

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA

**ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO**

Fernanda Quintanilha Gonçalves

RIO DE JANEIRO
MARÇO/2015



ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

Fernanda Quintanilha Gonçalves

Projeto de Graduação submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Maria Claudia Barbosa

Coorientadora: Michelle Matos de Souza

RIO DE JANEIRO

MARÇO/2015

**ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM
BASE NUM CASO PRÁTICO**

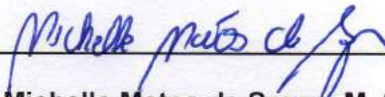
Fernanda Quintanilha Gonçalves

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:



Prof. Maria Claudia Barbosa, D. Sc.



Michelle Matos de Souza, M. Sc.



Prof. Denize Dias de Carvalho, D. Sc.

RIO DE JANEIRO – RJ, BRASIL

MARÇO/2015

Gonçalves, Fernanda Quintanilha

Análise Crítica do Processo de Investigação
Geoambiental com base num Caso Prático / Fernanda
Quintanilha Gonçalves – Rio de Janeiro, UFRJ/ Escola
Politécnica, 2015.

xii, 114 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Maria Claudia Barbosa

Coorientadora: Michelle Matos de Souza

Projeto de Graduação – UFRJ / POLI / Curso de
Engenharia Ambiental, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 94-98.

1. Investigação Geoambiental 2. Usina de Asfaltos 3.
Legislação de áreas contaminadas 4. Hidrocarbonetos
Policíclicos Aromáticos I. Barbosa, Maria Claudia *et al.* II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de
Engenharia Ambiental; III. Título

Agradecimentos

À Professora Maria Cláudia e à Michelle que, com muita paciência e atenção, dedicaram do seu valioso tempo para me orientar em cada passo deste trabalho. Obrigada por sempre se disponibilizarem a me ouvir e pela sabedoria compartilhada.

À Professora Heloisa Firmo, pela dedicação na coordenação do curso e pelo carinho com cada aluno.

À toda a equipe CONTROLLAB, em especial aos engenheiros Raphael Rieboldt e Bianca Santos, por toda a confiança depositada, pelo convívio, e por me transmitirem tanto conhecimento sempre de forma paciente e esclarecedora.

Aos meus pais Eliane e Luís Fernando, por todo o cuidado, amor incondicional, e por todo o empenho para que eu tivesse a melhor formação possível desde pequena, proporcionando-me todas as ferramentas para que eu concluísse mais esta etapa. À eles o meu mais sincero e profundo “Obrigada”. Essa vitória também é de vocês.

Ao meu irmão Thiago, que sempre procura me aconselhar e proteger em meio às nossas implicâncias. À minha avó Marly pela constante dedicação comigo. À toda a minha família por sempre acreditar no meu potencial e por tanto me acolher.

Ao meu noivo Eric, por todo o amor e carinho, mas principalmente pelo incentivo e apoio incessantes. Obrigada por me mostrar todos os dias o significado da palavra companheirismo e por tanto fazer meu coração sorrir.

Aos meus queridíssimos ambientais: Anne, Camila, Cecília, Clara, Fernanda, Julia, Larissa, Mariana, Marcelo e Rodrigo; companheiros de BD, de trabalhos, estudos, resumos, risadas e ensinamentos. Vocês são o maior presente que a UFRJ me deu. Obrigada por tantas lembranças maravilhosas e por terem feito cada segundo destes anos de “Fundão” mais agradáveis.

Às minhas eternas CApianas: Bárbara, Camila, Ju Barros, Ju Valle, Isabella, Letícia, Michelle, Rafaela e Vivian; pela amizade, por fazerem parte de todo o meu crescimento acadêmico e pessoal, e por se manterem sempre presentes mesmo quando a distância insiste em cruzar nossos caminhos.

Às minhas queridas Julia, Luiza e Natalia, pelos conselhos, e pelas alegrias e angústias compartilhadas. Sem vocês a vida com certeza teria menos graça e leveza.

Obrigada a todos que, mesmo não citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a Fernanda que me tornei.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à POLI/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental

Análise Crítica do Processo de Investigação Geoambiental com base num Caso Prático.

Fernanda Quintanilha Gonçalves
Março, 2015

Orientadora: Maria Claudia Barbosa
Coorientadora: Michelle Matos de Souza
Curso: Engenharia Ambiental

O presente trabalho baseia-se em uma análise crítica das etapas de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, conduzidas em uma área industrial desativada contaminada por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA).

Assim, analisou-se as informações dos relatórios destes estudos, as quais foram posteriormente complementadas com dados da literatura. Avaliou-se o Modelo Conceitual elaborado, os resultados de ensaios hidrogeológicos e resultados analíticos dos parâmetros do grupo HPA das amostras de solo e água subterrânea coletadas nessa área. Verificou-se ainda se a realização de sondagens e instalação de poços de monitoramento nas áreas funcionais foi satisfatória. Por fim, foi feito um levantamento de legislações e normas aplicáveis ao gerenciamento de áreas contaminadas, bem como das propriedades físico-químicas das substâncias encontradas.

A partir da reunião de todos esses dados, constatou-se principalmente que, em termos de contaminação por asfalto, o naftaleno foi o HPA mais expressivo e que existem lacunas nas normas vigentes que poderiam ser revistas, garantindo assim um melhor gerenciamento da contaminação em *brownfields*.

Palavras-chave: Investigação geoambiental, passivos ambientais, áreas contaminadas por asfaltos, *brownfields*.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

Critical Analysis of the Geoenvironmental Site Characterization Process based on a Practical Case

Fernanda Quintanilha Gonçalves
March, 2015

Advisor: Maria Claudia Barbosa
Co-advisor: Michelle Matos de Souza
Course: Environmental Engineering

This work consists of a critical analysis of the Preliminary Site Assessment, Exploratory Site Investigation and Detailed Site Investigation steps, conducted in a deactivated industrial area contaminated by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH).

The information from the reports of these studies were analyzed and supplemented with literature data. The Conceptual Model developed was evaluated, as were the hydrogeological tests results and the analytical results for the parameters of the PAH group of the soil and groundwater samples collected. It was also verified if the boreholes execution and monitoring wells installation in the functional areas identified were satisfactory. Finally, a survey about the applicable legislation to the management of contaminated areas and the physical-chemical properties of the substances found was performed.

From all these data, it was found that, specifically in terms of asphalt contamination, the naphthalene was the major PAH contaminant, and that there are some gaps in the current legislation which should be revised, thereby ensuring better management of contamination at brownfields.

Keywords: Site characterization, environmental liability, contaminated areas by asphalt, brownfields.

CONTEÚDO

Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Anexos.....	xi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo.....	3
1.1.1. Objetivos Específicos.....	3
1.2. Motivação.....	4
2. Aspectos Normativos e Legislativos.....	5
2.1. Âmbito Federal.....	5
2.1.1. Lei nº 6.766/79.....	5
2.1.2. Lei nº 6.938/81.....	6
2.1.3. Lei nº 7.347/85.....	7
2.1.4. Lei nº 9.605/98.....	8
2.1.5. Resolução CONAMA nº 420/09.....	9
2.2. Âmbito Estadual.....	11
2.2.1. Rio de Janeiro.....	11
2.2.1.1. Lei 3467/00.....	11
2.2.1.2. Decreto 42.159/09.....	11
2.2.1.3. Resolução CONEMA 44/12.....	12
2.2.1.4. Resolução CONEMA 46/13.....	13
2.2.2. São Paulo - CETESB.....	14
2.3. Normas Técnicas.....	15
2.3.1. NBR 15.515-1: Avaliação Preliminar.....	15
2.3.2. NBR 15.515-2: Investigação Confirmatória.....	17
2.3.3. NBR 15.515-3: Investigação Detalhada.....	19
3. Metodologia.....	24
4. Estudo de Caso: Apresentação e Análise de Dados.....	25
4.1. Caracterização da Área de Interesse.....	25
4.1.1. Localização.....	25
4.1.2. Caracterização Geológica, Hidrogeológica e Geomorfológica Regional.....	26
4.1.3. Descrição do Entorno.....	30

4.1.4. Histórico de Ocupação do Solo e de Diagnósticos Ambientais	33
4.1.4.1. Análise de Fotos Aéreas	39
4.2. Investigação do Meio Subterrâneo	45
4.2.1. Sondagens.....	45
4.2.2. Poços de Monitoramento	46
4.2.3. Ensaios Hidrogeológicos	51
4.2.4. Coleta de Material.....	52
4.2.4.1. Solo	52
4.2.4.2. Água Subterrânea	55
4.2.5. Análises Químicas	57
4.3. Resultados das Investigações	58
4.3.1. Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar	58
4.3.2. Ensaios Hidrogeológicos	61
4.3.2.1. Sentido do Fluxo.....	61
4.3.2.2. Permeabilidade e Velocidade.....	63
4.3.3. Análises Químicas	66
4.3.3.1. Solo	66
4.3.3.2. Água Subterrânea	71
4.4. Asfalto.....	76
4.4.1. Características do Asfalto.....	76
4.4.2. Contaminação por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	78
4.4.2.1. Solubilidade em água	80
4.4.2.2. Volatilidade	80
4.4.2.3. Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico (K_{oc}).....	81
4.4.2.4. Coeficiente de Partição Octanol/Água (K_{ow}).....	82
4.4.2.5. Fator de bioconcentração (FBC)	83
4.4.2.6. Velocidade de transformação e de degradação.....	83
4.5. Análise e Discussão dos Resultados.....	85
4.5.1. Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar	85
4.5.2. Ensaios Hidrogeológicos	85
4.5.3. Análises Químicas e a Contaminação por Asfalto.....	88
5. Considerações Finais	91
5.1. Recomendações.....	93
Referências Bibliográficas.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação da água subterrânea no solo	22
Figura 2: Localização de Nova Iguaçu	25
Figura 3: Mapa Geológico	27
Figura 4: Zona de descarga da área de interesse.....	29
Figura 5: Mapa das Cercanias.....	32
Figura 6: Vista do terreno	36
Figura 7: Vestígios de piche encontrados no local.....	36
Figura 8: Fase livre de produto oleoso detectada no poço de monitoramento PM-10	37
Figura 9: Mapa de Situação.....	38
Figura 10: Fotos aéreas de 1976 e 1996.....	42
Figura 11: Fotos de satélite de 2004 e 2006	43
Figura 12: Foto de satélite de 2013.....	44
Figura 13: Técnicos realizando uma das sondagens	45
Figura 14: Perfil Esquemático do Poço de Monitoramento	47
Figura 15: Materiais utilizados na construção e coleta dos poços de monitoramento.....	48
Figura 16: Técnico realizando a coleta de água subterrânea com o amostrador <i>bailer</i>	48
Figura 17: Localização das sondagens e Poços de Monitoramento na área de interesse	50
Figura 18: Material de solo coletado e corretamente acondicionado para ser enviado ao laboratório.....	52
Figura 19: Técnico realizando a coleta de água subterrânea com o amostrador <i>bailer</i>	55
Figura 20: Técnico realizando a coleta de água subterrânea pelo método de baixa vazão	56
Figura 21: Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar	60
Figura 22: Mapas Potenciométricos de cada investigação	62

Figura 23: Esquema do Teste de Permeabilidade	63
Figura 24: Perfis Litológicos dos Poços de Monitoramento utilizados nos Ensaios de Permeabilidade.....	65
Figura 25: Plumas de Fase Adsorvida de HPA - Investigação Confirmatória	69
Figura 26: Plumas de Fase Adsorvida de HPA - Investigação Detalhada	70
Figura 27: Plumas de Fase Dissolvida de HPA - Investigação Confirmatória.....	74
Figura 28: Plumas de Fase Dissolvida de HPA - Investigação Detalhada	75
Figura 29: Estrutura Química dos HPAs indicados pela U.S. EPA para monitoramento ambiental	78
Figura 30: Pluviometria dos últimos 30 anos no município de Nova Iguaçu	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações mínimas a serem apresentadas no Modelo Conceitual.....	16
Tabela 2: Caracterização Geológica	26
Tabela 3: Relação dos Equipamentos da Fábrica.....	34
Tabela 4: Relação das Áreas de Estocagem	34
Tabela 5: Relação de Matérias-primas Utilizadas	35
Tabela 6: Características construtivas dos poços instalados	49
Tabela 7: Dados das amostras de solo coletadas.....	53
Tabela 8: Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar	59
Tabela 9: Cargas Hidráulicas	61
Tabela 10: Dados das amostras de água subterrânea coletadas	71
Tabela 11: Valores das Propriedades Físico-Químicas dos HPA's monitorados	79
Tabela 12: Volatilidade segundo faixas da Constante da Lei de Henry	81
Tabela 13: Intervalos de valores do K_{oc} e adsorção ao solo	82
Tabela 14: Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano em Nova Iguaçu.....	86
Tabela 15: Valores característicos para os tipos de solo	88
Tabela 16: Resultados analíticos das amostras coletadas.....	90

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Cálculos dos Ensaios de Permeabilidade	99
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACBR	Ações Corretivas com Base em Risco
ASTM	ASTM International (American Society for Testing and Materials até 2001 - Sociedade Americana de Testes e Materiais)
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos – Rio de Janeiro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais até 2004)
DD	Decisão de Diretoria
DRM-RJ	Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro
INEA	Instituto Estadual do Ambiente – Rio de Janeiro
NBR	Norma Brasileira
NA	Nível d'Água
NOP	Norma Operacional
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
PID	Photo Ionization Detector – Detector de Fotoionização
PM	Poço de Monitoramento
RBCA	Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites
SQI	Substância Química de Interesse
TPH	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo
U.S. EPA	US Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)
VI	Valor de Intervenção
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

1. INTRODUÇÃO

É notória a ausência de cuidado com o meio ambiente durante o progresso industrial da humanidade, alavancado incessantemente no último século. Matérias-primas utilizadas sem a devida reposição, despejos de substâncias nocivas em cursos d'água e emissões atmosféricas tóxicas são algumas das consequências que podemos citar relacionadas à evolução tecnológica sem controle adequado.

Isto ocorria principalmente devido à falta de conhecimento da maneira correta de manusear e armazenar substâncias danosas, ou mesmo devido ao desrespeito às poucas normas existentes sobre o assunto. Este tipo de conduta implicou em inúmeros acidentes e vazamentos ao longo do tempo que, mesmo em caso de pequenas proporções, podem gerar extensas plumas de contaminação, devido às dificuldades na sua detecção e controle e à carência de fiscalização apropriada.

Tais ações certamente começaram a afetar negativamente alguns preciosos recursos naturais, como o solo e a água subterrânea, que podem ficar poluídos quando há a introdução de substâncias nocivas nestes meios.

Segundo a CETESB (2001), pode-se dizer que uma área contaminada é “uma área onde está comprovada a poluição ou contaminação devido à inserção de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural”, podendo se concentrar nos diferentes compartimentos do ambiente. A CETESB ainda alerta para as diversas vias pelas quais os poluentes podem ser transportados, gerando impactos negativos sobre os chamados bens a proteger, estando eles no próprio local ou no seu entorno.

Sabe-se que no Brasil até o ano de 2013 o único Município que possuía um banco de dados sobre áreas contaminadas era São Paulo, estando muito à frente do Município do Rio de Janeiro neste quesito, já que a CETESB vem fazendo este levantamento desde 2002. Segundo o INEA (2013), a responsabilidade por cerca de 40% das áreas contaminadas no Rio de Janeiro é de indústrias. Estas indústrias, e até mesmo instalações comerciais, quando abandonadas, ociosas ou subutilizadas, muitas vezes ainda possuem um potencial ativo para reuso, cuja restauração fica dificultada devido à contaminação real ou percebida, caracterizando os chamados *brownfields*, conforme descrito por VASQUES E MENDES (2006).

Os mesmos autores destacam ainda que para reduzir e até eliminar os impactos decorrentes de situações com as características mencionadas acima, é necessário fazer o reconhecimento da contaminação e avaliar seus riscos associados, a fim de obter o controle da situação, seja por meio da remediação, seja através do monitoramento da poluição existente.

Frente ao risco toxicológico associado a estas circunstâncias, para o meio ambiente e para a sociedade, órgãos ambientais de diversos países desenvolveram métodos para promover o gerenciamento de áreas contaminadas de forma a reabilitá-las. As chances de recuperação dos terrenos se tornam maiores quanto mais cedo são tomadas as devidas providências, dando origem ao que chamamos de investigação geoambiental.

Estas metodologias foram inseridas em nosso país, influenciando nossas leis e normas para melhor subsidiar o diagnóstico ambiental de sítios contaminados. A investigação ambiental tem como principal fim determinar a distribuição e o grau da contaminação de um determinado sítio, auxiliando no caso de um futuro monitoramento ou remediação. Este diagnóstico deve ser focado na investigação do solo e do lençol freático, através da completa descrição e análise dos fatores ambientais e suas interações, com o objetivo de caracterizar de forma satisfatória a situação ambiental da área estudada.

De acordo com a Resolução CONAMA nº420/2009, os órgãos ambientais competentes devem instituir procedimentos que contemplem: i) a identificação, onde, com base em avaliação preliminar e em investigação confirmatória, para as regiões em que houver indícios de contaminação, são identificadas as áreas suspeitas de contaminação; ii) o diagnóstico, onde a investigação detalhada e avaliação de risco subsidiam a etapa seguinte; e iii) a intervenção, etapa na qual são tomadas ações de controle e monitoramento para reduzir ou eliminar o perigo.

No Brasil, as etapas mencionadas acima estão principalmente alinhadas a procedimentos estabelecidos pela CETESB e pela norma técnica ABNT NBR 15515, visando fornecer condutas e orientações técnicas para a melhor análise de indícios de contaminação em terrenos cujas atividades são potencialmente poluidoras e danosas ao meio ambiente.

É feito um estudo minucioso da área de interesse e do seu entorno, incluindo uma caracterização geomorfológica, hidrogeológica e geológica da região. Em geral, como

no estudo de caso desenvolvido neste trabalho, são utilizados também métodos diretos de investigação, como a execução de sondagens a trado manual e a instalação de poços de monitoramento para coleta de amostras de água subterrânea.

Neste contexto, este trabalho apresenta o estudo do gerenciamento de uma área industrial contaminada no município do Rio de Janeiro, com foco para as etapas de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, excluindo a Avaliação de Risco. Este estudo buscar mostrar uma aplicação prática da investigação geoambiental e levantar algumas questões a partir da análise de seus resultados.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar de forma integrada o processo de gerenciamento de uma área industrial contaminada no Estado do Rio de Janeiro, com foco para os estudos de Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada.

A finalidade é detalhar tais procedimentos de investigação ambiental, conforme a norma ABNT NBR 15.515 e a legislação vigente, demonstrando sua aplicação em uma área específica. Optou-se por desenvolver um estudo de caso para melhor analisar e criticar o processo de condução da investigação geoambiental de uma área contaminada.

1.1.1. Objetivos Específicos

Através da análise de um caso específico de um terreno onde havia uma antiga indústria de asfaltos, almeja-se:

- Fazer um levantamento das legislações e normas aplicáveis ao gerenciamento de áreas contaminadas e, especificamente, ao caso estudado;
- Complementar as informações sobre o uso e ocupação do solo das áreas investigada e circunvizinhas, sobre o histórico de atividades, e sobre a área de influência do empreendimento sob os aspectos geológicos e hidrogeológicos;

- Reavaliar os resultados das análises químicas de amostras de solo e de água subterrâneas para parâmetros do grupo HPA à luz das informações supracitadas obtidas;
- Analisar a constituição do subsolo local e seu coeficiente de permeabilidade; a profundidade do lençol freático e o sentido do fluxo das águas subterrâneas;
- Elaborar plantas e mapas temáticos para explicitar todas as informações abordadas;
- Ilustrar e analisar comparativamente as plumas de contaminação dos compostos de HPA identificados nas Investigações Confirmatória e Detalhada realizadas na área de interesse;
- Avaliar as propriedades físico-químicas dos HPA's e relacioná-las com os resultados analíticos disponibilizados;
- Fazer uma integração de todos os dados conclusivos da área de forma a constituir um modelo conceitual a respeito da contaminação local;
- Propor sugestões e recomendações para a adequação ambiental do processo de investigação geoambiental.

1.2. Motivação

Considerando a relação direta do tema escolhido com as atividades profissionais que exerço e o meu interesse pelo mesmo, meu principal objetivo era me aprimorar nas técnicas de investigação de áreas impactadas com as pesquisas pertinentes a este trabalho, compreendendo melhor todos os processos que envolvem a interação de contaminantes com o meio, e gerar conhecimento para a área acadêmica e para a sociedade.

Como engenheira ambiental, devo estar habilitada para analisar em profundidade cada projeto com o qual trabalharei, competência a qual acredito que foi amplamente fortalecida durante o desenvolvimento deste trabalho.

2. ASPECTOS NORMATIVOS E LEGISLATIVOS

Não existe ainda no Brasil uma legislação específica e preparada para abordar os questionamentos que envolvem áreas contaminadas. Apesar disso, a legislação ambiental existente oferece certo subsídio, referindo-se indiretamente e pontualmente a diversos aspectos relacionados.

Assim, a presente seção tem como objetivo apresentar um resumo das legislações e normas aplicáveis à questão de passivos ambientais e do gerenciamento de áreas contaminadas, considerando a relevância das mesmas para exercer atividades relacionadas ao tema, já que apresentam uma base para esta problemática e para o estudo de caso desenvolvido no presente trabalho.

2.1. Âmbito Federal

2.1.1. Lei nº 6.766/79

A lei do Parcelamento do Solo Urbano estabelece instrumentos legais especiais com certa importância para o problema de áreas contaminadas pois define as competências do Estado e do Município sobre a questão do parcelamento do solo.

É reconhecida a importância deste instrumento na interação de áreas contaminadas com o desenvolvimento e crescimento urbano, uma vez que proíbe o parcelamento do solo em áreas poluídas ou que foram aterradas com material nocivo à saúde pública que impossibilite condições sanitárias suportáveis, sem que haja o saneamento da mesma.

Um de seus artigos regulamenta especificamente o recebimento comprovado de notificações e intimações. O uso de tal mecanismo é conveniente no informe ao proprietário de uma determinada área se a mesma está com suspeita de contaminação ou já está contaminada, bem como as respectivas consequências relacionadas à responsabilidade da remediação do local.

São determinados indicadores mínimos de áreas públicas, de áreas e testadas de lotes e de faixas não edificáveis, e estabelecidas também as condições de salubridade para a implantação de novos loteamentos. No presente é alvo de muitas recomendações no sentido de torná-la mais atual.

2.1.2. Lei nº 6.938/81

Esta lei institui e estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), seus fins, mecanismos de formulação e instrumentos de gestão, criando o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) para a sua execução, que possui o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como órgão superior e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) como órgão central.

Anteriormente à criação do IBAMA as questões relacionadas ao meio ambiente ficavam sob a responsabilidade de diversas entidades diferentes, sendo muitas vezes tratadas de forma consideravelmente fragmentária e muitas vezes contraditória. Este órgão tem como função “exercer o poder de polícia ambiental”, sendo responsável, principalmente, pela execução da PNMA e desenvolvendo atividades para a preservação e conservação do patrimônio natural, exercendo, assim, o controle, monitoramento e a fiscalização sobre o uso dos recursos naturais.

O CONAMA, por sua vez, é um órgão consultivo e deliberativo criado para cuidar das “diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais”; e “deliberar (...) sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida”. Dada a sua importância, o CONAMA adquiriu a permissão de criar normas e padrões nacionais para controle da poluição e para manutenção da qualidade do meio ambiente.

Após adaptações pela Lei 7.804/1989, instituiu-se o Cadastro de Defesa Ambiental e o Cadastro de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, para registro das pessoas que exercem atividades potencialmente poluidoras e perigosas ao meio ambiente.

A legislação em questão define e estabelece os bens a proteger, e entre seus objetivos, deve-se destacar a recuperação de áreas degradadas. É imposta ao poluidor ou predador a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados, independentemente da existência de culpa, e, ao usuário, de contribuir pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

A Política Nacional do Meio Ambiente tem como principais objetivos a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana no país.

A referida lei exige ação governamental na conservação do equilíbrio ecológico; e que o meio ambiente, tratado como patrimônio público, deva ser “necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo”. Além disso, legitima o Ministério Público da União e dos Estados para propor ação de responsabilidade civil e criminal por danos causados ao meio ambiente.

2.1.3. Lei nº 7.347/85

Disciplina a Ação Civil Pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico ou turístico, assim como qualquer outro interesse difuso ou coletivo. Esta lei é considerada bastante marcante por permitir a proposição concreta de inúmeras ações, e por servir de base para a instituição de novas leis que ampliaram sua abrangência.

A Ação Civil Pública ambiental é o instrumento de caráter processual adequado para reprimir ou impedir danos ao meio ambiente, protegendo assim os interesses difusos da sociedade, já que pode ser usada por qualquer cidadão, associações e órgãos comuns ou pelo Ministério Público para obrigar o poluidor a restituir ou reabilitar pelos impactos ambientais relacionados às suas atividades na área contaminada. Deve-se estabelecer quais os fatos que deverão ser prestados pelo infrator e as condições para seu cumprimento. Anteriormente a esta publicação, a defesa do meio ambiente ficava restrita às ações individuais e às atividades administrativas do Poder Público que exercia o poder de polícia administrativa. (MARCHESAN, STEIGLEDER, CAPELLI, 2004).

É importante que o “princípio da prevenção ou precaução” seja levado em conta na escolha do instrumento jurídico adequado para a proteção do meio ambiente. Isto significa que não se deve buscar preliminarmente a condenação em dinheiro, uma vez que não é do interesse da sociedade trocar ecossistemas por somas em dinheiro, mesmo que sejam altas quantias. Então, deve-se preferencialmente praticar a obrigação do “não fazer”, de forma que se provoque a paralisação imediata de toda e qualquer ação ou atividade que ponha em risco a preservação do meio ambiente.

2.1.4. Lei nº 9.605/98

Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. A Lei de Crimes Ambientais centraliza a legislação ambiental no que tange à proteção ao meio ambiente, uniformizando as penas, que passam a ter gradação adequada e infrações claramente definidas.

O código preconiza que, além das agressões que ultrapassam os limites estabelecidos por lei, são considerados também crimes ambientais as condutas que ignoram normas ambientais, mesmo que não causadoras de danos ao meio ambiente. Neste caso se enquadram os empreendimentos de potencial poluidor sem a devida licença ambiental ou em desacordo com esta, já que há a desobediência a um requisito da legislação ambiental e, por isso, ela é passível de punição por multa e/ou detenção.

Toda e qualquer atividade antrópica produz poluentes, incluindo lixo e resíduos. Assim, é considerada criminoso a poluição que provoque ou possa provocar danos à saúde humana, mortandade de animais e destruição significativa da flora, bem como, aquela que torne locais impróprios para uso ou ocupação humana, a poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público e a não adoção de medidas preventivas em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.

Também são considerados delitos o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.

São concebidos como crimes ambientais ainda: a pesquisa, lavra ou extração de recursos minerais sem autorização ou em desacordo com a obtida e a não-recuperação da área explorada; e a produção, processamento, embalagem, importação, exportação, comercialização, fornecimento, transporte, armazenamento, guarda, abandono ou uso de substâncias tóxicas, perigosas ou nocivas à saúde humana ou em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos.

Contrariamente ao que vinha ocorrendo no passado, o código define a responsabilidade das pessoas jurídicas, permitindo que grandes empresas passem a ser responsabilizadas criminalmente pelos danos que seus empreendimentos e atividades possam vir a causar à natureza. Assim, havendo culpabilidade da pessoa, tanto física quanto jurídica, que praticou a conduta proibida, esta responderá pelo

delito. As penas previstas são aplicadas de acordo com a gravidade da infração: quanto mais abusiva for a conduta, mais severa será a punição. Uma pessoa jurídica infratora não pode ter sua liberdade restringida como uma pessoa física, mas está sujeita a penalizações, que em geral são multas e/ou penas restritivas de direitos.

2.1.5. Resolução CONAMA nº 420/09

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, visto que configuram sério risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Deste modo, é fácil afirmar que esta resolução é de extrema importância para a problemática de sítios contaminados, e é considerada uma das principais referências neste assunto, uma vez que para a poluição do solo não existe uma abordagem internacional padronizada, em função de sua natureza complexa e variável.

Anteriormente a esta lei, onde configurava-se a ausência de uma posição nacional a respeito do assunto, eram utilizadas como base a legislação internacional, principalmente a “Lista Holandesa” e os padrões definidos pela U.S. EPA, ou a definida pela CETESB. A primeira lista de valores orientadores para Solos e Águas Subterrâneas para o Estado de São Paulo foi publicada no Diário Oficial do Estado em 2001, contemplando 37 substâncias, com uma revisão em 2005, que ampliou os valores para 84 substâncias (DD nº 195-2005-E, de 23.11.2005), e outra em 2014 (DD nº 045/2014/E/C/I, de 20.02.2014), sendo esta a lista vigente para os valores orientadores de São Paulo, que será abordada mais à frente.

Este código define alguns conceitos gerais como: quais são as funções principais do solo, a classificação do mesmo segundo suas qualidades e a definição de procedimentos de prevenção e controle da qualidade de acordo com cada classificação.

É importante destacar os princípios básicos para o gerenciamento de áreas contaminadas definidos pela resolução:

- I - a geração e a disponibilização de informações;
- II - a articulação, a cooperação e integração interinstitucional entre os órgãos ambientais, os proprietários, os usuários e demais beneficiados ou afetados;

- III - a fixação de metas ambientais, como subsídio à definição de ações futuras;
- IV - a racionalidade e otimização de ações e custos;
- V - a responsabilização do causador pelo dano e suas consequências; e,
- VI - a comunicação de risco.

Estes princípios servem como base para que procedimentos e ações desenvolvidos em áreas contaminadas possam eliminar o perigo ou reduzir o risco à saúde humana, ao meio ambiente, evitar danos aos demais bens a proteger e ao bem estar público durante a execução de ações para reabilitação; e possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo.

São estabelecidos ainda os chamados valores orientadores, que são subdivididos em Valores de Referência e Qualidade, Valores de Prevenção e Valores de Investigação ou Intervenção. Esta última classificação é a mais utilizada, já que representa a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais de efeitos deletérios, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

A função destes valores é proporcionar uma orientação quantitativa no processo de avaliação de áreas contaminadas. Além de serem rápidos e fáceis de implantar, permitem identificar o grau de poluição, uniformizar as ações de controle e podem ser empregados como base comparativa, facilitando o planejamento das ações e reduzindo influências políticas locais.

O sítio será considerado contaminado se, entre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental identificadas estiverem acima do valor de intervenção, havendo necessidade de uma ação na área, a qual inclui uma investigação detalhada, como será explicitado no item “NBR 15.515-3: Investigação Detalhada”, e a adoção de medidas emergenciais de acordo com cada caso, visando a minimização das vias de exposição como a restrição do acesso de pessoas à área e suspensão do consumo de água subterrânea.

Vale destacar que consta no último capítulo que a publicação deveria ser revista após 5 (cinco) anos contados a partir da sua publicação, o que significa que ela deveria ter sido reavaliada no ano de 2014. Não obstante, compete à resolução o estabelecimento de procedimentos e critérios que permitem a integração entre os órgãos públicos e a sociedade civil para o uso sustentável do solo, prevenindo impactos prejudiciais que possam desencadear a perda de sua funcionalidade.

2.2. Âmbito Estadual

2.2.1. Rio de Janeiro

2.2.1.1. *Lei 3467/00*

Esta legislação dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no estado do Rio de Janeiro, entre as quais estão advertências, multas, apreensões, suspensão ou interdição de atividades.

A lei prevê que o infrator será obrigado a reparar ou indenizar os danos ambientais por ele causados e descontaminar a área ou ecossistema degradado, independente da aplicação prévia de quaisquer sanções, devendo ainda custear estas ações reparadoras com seus próprios recursos.

Para imposição e gradação da penalidade, a autoridade competente deverá observar a gravidade do fato, os motivos da infração e suas consequências, os antecedentes do infrator, e a situação econômica do mesmo.

