

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

ANA CAROLINE MARQUES PEREIRA TURETA E LUCAS SPADOTI DANTAS

**REMEDIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS DERIVADOS  
DE PETRÓLEO UTILIZANDO A TÉCNICA DE *PUMP-AND-TREAT*: ESTUDO DE  
CASO NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA (SP)**

São Carlos

2018



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**REMEDIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS DERIVADOS  
DE PETRÓLEO UTILIZANDO A TÉCNICA DE *PUMP-AND-TREAT*: ESTUDO DE  
CASO NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA (SP)**

Alunos: Ana Caroline Marques Pereira Tureta e Lucas Spadoti Dantas

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Lins da Silva

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

São Carlos

2018



AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M934;  
167r  
Marques Pereira Tureta; Spadoti Dantas, Ana Caroline;  
Lucas  
Remediação da contaminação por hidrocarbonetos  
derivados de petróleo utilizando a técnica de  
Pump-and-Treat: estudo de caso no município de  
Araraquara (SP) / Ana Caroline; Lucas Marques Pereira  
Tureta; Spadoti Dantas; orientador Jefferson Lins da  
Silva. São Carlos, 2018.  
  
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2018.  
  
1. áreas contaminadas. 2. gasolina. 3. remediação.  
4. postos de combustíveis. 5. pump-and-treat. I.  
Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907



# FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Ana Caroline Marques Pereira Tureta e Lucas Spadoti Dantas**

Data da Defesa: 14/11/2018

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Jefferson Lins da Silva (Orientador(a))**

APROVADOS

**Thaise da Silva Oliveira Moraes**

Aprovadas

**Gabriel Orquizas Mattiello Pedroso**

APROVADOS



**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**  
Coordenador da Disciplina 180001- Trabalho de Graduação





## AGRADECIMENTOS

Em nome de Lucas,

Agradeço, primeiramente, aos meus pais e minha irmã. Marcio, Rosana e Marina, que me deram todo o amor, carinho, sabedoria, educação e apoio para que eu pudesse chegar até este ponto, sem vocês eu com certeza não estaria aqui.

Estendo o agradecimento não só para essa pequena porção da minha família, agradeço também a todos os meus avôs, avós, tios, tias, primos e primas, que sempre foram uma família maravilhosa e me proporcionaram uma vida não só de amor de alegria, como também de conselhos de força e exemplos para serem seguidos

Agradeço também à família de caminhada que fiz ao longo da minha vida, principalmente para todos os meus professores, meus amigos da Interativa, Colégio Einstein, onde conheci pessoas extraordinárias que admiro muito e levo ao meu lado até hoje, e espero que possa sempre contar com vocês: Raul, Marcela, Brisa, Rubinho, Sabino, Francisco, Damasceno, Diogo, Taísa, Leoni, Helo, Paulão, Luisa, Duarte, Gabi e Bruna. Aos meus colegas de USP, famosa Amb 013, que acompanharam esta parte mais recente da minha trajetória comigo, aguentando todas as pedradas sem deixar ninguém para trás, com um agradecimento especial para minha colega Riqueza, que realizou a elaboração deste trabalho comigo.

Não me esquecendo de todas as pessoas que conheci pela faculdade e pelos encontros da vida: Pessoas da minha infância (um abraço especial para Pedro Achê e Garraphinha, pelo companheirismo, baguncinha e lealdade por tantos anos), GAPeria, SEA, PES, ambiental, CAASO, festas, inters, viagens, churrascos e mesas de buteco, todos tiveram seu papel na minha trajetória, e agradeço todos por isso, com um carinho especial para todos os meus “mestres”.

Outro agradecimento especial para as pessoas que moraram comigo durante a graduação, dividindo todas as boas e más experiências: Zundê, Pigs, Rafinha, Ted e Sona.

Obrigado a equipe do LEAA pela minha primeira experiência profissional e oportunidades abertas, e também para toda a equipe da L3, por me propiciarem tantos aprendizados.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a chegar até aqui. Muito obrigado.

