



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA – CCMN**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**DELIMITAÇÃO E REMOÇÃO DE FASE LIVRE EM ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS CONTAMINADAS POR DERIVADOS DE  
PETRÓLEO EM TANGUÁ, RIO DE JANEIRO (RJ)**

**POR**

**MARCUS FILIPE COSTA DOS SANTOS**

**Rio de Janeiro, 2018**

MARCUS FILIPE COSTA DOS SANTOS

DELIMITAÇÃO E REMOÇÃO DE FASE LIVRE EM ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS CONTAMINADAS POR DERIVADOS DE  
PETRÓLEO

Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito obrigatório da  
disciplina “Trabalho Final de Curso”.

Orientadores: Dra. Andrea Ferreira Borges  
(UFRJ)

Rio de Janeiro  
Janeiro, 2018

MARCUS FILIPE COSTA DOS SANTOS

DELIMITAÇÃO E REMOÇÃO DE FASE LIVRE EM ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS CONTAMINADAS POR DERIVADOS DE  
PETRÓLEO

Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito obrigatório da  
disciplina “Trabalho Final de Curso”.

Orientador: Dra. Andrea Ferreira Borges  
(UFRJ)

Aprovada em 10 de janeiro de 2018 por:

---

Dra. Andrea Ferreira Borges (UFRJ)

---

Dra. Helena Polivanov

---

Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior

Rio de Janeiro

Janeiro, 2018

*À minha família, amigos, professores e todos que me acompanharam até aqui.*

## Agradecimentos

O autor expressa aqui os mais sinceros agradecimentos às pessoas e instituições que estiveram envolvidas com a realização deste trabalho, em especial à empresa Ambi Consultoria Ltda., pela estrutura e apoio financeiro ao longo de todo o trabalho.

Expresso minha gratidão principalmente à minha orientadora Dra. Andrea Ferreira Borges por todo o auxílio prestado durante a elaboração do trabalho.

Agradeço aos técnicos da empresa Altair Gomes Moraes e Deilton da Costa Neto, sem os quais não seria possível realizar diversos procedimentos nesse trabalho.

## Resumo

DOS SANTOS, Marcus Filipe Costa. Delimitação e remoção de fase livre em águas subterrâneas contaminadas por derivados de petróleo em Tanguá, (RJ) 2017. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. O presente estudo apresentado neste Trabalho Final de Conclusão de Curso está baseado no trabalho realizado entre julho e outubro de 2017, pela empresa Ambi Consultoria Ltda., onde o autor trabalhava à época, responsável pelo projeto original cujo desenvolvimento foi acompanhado junto ao Instituto Estadual do Ambiente, o Inea.

O foco desse trabalho será a delimitação e remoção de fase livre não aquosa das águas subterrâneas contaminadas por hidrocarbonetos derivados do petróleo em um posto de serviço desativado na cidade de Tanguá, no Rio de Janeiro. O empreendimento envolveu-se numa disputa judicial com o dono do imóvel onde as atividades do posto eram exercidas, para definir quem custearia as despesas do projeto de descontaminação, por isso, as ações só puderam ser tomadas na presente data, muito após o aporte primário do contaminante.

Dentro do escopo do trabalho, destacaremos a investigação preliminar e confirmatória, para avaliação do passivo ambiental, como identificação da fonte e interrupção do aporte de contaminante, incluindo a campanha de sondagens e amostragens de campo para delimitação da pluma de fase livre, as primeiras ações de ação e intervenção emergencial, como a montagem e instalação do sistema de bombeamento e tratamento, apresentando também os primeiros resultados do método.

## Abstract

DOS SANTOS, Marcus Filipe Costa. Delimitation and removal of non-aqueous phase liquids on oil-derived hydrocarbon contaminated underground water. Delimitação e remoção de fase livre em águas subterrâneas contaminadas por derivados de petróleo em Tanguá, (RJ) 2017. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The present study shown in this Conclusion Project is based on previous work led by Ambi Consultoria Company, which the author worked for, between July and October, 2017. The company is responsible for the whole original project, developed and assisted by the Rio de Janeiro Environmental Institute, Inea.

The focus on this work will be the delimitation of non-aqueous phase liquid on oil-derived contaminated underground water and its pumping-and-treating in a no-longer operating gas station in Tanguá City, Rio de Janeiro. By the time we first made contact, the gas station mentioned before had been in court with the owner of the property where all gas station operation used to take place, suing him to pay for the whole decontamination expenses, therefore the Company action could only be taken from the current date on.

Concerning the work, we'll focus preliminary and confirmatory reports, picturing the environmental liability, identifying and stopping the source of contaminant, including core drilling campaign and field samples to set the boundaries for the contaminant, first emergency intervention actions, such as building and setting multi-phase extraction pumping system and presenting first stage analytical data based on the current level of contamination.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. PROBLEMAS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS ASSOCIADOS A HIDROCARBONETOS DERIVADOS DO PETRÓLEO .....	13
3. OBJETIVOS .....	14
4. LOCALIZAÇÃO .....	15
5. GEOLOGIA LOCAL .....	17
5.1. Caracterização Geológica Regional .....	17
5.2. Caracterização Hidrogeológica Regional .....	18
6. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
6.1. AVALIAÇÃO PRELIMINAR E CONFIRMATÓRIA .....	19
6.1.1. Levantamento do histórico .....	19
6.1.2. Caracterização das Cercanias .....	20
6.1.3. Inspeção dos poços de monitoramento existentes .....	21
6.1.4. Mapa potenciométrico .....	22
6.1.5. Execução de Sondagens .....	23
6.1.6. Instalação dos poços de monitoramento e delimitação da pluma de fase livre .....	24
6.2. AÇÃO DE INTERVENÇÃO EMERGENCIAL .....	28
6.2.1. Método multi-phase extraction .....	30
6.2.2. Funcionamento do sistema .....	31
7. RESULTADOS .....	33
8. CONCLUSÃO .....	36
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores de referência estabelecidos pela CONAMA 420 específicos para concentração de hidrocarbonetos. ....	14
Figura 2. Localização do município de Tanguá em relação ao estado do Rio de Janeiro (Fonte: Wikipédia).....	15
Figura 3. Imagem aérea da localização do posto de serviço desativado na cidade de Tanguá (Fonte: Google Earth). ....	16
Figura 4. Mapa geológico da região metropolitana do Rio de Janeiro na escala 1:500.000. (Adaptado e extraído de CPRM (2014).....	18
Figura 5. Fase livre não aquosa encontrada nos poços de monitoramento.....	21
Figura 6. Mapa potenciométrico. Os poços em azul representam os poços de monitoramento existentes e as curvas azuis as linhas isotenciométricas. ....	22
Figura 7. Equipe executando sondagem a trado manual. ....	23
Figura 8. Perfil do padrão de poço instalado.....	25
Figura 9. Representação horizontal da pluma de contaminação. Os pontos vermelhos indicam os pontos onde há a presença de fase livre. Os pontos verdes representam os poços instalados após a campanha de sondagem. ....	26
Figura 10. Perfil dos poços instalados. ....	28
Figura 11. Representação gráfica das linhas de bombeamento nos pontos de interesse. ....	30
Figura 12. Fluxograma das etapas no processo de extração multifásica. (Extraído e editado de Google Imagens).....	32
Figura 13. Sistema MPE em funcionamento.....	33
Figura 14. Evolução do nível de fase livre por tempo de bombeamento.....	34
Figura 15. Fase livre remanescente no PM-04 após dois meses de bombeamento.....	35

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Dados obtidos na inspeção dos poços. ....	21
Tabela 2. Leitura de VOC nas sondagens executadas. ....	24
Tabela 3. Dados da evolução do bombeamento. ....	34

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de muitas vezes passarem despercebidos ao olhar cotidiano, postos de serviços estão enquadrados na lista de atividades potencialmente poluidoras devido a, entre outros fatores, seu sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis, em geral, gasolina, diesel e etanol.

Algumas operações de postos de serviço ao se encerrarem deixam passivos que impactam negativamente o homem e o ambiente. Os derivados de petróleo não necessitam concentrações muito elevadas para apresentarem potencial carcinogênico, fazendo com que a sua presença enquanto passivo ambiental seja alvo de preocupação e demande respostas rápidas em prol da comunidade, especialmente em locais onde a água subterrânea é usada para abastecimento e saneamento da população.