No caso da provocação de poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora incorrem multas. Configura ainda ação passível de sanção o ato de “iniciar obras ou atividade, construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentos pertinentes.”

Pode-se citar ainda como infrações os atos de: causar, por poluição da água, do ar ou do solo, incômodo ou danos materiais ou morais a terceiros; poluir o solo por lançamento de resíduos sólidos ou líquidos; dispor, guardar ou ter em depósito, ou transportar resíduos sólidos em desconformidade com a regulamentação pertinente; e poluir a água ou o solo por vazamento de óleo ou outros hidrocarbonetos.

2.2.1.2. *Decreto 42.159/09*

O Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) do Estado do Rio de Janeiro é instituído por este decreto, que foi alterado pelo Decreto Estadual nº 44.820, em 2 de junho de 2014. Ele define os empreendimentos e atividades que estão sujeitos ao licenciamento ambiental e os tipos de documentos que são emitidos em cada caso, de

acordo com o porte e o potencial poluidor inerente. Define ainda as licenças específicas para o gerenciamento de áreas contaminadas, de forma que podemos destacar:

- Licença de Operação e Recuperação (LOR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a operação da atividade ou empreendimento concomitante à recuperação ambiental de passivo existente em sua área, caso não haja perigo à saúde da população e dos trabalhadores;
- Licença Ambiental de Recuperação (LAR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental aprova a remediação, recuperação, descontaminação ou eliminação de passivo ambiental existente, na medida do possível e de acordo com os padrões técnicos exigíveis, em especial aqueles em empreendimentos ou atividades fechados, desativados ou abandonados. É concedida para a execução de recuperação e melhorias ambientais em áreas públicas e nas áreas com passivo ambiental de *brownfields*.
- Termo de Encerramento: 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 mediante LAR, estabelecendo as restrições de uso da área. Este documento é redigido sob as instruções da Resolução CONEMA 002/08, que aprova a DZ-0077 – Diretriz para Encerramento de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Degradoras do Meio Ambiente.

2.2.1.3. Resolução CONEMA 44/12

A referida resolução dispõe sobre a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação ambiental do solo e das águas subterrâneas por agentes químicos, no processo de licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro.

Isto significa que a partir desta data, os requerimentos de licenciamento ambiental apresentados perante o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e a SMAC (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) deverão conter Relatório de Avaliação Preliminar, a ser elaborado de acordo com a norma ABNT NBR 15.515-1, e, caso necessário, Relatório da Investigação Confirmatória.

Pode ser que o Relatório de Avaliação Preliminar seja dispensado caso a atividade desenvolvida na área não seja potencialmente causadora de contaminação, o que deve ser feito mediante justificativa técnica adequada assinada por profissional habilitado. Caso contrário, os estudos devem ser entregues, juntamente com a declaração dos responsáveis pelo empreendimento atestando a veracidade das informações prestadas ao órgão ambiental.

Ao serem constatados indícios de perigo à vida ou à saúde humana, o responsável legal deve comunicar imediatamente os órgãos pertinentes e adotar prontamente Ações de Intervenção Emergenciais necessárias para reduzir ou até eliminar o risco imediato, como por exemplo o isolamento da área.

2.2.1.4. Resolução CONEMA 46/13

A resolução em questão aprova a Norma Operacional NOP-INEA - 05 - Licenciamento ambiental e encerramento de postos revendedores de combustíveis líquidos e gás natural. Esta norma não se aplica aos empreendimentos cuja estocagem de combustíveis é feita em tanques de superfície, elevados ou flutuantes.

No caso da ocorrência de acidentes e/ou vazamentos que representem situações de perigo ao ambiente e/ou à vida humana, bem como na ocorrência de passivos ambientais, os proprietários ou responsáveis pelo local e pelos equipamentos e sistemas de abastecimento, assim como os fornecedores de combustível que abastecem ou abasteceram a unidade, responderão, solidariamente, pela adoção de medidas para controle da situação emergencial e, claro, para a recuperação das áreas impactadas, de acordo com as exigências formuladas pelo órgão ambiental competente.

A resolução firma como responsabilidade do proprietário do empreendimento comunicar, de imediato e formalmente, ao órgão ambiental competente e à distribuidora que o abastece de combustíveis, o episódio de qualquer acidente ou vazamento nele ocorrido.

Estabelece ainda que os valores de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - TPH devem ser comparados com os valores de intervenção para o solo e água, fixados em 1.000 mg/kg e 600 g/l, respectivamente.

2.2.2. São Paulo - CETESB

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental é a agência do governo do estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição. É considerado um dos órgãos ambientais mais respeitados do país pela sua credibilidade, experiência e transparência, uma vez que está sempre procurando aprimorar os padrões de gestão ambiental e os serviços prestados. Assim, muitas vezes suas diretrizes são utilizadas como referência para a análise de questões ambientais em outros locais do país.

Dentre algumas de suas publicações podemos destacar:

- *Decisão de Diretoria nº 045/2014/C/E/I, publicada em 21/02/2014.*

Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. A primeira lista da CETESB foi elaborada em 2001 a partir de equações de exposição, caracterização e quantificação de risco à saúde humana desenvolvidas pela U.S.EPA (1989), com parametrização às condições locais existentes no Estado de São Paulo. Como já mencionado anteriormente, houve uma revisão em 2005 e a de 2014 configura a lista vigente de valores orientadores.

- *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001)*

Este manual tem como objetivo principal apresentar e sistematizar, numa ordem lógica e sequencial, conceitos já consagrados e os propostos pelo mesmo, com enfoque para o gerenciamento de áreas contaminadas.

Primeira concepção deste tipo no Brasil, como já dito, constitui um documento propositivo, já que serve para exibir as propostas da equipe do projeto em termos de atuação e para a introdução de metodologias de trabalho a serem seguidas nas futuras ações da CETESB em termos de áreas contaminadas. Serve igualmente como documento consultivo, pois fornece os conceitos, informações e metodologias aos técnicos da CETESB, de órgãos e de empresas privadas, permitindo uniformizar as ações em conjunto destas instituições a fim de solucionar os problemas gerados por estes passivos ambientais. Tais metodologias serviram de referência para a determinação das diretrizes apresentadas tanto na Resolução CONAMA 420/09 como na norma ABNT NBR 15515.

2.3. Normas Técnicas

Para auxiliar na execução de estudos de Investigação Ambiental, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a norma 15.515 com o objetivo de estabelecer os procedimentos mínimos para Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada de passivos ambientais, visando melhor orientar a identificação de indícios de contaminação de solo e água subterrânea.

A NBR 15.515, escrita sob o título “Passivo ambiental em solo e água subterrânea” está dividida em três partes, que serão explicitadas a seguir.

2.3.1. NBR 15.515-1: Avaliação Preliminar

A primeira publicação da norma veio em 10 de Dezembro de 2007, tendo como base a ASTM E 1527:2005, intitulada “Prática Padrão para a Avaliação Ambiental: Fase I – Processo de Avaliação Ambiental do Site”. Sua validade teve início em 10 de Janeiro de 2008. Foi publicada ainda uma errata em 05 de Abril de 2011 para corrigir alguns equívocos.

A norma começa definindo alguns conceitos, como o de “área contaminada”, “área com suspeita de contaminação” e “área com potencial de contaminação”, importantíssimos para a confecção do que é chamado de Modelo Conceitual. O Modelo Conceitual, principal produto da Avaliação Preliminar, constitui uma síntese das principais informações relativas à área de interesse e à possível contaminação envolvida, devendo ser atualizado a cada etapa de Investigação.

A Avaliação Preliminar busca o equilíbrio entre os objetivos, os recursos disponíveis, o tempo e a redução da incerteza inerente a uma condição desconhecida. Sendo assim, ela pode não esgotar as possibilidades de encontrar todas as possíveis fontes de contaminação, mas possibilita uma maior facilidade para identificá-las e encontrá-las, sendo um pré-requisito para as etapas posteriores da Investigação Ambiental.

Para a realização deste diagnóstico inicial, o profissional habilitado deve fazer a coleta de dados existentes e uma inspeção de reconhecimento da área, com o objetivo de elaborar um relatório técnico a respeito do que foi estudado.

No que concerne os dados já existentes, deve-se proceder com um estudo do histórico e do meio físico da área, permitindo a definição de uma estratégia para atuação no

local. Assim, é feita uma revisão completa de registros existentes sobre a área de interesse e arredores, como fotos aéreas multitemporais, possibilitando uma avaliação histórico-social, administrativa e urbanística da área a ser investigada. É importantíssimo verificar todo e qualquer tipo de atividade desenvolvida anteriormente no local, com enfoque para as características que possam indicar potenciais contaminações, fazendo um levantamento de processos industriais e substâncias químicas utilizados, materiais armazenados, entre outros.

Em relação à análise do meio físico local, é feito o reconhecimento geológico, hidrogeológico, geomorfológico, meteorológico e hidrológico da região, com a função de detalhar as vias potenciais de transporte de contaminantes, bem como a localização de bens que devem ser protegidos.

Por fim, a inspeção de reconhecimento da área consiste numa detalhada vistoria da área de interesse, a fim de adquirir informações que não seriam obtidas numa simples observação. É interessante que se busque fazer entrevista de pessoas que possuem alguma relação com a área, sejam antigos proprietários e funcionários, sejam vizinhos. Estas pessoas sempre poderão auxiliar na coleta de informações do histórico do uso e ocupação da área, possíveis acidentes, impressões da população do entorno, mudanças, obras, manuseio de substâncias, entre outros.

Estas visitas terão como produto uma ficha técnica preenchida, cujo modelo se encontra anexado à Norma, facilitando a busca de dados e guiando a própria visita. Ela abrange informações como: 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 e mapa de localização. Este levantamento possibilitará a confecção do Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar, cujo cabeçalho está ilustrado na **Tabela 1** abaixo.

Tabela 1: Informações mínimas a serem apresentadas no Modelo Conceitual					
Fontes	Classificação (AP ou AC)	Substâncias ou Produtos	Mecanismos de liberação	Via de transporte dos contaminantes	Receptores / Bens a proteger

O Modelo Conceitual indicará com clareza a necessidade de novas providências na investigação.

2.3.2. NBR 15.515-2: Investigação Confirmatória

Sendo constatados indícios de contaminação na Avaliação Preliminar, deve-se então realizar esta segunda etapa de Investigação, a fim de confirmar ou não a existência de substâncias nocivas acima dos Valores Orientadores definidos pela legislação vigente, e verificar a necessidade da execução de uma Investigação Detalhada e/ou Avaliação de Risco à Saúde Humana.

A primeira edição desta parte da norma veio em 22 de Março de 2011, passando a valer a partir de 22 de Abril de 2011, e estabelece os requisitos mínimos necessários para o desenvolvimento desta etapa da Investigação.

Para o atendimento integral à norma, é preciso ainda consultar as normas listadas abaixo:

- ABNT NBR 15492:2007: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental;
- ABNT NBR 15515-1:2007: Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar;
- ABNT NBR 15495-1:2007: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção;
- ABNT NBR 15495-2:2008: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 2: Desenvolvimento;
- ABNT NBR 15847:2010: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga.

Ter essas normas como referência é essencial, uma vez que a confirmação da contaminação se dá através da coleta e análise química de amostras representativas de solo e/ou de água subterrânea no sítio para substâncias químicas de interesse (SQI). A coleta é realizada em pontos estratégicos de acordo com o que está descrito no Modelo Conceitual. É possível que outros meios sejam amostrados, como gases e vapores do solo, sedimentos, rochas, água superficial (da zona não saturada do solo) ou biota, caso haja necessidade.

É importante destacar que quando for constatada a presença de fase livre, configurando risco iminente, é imperativa a adoção de medidas emergenciais para sua remoção.

Neste contexto, deve-se então verificar a possibilidade de refino do Modelo Conceitual, através da busca por informações adicionais e/ou técnicas de resposta rápida, que permitem um acréscimo considerável na densidade de informações sobre o *site*. Entre as principais técnicas de resposta rápida citadas na norma, pode-se evidenciar a utilização do leitor PID (*Photo Ionization Detector*), que utiliza fótons com grande energia na faixa de frequência da luz ultravioleta para ionizar as moléculas de gás e assim detectar compostos orgânicos voláteis (VOC) no meio. O PID, além de não ser um equipamento caro, pode operar continuamente e produzir leituras instantâneas de alta sensibilidade.

Feito isso e com base em todas as informações já adquiridas, é elaborado o Plano de Amostragem. Para isso, é fundamental que o Modelo Conceitual esteja consistente principalmente quanto à 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; identificação dos possíveis mecanismos de liberação dos contaminantes a partir de cada fonte primária e/ou secundária identificada, dentre outras questões.

O Plano de Amostragem deve ser amplamente discutido previamente, e adotar técnicas de perfuração, instalação de poços, coleta, manuseio e acondicionamento de amostras que estejam de acordo com as normas brasileiras vigentes, como as mencionadas anteriormente, sendo internacionalmente aceitas. É extremamente recomendável que as amostras sejam analisadas em laboratórios que atendam aos requisitos estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes, atentando sempre para os prazos de validade das mesmas estabelecidos pelos métodos analíticos.

Uma vez definidos os meios a serem amostrados, é feita a distribuição dos pontos de amostragem, considerando o espaço horizontal e vertical da área de interesse, buscando abranger os locais onde se espera ocorrência das maiores concentrações de SQI de acordo com o que foi identificado no Modelo Conceitual. A quantidade de pontos deve ser suficiente para ao menos identificar ou não a possível contaminação em cada área fonte suspeita, estando a critério do profissional habilitado.

A profundidade da coleta de amostras também é definida de acordo com o exposto no Modelo Conceitual e no resultado das técnicas de resposta rápida, considerando as características de cada fonte, os mecanismos de transporte e características físico-químicas dos possíveis contaminantes, assim como as características do meio.

Quando não há indicações orientadoras para definição da profundidade, é permitido o estabelecimento de intervalos regulares para a coleta.

A escolha das SQI a serem analisadas é feita com base nas informações relativas aos contaminantes que podem estar presentes, dando prioridade, se necessário, àqueles que são considerados mais tóxicos ou nocivos aos bens a proteger e àqueles que já possuem valores orientadores definidos. Deve-se sempre dar preferência a um escopo analítico amplo. A repetição de campanhas de amostragem em geral só é realizada no caso de incerteza em relação aos resultados químicos analíticos.

É elogiável manter a rastreabilidade das amostras através de um documento chamado cadeia de custódia, que identifica todo o material coletado e registra todos os responsáveis envolvidos no caminho da amostra desde a coleta até a chegada ao laboratório, devendo ser preenchida com organização e clareza.

Uma vez com os resultados analíticos das amostras em mãos, é feita a comparação dos mesmos com os valores orientadores definidos pelos órgãos ambientais capacitados. Na ausência de valores específicos na região, deve-se sempre tomar como referência a CONAMA nº420/2009. No caso de identificação de concentrações superiores a estes valores, deve-se desenvolver um Plano de Ação, de forma a definir o que será feito posteriormente, contemplando providências imediatas ou mesmo uma Investigação Detalhada.

2.3.3. NBR 15.515-3: Investigação Detalhada

A parte mais recente das normas veio em 02 de Setembro de 2013, passando a ser válida no mês seguinte. Muitas das recomendações da NBR 15.515-2 continuam valendo para a terceira parte da norma. Até o momento de conclusão deste trabalho não houve nenhuma revisão deste trecho da norma.

A execução de uma Investigação Detalhada se faz necessária principalmente para a identificação e caracterização de outras fontes de contaminação não apontadas nos estudos anteriores, o mapeamento e/ou delimitação horizontal e vertical das plumas de contaminação, identificação das vias de exposição e receptores para a realização de Avaliação de Risco à Saúde Humana, e por fim subsidiar um plano de ações julgadas adequadas. Sendo assim, ela deve ser feita somente após o desenvolvimento de Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória no local.

Vale mencionar que a adoção de medidas emergenciais inevitáveis pode ser conciliada com o processo de Investigação Detalhada, dependendo do caso.

Dessa maneira, a Investigação Detalhada consiste no levantamento e avaliação de todo e qualquer estudo previamente realizado na área de interesse com o objetivo de atualizar o Modelo Conceitual e definir um Plano de Ação mais adequado. No corpo deste estudo deve constar uma síntese de todas as informações relevantes a respeito de instalações e operações já verificadas no empreendimento, bem como resultados de estudos anteriores, eventuais ações já desenvolvidas, caracterização do entorno, caracterização geológica e hidrogeológica, entre outros, de forma a consolidar os dados já existentes.

As informações apresentadas podem já ser suficientes ou pode haver a necessidade de um levantamento complementar. O conteúdo do relatório deve ser apresentado em formato explicativo e ilustrativo, resumindo as referências anteriores e os dados complementares obtidos. Entre os principais itens que devem ser abordados nesta análise pode-se citar a localização e classificação dos recursos hídricos, a localização de poços de abastecimento e/ou monitoramento identificados, suas características construtivas, e a indicação da existência ou não de rede de esgoto, de água tratada e/ou de águas pluviais.

Nesta etapa é possível que seja preciso realizar novas sondagens de reconhecimento e/ou instalação de novos poços de monitoramento para a caracterização geológica da área de interesse. De qualquer forma, será feita a coleta de novas amostras de solo ou água subterrânea de acordo com a contaminação indicada pelos estudos anteriores, mesmo que em poços já preexistentes. No caso da coleta de novas amostras de solo em pontos onde há poços já instalados, geralmente se faz novas perfurações ao lado destes poços, procurando sempre manter as mesmas características da sondagem anterior. Deve-se gerar desenhos dos perfis litológicos das sondagens executadas, cuja localização deve estar explicitada em planta, a partir da identificação e descrição do subsolo local.

A norma preconiza ainda o estudo da dinâmica dos fluxos subterrâneos e do comportamento dos contaminantes nas zonas não saturada e saturada. Para isso, é importante que sejam instalados poços de monitoramento, de acordo com as normas vigentes, cujas seções filtrantes estejam posicionadas estrategicamente de acordo com a distribuição litológica e com o tipo das SQI existentes. Feito isso, deve-se medir a cota topográfica absoluta do nível d'água, com leitura a partir do topo do tubo de

revestimento do poço, para o cálculo do potencial hidráulico, e assim elaborar mapas potenciométricos abrangendo as plumas de contaminação. A caracterização hidrogeológica também deve englobar a realização de ensaios de permeabilidade para determinação da condutividade hidráulica para, em conjunto com o potencial hidráulico, determinar a velocidade do lençol freático na área estudada.

Mapeamento da Contaminação:

O foco deste item crucial é compreender a distribuição horizontal e vertical da contaminação de forma a delimitar os pontos onde se verifica concentrações das SQIs acima dos valores de intervenção (VI) estabelecidos. Assim é possível identificar as plumas de fase adsorvida, dissolvida e até de fase livre existentes. O mapeamento da zona não saturada faz referência à delimitação da contaminação no solo, e o mapeamento da zona saturada diz respeito à delimitação da contaminação presente na água subterrânea, incluindo a fase livre.

Mesmo quando não foram identificadas concentrações superiores ao VI na Investigação Confirmatória nas amostras de solo, é oportuno coletar amostras em alguns pontos para reduzir as incertezas na fonte de contaminação investigada, no caso de ter sido verificadas concentrações acima do VI em amostras de água subterrânea. O mesmo deve ser feito para a água subterrânea quando forem encontrados valores superiores ao VI em amostras de solo.

Para traçar o limite horizontal das plumas de intervenção, o limite da área contaminada deve passar pelo ponto situado na metade da distância entre o ponto de amostragem que apresentou concentração da SQI superior ao VI e o que apresentou concentração inferior ao VI. Para o plano vertical, a delimitação é feita de forma análoga à delimitação horizontal. Este procedimento pode ser feito para o traçado tanto de plumas de fase adsorvida, quanto para fase dissolvida e fase livre.

No caso de verificação de concentração acima do VI em amostras de solo coletadas 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 em profundidade acima ou considerando, sempre que possível, a posição da fonte primária mais próxima. A **Figura 1** abaixo ilustra a dinâmica da água subterrânea no solo.



Vale destacar que no caso da zona não saturada, o solo é dito compartimentado em superficial, com profundidade de até 1 (um) metro, e subsuperficial, com profundidade de 1 (um) metro até o nível d'água.

Figura 1: Representação da água subterrânea no solo

Fonte: Adaptado de GONTIJO, H. M., 2008.

Em relação à distribuição da fase livre, faz-se uso de um equipamento de medição de interface água/óleo por método eletro-ótico. A sua delimitação será definida quando for obtido um número suficiente de pontos-limite necessário para o seu fechamento. É válido lembrar que a confirmação da existência de fase livre implica medidas emergenciais para sua remoção da substância conforme os procedimentos técnicos aplicáveis.

Para definição dos limites da fase livre no plano vertical, considera-se primeiro os limites do sobrenadante aparente para depois fazer a conversão para a espessura real por meio de equações.

Quando há substância menos densa que a água, deve-se usar seção filtrante plena nos poços de até 3 (três) metros. O ponto-limite superior será obtido na cota superior do nível da fase livre medida no poço de monitoramento e o inferior será, numa abordagem conservadora, a cota do nível d'água subterrânea medida no mesmo poço.

Nos casos de substância não aquosa mais densa que a água, o poço de monitoramento deverá ter seção filtrante curta, geralmente de até 1 (um) metro, posicionada na base da sondagem. Para sua delimitação no plano vertical, define-se como ponto-limite superior a cota superior do nível da fase livre medida no poço de monitoramento e o ponto-limite inferior, por conservadorismo novamente, a cota do obstáculo à infiltração.

Por fim, para o mapeamento da pluma dissolvida são instalados poços de monitoramento e poços multiníveis, isto é, poços com captação em diferentes profundidades. Preferencialmente, as amostragens devem ser realizadas em todos os poços de monitoramento instalados no empreendimento. Na caracterização da pluma em fase dissolvida utilizam-se poços de monitoramento com seções filtrantes curtas posicionadas na zona saturada, ou seja, no ato da instalação o topo da seção filtrante é posicionado próximo do nível d'água estabilizado. Estes poços podem ser instalados com mais de uma tubulação no mesmo furo, ou cada poço instalado em uma sondagem individualizada.

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

A utilização de dados de campanhas feitas em épocas distintas é permitida, desde que seja considerada a sazonalidade e que o intervalo entre as amostragens seja de no máximo 120 dias.

Ao final da Investigação Detalhada o Modelo Conceitual da área de interesse poderá ser atualizado e validado com os dados mais recentes obtidos, possibilitando um aprimoramento do Modelo Conceitual obtido na Investigação Confirmatória. O novo Modelo Conceitual servirá como base para o planejamento e realização das etapas seguintes do estudo.

Para finalizar, realiza-se o chamado Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana, um procedimento para Ações Corretivas com Base em Risco (ACBR) que representa uma metodologia de tomada de decisões, e foi desenvolvido com base na metodologia descrita na norma ASTM E 2081-00 (2010)e1 - *Guide for Risk Based Corrective Action at Chemical Release Sites* (2010) elaborada para áreas contaminadas. Em geral, estas avaliações são desenvolvidas por meio de *software*, como o *RBCA Tool Kit*, ou através das Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação fornecidas pela CETESB. A metodologia é escolhida pelo órgão ambiental ou pelo executante do estudo. Por não se tratar do objetivo do presente trabalho, optou-se por não se aprofundar na questão da Avaliação de Risco neste momento.

3. METODOLOGIA

O escopo principal deste trabalho consiste na análise crítica do gerenciamento de uma área na região metropolitana do Rio de Janeiro onde foram identificados indícios de contaminação betuminosa, proveniente das antigas atividades de uma usina de asfalto no local.

Com o intuito de produzir uma descrição rica em detalhes a respeito da área estudada buscou-se, na literatura e em relatórios de investigações geoambientais realizadas na área, referências que trazem a caracterização geomorfológica, hidrogeológica e geológica da região. Dessa maneira, deu-se subsistência à caracterização do solo local, definindo a tipologia pedológica em questão. Foi feita ainda uma caracterização do entorno da área de interesse, considerando um raio de aproximadamente 100 metros, de forma a identificar os diversos tipos de atividades desenvolvidas nas circunvizinhanças bem como a proximidade com residências. As visitas técnicas ao local de estudo possibilitaram uma avaliação *in loco* sobre o mesmo.

A reunião de todas estas informações viabilizou a realização de uma pré-avaliação das condições da contaminação do subsolo, auxiliando as etapas subsequentes da investigação geoambiental. Durante estas investigações foram feitos ensaios para conhecimento do regime hidrogeológico da área. A partir da determinação das cargas hidráulicas dos aquíferos e do entendimento do fluxo subterrâneo, visou-se definir e analisar as direções preferenciais de transporte dos contaminantes e sua variabilidade temporal.

Fez-se uma revisão da literatura sobre as propriedades físico-químicas dos contaminantes identificados na área, a fim de se compreender sua participação qualitativa no mecanismo de transporte. A pesquisa de contaminantes neste trabalho abrangeu apenas os compostos de HPA recomendados pela U.S. EPA para monitoramento ambiental. Analisou-se também a legislação brasileira vigente relacionada ao tema e os resultados analíticos das amostras de solo e água subterrânea coletadas durante as investigações geoambientais.

Com base na estrutura conceitual referente à problemática da área contaminada em questão, foi feita uma análise crítica do gerenciamento realizado no local. Neste contexto, o presente trabalho busca fazer uma síntese de todas as informações obtidas, e avaliar o cenário das condições de contaminação do subsolo de forma a contribuir com o desenvolvimento de Investigações Geoambientais.

4. ESTUDO DE CASO: APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

As informações a seguir foram obtidas a partir dos relatórios de Investigação Confirmatória (Março, 2014) e Investigação Detalhada (Julho, 2014) do local. A empresa contratada disponibilizou-as para consulta, possibilitando a utilização de dados específicos da área no presente trabalho, os quais foram complementados por diversas fontes da literatura.

Assim, tendo em vista a metodologia apresentada anteriormente, procede-se a fazer a apresentação, análise e discussão dos dados encontrados.

4.1. Caracterização da Área de Interesse

4.1.1. Localização

A área de interesse, adquirida por uma construtora, está situada no município de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro. Faz parte da Baixada Fluminense, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e localiza-se a noroeste da capital do estado, a cerca de 28 km de distância. O município faz limite com os municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Japeri, Mesquita, Miguel Pereira, Rio de Janeiro, Seropédica e Queimados. Seu principal acesso rodoviário é a Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

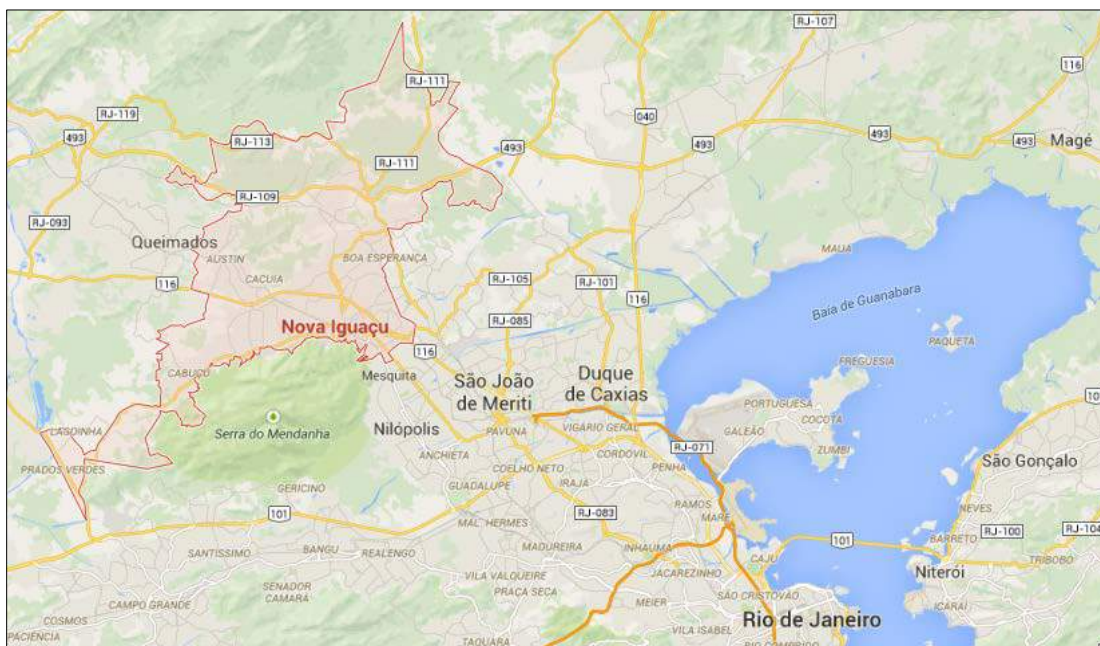


Figura 2: Localização de Nova Iguaçu – Fonte: Satélite Google Maps, 2014.

4.1.2. Caracterização Geológica, Hidrogeológica e Geomorfológica Regional

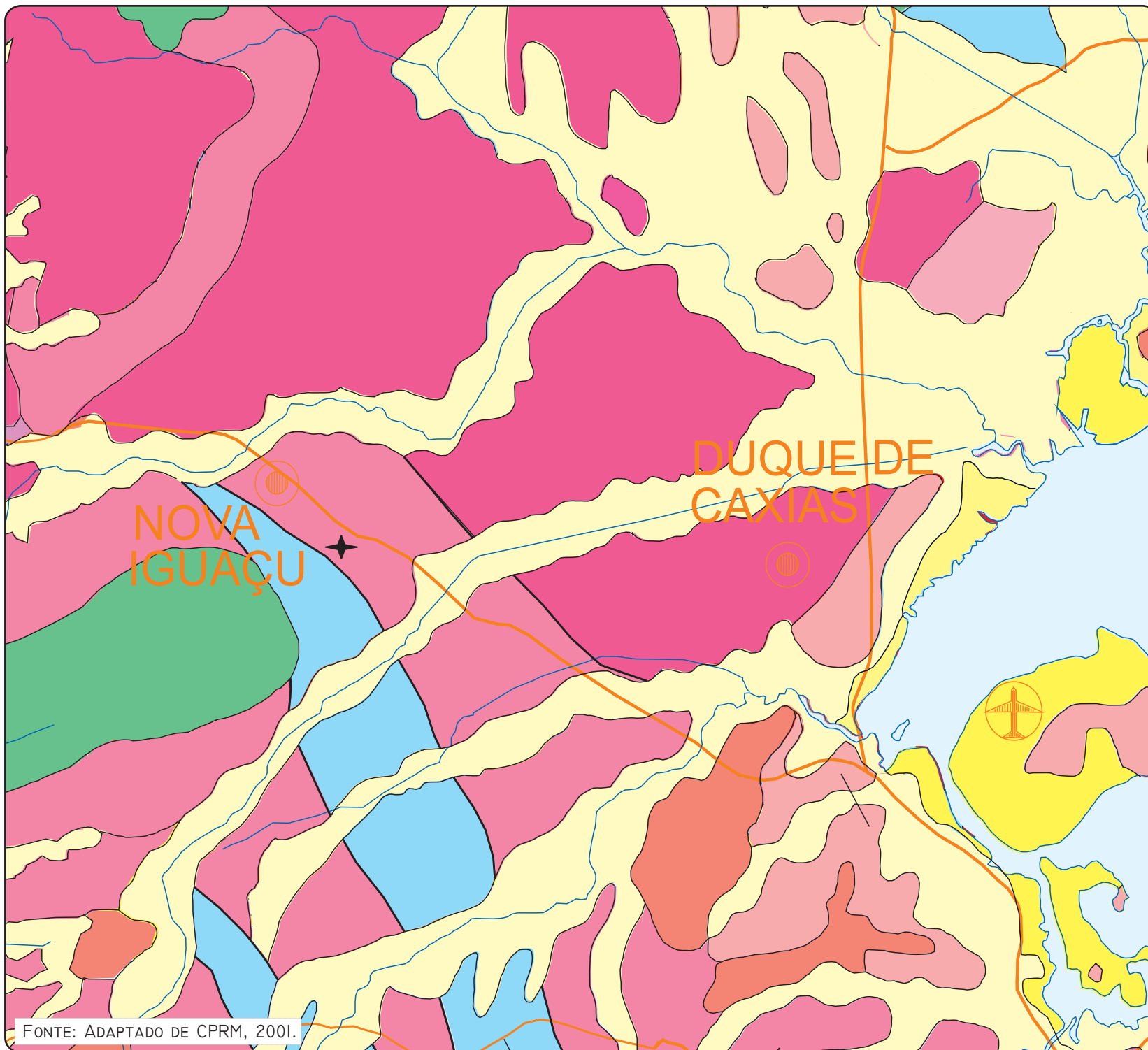
A caracterização geológica regional tomou como fonte de informação o relatório referente ao mapa geológico, escala 1:400.000, elaborado pela CPRM em convênio com o DRM-RJ.

