Figura 21: Croqui do empreendimento.

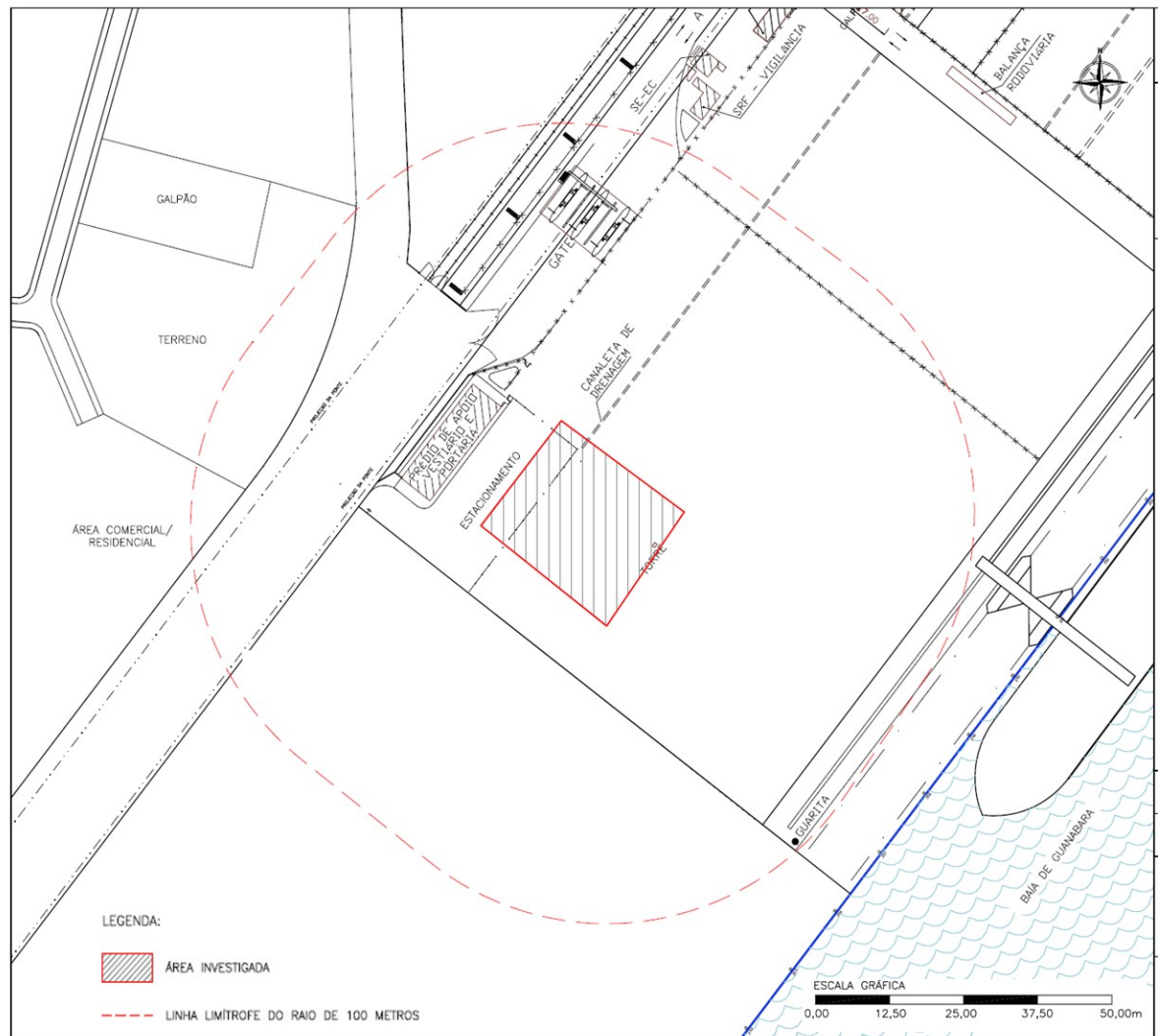


Figura 22: Cercanias imediatas ao empreendimento.

Modelo Conceitual

De acordo com levantamento realizado na área, através de entrevistas e vistorias, e com base em estudos sobre a região, foi possível a elaboração do Modelo Conceitual para orientação quanto aos próximos passos.

INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Como a área em questão foi classificada com potencial de contaminação, tornou-se necessária a execução da etapa da Investigação Confirmatória, a fim de constatar um possível passivo ambiental.

O Modelo Conceitual, elaborado a partir da Avaliação Preliminar, teve como objetivo orientar a localização das sondagens a serem executadas e dos poços de monitoramento instalados. Foram definidos ainda os parâmetros químicos a serem analisados nas amostras de solo e de água subterrânea.

A localização dos pontos de amostragem, baseada nas áreas críticas, visou a coleta de amostras na possível área fonte, a montante e a jusante da área com potencial de contaminação.

Como um método analítico de resposta rápida e que subsidia o Plano de Amostragem, foi executada uma Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis no solo.

Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis

As medições de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) tiveram como finalidade determinar e quantificar sua presença no subsolo da área investigada e, desta forma, contribuir para a locação das sondagens. As perfurações foram locadas em malha com espaçamento regular, de acordo com a área total do estabelecimento, com adensamento nas áreas críticas (tanques, bombas, filtros, caixa SAO, e do percurso inferido das linhas subterrâneas) e áreas com histórico de contaminação.

As leituras de VOC foram realizadas em perfurações, executadas com perfuratriz de 1" de diâmetro, onde foi 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. Esta sonda foi conectada por mangueira de

teflon ao analisador de gases, até a profundidade de 1,0 m, para execução das medições de VOC *in situ*.

A campanha de VOC foi realizada utilizando-se aparelhos eletrônicos apropriados, que detectam e quantificam os gases, por correlação com a explosividade inerente dos hidrocarbonetos voláteis de baixo peso molecular, típicos de derivados leves (combustíveis, solventes, nafta etc.). Foi utilizado um analisador portátil de vapores orgânicos da marca GASTECH, modelo INNOVA Series. Seu princípio de aplicação baseiou-se na quantificação de compostos orgânicos existentes no ar analisado. Vale ressaltar que este aparelho possui dispositivo de calibragem especial, que possibilita a exclusão do metano da quantificação total dos hidrocarbonetos voláteis. Isto evita a inclusão de gás natural presente em alguns solos orgânicos com intensa atividade microbiológica, de forma a não produzir interferências e leituras errôneas nas leituras de hidrocarbonetos leves derivados do petróleo.

A calibragem deste aparelho é feita tomando-se um hidrocarboneto como padrão. Neste equipamento há o emprego de hexano, e a partir das características de explosividade deste composto, a concentração em partes por milhão (ppm) dos demais compostos orgânicos leves é determinada. A faixa de utilização destes aparelhos, para concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis varia entre 0 ppm e 10.000 ppm.

Foram realizadas 45 perfurações (P-01 a P-45), acompanhadas de leituras de VOC. Os pontos foram escolhidos de acordo com a Avaliação Preliminar que permitiu identificar a área com potencial de contaminação.

Após o término das perfurações os furos foram preenchidos com material local, compactados e o piso original reconstituído.

Execução de Sondagens

As sondagens foram locadas com base no método analítico de reposta rápida.

As sondagens foram executadas com trado manual, tipo concha, de 4” de diâmetro. Ao longo da execução das sondagens foram coletadas amostras de solo a cada 0,5 m onde são efetuadas medições de VOC, análise organoléptica para avaliação de indícios de hidrocarbonetos, e descrição do material quanto à textura, cor e granulação.

Para realização das medições de VOC foi seguida a metodologia *Head Space*, que consistiu no armazenamento das amostras de solo em sacos plásticos, que foram agitados vigorosamente e, após alguns minutos, rompidos pelo tubo de um analisador portátil de vapores orgânicos para obtenção das concentrações de VOC. O aparelho utilizado foi da marca GASTECH, modelo INNOVA Series.

Ao término de cada sondagem, o material utilizado foi lavado com sabão neutro e água deionizada para sua descontaminação.

Foram realizadas 06 sondagens (S-01 a S-06) com profundidade máxima de 5,60 m, e um total de 37,5 m perfurados.

Instalação dos Poços de Monitoramento

Os poços de monitoramento foram instalados em sondagens selecionadas com base nas características hidrogeológicas locais e na disposição de equipamentos do empreendimento.

Os poços de monitoramento foram revestidos com tubos geomecânicos de 2" e filtro de mesmo material com ranhuras de 0,50 mm apropriados à granulometria local. Os espaços anelares foram preenchidos com pré-filtro constituído de areia grossa, homogênea e selecionada, com diâmetro de 2 a 3 mm, sendo que os primeiros 30 cm são preenchidos com bentonita. O acabamento final dos poços de monitoramento constou de proteção sanitária em argamassa de cimento e areia, *cap*, cadeado e câmara de calçada com tampa de ferro, situada no nível do pavimento.

O procedimento descrito contém os fundamentos que auxiliam no monitoramento da evolução das condições hidrogeológicas locais, ou seja, mudanças nos níveis d'água, bem como o comportamento das espessuras de fase livre de produto, quando presentes.

Foram instalados 06 poços de monitoramento (PM-01 a PM-06), nas sondagens S-01 a S-06, respectivamente. Estes poços foram construídos com profundidade média de 4,0 m.

Caracterização Hidrogeotécnica

Levantamento Planialtimétrico

O levantamento planialtimétrico foi realizado com a finalidade de determinar as cargas hidráulicas nos poços de monitoramento instalados, a partir da correlação planialtimétrica entre eles. Este levantamento constou de leituras realizadas diretamente na régua, a partir de um ponto de visada. As leituras foram realizadas a partir da boca do poço. Posteriormente, as cotas

lidas foram transformadas em cotas corrigidas (Cc) para efeito de cálculo, que foram obtidas considerando a relação topográfica entre os poços.

As cargas hidráulicas foram calculadas subtraindo-se as profundidades do nível d'água (NA) dos poços de monitoramento das respectivas cotas corrigidas (Cc), considerando que ambas as medidas são lidas a partir da boca dos tubos. Com as cargas hidráulicas conhecidas, foi possível elaborar um mapa potenciométrico, e determinar o sentido do fluxo das águas subterrâneas na área investigada.

O levantamento planialtimétrico foi executado atribuindo cotas para os poços de monitoramento instalados e para as interferências encontradas na área do empreendimento.

Análises Laboratoriais do Solo e da Água

Em cada sondagem, a amostra que apresentou o maior valor de VOC e, eventualmente, algum indício da presença de hidrocarbonetos, foi acondicionada, rapidamente, em um frasco de vidro de boca larga e tampa de teflon, de modo que não houvesse espaços vazios em seu interior, evitando-se assim, a perda de gases por volatilização. No caso de valores nulos ao longo do perfil, as amostras foram coletadas na franja capilar, visando à análise química do material mais próximo ao lençol freático. As amostras de solo foram etiquetadas, acondicionadas em *cooler* com gelo e enviadas ao laboratório, para análises químicas.

Previamente à amostragem das águas subterrâneas, os poços de monitoramento foram esgotados, evitando-se a coleta de água estagnada. As amostragens foram realizadas através de um *bailer* descartável (amostrador específico composto de um tubo de PVC transparente equipado com uma válvula de retenção de teflon tipo portinhola na extremidade inferior). O procedimento de coleta é baseado no Anexo IV dos Procedimentos para Licenciamento de Postos da Companhia de Tecnologia de Saneamento

Ambiental - CETESB (2006). Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em frascos apropriados, armazenadas em *cooler* com gelo e enviadas ao laboratório.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores orientadores definidos na Lista CONAMA 420/2009, que adota valores de referência para atividades agrícola, residencial e industrial para os solos, e valores de intervenção para as águas subterrâneas (Tabela 4).

Tabela 4: Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas do CONAMA 420/2009.

COMPOSTOS	CONAMA 420/2009			
	Solos (mg/Kg)			Águas (µg/L)
	Agrícola	Residencial	Industrial	Intervenção
BTEX				
Benzeno	0,06	0,08	0,15	5,00
Tolueno	30,00	30,00	75,00	700,00
Etilbenzeno	35,00	40,00	95,00	300,00
Xilenos	25,00	30,00	70,00	500,00
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos)				
Naftaleno	30,00	60,00	90,00	140,00
Fenantreno	15,00	40,00	95,00	140,00
Antraceno	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	1,00
Criseno	-	-	-	-
Benzo(a)Antraceno	9,00	20,00	65,00	1,75
Benzo(k)Fluoranteno	-	-	-	-
Benzo(a)Pireno	0,40	1,50	3,50	0,70
Indeno(123-cd)Pireno	2,00	25,00	130,00	0,17
Benzo(ghi)Perileno	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)Antraceno	0,15	0,60	1,30	0,18
PAH Total	-	-	-	-

INVESTIGAÇÃO DETALHADA

A investigação detalhada teve como objetivo a delimitação das áreas contaminadas e a avaliação do risco que as mesmas podem oferecer aos receptores locais.

Para tal, novas sondagens e poços de monitoramento foram executados para identificação da extensão total da contaminação. Coleta de dados adicionais também precisou ser realizada para Avaliação do Risco

Execução de Sondagens Adicionais

As áreas de interesse para locação das sondagens foram selecionadas com base na investigação ambiental realizada anteriormente, com o objetivo de delimitar a pluma de contaminação em fase dissolvida identificada.

As sondagens foram executadas seguindo a metodologia descrita anteriormente no item 4.2.2.

Foram realizadas 06 sondagens (S-01 a S-06) com profundidade máxima de 5,20 m, e um total de 27,40 m perfurados. As sondagens foram dispostas de forma a delimitar a pluma de fase dissolvida existente.

Instalação dos Poços de Monitoramento

Os poços de monitoramento foram instalados em sondagens selecionadas com base nas características hidrogeológicas locais e com o objetivo de delimitar a pluma de contaminação em fase dissolvida identificada. A metodologia foi desenvolvida conforme descrito no item 4.2.3.

O procedimento descrito contém os fundamentos que auxiliam no monitoramento da evolução das condições hidrogeológicas locais, ou seja,

mudanças nos níveis d'água, bem como o comportamento das espessuras de fase livre de produto, quando presentes.

Foram instalados 06 poços de monitoramento (PM-07 a PM-12) nas sondagens S-01 a S-06, respectivamente. Estes poços foram construídos com profundidade média de 3,90 m.

Caracterização Hidrogeotécnica

Levantamento Planialtimétrico

O levantamento planialtimétrico foi realizado novamente com a finalidade de determinar as cargas hidráulicas nos poços de monitoramento instalados, e confirmar o sentido das águas subterrâneas, a partir de outros pontos de medição. A metodologia segue o descrito no item 4.2.4.1.

Ensaio de Permeabilidade

O ensaio geotécnico de permeabilidade, de caráter pontual, foi realizado com a finalidade de determinar o coeficiente de permeabilidade do terreno investigado. O tratamento dos dados segue a metodologia de HVORSLEV (1951), que é aplicada a aquíferos livres e pode utilizar poços ou piezômetros parcialmente penetrantes. Esse método determina a condutividade hidráulica horizontal (K) em sua vizinhança a partir de parâmetros do poço e da curva com dados de campo de $\log_{10}h / h_0$ vs. tempo, onde h_0 é carga inicial no poço e h são as cargas posteriores decorrentes da recuperação através do aquífero.