Em nome de Ana,

À Silvia, minha mãe, a mulher mais forte e inspiradora que conheço, por todo o apoio, carinho e confiança depositada em mim ao longo da vida, que apesar de todas as adversidades sociais, criou sozinha uma filha, sempre enchendo a casa de risos, palavras de consolo em momentos tristes e conselhos que carrego comigo até hoje. Educando-me para me tornar uma mulher independente e íntegra, foi o pilar fundamental do meu desenvolvimento, dona de um amor imensurável, me ensinou o verdadeiro significado da palavra “companheirismo”. Eu amo você.

À Maria e Valdomiro, meus queridos avós, por serem responsáveis pela criação de um lar acolhedor, onde pude crescer e me desenvolver com toda estrutura necessária para meu bem-estar, fornecendo cada pequeno pedaço essencial na construção dos meus valores. Sou grata por sempre me incentivarem a querer mais, me ensinando a importância do trabalho duro, por serem pessoas nas quais tenho orgulho de me espelhar.

A todas as meninas da República Sedução, em especial Carolina, Lorena, Marina, Elisa, Bianca, Pâmela, Caroline, Milena, Lívia, Mariana e Isadora, pela incrível experiência durante todos esses anos de convivência, cheios de histórias para contar, onde sempre pude encontrar um ombro amigo para me confortar, uma risada calorosa para me alegrar, uma lição que pude aprender com alguma briga. Vocês se tornaram minhas irmãs de alma, fazendo-me sentir a pessoa mais sortuda e especial como nenhuma outra. Obrigada por fazerem parte desse pedaço da minha vida.

A todos os amigos da Amb 013, nossos caminhos se cruzaram durante essa jornada dos anos de graduação e, agora, às vésperas da nossa formação, desejo todo sucesso para vocês, obrigada pelas risadas, lágrimas, frustrações, almoços no bandejão e noites sem fim estudando madrugada à fora. Todos esses momentos estarão guardados com muito carinho no meu coração, aguardando ansiosamente cada reencontro que pudermos realizar. Em especial ao Lucas, obrigada pela parceria durante a elaboração desse trabalho, por depositar sua confiança em mim e por elevar a nossa amizade à um novo nível de companheirismo e camaradagem.

Por último, mas não menos importante, ao GEISA, sou grata pela experiência sensacional que fazer parte deste grupo me propiciou, cada um de seus membros abriu meus olhos e expandiu minha mente de novas formas, fazendo-me ter maior sensibilidade à outras realidades

a minha volta, percebendo como o papel da universidade e de seus estudantes é fundamental para a construção de uma sociedade justa e harmoniosa.

## RESUMO

DANTAS, L. S. e TURETA, A. C. M. P. **Remediação da contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo utilizando a técnica de *Pump-and-Treat*: estudo de caso no município de Araraquara (SP)**. 2018, 114 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

Postos revendedores de combustíveis automotivos apresentam grande risco de contaminação do solo e águas subterrâneas, caso ocorra vazamento dessas substâncias. O derramamento de gasolina no solo é um potencial poluente de águas subterrâneas, comprometedor das condições naturais do sítio e um mecanismo de disseminação de doenças, trazendo riscos aos seres humanos. Áreas Contaminadas por esse tipo de evento são crescentes nos dias atuais, trazendo à comunidade científica a importância de pesquisas e avanços nos diferentes processos de tratamento para posterior reabilitação dessas áreas. O conjunto de leis referentes à essa temática, cresce e aprimora-se conforme evidenciem-se cenários que prezem pelo bem-estar do meio ambiente. No presente trabalho, verificou-se a efetividade do uso da tecnologia *Pump-and-Treat* através de um estudo de caso na cidade de Araraquara (SP), onde, o uso de um conjunto de diretrizes para avaliação do potencial contaminante e remediação do sítio contaminado foram utilizados. Sendo uma tarefa complexa e com a necessidade de realização de diversos testes para reconhecer uma vasta gama de parâmetros, o estudo mostrou a eficácia do método utilizado, ressaltando que para sua validação a etapa de monitoramento ainda deveria ser aplicada futuramente.