As principais formações encontradas na região são listadas na **Tabela 2**.

Tabela 2: Caracterização Geológica	
Unidade	Descrição
Depósito Praias Eólicas, Marinhas e/ou Lagunares	Areias quartzosas esbranquiçadas finas a médias bem selecionadas, recobertas por areia eólica na forma de depósitos eólicos mantiformes ou dunas transgressivas. Estratificações cruzadas de pequeno e grande porte nas fácies eólicas.
Depósito Flúvio-Lagunares	Areias e lamas sobrejacentes a camadas de areias biotétricas e/ou sedimentos lamosos de fundo lagunar, e ocorrências de turfas. Nos depósitos associados ao canal fluvial (depósitos residuais de canais) ocorrem areias e cascalhos.
Unidade Santo Aleixo	Fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragneisse parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção). Intrusões tardias de leucogranito tipo-S são comuns.
Suíte Serra dos Órgãos	Hornblenda-biotita granitoide de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica composição cálcio-alkalina. Texturas e estruturas magmáticas preservadas com foliação tangencial em estado sólido superimposta. Localmente podem ser observados enclaves e paleodiques anfíbolíticos.
Complexo Paraíba do Sul	Unidade São Fidélis Granada-biotita-sillimanita gnaïsse quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaïsse calcissilicático e quartzito frequentes. Variedades com cordierita e sillimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaïsse. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática e quartzito. Em raros domínios com baixas taxa de strain estruturas turbidíticas são preservadas.
Complexo Rio Negro	Unidade Rio Negro: Ortogneisse bandado, TTG, de granulação grossa, texturas porfíricas recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial. Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfíbolito) ocorrem localmente. Intrusões de granada leucogranitos tipo-S e de apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgãos ocorrem regionalmente. Plútons correlatos: Gnaïsse Archer; Gnaïsse Tingüi; Complexo Trajano de Moraes; Complexo Capim Angola.
Rochas Alcalinas Cretácicas/terceárias	Sienitos, nefelina sienitos, foiaítos, fonolitos, traquitos, pulaskitos, umptekitos, fenitos. Intrusão Alcalina da Ilha de Cabo Frio, Suíte Alcalina do Tinguá, Maciço Alcalino da Serra do Mendanha, Complexo Alcalino de Itaúna, Maciço Alcalino de Tanguá, Maciço Alcalino de Soarinho, Maciço Alcalino de Rio Bonito, Maciço Alcalino Morro dos Gatos, Maciço da Serra dos Tomazes, Intrusão Alcalina de Marapicu, Maciço Alcalino de Passo Quatro, Maciço Alcalino de Itatiaia, Maciço Alcalino de Morro Redondo, Maciço Alcalino do Morro São João.
Granitóides Pós-Tectônicos	(Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfírica localmente com foliação de fluxo magmático preservada. Ocorrem como corpos tabulares, diques, stocks e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidências de magma mingling e mixing. Fases aplíticas tardias são abundantes.

Fonte: CPRM/DRM-RJ, 2001.

A **Figura 3** apresenta o Mapa Geológico Regional.



LEGENDA:

- DEPÓSITO PRAIAS EÓLICOS, MARINHOS E/OU LAGUNARES
- DEPÓSITO FLÚVIO-LAGUNARES
- COMPLEXO RIO NEGRO
- UNIDADE SANTO ALEIXO
- SUÍTE SERRA DOS ÓRGÃOS
- ROCHAS ALCALINAS CRETÁCIOS/ TERCEARIAS
- COMPLEXO PARAÍBA DO SUL
- GRANITÓIDES PÓS-TECTÔNICOS
- LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

PROJETO:

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

CURSO:

ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:

109042440

DESENHISTA:

FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:

Nova Iguaçu - RJ

FIGURA 3:

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

DATA:

Março/2015



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

A área de interesse localiza-se a aproximadamente 16 quilômetros de distância da Baía de Guanabara e está inserida na Macrobacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, mais precisamente na sub-bacia do Rio Sarapuí.

O estudo da geomorfologia da região e da área de interesse foi realizado com base na carta Geomorfológica, escala 1:250.000, elaborado pela CPRM em convênio com o DRM-RJ e na visita técnica realizada na área. A geomorfologia da região onde está inserida a área de interesse compreende duas principais morfologias distintas.

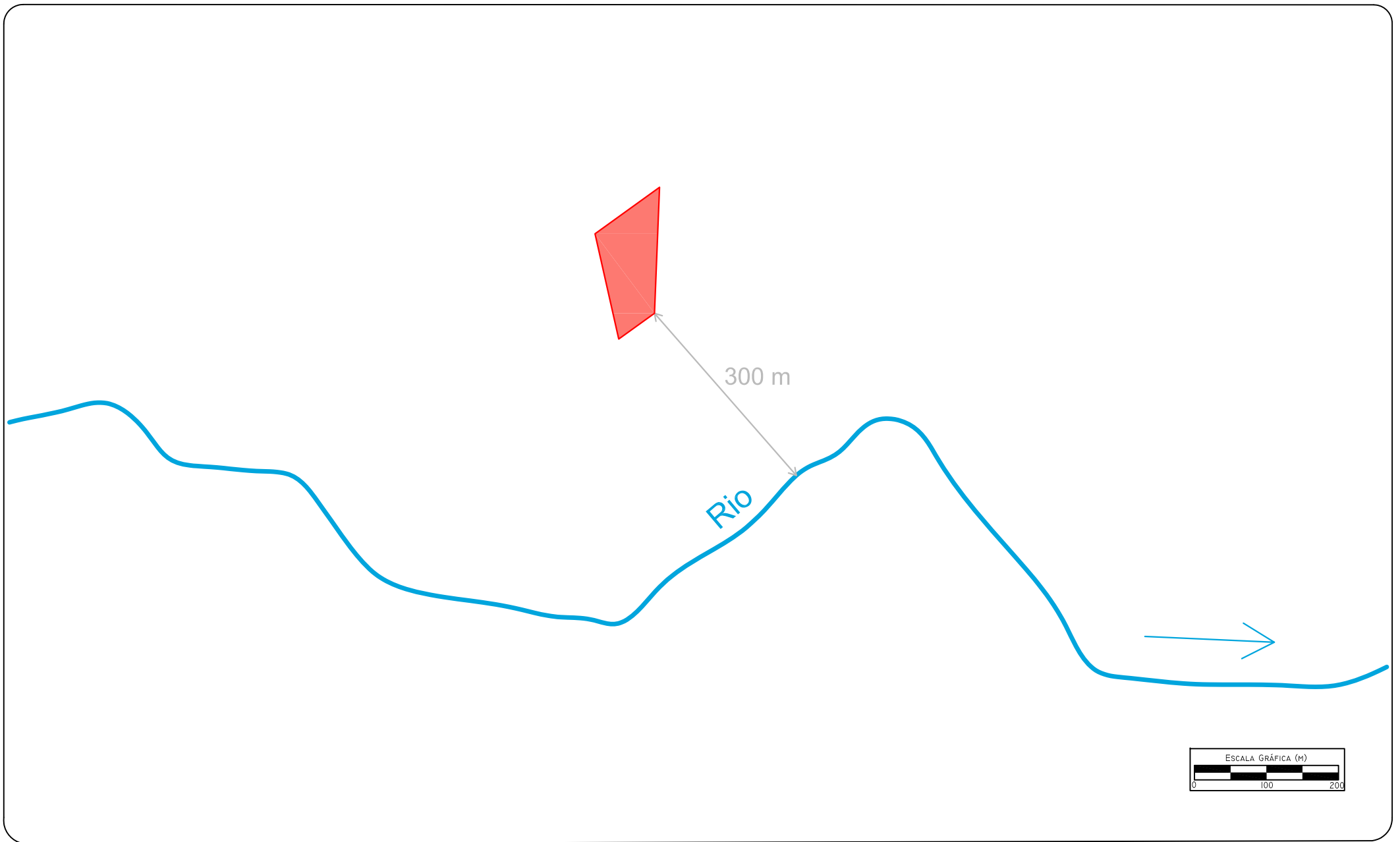
A Planície Colúvio-Alúvio-Marinhas, que é formada por superfícies sub-horizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encostas) e Marinhas. Terrenos mal drenados com padrão de canais sinuosos e divagantes. A outra formação morfológica consiste nos Maciços Intrusivos Alcalinos, compostos por um relevo dômico sustentado por Maciços Alcalinos (Maciço do Mendanha), com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, com topos arredondados, por vez preservando uma borda circular (cratera vulcânica erodida).

De acordo com os boletins de sondagens geotécnicas realizadas no terreno, o perfil de solo consiste basicamente de uma camada de areia fina a média, argilosa, até 1,5 metros de profundidade, seguida por uma camada de argila siltosa até 3 metros e em seguida é observado um solo silto-argiloso até uma profundidade que varia de 4,5 a 15 metros.

Em relação à hidrologia, a recarga do aquífero local ocorre através da infiltração direta das águas das chuvas nas áreas densamente vegetadas do Maciço Gericinó Mendanha. A principal zona de descarga da região é a Baía de Guanabara. O empreendimento não é cortado por nenhum rio, porém, perto da área na direção sul encontra-se um rio que deságua no Rio Sarapuí, e este posteriormente deságua na Baía de Guanabara. O rio em questão aparentemente não se encontra canalizado em nenhum trecho de sua extensão.




Devido à forte urbanização caracterizada pelas construções prediais, ruas e avenidas, as águas das chuvas infiltram minimamente no solo, originando um escoamento superficial significativo, que é captado pelas galerias de águas pluviais.

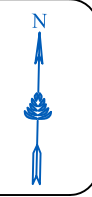
A **Figura 4** apresenta a localização da principal zona de descarga da área de interesse.



PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	CURSO: ENGENHARIA AMBIENTAL
TÍTULO: ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO	DRE Nº: 109042440
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE: NOVA IGUAÇU - RJ	DESENHISTA: FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES
	DATA: MARÇO/2015

FIGURA:
04
ZONA DE DESCARGA DA
ÁREA DE INTERESSE

- LEGENDA:
-  ÁREA DE INTERESSE
 -  PRINCIPAIS RIOS
 -  SENTIDO DE DESCARGA



4.1.3. Descrição do Entorno

O terreno investigado está localizado em uma área de ocupação mista. Nas suas cercanias podemos observar empreendimentos comerciais, industriais e residenciais. As principais atividades que podem apresentar potencial de contaminação do solo e da água subterrânea, situadas no entorno da área de interesse, são apresentadas a seguir.

Primeiramente há um parque industrial de alimentos composto por 5 unidades fabris, cujas atividades se iniciaram em 1951. Entre seus principais produtos, podem ser destacados óleos, cereais, farinhas e amidos, dentre outros artigos alimentícios. Segundo o processo de licenciamento do local junto ao INEA, como potenciais de contaminação do local foram identificadas as seguintes fontes: 01 tanque aéreo de óleo diesel de 15.000 L, para abastecimento da frota de veículos das unidades fabris; 01 tanque de óleo BPF; uma área de refinaria, onde ocorre o refino do óleo bruto; e uma oficina de manutenção, onde são realizados reparos de veículos leves e pesados da empresa. Em função da distância entre as fontes potenciais detectadas na área da indústria e a área de interesse, é pouco provável que estas fontes exerçam alguma influência na qualidade do subsolo na área investigada.

A oeste da área de interesse encontram-se duas concessionárias, que iniciaram suas atividades no local em 2004. Segundo o processo de licenciamento do local junto ao INEA, além da revenda de veículos, são realizados serviços de lavagem, manutenção, troca de óleo, funilaria e pintura, os quais envolvem a utilização de óleos, tintas, solventes, entre outras substâncias. Em função da distância entre as fontes potenciais detectadas na área das concessionárias e a área de interesse, é pouco provável que estas fontes exerçam alguma influência na qualidade do subsolo na área investigada.

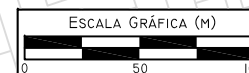
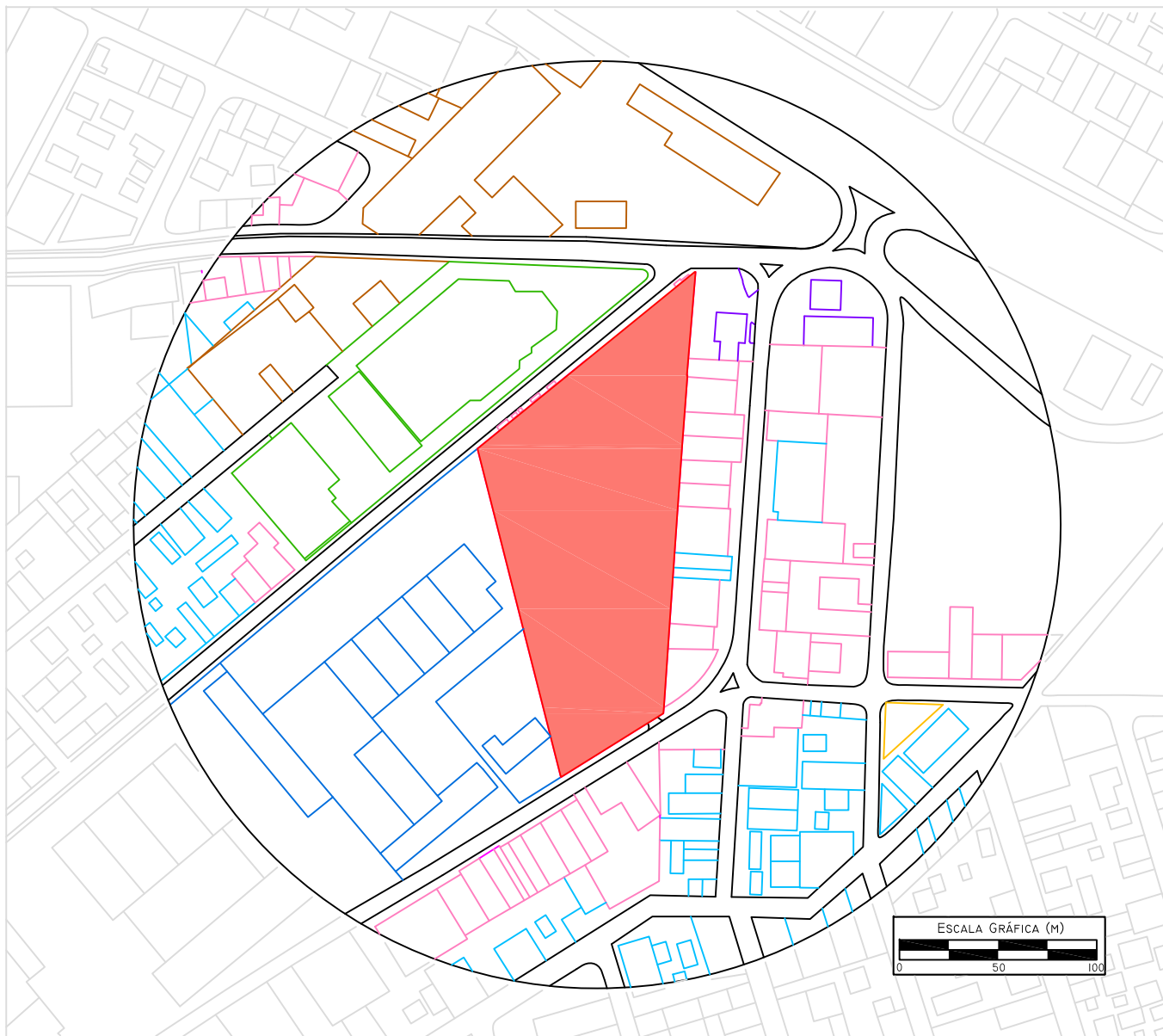
A leste do terreno foram observados dois postos de combustíveis. Um dos postos, adjacente à área de interesse, começou a funcionar no local a partir de 2006. O outro posto, localizado a cerca de 50 metros do empreendimento, funciona no local desde 2010. Segundo o processo de licenciamento do local junto ao INEA, na área do posto adjacente ao terreno, já foram realizados estudos geoambientais que não identificaram a presença de fase livre e dissolvida de derivados de petróleo. Devido à proximidade entre este posto e a área de interesse, suas atividades podem influenciar a qualidade do solo e da água subterrânea na área de interesse, visto que as áreas de tancagem subterrânea e de lavagem de veículos estão situadas nas proximidades do muro que faz a divisa dos dois terrenos. Para o outro posto supracitado, não foram encontrados processos de licenciamento ambiental.

A leste da área de interesse existem diversas oficinas mecânicas onde são realizados serviços de troca de óleo, pintura, lavagem, lanternagem, alinhamento, entre outros. Algumas dessas atividades geram resíduos contaminados com óleos e graxas. Além disso, podem gerar resíduos, como pilhas e baterias de equipamentos eletrônicos e veiculares, entre outros acumuladores de energia elétrica. Em função do baixo volume de produto manuseado nestas atividades e ter sido verificada pavimentação em concreto em todas as instalações, é pouco provável que estas fontes exerçam alguma influência na qualidade do subsolo na área investigada.

Além destas atividades, encontram-se instalados também pequenos comércios, uma universidade e uma escola.

Há galerias de fornecimento de água, bem como condutoras de águas pluviais e esgoto sanitário nas ruas adjacentes.

A **Figura 5** apresenta as cercanias da área de interesse e as áreas do entorno com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea.



PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015

FIGURA:

05

MAPA DAS CERCANIAS

LEGENDA:

- | | | | |
|--|-------------------|--|-----------------------------|
| | UNIVERSIDADE | | POSTO DE COMBUSTÍVEIS |
| | COMERCIAL | | ÁREA RESIDENCIAL |
| | ÁREA DE INTERESSE | | CONCESSIONÁRIAS DE VEÍCULOS |
| | ÁREA INDUSTRIAL | | ESCOLA |

4.1.4. Histórico de Ocupação do Solo e de Diagnósticos Ambientais

A área de interesse foi adquirida para a construção de um empreendimento comercial (supermercado). O terreno em questão possui uma área total aproximada de 15.800 m².

Em fevereiro de 2014 foi elaborada uma Avaliação Preliminar para a área de acordo com a NBR 15515-1, através da qual foram obtidas informações relativas ao funcionamento de uma antiga indústria de asfaltos no local.

As atividades da indústria foram iniciadas no local em 1954, porém não se sabe a data exata de seu encerramento. As informações relativas ao funcionamento da empresa foram obtidas no processo de licenciamento junto ao INEA. Até o momento, não foi obtida nenhuma planta de situação oficial da empresa, indicando a localização exata de cada uma das atividades/estruturas de interesse. Sendo assim, pode-se afirmar que o objeto de estudo do presente trabalho se enquadra na classificação de *brownfield*.

Segundo consta no processo do INEA, as atividades da empresa eram: produção de impermeabilizantes, aditivos, oxidação de asfalto, destilação de alcatrão, produtos fibro-asfálticos, tintas especiais, imunizantes e adesivos.

No memorial descritivo da indústria constam cinco diferentes seções: Seção de Asfalto Oxidado, Seção de Feltro Asfáltico, Seção de Tintas Asfálticas, Seção de Emulsão e Seção de Impermeabilizante. Durante a visita realizada na área de interesse, foram identificadas três seções, através de textos escritos no muro situado a leste do terreno, sendo elas: Seção de Asfalto, Seção de Massas e Tintas Asfálticas, e Seção de Fibro-Asfálticos. A posição de cada uma dessas áreas está apresentada na **Figura 9** ao fim do item 4.1.4. deste trabalho.

Na Seção de Asfalto Oxidado (Seção A), o asfalto chegava em caminhões dotados de aquecimento e era transferido para 02 (dois) reservatórios (80 toneladas e 60 toneladas), os quais eram mantidos aquecidos através de vapor a 100°C. Em seguida, o asfalto era bombeado para 02 (dois) reatores, sendo um deles utilizado como reservatório e no outro era injetado uma massa de ar, produzida por soprador. Esta operação liberava as frações mais leves do asfalto que eram condensadas e aproveitadas para a queima nos combustores. Ao lado da Seção de Asfalto foi identificada a presença de dois tanques aéreos, em foto aérea datada de 1996, que provavelmente eram utilizados para o armazenamento do asfalto.

Na Seção de Feltro Asfáltico (Seção B), o asfalto oxidado na etapa anterior, era impregnado com papelão de celulose. Na seção de Tintas Asfálticas (Seção C), o asfalto oxidado na Seção A, era misturado a solventes e cargas minerais (nafta), em moinhos de bola. Na Seção de Emulsão (Seção D), ocorria a mistura de emulsão asfáltica, proveniente da Seção A, com cargas minerais como a argila, feita em misturadores verticais. Na Seção de Impermeabilizante (Seção E), era feita a composição de siliconatos e oleatos através de mistura simples e decantação.

As **Tabelas 3, 4 e 5** apresentam a relação de equipamentos, as áreas de estocagem e as matérias-primas utilizadas na indústria. Estes dados constam no formulário de requerimento da Licença de Operação, apresentada pela empresa ao INEA em 1988.

Tabela 3: Relação dos Equipamentos da Fábrica

Descrição do Equipamento	Data da Instalação	Capacidade
Autoclave para oxidação	1971	20 toneladas
Caldeira para vapor	1971	800 K/h
Tanque de aquecimento	1972	6 toneladas
Máquina para produção de feltro asfáltico	1960	-
Resfriamento de feltro	1960	-
Serra elétrica vertical	1970	-
Moinho de bola	1980	-
Mexedor de tintas	1973	-
Tanque de aquecimento de água	1971	1000 L
Tanque de aquecimento de água	1987	500 L
Máquina seladora de plásticos	1985	-

Fonte: Processo de licenciamento da indústria de asfaltos junto ao INEA.

Tabela 4: Relação das Áreas de Estocagem

Produto	Forma de armazenamento	Capacidade
Óleo BFP	Tanque	100 Toneladas
Asfalto	Tanque	80 Toneladas
Asfalto Oxidado	Tanque	100 Toneladas
Óleo Diesel	Tanque	1 Tonelada
Óleo Diesel	Tanque	30 Toneladas
Óleo Diesel	2 Tanques	1 Tonelada
Solvente	Tanque Subterrâneo	10 Toneladas
Solvente	Tanque Subterrâneo	20 Toneladas
Carga Mineral	Galpão	20 Toneladas

Fonte: Processo de licenciamento da indústria de asfaltos junto ao INEA.

Os tanques de Óleo BPF (100 toneladas), Asfalto (80 e 100 toneladas) e Óleo Diesel (30 toneladas), em função das dimensões, provavelmente são os tanques aéreos que aparecem nas fotos aéreas de 1976 e 1996 apresentadas e analisadas no item 4.1.1.1.

do presente trabalho. Quanto aos demais tanques de armazenamento, não é possível precisar a localização exata.

Tabela 5: Relação de Matérias-primas Utilizadas

Matéria-prima	Quantidade Anual	Matéria-prima	Quantidade Anual
Parafina	12 Kg	Amônia – Amoníaco	169,5 L
Ácido Esteárico - Estearina	36,8 L	Silicato de Potássio Verde	5.880 Kg
Sanix P	47,7	Potassa Cáustica em escamas	1.375 Kg
Policling 200	168,5	Sulfato de Alumínio Granulado	55.500 Kg
Ácido Fosfórico	90 L	Cloreto de Cálcio Granulado	27.800 Kg
Alcatrão de Hulha	4370 Kg	Sandostone Uzi Liquido	925 Kg
Asfalto 85/100	1.621.879 Kg	Lingnosulfato de Sódio	222,5 Kg
Emulsão Asfáltica RL 1C	16.780 Kg	Papelão	68.877 Kg
Piche	32.420 Kg	Óleo Creosoto	97.398 L
Asfalto 50/60	24.000 Kg	Óleo BPF	82.260 Kg
Borra neutra	472.615 Kg	Óleo Combustível tipo “G”	53.400 L
Caulim Branco	44 Kg	Dióxido de Titânio Rotilo	49,5 Kg
Estearato de Zinco	14,6 Kg	Neocryl A - 0065	179,5 Kg
Cimento Branco	2.150 Kg	Neocryl A – 2258	2660 Kg
Bentonita Sódica	37.500 Kg	Emulsão 010	2.400 Kg
Cloreto de Potássio	50 Kg	Trietanolamina	33,6 Kg
Dicromato de Sódio	1.950 Kg	Querosene	60.473 L
Borato de Sódio	3,2 Kg	Tolueno	17.720 L
Cal Hidracal	6.740 Kg	Solvesso 100	7.200 L
Argila	131.359 Kg	Busan BL 1009	583,2 Kg
Caseína Industrial Moída	73,6 Kg	Aguarras Vegetal	1.079,5 L
Oleína	1.360 Kg	Etil Glicol	1.230 L
Soda Cáustica	531 Kg	-	-

Fonte: Processo de licenciamento da indústria de asfaltos junto ao INEA.

Através da relação de matérias primas fica evidenciado o uso de grandes quantidades de substâncias com grande potencial de contaminação do meio subterrâneo, tais como, alcatrão de hulha, asfalto, óleo creosoto, óleo BPF, óleo combustível, querosene, Tolueno, etc. Segundo consta no processo do INEA, os produtos acabados ficavam armazenados em galpão fechado. Além disso, o processo menciona que os efluentes líquidos da indústria se resumiam em esgotos domésticos e os resíduos

sólidos, identificados como compostos de aparas de papel, papelão e serragem, contendo traços asfálticos. Os esgotos sanitários passavam por fossa séptica antes do lançamento na rede coletora. Não há maiores informações sobre outros efluentes industriais ou estações de tratamento pelas quais os mesmos deveriam passar.

Na visita técnica realizada em fevereiro de 2014, foi observado que todas as estruturas da antiga indústria de asfaltos já haviam sido completamente removidas. A maior parte das áreas onde ficavam localizados os antigos galpões está coberta por vegetação alta, como mostram as fotos a seguir.



Figura 6: Vista do terreno - Fonte: Autoria própria.

Em alguns pontos, foram identificadas pequenas quantidades de piche no pavimento, como ilustra a figura abaixo.

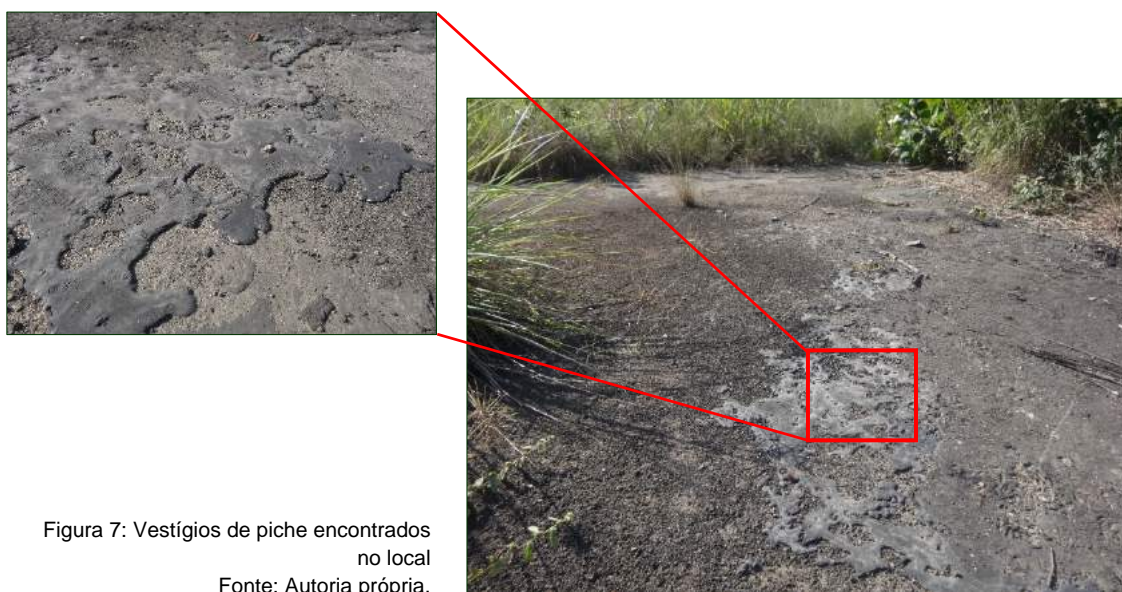


Figura 7: Vestígios de piche encontrados no local
Fonte: Autoria própria.

Atualmente, parte do terreno está sendo utilizada como estacionamento dos ônibus de uma viação rodoviária, que não realiza nenhum tipo de serviço no local.

Não foi possível obter uma planta de situação da antiga indústria e, por isso, o mapa de situação da área de interesse, apresentado na **Figura 9** ao fim deste item 4.1.4., foi confeccionado a partir das fotos aéreas do local de 1976 e 1996. O produto final da Avaliação Preliminar foi um Modelo Conceitual da área que, com base em todo o histórico de operações, definiu as áreas suspeitas e com potencial de contaminação, conforme será apresentado na seção “Resultados da Investigação” deste trabalho. O Modelo Conceitual serviu como orientação para o planejamento do escopo das Investigações Confirmatória e Detalhada.

Posteriormente, em março de 2014, foi feita uma Investigação Confirmatória no local. Foi detectada a presença de produto sobrenadante em fase livre, com alta viscosidade e aparência de óleo BPF, no poço de monitoramento PM-10, como mostrado na **Figura 8** ao lado.