Por este método a condutividade é dada por:

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

onde:

K – condutividade hidráulica horizontal

r – raio do poço

L_e – coluna d'água na seção filtrante

R – raio da sondagem

T_0 – tempo onde h/h_0

A validade do ensaio depende da escolha do tipo mais adequado ao terreno em estudo, do acompanhamento detalhado de sua realização e da elucidação dos fenômenos que porventura venham a ocorrer.

Foi realizado ensaio do tipo recuperação a nível variável, com diferencial de pressão negativo aplicado ao aquífero, e recuperação superior a 63% da carga inicial. Neste tipo de ensaio, o nível d'água natural é alterado para uma posição que se pode denominar nível inicial do ensaio. A tendência do nível d'água voltar à posição original é acompanhada ao longo do tempo do ensaio (ABGE, 1996). No presente caso, este nível inicial foi estabelecido através da retirada de água, medindo-se em seguida sua velocidade de recuperação.

Adotaram-se a maior e a menor carga hidráulica dos poços de monitoramento, calculadas no levantamento planialtimétrico, e admitiu-se entre os dois poços uma distância de 67,50 m para o cálculo do coeficiente hidráulico, conforme fórmula abaixo:

$$i = (CH_M - CH_m) / d$$

onde:

i - coeficiente hidráulico

CH_M - carga hidráulica maior

CH_m - carga hidráulica menor

d - distância entre os dois poços

Considerando a condutividade hidráulica (k) de $1,45 \times 10^{-5}$ cm/s e uma porosidade efetiva (η_e) de 9,90% para o material em questão, obtêm-se,

através da Lei de Darcy (OLIVEIRA, 1996), a velocidade das águas subterrâneas:

$$V = (k \cdot i) / \eta e$$

onde:

V - velocidade média linear das águas subterrâneas (m/ano)

k - condutividade hidráulica (m/ano)

i - gradiente hidráulico (adimensional)

ne - porosidade efetiva do material (adimensional)

Análises Laboratoriais do Solo e da Água Subterrânea

As amostras de solo e água subterrânea, coletadas conforme descrito anteriormente no item 4.2.5, foram encaminhadas para análises químicas em laboratório certificado. Os resultados obtidos foram comparados com os valores orientadores da CONAMA nº 420 / 2009.

Ressalta-se que os poços pré-existentes (PM-01 a PM-06) foram amostrados novamente nesta etapa, para confirmação dos resultados.

Avaliação de Risco (RBCA Tier 2)

Conceito de Análise de Risco

A Análise de Risco realizada seguiu a metodologia RBCA, estabelecida através das normas ASTM (American Society for Testing and Materials) E-1.739/1995 e ASTM PS-104/98, 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.

A Análise de Risco nos moldes RBCA tem sido utilizada em casos de investigação e remediação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos, com o objetivo de priorizar as ações, de acordo com os riscos que representam aos receptores (residentes, trabalhadores, corpos d'água, etc.) suscetíveis à contaminação. Tal metodologia representa uma ferramenta auxiliar de tomada de decisões relacionada à alocação de recursos, à necessidade de remediação, à urgência de ações corretivas, aos níveis de remediação aceitáveis e às alternativas tecnológicas aplicáveis tendo como objetivo principal a proteção da saúde humana e meio ambiente.

O risco foi calculado através de um modelamento matemático onde são simulados os efeitos da presença dos contaminantes nos solos e águas subterrâneas sobre os ocupantes do site, levando-se em consideração a forma de utilização da área (residencial ou comercial), ou possíveis cenários fictícios ou cenários futuros.

O software *RBCA Tool Kit for Chemical Releases* calcula o risco de toxicidade e o risco de carcinogenicidade que o *site* representa aos seus potenciais receptores. O risco tóxico é a concentração máxima que os receptores possam ficar expostos aos contaminantes e não venham a desenvolver doenças não cancerígenas ao longo do tempo de exposição. O risco de carcinogenicidade constitui as concentrações máximas aceitáveis para que os receptores não venham a contrair doenças cancerígenas durante o tempo de exposição.

Caso a análise conclua que o risco é real, e fiquem caracterizadas as vias de exposição, será necessária a implementação de um sistema de remediação que reduza os teores dos contaminantes presentes a níveis que não ofereçam risco, ou a implementação de medidas mitigatórias, que descaracterizem as vias de exposição.

Metodologia Utilizada

O modelamento utilizado foi de acordo com as metodologias desenvolvidas pela ASTM (EUA), com base nas normas ASTM E-1.739: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (1995) e ASTM-PS-104: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (1998).

Para a modelagem foi utilizado o programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases, versão 1.3.a da Groundwater Services, Inc. O RBCA integra as práticas de Análise de Risco da Environmental Protection Agency (EPA) com as atividades de investigação e remediação para a determinação de medidas

eficazes para a proteção da saúde humana, e preliminarmente dos recursos do meio ambiente.

Este software simula o quanto de contaminantes potencial pode atingir um receptor ocupante do site, assim incrementando o risco de carcinogenicidade e toxicidade. Desta forma, para desenvolvimento do modelo, faz-se necessário o levantamento dos seguintes dados:

- Caracterização das vias de exposição;
- Caracterização das cercanias;
- Concentração dos contaminantes nos solos e águas subterrâneas; e
- Identificação do modelo de transporte mais adequado ao cenário criado.

Como resultado deste modelamento, obtêm-se os Níveis-Alvo Específicos da Área (*SSTLs*), ou seja, concentrações máximas dos compostos de interesse a serem atingidas pelos métodos de remediação.

Para a elaboração deste estudo, considerou-se que a área permanecerá em aspectos gerais com a configuração atual. Caso haja mudanças da utilização da área, deverá ser elaborado um novo estudo considerando o novo cenário.

Parâmetro de Exposição e Risco

Os parâmetros de exposição ou populacionais são definidos de acordo com o tipo de receptor (residencial, comercial ou industrial) envolvido, sua frequência e tempo de exposição aos contaminantes. A Tabela 11 mostra os parâmetros utilizados e suas respectivas referências.

O limite de risco considerado utilizado para compostos carcinogênicos é de 1×10^{-5} , e para compostos não carcinogênicos, o limite de risco tóxico é de 1 (*Hazard Quotient* e *Hazard Index*).

Tabela 5: Parâmetros Populacionais Utilizados na Análise de Risco e suas Referências.

Parâmetros de Exposição	Residencial			Comercial/Industrial		Referência
	Adulto	1-6 anos	1-16 anos	Crônico	Trabalhador de Obras	
Tempo de avaliação e perigo para carcinogênicos (anos)	68			68	68	ACBR (2006)
Tempo de avaliação para efeitos não carcinogênicos (anos)	45			35	1	ACBR (2006)
Massa corpórea (Kg)	60	15	35	60		ACBR (2006)
Duração de exposição (anos)	45	6	16	45	1	ACBR (2006)
Tempo médio do fluxo de vapores (anos)	45			45	1	ACBR (2006)
Frequência de exposição (dias/ano)	350			270	180	ACBR (2006)
Frequência de exposição dermal (dias/ano)	350			270		ACBR (2006)
Taxa de ingestão de água (L/dia)	2			1		ACBR (2006)
Taxa de ingestão de solo (mg/dia)	100	200		50	100	ACBR (2006)
Área Superficial de pele exposta (cm ²)	3.180		1.400	2.000	2.000	ACBR (2006)
Fator de aderência do solo na pele (adimensional)	0,5					ASTM (2001)
Tempo de exposição para natação (horas/evento)	3					ASTM 104-98
Frequência de eventos de natação (eventos/ano)	365	365	365			ACBR (2006)
Ingestão de Água durante evento de natação (L/hora)	0,05	0,05				ACBR (2001)
Área Superficial de pele exposta durante evento de natação (cm ²)	16.600		9.500			ACBR (2006)
Taxa de consumo de peixe (Kg/ano)	0,025					EPA (1991)
Fração de peixe contaminado (adimensional)	1					EPA (1991)

Abreviações: ACBR – Ações Corretivas Baseadas em Risco.

Parâmetros Específicos Utilizados no Modelamento

5.3.1.4.1. Parâmetros Específicos de Solo

Os parâmetros físicos do solo foram obtidos através do ensaio geotécnico da amostra indeformada coletada da zona não saturada (Zona Vadosa), para verificação dos seguintes parâmetros: massa específica real, massa específica aparente úmida, massa específica aparente seca, teor de umidade, matéria orgânica, porosidade total e efetiva.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos parâmetros geotécnicos utilizados. A umidade na franja capilar e a taxa de infiltração de água no solo foram calculadas de acordo com a ACBR (2001) (Tabela 7). Os demais dados utilizados do default do programa para o solo predominante da área (solo argilo arenoso) encontram-se na Tabela 8.

Tabela 6: Parâmetros Físicos do Solo Obtidos no Ensaio Geotécnico.

Parâmetros	Unidades	Resultados
Massa Específica Real	g/cm ³	2,58
Massa Específica Aparente Úmida	g/cm ³	1,74
Massa Específica Aparente Seca	g/cm ³	1,96
Umidade na Zona Não Saturada	%	11,30
Matéria Orgânica	%	0,6481
Porosidade Total	%	32,60
Porosidade Efetiva	%	9,90

Tabela 7: Parâmetros Específicos de Solo Utilizados. Fonte: ACBR (2001).

Parâmetros	Unidades	Valores
Umidade na Franja Capilar	%	29,34
Taxa de Infiltração de Água no Solo	mm/ano	661,0

Tabela 8: Parâmetros Físicos do Solo Default do Programa para o Solo Predominante.

Parâmetros	Unidades	Valores
Condutividade Hidráulica Vertical	cm/s	1,5E-6
Permeabilidade de Vapor	m ²	1,0E-15
Espessura da Zona Capilar	M	2,1E-1
pH solo	-	6,8

5.1.1.4.2. Parâmetros Específicos das Águas Subterrâneas

A Tabela 9 mostra os parâmetros específicos das águas subterrâneas obtidos em campo e fornecidos ao programa. A Tabela 10 ilustra os parâmetros default utilizados para as águas subterrâneas.

Tabela 9: Parâmetros Específicos da Água Subterrânea Obtidos em Campo.

Parâmetros	Unidades	Valores
Nível d'água Médio	m	1,92
Coefficiente de Permeabilidade (K)	cm/s	1,45 x 10 ⁻⁵
Gradiente Hidráulico (i)	-	0,01852

Tabela 10: Parâmetros Específicos das Águas Subterrâneas do Default do Programa.

Parâmetros	Unidades	Valores
Fração de Carbono Orgânico na Zona Saturada	-	0,001
pH nas Águas Subterrâneas	-	6,20
Espessura de Fase Dissolvida nas Águas Subterrâneas	m	2,0

Parâmetros Específicos de Ar

- Ambiente Aberto

Utilizam-se os parâmetros sugeridos pela ACBR (2001) para ambientes abertos. Estes parâmetros podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros Específicos de Ar para Ambientes Abertos.

Parâmetros	Unidades	Valores
Altura da Zona de Mistura do Ar em Ambiente Aberto	cm	200,0
Velocidade do Ar da Zona de Respiração	cm/s	225,0
Taxa da Emissão de Partículas	g/cm ² -s	6,90E-14

Fonte: ACBR (2001)

- Ambiente Fechado

Os parâmetros específicos de ar para ambientes fechados descritos na Tabela 12 foram obtidos na ACBR (2001). Os demais parâmetros foram utilizados do *default* do programa (Tabela 13).

Tabela 12: Parâmetros Específicos de Ar para Ambientes Fechados. Fonte: ACBR (2001).

Parâmetros	Unidades	Valores
Razão da Troca de Ar em Espaços Fechados	dia ⁻¹	12,0
Espessura da Fundação	Cm	15,0
Fração da Área de Fraturas/Fendas na Fundação	cm ²	0,01
Diferencial de pressão em ambiente fechado/ambiente aberto	g/cm ² -s	0

Tabela 13: Parâmetros Específicos de Ar do *default* do Programa.

Parâmetros	Unidades	Valores
Volume da Construção/Área de Raio	m	3,0
Área da Fundação	m ²	70,0
Perímetro da Fundação	m	34,0
Profundidade até a Base da Fundação	cm	0,15
Conteúdo Volumétrico de Ar nas Fundações/Paredes	-	0,4366
Conteúdo Volumétrico de Água nas Fundações/Paredes	-	0,1457

Concentração dos Contaminantes nos Solos e Águas Subterrâneas

As concentrações dos contaminantes nos solos e águas subterrâneas são os principais fatores considerados neste modelamento, sendo utilizadas as maiores concentrações de cada parâmetro detectado no laboratório. Os compostos não quantificados nas análises químicas também foram incluídos como compostos de interesse, em concentrações correspondentes ao limite de quantificação mínimo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Modelo Conceitual

De acordo com levantamento realizado, a área foi classificada como área com potencial de contaminação (AP), tendo em vista a atividade anteriormente desenvolvida.

As possíveis fontes de contaminação são as tubulações subterrâneas, que interligavam a bomba de abastecimento ao tanque de armazenamento de combustível, cujo mecanismo de liberação do produto para o meio seria por vazamento.

Uma vez identificado um vazamento, a via de transporte dos contaminantes pode ser infiltração no solo e posterior transporte pela água subterrânea. Os receptores e bens a proteger diretamente impactados na área são a Baía de Guanabara, solo, água subterrânea e trabalhadores locais.

Com base no levantamento realizado, foi possível elaborar o Modelo Conceitual abaixo, ilustrado na Tabela 14, que irá orientar quanto aos próximos passos.

Tabela 14: Modelo Conceitual da área investigada.

Fontes	Classificação (AP ou AC)	Substâncias ou produtos	Mecanismos de liberação	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores/bens a proteger
Antiga área de abastecimento	AP	óleo diesel	vazamentos/derramamentos	infiltração no solo/ transporte pela água subterrânea	trabalhadores; solo; água subterrânea, corpos hídricos;

Como não foi observada contaminação aparente, foram necessárias ações de investigação complementares, a fim de identificar a presença ou não de passivo, ou seja, uma Investigação Confirmatória.

INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis

Foram realizadas 45 perfurações (P-01 a P-45), acompanhadas de leituras de VOC, como método de resposta rápida. Os pontos foram escolhidos de acordo com a Avaliação Preliminar que permitiu identificar a área com potencial de contaminação. As concentrações obtidas ao longo da campanha de VOC encontram-se na Tabela 15.

A campanha de VOC obteve valores entre 0 ppm e 740 ppm.

Tabela 15: Resultado da Campanha de VOC (ppm).

Perfuração	VOC (ppm) 1,0m	Perfuração	VOC (ppm) 1,0 m
P-01	20	P-24	0
P-02	250	P-25	130
P-03	570	P-26	0
P-04	620	P-27	100
P-05	740	P-28	0
P-06	210	P-29	10
P-07	140	P-30	0
P-08	0	P-31	0
P-09	0	P-32	0
P-10	100	P-33	0
P-11	0	P-34	70
P-12	220	P-35	0
P-13	360	P-36	0
P-14	0	P-37	10
P-15	0	P-38	0
P-16	0	P-39	0
P-17	270	P-40	0
P-18	0	P-41	0
P-19	280	P-42	90
P-20	250	P-43	390
P-21	130	P-44	0
P-22	90	P-41	0
P-23	0		

A Figura 23 ilustra o mapa de isoconcentrações de Compostos Orgânicos Voláteis, confeccionado utilizando os valores de VOC medidos na área investigada.