O Posto de Gasolina Pedra Bonita operava em Tanguá, município 145.503 km<sup>2</sup> e 30.732 habitantes (IBGE, 2008). O terreno onde o posto foi construído pertence a um locatário que não possui vínculos com os reais donos do empreendimento. Em um determinado período, houve um grande aporte de combustível, oriundo de um vazamento de um dos tanques devido à corrosão eletroquímica do mesmo. Os donos e o locatário, então, entraram em uma disputa judicial para decidir quem arcaria com as despesas da remediação do local.

Ao fim, o presente trabalho só pôde começar a ser desenvolvido em maio de 2017, quando só então fomos ao sítio averiguar e avaliar o estado atual do passivo ambiental deixado pelo posto de serviço, o que foi constatado pela amostragem de água subterrânea a partir dos poços de monitoramento instalados na área.

Há a presença de fase retida, fase dissolvida, fase em vapor e fase livre no local. A fase livre é o combustível sobrenadante às águas do aquífero e sua constatação demanda ações emergenciais por oferecer risco imediato à saúde humana, por conter compostos altamente tóxicos e cancerígenos como benzenos, toluenos e xilenos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e totais de hidrocarbonetos de petróleo, doravante BTEX, HPA e THP.

As primeiras ações tomadas foram a inertização do tanque, cessando a fonte de contaminante, seguido de uma campanha de sondagens e amostragens de água e solo, possibilitando assim identificar o perfil pedológico e criar uma noção da real extensão da pluma de contaminação. Uma vez estimado o volume de combustível e

sua extensão, partimos para a escolha do método de remoção de fase livre, escolhendo assim a técnica de *multi-phase extraction*.

Para tratar a questão do passivo ambiental, o Brasil possui legislação e normas específicas, como a NBR 15.515 partes 1 (ABNT, 2007), 2 (ABNT, 2011) e 3 (ABNT, 2013), que discorrem, respectivamente, acerca da investigação preliminar, confirmatória e detalhada.

Os hidrocarbonetos encontrados na água subterrânea derivados de combustíveis são constituídos majoritariamente por HPAs, BTEX e hidrocarbonetos alifáticos. Dentre os BTEX, o composto mais tóxico é o benzeno, carcinogênico mesmo em concentrações da ordem de  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Etilbenzeno e tolueno não são considerados carcinogênicos, mas são compostos tóxicos. Xilenos são misturas de três isômeros (orto, meta e para-xileno). Embora sejam menos perigosos que os outros BTEX, eles podem causar doenças do fígado, rins e sistema nervoso (Rosales et al., 2014).

As concentrações dos parâmetros em virtude da potabilidade da água onde eles se encontram é regulamentada pela Portaria do Ministério da Saúde n° 2.914/2011 (Brasil, 2011), o benzeno possui padrão de potabilidade de  $5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Tolueno, etilbenzeno e xilenos são regulados com concentração máxima permitida em águas subterrâneas, de 170, 200 e  $300 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, quando o uso preponderante é o consumo humano, segundo a Resolução CONAMA 396/2008 (Brasil, 2008).

A técnica de extração multifásica é a mais comum para bombeamento de fase livre e águas subterrâneas contaminadas, onde o material de interesse é bombeado do solo para a superfície, o que permite que ele seja tratado de forma homogênea. Bombeando a partir dos poços instalados estrategicamente de maneira a perpetrar a pluma de contaminação no aquífero.

## 2 PROBLEMAS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS ASSOCIADOS A HIDROCARBONETOS DERIVADOS DO PETRÓLEO

Os hidrocarbonetos monoaromáticos são notavelmente os maiores responsáveis pelos problemas advindos do contato humano com esses compostos, por apresentarem maior solubilidade em água e representarem a fração mais móvel dos combustíveis. São chamados de BTEX esses hidrocarbonetos monoaromáticos, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (*orto-*, *meta-*; *para-*). Como exposto anteriormente, os valores máximos permitidos para os hidrocarbonetos monoaromáticos, de acordo com o estabelecido pela Portaria 1.469/2000 do Ministério da Saúde (MS, 2000) são  $5\mu\text{g.L}^{-1}$  para o benzeno,  $170\mu\text{g.L}^{-1}$  para o tolueno,  $200\mu\text{g.L}^{-1}$  para o etilbenzeno e  $300\mu\text{g.L}^{-1}$  para o xileno.

Os BTEX apresentam alto risco à saúde humana por sua toxicidade crônica, além de serem poderosos depressores do sistema nervoso central, mesmo em pequenas concentrações (da ordem de  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Entre todos os compostos representados pelos BTEX, o benzeno é reconhecidamente o mais tóxico. É uma substância comprovadamente carcinogênica (podendo causar leucemia, ou seja, câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue), se ingerida, mesmo em baixas concentrações durante períodos não muito longos de tempo. Uma exposição aguda (altas concentrações em curtos períodos) por inalação ou ingestão pode causar até mesmo a morte de uma pessoa. Enquanto o padrão de potabilidade do benzeno estabelecido pelo Ministério da Saúde é de  $5\mu\text{g.L}^{-1}$ , sua concentração dissolvida na água em contato com gasolina pode chegar a  $3 \times 10^4 \mu\text{g.L}^{-1}$  (Mendes, 1993; Oliveira & Loureiro, 1998).

**ANEXO II**  
**LISTA DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Substâncias	CAS n°	Solo (mg.kg-1 de peso seco) (1)					Água Subterrânea (µg.L-1)
		Referência de qualidade	Prevenção	Investigação			Investigação
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>Hidrocarbonetos aromáticos voláteis</b>							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	5*
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	20*
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	300**
Tolueno	108-88-3	na	0,14	30	30	75	700**
Xilenos	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	500**
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos</b>							
Antraceno	07/12/20	na	0,039	-	-	-	-
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	1,75
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	-
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	0,7*
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	0,18
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	140
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	0,17
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	140

Figura 1. Valores de referência estabelecidos pela CONAMA 420 específicos para concentração de hidrocarbonetos.

### 3 OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo principal a delimitação e remoção da fase livre de combustível presente no solo e água da área, monitorando os níveis estáticos diariamente. Espera-se que o bombeamento de fase livre possa, não só erradicar o perigo imediato à saúde humana, mas também dar subsídio à próxima etapa no processo de remediação da área.

## 4 LOCALIZAÇÃO

Tanguá nasceu do antigo município de Itaboraí. Oscilações nas atividades agrícolas atingiram de formas variadas os municípios dessa região que, até a década de 1980, tinham a maior parte das populações nas zonas rurais. Há um êxodo rural para os principais centros urbanos, comerciais, industriais e de serviços da época, as capitais do país e do estado – respectivamente, as cidades do Rio de Janeiro e Niterói. Acompanhando o processo de êxodo, há, também, a transformação de antigas fazendas e sítios em loteamentos, ampliando a área urbana desses municípios.

Com a redemocratização, na década de 1980, grupos se articularam visando à emancipação política do distrito de Tanguá, que se elevou a município em 1995.

Segundo dados do IBGE (2008), a cidade de Tanguá tem um território de 145.503,00 km<sup>2</sup> e cerca de 30.732 mil habitantes. O Posto de Serviço Pedra Bonita no município de Tanguá (RJ) localiza-se, aproximadamente, nas coordenadas latitude UTM: 7483972.00mS, longitude UTM:734176.00mE, setor 23K.

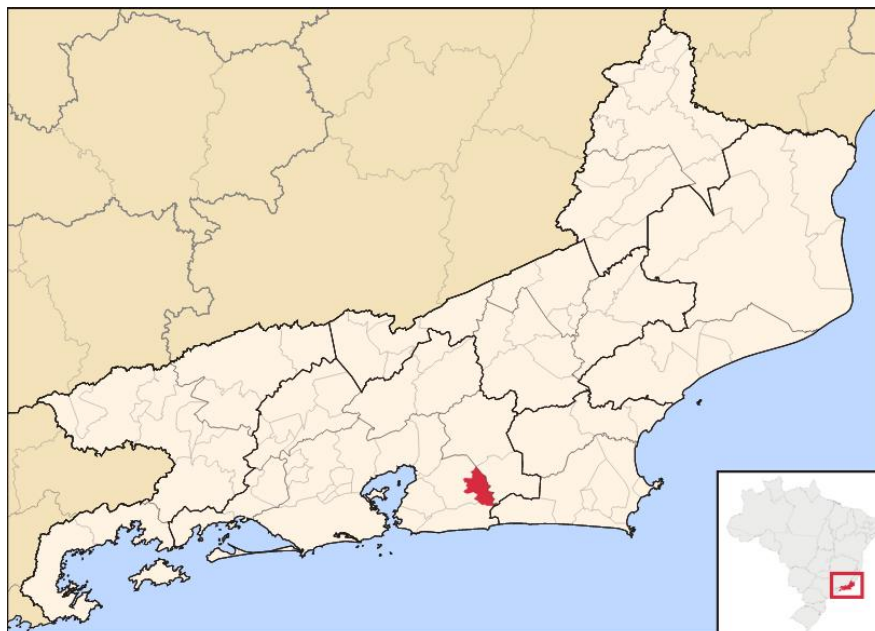


Figura 2. Localização do município de Tanguá em relação ao estado do Rio de Janeiro (Fonte: Wikipédia).