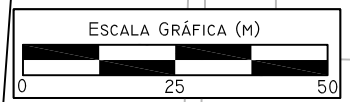
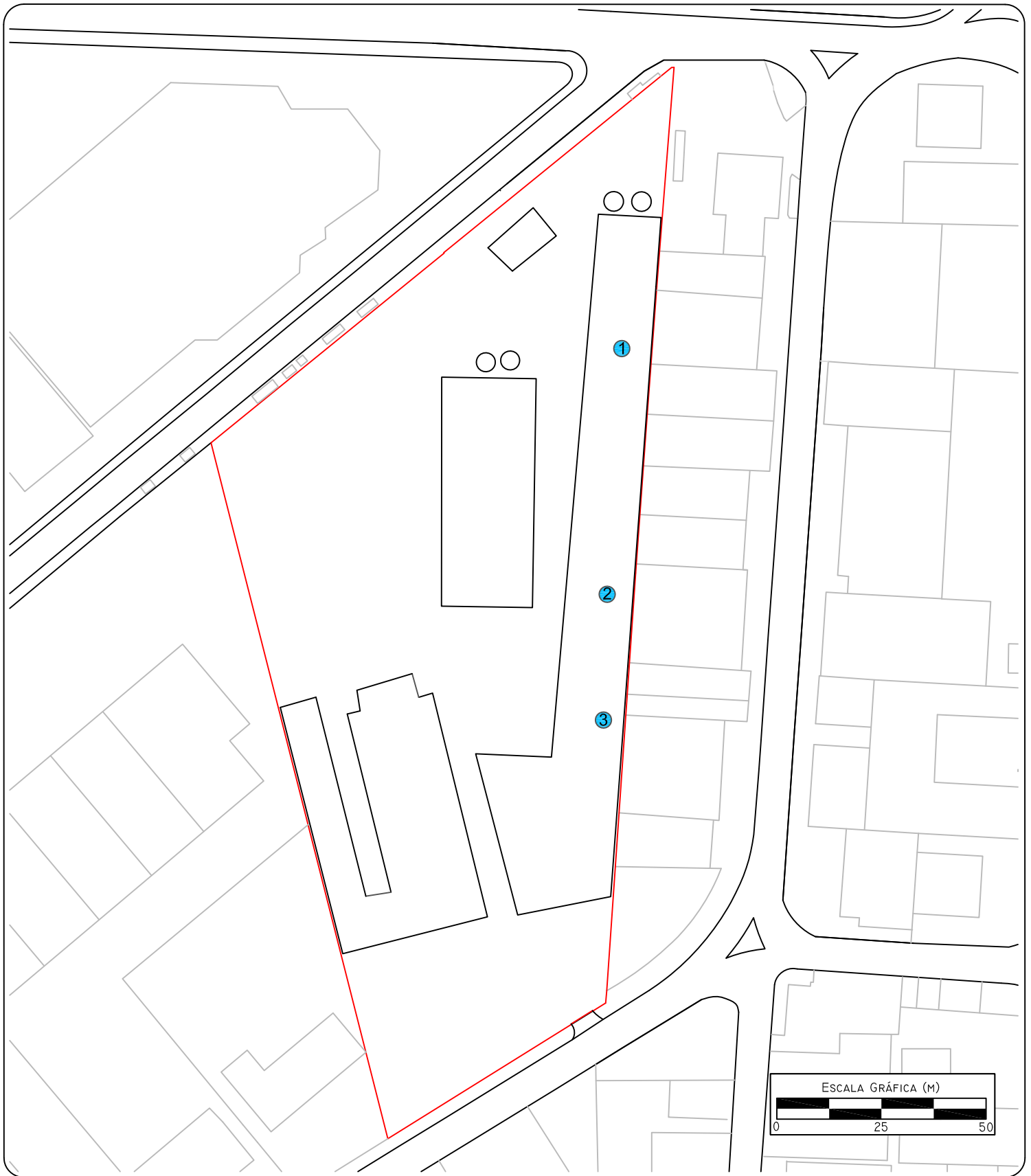
Tal estudo constatou nas amostras de solo concentrações superiores aos valores de referência para os compostos Benzeno, Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e para o valor total de TPH. No caso das amostras de água subterrânea, as análises químicas indicaram concentrações superiores ao valor de investigação para os metais Ferro e Manganês, além dos mesmos compostos supracitados.



Figura 8: Fase livre de produto oleoso detectada no poço de monitoramento PM-10
Fonte: Autoria própria.

Como não foi possível delimitar por completo todas as plumas, foi recomendada a realização de uma Investigação Detalhada, feita nos meses de junho e julho de 2014. Em função dos resultados obtidos, as plumas de fase adsorvida foram completamente delimitadas. Para as amostras de água subterrânea, a delimitação de algumas plumas de contaminação não puderam ser completamente “fechadas”, o que será feito num estudo complementar por razões comerciais relacionadas ao projeto, não permitindo a apresentação de tais resultados no presente trabalho.

Os resultados de todos os estudos ambientais realizados serão apresentados e analisados ao longo deste trabalho.



LEGENDA:

ÁREA DE INTERESSE

ANTIGAS EDIFICAÇÕES

ANTIGOS TANQUES AÉREOS

ÁREAS OPERACIONAIS IDENTIFICADAS:

- SEÇÃO DE ASFALTO
- SEÇÃO DE FIBRO ASFÁLTICOS
- SEÇÃO DE MASSAS E TINTAS ASFÁLTICAS

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:

09

MAPA DE SITUAÇÃO



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.1.4.1. Análise de Fotos Aéreas

Para traçar o histórico da área de interesse, na busca por informações a respeito das atividades já desenvolvidas na área, fez-se uma análise multitemporal de fotos aéreas e de satélite, comparando fotos de várias épocas ou sobrevoos. As fotos aéreas utilizadas foram obtidas no Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. O enfoque desta análise foi identificar locais, características e condições de disposição de resíduos, instalação e antigos prédios industriais no local.

Além do terreno investigado, as áreas vizinhas, destacadas nas fotos, também são minuciosamente analisadas, pois uma construção vizinha pode ter influência direta sobre a qualidade do solo e água subterrânea do local investigado ou ser influenciada. A seguir é apresentada uma seleção de fotos aéreas e de satélite de vários anos.

As **Figuras 10, 11 e 12** ao final deste item 4.1.4.1. apresentam as fotos aéreas de 1976 e 1996, de satélite de 2004 e 2006, e de satélite de 2013, respectivamente.

FOTO AÉREA DE 1976:

Na foto aérea de 1976 é possível observar cinco edificações e dois tanques aéreos na área de interesse, confirmando o fato de que já eram realizadas, no local, as atividades da indústria. A presença de cobertura impossibilita a identificação das instalações da fábrica, e conseqüentemente, das atividades realizadas no interior dos galpões. Na parte mais ao norte do terreno é possível verificar uma área ocupada, porém não é possível precisar qual a atividade realizada.

A área 1 já era ocupada pelo parque industrial de alimentos.

Na área 2, atualmente pertencente a uma rede de Universidades particular, existia apenas uma edificação, e não foi obtido nenhum registro de atividade comercial/industrial que tenha sido realizada no local.

A área 3, que atualmente é ocupada pelas concessionárias, era visivelmente dividida em 02 lotes, onde ocorriam atividades distintas, porém ambas de caráter comercial. Não foram obtidas informações a respeito desse antigo uso.

A área 4, que atualmente é ocupada por um posto de combustíveis, possuía outra atividade, podendo ser observadas estruturas aparentemente comerciais. Porém, não foram obtidas informações sobre o uso anterior.

Na área 5, existiam algumas construções de caráter residencial/comercial.

A área 6 já aparecia ocupada por outro posto de combustíveis. Segundo o CNPJ vinculado ao posto, este teve suas atividades iniciadas em 1975. Porém, não se sabe quando suas atividades foram encerradas. Atualmente, no local funciona um posto de outra rede.

Nas áreas 7, 8 e 9 existiam algumas construções de caráter comercial/residencial.

FOTO AÉREA DE 1996:

Nesta foto aérea, é observado o mesmo número de edificações na área de interesse, no entanto, é possível identificar dois novos tanques aéreos, instalados próximos à área nomeada de “Seção de Asfalto”, a qual foi identificada na visita de campo, através de um texto escrito no muro.

A área 1 permanece ocupada pelo parque industrial de alimentos.

A área 2, aparentemente, foi dividida em dois lotes, sendo que em um deles aparecem duas edificações: uma recém construída e uma que já estava presente na foto aérea de 1976. O outro lote encontra-se livre de construções e, visivelmente, sem uso.

A área 3 aparece totalmente modificada, tendo suas estruturas antigas demolidas e novas instalações construídas no período supracitado (20 anos). Nesta foto, a área parece ser ocupada por uma única empresa, sendo observados diversos galpões. Não foram obtidas informações a respeito das atividades desenvolvidas no local.

Na área 4, todas as edificações existentes em 1976 foram demolidas, e a área encontrava-se, aparentemente, livre de construções.

Nas áreas destacadas 5, 8 e 9, foram construídas novas edificações de caráter comercial, já a área 6 permaneceu ocupada por posto de combustíveis.

Apesar de haver outros levantamentos aéreos no Rio de Janeiro entre 1985 e 2004, não foi possível obter fotos que abrangessem a área estudada. O aplicativo Google Earth disponibiliza fotos a partir do ano de 2004, porém, em função da baixa qualidade de diversas imagens para a aplicabilidade do estudo e por não terem sido observadas mudanças significativas em algumas delas, as fotos de satélite utilizadas para o presente trabalho são as descritas abaixo.

FOTO DE SATÉLITE DE 2004:

Na área de interesse, quase todas as estruturas da indústria foram demolidas, ilustrando o fim das atividades da indústria de asfaltos. Segundo o RGI, o terreno foi adquirido por outros proprietários em 1997.

A área 1 permanece ocupada pelo parque industrial de alimentos, e é possível observar um aumento de sua área operacional.

A área 2 passou por mudança de uso, sendo ocupada, a partir de 2001, pela Universidade. Nesta foto aérea já é possível identificar as estruturas da mesma.

A área 3 passou a ser ocupada pela concessionária, que iniciou suas atividades no local em Maio de 2004. Já a área 4 passou a ser ocupada por um posto de combustíveis, porém, não foi encontrada sua razão social.

As áreas destacadas 5, 6, 7, 8 e 9 não sofreram mudanças significativas.

FOTO DE SATÉLITE DE 2006:

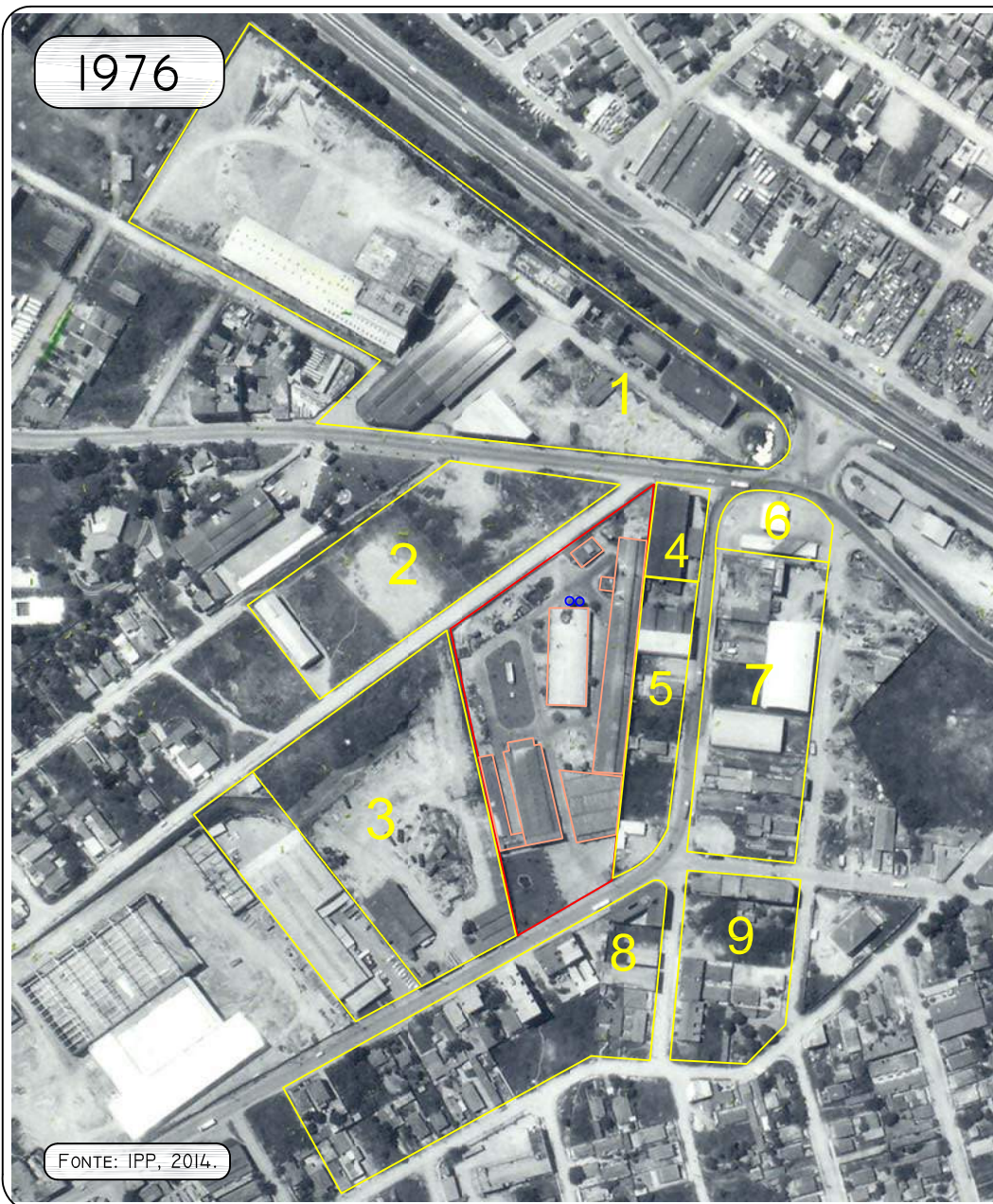
Nessa foto aérea podemos notar que a área de interesse aparece livre de construções.

As áreas destacadas (1 a 9) apresentam o mesmo uso do ano anterior, e não foram observadas mudanças significativas. Em abril de 2006, a área 2 passou a ser ocupada por outra rede de postos de combustíveis.

FOTO DE SATÉLITE DE 2013:

Neste ano, já são observados no terreno alguns ônibus de uma viação rodoviária. Segundo informações obtidas com os responsáveis pela empresa, o terreno passou a ser utilizado apenas para estacionamento de parte da frota em 2012.

Nas outras áreas destacadas (1 a 9) não foram observadas mudanças significativas.



FONTE: IPP, 2014.

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE N°:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015

FIGURA:

10

FOTOS AÉREAS DE
1976 E 1996

LEGENDA:

- ÁREA DE INTERESSE
- EDIFICAÇÕES
- TANQUES AÉREOS

- 1 - INDÚSTRIA DE ALIMENTOS
- 2 - ÁREA COMERCIAL/ FUTURA ÁREA DA UNIVERSIDADE
- 3 - ÁREA COMERCIAL/ FUTURA ÁREA DAS CONCESSIONÁRIAS
- 4 - ÁREA COMERCIAL/ FUTURA ÁREA DO POSTO DE COMBUSTÍVEIS

- 5 - ÁREAS COMERCIAIS
- 6 - POSTO DE COMBUSTÍVEIS
- 7 - ÁREAS COMERCIAIS
- 8/9 - ÁREAS COMERCIAIS/ RESIDENCIAIS





2004

2006

FONTE: SATÉLITE GOOGLE EARTH, 2014.

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015

FIGURA:
II

FOTOS DE SATÉLITE DE
2004 E 2006

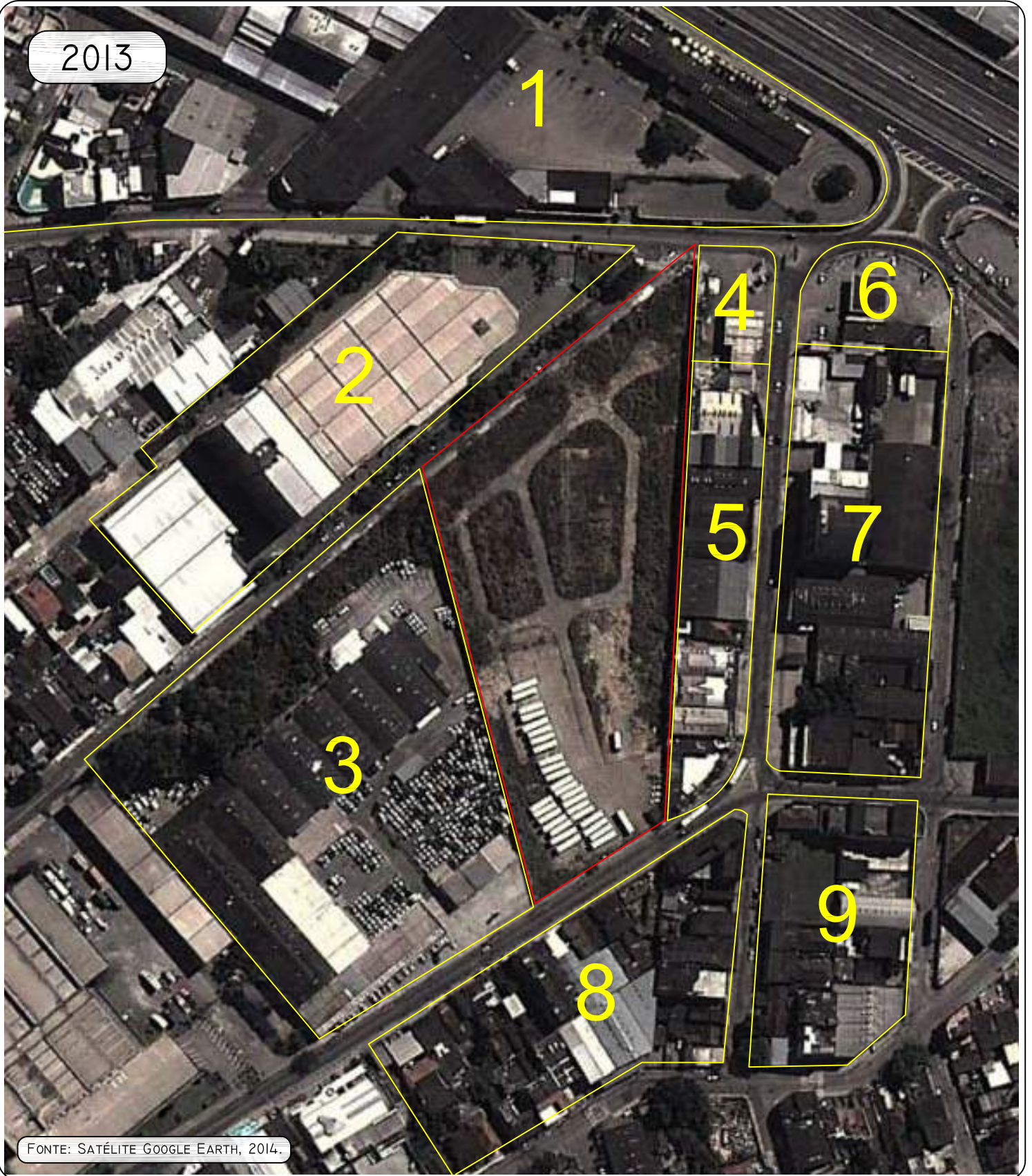
LEGENDA:

ÁREA DE INTERESSE
 EDIFICAÇÕES RESTANTES

1 - INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	5 - ÁREAS COMERCIAIS
2 - UNIVERSIDADE	6 - POSTO DE COMBUSTÍVEIS
3 - CONCESSIONÁRIAS	7 - ÁREAS COMERCIAIS
4 - POSTO DE COMBUSTÍVEIS	8/9 - ÁREAS COMERCIAIS/ RESIDENCIAIS



2013



FONTE: SATÉLITE GOOGLE EARTH, 2014.

LEGENDA:

 ÁREA DE INTERESSE

1 - INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

2 - UNIVERSIDADE

3 - CONCESSIONÁRIAS

4 - POSTO DE COMBUSTÍVEIS

5 - ÁREAS COMERCIAIS

6 - POSTO DE COMBUSTÍVEIS

7 - ÁREAS COMERCIAIS

8/9 - ÁREAS COMERCIAIS/ RESIDENCIAIS

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:

12

FOTO DE
SATÉLITE DE 2013



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.2. Investigação do Meio Subterrâneo

Seguindo as recomendações da Avaliação Preliminar e do Modelo Conceitual elaborado, que será explicitado mais a frente, foi realizado pela empresa contratada um estudo do meio subterrâneo do local, a fim de coletar informações precisas sobre a área estudada. Esta investigação foi feita com base nos preceitos abordados pelas normas da ABNT já apresentados anteriormente.

4.2.1. Sondagens

De forma a atender o Modelo Conceitual¹ elaborado na Avaliação Preliminar realizada em Fevereiro de 2014, foram realizadas 22 (vinte e duas) sondagens de reconhecimento na Investigação Confirmatória, distribuídas nas áreas classificadas como AP (área com potencial de contaminação).

As perfurações foram executadas com trado manual tipo concha, de 4" de diâmetro, seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 15492:2007. Durante a realização das mesmas, realizou-se análise táctil/visual com descrição da textura, cor, granulação e verificação da existência de indícios de contaminação. Foram coletadas amostras de solo a cada 0,5 m de profundidade até o nível d'água.

Para minimizar a perda de voláteis, as amostras foram coletadas em duas alíquotas em cada profundidade, uma utilizada para medição de VOC e outra armazenada para envio ao laboratório.



Figura 13: Técnicos realizando uma das sondagens
Fonte: Autoria própria.

As 9 (nove) primeiras sondagens (S-01 a S-09), feitas na Investigação Confirmatória, foram alocadas de forma a atender o modelo conceitual, porém nos lugares que, de acordo com as estruturas da antiga indústria, possuíam menor potencial de contaminação. Ao longo destas sondagens não foram

¹ O Modelo Conceitual encontra-se apresentado nas páginas 58 a 60.

identificados indícios visuais de contaminação e/ou concentrações consideráveis de VOC. Por tal motivo, não foram instalados poços de monitoramento e não foi realizada a coleta de amostras nestas sondagens. A partir da sondagem S-10, mesmo sem apresentação de indícios de contaminação, todas as sondagens foram aproveitadas para instalação de poços de monitoramento devido à sua localização em relação ao Modelo Conceitual desenvolvido na Avaliação Preliminar.

Após o término de cada sondagem, o equipamento utilizado foi lavado com sabão neutro para descontaminação.

Na Investigação Detalhada, a localização das sondagens executadas no empreendimento foi estabelecida de forma a permitir a coleta de novas amostras de solo representativas da área, bem como permitir a instalação de novos poços de monitoramento, visando delimitar as plumas de fase dissolvida e adsorvida identificadas na Investigação Confirmatória. No total, foram realizadas 46 (quarenta e seis) sondagens e coletadas 91 (noventa e uma) amostras de solo para realização de análises químicas, seguindo os mesmos critérios e procedimentos utilizados na Investigação Confirmatória. Nesta etapa, algumas das sondagens foram realizadas ao lado de sondagens pré-existentes, para coleta de amostras de solo em outras profundidades, como por exemplo as sondagens S-17 e S-18. A localização de cada uma das sondagens e poços de monitoramento pode ser observada na **Figura 17**, apresentada ao final do item 4.2.2.

4.2.2. Poços de Monitoramento

Foram instalados no terreno em questão 13 (treze) poços de monitoramento (PM-01 a PM-13) durante a Investigação Confirmatória, seguindo os critérios estabelecidos pelas NBR's 15495-1:2007 e 15495-2:2008.

Imediatamente após a instalação de cada poço, foi realizada a limpeza e desenvolvimento do mesmo, atribuindo, para isso, um movimento de pressão positiva e pressão negativa (pistão), de forma que a mistura de água e partículas sólidas, presente em decorrência da sondagem, se movimenta pelos poros até atingir o interior do poço e ser removida por bombeamento. O procedimento de desenvolvimento tem como objetivos:

- Retificação dos danos, como por exemplo, o entupimento dos poros da formação e a colmatação da parede do furo, causados durante a perfuração e que são responsáveis por alterar a condutividade hidráulica local da formação;

- Estabilização do material da formação e da seção filtrante, adjacentes ao tubo-filtro do poço;
- Remoção dos materiais de granulação fina da formação e do pré-filtro, mobilizados durante a instalação do poço;
- Maximizar a eficiência do poço e a comunicação entre o poço e a formação adjacente, a fim de se obterem amostras e dados representativos de água subterrânea e de ensaios hidráulicos da formação.

Fez-se uso de uma válvula de sucção de aço inoxidável acoplada a uma mangueira descartável de polietileno, para promover o desenvolvimento do poço. Essa válvula apresenta alta durabilidade e pode ser facilmente descontaminada. Entre um poço e outro, o equipamento foi lavado, utilizando-se sabão sem fosfato e água deionizada.

Os poços de monitoramento instalados no presente estudo foram utilizados para medição do nível d'água e posterior estabelecimento do sentido do fluxo de água subterrânea; coleta de amostra de água para análises químicas; realização de teste para determinação da condutividade hidráulica, e ainda para inspeção e detecção de possíveis contaminantes.

Durante a Investigação Detalhada, foram instalados 13 (treze) novos poços de monitoramento (PM-14 a PM-26), onde 3 (três) deles (PM-18, PM-21 e PM-22) foram instalados apenas para a verificação da presença de fase livre e não tiveram amostras de água subterrânea coletadas. Da mesma maneira, a instalação desses poços foi realizada seguindo

os mesmos procedimentos

utilizados na Confirmatória. Os

materiais utilizados para a construção de todos os poços de monitoramento, que possuem diâmetro de 2", estão listados abaixo e ilustrados pelas **Figuras 14, 15 e 16:**

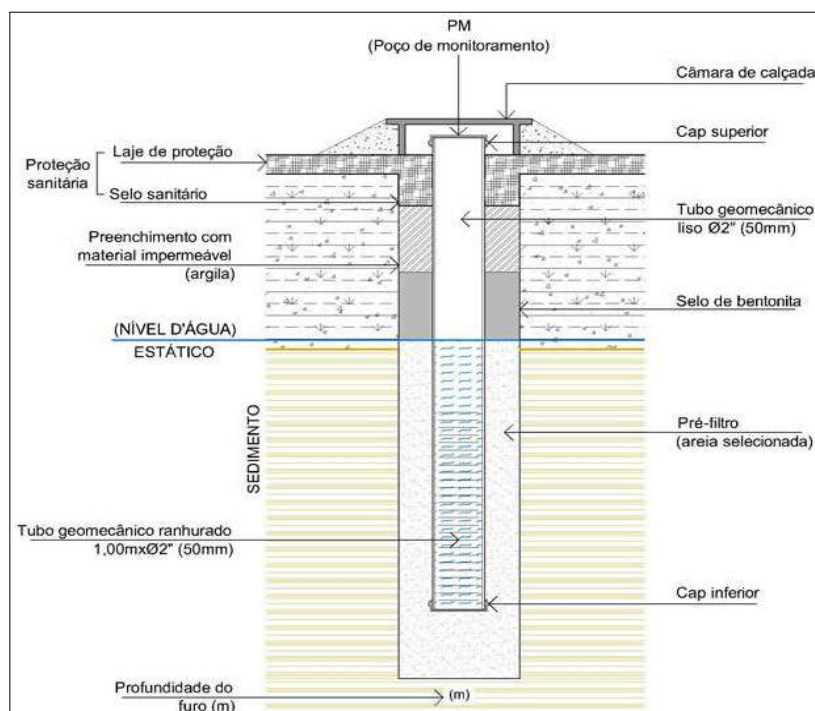


Figura 14: Perfil Esquemático do Poço de Monitoramento
Fonte: Sondaterra, 2014.

- Revestimento: Tubo Geomecânico de Polietileno de Alta Densidade (PAD);
- Filtro: Tubo Geomecânico de Polietileno de Alta Densidade (PAD);
- Pré-filtro: areia quartzosa, com granulometria variando entre 2 (dois) e 4 (quatro) milímetros;
- Selos: bentonita e cimento.



Figura 15: Materiais utilizados na construção e coleta dos poços de monitoramento
Fonte: Autoria própria.



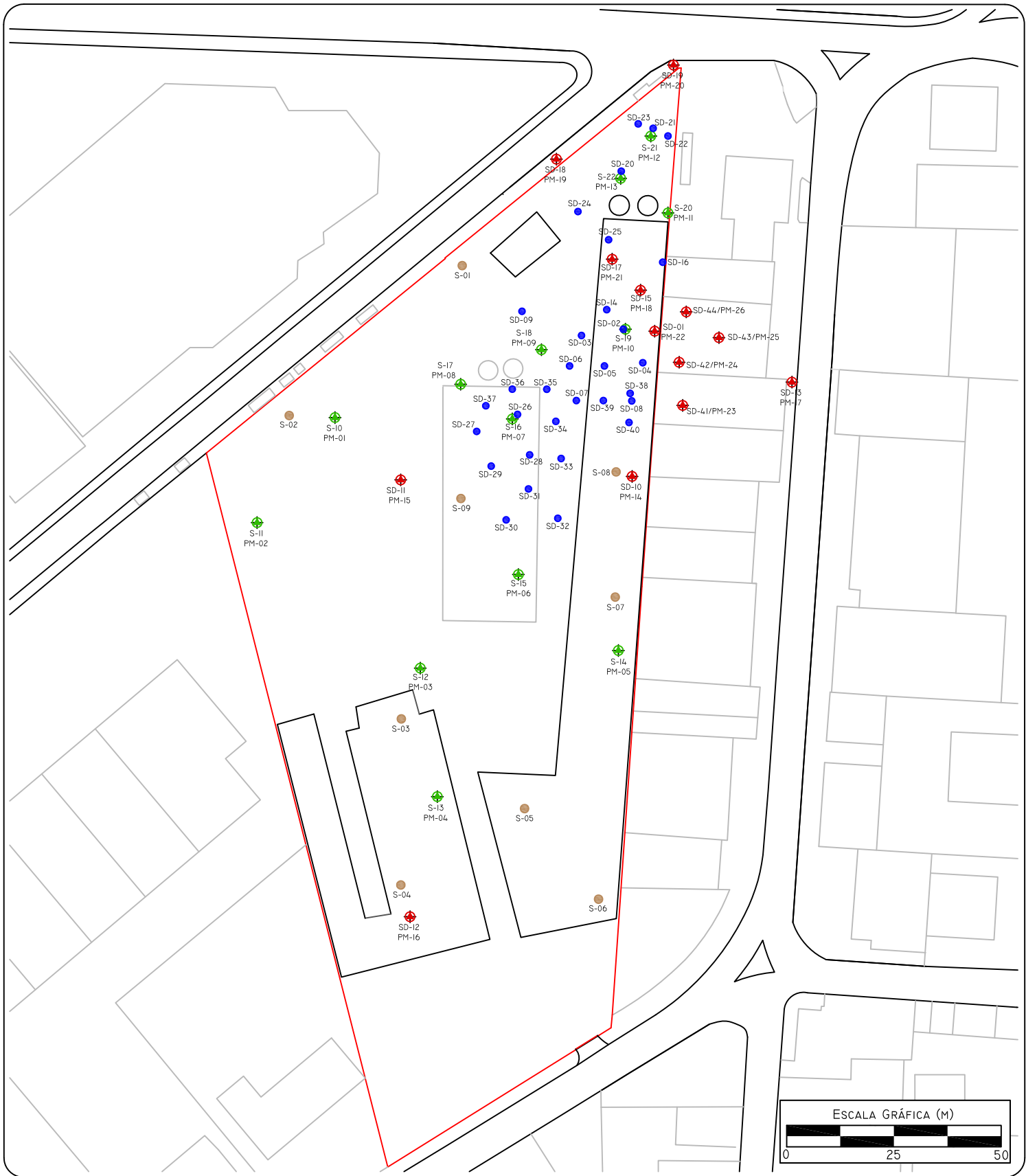
Figura 16: Técnico realizando a coleta de água subterrânea com o amostrador *bailer*
Fonte: Autoria própria.

A **Tabela 6** apresenta as características construtivas dos poços instalados.

Tabela 6: Características construtivas dos poços instalados							
Poço	Data de Instalação	Profundidade (cm)	Pré-filtro (cm)	Selo de Bentonita (cm)	Selo de Cimento (cm)	Boca do Poço (cm)	Profundidade do Nível d'Água Estabilizado (cm)
Investigação Confirmatória							
PM-01	26/02/2014	513	70-530	30-70	15-30	0-15	428
PM-02	26/02/2014	550	70-560	30-70	15-30	0-15	452
PM-03	27/02/2014	500	70-510	30-70	15-30	0-15	264
PM-04	27/02/2014	430	70-450	30-70	15-30	0-15	136
PM-05	26/02/2014	411	70-420	30-70	15-30	0-15	139
PM-06	25/02/2014	375	70-390	30-70	15-30	0-15	183
PM-07	25/02/2014	524	70-540	30-70	15-30	0-15	198
PM-08	26/02/2014	411	70-420	30-70	15-30	0-15	264
PM-09	25/02/2014	495	70-500	30-70	15-30	0-15	186
PM-10	17/02/2014	378	70-400	30-70	15-30	0-15	208
PM-11	26/02/2014	418	70-420	30-70	15-30	0-15	259
PM-12	27/02/2014	500	70-520	30-70	15-30	0-15	321
PM-13	26/02/2014	464	70-480	30-70	15-30	0-15	270
Investigação Detalhada							
PM-14	07/05/2014	315	70-350	30-70	15-30	0-15	152
PM-15	07/05/2014	440	70-450	30-70	15-30	0-15	259
PM-16	07/05/2014	310	70-340	30-70	15-30	0-15	100
PM-17	08/05/2014	430	70-450	30-70	15-30	0-15	206
PM-18	08/05/2014	320	70-350	30-70	15-30	0-15	125
PM-19	09/05/2014	620	70-630	30-70	15-30	0-15	316
PM-20	09/05/2014	250	70-280	30-70	15-30	0-15	102
PM-21	08/05/2014	180	70-200	30-70	15-30	0-15	104
PM-22	12/05/2014	260	70-290	30-70	15-30	0-15	175
PM-23	17/07/2014	310	70-330	30-70	15-30	0-15	Não medido
PM-24	17/07/2014	300	70-330	30-70	15-30	0-15	Não medido
PM-25	18/07/2014	250	70-260	30-70	15-30	0-15	Não medido
PM-26	18/07/2014	320	70-340	30-70	15-30	0-15	Não medido

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014 e Relatório de Investigação Detalhada, Julho/2014.