Palavras chave: áreas contaminadas, gasolina, postos de combustíveis, remediação, *Pump-and-Treat*



## ABSTRACT

DANTAS, L. S. and TURETA, A. C. M. P. **Remediation of hydrocarbons derived from petroleum using pump and treat technique: Case applied on the city of Araraquara (SP).** 2018, 114 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The fuel stations have a big risk of soil and underground water contamination, in case of fuel leakage. The spill of the fuels in the soil is a potential pollutant to the underground waters, impairing the natural conditions of the site, and turning into a mechanism of diseases dissemination, bringing risks to the nearby population. Contaminated areas by this type of event are rising nowadays, bringing importance to scientific research and advances in the different types of treatments to rehabilitate these areas. The law set referring to this thematic grows and improves according to the evidences of new cases that cherish for the welfare of the environment. This piece of work verified the effectiveness of using the technology pump and treat in a study case in the city of Araraquara (SP), where the conjuncture of guidelines to evaluate the potential of the contamination and remediation of the contaminated site were used. The task is very complex, leading to a need of applying several tests for recognising the wide range of parameters, the study demonstrated the efficiency and efficacy of the used method, highlighting that for a total validation of the remediation, the monitoring stage still have to be applied.

Key words: Contaminated areas, gasoline, fuel stations, remediation, pump and treat.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	–	Área de Proteção Permanente
BTEX	–	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMA	–	Concentração Máxima Aceitável
DAEE	–	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DPE	–	Dual Phase Extraction
FL	–	Fase Livre
HS	–	Hot Spot
MPE	–	Extração Multifásica
NA	–	Nível de Água Subterrânea
ND	–	Não detectado
PAH	–	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
PB	–	Poço de Bombeamento
PM	–	Poço de Monitoramento
PMN	–	Poço Multinível
Ppb	–	Partes por bilhão
Ppm	–	Partes por milhão
SQI	–	Substância Química de Interesse
VOC	–	Compostos Orgânicos Voláteis





## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1	SOLOS .....	2
3.2	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....	3
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO CONTAMINANTE .....	3
3.3.1	Gasolina.....	3
3.3.1.1	Hidrocarbonetos .....	6
3.4	LEGISLAÇÃO .....	8
3.5	TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO .....	12
3.5.1	Atenuação Natural Monitorada .....	13
3.5.2	Extração Multifásica (MPE).....	14
3.5.3	Biorremediação .....	15
3.5.4	<i>Pump-and-Treat</i> .....	16
3.5.5	Oxidação Química.....	16
3.5.6	<i>Air Sparging</i> .....	17
4	METODOLOGIA .....	18
5	ESTUDO DE CASO .....	22
5.1	INVESTIGAÇÃO DETALHADA .....	22
5.1.1	Escopo .....	22
5.1.2	Características do Empreendimento.....	23
5.1.3	Histórico dos Serviços Realizados no Empreendimento.....	25
5.1.4	Caracterização do Entorno .....	27
5.1.5	Modelo Conceitual da Área.....	29
5.1.6	Atividades Realizadas .....	31

5.1.6.1	Sondagens e Poços de Monitoramento.....	32
5.1.6.2	Medição de VOC.....	34
5.1.6.3	Caracterização Geológica.....	35
5.1.6.4	Caracterização Hidrogeológica .....	37
5.1.6.5	Amostragem de Solo .....	41
5.1.6.6	Amostragem de Água Subterrânea.....	41
5.1.7	Resultados Analíticos das Amostragens .....	43
5.1.7.1	Resultados Analíticos do Solo.....	43
5.1.7.2	Resultados Analíticos da Água Subterrânea.....	44
5.1.8	Elaboração do Mapa de Fase Livre .....	46
5.1.9	Avaliação de Risco.....	46
5.1.10	Plano de Intervenção .....	48
5.1.10.1	Medidas de Controle Institucional .....	49
5.1.10.2	Medidas de Remediação da Área .....	49
5.1.10.3	Plano de Monitoramento para Enceramento de Caso.....	51
5.2	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO .....	52
5.2.1	Instalação do Poço de Bombeamento.....	52
5.2.2	Instalação do Sistema de Remediação .....	52
5.2.3	Sistema de Eficácia e Eficiência .....	56
5.3	REMEDIAÇÃO POR REMOÇÃO DE FASE LIVRE .....	61
5.3.1	Monitoramento Ambiental .....	61
5.3.2	Quantificação de Fase Livre Removida .....	68
5.3.3	Amostragem de Água Subterrânea.....	68
5.3.4	Parâmetros Físico-Químicos “ <i>in situ</i> ” .....	69
5.3.5	Avaliação de Resultados .....	71
6	CONCLUSÃO.....	74
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