Figura 3. Imagem aérea da localização do posto de serviço desativado na cidade de Tanguá, coordenadas (Fonte: Google Earth).



## 5 GEOLOGIA LOCAL

### 5.1 Caracterização Geológica Regional

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

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

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

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

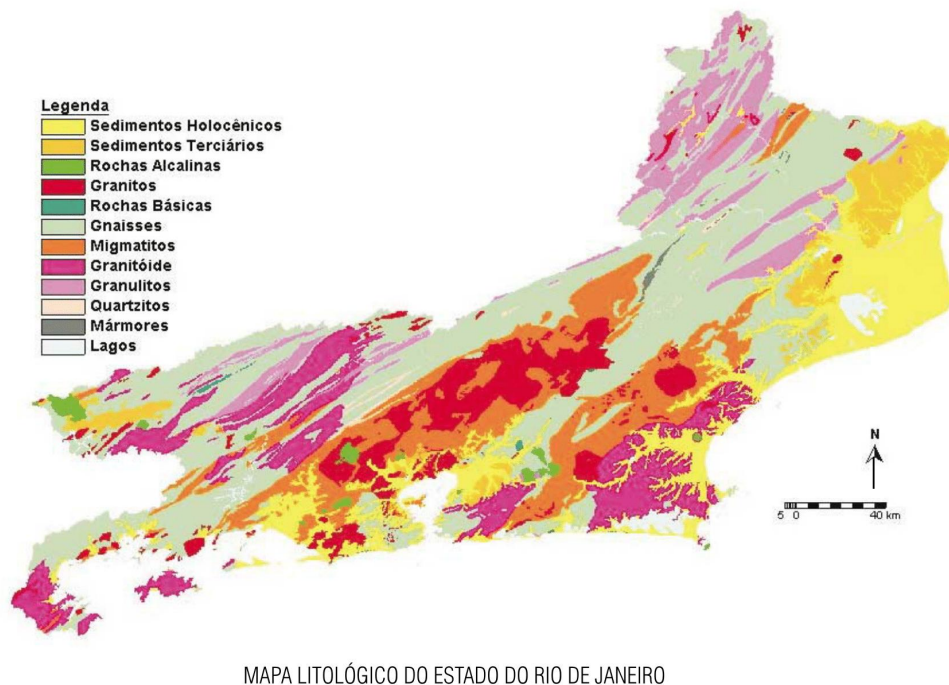


Figura 4. Mapa geológico da região metropolitana do Rio de Janeiro na escala 1:500.000. (Adaptado e extraído de CPRM (2014))

## 5.2 Caracterização Hidrogeológica Regional

Consultando o Serviço Geológico do Brasil, verifica-se que a hidrogeologia do estado do Rio de Janeiro se caracteriza por águas subterrâneas distribuídas majoritariamente em aquíferos fissurais, estando os aquíferos porosos mais comumente encontrados próximo às regiões litorâneas e bacias sedimentares.

Isso se deve ao fato de a atividade tectônica presente na região ser a responsável por criar diversas zonas de cisalhamento, em proporções regionais em alguns casos, como encontrados no graben Guanabara e Paraíba do Sul, possibilitando a formação dos aquíferos, mesmo em território constituído por rochas cristalinas. Por outro lado, a água que ocorre nas rochas cristalinas do Estado do Rio de Janeiro possui, em sua grande maioria, um valor bastante baixo de sólidos totais dissolvidos (CPRM, 2001).

## **6 MATERIAIS E MÉTODOS**

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

Para tal, o estado do Rio de Janeiro conta com uma norma operacional específica, chancelada pelo Instituto Estadual do Ambiente, o Inea, designada por NOP-06, diretamente baseada nas etapas descritas por todas as três partes da norma.

### **6.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR E CONFIRMATÓRIA**

Conforme a ABNT/NBR 15.515-1 (ABNT, 2007), os primeiros passos do trabalho seguiram para um diagnóstico inicial da situação, através de uma inspeção técnica para reconhecimento da área e coleta de dados pertinentes à Avaliação Preliminar, que viria a servir como base para a Avaliação Confirmatória.

No entanto, o estado do Rio de Janeiro conta com uma legislação própria para casos específicos como postos de serviço, como está escrito na Norma Operacional 06, ou NOP 06, aprovada pelo Instituto Estadual do Ambiente, Inea, na resolução número 122 de 2015 e que está baseada, entre outras normas, na própria NBR 15.515.

Para postos de serviços, a Investigação Preliminar e Confirmatória acontecem numa única etapa, não só levantando o histórico e caracterizando o empreendimento, mas também avaliando dados de campo. Constatada a presença de fase livre não aquosa, a área sofrerá a Ação de Intervenção Emergencial, só quando solucionado o risco imediato à saúde humana é que os estudos complementares, como a Investigação Detalhada e a Análise de Risco são abordados.

#### *6.1.1 Levantamento do histórico*

Dentre as ações tomadas nessa parte do levantamento, consultamos funcionários antigos que confirmaram um vazamento de diesel de um dos tanques, confirmando também não ter havido novo aporte de combustível desde o último incidente. Houve dispersão do combustível para algumas das cercanias imediatas e o acidente ambiental foi comunicado ao Inea.

O posto possuía cinco tanques subterrâneos no local, utilizados para o armazenamento de gasolina comum (TQ 01 e TQ 02 plenos, armazenamento de diesel comum (TQ 03 pleno) e armazenamento de etanol (TQ 04 pleno). Possuía também um tanque mais afastado de armazenamento de diesel comum (TQ 05 pleno), cada um deles com capacidade para armazenar 15.000 litros cada.

Após uma ordem de despejo do dono do imóvel foi realizada a retirada de todos os tanques e linhas presentes no estabelecimento. Todo o procedimento foi realizado devido a uma ordem de despejo.

O empreendimento ainda possui áreas pavimentadas com cimento impermeabilizado em bom estado de conservação, canaletas em estado ruim e conjunto separador de água e óleo. A estrutura metálica da cobertura encontra-se em estado ruim. A fonte de água utilizada no empreendimento era provida do poço artesiano.

#### *6.1.2 Caracterização das Cercanias*

A morfologia da região é plana e o antigo posto está inserido em uma zona urbana com ocupações residenciais e comerciais. Destaca-se, em um raio de 100 m, rede subterrânea de serviços, edifícios e casas residenciais e estabelecimentos comerciais.

Conforme a Norma Técnica ABNT NBR 13.786 (ABNT, 2014), que classifica os postos de serviço conforme o ambiente do entorno, a uma distância de 100 m a partir do seu perímetro, o Posto Pedra Bonita se enquadra na Classe 2, devido a existência de um centro comercial.

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

A área de abastecimento contava com piso impermeável em concreto, bordeadas por canaletas de contenção ligadas ao conjunto separador de água e óleo, CSAO.

A área investigada atualmente ainda conta com piso impermeável, mas com rachaduras e imperfeições estruturais que comprometem o funcionamento do mesmo.

### 6.1.3 Inspeção dos poços de monitoramento existentes

Constatou-se a presença de 10 poços de monitoramento anteriormente instalados na área, nomeados consecutivamente de PM-01 a PM-10. Todos os poços foram inspecionados com um coletor descartável, dos quais 7 apresentaram fase livre não aquosa, demandando uma ação de intervenção emergencial, por apresentar risco imediato à saúde humana.



Figura 5. Fase livre não aquosa encontrada nos poços de monitoramento.

	Profundidade (m)	VOC (ppm)	Nível d'água (m)	Cota (m)	Carga hidráulica (m)	Fase livre (cm)	Odor
PM-01	3,87	870	2,33	11,8	9,47	12	Sim
PM-02	2,1	0	2,57	11,97	9,4	0	Não
PM-03	3,48	770	2,27	11,74	9,47	22	Sim
PM-04	2,67	620	2,65	12,15	9,5	58	Sim
PM-05	3,74	540	2,39	11,9	9,51	118	Sim
PM-06	3,9	800	2,22	11,74	9,52	47	Sim
PM-07	3,76	1.100	2,15	11,91	9,76	2	Sim
PM-08	3,96	960	2,33	11,82	9,49	22	Sim
PM-09	3,92	0	2,29	12,07	9,78	0	Não
PM-10	3,92	0	2,34	-	-	0	Não

Tabela 1. Dados obtidos na inspeção dos poços.