A localização de cada uma das sondagens e poços de monitoramento pode ser observada na **Figura 17**.



LEGENDA:

- | | | | | | | | |
|---------------|---|---------------|---|--|---------------------|--|------------------------|
| S-XX
PM-XX | POÇO DE MONITORAMENTO
INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO
CONFIRMATÓRIA | S-XX
PM-XX | POÇO DE MONITORAMENTO
INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO
DETALHADA | | ANTIGAS EDIFICAÇÕES | | ANTIGOS TANQUES AÉREOS |
| S-XX | SONDAGEM EXECUTADA
NA INVESTIGAÇÃO
CONFIRMATÓRIA | SD-XX | SONDAGEM EXECUTADA
NA INVESTIGAÇÃO
DETALHADA | | ÁREA DE INTERESSE | | |

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:

17

LOCALIZAÇÃO DAS
SONDAGENS E POÇOS DE
MONITORAMENTO NA
ÁREA DE INTERESSE



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.2.3. Ensaios Hidrogeológicos

Os ensaios hidrogeológicos permitem determinar de forma aproximada o sentido de fluxo da água subterrânea, com base nas características do meio físico (geologia, topografia, geomorfologia, geologia de subsuperfície e solos) e no inventário das captações subterrâneas. Neste trabalho, esta caracterização baseou-se na determinação de cargas hidráulicas.

Foram realizados ainda ensaios de permeabilidade no local, um para cada etapa de investigação. Este ensaio, de caráter pontual, é conduzido em conformidade com as diretrizes da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE (1996), com a finalidade de determinar o coeficiente de permeabilidade do subsolo do empreendimento investigado, calculado através do método de *Hvorslev*, indicando a velocidade de percolação da água. Este coeficiente é certamente uma das características mais importantes de um aquífero.

No caso deste estudo, foram realizados ensaios de recuperação do nível d'água, também conhecidos como *Slug Tests*. O método de execução deste teste é realizado em zona saturada em um poço de monitoramento (piezômetro) de reduzido diâmetro. Provoca-se uma mudança instantânea no nível d'água do poço estudado, retirando-se um volume de água conhecido, e são observadas as condições para recuperação do nível estático inicial, que deve ser previamente medido impreterivelmente. Em seguida, com base na medida das variações do nível d'água obtém-se dados que fornecerão o valor de condutividade hidráulica nas imediações do poço de monitoramento ensaiado, quando em conjunto com as características geométricas do poço (SILVA, 2008).

As medições devem ser realizadas a curtos intervalos de tempo no início, que vão aumentando e se tornando um pouco mais longos com a progressão do teste, durante ao menos 10 minutos. O ensaio é finalizado quando a recuperação atinge 37% do nível d'água inicial. É importante realizar este tipo de teste pela sua precisão em demonstrar a situação real do solo no local. (ABGE, 1996)

4.2.4. Coleta de Material

4.2.4.1. Solo

Seguindo as NBR's 9604 e 15492, durante a Investigação Confirmatória, foram coletadas amostras de solo em 13 (treze) das 22 (vinte e duas) sondagens realizadas. Em todas as sondagens realizadas foram coletadas amostras de solo a cada 0,5 m para medição de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis). Para minimizar a perda de voláteis, as amostras foram coletadas em duas alíquotas em cada profundidade, uma utilizada para medição de VOC e outra armazenada para envio ao laboratório.

A amostra coletada para medição de gases foi acondicionada em saco plástico impermeável, onde após o fechamento, os torrões de solo foram quebrados. A amostra foi agitada e depois de cerca de 10 minutos procedeu-se a medição dos gases, com um equipamento PID, com lâmpada de 10,2 eV.

Os parâmetros analisados nas amostras selecionadas seguiram o modelo conceitual elaborado na Avaliação Preliminar. As amostras enviadas para o laboratório para análise de compostos orgânicos foram aquelas que apresentaram os maiores valores de VOC em cada sondagem ou a amostra da franja capilar, para os casos de VOC nulo ao longo de todo o perfil. Para análise de metais, foram coletadas amostras superficiais, com 0,5 metro de profundidade.

Em caráter excepcional, na Investigação Detalhada, em algumas sondagens, as amostras de solo foram coletadas em profundidades pré-determinadas, de forma a delimitar verticalmente as plumas de fase adsorvida identificadas na Investigação Confirmatória. Nas demais sondagens, realizadas para instalação de poços de monitoramento e delimitação das plumas de fase dissolvida, foram coletadas amostras de solo seguindo o mesmo procedimento realizado na Investigação Confirmatória.



Figura 18: Material de solo coletado e corretamente acondicionado para ser enviado ao laboratório
Fonte: Autoria própria.

A **Tabela 7** abaixo lista todas as coletas de amostras realizadas em ambas as etapas de investigação do local, bem como suas respectivas profundidades, medidas de VOC obtidas e parâmetros analisados.

Tabela 7: Dados das amostras de solo coletadas				
Identificação	Data da coleta	Profundidade de coleta (m)	VOC (ppm)	Parâmetros analisados
Investigação Confirmatória				
S-10 / PM-01	26/02/2014	0,5	-	Metais
		4,0		VOC, SVOC e TPH
S-11 / PM-02	26/02/2014	4,0	-	BTEX, PAH e TPH
S-12 / PM-03	27/02/2014	3,0	-	BTEX, PAH e TPH
S-13 / PM-04	27/02/2014	3,5	-	BTEX, PAH e TPH
S-14 / PM-05	26/02/2014	0,5	0	Metais
		2,0	0	VOC, SVOC e TPH
S-15 / PM-06	25/02/2014	0,5	35	Metais
		4,5	-	VOC, SVOC e TPH
S-16 / PM-07	25/02/2014	1,0	160	BTEX, PAH e TPH
S-17 / PM-08	26/02/2014	3,5	-	BTEX, PAH e TPH
S-18 / PM-09	25/02/2014	0,5	0	Metais
		4,5	-	VOC, SVOC e TPH
S-19 / PM-10	26/02/2014	0,5	100	Metais
		2,5	250	VOC, SVOC e TPH
S-20 / PM-11	26/02/2014	1,5	-	BTEX, PAH e TPH
S-21 / PM-12	27/02/2014	1,0	150	BTEX, PAH e TPH
S-22 / PM-13	26/02/2014	1,0	250	BTEX, PAH e TPH
Investigação Detalhada				
SD-01	06/05/2014	0,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	13,5	
SD-02	06/05/2014	0,5	0,3	BTEX, PAH e TPH
		1,5	90,3	
SD-03	06/05/2014	0,5	7,5	BTEX, PAH e TPH
		1,0	90,5	
SD-04	06/05/2014	0,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	35,3	
SD-05	06/05/2014	0,5	30,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	95,0	
SD-06	18/06/2014	0,5	6,2	PAH
	06/05/2014	1,5	53,7	BTEX, PAH e TPH
	18/06/2014	3,0	5,1	PAH
SD-07	06/05/2014	0,5	5,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	6,0	
SD-08	06/05/2014	1,5	35,3	BTEX, PAH e TPH
SD-09	06/05/2014	0,5	3,1	BTEX, PAH e TPH
		4,0	0,0	
SD-10 / PM-14	07/05/2014	1,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-11 / PM-15	07/05/2014	3,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-12 / PM-16	07/05/2014	1,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-13 / PM-17	08/05/2014	3,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-14	08/05/2014	1,0	65,0	BTEX, PAH e TPH
SD-15 / PM-18	08/05/2014	0,5	0,7	BTEX, PAH e TPH
		1,5	96,5	
SD-16	08/05/2014	0,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	0,3	
SD-17 / PM-21	08/05/2014	0,5	4,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	52,4	
SD-18 / PM-19	09/05/2014	5,0	1,6	BTEX, PAH e TPH
SD-19 / PM-20	09/05/2014	1,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-20	09/05/2014	0,5	0,3	BTEX, PAH e TPH
		1,5	0,5	

Tabela 7: Dados das amostras de solo coletadas (continuação)

Identificação	Data da coleta	Profundidade de coleta (m)	VOC (ppm)	Parâmetros analisados
Investigação Detalhada				
SD-21	09/05/2014	0,5	10,3	BTEX, PAH e TPH
		1,5	16,0	
SD-22	12/05/2014	1,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-24	12/05/2014	0,5	25,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	13,5	
SD-26	13/05/2014	0,5	125,4	BTEX, PAH e TPH
		1,5	140,4	
	17/06/2014	3,0	1,0	PAH
SD-27	13/05/2014	0,5	1,0	BTEX, PAH e TPH
		3,0	3,0	
SD-28	13/05/2014	0,5	1,5	BTEX, PAH e TPH
	18/06/2014	1,5	0,0	PAH
	13/05/2014	3,0	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-29	16/06/2014	0,5	0,1	PAH
		1,5	45,0	
		3,0	9,5	
SD-30	16/06/2014	0,5	0,0	PAH
		1,5	0,0	
		3,0	0,0	
SD-31	16/06/2014	0,5	2,1	PAH
		1,5	2,9	
		3,0	2,9	
SD-32	16/06/2014	0,5	2,2	PAH
		1,5	3,0	
		3,0	2,5	
SD-33	16/06/2014	0,5	2,4	PAH
		1,5	3,0	
		3,0	1,9	
SD-34	17/06/2014	0,5	22,5	PAH
		1,5	5,2	
		3,0	1,9	
SD-35	17/06/2014	0,5	0,0	PAH
		1,5	23,2	
		3,0	2,1	
SD-36	17/06/2014	0,5	0,0	PAH
		1,5	3,5	
		3,0	1,0	
SD-37	17/06/2014	0,5	0,0	PAH
		1,5	0,0	
		3,0	3,0	
S-17 / PM-08	18/06/2014	0,5	0,0	PAH
		1,5	0,0	
S-18 / PM-09	18/06/2014	0,5	0,1	PAH
		1,5	0,2	
SD-38	17/07/2014	0,5	-	PAH
		3,0	-	
SD-39	17/07/2014	0,5	-	PAH
		1,5	-	
		3,0	-	
SD-40	17/07/2014	0,5	-	PAH
		1,5	-	
		3,0	-	
SD-41 / PM-23	17/07/2014	0,5	3,0	BTEX, PAH e TPH
		1,5	13,2	
		3,0	12,2	
SD-42 / PM-24	17/07/2014	1,5	135,0	BTEX, PAH e TPH
SD-43 / PM-25	18/07/2014	1,5	0,0	BTEX, PAH e TPH
SD-44 / PM-26	18/07/2014	1,5	33,2	BTEX, PAH e TPH

VOC – Compostos orgânicos voláteis; SVOC – Compostos orgânicos semi-voláteis; BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos; PAH – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos; TPH – Hidrocarbonetos Totais de Petróleo.

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014 e Relatório de Investigação Detalhada, Julho/2014.

4.2.4.2. Água Subterrânea

A coleta de água subterrânea foi realizada seguindo as determinações da Norma ABNT/NBR 15847:2010 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – métodos de purga.

Para a coleta de amostras nos poços que foram analisadas apenas para os parâmetros BTEX, HPA e TPH, foram utilizados amostradores descartáveis do tipo *bailer*, sendo que em cada um dos poços foi utilizado um amostrador para purga e um para coleta.

O procedimento da purga foi realizado para retirar a água estagnada de dentro do poço e garantir que a água analisada seja proveniente do aquífero. Para isso, removeu-se um volume aproximadamente 3 vezes superior à quantidade de água existente dentro do poço, em taxa compatível com a recuperação de água no poço, de forma a evitar a redução excessiva do nível de água e o arraste de sedimentos para o interior do poço.

O procedimento de coleta de amostras consiste na introdução do amostrador *bailer* no poço até que seja recolhida água subterrânea suficiente para as análises a serem realizadas.



Figura 19: Técnico realizando a coleta de água subterrânea com o amostrador bailer
Fonte: Autoria própria.

Visando uma amostragem segura e rigorosa, o procedimento da coleta é realizado em um tempo médio de 2 minutos, no qual se evita a agitação da amostra, conseqüentemente, evitando a movimentação de sedimentos depositados no fundo do poço. Além disso, a água subterrânea é transferida para os frascos fornecidos pelos laboratórios com a utilização de adaptadores específicos, garantindo assim uma menor oxigenação das amostras.

Para os demais poços de monitoramento, a coleta foi realizada através do método de baixa vazão. Neste método, a amostragem é realizada de maneira que não se promova um rebaixamento significativo no nível do aquífero. Para tal, realiza-se um monitoramento do nível d'água através da utilização de sondas elétricas.

Paralelamente ao acompanhamento deste rebaixamento, realizou-se o monitoramento de parâmetros físico-químicos da água, sendo eles: pH, condutividade elétrica, temperatura, potencial de oxi-redução e oxigênio dissolvido. Este monitoramento é realizado de maneira a identificar o momento em que a água da formação estava sendo acessada e que, portanto, pudesse ser coletada.

Para sua execução, a água purgada passou por uma célula de fluxo onde foram acoplados eletrodos sensíveis aos parâmetros indicadores, para medição contínua dos mesmos. Quando obtidas três leituras sucessivas dos parâmetros medidos in situ, dentro da variação máxima permitida pela NBR 15847:2010, procedeu-se a coleta das amostras.



Figura 20: Técnico realizando a coleta de água subterrânea pelo método de baixa vazão
Fonte: Autoria própria.

4.2.5. Análises Químicas

A metodologia empregada procurou diagnosticar quimicamente o solo e a água subterrânea, atendendo as normas estabelecidas pelo INEA e pelo CONAMA. Foram selecionadas amostras a fim de verificar possíveis contaminações químicas pelos parâmetros listados na Resolução CONAMA nº 420.

Os teores obtidos nas amostras de solo foram comparados com os valores orientadores estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente, constantes na Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009 e pela CETESB na Decisão de Diretoria nº 045, de 20 de fevereiro de 2014. Em relação ao TPH, foi utilizado o valor orientador de 1000 mg/kg, conforme estabelecido na Norma Operacional NOP-INEA-05, de 2013. Em função da previsão de uso futuro da área, foram considerados apenas os valores de referência comerciais/industriais das listas orientadoras supracitadas.

A comparação com os valores orientadores para as amostras de água subterrânea seguiu o mesmo critério das amostras de solo. Em relação ao TPH, foi utilizado o valor orientador de 0,6 mg/L, conforme estabelecido na NOP-INEA-05, de 2013.

Todas as amostras para realização de análises químicas foram armazenadas em frascos de vidro limpos, identificadas, conservadas em isopor refrigerado a uma temperatura inferior a 4°C e enviadas para o laboratório.

Após a realização das análises laboratoriais químicas para as amostras coletadas de solo e água subterrânea, encontrou-se concentrações superiores aos valores de referência para alguns compostos e alguns metais. Assim, foram gerados relatórios técnicos para a avaliação e quantificação dos passivos ambientais encontrados na área de interesse, cujos dados e resultados foram usados como base para a realização deste trabalho.

4.3. Resultados das Investigações

4.3.1. Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar

O modelo conceitual constitui-se em uma síntese das informações relativas à área de interesse. Nesse caso, a elaboração do modelo conceitual levou em consideração, todas as atividades realizadas no terreno e nas suas cercanias. No modelo, de acordo com as informações levantadas a respeito do terreno avaliado, as áreas foram classificadas em:

AC – Área contaminada: área onde as concentrações de substâncias químicas de interesse estão acima dos valores de referência, o que pode indicar a existência de um risco potencial à saúde humana, à segurança e ao meio ambiente;

AP – Área com potencial de contaminação: área onde estão sendo desenvolvidas ou foram desenvolvidas atividades com potencial de contaminação que, por suas características, podem acumular quantidades ou concentrações de contaminantes em condições que a tornem contaminada;

AS – Área suspeita de contaminação: área na qual, após a realização de uma avaliação preliminar, foram observados indícios de contaminação.

Levando em consideração os dados obtidos na visita técnica realizada no local e de pesquisas sobre o terreno investigado, foram selecionadas algumas áreas de interesse ambiental conforme descrito abaixo:

1) Conforme mencionado anteriormente, a antiga indústria realizava atividade potencialmente poluidora em virtude da utilização e/ou armazenamento de diversas substâncias químicas, como: óleo creosoto, óleo BPF, diesel, querosene e solventes. Na área da antiga indústria, foram identificadas 7 áreas com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea, descritas na **Tabela 8**.

2) Parte da área de interesse faz limite com o terreno do posto de combustível. É sabido que a atividade de distribuição de derivados de petróleo é considerada potencialmente poluidora, logo, pode impactar o solo e/ou a água subterrânea na área de interesse.

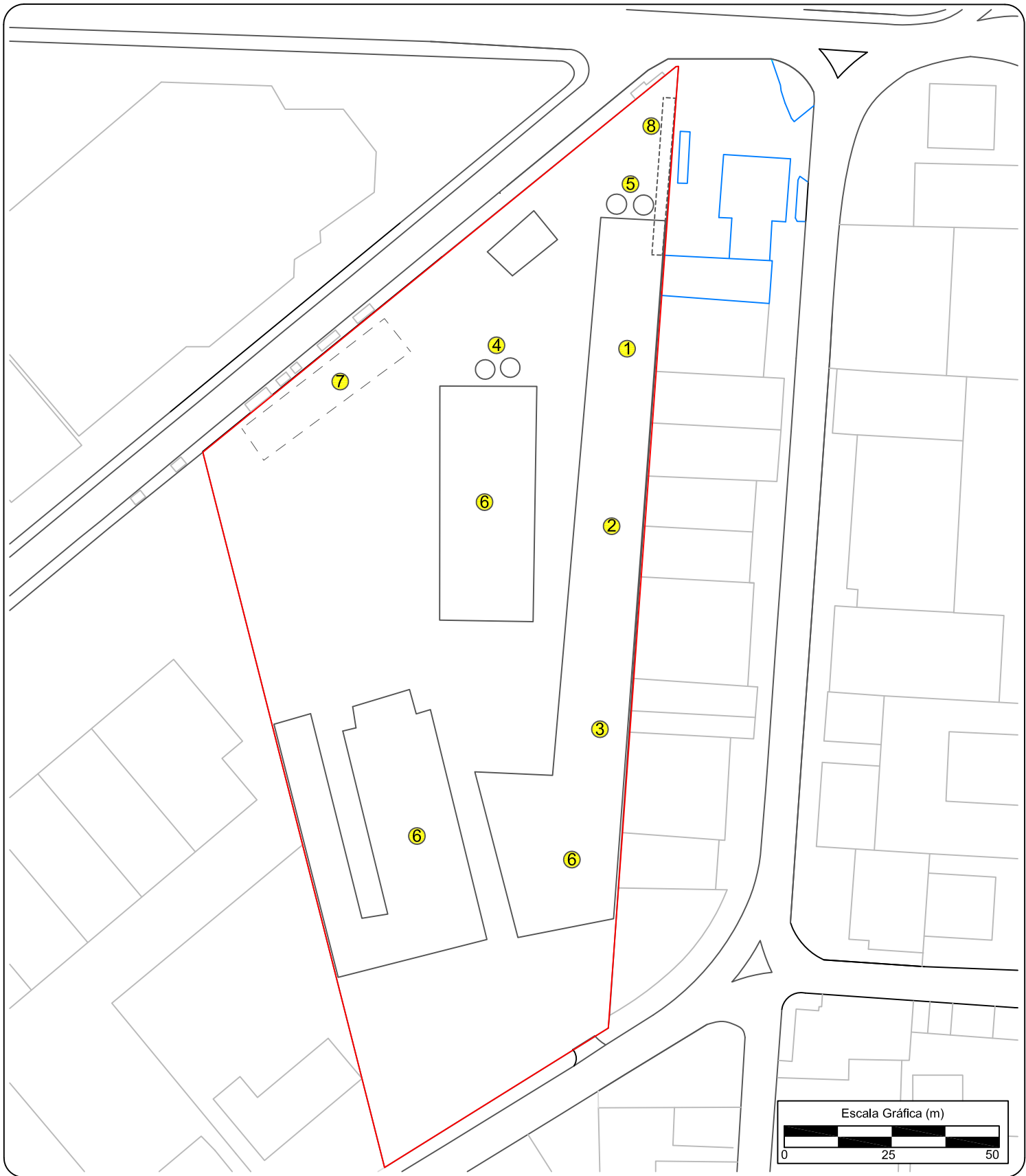
Na **Tabela 8** é apresentado o modelo conceitual para o terreno, com síntese das informações obtidas, identificando e classificando as áreas levando-se em consideração as atividades realizadas no terreno e nas imediações da área de interesse.

Tabela 8: Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar

Área	Identificação	Produtos químicos utilizados	Situação	Classificação	Substâncias	Mecanismos de liberação	Via de transporte dos contaminantes	Receptores / Bens a proteger
1	Seção de Asfalto	Produtos derivados de Petróleo, Solventes, Ácidos, Bases e Sais	Desativada	AP	VOC, SVOC, TPH e Metais	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
2	Seção de Fibro Asfálticos	Produtos derivados de Petróleo, Solventes, Ácidos, Bases e Sais	Desativada	AP	VOC, SVOC, TPH e Metais	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
3	Seção de Tintas e Massas Asfálticas	Produtos derivados de Petróleo, Solventes, Ácidos, Bases e Sais	Desativada	AP	VOC, SVOC, TPH e Metais	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
4	Armazenamento aéreo de Óleo BPF e Óleo Diesel	Óleo BPF e Óleo Diesel	Desativada	AP	BTEX, HPA e TPH	Vazamentos	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
5	Armazenamento aéreo de Asfalto	Asfalto	Desativada	AP	BTEX, HPA e TPH	Vazamentos	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
6	Galpões Operacionais	Produtos derivados de Petróleo, Solventes, Ácidos, Bases e Sais	Desativada	AP	VOC, SVOC, TPH e Metais	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
7	Área de ocupação desconhecida	Produtos derivados de Petróleo, Solventes, Ácidos, Bases e Sais	Desativada	AP	VOC, SVOC, TPH e Metais	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino
8	Limite com o Posto de Combustíveis	Combustíveis e Óleos lubrificantes	Ativa	AP	BTEX, HPA e TPH	Vazamentos e Processo operacional	Lixiviação, Volatilização e Advecção	Água subterrânea, Áreas residenciais, comerciais, industriais e centro de ensino

Legenda: AP – Área com potencial de contaminação. Fonte: Adaptado de Relatório de Avaliação Preliminar, Fevereiro/2014.



A **Figura 21** apresenta a planta atual da área de interesse, com a identificação das áreas descritas no Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar.



LEGENDA:

ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO IDENTIFICADAS:

- | | |
|--|---|
| ① SEÇÃO DE ASFALTO | ⑤ PROVÁVEL ARMAZENAMENTO AÉREO DE ASFALTO |
| ② SEÇÃO DE FIBRO ASFÁLTICOS | ⑥ GALPÕES OPERACIONAIS |
| ③ SEÇÃO DE MASSAS E TINTAS ASFÁLTICAS | ⑦ ÁREA DE OCUPAÇÃO DESCONHECIDA |
| ④ PROVÁVEL ARMAZENAMENTO AÉREO DE ÓLEO BPF E ÓLEO DIESEL | ⑧ LIMITE COM O POSTO DE COMBUSTÍVEIS |

- | | |
|---|-------------------------------|
|  | ÁREA DO POSTO DE COMBUSTÍVEIS |
|  | ÁREA DE INTERESSE |

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:

21

MODELO CONCEITUAL
DA AVALIAÇÃO PRELIMINAR



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.3.2. Ensaio Hidrogeológicos

4.3.2.1. Sentido do Fluxo

Como já mencionado anteriormente, com base nas cotas relativas dos poços de monitoramento instalados no local, obtidas durante o levantamento topográfico, e nas medições dos níveis d'água, foram elaborados dois mapas potenciométricos para a determinação do sentido de deslocamento das águas subterrâneas na área do empreendimento e seu entorno, sendo um realizado na Investigação Confirmatória e outro na Investigação Detalhada.

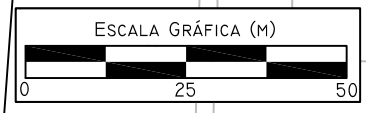
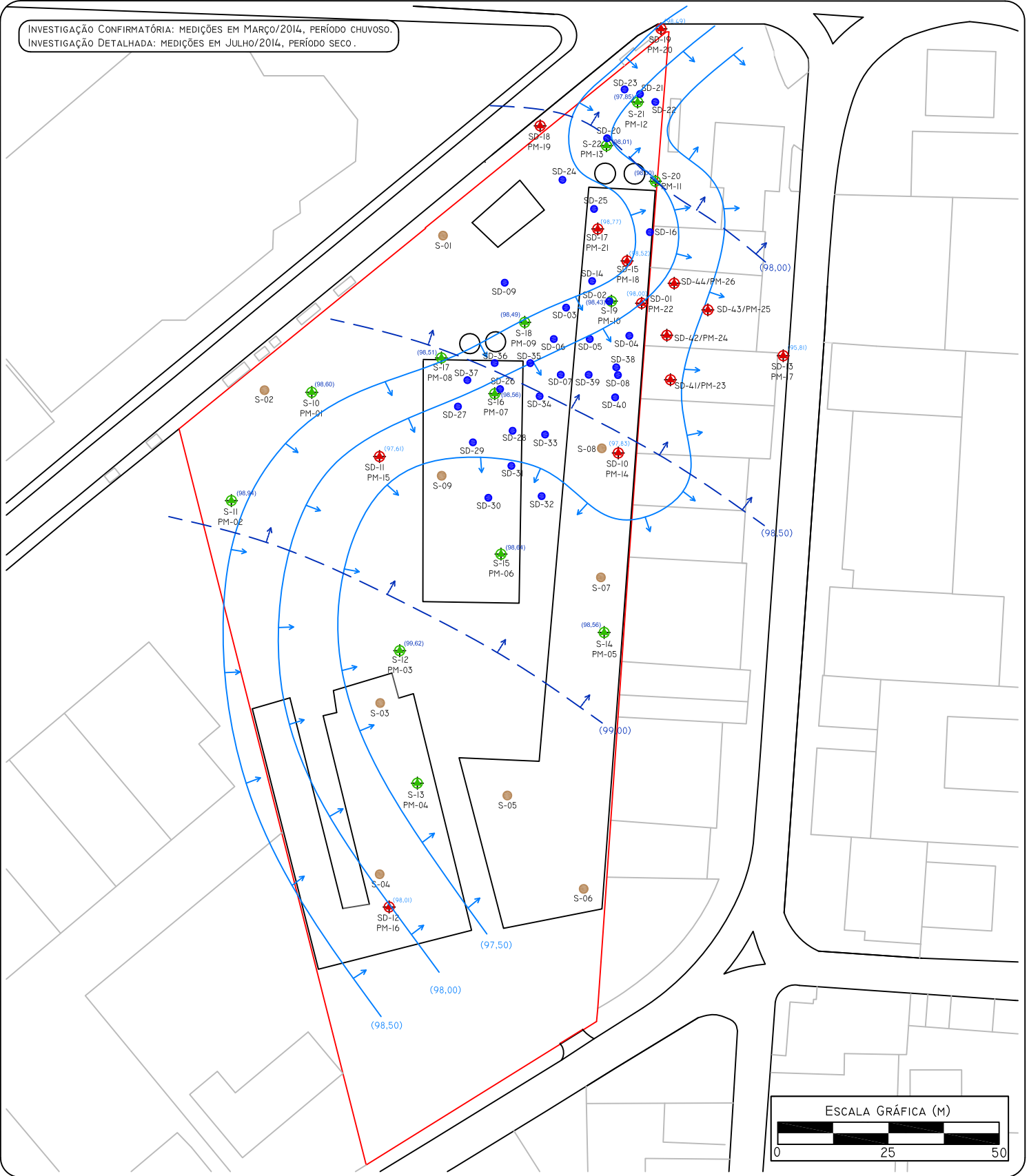
A **Tabela 9** apresenta os valores das cotas relativas e das profundidades do nível d'água de ambas as investigações, utilizados para definir as cargas hidráulicas dos poços de monitoramento instalados no local. Vale destacar que os poços de monitoramento utilizados no mapeamento da Investigação Confirmatória não foram novamente usados na Investigação Detalhada pois não foi feita a medição da cota relativa entre eles. Também é importante mencionar que a variação da profundidade do lençol freático é fortemente influenciada pela precipitação pluviométrica da época.

Tabela 9: Cargas Hidráulicas							
Investigação Confirmatória				Investigação Detalhada			
Poços	Cota relativa (m)	Profundidade NA (m)	Carga Hidráulica (m)	Poços	Cota relativa (m)	Profundidade NA (m)	Carga Hidráulica (m)
SC/PM-01	103,03	4,43	98,6	PM-14	99,35	1,52	97,83
SC/PM-02	103,6	4,66	98,94	PM-15	100,2	2,59	97,61
SC/PM-03	101,48	1,86	99,62	PM-16	99,01	1,00	98,01
SC/PM-04	99,99	1,07	98,92	PM-17	97,87	2,06	95,81
SC/PM-05	100	1,44	98,56	PM-18	99,77	1,25	98,52
SC/PM-06	100,62	1,98	98,64	PM-19	100,25	3,16	97,09
SC/PM-07	100,67	2,11	98,56	PM-20	99,51	1,02	98,49
SC/PM-08	101,3	2,79	98,51	PM-21	99,81	1,04	98,77
SC/PM-09	100,49	2,00	98,49	PM-22	99,75	1,75	98,00
SC/PM-10	100,65	2,22	98,43	-	-	-	-
SC/PM-11	100,61	2,61	98,00	-	-	-	-
SC/PM-12	100,93	3,08	97,85	-	-	-	-
SC/PM-13	100,69	2,68	98,01	-	-	-	-
OBS: Valores de NA medidos no dia 17/03/2014.				OBS: Valores de NA medidos no dia 21/07/2014.			

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014 e Relatório de Investigação Detalhada, Julho/2014.

A **Figura 22** apresenta uma ilustração estimada dos mapas potenciométricos para ambas as investigações realizadas no local.

INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA: MEDIÇÕES EM MARÇO/2014, PERÍODO CHUVOSO.
 INVESTIGAÇÃO DETALHADA: MEDIÇÕES EM JULHO/2014, PERÍODO SECO.



LEGENDA:		CARGA HIDRÁULICA (M)			
	POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA		POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO DETALHADA		ANTIGAS EDIFICAÇÕES
	SONDAGEM EXECUTADA NA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA		SONDAGEM EXECUTADA NA INVESTIGAÇÃO DETALHADA		ANTIGOS TANQUES AÉREOS
					ÁREA DE INTERESSE
					SENTIDO DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA
					SENTIDO DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA INVESTIGAÇÃO DETALHADA

PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 TÍTULO: ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO
 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE: NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO: ENGENHARIA AMBIENTAL
 DRE Nº: 109042440
 DESENHISTA: FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES
 DATA: MARÇO/2015

FIGURA:
22
 MAPAS POTENCIOMÉTRICOS DE CADA INVESTIGAÇÃO



4.3.2.2. Permeabilidade e Velocidade

Conforme explicitado anteriormente, foi realizado um teste de permeabilidade do tipo *Slug Test*, cujo cálculo foi feito através do método *Hvorslev*. A **Figura 23** abaixo ilustra o que ocorre no poço de monitoramento estudado e quais as grandezas utilizadas no cálculo.