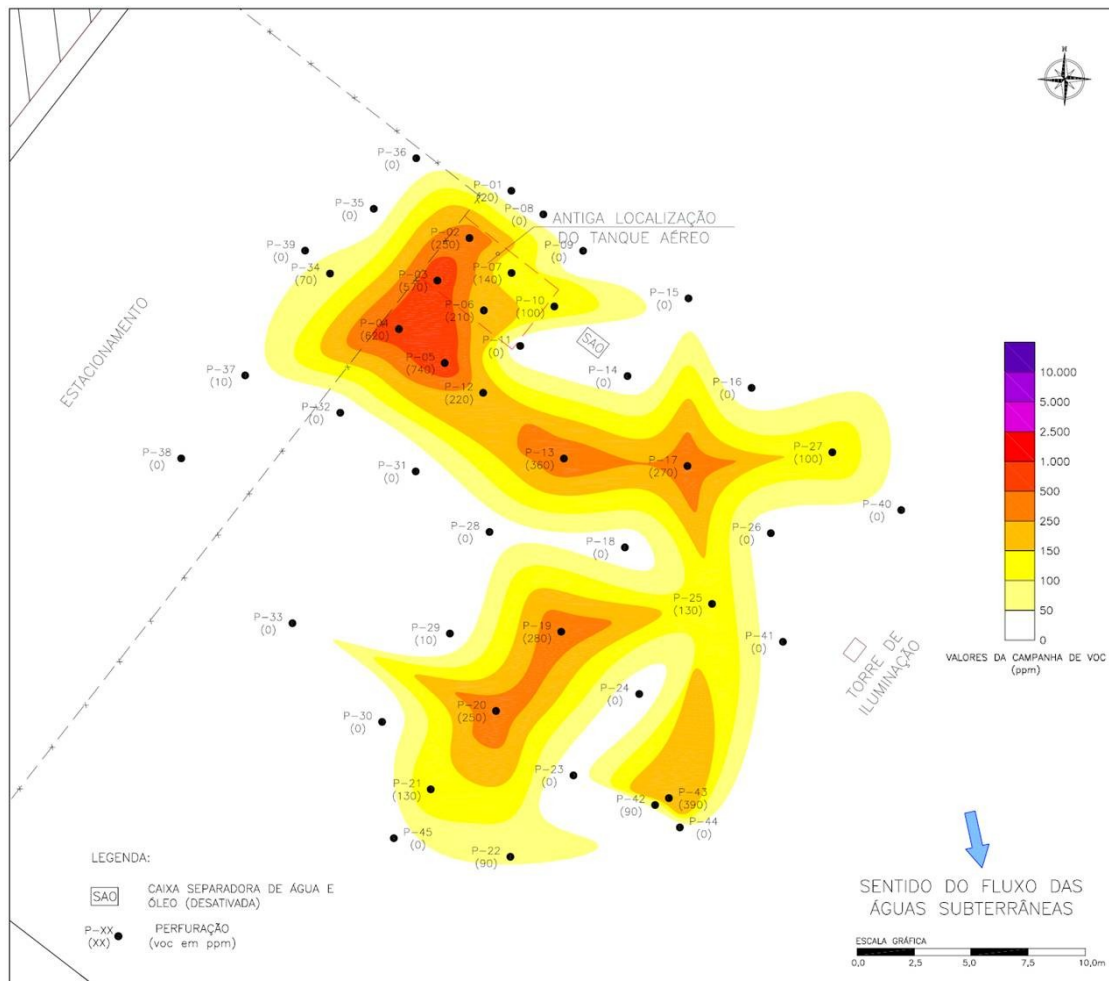


Figura 23: Mapa de isoconcentrações de VOC.

Com base neste resultado, verificou-se que na área da antiga tancagem há a maior concentração de compostos voláteis no solo, a 1,0 m de profundidade. Esta etapa serviu de orientação para locar as sondagens e poços a serem instalados.

Execução de Sondagens

Foram realizadas 06 sondagens (S-01 a S-06) com profundidade máxima de 5,60 m, e um total de 37,5 m perfurados. A sondagem S-01 foi realizada próxima a antiga caixa SAO. A sondagem S-02 foi realizada no ponto que apresentou a maior concentração de VOC. A sondagem S-03 foi realizada no estacionamento, à montante da antiga área de abastecimento. As sondagens S-04, S-05 e S-06 foram realizadas em pontos com altas

concentrações de VOC seguindo a direção do fluxo das águas subterrâneas. A localização dessas sondagens é ilustrada na Figura 24.

As sondagens executadas apresentaram concentrações de VOC que variaram de 0 a 800 ppm, sendo a máxima concentração detectada na sondagem S-02, a 1,5 m de profundidade e próxima a antiga localização do tanque aéreo.

As sondagens executadas permitiram classificar o subsolo local, até a profundidade de 5,60 m, como um solo predominantemente arenoso com traços de argila, de granulação fina à grossa, de cor variando entre marrom avermelhado e cinza. Os perfis descritivos do material analisado ao longo das sondagens e as leituras de VOC a cada 0,5 m encontram-se representados na Figura 25.

Instalação dos Poços de Monitoramento

Foram instalados 06 poços de monitoramento (PM-01 a PM-06), nas sondagens S-01 a S-06, respectivamente. Estes poços foram construídos com profundidade média de 4,0 m. O lençol freático foi atingido em uma profundidade média de 3,15 m.

Não foi constatada a existência de hidrocarbonetos em fase livre nos poços de monitoramento instalados.

A localização dos poços de monitoramento instalados encontra-se na Figura 24 e seus respectivos perfis construtivos estão representados na Figura 25. A Figura 26 apresenta uma seção geológica esquemática para a área investigada, para fins ilustrativos, elaborada com base nas descrições dos perfis de sondagens.

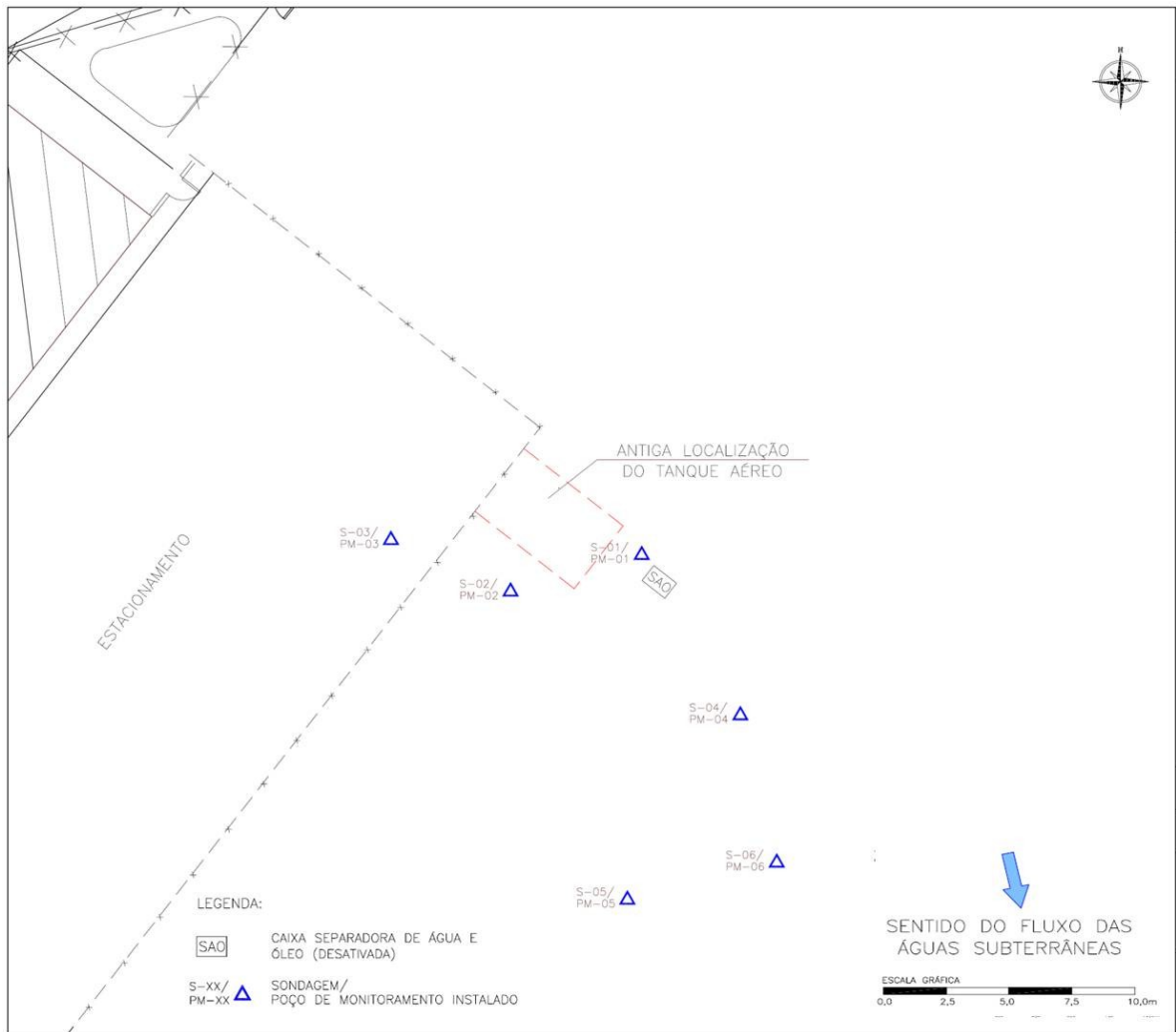


Figura 24: Localização das Sondagens e Poços de Monitoramento.

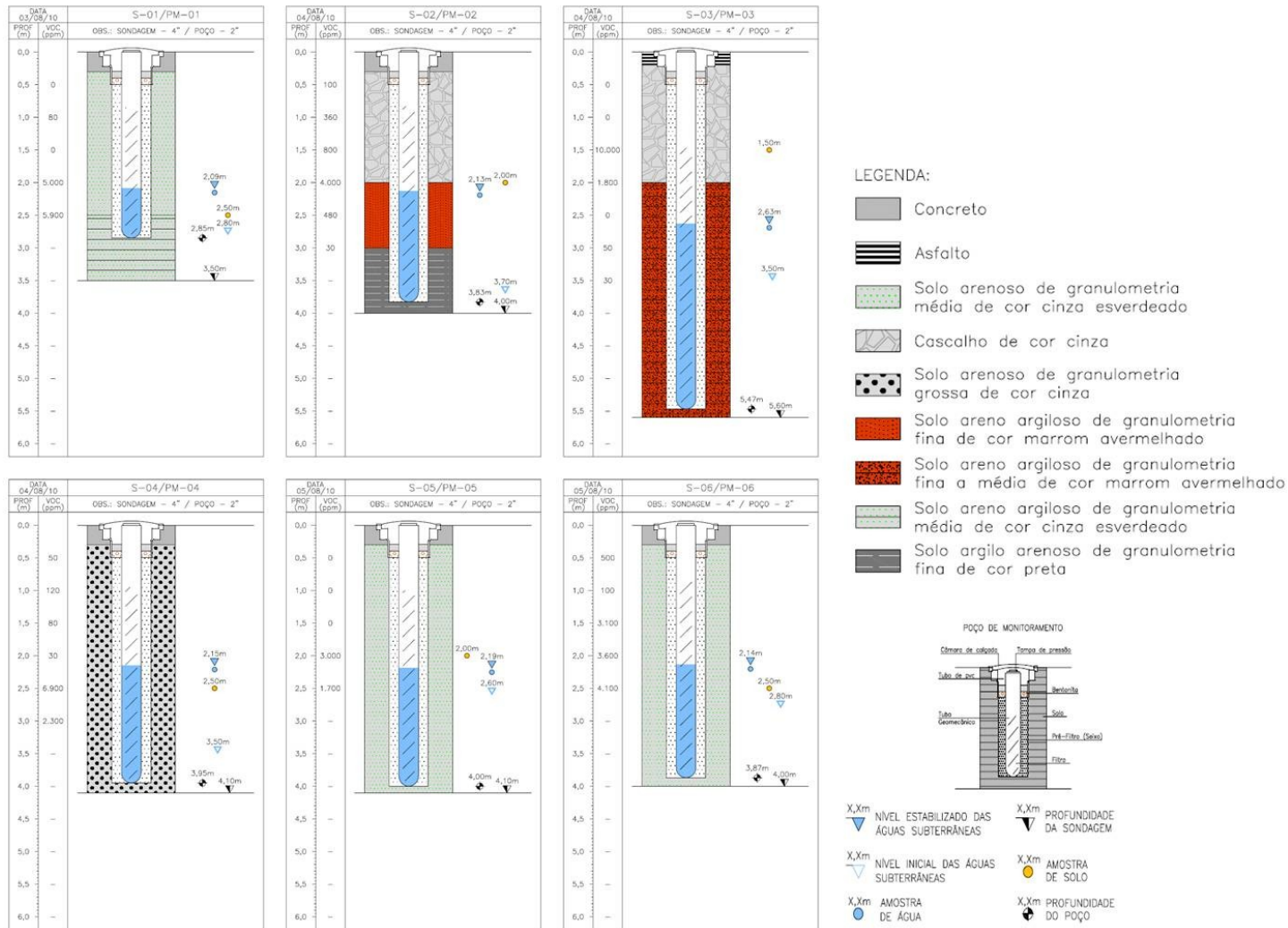


Figura 25: Perfil descritivo das sondagens realizadas e perfil construtivo dos poços instalados.