### 6.1.4 Mapa potenciométrico

A partir da interpolação dos dados de carga hidráulica e das cotas topográficas obtidas pela equipe de sondagem foi possível traçar o mapa potenciométrico, com as curvas equipotenciais e indicando a direção do fluxo preferencial das águas subterrâneas.

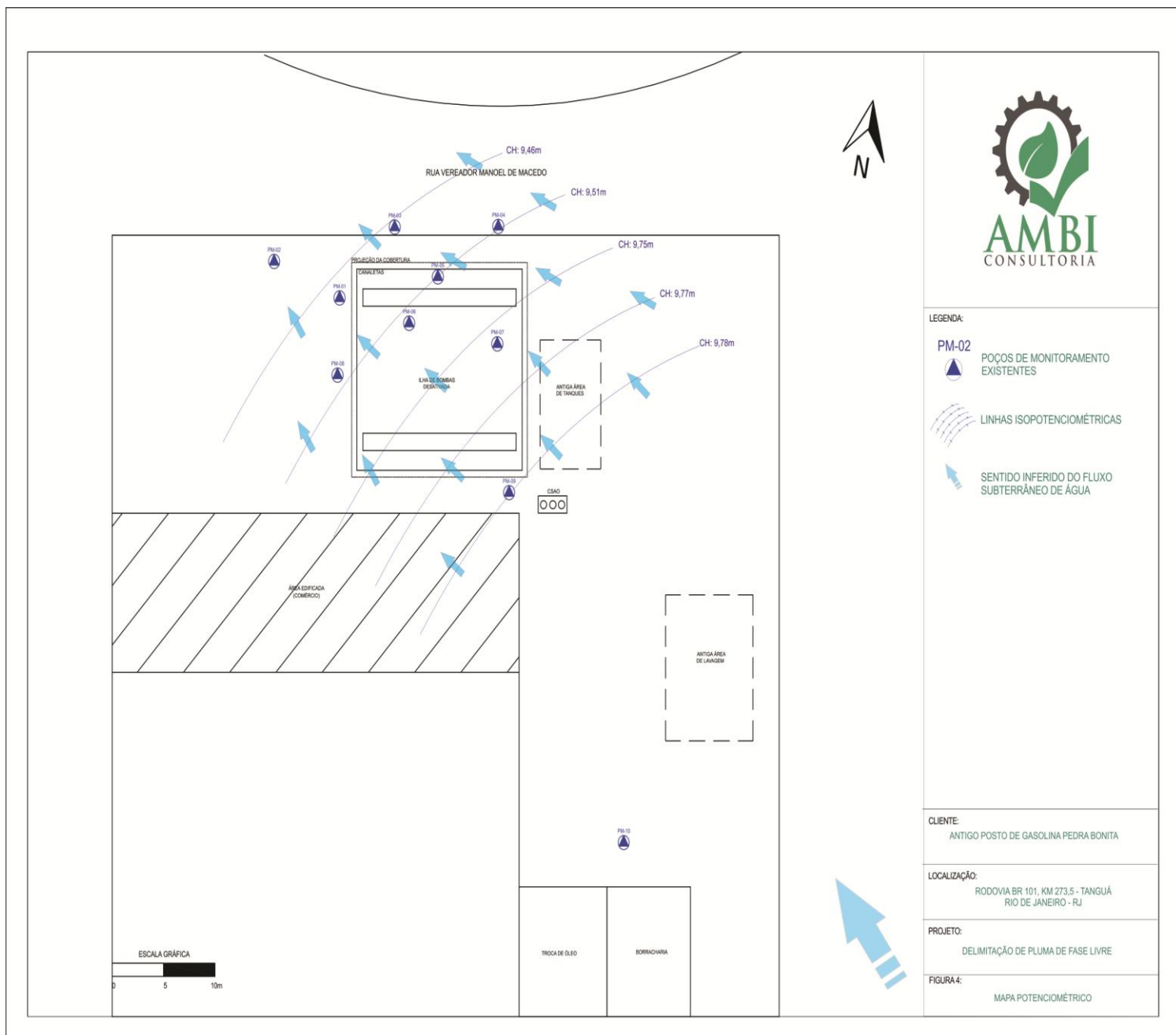


Figura 6. Mapa potenciométrico. Os poços em azul representam os poços de monitoramento existentes e as curvas azuis as linhas isotencimétricas.

### 6.1.5 Execução de Sondagens

As sondagens seguirem conforme descrito na NBR 15.492 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento (ABNT, 2007), executadas com trado manual, tipo concha, de 4” de diâmetro, perfurando, ao longo da execução das sondagens, até o nível d’água, extraíndo-se o conjunto e, depois, descendo a bomba balde, realizando a análise organoléptica para avaliação de indícios de hidrocarbonetos, e descrição do material quanto a textura, cor e granulação, conforme a NBR 9603 – Sondagem a trado (ABNT, 1986).



Figura 7. Equipe executando sondagem a trado manual.

As sondagens tiveram uma média de 4,00 (quatro) metros de profundidade, enquanto o nível de água variou de 2,50 (dois metros e cinquenta centímetros) a 2,90 (dois metros e noventa centímetros). A partir da análise de solo das sondagens foi possível identificar predominância de argila arenosa de coloração cinza e marrom.

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



	Profundidade (m)	VOC (ppm)	Nível d'água (m)	Fase livre (cm)	Odor
PM-11	3,96	0	2,54	0	Não
PM-12	4	0	2,65	0	Não
PM-13	3,87	0	2,56	0	Não
PM-14	4	0	2,74	0	Não
PM-15	4	0	2,57	0	Não
PM-16	3,9	0	2,68	0	Não
PM-17	4	0	2,76	0	Não
PM-18	3,95	0	2,64	0	Não

Tabela 2. Leitura de VOC nas sondagens executadas.

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

Foram realizadas 8 sondagens (S-01 a S-08) com profundidade máxima de 4 metros.

Após o término das perfurações os furos foram preenchidos com material local, compactados e o piso original reconstituído, para não permitir a migração vertical da fase livre para porções mais profundas do aquífero durante a execução das tarefas de perfuração.

#### 6.1.6 Instalação dos poços de monitoramento e delimitação da pluma de fase livre

Para a delimitação de fase livre os poços de monitoramento foram instalados de acordo com a NBR 15495-1 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares parte 1: projeto e construção (ABNT, 2009), com seção filtrante plena e comprimento máximo de três metros, sendo um metro na zona não saturada e dois metros na zona saturada, bem no ponto onde as sondagens para fins de investigação foram realizadas.

Depois de instalados, os poços foram submetidos ao ensaio de *slug test*, que consiste na introdução de uma peça cilíndrica de volume conhecido no interior do poço, provocando a subida instantânea do nível d'água, que é registrado com o auxílio de um medidor. Este nível é acompanhado de forma mais intensa no início e aumentado o espaçamento com o tempo, até que retorne à sua posição original. Na retirada do slug repete-se o processo de forma inversa, acompanhando-se o retorno da água à sua posição original.



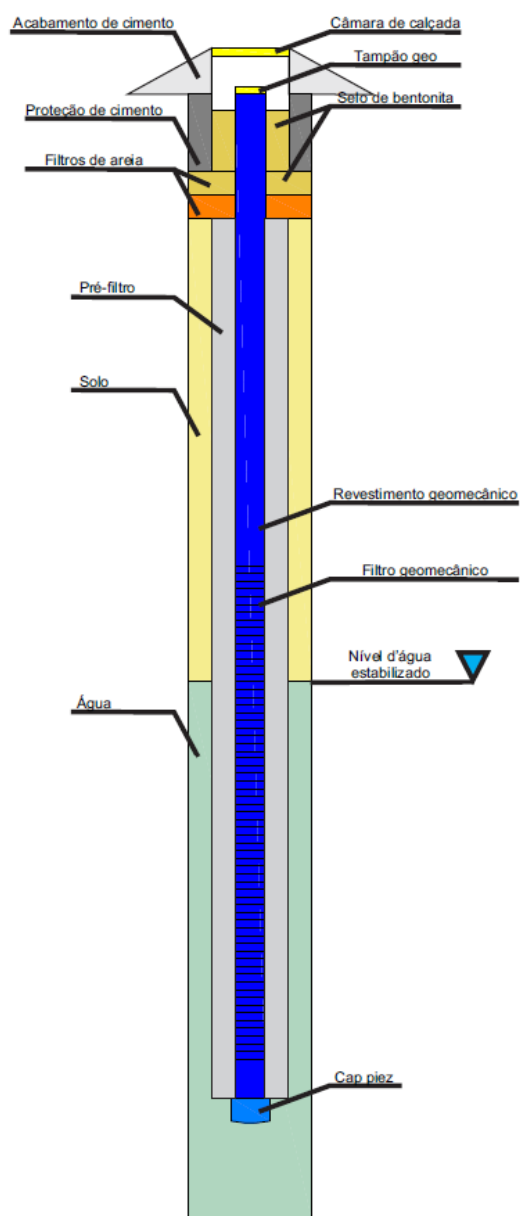


Figura 8. Perfil do padrão de poço instalado.