ANEXO A .....	81
ANEXO B.....	85
ANEXO C.....	89
ANEXO D.....	93
ANEXO E.....	97

## 1 INTRODUÇÃO

É sabido que, como consequência do aumento do desenvolvimento econômico e da atividade industrial, os recursos naturais tornam-se mais escassos e elementos que compõe a biota natural tornam-se propensos à contaminação. Comprometendo a integridade natural dos solos, ar e águas superficiais e subterrâneas, as melhorias de condições de qualidade de vida trazidas à população por tais desenvolvimentos acabam sendo uma troca custosa ao para o meio ambiente. Como modelo que demonstra esse claro progresso econômico, a expansão rápida do setor automobilístico foi a condutora de uma sólida cadeia de suprimento de combustíveis, composta por produtores, distribuidores, revendedores e consumidores (CORREA, 2017).

O surgimento de áreas contaminadas decorrentes deste tipo de atividade ganha notável destaque, uma vez que o vazamento de gasolina de postos de combustíveis faz-se uma ocorrência usual, perigosa por conta da dificuldade de detecção em estágios iniciais e preocupante, por sujeitar à risco a saúde da população. No Estado de São Paulo, atualmente têm-se conhecimento de 4.284 áreas contaminadas devido à atividade de postos de combustíveis, valor esse correspondente à 72% do total de áreas classificadas por tipo de atividade potencialmente contaminante. (SILVA, 2007; CETESB, 2017).

Em casos de vazamento de gasolina, a preocupação principal é a posterior contaminação de aquíferos, já que os hidrocarbonetos monoaromáticos presentes na gasolina, mais conhecidos como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), possuem maior solubilidade em água e são os contaminantes que primeiro atingiriam o lençol freático (CORSEUIL, 1997).

No Brasil, a gasolina comercializada possui 27% de seu volume total correspondente à etanol, como previsto pela legislação (ANP, 2017). O etanol é uma substância completamente solúvel em água, capaz de alterar a capacidade de biodegradação natural de compostos BTEX, já que quando degradado, consome o oxigênio necessário para o mesmo processo de biodegradação no caso desses compostos (CORSEUIL, 1997).

Conforme o cenário de contaminação de solos e águas subterrâneas aumenta, existe, paralelamente, um aumento de demanda pelo consumo de águas subsuperficiais, apresentando então a necessidade que essa problemática tem de ser tomada como prioridade por parte do poder público e da sociedade civil, para que no futuro, não haja comprometimento do uso de águas subterrâneas, considerando também que o quadro apresenta escassez crescente de águas superficiais (PROFÍRIO *et al.*, 2016).

O sucesso na remediação de aquíferos depende principalmente de dois fatores, a realização de diagnóstico posto que seja realizado por profissionais qualificados e, escolha de tecnologia adequada para cada tipo de sítio contaminado. Sendo assim, a remediação de aquíferos acaba sendo um processo complexo e dispendioso, já que uma série de processos biológicos e geoquímicos são postos em ação a partir do momento em que o contaminante penetra no subsolo. Cada tipo de tecnologia de remediação possui limitações relacionadas com as características hidrogeológicas do local, o tipo de contaminante a ser tratado, bem como o custo da realização do processo (COUTINHO; GOMES, 2014).

Conforme o refinamento da legislação para lidar com a problemática de áreas contaminadas, o aumento dessas áreas ocorreu devido à obrigatoriedade de seu registro, caso surtissem. Sendo assim, a Resolução CONAMA nº 273/2000, responsável por isso, exige que seja realizada a investigação de passivos ambientais, para obtenção do licenciamento ambiental, previamente à instalação do empreendimento, no caso, postos de combustíveis e serviços (CONAMA, 2000). De forma similar, a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece também os passos para o gerenciamento de áreas contaminadas, deliberando que sejam realizadas ações específicas para proteção da população executadas por órgãos competentes, no caso de existência comprovada de substâncias químicas perigosas à saúde humana (CONAMA, 2009; LIMA *et al.*, 2017).