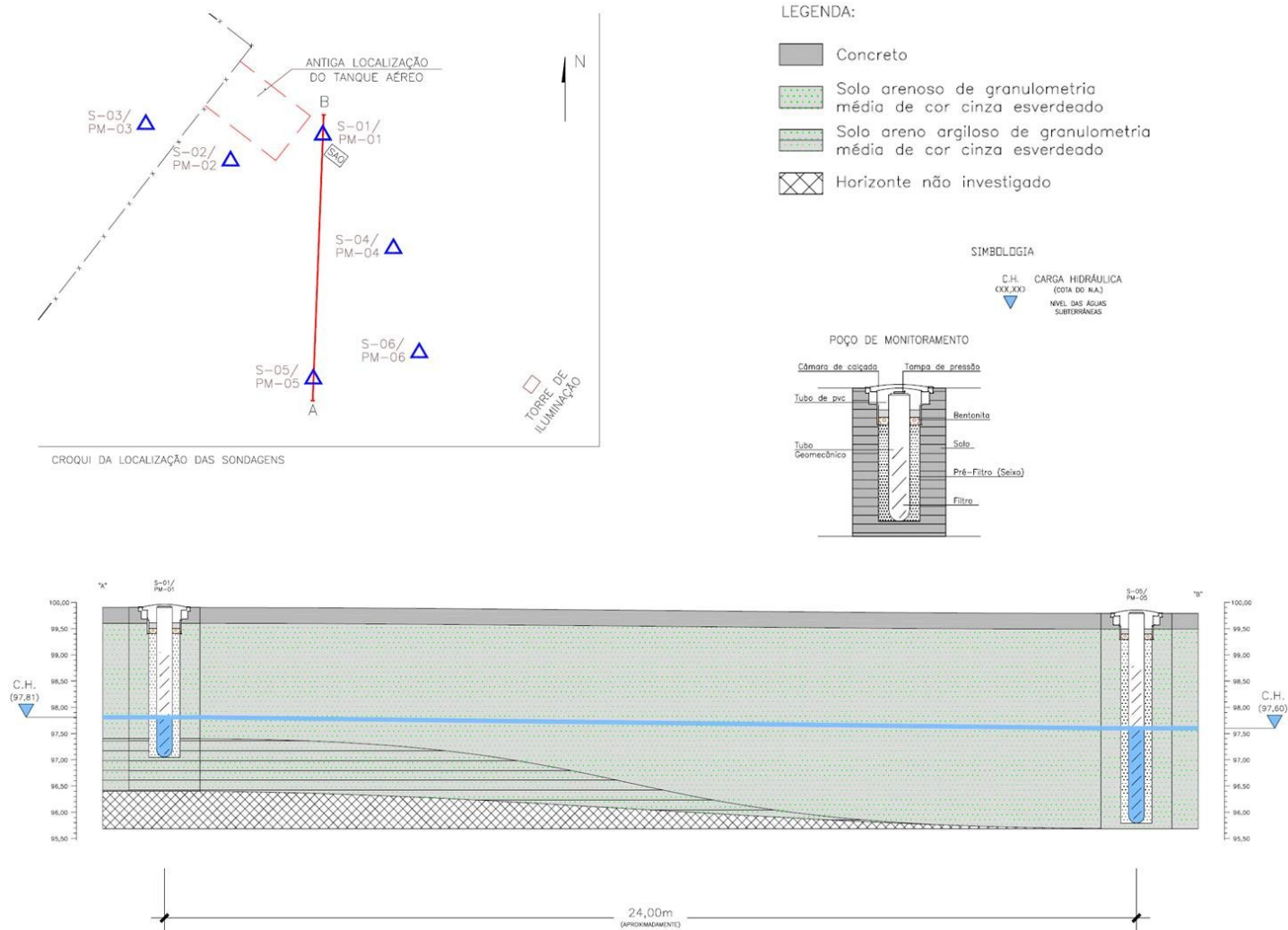


Figura 26: Seção geológica.

5.1.1. Caracterização Hidrogeotécnica

Levantamento Planialtimétrico

Com base em dados de campo, pode-se afirmar que até a profundidade investigada (4,50 m) há um único aquífero, de caráter livre. O nível médio do lençol freático local é de 2,21 m. Na Tabela 16 encontram-se as medições do nível d'água e a cota da superfície dos poços de monitoramento (PM).

Tabela 16: Levantamento Planialtimétrico entre os Poços de Monitoramento Instalados.

Local	Cota corrigida (m)	Prof. do NA (m)	Carga Hidráulica (m) ($H=Cc-NA$)
PM-01	99,16	2,09	99,07
PM-02	99,15	2,13	97,02
PM-03	100,00	2,63	97,37
PM-04	99,06	2,15	96,91
PM-05	99,05	2,19	96,86
PM-06	99,12	2,14	96,98

Abreviações: Cc – cota corrigida; NA - nível d'água; H – Carga Hidráulica; m – metros.

A Figura 27 apresenta o mapa potenciométrico, confeccionado a partir da interpolação dos dados de carga hidráulica, onde foram traçadas curvas equipotenciais e, perpendicular às mesmas, o sentido do fluxo de água subterrânea.

O fluxo das águas subterrâneas na área do empreendimento desloca-se com sentido de Noroeste para Sudeste.

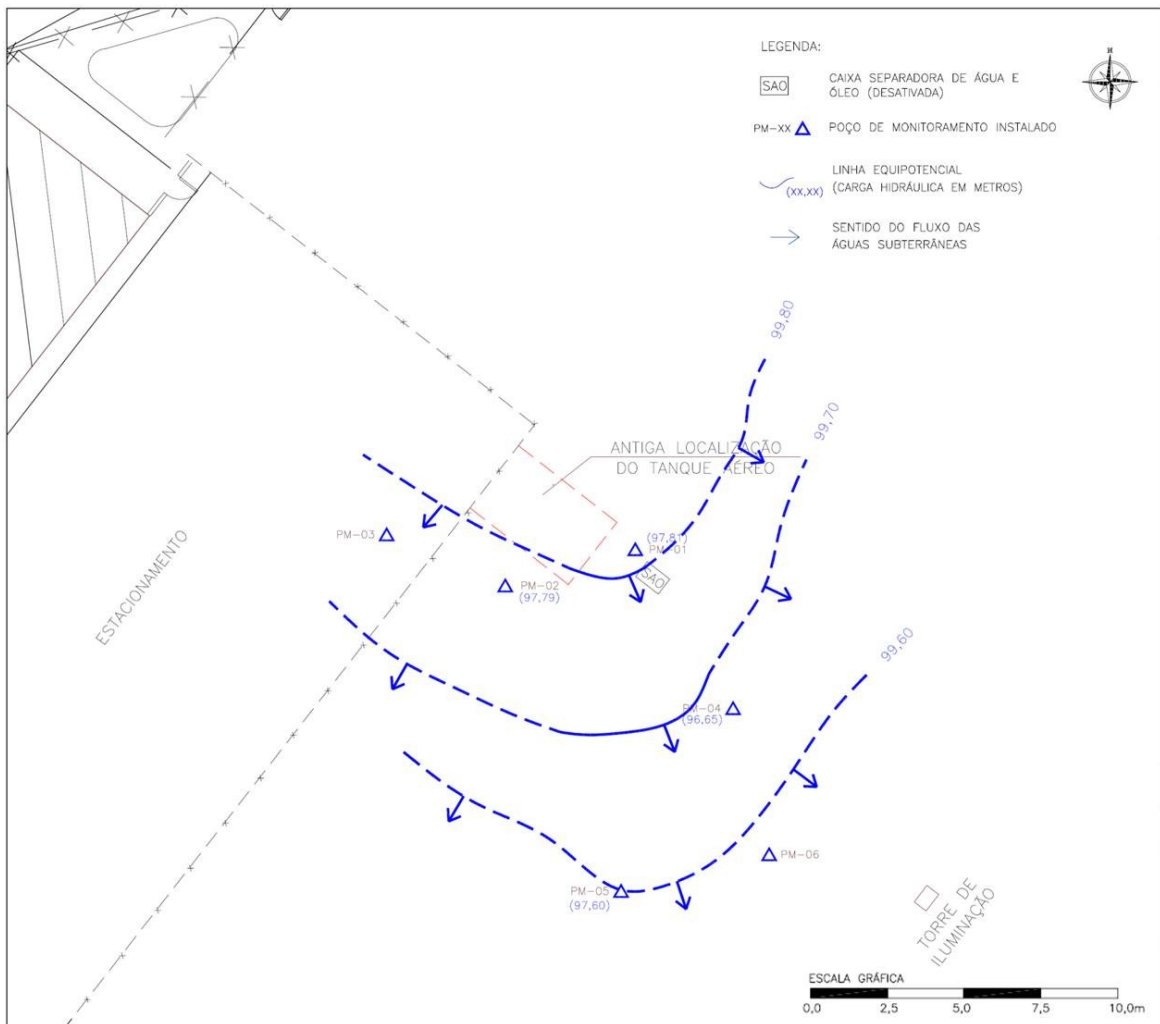


Figura 27: Mapa Potenciométrico.

Resultados Analíticos das Amostras de Solo

As amostras de solo das sondagens e suas respectivas profundidades de coletas, S-01 (2,5 m), S-02 (2,0 m), S-03 (1,5 m), S-04 (2,5 m), S-05 (2,0 m) e S-06 (2,5 m), foram encaminhadas para análises químicas de BTEX e PAH.

Segundo os resultados analíticos de BTEX e PAH, todas as amostras analisadas apresentaram concentrações inferiores ao limite de detecção do método/aparelho e/ou abaixo dos valores orientadores (CONAMA 420/2009).

Os resultados analíticos das amostras de solo são apresentados na Tabela 17.

Resultados Analíticos das Amostras de Água

As amostras de água dos poços de monitoramento PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-05 e PM-06 foram encaminhadas para análises químicas de BTEX e PAH.

Segundo os resultados analíticos de BTEX, as amostras dos poços PM-02, PM-03, PM-04, PM-05 e PM-06 apresentaram concentrações de benzeno acima dos valores orientadores (CONAMA 420/2009).

Nas análises de PAH, foram obtidas concentrações superiores aos valores orientadores (CONAMA 420/2009) para os compostos benzo(a)antraceno no poço PM-01 e naftaleno no poço PM-04. As demais amostras apresentaram concentrações inferiores ao limite de detecção do método/aparelho e/ou abaixo dos valores orientadores.

Os resultados analíticos das amostras de água são apresentados na Tabela 18. As Figuras 28 a 30 ilustram as plumas de fase dissolvida para os compostos benzeno, benzo(a)antraceno e naftaleno.

Tabela 17: Resultados Analíticos das Amostras de Solo.

Compostos	Amostras						Limite de Detecção do Laboratório	CONAMA 420/2009		
	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06		Valores Orientadores		
	2,5 m	2,0 m	1,5 m	2,5 m	2,0 m	2,5 m		Agrícola	Residencial	Industrial
BTEX (mg/kg)										
Benzeno	nd	0,038	0,004	nd	nd	nd	0,0001	0,06	0,08	0,15
Tolueno	nd	0,002	0,003	nd	nq	nd	0,0001	30,00	30,00	75,00
Etilbenzeno	nd	0,290	0,055	0,109	nq	nd	0,0001	35,00	40,00	95,00
Xilenos	0,002	0,018	0,008	0,011	nq	nd	0,0001	25,00	30,00	70,00
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) (mg/Kg)										
Naftaleno	4,26	18,75	1,31	8,38	0,02	nq	0,005	30,00	60,00	90,00
Acenaftileno	nd	nd	nd	nd	nq	nd	0,005	-	-	-
Acenafteno	nq	0,03	0,08	nq	nd	nd	0,005	-	-	-
Fluoreno	nd	0,03	0,07	0,15	nd	nd	0,005	-	-	-
Fenantreno	0,38	0,12	0,52	0,46	nd	nd	0,005	15,00	40,00	95,00
Antraceno	nq	0,02	0,12	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
Fluoranteno	0,25	0,11	0,71	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
Pireno	0,26	0,12	0,63	nq	nd	nd	0,005	-	-	-
Benzo(a)antraceno	0,14	0,06	0,40	nd	nd	nd	0,005	9,00	20,00	65,00
Criseno	0,16	0,07	0,40	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
Benzo(b)fluoranteno	0,12	0,07	0,42	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
Benzo(k)fluoranteno	nq	0,02	0,17	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
Benzo(a)pireno	0,10	0,05	0,32	nd	nd	nd	0,005	0,40	1,50	3,50
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	0,02	0,11	nd	nd	nd	0,005	2,00	25,00	130,00
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nq	0,03	nd	nd	nd	0,005	0,15	0,60	1,30
Benzo(ghi)perileno	nd	0,01	0,09	nd	nd	nd	0,005	-	-	-
PAH Total	5,67	19,48	5,38	8,99	0,02	-	-	-	-	-

Simbologia: (-) sem referência. **Abreviação:** nd – não detectado; nq – não quantificado.

Tabela 18: Resultados Analíticos das Amostras das Águas Subterrâneas.

Compostos	Amostras						Limite de Detecção do Laboratório	CONAMA 420/2009
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06		Valores Orientadores
BTEX - µg/L								
Benzeno	nd	107,3	345,4	33,5	85,4	8,1	0,1	5,00
Tolueno	nd	2,7	67,1	4,3	5,5	6,1	0,1	700,00
Etilbenzeno	nd	74,7	153,5	45,6	202,4	6,4	0,1	300,00
Xilenos	12,7	7,3	405,9	70,5	14,2	7,0	0,1	500,00
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) - µg/L								
Naftaleno	136,20	37,94	30,05	241,50	112,40	4,14	0,01	140,00
Acenaftileno	nq	0,04	nd	nd	nd	nd	0,01	-
Acenafteno	1,8	0,82	0,52	nq	nq	0,88	0,01	-
Fluoreno	1,55	0,26	0,24	2,05	2,60	1,65	0,01	-
Fenantreno	6,5	0,77	0,08	4,50	3,75	0,47	0,01	140,00
Antraceno	1,75	0,28	0,28	nd	nd	0,07	0,01	-
Fluoranteno		1,04	0,32	nq	nq	0,12	0,01	-
Pireno	5,65	1,08	0,19	nq	nd	0,16	0,01	-
Benzo(a)antraceno	2,10	0,19	nq	nd	nd	nd	0,01	1,75
Criseno	2,20	0,19	nq	nd	nd	nq	0,01	-
Benzo(b)fluoranteno	nq	0,09	nd	nd	nd	nd	0,01	-
Benzo(k)fluoranteno	nq	0,08	nd	nq	nd	nd	0,01	-
Benzo(a)pireno	nq	0,11	nd	nd	nd	nd	0,01	0,70
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nq	nd	nq	nd	nd	0,01	0,17
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	0,18
Benzo(ghi)perileno	nq	nq	nd	nd	nd	nd	0,01	-
PAH Total	161,15	42,90	31,68	248,05	118,75	7,49	-	-

Simbologia: (-) sem referência. **Abreviação:** nd – não detectado; nq – não quantificado. **Valores nos Níveis Orientadores.**

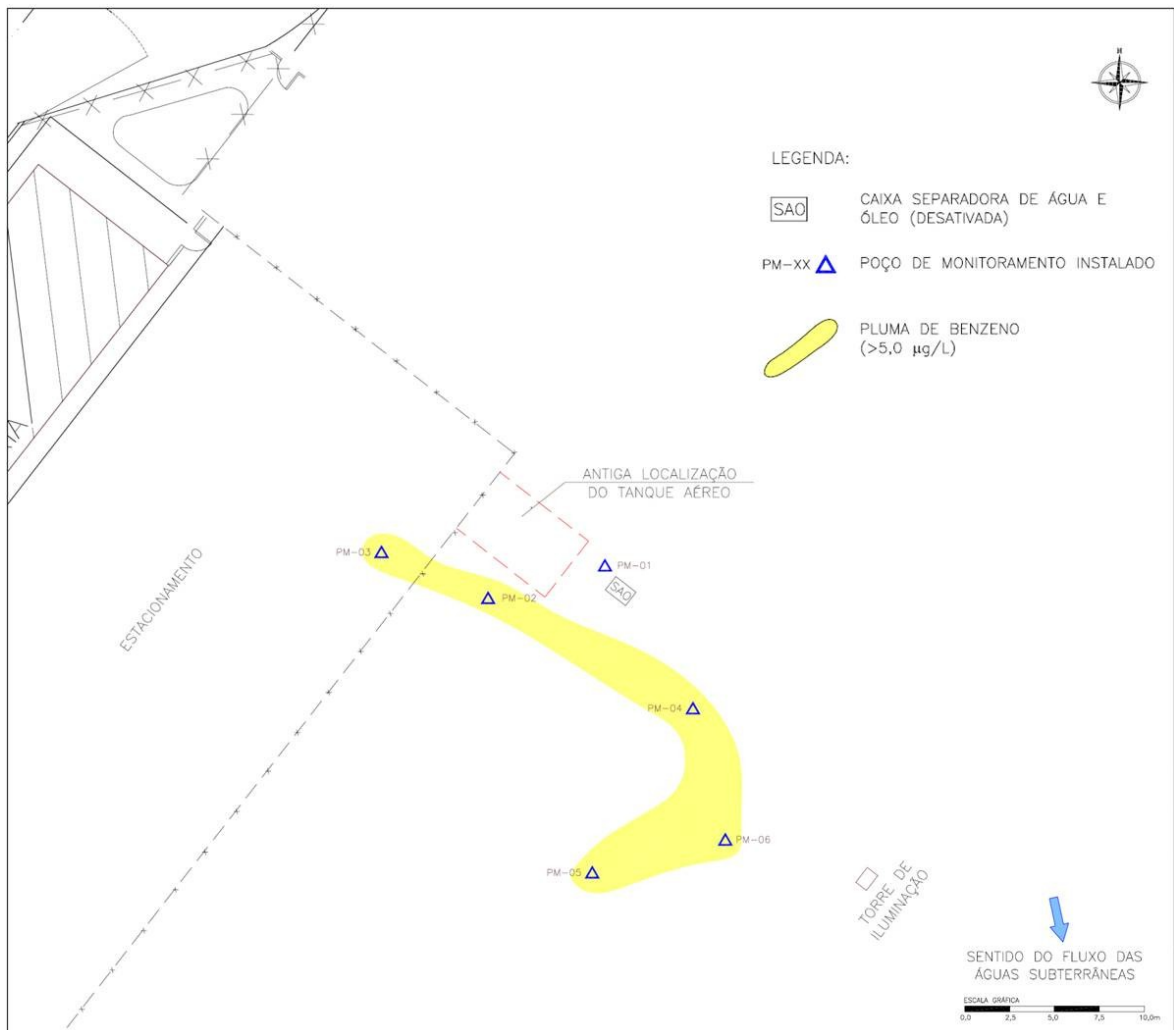


Figura 28: Pluma de Hidrocarbonetos em Fase Dissolvida – Benzeno.