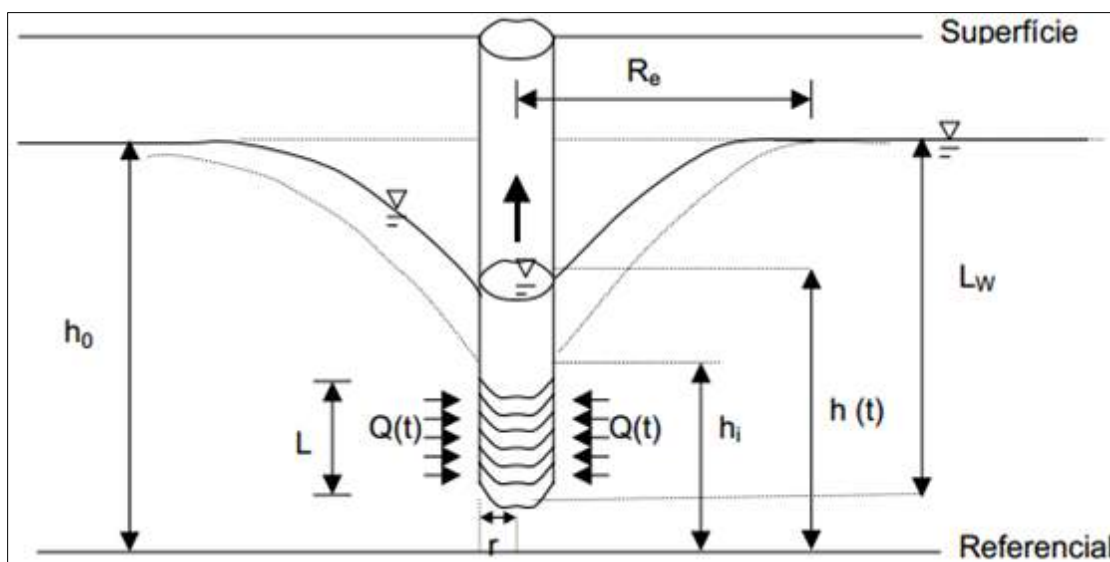


Figura 23: Esquema do Teste de Permeabilidade
Fonte: CASTRO *et al.*, 2000.

A solução matemática para obtenção da permeabilidade, a partir dos dados de recuperação do nível d'água medidos nos poços de monitoramento PM-11 na Investigação Confirmatória e PM-14 na Investigação Detalhada, é apresentada a seguir:

$$K = \frac{r^2 \times \ln(L/R)}{2 \times L \times T_0} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, T_0 é obtido graficamente pela relação $[(H - h)/(H - H_0)] \times t$, sendo:

- r = raio do poço;
- R = raio da sondagem;
- L = comprimento do filtro do poço;
- T_0 = tempo de recuperação até que o nível d'água atinja 37% do nível inicial do ensaio;
- K = coeficiente de permeabilidade;
- H = nível estático;
- H_0 = nível dinâmico (rebaixamento do NA);
- h = nível d'água a um determinado tempo (t);
- t = tempo.

A partir do ensaio realizado no poço de monitoramento instalado, foi obtido um coeficiente de permeabilidade igual a $1,98 \times 10^{-6}$ m/s na Investigação Confirmatória e de $1,26 \times 10^{-7}$ m/s na Investigação Detalhada.

Para cálculo da velocidade do fluxo de água subterrânea, utilizou-se a seguinte relação:

$$V = \frac{K \times i}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

K – Coeficiente de permeabilidade;

i – Gradiente hidráulico, definido como a razão entre a diferença das cargas totais máximas e mínimas e a distância entre os respectivos poços de monitoramento. O valor encontrado foi de $1,5 \times 10^{-2}$ m/m na Investigação Confirmatória e de $5,8 \times 10^{-2}$ m/m na Investigação Detalhada.

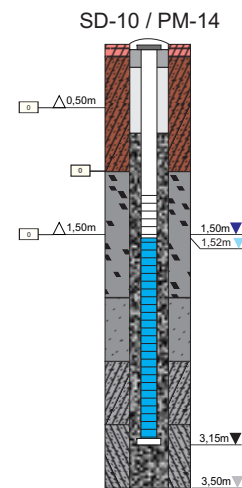
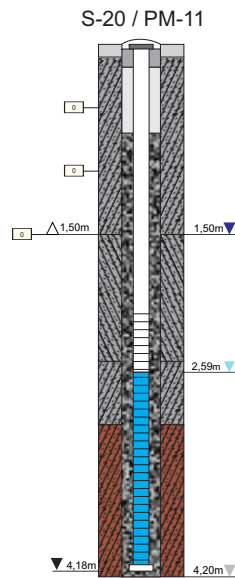
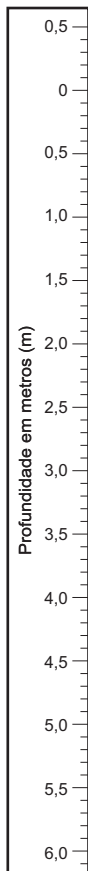
n – Porosidade efetiva; na Investigação Confirmatória buscou-se na literatura o valor médio de porosidade efetiva para o solo em questão de acordo com análise táctil/visual, e segundo FETTER (1994), este é de aproximadamente 17%. Já para a Investigação Detalhada utilizou-se o valor medido na análise feita com a amostra indeformada, igual a 14,1%.

Através da fórmula de cálculo da velocidade do fluxo de água subterrânea, encontrou-se a velocidade de fluxo de água subsuperficial igual a 5,42 m/ano na Investigação Confirmatória e de 1,65 m/ano na Investigação Detalhada.

Todos estes cálculos podem ser observados no **Anexo 1**.

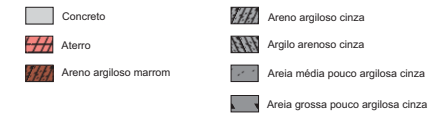
De acordo com a análise táctil/visual feita para descrição da textura, cor e granulação do solo, todo o perfil do poço PM-11 é formado por areia argilosa de coloração cinza e marrom, intercalada por uma camada de argila arenosa cinza. Sua profundidade é de cerca de 4 metros e o lençol freático encontra-se aproximadamente a 2,60 metros de profundidade. O PM-14, com profundidade de 3,15 metros e nível d'água a cerca de 1,50 metros da superfície, também apresenta lentes de areia argilosa de coloração cinza e marrom e argila arenosa cinza. Sua principal diferença para o outro poço se dá na presença de camadas arenosas de granulação média e grossa e coloração cinza.

A **Figura 24** apresenta os perfis litológicos de cada um dos poços de monitoramento utilizados para a realização dos ensaios de permeabilidade.

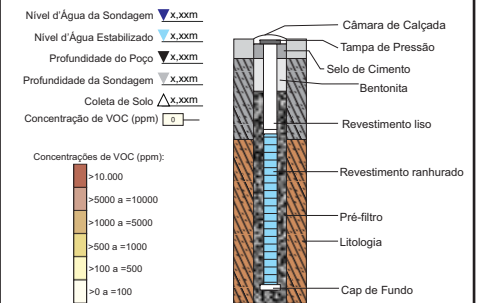


LEGENDA:

Perfis litológicos



Esquema construtivo dos poços de monitoramento



PROJETO:

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

CURSO:

ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE N°:

109042440

DESENHISTA:

FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:

NOVA IGUAÇU - RJ

FIGURA 24: PERFIL DOS POÇOS DE MONITORAMENTO
UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

DATA:

MARÇO/2015



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.3.3. Análises Químicas

4.3.3.1. Solo

No total, durante a Investigação Confirmatória, foram coletadas amostras de solo em 13 (treze) das 22 (vinte e duas) sondagens realizadas.

De acordo com os laudos do laboratório de análises químicas, foram detectadas concentrações superiores aos limites definidos, em 04 (quatro) amostras de solo, conforme descrito abaixo:

- S-16 (PM-07) – Naftaleno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h) antraceno e TPH;
- S-19 (PM-10) – TPH;
- S-21 (PM-12) – Benzeno, Naftaleno, Fenantreno e TPH;
- S-22 (PM-13) – Benzo(a)pireno.

É importante destacar que nas sondagens S-15, S-16, S-19, S-21 e S-22 foram identificados indícios de contaminação durante a realização das mesmas. Na execução da sondagem S-16 foi identificada a presença de borra de piche, à profundidade de 0,5 metros, indicando que possa ter ocorrido a prática de enterrar resíduos no terreno.

Em função de 03 (três) sondagens que apresentaram concentrações acima dos valores de referência estarem localizadas próximas aos limites do terreno, não foi possível a completa delimitação das plumas de fase adsorvida. Neste caso, somente as plumas dos compostos Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno e Dibenzo(a,h)antraceno foram completamente delimitadas no plano horizontal.

Além disso, ainda era necessária a delimitação vertical, visto que foram coletadas amostras de apenas uma profundidade em cada um dos pontos analisados, reforçando a necessidade de um estudo complementar.

A Investigação Detalhada, por sua vez, contou com a coleta de 91 (noventa e uma) amostras de solo para realização de análises químicas, de forma que algumas amostras foram coletadas de sondagens realizadas ao lado das sondagens pré-existentes, para coleta de amostras de solo em outras profundidades, como por exemplo nas sondagens S-17 e S-18.

De acordo com os laudos do laboratório de análises químicas, foram detectadas concentrações superiores aos valores orientadores conforme descrito abaixo:

- SD-02 (1,5 m) – Fenantreno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-03 (1,0 m) – TPH;
- SD-04 (1,5 m) – TPH;
- SD-05 (0,5 m) – TPH;
- SD-05 (1,5 m) – Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-06 (1,5 m) – Naftaleno;
- SD-08 (1,5 m) – Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno e TPH;
- SD-14 (1,0 m) – TPH;
- SD-15 (0,5 m) – Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-15 (1,5 m) – TPH;
- SD-17 (0,5 m) – Benzo(a)pireno e TPH;
- SD-17 (1,5 m) –TPH;
- SD-21 (0,5 m) – Naftaleno e Benzo(a)pireno;
- SD-21 (1,5 m) – Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-24 (0,5 m) –TPH;
- SD-26 (0,5 m) – Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-26 (1,5 m) – Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno e Dibenzo(a,h)antraceno;
- SD-28 (0,5 m) – Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH;
- SD-35 (1,5 m) – Naftaleno.
- SD-42 (1,5 m) – TPH.

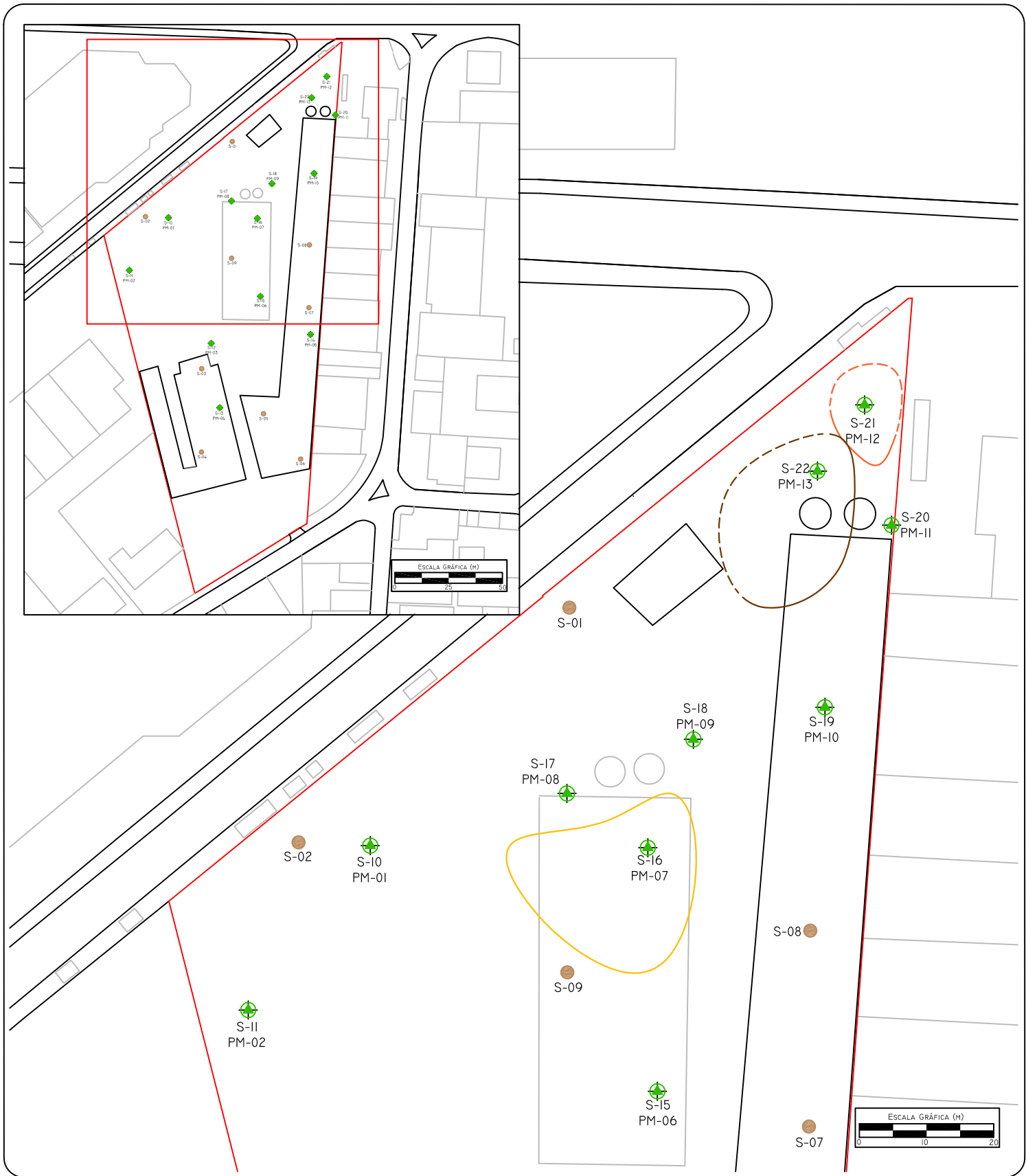
A comparação dos valores orientadores utilizados com algumas das concentrações encontradas está apresentado no item 4.5.3. deste trabalho.

Desta forma, a partir das concentrações identificadas nas sondagens realizadas, foi possível delimitar as plumas de fase adsorvida dos parâmetros Benzeno, Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno, Dibenzo(a,h)antraceno e TPH, detectadas no empreendimento durante a Investigação Geoambiental Confirmatória.

Durante a realização destas sondagens, foi identificada a presença de fase residual de óleo degradado nos pontos denominadas SD-01, SD-02, SD-03, SD-14, SD-15 e SD-17.

Para efeitos de comparação deste trabalho, traçou-se apenas o limite horizontal das plumas de intervenção industrial dos compostos de HPA encontrados acima dos valores orientadores. Foram utilizadas como referência as orientações da norma ABNT NBR 15515-3. Sendo assim, o limite da área de solo contaminado passa pelo ponto situado na metade da distância entre a sondagem que apresentou concentração da SQI superior ao VI e a sondagem que apresentou concentração inferior ao VI.

A **Figura 25** apresenta as plumas horizontais de fase adsorvida de HPA identificadas na área de interesse na Investigação Confirmatória, e a **Figura 26** apresenta o mapeamento das plumas após a realização da Investigação Detalhada.



LEGENDA:

- POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO
- SONDAGEM EXECUTADA
- ANTIGAS EDIFICAÇÕES
- ANTIGOS TANQUES AÉREOS
- ÁREA DE INTERESSE
- PLUMA DE FASE ADSORVIDA DE NAFTALENO E FENANTRENO
- PLUMA DE FASE ADSORVIDA DE NAFTALENO, BENZO(A)ANTRACENO, BENZO(B)FLUORANTENO, BENZO(A)PIRENO E DIBENZO(A,H) ANTRACENO
- REGIÃO DA PLUMA NÃO DELIMITADA
- PLUMA DE FASE ADSORVIDA DE BENZO(A)PIRENO

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

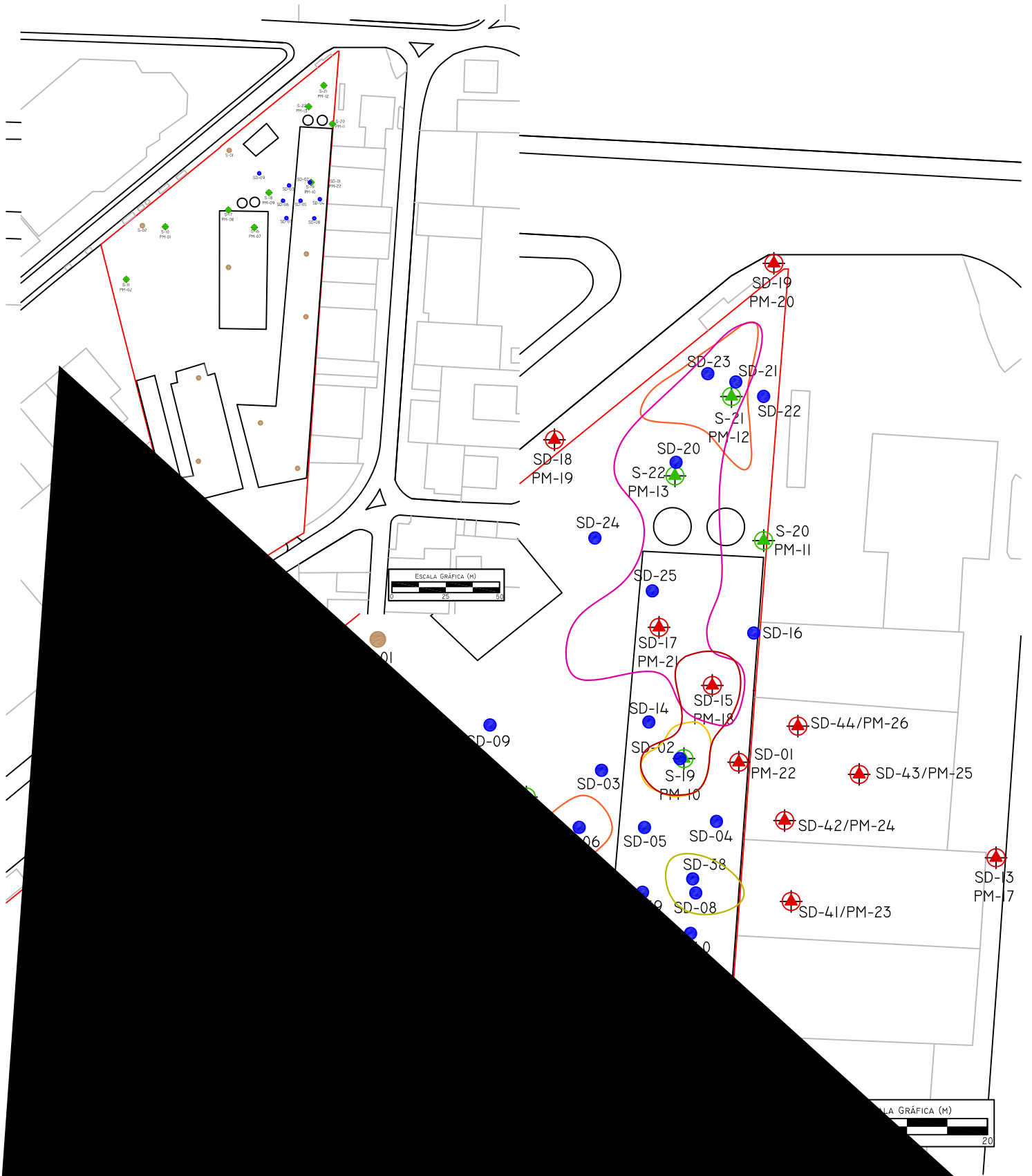
DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:
25

PLUMAS DE FASE ADSORVIDA DE HPA - INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA





4.3.3.2. Água Subterrânea

No total, foram coletadas 13 (treze) amostras nos 13 (treze) poços de monitoramento instalados durante a Investigação Confirmatória.

Os dados das coletas das amostras de água subterrânea nos poços onde foi necessário utilizar o método de baixa vazão são apresentados na **Tabela 10**.

Tabela 10: Dados das amostras de água subterrânea coletadas

Identificação	Data da coleta	Profundidade do poço (m)	Espessura da seção filtrante (m)	Profundidade de captação (m)	NA		Parâmetros estabilizados medidos em campo					Parâmetros analisados
					Inicial (m)	Final (m)	Temperatura (°C)	pH	ORP (mV)	OD (mg/L)	Condutividade (µS/cm)	
PM-01	27/02/2014	5,13	2,00	4,77	4,41	4,60	25,8	4,94	268,2	1,92	241,8	VOC, SVOC, TPH e Metais
PM-05	27/02/2014	4,11	2,00	3,11	1,48	1,63	26,5	6,33	-97,7	0,13	792,0	VOC, SVOC, TPH e Metais
PM-06	27/02/2014	4,88	2,00	3,88	1,97	2,20	29,9	6,76	-34,1	0,11	812,0	VOC, SVOC, TPH e Metais
PM-09	27/02/2014	3,78	2,00	3,06	2,20	2,34	27,4	6,54	-84,4	0,04	1043,0	VOC, SVOC, TPH e Metais
PM-10	27/02/2014	4,87	2,00	3,87	1,98	2,66	28,4	6,34	88,2	0,04	597,0	VOC, SVOC, TPH e Metais
Variação máxima (ABNT 15847/2010)							± 0,5	± 0,2	± 20	± 0,2	± 5%	

NA - Nível d'água; VOC - Compostos orgânicos voláteis; pH - Potencial hidrogeniônico; ORP - Potencial de oxi-redução; OD - Oxigênio dissolvido; CONAMA 420 - Parâmetros listados na Resolução CONAMA n° 420.
Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014.

Os dados físico-químicos coletados durante a amostragem da água subterrânea indicam um ambiente oxidante nos poços PM-01 e PM-10, e um ambiente levemente redutor nos poços PM-05, PM-06 e PM-09. Os baixos valores de OD encontrados caracterizam um ambiente com condições anaeróbias, com exceção do poço PM-01. O pH se manteve ácido, variando entre 4,94 a 6,76. A condutividade elétrica média das águas subterrâneas foi de 697,16 µS/cm, com valores variando entre 241,8 e 1043,0 µS/cm, caracterizando uma baixa concentração de sais dissolvidos <10000 µS/cm.

Após a coleta de amostras, no momento que foi realizada medição de nível d'água no poço de monitoramento PM-10, no dia 17/03/2014, foi identificada a presença de fase livre de produto oleoso de alta viscosidade, com aparência de óleo BPF. Esta presença não havia sido identificada no momento da coleta de amostras, provavelmente pela alta viscosidade do produto e sua consequente baixa mobilidade no meio subterrâneo.

Em função dessa viscosidade, não foi possível medir a espessura exata de produto existente no poço, visto que o mesmo adere à parede do amostrador descartável e, quando utilizado o medidor eletrônico interface, o produto adere ao sensor, impedindo a posterior medição de água.

De acordo com os laudos do laboratório de análises químicas, foram detectadas concentrações superiores aos limites definidos em 06 (seis) poços de monitoramento, conforme descrito abaixo:

- PM-04 – Benzeno;
- PM-06 – Naftaleno e TPH;
- PM-07 – Naftaleno, Fenantreno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno e TPH;
- PM-10 – Benzeno e TPH;
- PM-12 – Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno e TPH;
- PM-13 – Naftaleno, Fenantreno e TPH.

Foram detectadas ainda concentrações superiores aos valores de investigação publicados na Resolução CONAMA nº 420 nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento PM-05, PM-06, PM-09 e PM-10 para o metal Manganês, e no poço PM-05 para o metal Ferro.

No entanto, os metais Ferro e Manganês são comumente verificados em amostras coletadas no estado do Rio de Janeiro em concentrações superiores aos valores de investigação, em função de estarem presentes nos solos regionais. Por essa razão, tais metais não foram considerados contaminantes e não serão abordados neste estudo.

A comparação dos valores orientadores utilizados com algumas das concentrações encontradas está apresentado no item 4.5.3. deste trabalho.

Em função dos resultados obtidos, não foi possível a completa delimitação das plumas de fase dissolvida, reforçando, mais uma vez, a necessidade da continuidade do estudo da área de interesse.

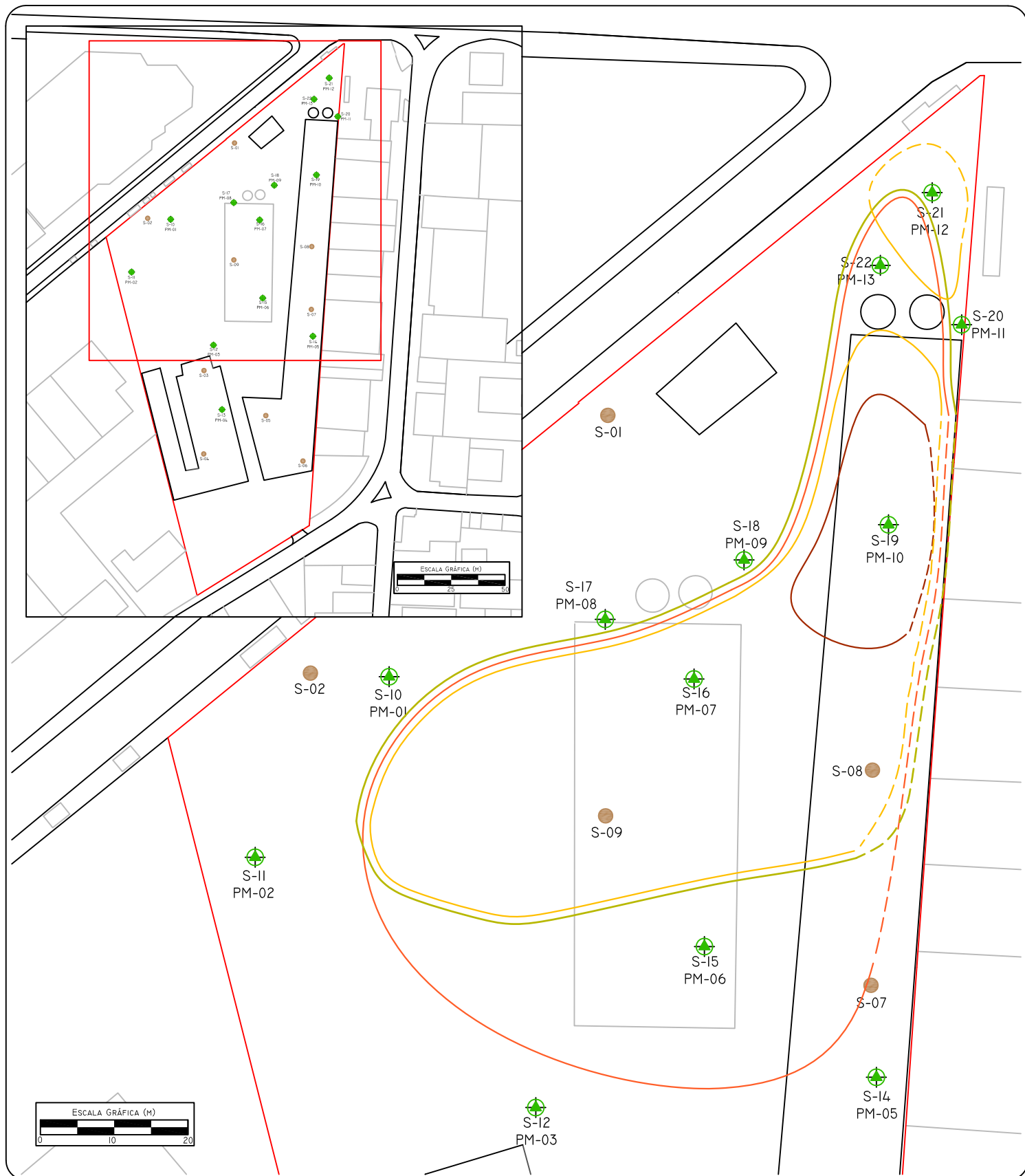
Já na Investigação Detalhada, foram coletadas 10 (dez) amostras de água subterrânea em 10 (dez) dos 13 (treze) novos poços de monitoramento instalados (PM-14 a PM-17, PM-19, PM-20, e PM-23 a PM-26).

De acordo com os laudos do laboratório de análises químicas, foram detectadas concentrações superiores aos padrões de referência para os parâmetros Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno e Dibenzo(a,h)antraceno no poço de monitoramento PM-16. Foram detectadas ainda concentrações superiores ao padrão de referência para o valor total de TPH nos poços de monitoramento PM-23, PM-24 e PM-25.

Desta forma, a partir das concentrações apresentadas nos poços instalados, foi possível delimitar as plumas de fase dissolvida dos parâmetros Benzeno, Naftaleno, Fenantreno e TPH. Entretanto, as plumas dos parâmetros Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno e Dibenzo(a,h) antraceno não puderam ser completamente delimitadas. Vale ressaltar que as concentrações identificadas no poço de monitoramento PM-16 estão próximas aos limites orientadores.

Analogamente ao que foi feito para os resultados analíticos das amostras de solo, foi feita apenas a delimitação horizontal das plumas dos compostos de HPA identificados. Apesar da NBR 15515-3 considerar como ponto limite da pluma o ponto situado na metade da distância entre um ponto de amostragem que apresente concentração superior ao VI e um ponto onde a concentração é inferior ao VI, optou-se neste caso por considerar 75% da distância entre os pontos como sendo parte integrante da pluma de fase dissolvida, em alusão às diretrizes da CETESB publicadas na Decisão de Diretoria .nº 263 de 20 de outubro de 2009, garantindo uma abordagem mais conservadora. É válido mencionar que esta publicação dispõe sobre a aprovação do roteiro para execução de investigação detalhada e elaboração de plano de intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis.

A **Figura 27** apresenta as plumas horizontais de fase adsorvida identificadas na área de interesse na Investigação Confirmatória, e a **Figura 28** apresenta as plumas identificadas após a realização da Investigação Detalhada.