A delimitação foi realizada de forma horizontal, onde consideramos o ponto-limite da pluma de fase livre definido como a metade da distância entre um poço de monitoramento em que foi detectado a ocorrência de fase livre e outro poço de monitoramento onde não houve detecção de fase livre.

A delimitação é conclusiva, uma vez que não foi detectada presença de fase livre nos poços de monitoramento ao redor das áreas contaminadas sob investigação.

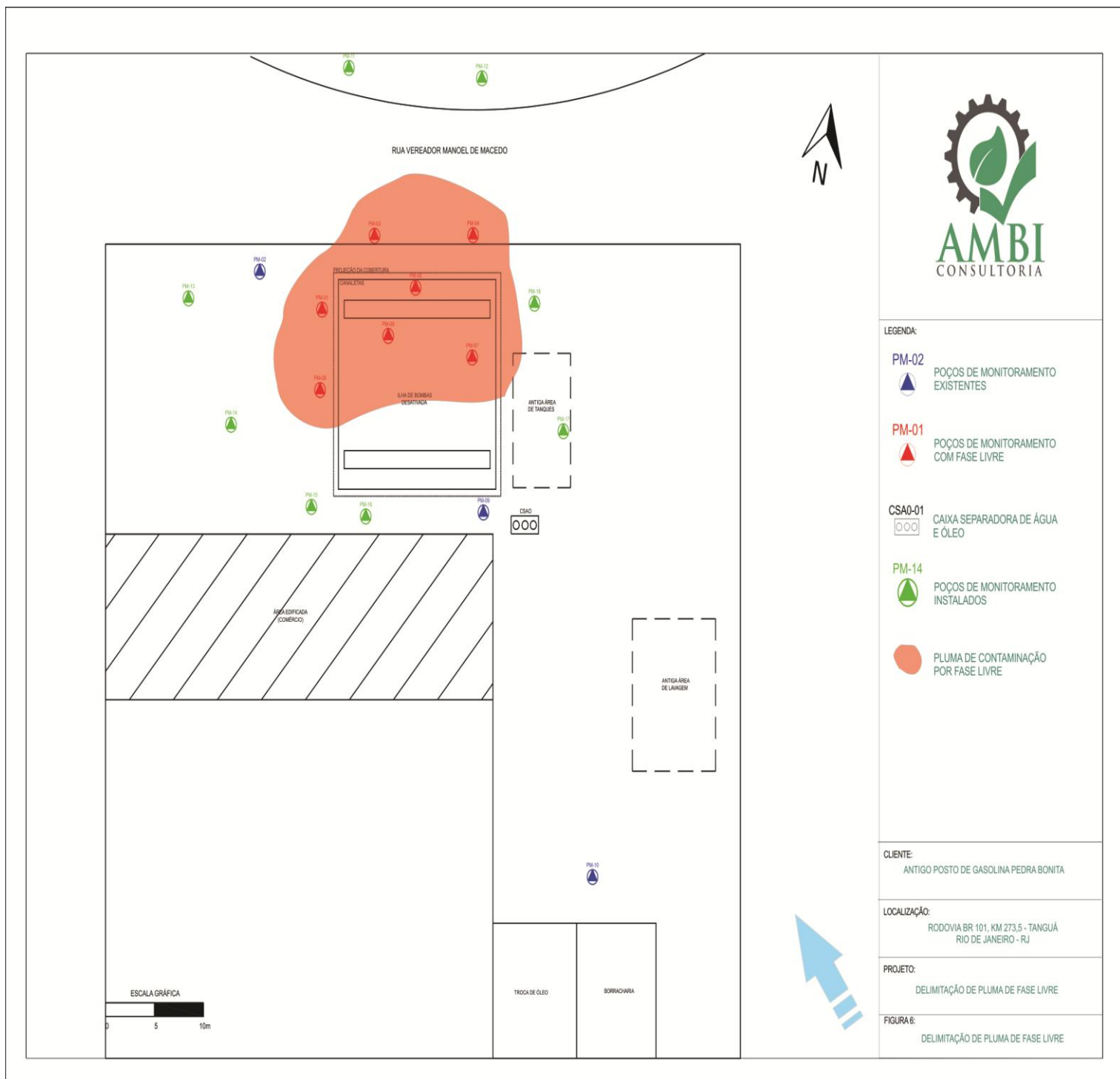


Figura 9. Representação horizontal da pluma de contaminação. Os pontos vermelhos indicam os pontos onde há a presença de fase livre. Os pontos verdes representam os poços instalados após a campanha de sondagem.

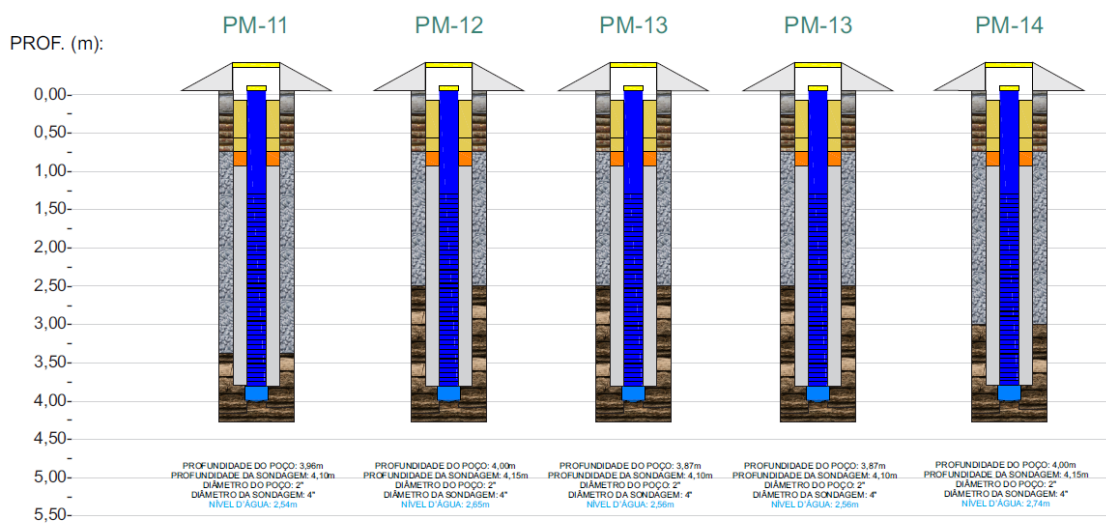
Diante dos dados levantados em campo e da delimitação de pluma de contaminação, foi verificada a existência apenas de fontes secundárias de contaminação. O empreendimento não possui mais tanques ou linhas e não são realizadas atividades no site. A contaminação existente do Posto de Gasolina Pedra Bonita Ltda. foi derivada de vazamentos de combustíveis antigos.

A delimitação da pluma foi realizada de forma coerente, pois podemos observar com clareza sua extensão horizontal.

Os compostos orgânicos voláteis não apresentaram risco de explosão, porém o posto em questão apresenta fase livre não aquosa, ou seja, apresenta risco imediato à saúde humana.

Terminada a avaliação preliminar e confirmatória, a área de estudo foi, então, classificada como área contaminada sob intervenção (ACI), a fim de tomar as ações emergenciais cabíveis para erradicar o perigo imediato à saúde humana.

A Avaliação Preliminar e Confirmatória pôde proporcionar um panorama geral do foco da contaminação, orientando assim as ações seguintes, como definir onde instalar os poços de monitoramento e quais pontos deverão ser bombeados.