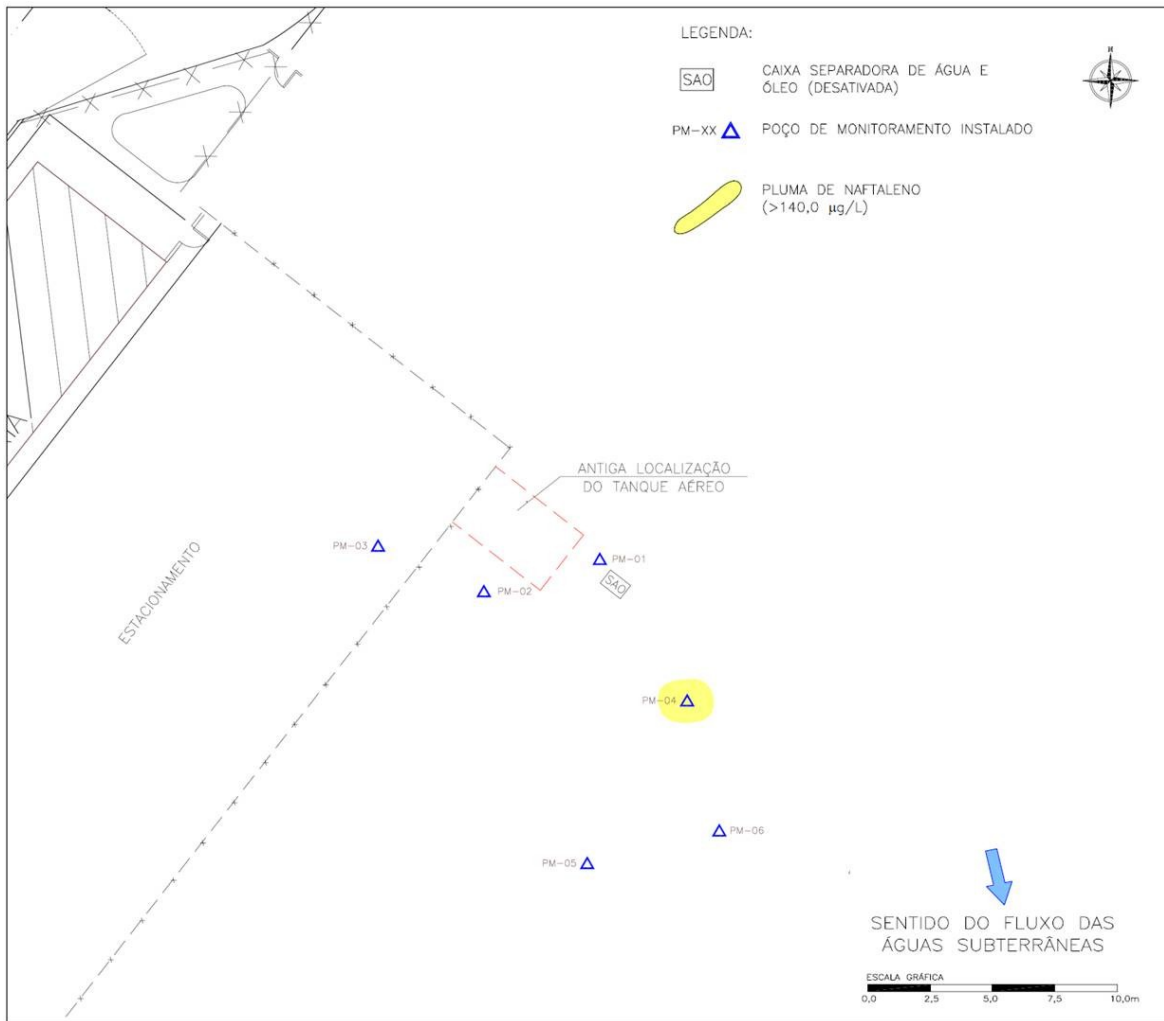


Figura 29: Pluma de Hidrocarbonetos em Fase Dissolvida – Naftaleno.

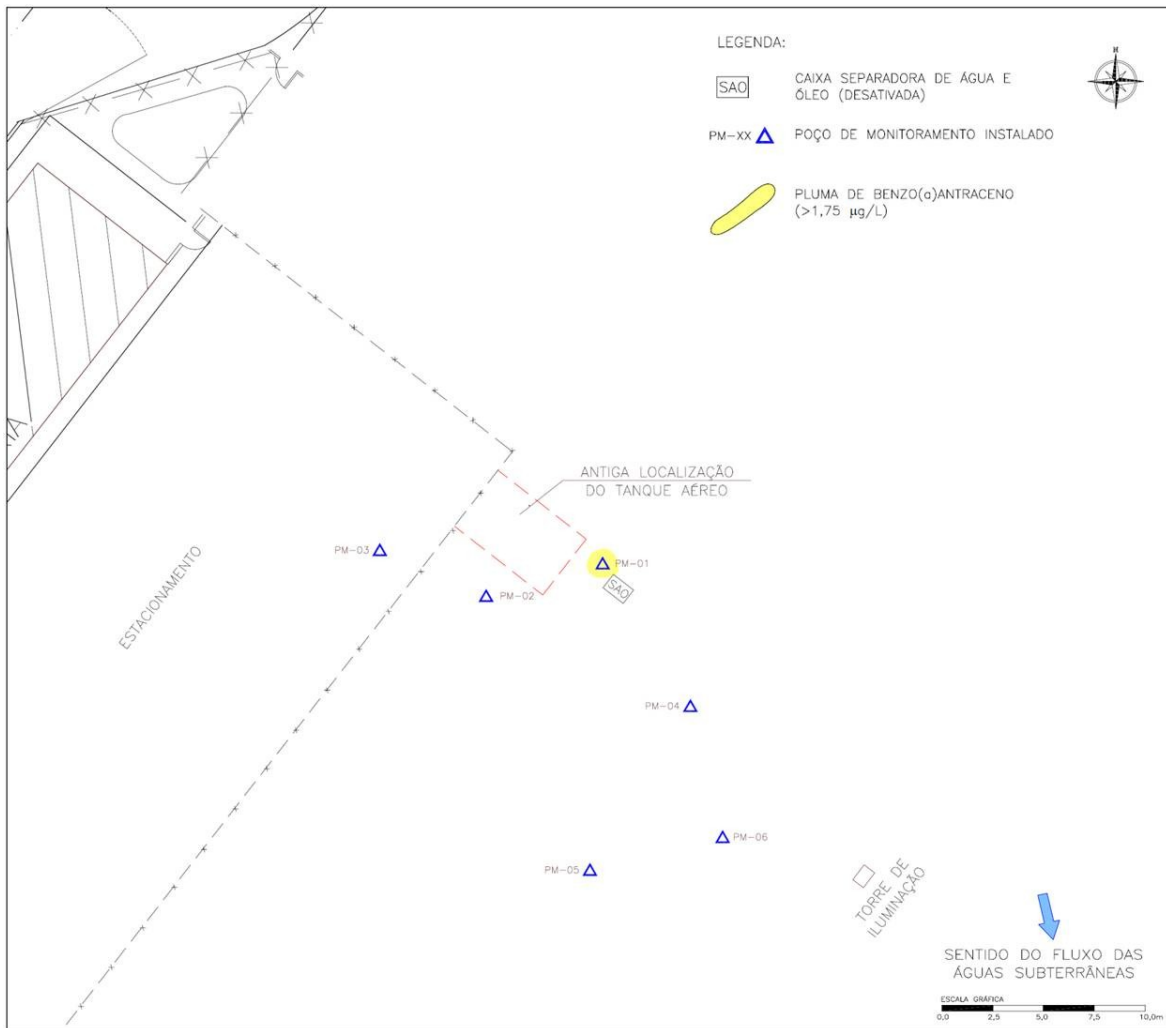


Figura 30: Pluma de Hidrocarbonetos em Fase Dissolvida – Benzo(a)antraceno.

Em virtude do cenário ambiental constatado na área, onde foram identificadas concentrações de hidrocarbonetos derivados de petróleo na água subterrânea acima dos valores orientadores da lista CONAMA 420/2009, são necessários serviços de investigação complementares, para delimitação das plumas identificadas e para avaliação dos riscos para os receptores locais.

INVESTIGAÇÃO DETALHADA**Execução de Sondagens Adicionais**

Foram realizadas 06 sondagens (S-01 a S-06) com profundidade máxima de 5,20 m, e um total de 27,40 m perfurados. As sondagens foram dispostas de forma a delimitar a pluma de fase dissolvida existente. A localização dessas sondagens é ilustrada na Figura 31.

As sondagens executadas apresentaram concentrações de VOC que variaram de 0 a 420 ppm, sendo a máxima concentração detectada na sondagem S-01, a 1,50 m de profundidade, localizada no estacionamento.

As sondagens executadas permitiram classificar o subsolo local, até a profundidade de 5,20 m, como um solo predominantemente arenoso, de granulação fina à grossa, com traços de argila, de cor variando entre marrom avermelhado e cinza. Os perfis descritivos do material analisado ao longo das sondagens e as leituras de VOC a cada 0,5 m encontram-se representados na Figura 32.

Instalação dos Poços de Monitoramento

Foram instalados 06 poços de monitoramento (PM-07 a PM-12) nas sondagens S-01 a S-06, respectivamente. Estes poços foram construídos com profundidade média de 3,90 m. O lençol freático foi atingido em uma profundidade média de 3,68 m.

Não foi constatada a existência de hidrocarbonetos em fase livre nos poços de monitoramento instalados.

A localização dos poços de monitoramento instalados encontra-se na Figura 31 e seus respectivos perfis construtivos estão representados na Figura 32.

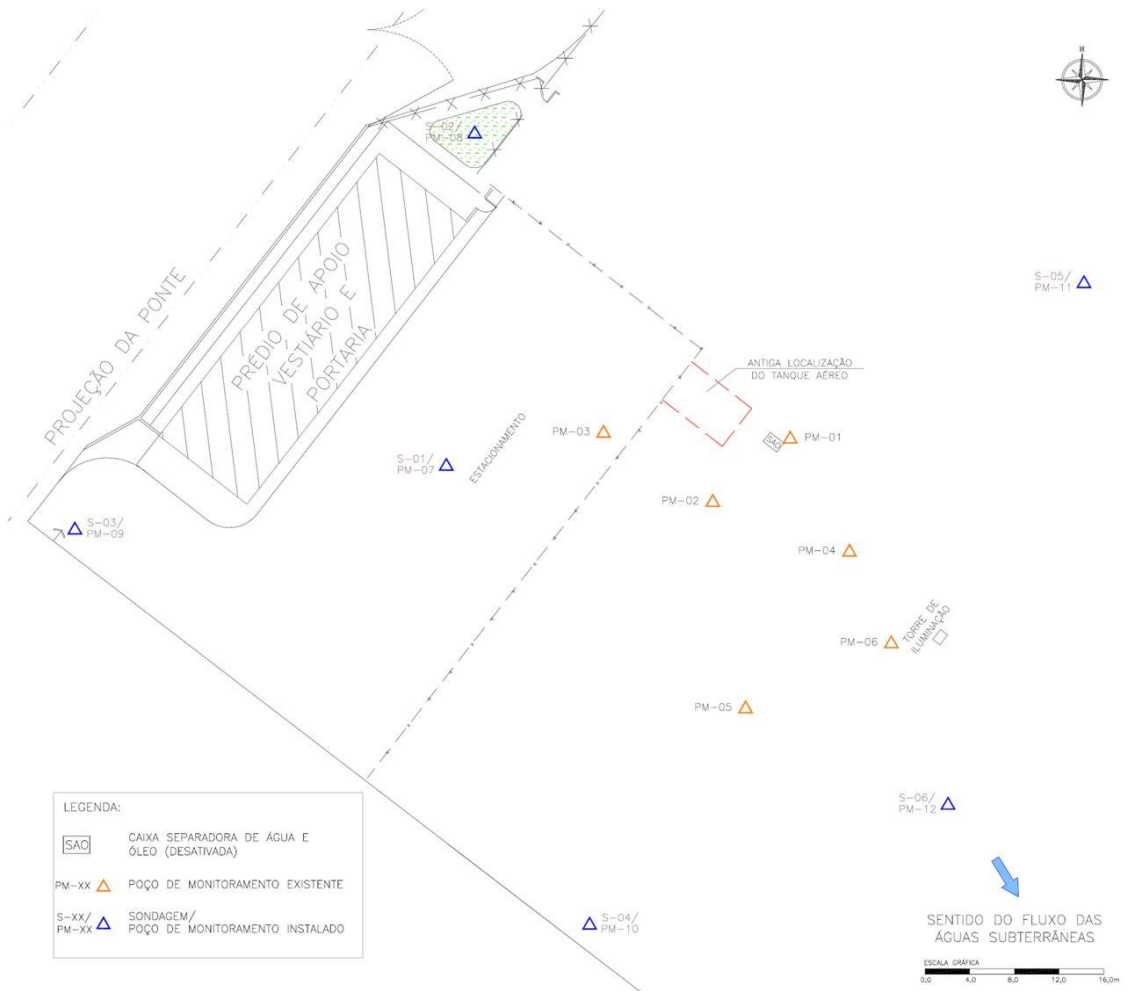


Figura 31: Localização das Sondagens e Poços de Monitoramento.