LEGENDA:

- | | | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| S-XX/PM-XX
POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO | ANTIGAS EDIFICAÇÕES | ÁREA DE INTERESSE | REGIÃO NÃO DELIMITADA DAS PLUMAS | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZO(A)ANTRACENO E BENZO(B)PIRENO |
| S-XX
SONDAGEM EXECUTADA | ANTIGOS TANQUES AÉREOS | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE NAFTALENO | PLUMA DE FASE LIVRE | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE FENANTRENO |

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440

DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



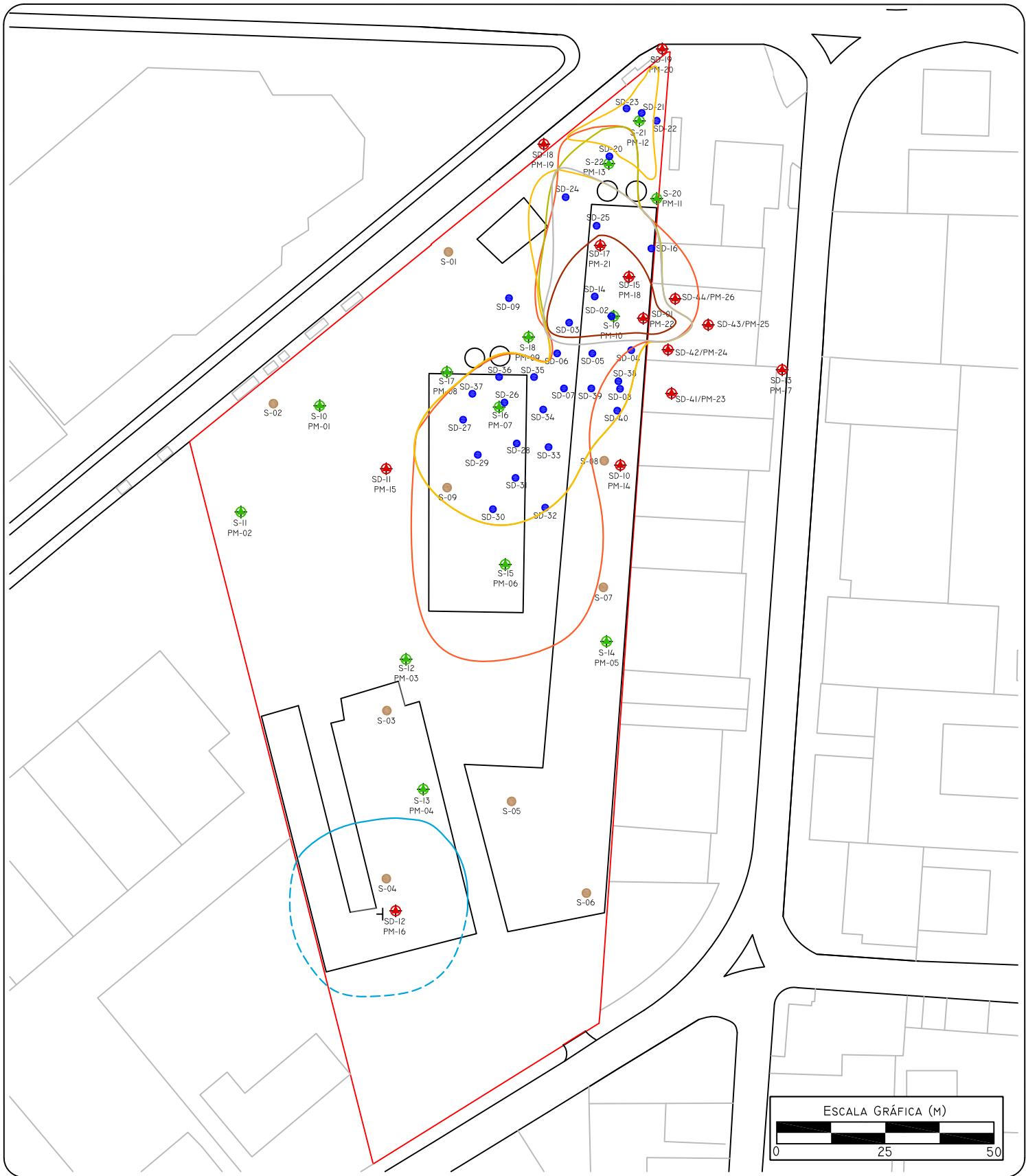
FIGURA:

27

PLUMAS DE FASE DISSOLVIDA DE HFA - INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica



LEGENDA:

- | | | | | |
|---|---|----------------------------------|--|---|
| POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA | POÇO DE MONITORAMENTO INSTALADO NA INVESTIGAÇÃO DETALHADA | ÁREA DE INTERESSE | PLUMA DE FASE LIVRE | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZO(A)ANTRACENO E BENZO(B)FLUORANTENO |
| SONDAGEM EXECUTADA NA INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA | SONDAGEM EXECUTADA NA INVESTIGAÇÃO DETALHADA | ANTIGAS EDIFICAÇÕES | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE NAFTALENO | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZO(A)ANTRACENO, BENZO(B)FLUORANTENO, BENZO(A)PIRENO, INDENO(1,23-CD)PIRENO E DIBENZO(A,H)ANTRACENO |
| | | ANTIGOS TANQUES AÉREOS | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE FENANTRENO | PLUMA DE FASE DISSOLVIDA DE BENZO(A)PIRENO, INDENO(1,23-CD)PIRENO E DIBENZO(A,H)ANTRACENO |
| | | REGIÃO NÃO DELIMITADA DAS PLUMAS | | |

PROJETO:
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO:
ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE:
NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO:
ENGENHARIA AMBIENTAL

DRE Nº:
109042440
DESENHISTA:
FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES

DATA:
MARÇO/2015



FIGURA:

28

PLUMAS DE FASE DISSOLVIDA DE HPA - INVESTIGAÇÃO DETALHADA



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

4.4. Asfalto

O asfalto é sem dúvida, um item de grande utilidade, principalmente num país cuja principal forma de deslocamento é por meio do transporte rodoviário. O seu uso na pavimentação, além de ser um dos mais importantes, é também um dos mais antigos. Nosso território é ocupado por inúmeras estradas e rodovias. Pode-se dizer, inclusive, que a história do desenvolvimento do nosso país se confunde com a expansão do sistema rodoviário.

Foi no início do século XX, em meados dos anos 20 quando o setor ferroviário ainda era considerado forte, que foram feitos os primeiros investimentos na infraestrutura rodoviária, no governo de Washington Luís. Mas foi Juscelino Kubitschek, nos anos 50, o verdadeiro responsável pela instalação de grandes indústrias automobilísticas no país, bem como pelo acelerado crescimento da malha rodoviária, impulsionado pela construção de Brasília no Centro-oeste, gerando a necessidade da implantação de enormes estradas.

Sendo assim, é possível afirmar que esta atividade foi bastante presente no progresso do Brasil, principalmente a partir do governo “JK”, uma vez que era o principal material utilizado na pavimentação de rodovias.

Segundo consta no processo do INEA analisado, as atividades da empresa em questão eram bastante abrangentes com diversos produtos. No entanto, optou-se neste trabalho por dar um enfoque maior à caracterização de um deles: o asfalto, uma vez que foram encontradas na área de interesse diversos resquícios de resíduos com características betuminosas, e os resultados das análises químicas efetuadas nas amostras coletadas também confirmaram a presença desse material.

4.4.1. Características do Asfalto

O asfalto é um material versátil, usado intensamente no revestimento de ruas e estradas devido às suas propriedades, como as listadas abaixo:

- Resistência à ação de materiais ácidos, alcalinos e de sais;
- Impermeabilização, durabilidade e baixa reatividade;
- Flexibilidade controlável e prontamente aderente;

Pode ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

Por definição, o asfalto é uma mistura onde predominam hidrocarbonetos naftênicos, parafínicos, ou aromáticos, originados do petróleo por destilação ou por via natural, que diferem em suas propriedades físicas e químicas, podendo variar de líquidos viscosos até bastante fluidos. No que diz respeito ao Brasil, é comum que as unidades de refino que produzem asfalto utilizem a mistura de diversos petróleos.

Segundo BERNUCCI *et al.* (2008), piche é o nome dado a qualquer elemento alusivo ao grupo dos visco-elásticos e polímeros sólidos, podendo ser obtido através de plantas ou de derivados do petróleo, como é o caso do betume, principal componente do asfalto. O betume é uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono. Ambos os termos “piche” e “betume” são comumente usados como sinônimos do asfalto. Há ainda outros componentes do asfalto, como o enxofre, o oxigênio e o nitrogênio.

A liga asfáltica é um material altamente viscoso e de considerável inflamabilidade, apresentando uma cor bastante escura, e pode ser utilizado para fins industriais, como na impermeabilização e no revestimento de dutos. É possível encontrar este ligante betuminoso nos estados sólido, pastoso e até líquido, quando este se encontra aquecido ou diluído, geralmente feito com o auxílio de querosene ou nafta. (FREITAS GUIMARÃES, 2005).

Para BERNUCCI *et al.* (2008), a baixa reatividade química a muitos agentes não é suficiente para impedir que o material possa sofrer envelhecimento por oxidação lenta a partir do contato com a água e o ar.

Existe uma sigla para designar o asfalto quando este se enquadra em uma determinada classificação: CAP – cimento asfáltico de petróleo, seguida de outro identificador numérico, que é determinado de acordo com os ensaios de viscosidade e penetração. Esta designação determina a classificação do asfalto de acordo com as suas propriedades físicas já citadas, a fim de assegurar o bom desempenho do material e atender critérios comerciais (GODOI, L., 2011).

LEITE (1999) afirma que os CAPs são compostos por ligações covalentes entre hidrocarbonetos, que representam de 90 a 95%, e heteroátomos, entre os quais estão o oxigênio, enxofre, nitrogênio e alguns metais. No caso do Brasil, os teores de enxofre e de metais são mais baixos enquanto que o de nitrogênio é maior. De qualquer forma, a composição dos CAPs varia principalmente com a fonte do petróleo utilizado, com as modificações provocadas nos processos de refino e durante o envelhecimento na usinagem e em serviço (BERNUCCI *et al.*, 2008).

4.4.2. Contaminação por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

FREITAS GUIMARÃES (2005) afirma que um dos agentes químicos em destaque na composição asfáltica são os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's). Também já foi verificado em alguns estudos a presença de benzeno em amostras de asfalto, porém, optou-se por dar destaque para os HPA's devido à sua ação carcinogênica, mutagênica e genotóxica comprovada, conferindo alto risco para a saúde humana. Estes efeitos toxicológicos podem estar associados a: danos à pele, a toxicidade aguda, a bioacumulação, e até a formação de tumores em diversas espécies de toda a biota (CETESB, 2009). Vale mencionar que tais compostos se enquadram nos Poluentes Orgânicos Persistentes, já que resistem à degradação bioquímica e são fortemente estáveis.

Pela definição de COSTA (2001), os HPA's são compostos binários, formados por carbono e hidrogênio, caracterizados como compostos orgânicos semi-voláteis. Sua estrutura consiste em ao menos 2 anéis benzênicos (aromáticos, de 5 ou 6 átomos de carbono), ligados de forma linear, angular ou agrupados. Além disso, estes compostos podem apresentar estruturas similares, como os chamados nitrados e os oxigenados, que exibem heteroátomos associados em sua estrutura.

A CETESB (2009) informa que da lista completa de HPA's, dezesseis são indicados pela U.S. EPA como objeto de estudos mais cuidadosos, uma vez que são consideravelmente tóxicos e predominantes no meio ambiente, e estão presentes nas listas da CONAMA 420 e da CETESB. A **Figura 29** abaixo ilustra a estrutura química destes compostos.

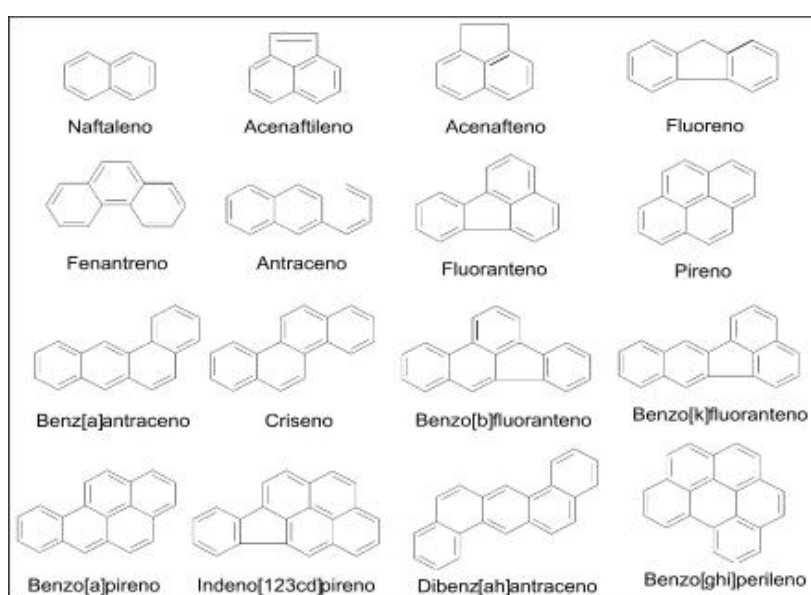


Figura 29: Estrutura Química dos HPAs indicados pela U.S. EPA para monitoramento ambiental
Fonte: Adaptado de COSTA, 2001.

As características físico-químicas e bioquímicas dos HPA's estão intimamente ligadas ao seu comportamento, transporte e destino no meio ambiente (BERNUCCI *et al.*, 2008). Estes compostos são considerados inertes, apresentando em geral apenas reações de substituição ou de adição eletrofílica. O que ocorre é a destruição da aromaticidade do conjunto com esta adição, reduzindo a estabilidade da molécula e gerando, em seguida, reações de eliminação, que regeneram o sistema aromático e originam um produto final de substituição (COSTA, 2001).

COSTA (2001) menciona também que as condições específicas do processo e do tipo de combustível influenciam diretamente na quantidade e nos tipos de HPA's formados, de forma que quanto mais eficiente o processo, menos HPA é produzido. De qualquer maneira, ainda não há uma base de dados sobre a quantidade e fontes de HPA gerados no Brasil.

Neste contexto, a seguir propõe-se uma análise das principais propriedades físico-químicas e bioquímicas destes contaminantes, a fim de relacioná-las com o meio estudado, com os compostos identificados na área de interesse, e com o seu mecanismo de transporte na mesma. A **Tabela 11** abaixo apresenta os valores de algumas das propriedades a serem explicitadas.

Tabela 11: Valores das Propriedades Físico-Químicas dos HPA's monitorados

Compostos	Peso Molecular (u.m.a)	Solubilidade em água a 25° C (ug/L)	Pressão de Vapor a 25°C	Constante de Henry a 25°C (kPa)	Coefficiente de Partição de Carbono Orgânico (log K _{oc})	Coefficiente de partição octanol/água (log K _{ow})
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos						
Naftaleno	128,17	3,17 . 10 ⁴	10,4	4,89 . 10 ⁻²	2,66 a 5,00	3,40
Acenaftileno	152,20	-	8,9 . 10 ⁻¹	1,14 . 10 ⁻³	3,75 a 3,83	4,07
Acenafteno	154,21	3,93 . 10 ³	2,9 . 10 ⁻¹	1,48 . 10 ⁻²	3,59 a 5,38	3,92
Fluoreno	166,22	1,98 . 10 ³	8,0 . 10 ⁻²	1,01 . 10 ⁻²	3,76 a 5,47	4,18
Fenantreno	178,23	1,29 . 10 ³	1,6 . 10 ⁻²	3,98 . 10 ⁻³	4,22 a 6,12	4,60
Antraceno	178,23	73,0	8,0 . 10 ⁻⁴	7,3 . 10 ⁻²	3,74 a 5,76	4,50
Fluoranteno	202,26	260,0	1,2 . 10 ⁻³	6,5 . 10 ⁻⁴	4,00 a 6,38	5,22
Pireno	202,26	135,0	6,0 . 10 ⁻⁴	1,1 . 10 ⁻³	3,11 a 6,51	5,18
Benzo(a)antraceno	228,29	14,0	2,8 . 10 ⁻⁵	-	4,52 a 7,30	5,61
Criseno	228,29	2,0	8,4 . 10 ⁻⁵	-	4,00 a 6,90	5,91
Benzo(b)fluoranteno	-	-	-	-	-	-
Benzo(k)fluoranteno	252,32	0,76	1,3 . 10 ⁻⁷	4,4 . 10 ⁻⁵	4,00 a 7,00	6,84
Benzo(a)pireno	252,32	3,8	7,3 . 10 ⁻⁷	3,4 . 10 ⁻⁵ (20 °C)	4,00 a 8,30	6,50
Indeno(123-cd)pireno	276,34	62,0	1,3 . 10 ⁻⁸ (20 °C)	2,9 . 10 ⁻⁵ (20 °C)	-	6,58
Dibenzo(a,h)antraceno	278,35	0,5 (27 °C)	1,3 . 10 ⁻⁸ (20 °C)	7 . 10 ⁻⁶	6,31	6,50
Benzo(g,h,i)perileno	276,34	0,26	1,4 . 10 ⁻⁸	2,7 . 10 ⁻⁵ (20 °C)	-	7,10

Fonte: Adaptado de IPCS, 1998.

4.4.2.1. Solubilidade em água

Esta propriedade diz respeito à concentração máxima que se pode dissolver de um composto químico num volume definido de água pura, que em geral figura entre 1 e 100.000 mg/L. Para melhor compreender o mecanismo de migração de um contaminante é fundamental analisar a sua solubilidade, que por sua vez é diretamente influenciada pelas condições ambientais, tais como pH e temperatura. Além disso, a solubilidade está diretamente relacionada com a volatilidade destes agentes químicos. Quando um composto é muito solúvel em água ele pode ser pouco adsorvido pelo solo, já que tem baixa afinidade com o mesmo, o que faz com que seja rapidamente transportado do solo contaminado para corpos d'água subterrâneos ou superficiais (ATSDR, 1992).

A solubilidade reduz quanto maior for a quantidade de anéis e a massa molecular do composto, na maior parte dos casos, e é uma das propriedades mais essenciais na questão do transporte destes compostos no meio ambiente. Quanto mais solúvel for um composto, mais fácil será de transportá-lo pela água, já que terá baixa adsorção nas partículas do solo. Compostos mais solúveis também são mais susceptíveis à biodegradação por sua estrutura ser mais simples (CETESB, 2009). Este não é o caso dos HPA's, já que eles têm baixa solubilidade em água, com exceção do naftaleno, que é relativamente solúvel (cerca de 32 mg/L), como mostra a **Tabela 11**.

4.4.2.2. Volatilidade

Em relação à volatilidade temos duas propriedades que estão diretamente relacionadas:

- Pressão de vapor: quando um agente químico se encontra em estado puro é através desta propriedade que podemos medir sua volatilidade. A pressão de vapor é essencial para a determinação da velocidade de volatilização dos contaminantes do solo ou água para o ar. A taxa de volatilidade, por sua vez, é afetada pela temperatura, condições do solo, características de adsorção, solubilidade do composto, velocidade do vento, entre outros fatores.

Usualmente, quando um agente químico tem alta afinidade com o solo ou a água, e possui pressão de vapor relativamente baixa, como consequência ele possui menor probabilidade de evaporar. Assim, é evidente afirmar que os compostos com alta pressão de vapor e baixa afinidade com a água ou o solo evaporarão mais facilmente (EISENREICH *et al.*, 1981).

- Constante da Lei de Henry (H): indica o grau de volatilidade do agente químico em uma solução de acordo com sua pressão de vapor, solubilidade e peso molecular.

Uma alta solubilidade na água com relação à pressão de vapor do contaminante implica na sua dissolução principalmente em água. Quando o inverso ocorre, isto é, a pressão de vapor é relativamente alta em relação à sua solubilidade em água, tem-se uma constante da Lei de Henry alta, e o composto se evaporará preferencialmente ao ar, o que poderia sugerir que a inalação seria uma via de exposição importante (ATSDR, 1992).

A **Tabela 12** abaixo mostra classificações da volatilidade em função do valor da Constante da Lei de Henry que podem ser encontradas para cada composto.

Tabela 12: Volatilidade segundo faixas da Constante da Lei de Henry

Volatilidade	Faixa de valor (atm m ³ /mol)
Não volátil	$< 3 \times 10^{-7}$
Baixa volatilidade	3×10^{-7} a 1×10^{-5}
Volatilidade moderada	1×10^{-5} a 1×10^{-3}
Alta volatilidade	$> 1 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de ATSDR (1992)

O aumento do peso molecular gera uma redução da pressão de vapor e da constante de Henry do composto químico, fazendo com que estes compostos sejam menos voláteis. Como resultado, HPA's de 2 ou 3 anéis aromáticos concentram-se principalmente na fase gasosa do ar. Já HPA's com 5 anéis ou mais tendem a se condensar e a se concentrar no material particulado atmosférico, como fuligem e cinzas, devido à sua baixa pressão de vapor. Por fim, HPA's com 4 anéis distribuem-se entre as diversas fases do ar, apresentando pressão de vapor entre 10^{-8} e 10^{-4} mmHg (COSTA, 2001).

4.4.2.3. Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico (K_{oc})

É uma medida da tendência de um agente químico ser adsorvido pelo solo, sendo também designado como coeficiente de partição solo/água ou coeficiente de adsorção. Cada composto tem um valor de K_{oc} específico, que independe das propriedades do solo em que ele se encontra. Assim sendo, o químico orgânico que possui alto K_{oc} se fixa com bastante firmeza à matéria orgânica do solo, o que significa que pouca quantidade do composto migrará para as águas superficiais ou para os aquíferos. Do contrário, quando o contaminante possui um valor baixo de K_{oc} , sugere-se a possibilidade do mesmo migrar mais facilmente para os corpos de água (ATSDR, 1992).

A **Tabela 13** apresenta os intervalos de valores do K_{oc} , sabendo-se que estes variam de 1 a 10.000.000, e as respectivas características de adsorção do composto aos solos.

Valores de K_{oc}	Adsorção ao solo
< 10	Muito fraca
10 a 100	Débil
100 a 1.000	Moderada
1.000 a 10.000	Moderada a forte
10.000 a 100.000	Forte
> 100.000	Muito forte

Fonte: Adaptado de ATSDR (1992)

Em relação aos HPA's, COSTA (2001) afirma que seus coeficientes de partição entre carbono orgânico e água são elevados, indicando que possuem alta afinidade com o solo e que, mesmo em sistema aquosos, estes contaminantes tendem a se concentrar em sedimentos, ou ficam associados à matéria orgânica em suspensão.

4.4.2.4. Coeficiente de Partição Octanol/Água (K_{ow})

Este coeficiente está associado ao coeficiente de adsorção no solo (K_{oc}) e ao fator de bioconcentração (FBC), a ser explicado a seguir. Por definição, o K_{ow} é a concentração de um composto químico na fase octanol tendo em consideração a concentração na fase aquosa num sistema bifásico octanol/água, sendo significativo para a descrição do destino do contaminante orgânico no meio ambiente. Por essa razão, este coeficiente é capaz de prever o potencial do agente químico em se acumular na gordura animal, incluindo nós humanos, e mede sua distribuição ao equilíbrio, entre octanol e água (ATSDR, 1992).

Quando um composto apresenta altos valores de K_{ow} , os organismos tendem a acumulá-los nas porções lipídicas de seus tecidos. Em vista disso, pode-se estimar o potencial de bioconcentração de um agente químico ao medir o quão lipofílico ele é. Como há uma grande dificuldade em quantificar a lipofilicidade na prática, usualmente se emprega o K_{ow} para demonstrar a tendência de uma substância em se distribuir entre o octanol, um representante das gorduras, e a água. Assim, é possível afirmar que existe uma relação direta entre a tendência de um químico bioconcentrar-se na biota e o valor de K_{ow} , que por sua vez é inversamente proporcional à solubilidade em água deste agente (ATSDR, 1992).

Em relação ao meio físico, altos valores de K_{ow} significam que os compostos tendem a se acumular em solos, sedimentos e na própria biota, como já mencionado. Este comportamento é característico de substâncias lipofílicas, que se adsorvem fortemente

ao solo e à matéria orgânica, podendo ser transferidos para nós humanos através da cadeia alimentar. Em compensação, contaminantes com K_{ow} baixo geralmente se distribuem com amplitude entre o ar e a água, como é o caso de vários compostos orgânicos voláteis, fazendo com que a via de exposição da ingestão seja menos importante do que a de inalação, por exemplo (ATSDR, 1992).

MESQUITA (2004) diz que a substância com K_{ow} inferior a um é considerada relativamente hidrofílica, conferindo a ela alta solubilidade em água, baixa adsorção aos sedimentos e reduzido fator de bioconcentração (FBC). Já os compostos que possuem K_{ow} superiores a quatro podem ser considerados hidrofóbicos, como é o caso dos HPA's, e tendem a se acumular em superfícies orgânicas, como solo e espécies aquáticas, e assim possuem lixiviação bastante reduzida.

Na realidade, os HPA's possuem altíssimos K_{ow} , cujos valores são constantemente superiores a mil, confirmando sua grande afinidade lipofílica, que aumenta quanto maior for o número de anéis aromáticos da molécula (MAZZUCO, 2004).

4.4.2.5. Fator de bioconcentração (FBC)

A bioconcentração é a absorção direta de uma substância por um ser vivo através da pele, pulmões, guelras, entre outros.

Assim, o fator de bioconcentração mede a dimensão da distribuição química de um composto em comparação com o equilíbrio entre um meio externo, como a água e o solo, e um meio biológico, como o tecido de um organismo. O valor do FBC é igual ao quociente entre a concentração de equilíbrio (mg/kg) de um agente químico em um meio biológico e a concentração da mesma substância no meio externo (ATSDR, 1992).

Geralmente altos valores de K_{ow} implicam em um alto FBC. Apesar disso, certos compostos não se acumulam de forma significativa em alguns tecidos animais, mesmo apresentando um alto K_{ow} , como é o caso dos HPA's, o que reforça a sua preferência pelo solo. Isto acontece pois certos animais, como peixes e vertebrados são capazes de rapidamente metabolizar estas substâncias (ATSDR, 1992).

4.4.2.6. Velocidade de transformação e de degradação

De acordo com MESQUITA (2004), há pesquisas científicas desde os anos setenta que demonstram a aplicabilidade de fungos, bactérias e algas na remediação de áreas contaminadas por HPA's, devido às atividades catabólicas destes organismos.

Neste contexto, para se analisar a velocidade de transformação e degradação de um composto, grandezas difíceis de precisar, deve-se tomar como referência os seus processos e mudanças biológicos, químicos e físicos através do tempo. Vale mencionar que a transformação química é bastante influenciada pelos processos de hidrólise, oxidação, fotólise e pela degradação microbiana, sendo a fotólise aquosa uma transformação chave para contaminantes orgânicos, que é quando ocorre a alteração de uma espécie química pela absorção da luz (ATSDR, 1992).

Quando ocorre a ruptura de compostos orgânicos temos o processo de biodegradação, um processo essencial para a natureza nos solos. A velocidade desta decomposição está relacionada ao conteúdo de matéria orgânica presente no solo. Aplicar este conceito na prática é igualmente árduo, uma vez que tudo isto depende de variáveis físicas e biológicas específicas do local de estudo (ATSDR, 1992). Quanto mais solúvel em água um composto for, mais susceptível à biodegradação ele será, graças à sua estrutura consideravelmente mais simples (CETESB, 2009).

Hoje em dia, a biorremediação, processo no qual são utilizados microorganismos vivos para a biodegradação dos contaminantes, vem demonstrando bastante eficácia na remediação de solos contaminados com HPA's que apresentam reduzido peso molecular. No entanto, este procedimento pode revelar-se limitado pela falta de microorganismos capazes de degradar os compostos com mais de quatro anéis aromáticos, mesmo que a falta de atividade microbiana para HPA's de alto peso molecular seja geralmente atribuída a fatores específicos de campo, como biodisponibilidade do contaminante, nutrientes, potencial redox, entre outros (MESQUITA, 2004).

MAZZUCO (2004) afirma que a capacidade de certos microorganismos em degradar substâncias orgânicas tóxicas vem sendo bastante documentado. Muitas pesquisas já desenvolvidas demonstraram que diversos grupos de bactérias e fungos têm habilidade para degradar componentes do petróleo.

Existe uma grande diversidade de organismos capazes de degradar HPA's de baixo peso molecular, como o naftaleno, acenafteno e fenantreno, mas o mesmo não ocorre para HPA's de elevado peso molecular, como o benzo(a)pireno (MESQUITA, 2004).

É importante apontar que a biodegradação pode provocar a conversão dos contaminantes para produtos inorgânicos no caso de contaminantes orgânicos como os HPA's, de forma que por diversas vezes sua completa transformação leva a produtos de mineralização, como o dióxido de carbono e a água. (MAZZUCO, 2004).

4.5. Análise e Discussão dos Resultados

4.5.1. Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar

Iniciando pelo Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar (**Tabela 8 e Figura 21**), pode-se afirmar que não só o seu desenvolvimento foi satisfatório como essencial para o gerenciamento da área em questão. Sua elaboração permitiu que todas as áreas com potencial de contaminação fossem identificadas e consideradas no plano de amostragem.

De acordo com as plumas horizontais desenhadas, tanto para fase adsorvida quanto dissolvida, é fácil perceber que as concentrações encontradas acima dos valores orientadores estão dispostas entre as áreas destacadas no Modelo Conceitual. Numa área tão extensa quanto a estudada, seria quase impossível escolher os locais corretos para realização de sondagens e poços de monitoramento sem um conhecimento aprofundado a respeito da mesma, do seu histórico e de suas atividades.

A norma NBR 15.515-1:2007 reforça repetidamente a importância da execução adequada do Modelo Conceitual, e o presente trabalho reitera esta questão. Além disso, é importante ressaltar que este conjunto de informações deve ser atualizado a cada etapa de investigação, tanto na Confirmatória quanto na Detalhada. No presente caso, a detalhada caracterização do sítio e de suas redondezas aliada à análise apropriada das informações coletadas proporcionou uma Avaliação Preliminar efetiva da área de interesse. Os métodos diretos de investigação, através da execução de sondagens e da instalação de poços de monitoramento em pontos estratégicos, possibilitaram, por sua vez, o enriquecimento necessário ao Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar.

4.5.2. Ensaio Hidrogeológicos

Com relação ao sentido do fluxo de água subterrânea determinado por meio da elaboração de mapas potenciométricos (ver **Figura 22**), pode-se verificar que nas duas etapas de investigação realizadas obteve-se resultados contrastantes. Enquanto na Investigação Confirmatória os dados indicam um sentido de fluxo preferencial de sudoeste para nordeste, na Investigação Detalhada atesta-se um sentido preferencial de noroeste para sudeste.

Analisando a pluviometria característica do local ilustrada na **Figura 30 e Tabela 14** a seguir, fica evidente que o mês de Março, quando foi feita a Investigação Confirmatória, define uma época chuvosa, e o mês de Julho, quando foi feita a Investigação Detalhada, é considerado um período de estiagem. Neste contexto, seria importante que as

medições de carga hidráulica fossem realizadas em todos os poços existentes no local, o que não ocorreu.

Assim, percebe-se uma deficiência da NBR 15.515-2:2011 em abordar esta questão, que é de grande relevância para uma investigação geoambiental, posto que o fluxo subterrâneo pode potencializar o transporte de contaminantes. Isto acarretaria não só no espriamento da contaminação como num mapeamento mais difícil de sua pluma.

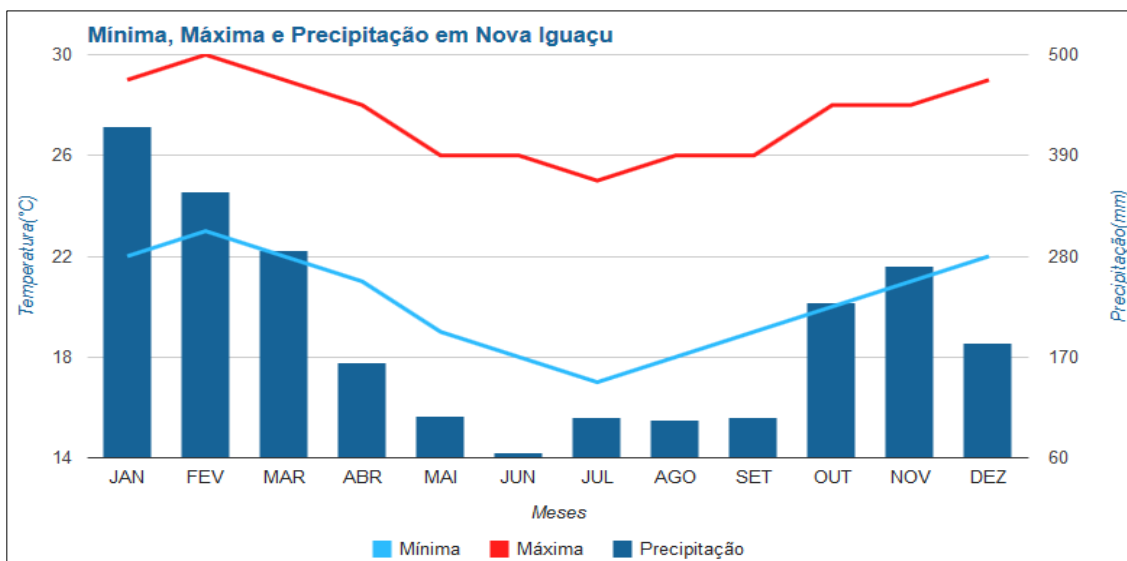


Figura 30: Pluviometria dos últimos 30 anos no município de Nova Iguaçu

Fonte: Climatempo, 2015.