## 2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta obra foi, através de um estudo de caso, verificar a aplicabilidade e eficácia da metodologia de *Pump-and-Treat* para remediação de sítios contaminados pelo vazamento de gasolina de um posto de combustíveis e serviços.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 SOLOS

Através da decomposição de rochas e minerais por processos intempéricos, o solo é formado, sendo o mesmo constituído por um conjunto de substâncias orgânicas e inorgânicas. É sobre algum tipo de solo e/ou relevo que praticamente todas as atividades humanas são realizadas, dessa forma, estudos geomorfológicos e pedológicos são a chave para diagnosticar

danos ambientais bem como, prognosticar sua ocorrência evitando que os mesmos aconteçam (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Após a contaminação dos solos, as substâncias tóxicas podem ficar armazenadas neles por muitos anos, podendo além de prejudica-los, infiltrar-se até atingir águas subterrâneas (PRESS *et al.*, 2006).

### 3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segundo Press *et al.* (2006), a água subterrânea forma-se quando as gotas de chuva se infiltram no solo e em outros materiais superficiais não-consolidados, penetrando até mesmo em rachaduras e fendas do substrato rochoso.

O armazenamento dessas águas em quantidades suficientes para suprir o abastecimento humano é feito por uma porção chamada aquífero, sendo a quantidade de águas subterrâneas estocadas correspondentes à 25,9% da água doce disponível na face da Terra (PRESS *et al.*, 2006).

Para que fluídos consigam penetrar nas camadas mais profundas do solo, os mesmos devem percorrer um caminho por entre espaços disponíveis, tais como poros e fraturas. Todo e qualquer tipo de solo e substrato rochoso possui poros, variando de tamanho e quantidade dependendo da origem do material. À essa característica dá-se o nome de *porosidade*, a qual depende do tamanho e forma dos grãos, bem como esses agregam-se entre si (PRESS *et al.*, 2006).

Existem diversas formas pelas quais águas subterrâneas podem ser contaminadas, citando algumas delas, temo a contaminação por resíduos radioativos, microrganismos indesejáveis, chumbo, entre outros, assim como a contaminação pelo vazamento de tanques de armazenamento de gasolina.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONTAMINANTE

#### 3.3.1 Gasolina

A gasolina é uma substância composta por uma mistura de diversos derivados do petróleo, possuindo uma série de constituintes químicos diferentes. Não possuindo uma composição constante, a gasolina é uma mistura dependente do tipo de petróleo o qual a originou, dos

processos de refinaria envolvidos e da incorporação ou não de aditivos que melhoram sua performance (OLIVEIRA, 1992).

A maior parte dos constituintes mencionados acima é classificada como compostos alifáticos ou aromáticos, compostos orgânicos denominados hidrocarbonetos. A exemplo de compostos alifáticos, podemos citar: butano, penteno e octano. Já os compostos aromáticos mais conhecidos são: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, chamados de BTEX (PENNER, 2000).

Segundo Johnson *et al.* (1990 apud PENNER, 2000, p.6), a Tabela 1 apresenta os 58 principais constituintes da gasolina regular.

Tabela 1 – Principais constituintes da gasolina

Componente	Fórmula Química	Massa Molecular	Fração Mássica	Fração Molar
1. propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,1	0,0001	0,0002
2. isobutano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,1	0,0122	0,1999
3. n-butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,1	0,0629	0,1031
4. trans-2-buteno	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,1	0,0007	0,0012
5. cis-2-buteno	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,1	0,0000	0,0000
6. 3-metil-1-buteno	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0006	0,0008
7. isopentano	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub>	72,2	0,1049	0,1384
8. 1-pentano	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0000	0,0000
9. 2-metil-1-butano	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0000	0,0000
10. 2-metil-1,3-butadieno	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	68,1	0,0000	0,0000
11. n-pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,2	0,0586	0,0773
12. trans-2-pentano	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0000	0,0000
13. 2-metil-2-buteno	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0044	0,0060
14. 3-metil-1,2-butadieno	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	68,1	0,0000	0,0000
15. 3,3-dimetil-1-buteno	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,2	0,0049	0,0055
16. ciclopentano	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,1	0,0000	0,0000
17. 3-metil-1-penteno	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,2	0,0000	0,0000
18. 2,3-dimetilbutano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,2	0,0730	0,0807
19. 2-metilpentano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,2	0,0273	0,0302
20. 3-metilpentano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,2	0,0000	0,0000