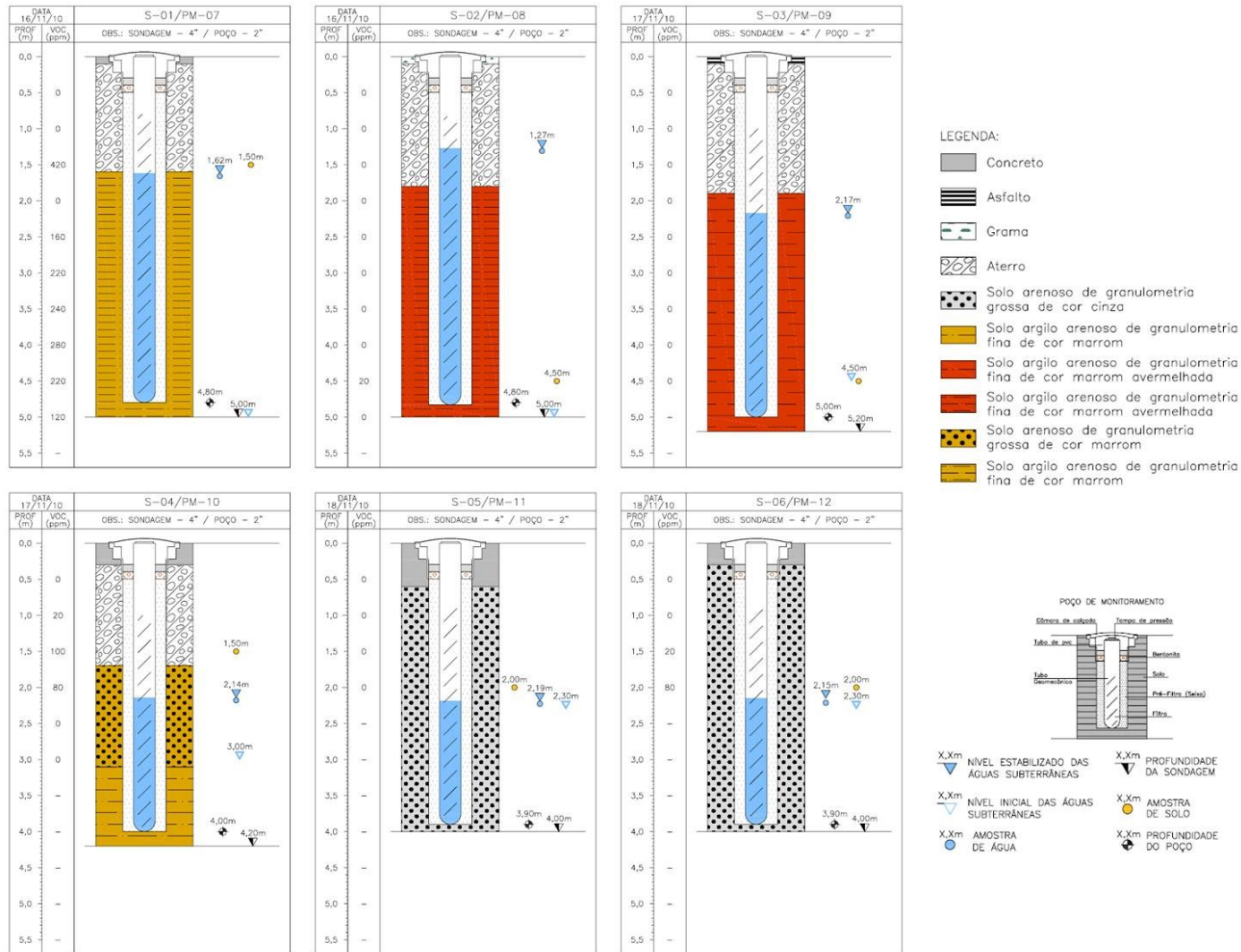


Figura 32: Perfil descritivo das sondagens realizadas e perfil construtivo dos poços instalados.

5.1.2. Caracterização Hidrogeotécnica

Levantamento Planialtimétrico

Com base em dados de campo, pode-se afirmar que até a profundidade investigada (5,20 m) há um único aquífero, de caráter livre. O nível médio do lençol freático local é de 1,92 m. Na Tabela 19 encontram-se as medições do nível d'água e a cota da superfície dos poços de monitoramento (PM).

Tabela 19: Levantamento Planialtimétrico entre os Poços de Monitoramento Instalados.

Local	Cota corrigida (m)	Prof. do NA (m)	Carga Hidráulica (m) ($H=Cc-NA$)
PM-07	99,86	1,62	98,24
PM-08	100,00	1,27	98,73
PM-09	99,95	2,17	97,78
PM-10	99,62	2,14	97,48
PM-11	99,70	2,19	97,51
PM-12	99,66	2,15	97,51

Abreviações: Cc – cota corrigida; NA - nível d'água; H – Carga Hidráulica; m – metros.

A Figura 33 apresenta o mapa potenciométrico, confeccionado a partir da interpolação dos dados de carga hidráulica, onde foram traçadas curvas eqüipotenciais e, perpendicular às mesmas, o sentido do fluxo de água subterrânea.

O fluxo das águas subterrâneas na área do empreendimento, confirmando o nivelamento anterior, desloca-se com sentido de Noroeste para Sudeste.

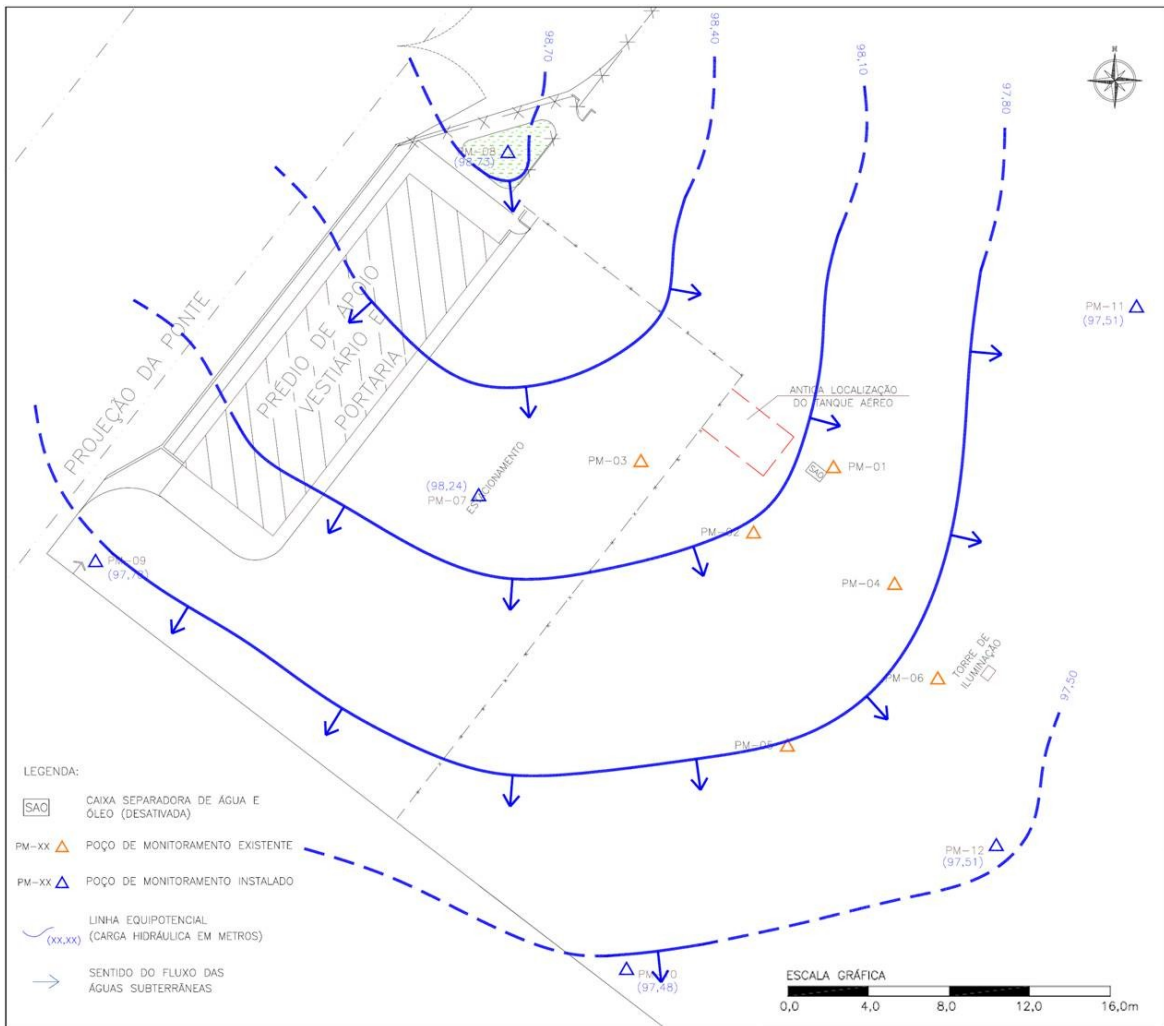


Figura 33: Mapa Potenciometrico.

Ensaio de Permeabilidade

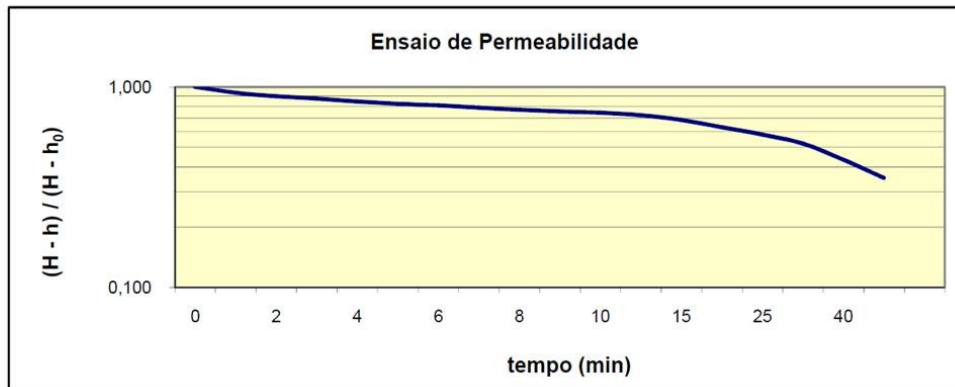
O tempo (T_0) decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial foi de 47,90 minutos e condutividade hidráulica calculada foi igual a $1,45 \times 10^{-5}$ cm/s, conforme dados da Figura 34.

Estes resultados são compatíveis com a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade ($k = 10^{-6}$ a 10^{-4} cm/s) apresentado por Mello & Teixeira 1967 (in ABGE 1996) para terrenos predominantemente areno-argilosos. A porosidade efetiva (η_e) para o material em questão, obtida a partir da coleta de amostra indeformada utilizada para Avaliação de Risco, é de 9,90%.

Ensaio de Permeabilidade		PM-08	Nível Estático (H) : Nível Dinâmico (Ho):	
H (m) = 1,80		H ₀ (m) = 4,75		
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	4,75	-2,95	1,000
1	60	4,56	-2,76	0,936
2	120	4,45	-2,65	0,898
3	180	4,38	-2,58	0,875
4	240	4,30	-2,50	0,847
5	300	4,23	-2,43	0,824
6	360	4,19	-2,39	0,810
7	420	4,13	-2,33	0,790
8	480	4,07	-2,27	0,769
9	540	4,03	-2,23	0,756
10	600	4,00	-2,20	0,746
12	720	3,93	-2,13	0,722
15	900	3,82	-2,02	0,685
20	1200	3,66	-1,86	0,631
25	1500	3,51	-1,71	0,580
30	1800	3,34	-1,54	0,522
40	2400	3,08	-1,28	0,434
50	3000	2,84	-1,04	0,353

Dados do Poço de Monitoramento

Raio Poço	r	2,540	cm
Raio da Sond	R	5,080	cm
Compr. filtro	L	320,000	cm



Cálculo do Coeficiente de Condutividade Hidráulica

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

Resultados :

K =	1,45E-05	cm/s
K =	1,26E-02	m/dia
T ₀ =	47,90	minutos

Onde:

- K - condutividade hidráulica
- r - raio do revestimento do poço
- R - raio da sondagem
- L - comprimento do filtro
- T₀ - tempo decorrido até que o nível d'água atinja 37% da profundidade inicial (H)

Figura 34: Cálculos do Ensaio de Permeabilidade no poço PM-08.

Adotando-se as cargas hidráulicas dos poços de monitoramento PM-08 (98,73 m) e PM-10 (97,48 m), e admitindo-se entre os dois uma distância de 67,50 m obtém-se um gradiente hidráulico (i) de 0,01852.

Considerando a condutividade hidráulica (k) de $1,45 \times 10^{-5}$ cm/s e uma porosidade efetiva (η_e) de 9,90% para o material em questão, obtém-se, através da Lei de Darcy, a velocidade das águas subterrâneas, que é igual a 0,857 m/ano.

Avaliação de Risco (RBCA Tier 2)

Identificação do Cenário Ambiental e Fluxograma das Vias de Exposição

Durante os serviços de campo foi identificado o cenário ambiental local, que caracterizou as vias de exposição e seus potenciais receptores, viabilizando a quantificação do risco, a qual determinada contaminação por hidrocarbonetos representa a saúde humana e ao meio ambiente.

O RBCA considera uma via de exposição completa em um determinado cenário ambiental, quando existe uma fonte de contaminação (vazamentos em tanques, linhas, equipamentos, etc.), uma rota de transporte dos contaminantes (lixiviação do solo contaminado, migração do lençol freático, etc.), e um ponto de exposição (poço de captação de águas subterrâneas, corpo hídrico, etc.) onde o contaminante estará em contato direto com o receptor.

A área investigada é ocupada por um estacionamento de veículos, um prédio administrativo e um pátio para disposição de cargas a serem embarcadas ou desembarcadas de navios. A mesma é pavimentada em blocos de concreto, com rachaduras e/ou imperfeições entre eles.

Nesta área, havia um tanque aéreo de armazenamento de combustível (Diesel), cuja antiga localização pode ser vista no croqui do empreendimento. Segundo informações obtidas na área, este tanque foi removido em 2008.

Os funcionários do local, denominados receptores comerciais, não estão diretamente expostos ao solo ou água subterrânea contaminados local. Contudo, se houver qualquer tipo de reforma no empreendimento com escavação do solo por trabalhadores de obras, haverá contato direto com o solo e com a água subterrâneas contaminados. Por tal motivo, considerou-se a via de contato dermal e ingestão de particulados do solo, e inalação de vapores em ambiente aberto, a partir de solo e água subterrânea contaminados.

Em função da concentração de benzeno do PM-07, localizado na área do estacionamento, e embora o fluxo das águas subterrâneas desloca-se em sentido oposto, considerou-se, por conservadorismo, a existência de pluma de hidrocarbonetos em fase dissolvida sob o prédio administrativo. Portanto, foi considerada a via de inalação de vapores em ambiente fechado, por receptores comerciais *on-site*, a partir de solo e água subterrânea contaminados.

Não foi observada a existência de poço artesiano no empreendimento, contudo foi solicitado em notificação que a via de exposição ingestão de água subterrânea fosse considerada. Desta forma, embora esta via não se complete, foi considerado o consumo de água subterrânea no modelamento realizado.

O corpo d'água superficial mais próximo (Baía de Guanabara) localiza-se a 120,0 m a sudeste da área investigada. O mesmo foi considerado como corpo hídrico para atividades de pesca e natação na Análise de Risco elaborada.