Tabela 14: Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano em Nova Iguaçu

Mês	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22	29	422
Fevereiro	23	30	350
Março	22	29	286
Abril	21	28	164
Mai	19	26	105
Junho	18	26	65
Julho	17	25	104
Agosto	18	26	101
Setembro	19	26	104
Outubro	20	28	229
Novembro	21	28	269
Dezembro	22	29	185

Fonte: Climatempo, 2015.

O mapeamento simplificado do fluxo subterrâneo desta Investigação Detalhada pode causar uma interpretação incorreta dos dados, e conseqüentemente confundir os profissionais envolvidos. Apesar disso, no caso apresentado, o segundo mapeamento pode ser considerado mais adequado, visto que a zona de descarga mais próxima da região encontra-se ao sul da área de interesse, como ilustrado na **Figura 4**.

De qualquer forma, é recomendável que a determinação do sentido do fluxo de água subterrâneo local ocorra com o maior número de informações possível, e a norma NBR 15.515-3:2013 poderia auxiliar nesse sentido, fazendo recomendações mais específicas a respeito da coleta de informações para determinação do sentido do fluxo de água subterrâneo local. Poderia ser sugerido, por exemplo, que se estude o fluxo subterrâneo em períodos com maior e menor incidência de chuvas, de maneira que as medições sejam feitas em todos os poços de monitoramento existentes em toda e qualquer campanha realizada. Seria interessante ainda limitar o intervalo de tempo entre diferentes medições para evitar equívocos.

Para os ensaios de permeabilidade obteve-se resultados diferentes: os coeficientes de permeabilidade apresentaram uma ordem de grandeza de diferença ($1,98 \times 10^{-6}$ m/s na Investigação Confirmatória e $1,26 \times 10^{-7}$ m/s na Detalhada). Tal fato pode ser explicado pelos perfis litológicos distintos dos poços utilizados neste ensaio (ver **Figura 24**), de forma que o poço PM-11 é predominantemente ocupado por areia argilosa enquanto o PM-14 apresenta uma camada arenosa de cerca de 1,50 metro de espessura em meio à lente de areia argilosa. Além disso, os poços encontram-se distantes um do outro, acentuando as diferenças litológicas.

Sabe-se que a porosidade tem grande influência na permeabilidade dos solos, então vale mencionar que para o poço PM-11 na Investigação Confirmatória considerou-se a porosidade efetiva de 17% (FETTER, 2004). Já durante a Detalhada foi possível realizar uma análise na amostra indeformada do solo local, que forneceu um valor de 14,1% para a porosidade efetiva. DRISCOLL (1987) já havia afirmado que solos arenosos apresentavam porosidade efetiva com valores de 10 a 30%, o que relaciona a litologia do poço de monitoramento PM-14 com os resultados obtidos a partir da sua análise na Investigação Detalhada.

Sendo assim, torna-se válida a comparação com o exposto por PINTO (2000) (**Tabela 15**), mesmo que o autor apresente dados referentes à porosidade total do solo, enquanto que os resultados encontrados a partir dos ensaios feitos estão relacionados com a porosidade efetiva. Os dados obtidos mostram alguns contrastes com a literatura. Estas diferenças refletem principalmente a heterogeneidade da estratigrafia da zona de captação, como demonstrado pelos perfis dos poços, uma vez que solos arenosos tendem a ser mais permeáveis do que solos mais argilosos. Erros na condução dos testes ou mesmo na construção dos poços também podem ter influenciado nos valores aferidos.

Tabela 15: Valores característicos para os tipos de solo

Classificação do Solo	Coefficiente de Permeabilidade - K (m/s) Fonte: Adaptado de Pinto (2000)	Porosidade efetiva - η_e (%) Fonte: Adaptado de Fetter (1994)
Argilas	$< 1,00 \times 10^{-9}$	0,20
Siltos	$1,00 \times 10^{-6}$ a $1,00 \times 10^{-9}$	0,18
Areias Argilosas	$1,00 \times 10^{-7}$	0,17
Areias Finas	$1,00 \times 10^{-5}$	0,21
Areias Médias	$1,00 \times 10^{-4}$	0,26
Areias Grossas	$1,00 \times 10^{-3}$	0,27

Já a velocidade de fluxo de água subsuperficial, determinada a partir das condutividades obtidas nesses dois poços de monitoramento, possui valores relativamente próximos (5,42 m/ano e de 1,65 m/ano). A diferença observada provavelmente está relacionada aos valores de porosidade efetiva utilizados em cada estudo, mas principalmente pelos valores de gradiente hidráulico usados ($1,5 \times 10^{-2}$ m/m na Investigação Confirmatória e $5,8 \times 10^{-2}$ m/m na Detalhada), que se diferem devido às cargas hidráulicas obtidas em cada estudo. Os fatores apontados como justificativa para a diferença observada nos coeficientes de permeabilidade encontrados também podem influenciar na velocidade do fluxo subterrâneo.

A flutuação do aquífero freático está relacionada com a variação na recarga e descarga do aquífero, e com o perfil geológico local. Em períodos chuvosos, por exemplo, o nível d'água apresenta maiores elevações, se comparado com os locais correspondentes à zona de descarga do aquífero que apresentam cotas topográficas mais baixas, originam gradientes hidráulicos maiores na área. Essas observações reafirmam a importância de se realizar medições de cargas hidráulicas para determinação do sentido de fluxo de água subterrânea em períodos chuvosos e de estiagem.

O fato de só ter sido feito um ensaio de permeabilidade em cada investigação, e em pontos diferentes, dificultam a análise dos resultados, pois vários fatores de influência trazem uma grande incerteza sobre este resultado. Assim, a norma poderia exigir que fossem feitos mais de um ensaio de forma a obter resultados representativos do meio em questão, mesmo que sujeito à avaliação profissional. Tal conduta evitaria que os resultados refletissem apenas a estratigrafia da zona de captação, gerando conclusões mais específicas da permeabilidade dos solos individuais.

4.5.3. Análises Químicas e a Contaminação por Asfalto

Como preconiza a NBR 15.515, a distribuição dos pontos de amostragem, tanto no espaço horizontal como vertical da área de interesse, deve buscar abranger os locais

onde se espera ocorrência das maiores concentrações de SQL, de acordo com o que foi identificado no Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar. A quantidade de pontos deve ser suficiente para ao menos identificar ou não a possível contaminação em cada área fonte suspeita, estando a critério do profissional habilitado.

Contudo, a falta de especificação a respeito dos pontos de amostragem aliada às pressões do mercado comercial que giram em torno destes estudos, pode prejudicar o correto mapeamento da contaminação local. Como a metodologia não está explicitada claramente nas normas, as empresas de consultoria ambiental que realizam essas investigações ambientais não são obrigadas a realizar o procedimento como deveria ser, abrindo margem para equívocos e mapeamentos mal realizados. Este fator ainda dá mais uma vez a oportunidade para que as empresas contratantes não se sintam obrigadas a aceitar determinadas recomendações da consultoria contratada, mesmo que pertinentes.

A NBR 15.515 afirma que os pontos de amostragem devem ser suficientes para garantir o “fechamento” da pluma de contaminação. Porém, se comparadas as extensões das plumas desenhadas para os resultados de cada investigação (**Figuras 25 a 28**), constata-se uma considerável evolução na delimitação das plumas de um estudo para o outro. Dessa forma, seria interessante que a norma fizesse maiores recomendações a respeito do mapeamento das plumas de contaminação, pois uma abordagem restritiva traria benefícios ao gerenciamento de *brownfields* e de outras áreas contaminadas.

É importante mencionar que a delimitação de algumas plumas de contaminação que não puderam ser completamente “fechadas” será feito num estudo complementar por razões comerciais relacionadas ao projeto. Por esse motivo não foi possível abordar tais resultados no presente trabalho.

Em relação aos HPA's, por serem pouco solúveis, é natural que tenham sido encontrados em menores concentrações na água subterrânea, e que suas plumas de fase adsorvida possuam pequenas extensões se comparadas com as de fase dissolvida. Isto ocorre pois, como verificado, estas substâncias tendem a desenvolver maior afinidade com o solo, se aderindo às suas partículas devido ao seu elevado K_{oc} , K_{ow} e às suas baixas volatilidade e solubilidade.

Vale destacar que por serem materiais pouco voláteis e como a área de interesse já foi desmobilizada há algum tempo, provavelmente tudo o que poderia se volatilizar da contaminação local já o fez, causando a fixação da maior parte restante ao solo e a migração de uma pequena parcela para as águas subterrâneas. Assim, a volatilização para a

atmosfera provavelmente não é o processo mais significativo de distribuição deste contaminante na data atual. Neste caso, também é possível afirmar que a medição das concentrações de VOC através do PID para definir pontos de amostragem seria pouco recomendável.

Entretanto, alguns estudos experimentais indicam que a adsorção do naftaleno ao sedimento e à matéria orgânica suspensa é relativamente pequena. A **Tabela 16** abaixo apresenta as faixas de concentração encontradas em ambas as Investigações para cada um dos compostos de HPA que constam nas listas da legislação vigente, em comparação com os valores orientadores utilizados.

Analisando-a, é possível ver que entre todos os compostos químicos abordados, o naftaleno é o que mais se destaca: a sua maior concentração encontrada é cerca de 520 vezes maior do que o valor de intervenção definido pela CETESB no solo e quase 9 vezes superior ao valor estabelecido para água subterrânea pelo mesmo órgão ambiental. Além disso, através das plumas de contaminação desenhadas no plano horizontal percebe-se que sua presença é a mais extensa no local. Sendo assim, pode-se considerar o naftaleno o HPA mais representativo no caso do asfalto para a área estudada.

Tabela 16: Resultados analíticos das amostras coletadas

Compostos	Solo			Água Subterrânea		
	Padrão de referência industrial (CETESB ¹)	Padrão de referência industrial (CONAMA ²)	Faixa de concentração (mg/kg)	Padrão de referência (CETESB ¹)	Padrão de referência (CONAMA ²)	Faixa de concentração (µg/L)
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos						
Naftaleno	5,9	90	<0,01 - 3063	60	140	<0,01 - 512
Acenaftileno	-	-	<0,01 - 22,79	-	-	<0,01 - 2,0
Acenafteno	-	-	<0,01 - 2421	-	-	<0,01 - 283
Fluoreno	-	-	<0,01 - 1611	-	-	<0,01 - 118
Fenantreno	95	95	<0,01 - 5154	140	140	<0,01 - 215
Antraceno	10000	-	<0,01 - 1503	900	-	<0,01 - 43
Fluoranteno	-	-	<0,01 - 3397	-	-	0,02 - 39
Pireno	-	-	<0,01 - 2496	-	-	0,02 - 26
Benzo(a)antraceno	22	65	<0,01 - 1245	0,4	1,75	<0,01 - 1,3
Criseno	1600	-	<0,01 - 1253	41	-	<0,01 - 0,99
Benzo(b)fluoranteno	25	-	<0,01 - 730	0,4	-	<0,01 - 1,8
Benzo(k)fluoranteno	240	-	<0,01 - 100	4,1	-	<0,01 - 0,72
Benzo(a)pireno	2,7	3,5	<0,01 - 732	0,7	0,7	<0,01 - 0,92
Indeno(123-cd)pireno	30	130	<0,01 - 70,8	0,4	0,17	<0,01 - 0,46
Dibenzo(a,h)antraceno	2,9	1,3	<0,01 - 22,70	0,04	0,18	<0,01 - 0,10
Benzo(g,h,i)perileno	-	-	<0,01 - 86,3	-	-	<0,01 - 0,43

(1) Valor de intervenção, Decisão de Diretoria n° 045, 2014; (2) Valor de investigação, Resolução CONAMA n° 420, 2009; (<) - abaixo do limite de quantificação.

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014 e Relatório de Investigação Detalhada, Julho/2014.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o presente estudo, todos os procedimentos descritos na metodologia do trabalho foram realizados, atendendo, com isso, os objetivos propostos.

Analisando o histórico do terreno, a indústria que fabricava produtos à base de asfalto funcionou no local de 1954 até, provavelmente, meados da década de 1990. Atualmente, uma parte do terreno está sendo utilizada como estacionamento de ônibus, e não é realizado nenhum tipo de serviço no local.

O empreendimento está em uma área com ocupação mista, com a presença de empreendimentos residenciais, comerciais e industriais. Há de se destacar no entorno da área de interesse a presença de uma universidade, uma indústria de alimentos, concessionárias, algumas oficinas e um posto de combustível. Destas atividades, aquela que pode exercer uma maior influência sobre a qualidade do solo e água subterrânea do terreno investigado, é o posto de combustível, pois localiza-se imediatamente ao lado da área de interesse.

No Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar foram destacadas 08 (oito) áreas com potencial de contaminação: Seção de Asfalto, Seção de Fibro Asfálticos, Seção de Tintas e Massas Asfálticas, Armazenamento aéreo de Óleo BPF e Óleo Diesel, Armazenamento aéreo de Asfalto, Galpões Operacionais, Área de ocupação desconhecida e limite com o Posto de Combustíveis. Essas fontes foram destacadas, pois, podem impactar a qualidade do solo e da água subterrânea do local investigado, em função dos produtos químicos manuseados e estocados. É possível afirmar que o desenvolvimento deste Modelo Conceitual foi satisfatório bem como essencial para o gerenciamento da área em questão. Sua elaboração permitiu a identificação e consideração de todas as áreas com potencial de contaminação, e a realização das etapas posteriores de investigação possibilitaram a atualização e o enriquecimento do Modelo Conceitual.

Com o intuito de caracterizar a maior parte do terreno, foram realizadas 22 (vinte e duas) sondagens e instalados 13 (treze) poços de monitoramento na Investigação Confirmatória, de forma a aprimorar o Modelo Conceitual elaborado previamente para a área. Já na Investigação Detalhada foram realizadas 46 (quarenta e seis) sondagens e instalados 13 (treze) poços de monitoramento, de onde foram coletadas amostras de solo e água subterrânea para análise.

De acordo com as características geológicas e hidrogeológicas locais, o aquífero freático apresenta nível médio de 1,70 metro de profundidade. É importante ressaltar algumas lacunas na NBR 15.515 em especificar os métodos a serem utilizados para o estudo do

sentido do fluxo de água subterrâneo e da permeabilidade do subsolo, visto que foram identificadas algumas diferenças nos resultados destes ensaios. A norma poderia auxiliar nesse sentido, fazendo recomendações mais específicas a respeito da coleta de dados para estes ensaios.

As amostras de solo coletadas indicaram concentrações superiores aos valores de referência para alguns compostos, mas principalmente para substâncias do grupo HPA. As plumas de fase adsorvida foram completamente delimitadas. Para as amostras de água subterrânea, foram obtidas concentrações superiores aos valores de intervenção para os mesmos compostos, mas não foi possível delimitar todas as plumas identificadas devido à quantidade e posicionamento dos poços, o que será posteriormente feito num estudo complementar.

Apesar de se constatar algumas plumas já delimitadas após a realização da Investigação Confirmatória, é possível verificar uma evolução na delimitação das plumas após a Detalhada. Mesmo assim, ainda há uma falta de especificação a respeito dos pontos de amostragem nas NBR's. Um exemplo disso é que, de acordo com as normas, algumas plumas de contaminação identificadas na Confirmatória não precisariam ser mais esmiuçadas posteriormente pois já se se encontravam "fechadas". Tal fato, aliado às constantes pressões do mercado comercial que giram em torno destes estudos, pode prejudicar o mapeamento correto da contaminação local.

A esfera destes estudos ambientais também é muitas vezes influenciada pelo mercado imobiliário, seja ele comercial ou residencial. Neste âmbito, como as normas apresentam brechas, as consultorias que realizam as investigações acabam ficando reféns das suas contratantes, uma vez que estas últimas não se sentem obrigadas a realizar o procedimento como deveria ser ou aceitar determinadas recomendações pertinentes, abrindo margem para equívocos e mapeamentos mal realizados.

Nesse sentido seria interessante, e até mesmo aconselhável, que as normas vigentes enunciassem orientações mais específicas a respeito do mapeamento das plumas de contaminação, garantindo um gerenciamento de *brownfields* mais efetivo e menos influenciado pelas pressões comerciais inerentes a este meio.

Vale mencionar que foi detectada em diversos poços a presença de fase livre de produto oleoso, altamente viscoso, semelhante a óleo BPF. Em função das propriedades físico-químicas do produto betuminoso encontrado, a volatilização para a atmosfera não é considerada a rota principal para distribuição e migração do contaminante. Com base na análise das propriedades físico-químicas e nos resultados analíticos, pôde-se concluir ainda

que, entre as substâncias químicas de HPA identificadas, o naftaleno é o que mais se destaca no caso da contaminação por asfalto.

Pelo exposto acima, a falta de especificação a respeito de como devem ser estabelecidos os pontos de amostragem, aliada às pressões do mercado destes estudos, pode gerar alguns equívocos e algumas lacunas no diagnóstico ambiental. Seria recomendável que as normas fossem revisadas para que possam melhor atender à atual conjuntura de investigações ambientais em *brownfields*. Desta forma, não só se resguarda o profissional habilitado como também obriga-se às empresas a serem mais conservadoras na condução de investigações de áreas contaminadas, permitindo que cada vez mais seja possível proteger os recursos naturais de práticas nocivas.

5.1. Recomendações

Para futuros trabalhos relacionados a esse tema e para dar continuidade às etapas de gerenciamento ambiental da área de interesse, seria recomendável fazer a análise crítica do procedimento de Avaliação de Risco. Uma comparação entre os métodos geralmente utilizados para avaliar o risco à saúde humana, como o das planilhas da CETESB e o do software *RBCA Tool Kit*, seria fundamental. Desta maneira seria possível determinar se as concentrações para os agentes químicos detectados na água subterrânea e no solo apresentariam risco para os trabalhadores das obras e para a população do entorno.

Sugere-se ainda a realização de uma análise crítica considerando a relevância de outros compostos identificados na área, como o Benzeno, contemplando também uma análise crítica do processo de investigação ambiental no local. Seria, portanto, necessário realizar uma pesquisa na literatura das propriedades físico-químicas e até mesmo de legislações relacionadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: orientações para sua execução no campo**. 3ª. ed., Boletim 04, 1996.

ABNT. **Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento**. NBR 15492:2007.

ABNT. **Poços de Monitoramento de águas em aquíferos granulares Parte 1: Projeto e Construção**. NBR 15495-1:2007.

ABNT. **Poços de Monitoramento de águas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento**. NBR 15495-2:2008.

ABNT. **Prática Padrão para a Avaliação Ambiental: Fase I – Processo de Avaliação Ambiental do Site**. NBR 15515-1: 2007.

ABNT. **Avaliação de Passivos Ambientais em solo e água subterrânea Parte 2: Investigação Confirmatória**. NBR 15515-2: 2011.

ABNT. **Avaliação de Passivos Ambientais em solo e água subterrânea Parte 3: Investigação Detalhada**. NBR 15515-3: 2013.

ABNT. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga**. NBR 15847:2010

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) 1992. **Public Health Assessment Guidance Manual**. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica – Formação básica para engenheiros**, PETROBRAS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2008, 3ª reimpressão de 2010.

BRASIL. **Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano. Brasília, 19 dez. 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 03/01/2015.

BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 31 ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 04/01/2015.

BRASIL. **Lei 7.347, de 24 de julho de 1985**. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico. Brasília, 24 jul. 1985.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7347orig.htm>. Acesso em: 05/01/2015.

BRASIL. **Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Brasília, 12 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 06/01/2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Estudo de avaliação de risco por resíduos perigosos no bairro Mansões Santo Antônio**. Campinas, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.acpo.org.br/saudeambiental/CGVAM/02_Avaliacao_de_Risco/04_%20mansoes_santo_antonio_campinas_sp/> Acesso em: 20/01/2015.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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. Brasília, 28 de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 20/01/2015.

CASTRO, Marco Aurelio Holanda de, FERREIRA FILHO, Walter Martins, MOBUS, Gilbert, GOMES, Luciano Alvaro Maia. **Obtenção dos Parâmetros Hidrogeológicos de um Aquífero Aluvial no Semi-Árido**. In: 1ST JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 2000, Fortaleza. Anais do 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000. v.1. p.1-16.

CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. CETESB/GTZ. São Paulo, 1999. Atualização em 2001. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/7-manual-de-gerenciamento-das--acs>>. Acesso em: 13/01/2015.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo**. CETESB/GTZ. São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 20/01/2015.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 045**, de 21 de fevereiro de 2014.

CLEAN ENVIRONMENT BRASIL. **“Como escolher um detector de gás”**. 2012. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/site/como-escolher-um-detector-de-gas>> Acesso em: 05/01/15.

CLIMATEMPO. **“Climatologia Nova Iguaçu – RJ”**. 2015. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/315/novaiguacu-rj>> Acesso em: 04/02/15.

COSTA, Alcilea Fátima. **Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: determinação de 1-hidroxipireno urinário.** [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2001. 80 p.

CPRM/DRM-RJ. **Geologia, hidrogeologia, diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2001. CDROM.

DRISCOLL, G. 1987. **Groundwater and wells.** 2 Ed. St Paul; Johnson Division. 1088p.

Educação Pública. **Geologia e hidrografia da cidade do Rio de Janeiro.** Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/oficinas/geologia/hidrografia_rj/14.html> Acesso em: 26/08/14.

EISENREICH S. J., LOONEY B. B., THORNTON J. D.. **Airborne organic contaminants of the Great Lakes ecosystem.** Environ Sci Tech 15:30-38. 1981.

Empresa contratada para realização da investigação ambiental. **Relatório de Avaliação Preliminar – NBR 15515-1.** Fevereiro de 2014.

Empresa contratada para realização da investigação ambiental. **Relatório de Investigação Geoambiental Confirmatória.** Março de 2014.

Empresa contratada para realização da investigação ambiental. **Relatório de Investigação Geoambiental Detalhada.** Julho de 2014.

FETTER, C.W. 1994. **Applied Hydrogeology.** 3rd ed. New Jersey. 691p.

FREITAS GUIMARÃES, J. R. P. de. **Riscos para os trabalhadores de pavimentação de ruas: as emissões tóxicas do asfalto.** Cipa: caderno informativo de prevenção de acidentes. São Paulo, v. 26, n. 304, p. 54–56, Mar., 2005.

GODOI, L. **Estudo do comportamento dos ligantes asfálticos utilizados na imprimação asfáltica relacionados à emissão de VOC's.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais - PIPE. Curitiba, PR, 153 fl., 2011.

GONTIJO, H. M. **Águas Subterrâneas.** Universidade de Itaúna: 2008. [Internet] Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAQcUAH/aguas-subterraneas#>> Acesso em: 23/01/2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Gerenciamento de áreas contaminadas do estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2013.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS), 1998. **Environmental Criteria**, 202. Selected Non-heterocyclic PAHs, World Health Organization, Geneva.

LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) Instituto de macromoléculas, professora Eloisa Mano, UFRJ, 1999.

LIEDI, B. B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

MARCHESAN, Ana Maria Moreira; STEIGLEDER, Annelise Monteiro; CAPELLI, Sílvia. **Direito Ambiental**. Porto Alegre; Verbo Jurídico, 2004.

MAZZUCO, L. M. (2004), **Atenuação Natural de Hidrocarbonetos Aromáticos em Aquíferos Contaminados com Óleo Diesel**, Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 73 p.

MEIRELLES, Hely Lopes. **Direito Municipal Brasileiro**. 6.^a ed., São Paulo: Malheiros, 1998.

MESQUITA, A. N. **Uso das técnicas de oxidação química e biodegradação na remoção de alguns compostos recalcitrantes**. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas: com exercícios resolvidos**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei nº 3467, de 14 de setembro de 2000**. Dispõe sobre as sanções administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente no estado do rio de janeiro, e dá outras providências. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/bff0b82192929c2303256bc30052cb1c/f6e323ae55f376bf03256960006a0dde?OpenDocument>> Acesso em: 22/01/2015.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Decreto nº 42.159, de 02 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre o sistema de licenciamento ambiental -slam e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1354975997.pdf>> Acesso em: 22/01/2015.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Resolução CONEMA nº44, de 14 de dezembro de 2012**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da identificação de eventual contaminação ambiental do solo e das águas subterrâneas por agentes químicos, no processo de licenciamento

ambiental estadual. Disponível em: <
<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=249192>> Acesso em: 22/01/2015.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Resolução CONEMA nº46, de 10 de maio de 2013.** Aprova a Norma Operacional NOP-INEA - 05 - Licenciamento ambiental e encerramento de postos revendedores de combustíveis líquidos e gás natural. Disponível em: <
<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=255128>> Acesso em: 22/01/2015.

SATÉLITE Google Maps – 2014.

SILVA, E. L. **Determinação da condutividade hidráulica através do método Hazen no campus da UFRRJ.** 2008. 60p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em geologia) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Sondaterra – Sondagens e Poços Artesianos. **Sondagem a Percussão - Ensaio de SPT (Standard Penetration Test).** Disponível em:
<<http://www.sondaterra.com.br/sondagens.htm>> Acesso em: 23/01/2015.

VASQUES, A. R.; MENDES, A. A. **Refuncionalização de *brownfields*.** In: GERARDI, L. H. de O.; CARVALHO, P. F. de. Geografia: ações e reflexões. Rio Claro: AGETEO, 2006.

Anexo 1: Cálculos dos Ensaios de Permeabilidade

Ensaio de Permeabilidade - Investigação Confirmatória

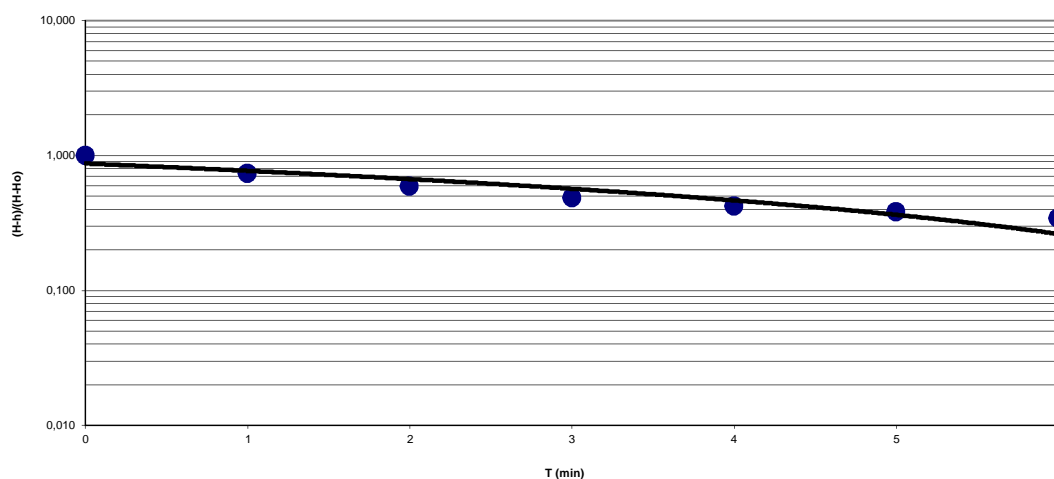
Investigação Geoambiental Confirmatória

Dados do Poço de Monitoramento	
Nomenclatura	PM-11
Nível Estático - H (cm)	261
Nível Dinâmico - H ₀ (cm)	360
Raio de Perfuração - R (cm)	5,08
Profundidade (cm)	360
Raio - r (cm)	2,54
Comprimento do filtro - L (cm)	200

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

T (min)	NA (cm)	(H-h)/(H-H ₀)	Log[(H-h)/(H-H ₀)]
0	360	1,000	0,000
1	334	0,737	-0,132
2	320	0,596	-0,225
3	309	0,485	-0,314
4	303	0,424	-0,372
5	299	0,384	-0,416
6	295	0,343	-0,464
7	292	0,313	-0,504
8	290	0,293	-0,533
9	288	0,273	-0,564
10	286	0,253	-0,598
15	281	0,202	-0,695
20	278	0,172	-0,765

ENSAIO DE PERMEABILIDADE



To (s)	299
K (m/s)	1,98E-06

Cálculo da Velocidade do Fluxo

$$V = \frac{K \times i}{n}$$

	Poço	Valor (m)
Potencial Máximo	PM-03	99,62
Potencial Mínimo	PM-12	97,85
Distância (m)	120,00	

i (m/m)	0,015
n (%)	17
V (m/s)	1,72E-07
V (m/ano)	5,42E+00

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Confirmatória, Março/2014.

PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 TÍTULO: ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE
 INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO
 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE: NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO: ENGENHARIA AMBIENTAL
 ALUNO: FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES
 DRE: 109042440
 DATA: MARÇO/2015



Ensaio de Permeabilidade - Investigação Detalhada

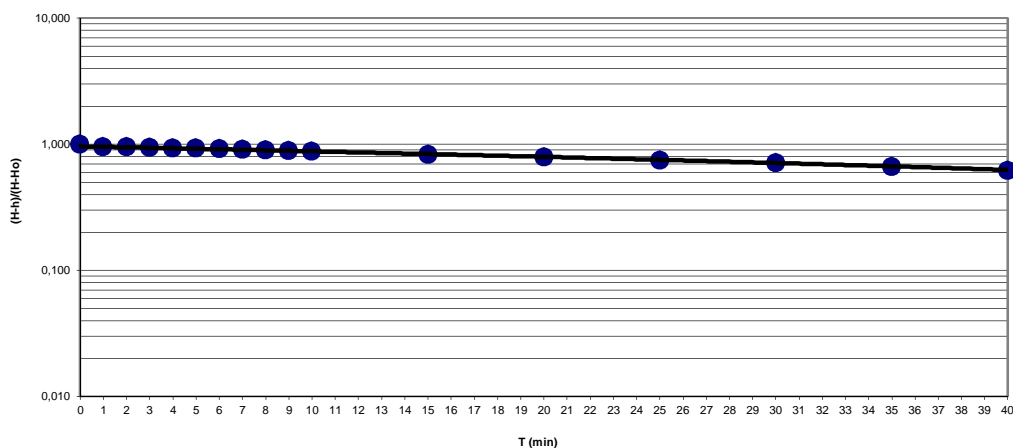
Investigação Geoambiental Detalhada

Dados do Poço de Monitoramento	
Nomenclatura	PM-14
Nível Estático - H (cm)	152
Nível Dinâmico - H ₀ (cm)	310
Raio de Perfuração - R (cm)	5,08
Profundidade (cm)	315
Raio - r (cm)	2,54
Comprimento do filtro - L (cm)	200

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

T (min)	NA (cm)	(H-h)/(H-H ₀)	Log[(H-h)/(H-H ₀)]
0	310	1,000	0,000
1	303	0,956	-0,020
2	302	0,949	-0,023
3	300	0,937	-0,028
4	299	0,930	-0,031
5	298	0,924	-0,034
6	297	0,918	-0,037
7	295	0,905	-0,043
8	293	0,892	-0,049
9	292	0,886	-0,053
10	291	0,880	-0,056
15	283	0,829	-0,081
20	277	0,791	-0,102
25	270	0,747	-0,127
30	264	0,709	-0,149
35	257	0,665	-0,177
40	249	0,614	-0,212
45	243	0,576	-0,240
50	237	0,538	-0,269
55	230	0,494	-0,307
60	225	0,462	-0,335
65	220	0,430	-0,366
70	214	0,392	-0,406

ENSAIO DE PERMEABILIDADE



T ₀ (s)	4695
K (m/s)	1,26E-07

Cálculo da Velocidade do Fluxo

$$V = \frac{K \times i}{n}$$

	Poço	Valor (m)
Potencial Máximo	PM-21	98,77
Potencial Mínimo	PM-17	95,81
Distância (m)	50,75	

i (m/m)	0,058
n (%)	14,1
V (m/s)	5,22E-08
V (m/ano)	1,65E+00

Fonte: Adaptado de Relatório de Investigação Detalhada, Julho/2014.

PROJETO: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
 TÍTULO: ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO
 GEOAMBIENTAL COM BASE NUM CASO PRÁTICO
 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE: NOVA IGUAÇU - RJ

CURSO: ENGENHARIA AMBIENTAL
 ALUNO: FERNANDA QUINTANILHA GONÇALVES
 DRE: 109042440
 DATA: MARÇO/2015