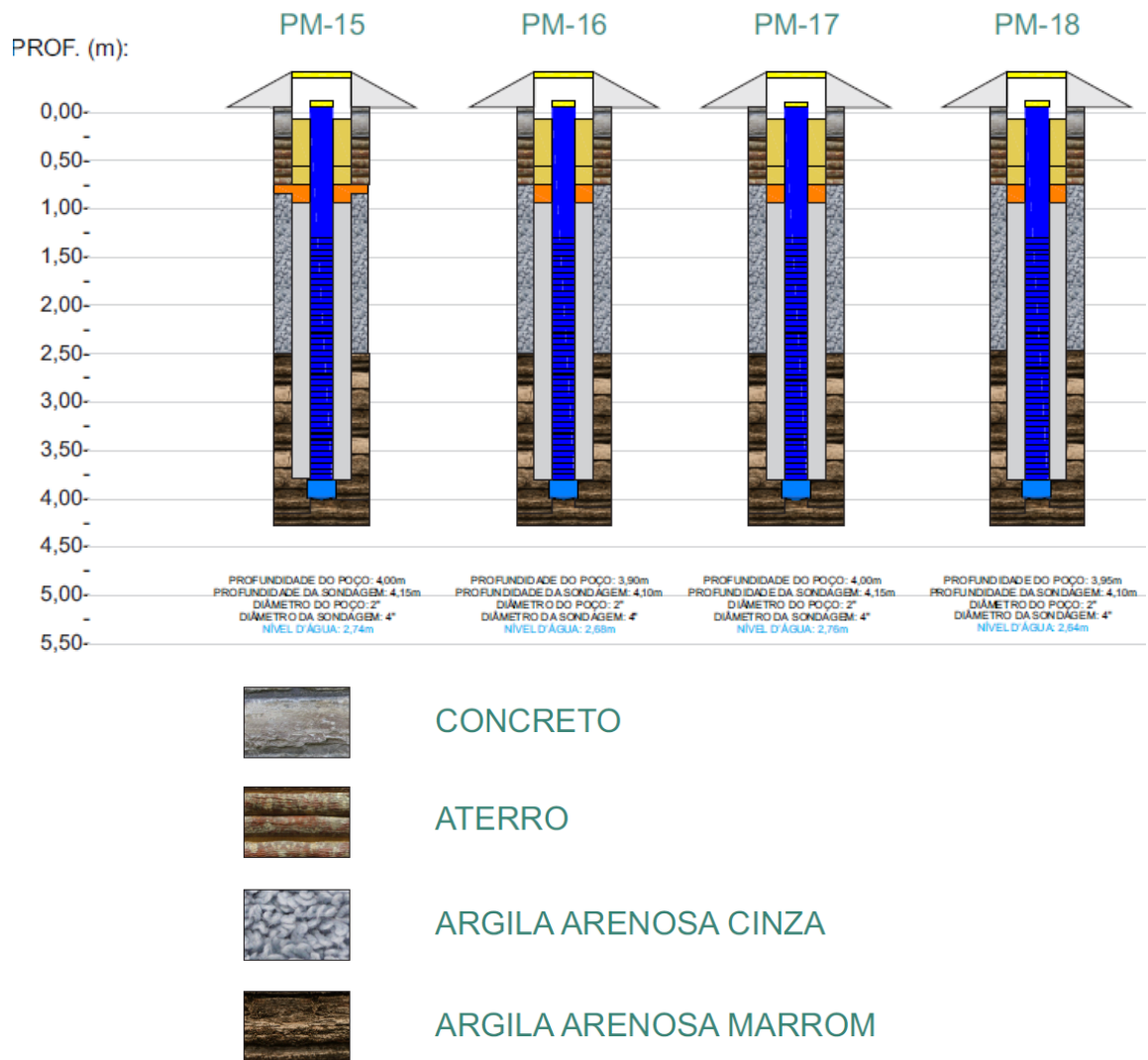


Figura 10. Perfil dos poços instalados.

## 6.2 AÇÃO DE INTERVENÇÃO EMERGENCIAL

As Ações de Intervenção Emergencial, AIE, deverão ser executadas em qualquer das etapas do gerenciamento da área, mediante a situação de risco imediato, isto é, situação em que esteja ameaçada a vida da população ou a segurança do patrimônio público ou privado.

Após a delimitação da pluma de fase livre para orientar a etapa de ação de intervenção, as ações adotadas neste caso incluíram o isolamento da área (proibição de acesso) e monitoramento do índice de explosividade; monitoramento ambiental e iniciar a remoção de produto disposto diretamente no solo.

O órgão ambiental foi comunicado da ocorrência de fase livre por meio de uma correspondência assinada pelo profissional responsável pela investigação e pelo responsável do empreendimento.

A remoção da fase livre foi ser iniciada imediatamente após a sua identificação e delimitação, sendo o método de remediação aplicado o sistema de extração multifásica.

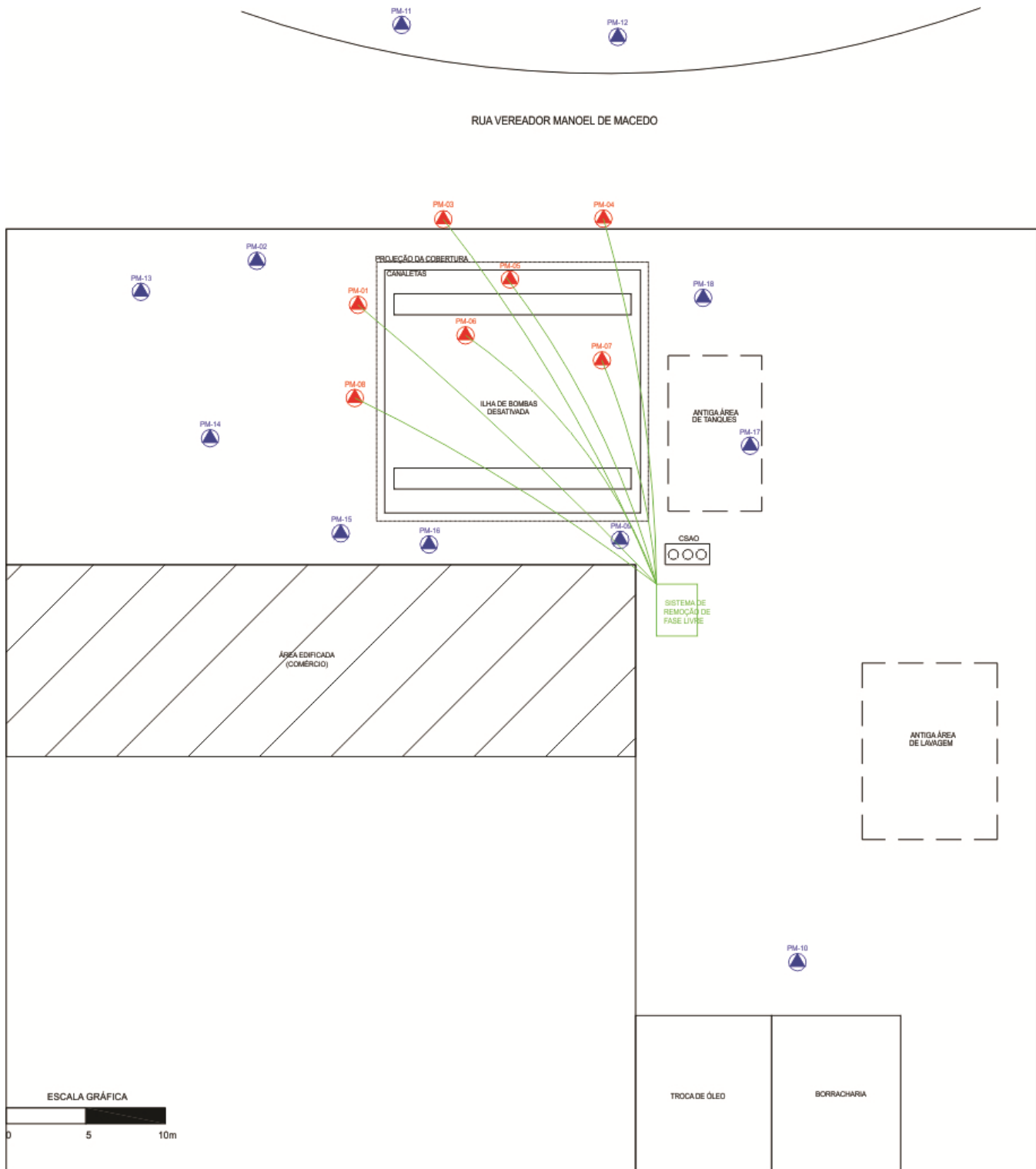


Figura 11. Representação gráfica das linhas de bombeamento nos pontos de interesse.