A partir da integração dos dados obtidos em campo e dos resultados analíticos foi possível traçar o fluxograma fonte → receptor. As fontes são solo superficial e subsuperficial e águas subterrâneas contaminados, sendo os mecanismos de transporte considerados a erosão eólica, através da dispersão atmosférica, a volatilização, através da dispersão atmosférica e da acumulação em espaço fechado, e a lixiviação, através do transporte pela águas subterrâneas.

Os meios de exposição e potenciais receptores definidos para o site são:

- contato dermal e ingestão de solo contaminado, por eventuais trabalhadores de obras e por receptores comerciais *on-site*. Para receptores residenciais esta via não existe, pois não há plumas de fase dissolvida em áreas residenciais;
- inalação de vapores e/ou particulados em ambiente aberto, por eventuais trabalhadores de obras, por receptores comerciais *on-site* e *off-site* – apesar de não estarem sendo realizadas obras, esta via existe no atual cenário para receptores comerciais *on-site* e *off-site* devido à existência de canteiros no limite Noroeste do empreendimento e de ranhuras no pavimento;
- inalação de vapores em ambiente fechado, por receptores comerciais *on-site*, a partir de água subterrânea contaminada – esta via foi considerada por conservadorismo para receptores comerciais *on-site* devido a extensão das plumas de fase dissolvida que podem estar abrangido áreas edificadas;
- ingestão e contato dermal com água subterrânea, por receptores comerciais *off-site* a partir da utilização de água de poço de abastecimento – esta via não existe no atual cenário, no entanto foi considerada por conservadorismo conforme pedido em notificação;
- contato dermal com água superficial, devido a possíveis atividades como pesca e natação que são realizadas na Baía de Guanabara, localizada cerca de 120,0 m da área investigada.

O fluxograma das vias de exposição consideradas nesta análise pode ser visualizado na Figura 35.

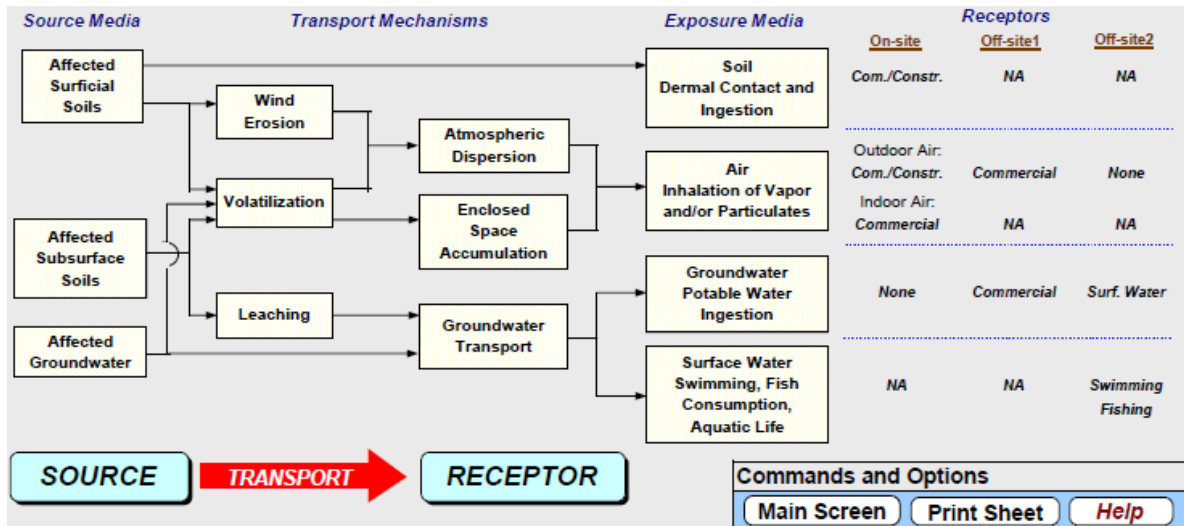


Figura 35: Fluxograma das Vias de Exposição. Fonte: Tela do software RBCA.

Resultados da Análise de Risco

O modelamento realizado não indicou a existência de risco carcinogênico e/ou risco tóxico a saúde humana, de acordo com as vias de exposição consideradas. Os riscos carcinogênicos individual e cumulativo foram de $8,6 \times 10^{-6}$, abaixo do limite considerado de 1×10^{-5} . O risco tóxico individual calculado foi de $2,6 \times 10^{-1}$ e o risco tóxico cumulativo calculado foi de $2,7 \times 10^{-1}$, abaixo do risco permitido de 1,0.

Observando a comparação dos teores máximos existentes no solo e nas águas subterrâneas com os valores SSTL calculados, verifica-se que não existe risco nos pontos investigados.

As condições e vias de exposição destacadas neste modelamento consideram o atual cenário do empreendimento e das cercanias. Caso haja mudanças na utilização da área, deverá ser elaborado um novo estudo considerando o novo cenário.

Os resultados da Análise de Risco são apresentados nas Figuras 36, 37, e 38.

TIER 2 BASELINE RISK SUMMARY TABLE										
EXPOSURE PATHWAY	BASELINE CARCINOGENIC RISK					BASELINE TOXIC EFFECTS				
	Individual COC Risk		Cumulative COC Risk		Risk Limit(s) Exceeded?	Hazard Quotient		Hazard Index		Toxicity Limit(s) Exceeded?
	Maximum Value	Target Risk	Total Value	Target Risk		Maximum Value	Applicable Limit	Total Value	Applicable Limit	
OUTDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS										
Complete:	2,5E-7	1,0E-5	3,1E-7	1,0E-5	☐	3,0E-3	1,0E+0	4,8E-3	1,0E+0	☐
INDOOR AIR EXPOSURE PATHWAYS										
Complete:	8,8E-6	1,0E-5	8,8E-6	1,0E-5	☐	2,6E-1	1,0E+0	2,7E-1	1,0E+0	☐
SOIL EXPOSURE PATHWAYS										
Complete:	1,3E-7	1,0E-5	1,7E-7	1,0E-5	☐	6,6E-6	1,0E+0	9,9E-6	1,0E+0	☐
GROUNDWATER EXPOSURE PATHWAYS										
Complete:	7,0E-7	1,0E-5	7,0E-7	1,0E-5	☐	1,2E-2	1,0E+0	1,2E-2	1,0E+0	☐
SURFACE WATER EXPOSURE PATHWAYS										
Complete:	3,7E-21	1,0E-5	3,7E-21	1,0E-5	☐	6,2E-17	1,0E+0	6,2E-17	1,0E+0	☐
CRITICAL EXPOSURE PATHWAY (Maximum Values From Complete Pathways)										
	8,8E-6	1,0E-5	8,8E-6	1,0E-5	☐	2,6E-1	1,0E+0	2,7E-1	1,0E+0	☐
	<i>Indoor Air</i>		<i>Indoor Air</i>			<i>Indoor Air</i>		<i>Indoor Air</i>		

Figura 36: Tabela de riscos calculados. Fonte: Tela do software RBCA.

SOIL (0 - 1,1 m) SSTL VALUES			Target Risk (Class A & B) 1,0E-5 Target Risk (Class C) 1,0E-5 Target Hazard Quotient 1,0E+0								Groundwater DAF Option: Domenico - First Order (One-directional vert. dispersion)				
			SSTL Results For Complete Exposure Pathways ("X" if Complete)												
			X Soil Leaching to Groundwater Ingestion / Discharge to Surface Water			X Soil Vol. to Indoor Air	X Soil Volatilization and Surface Soil Particulates to Outdoor Air				X Surface Soil Inhalation, Ingestion, Dermal Contact		Applicable SSTL	SSTL Exceeded ?	Required CRF
CONSTITUENTS OF CONCERN			On-site (0 m)	Off-site 1 (10 m)	Off-site 2 (120 m)	On-site (0 m)	On-site (0 m)		Off-site 1 (20 m)	Off-site 2 (0 m)	On-site (0 m)		(mg/kg)	"■" if yes	Only if "yes" left
CAS No.	Name	Representative Concentration (mg/kg)	None	Commercial	Surf. Water	Commercial	Commercial	Construction Worker	Commercial	None	Commercial	Construction Worker			
71-43-2	Benzene	5,0E-4	NA	6,6E+0	>532E+0	1,2E+0	1,5E+2	1,7E+1	1,5E+2	NA	5,1E+1	1,7E+1	1,2E+0	■	<1
108-88-3	Toluene	5,0E-4	NA	>305E+0	>305E+0	2,5E+2	>305E+0	>305E+0	>305E+0	NA	1,4E+4	1,1E+3	2,5E+2	■	<1
100-41-4	Ethylbenzene	5,0E-4	NA	>246E+0	>246E+0	>246E+0	>246E+0	>246E+0	>246E+0	NA	1,2E+4	2,4E+3	2,4E+3	■	<1
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)	5,0E-4	NA	>196E+0	>196E+0	>196E+0	>196E+0	>196E+0	>196E+0	NA	1,9E+5	1,9E+4	1,9E+4	■	<1
91-20-3	Naphthalene	2,0E-2	NA	>234E+0	>234E+0	>234E+0	>234E+0	>234E+0	>234E+0	NA	9,6E+4	2,9E+4	2,9E+4	■	<1
208-96-8	Acenaphthylene	2,0E-2	NA	>148E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>148E+0	■	NA
83-32-9	Acenaphthene	5,0E-3	NA	>105E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>105E+0	■	NA
86-73-7	Fluorene	5,0E-3	NA	>46E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>46E+0	■	NA
85-01-8	Phenanthrene	2,0E-2	NA	>85E+0	>85E+0	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>85E+0	■	NA
120-12-7	Anthracene	5,0E-3	NA	>02E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>02E+0	■	NA
206-44-0	Fluoranthene	1,0E-2	NA	>30E+0	>30E+0	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>30E+0	■	NA
129-00-0	Pyrene	1,0E-2	NA	>23E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>23E+0	■	NA
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	5,0E-3	NA	>30E+0	NC	>30E+0	>30E+0	>30E+0	>30E+0	NA	1,6E+1	8,4E+2	1,6E+1	■	<1
218-01-9	Chrysene	5,0E-3	NA	>01E+0	>01E+0	>01E+0	>01E+0	>01E+0	>01E+0	NA	1,0E+1	5,2E+2	1,0E+1	■	<1
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	5,0E-3	NA	>30E+0	NC	>30E+0	1,4E+1	>30E+0	1,4E+1	NA	1,6E+1	8,1E+2	1,4E+1	■	<1
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	5,0E-3	NA	>09E+0	>09E+0	>09E+0	>09E+0	>09E+0	>09E+0	NA	1,6E+2	8,4E+3	1,6E+2	■	<1
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	2,0E-2	NA	>06E+0	NC	>06E+0	8,1E-1	>06E+0	8,1E-1	NA	1,6E+0	8,2E+1	8,1E-1	■	<1
193-39-5	Indeno(1,2,3,c,d)Pyrene	5,0E-3	NA	>7,897E+0	NC	>7,897E+0	>7,897E+0	>7,897E+0	>7,897E+0	NA	1,6E+1	8,4E+2	1,6E+1	■	<1
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene	5,0E-3	NA	>01E+0	NC	>01E+0	>01E+0	>01E+0	>01E+0	NA	NC	NC	>01E+0	■	NA
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene	5,0E-3	NA	>04E+0	NC	NC	NC	NC	NC	NA	NC	NC	>04E+0	■	NA

">" indicates risk-based target concentration greater than constituent residual saturation value. NA = Not applicable. NC = Not calculated.

Figura 37: Valores SSTL referentes ao solo. Fonte: Tela do software RBCA.

GROUNDWATER SSTL VALUES			SSTL Results For Complete Exposure Pathways ("X" if Complete)							Groundwater DAF Option: Domenico - First Order (One-directional vert. dispersion)		
			Target Risk (Class A & B) 1,0E-5 Target Risk (Class C) 1,0E-5 Target Hazard Quotient 1,0E+0									
CONSTITUENTS OF CONCERN			Groundwater Ingestion / Discharge to Surface Water			GW Vol. to Indoor Air	Groundwater Volatilization to Outdoor Air			Applicable SSTL	SSTL Exceeded ?	Required CRF
CAS No.	Name	Representative Concentration (mg/L)	On-site (0 m)	Off-site 1 (10 m)	Off-site 2 (120 m)	On-site (0 m)	On-site (0 m)	Off-site 1 (20 m)	Off-site 2 (0 m)	(mg/L)	"■" if yes	Only if "yes" left
71-43-2	Benzene	9,0E-1	NA	1,3E+1	>1.750E+0	1,1E+0	1,6E+2	1,6E+2	NA	1,1E+0	□	<1
108-88-3	Toluene	1,4E+0	NA	>515E+0	>515E+0	2,2E+2	>515E+0	>515E+0	NA	2,2E+2	□	<1
100-41-4	Ethylbenzene	9,9E-1	NA	>169E+0	>169E+0	>169E+0	>169E+0	>169E+0	NA	>169E+0	□	NA
1330-20-7	Xylene (mixed isomers)	3,8E+0	NA	>198E+0	>198E+0	>198E+0	>198E+0	>198E+0	NA	>198E+0	□	NA
91-20-3	Naphthalene	2,6E-1	NA	>31E+0	>31E+0	>31E+0	>31E+0	>31E+0	NA	>31E+0	□	NA
208-96-8	Acenaphthylene	1,3E-2	NA	>04E+0	NC	NC	NC	NC	NA	>04E+0	□	NA
83-32-9	Acenaphthene	9,1E-3	NA	>04E+0	NC	NC	NC	NC	NA	>04E+0	□	NA
86-73-7	Fluorene	1,2E-2	NA	>02E+0	NC	NC	NC	NC	NA	>02E+0	□	NA
85-01-8	Phenanthrene	8,9E-2	NA	>02E+0	>02E+0	NC	NC	NC	NA	>02E+0	□	NA
120-12-7	Anthracene	1,7E-3	NA	>450E-4	NC	NC	NC	NC	NA	>450E-4	□	NA
206-44-0	Fluoranthene	8,5E-3	NA	>2.060E-4	>2.060E-4	NC	NC	NC	NA	>2.060E-4	□	NA
129-00-0	Pyrene	9,7E-3	NA	>1.600E-4	NC	NC	NC	NC	NA	>1.600E-4	□	NA
56-55-3	Benzo(a)Anthracene	4,1E-3	NA	>57E-4	NC	>57E-4	>57E-4	>57E-4	NA	>57E-4	□	NA
218-01-9	Chrysene	5,7E-3	NA	>18E-4	>18E-4	>18E-4	>18E-4	>18E-4	NA	>18E-4	□	NA
205-99-2	Benzo(b)Fluoranthene	2,5E-3	NA	>147E-4	>147E-4	>147E-4	>147E-4	>147E-4	NA	>147E-4	□	NA
207-08-9	Benzo(k)Fluoranthene	1,7E-3	NA	>43E-4	>43E-4	>43E-4	>43E-4	>43E-4	NA	>43E-4	□	NA
50-32-8	Benzo(a)Pyrene	3,2E-3	NA	>16E-4	NC	>16E-4	>16E-4	>16E-4	NA	>16E-4	□	NA
193-39-5	Indeno(1,2,3,c,d)Pyrene	2,4E-3	NA	>620E-4	>620E-4	>620E-4	>620E-4	>620E-4	NA	>620E-4	□	NA
53-70-3	Dibenzo(a,h)Anthracene	7,5E-4	NA	>05E-4	>05E-4	>05E-4	>05E-4	>05E-4	NA	>05E-4	□	NA
191-24-2	Benzo(g,h,i)Perylene	4,2E-3	NA	>07E-4	>07E-4	NC	NC	NC	NA	>07E-4	□	NA

">" indicates risk-based target concentration greater than constituent solubility value. NA = Not applicable. NC = Not calculated.