### 6.2.1 Método multi-phase extraction

O método *multi-phase extraction*, ou extração multifásica, é um dos mais largamente utilizados no tratamento de águas subterrâneas, consistindo, em linhas gerais, no bombeamento de vapores orgânicos, fase

livre não aquosa e água subsuperficial contaminada para a superfície para tratamento externo de remoção de contaminantes.

De acordo com o United States Department of Environmental Protection Agency, esse sistema vem sendo adotado desde a década de 1980 nos Estados Unidos, e mais recentemente no Brasil, conforme informa a texto oficial emitido pela Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016), que relaciona áreas contaminadas e métodos de tratamento.

A técnica demanda a instalação de poços de bombeamento de maneira estratégica, buscando interceptar a pluma de fase livre não aquosa sobrenadante, de modo a conter a migração e reduzir as concentrações do contaminante. Após o bombeamento, os vapores orgânicos, fase livre e água contaminada passam através das linhas instaladas para um conjunto separador de água e óleo, equipado com três compartimentos para separar água e contaminação por densidade, apresentando ainda um filtro de carvão ativado para reter a fase dissolvida e liberar apenas a água livre de contaminação sair ao final do processo, para posterior reinjeção no aquífero.

O método apresenta inúmeras vantagens, como a sua relação custo benefício, permitindo baratear a operação da remoção de fase livre e promovendo bons resultados em curto prazo, permitindo também reutilizar a água tratada para recarga do aquífero e também evita a migração da pluma de fase livre para áreas de abastecimento de água potável, como rios e lagos.

No entanto o método apresenta sérias deficiências em alguns aspectos, como por exemplo, o excesso de tempo que essa tecnologia leva para atingir o *cleanup*, levando até anos. Pesa também contra esse método o fato de que se a carga hidráulica do aquífero for demasiadamente baixa ou se a trama da geologia do local for muito heterogênea, o método pode apresentar complicações por não permitir um bombeamento homogêneo da pluma em geral, sendo assim, ele sempre é desenvolvido com suporte de outras técnicas, visando rapidez e eficácia da descontaminação.

Para o presente trabalho, sendo o objetivo remover e tratar a fase livre não aquosa presente no sítio, o método *multi-phase extraction* foi escolhido como solução emergencial, devendo ser desenvolvidos posteriormente outros métodos, bem como o acompanhamento do desempenho.

### 6.2.2 Funcionamento do sistema

O sistema Multi Phase Extraction, ou MPE, utilizado no presente estudo, realiza a extração de vapores e fase livre simultaneamente pela mesma tubulação. O sistema, através de um compressor de ar radial, gera um vácuo no poço que implica uma pressão negativa, fazendo ascender à superfície o conteúdo retido ali.

Os poços de extração estão todos conectados com o tanque de vácuo, para onde o conjunto bombeado composto por fase livre, fase dissolvida e vapores é primeiramente levado. Ali ocorre a primeira das separações, por diferença de densidade o líquido mais denso se acumula na parte mais inferior do tanque, enquanto a fase livre fica logo por cima e os vapores orgânicos voláteis ascendem para o filtro de ar conectado à caixa de vácuo.

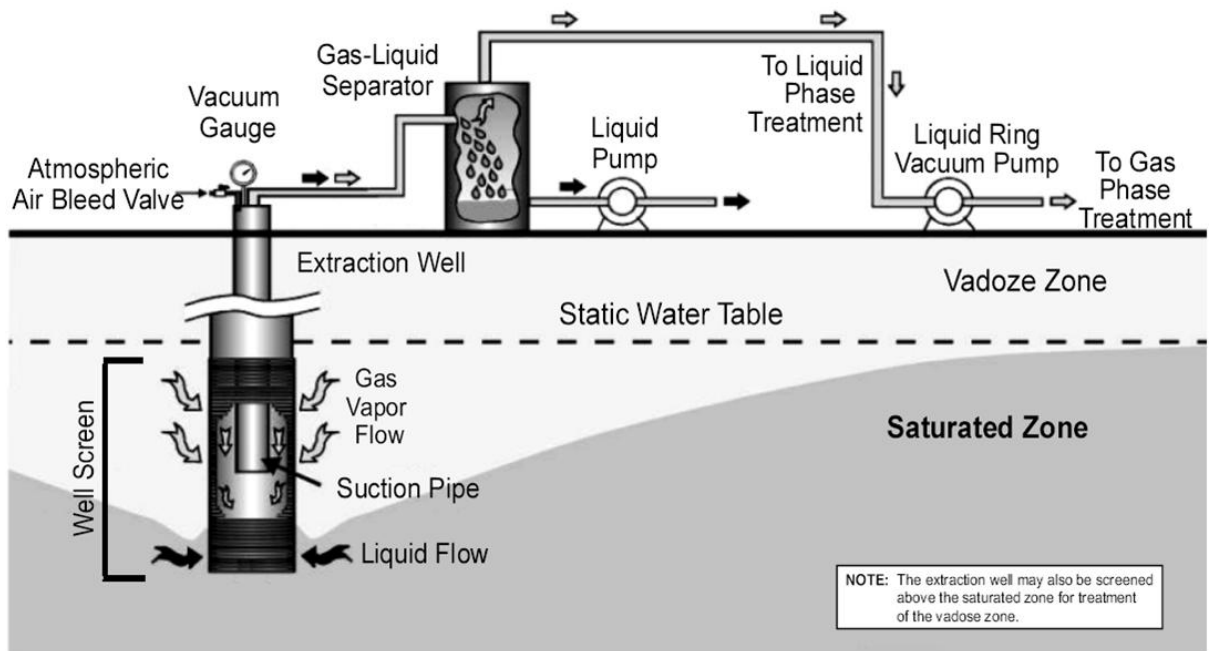


Figura 12. Fluxograma das etapas no processo de extração multifásica. (Extraído e editado de Google Imagens)

O filtro de ar apresenta carvão ativado na sua estrutura, retendo os vapores de interesse por adsorção, liberando o restante diretamente para a atmosfera.

A fase livre e a fase dissolvida, por diferença de densidade, se posicionam uma sobre a outra. Quando o nível de produto dentro do tanque de vácuo chega a uma certa altura, um sensor registra a elevação e aciona a bomba de transferência, fazendo com que a próxima fase se inicie, retirando todos os componentes do tanque de vácuo e os leva a um conjunto separador de água e óleo, ficando a fase livre retida nos tanques de óleo, enquanto a fase dissolvida seguirá para o filtro de água, que também conta com carvão ativado, para posterior reinjeção no aquífero.



O sistema funciona controlado por um *timer* programado para regular o período de bombeando, 15 minutos a cada hora, através de comando elétrico no painel de controle.

Diariamente têm sido monitorados e registrados os índices de explosividade e a espessura da fase livre, com equipamento de medição de interface óleo/água.



Figura 13. Sistema MPE em funcionamento.

## 7 RESULTADOS

Embora o bombeamento da fase livre tenha se iniciado três meses antes da conclusão do presente trabalho, os resultados até o momento foram notáveis, como esperado. Isso se deve ao fato de a fase livre não aquosa levar menos tempo que a fase dissolvida e retida ao solo para ser removida.

As medições do nível de fase livre após o começo do bombeamento foram realizadas uma vez por mês, suspendendo o bombeamento vinte quatro horas antes da medição para que a fase livre recuperasse o suficiente para criar melhor perspectiva da situação real do nível de contaminação.

	Profundidade (m)	VOC (ppm)	Nível d'água (m)	Cota (m)	Carga hidráulica (m)	Fase livre (cm)			
						0 mês	1 mês	2 meses	3 meses
PM-01	3,87	870	2,33	11,8	9,47	12	9,7	7,4	0
PM-02	2,1	0	2,57	11,97	9,4	0			
PM-03	3,48	770	2,27	11,74	9,47	22	11,8	4,6	3,5
PM-04	2,67	620	2,65	12,15	9,5	58	26,4	7,8	2,8
PM-05	3,74	540	2,39	11,9	9,51	118	33,6	4,2	0
PM-06	3,9	800	2,22	11,74	9,52	47	36,6	28	0
PM-07	3,76	1.100	2,15	11,91	9,76	2	0	0	0
PM-08	3,96	960	2,33	11,82	9,49	22	8,4	0	0
PM-09	3,92	0	2,29	12,07	9,78	0			
PM-10	3,92	0	2,34			0			

Tabela 3. Dados da evolução do bombeamento.