Figura 38: Valores SSTL referentes à água subterrânea. Fonte: Tela do software RBCA.

5.1.3. Resultados Analíticos das Amostras de Solo

As amostras de solo das sondagens (profundidade) S-01 (1,5 m), S-02 (4,5 m), S-03 (4,5 m), S-04 (1,5 m), S-05 (2,0 m) e S-06 (2,0 m) foram encaminhadas para análises químicas de BTEX e PAH.

Segundo os resultados analíticos, todas as amostras analisadas apresentaram concentrações inferiores aos valores *SSTL* calculados.

Os resultados analíticos das amostras de solo são apresentados na Tabela 20.

Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea

As amostras de água dos poços de monitoramento PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-10, PM-11 e PM-12 foram encaminhadas para análises químicas de BTEX e PAH.

Segundo os resultados analíticos, todas as amostras analisadas apresentaram concentrações inferiores aos valores *SSTL* calculados.

Os resultados analíticos das amostras de água são apresentados nas Tabelas 21a e 21b.

Tabela 20: Resultados Analíticos das Amostras de Solo.

COMPOSTOS	Amostras						Limite de Detecção do Laboratório	Valores Orientadores SSTL
	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06		
	1,5 m	4,5 m	4,5 m	1,5 m	2,0 m	2,0 m		
BTEX – mg/kg								
Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0001	1,20
Tolueno	<0,001	nd	nd	<0,001	nq	nd	0,0001	250,00
Etilbenzeno	<0,001	nd	nd	nd	nd	nd	0,0001	2.400,00
Xilenos	<0,001	nd	nd	<0,001	<0,001	<0,001	0,0001	19.000,00
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) – mg/Kg								
Naftaleno	0,01	0,02	nd	0,01	nd	nd	0,005	29.000,00
Acenaftileno	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	>148,00
Acenafteno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	>105,00
Fluoreno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	>46,00
Fenantreno	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,005	>85,00
Antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	>2,00
Fluoranteno	0,01	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	>30,00
Pireno	0,01	nd	nd	0,01	nd	nd	0,005	>23,00
Benzo(a)antraceno	nd	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	16,00
Criseno	nd	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	10,00
Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	14,00
Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	160,00
Benzo(a)pireno	<0,01	nd	nd	0,02	nd	nd	0,005	0,81
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	16,00
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,005	>1,00
Benzo(ghi)perileno	nd	nd	nd	<0,01	nd	nd	0,005	>4,00
PAH Total	0,07	0,03	nd	0,04	nd	nd	-	-

Simbologia: “-“ – sem referência; > – indica que a concentração alvo é maior que o valor de solubilidade do composto. **Abreviação:** nd – não detectado; NC - não calculado.

Tabela 21a: Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea.

COMPOSTOS	Amostras						Limite de Detecção	Valores Orientadores SSTL
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06		
Investigação Detalhada								
BTEX – µg/L								
Benzeno	3,9	904,4	101,2	247,0	125,5	4,6	0,1	1.100,0
Tolueno	1,8	14,1	6,0	12,0	1,8	1,1	0,1	220.000,0
Etilbenzeno	2,3	992,4	65,5	166,9	747,4	30,0	0,1	>169.000,0
Xilenos	4,7	39,3	25,7	42,6	6,5	1,4	0,1	>198.000,0
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) – µg/L								
Naftaleno	nd	257,00	3,03	119,45	216,40	nd	0,01	>31.000,0
Acenaftileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>4.000,0
Acenafteno	2,25	0,18	0,12	0,24	4,90	0,84	0,01	>4.000,0
Fluoreno	2,20	0,07	0,05	0,42	8,65	1,82	0,01	>2.000,0
Fenantreno	8,45	0,28	0,11	1,47	18,15	<0,30	0,01	>2.000,0
Antraceno	1,70	0,14	0,05	0,07	nd	<0,30	0,01	>45,0
Fluoranteno	8,45	0,52	0,05	0,04	nd	<0,30	0,01	>206,0
Pireno	9,65	0,61	0,05	0,08	<1,50	nd	0,01	>160,0
Benzo(a)antraceno	4,05	nd	nd	nd	<1,50	nd	0,01	>5,7
Criseno	5,65	0,11	nd	nd	nd	nd	0,01	>1,8
Benzo(b)fluoranteno	2,45	0,05	nd	nd	nd	nd	0,01	>14,7
Benzo(k)fluoranteno	1,65	0,04	nd	nd	nd	nd	0,01	>4,3
Benzo(a)pireno	3,15	0,06	nd	nd	nd	nd	0,01	>1,6
Indeno(1,2,3-cd)pireno	2,40	<0,03	nd	nd	nd	nd	0,01	>62,0
Dibenzo(a,h)antraceno	<1,50	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>0,5
Benzo(ghi)perileno	4,20	<0,03	nd	nd	nd	nd	0,01	>0,7
PAH Total	56,25	259,06	3,46	121,77	248,10	2,66	-	-

Simbologia: “-” – sem referência; > – indica que a concentração alvo é maior que o valor de solubilidade do composto. **Abreviação:** nd – não detectado; NC - não calculado.

Tabela 21b: Resultados Analíticos das Amostras de Água Subterrânea.

COMPOSTOS	Amostras						Limite de Detecção	Valores Orientadores SSTL
	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10	PM-11	PM-12		
Investigação Detalhada								
BTEX – µg/L								
Benzeno	471,2	4,3	nd	36,8	nd	4,2	0,1	1.100,0
Tolueno	1.369,8	<1,0	nd	3,3	nd	<1,0	0,1	220.000,0
Etilbenzeno	2,8	<1,0	nd	3,0	nd	59,8	0,1	>169.000,0
Xilenos	3815,3	<1,0	nd	22,2	<1,0	2,7	0,1	>198.000,0
PAH (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos) – µg/L								
Naftaleno	nd	nd	nd	nd	nd	11,20	0,01	>31.000,0
Acenaftileno	nd	nd	nd	nd	<0,03	12,65	0,01	>4.000,0
Acenafteno	0,05	<0,03	0,44	0,04	0,06	9,10	0,01	>4.000,0
Fluoreno	0,16	nd	<0,30	<0,30	0,06	12,45	0,01	>2.000,0
Fenantreno	0,29	nd	<0,30	nd	0,58	89,30	0,01	>2.000,0
Antraceno	nd	nd	<0,30	nd	0,35	nd	0,01	>45,0
Fluoranteno	0,13	0,14	0,80	0,34	0,29	<1,50	0,01	>206,0
Pireno	0,10	0,20	0,89	0,29	0,28	2,20	0,01	>160,0
Benzo(a)antraceno	nd	nd	<0,30	nd	<0,03	1,95	0,01	>5,7
Criseno	nd	nd	<0,30	<0,30	<0,03	<1,50	0,01	>1,8
Benzo(b)fluoranteno	nd	nd	<0,30	nd	nd	nd	0,01	>14,7
Benzo(k)fluoranteno	nd	nd	0,32	nd	nd	nd	0,01	>4,3
Benzo(a)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>1,6
Indeno(1,2,3-cd)pireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>62,0
Dibenzo(a,h)antraceno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>0,5
Benzo(ghi)perileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,01	>0,7
PAH Total	0,73	0,34	2,45	0,67	1,62	138,85	-	-

Simbologia: “-“ – sem referência; > – indica que a concentração alvo é maior que o valor de solubilidade do composto. **Abreviação:** nd – não detectado; NC - não calculado.

A comparação entre as concentrações representativas dos compostos de interesse os valores *SSTL* obtidos neste relatório, mostra que não há risco a saúde humana na área investigada, tendo em vista que os resultados analíticos das amostras do solo e das águas subterrâneas apresentaram concentrações inferiores aos valores *SSTL* calculados, para todos os compostos analisados.

Em virtude do cenário ambiental constatado na área recomendou-se a realização de campanhas de monitoramento trimestrais durante um ciclo hidrogeológico, para que seja avaliado o comportamento das concentrações dos parâmetros de interesse (BTEX e PAH) neste período.

6. CONCLUSÕES

Para atendimento à notificação do órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro (INEA), foram realizadas as etapas de investigação ambiental, que consistiram em Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, com objetivo de identificar, mapear e avaliar o risco do passivo presumido.

Com base nos resultados obtidos ao longo das investigações realizadas, verificou-se que, embora houvesse concentrações de compostos derivados de petróleo superiores a valores de referência, o cenário constatado não conferia risco aos receptores locais. Desta forma, não foram necessárias ações de intervenção na área, a fim de eliminar o passivo identificado. Foram recomendadas campanhas de monitoramento trimestrais para acompanhamento das concentrações destes compostos durante um ciclo hidrogeológico, onde há variações sazonais e significativas que podem alterar o resultado atual.

Segundo o INEA, o serviço realizado e sua recomendação atenderam à notificação emitida e o Termo de Encerramento foi concedido ao empreendimento em questão.

Verifica-se que, em função de ainda não ter sido publicada a terceira parte da norma NBR 15.515, é necessário o detalhamento do serviço na notificação, de maneira a orientar o executante quanto ao solicitado pelo órgão ambiental.

Ressalta-se a importância de normas técnicas orientativas para padronização de procedimentos e que as mesmas sejam referenciadas por órgãos fiscalizadores, tendo em vista que elas não possuem valor de lei se não citadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE. 1998 - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Editores: Antônio Manuel dos Santos e Sérgio Nertan Aves de Brito. São Paulo-SP.

ABIEPS. Associação Brasileira da Indústria de Equipamentos para Postos de Serviços. 2012. Disponível em <http://www.abieps.com.br/novo/catalogo_tecnico>. Acessado em 22/08/2012.

ABNT NBR 13784:2011. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC). Rio de Janeiro.

ABNT NBR 13787:1997. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis nos postos de serviço. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15495-1:2009. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados Parte 1: Projeto e construção. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15495-2:2008. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15515-1:2007. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro.

- ABNT NBR 15515-2:2011. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro.
- ACBR. 2006. Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos. Anexo VII, Procedimentos para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis – Roteiro Único - CETESB, 2006. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2011. Quantidade de postos revendedores de combustíveis automotivos, por bandeira, segundo Grandes Regiões e Unidades da Federação - 2011. Disponível em <www.anp.gov.br>. Acessado em 20/01/2013.
- ASTM. 2001. Guide for Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites (RBCA), desenvolvida pela American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM 204-01. Philadelphia, PA.
- ASTM. 2005. Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process. ASTM E1527-05. Philadelphia, PA.
- ASTM. 1995. Emergency Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, ASTM E-1.739. Philadelphia, PA.
- ASTM. 1998. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action, ASTM PS-104-98, Philadelphia, PA.
- ASTM. 2002. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection for Ecological Resources. ASTM E-2.205 Philadelphia, PA – USA.
- BORGUETTI, N.R.B.; BORGUETTI, J.R.; FILHO, E.F.R. O Aquífero Guarani. 2004, Curitiba.

BRASIL POSTOS. 2012. Disponível em <<http://www.brasilpostos.com.br/>>. Acessado em 22/11/12.

CARVALHO, D. D.; Barros. D.; Oliveira V.; Santana M. F. E.; 2008. Caracterização ambiental dos postos de revenda de combustíveis no Rio de Janeiro. Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2007. Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, Nova Tabela. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf> Acessado em 05/06/2012.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2006. Decisão de diretoria Nº 010-2006-C, 26 de janeiro de 2006. Dispõe sobre os novos Procedimentos para o Licenciamento de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis e dá outras providências. São Paulo.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2011. Texto explicativo. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2011/texto-explicativo.pdf>>. Acessado em 01/02/2013.

CETESB. Site da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7-manual>>. Acessado em: 21/07/2012.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2009. Resolução Nº 420. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o

gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2000. Resolução nº 273 - Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2001. Rio de Janeiro: geologia, geomorfologia, geoquímica, geofísica, recursos minerais, economia mineral, hidrogeologia, estudos de chuvas intensas, solos, aptidão agrícola, uso e cobertura do solo, inventário de escorregamentos, diagnóstico geoambiental. Rio de Janeiro: CPRM: Embrapa Solos.

CRUZ, F.; 2006. Remediação de solos contaminados por gasolina. Dissertação. Porto Alegre. UFRGS.

DNPM. 1984. GEOLOGIA DO BRASIL - Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Minerais. Escala 1:2.500.000. Coordenação: Carlos Schobbenhaus.

EPA U. S. Site da Environmental Protection Agency. Disponível em <<http://www.epa.gov/nscep>>. Acessado em 21/08/2012.

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. 1990. Guia para la proteccion de las aguas subterraneas. EPA 440/6-90-004.

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. 1996. How to effectively recover free product at leaking underground storage tank sites. EPA/510-R-96-001.

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. 1991. Site Characterization for Subsurface Remediation. EPA/625/4-91/026.

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. Test Methods. Disponível em <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/new_meth.htm>. Acessado em 22/11/2012.

- FEITOSA, Fernando A. CARNEIRO, João Manoel Filho, 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.
- FERNANDES, M. 1997. Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos monoaromáticos em aquíferos contaminados com gasolina. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- FETTER, C. W., 1994 - Applied Hydrogeology - Third Edition - Prentice Hall.
- GUIGUER, N. 1994. Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento. Waterloo Brasil Ltda.
- HVORSLEV, M.J. (1951). Time Lag and Soil Permeability in Ground Water Observations. U.S. Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station/USA, Bulletin 36.
- INEA. 2004. Site do Instituto Estadual Ambiente. Diretriz DZ1841-R2. Disponível em <<http://www.inea.rj.gov.br>>. Acessado em 28/08/2012.
- IPIRANGA; 2011. Manual de Operação, Manutenção e Emergência em Postos de Serviço. 2011.
- MINDRISZ, C. A.; 2006. Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares por combustíveis fósseis. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. USP.
- NETTO, C. N.; Baldessar, F.; Luca, L.A.; 2005. Estudo qualitativo de segurança em postos revendedores de combustíveis. Dissertação. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- OLIVEIRA, A. M. S., Corrêa Filho, D., 1996 – Ensaio de Permeabilidade em Solos Orientações para sua Execução no Campo. – ABGE (3ª edição).

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

RIBEIRO, M. S. de, & Lisboa, L. P. 2000. Passivo Ambiental. Anais do Congresso Brasileiro de Contabilidade, Goiânia, GO, 16. Disponível em <www.eac.usp.br/eac/publicações>. Acessado em 10/11/2012.

RIO DE JANEIRO. 2007. Lei Estadual nº 5.101, de 4 de outubro de 2007.

RIO DE JANEIRO. 2009. [Decreto Estadual nº 42.159](#), de 2 de dezembro de 2009.

RS Instalações. 2012. Disponível em <<http://www.rsinstalacoes.com.br/fotosindustria.htm>>. Acessado em 22/08/2012.

SINDICOM. Site do Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes. Disponível em <<http://www.sindicom.com.br>>. Acessado em 03/11/2012.

TIBURTIUS, E.R.L., Zamora, P.P., Leal, E.S.; 2004. Contaminação de águas por BTX e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. Quimica Nova, v 27, n 3, p 441-446.

ZEPPINI. Catálogo de produtos. 2012. Disponível em <<http://www.zeppini.com.br/>>. Acessado em 15/11/2012.