Atualmente, praticamente todos os poços não apresentam mais fase livre, mesmo o PM-05, que havia demonstrado a quantidade mais crítica durante as fases preliminares, com mais de um metro de fase livre. Restando assim apenas o PM-03 e PM-04 com algum resquício de fase livre.

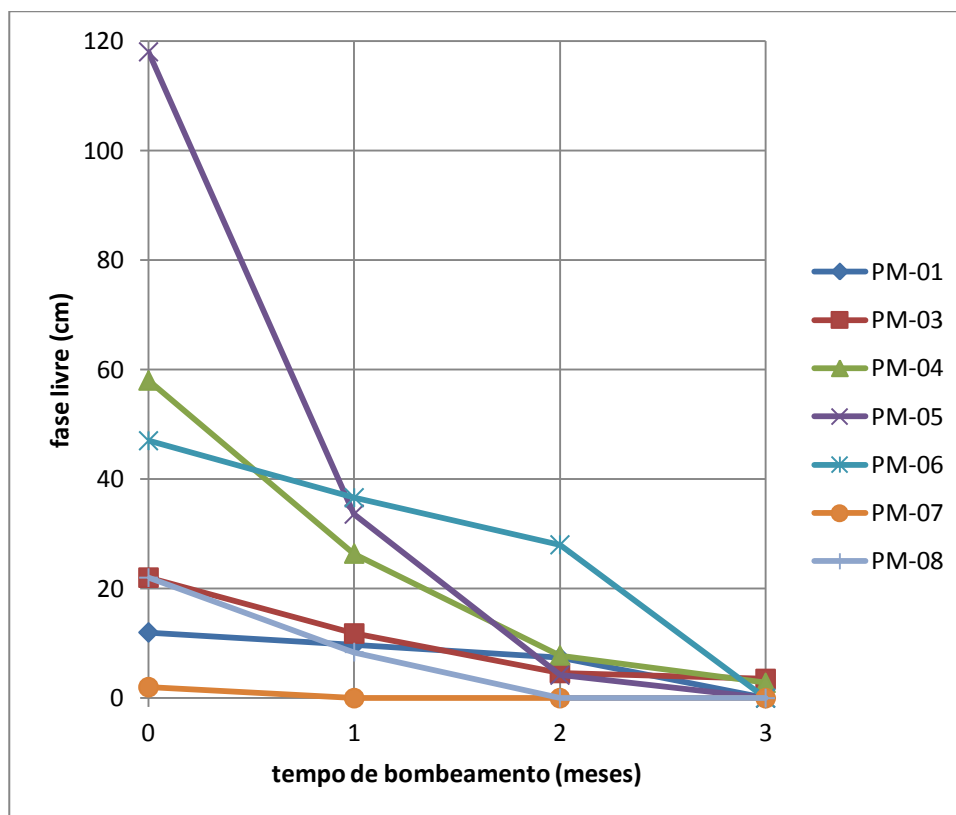


Figura 14. Evolução do nível de fase livre por tempo de bombeamento.

Analisando a evolução do bombeamento durante remoção do contaminante, o nível de fase livre nesses

poços, 03 e 04, pode ter se dado em virtude de a pluma de contaminação provavelmente ter se estendido um pouco além da via pública, a Rua Antônio Teixeira de Macedo, em área não coberta pelas sondagens de investigação, sendo necessário, portanto, mais que três meses para ser reduzida à zero.



Figura 15. Fase livre remanescente no PM-04 após dois meses de bombeamento.

Quando a fase livre diminuir até o estágio de não mais que película, isto é, espessura aparente menor que 5 (cinco) milímetros, a remoção emergencial de fase livre poderá ser encerrada, tendo atingido seu objetivo principal, direcionando as ações de remediação da área para os próximos passos.

O desaparecimento da fase livre logo nos primeiros meses de trabalho já era esperado, a exemplo do que já havia sido observado em outros casos. No entanto, isso não significa que tenhamos atingido o *cleanup* da área, mas sim que o excesso de produto contaminante presente no aquífero foi devidamente retirado.

Quando a fase livre cessar nos PM-03 e PM-04, alteraremos o ciclo com que o sistema está programado para atuar. Isso deverá ser feito para que possamos acompanhar o aporte da fase livre adsorvida ao solo, medindo a recuperação e reprogramando os ciclos de bombeamento do sistema, podendo levar anos até ser completamente removida.

## 8 CONCLUSÃO

A CONAMA 420 de 2009 lança luz aos valores orientadores e critérios para qualidade do solo e diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, evidenciando o risco claro e imediato a que a população está submetida quando exposta ao tipo de substância química tratada no presente estudo.

Tendo identificado na fase preliminar que a fase livre constatada no sítio provinha de antigos tanques subterrâneos desativados de diesel, a área foi caracterizada como “Área Contaminada sob Intervenção”, para que o projeto de remoção de fase livre pudesse ser executado efetivamente. Então, a partir de amostragens de pontos onde havia a presença de fase livre e pontos onde não havia, pudemos delimitar a extensão horizontal da pluma de fase livre.

Ainda sobre a CONAMA 420, é evidente também a importância das ações de intervenção emergencial em casos críticos como esse, impedindo que a contaminação migre e contamine outros corpos hídricos, que em alguns casos são usados inclusive como fonte de abastecimento da população.

A Avaliação Preliminar e Confirmatória pôde evidenciar a ocorrência da fase livre nas águas subterrâneas, orientando assim os próximos passos da Ação de Intervenção Emergencial, como onde alocar os poços de monitoramento adicionais para bombeamento do contaminante.

O método utilizado de extração multifásica, embora apresente limitações técnicas, para efeito de curto prazo é o mais adequado em virtude da rapidez com que se pode colocá-lo à disposição do projeto de remediação, por seus custos mais flexíveis, sistemática de montagem amplamente conhecida pela equipe técnica e a capacidade de retirar as substâncias químicas de interesse em várias fases: vapores, fase livre e fase dissolvida.

Embora o método de extração multifásica produza ótimos resultados em curto prazo, como no presente estudo de caso em que a fase livre foi quase totalmente removida durante um período de três meses de bombeamento, leva-se muito tempo para que a área esteja completamente reabilitada, devendo, portanto, esse método ser conduzido em associação com outros para melhor eficácia da remediação.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 9603:1986. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sondagem a trado.

ABNT NBR 13.786:2014. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção dos componentes para instalação de sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC).

ABNT NBR 15495-1 Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares parte 1: projeto e construção

ABNT NBR 15515-1:2011. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Investigação Preliminar.

ABNT NBR 15515-2:2011. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Investigação Confirmatória.

ACBR. 2006. Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos. Anexo VII, Procedimentos para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis – Roteiro Único - CETESB, 2006. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações de Planejamento Estratégicas. Risco químico: atenção à saúde dos trabalhadores expostos ao benzeno. Brasília: Ministério da Saúde; 2006. p. 48.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 1.469 de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências.

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

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

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. Resolução 396 – Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2009. Resolução N° 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.

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

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

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

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

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

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

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. Test Methods. Disponível em <[http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/new\\_meth.htm](http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/new_meth.htm)>.

FEITOSA, Fernando A. CARNEIRO, João Manoel Filho, 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.

GUIGUER, N. 1994. Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento. Waterloo Brasil Ltda.

INEA. 2015. Site do Instituto Estadual do Ambiente. Resolução Inea 122: Aprova a norma operacional 06 (NOP-INEA 06). Para avaliação ambiental da qualidade do solo e da água subterrânea em postos de combustível.

MENDES, R., 1993. Exposição ocupacional ao benzeno e seus efeitos sobre a saúde dos trabalhadores. Revista da Associação Médica do Brasil, 39:249-256.

OLIVEIRA, L. I. & LOUREIRO, C. O., 1998, Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação preliminar. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 21 Abril 2000 <<http://www.abas.org/congressos/x1998/art61.html>>.

OLIVEIRA, A. M. S., Corrêa Filho, D., 1996 – Ensaio de Permeabilidade em Solos Orientações para sua Execução no Campo. – ABGE (3° edição). 116.

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

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

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

RIO DE JANEIRO. 2009. Decreto Estadual nº 42.159, de 2 de dezembro de 2009.

ROSALES, R. M.; MARTÍNEZ-PAGÁN, P.; FAZ, A.; BECH, J. Study of subsoil in former petrol stations in SE of Spain: Physicochemical characterization and hydrocarbon contamination assessment. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 147, p. 306-320, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.10.006>

TIBURTIUS, E.R.L., Zamora, P.P., Leal, E.S.; 2004. Contaminação de águas por BTX e processos utilizados na remediação de sítios contaminados.