Componente	Fórmula Química	Massa Molecular	Fração Mássica	Fração Molar
21. n-hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,2	0,0283	0,0313
22. metilciclopentano	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,2	0,0000	0,0000
23. 2,2-dimetilpentano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,2	0,0076	0,0093
24. benzeno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,1	0,0076	0,0093
25. ciclohexano	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,2	0,0000	0,0000
26. 2,3-dimetilpentano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,2	0,0390	0,0371
27. 3-metilhexano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,2	0,0000	0,0000
28. 3-etilpentano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,2	0,0000	0,0000
29. 2,2,4-trimetilpentano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0121	0,0101
30. n-heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,2	0,0063	0,0060
31. metilciclohexano	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	98,2	0,0000	0,0000
32. 2,2-dimetilhexano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0055	0,0046
33. tolueno	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,1	0,0550	0,0268
34. 2,3,4-trimetilpentano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0121	0,0101
35. metilheptano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0155	0,0129
36. 3-metilheptano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0000	0,0000
37. n-octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,2	0,0013	0,0011
38. 2,4,4-trimetilhexano	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,3	0,0087	0,0065
39. 2,2-dimetilheptano	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,3	0,0000	0,0000
40. p-xileno	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,2	0,0957	0,0858
41. m-xileno	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,2	0,0000	0,0000
42. 3,3,4-trimetilhexano	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,3	0,0281	0,0209
43. o-xileno	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,2	0,0000	0,0000
44. 2,2,4-trimetilheptano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,3	0,0105	0,0070
45. 3,3,5-trimetilheptano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,3	0,0000	0,0000
46. n-propilbenzeno	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,2	0,0841	0,0666
47. 2,3,4-trimetilheptano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,3	0,0000	0,0000
48. 1,3,5-trimetilbenzeno	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,2	0,0411	0,0325
49. 1,2,4-trimetilbenzeno	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,2	0,0213	0,0169
50. metilpropilbenzeno	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134,2	0,0351	0,0249
51. dimetiletilbenzeno	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134,2	0,0307	0,0218

Componente	Fórmula Química	Massa Molecular	Fração Mássica	Fração Molar
52. 1,2,4,5-tetrametilbenzeno	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134,2	0,0133	0,0094
53. 1,2,3,4-tetrametilbenzeno	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134,2	0,0129	0,0091
54. 1,2,4-trimetil-5-etilbenzeno	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>	148,2	0,0405	0,0260
55. n-dodecano	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,3	0,0230	0,0129
56. naftaleno	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,2	0,0045	0,0033
57. n-hexilbenzeno	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub>	162,3	0,0000	0,0000
58. metilnaftaleno	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	142,2	0,0023	0,0015
Total			0,9969	1,0000

Fonte: Johnson *et al.* (1990).

### 3.3.1.1 Hidrocarbonetos

Como já é sabido, os hidrocarbonetos são compostos orgânicos formados por átomos de carbono e hidrogênio e, como mencionado anteriormente, geralmente são divididos em compostos alifáticos ou aromáticos, de acordo com suas ligações carbônicas (SILVA, 2002 apud VIVIAN, 2015, p.33). Os compostos aromáticos apresentam um ou mais anéis de benzeno em sua estrutura, diferentemente dos compostos alifáticos, característica essa que confere polaridade à substância, explicando a interação dessas moléculas entre si e com a água. Dessa forma, compostos alifáticos são apolares ou pouco polares, enquanto compostos aromáticos possuem esta forte interação com a água (POTTER; SIMMONS, 1998 apud VIVIAN, 2015).

Dentro do grupo de hidrocarbonetos aromáticos existem os compostos monoaromáticos e os compostos poliaromáticos, sendo o primeiro deles o grupo mais conhecido como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Devido à sua alta mobilidade, durante a fase gasosa e também durante a fase líquida, eles possuem alta periculosidade, representando grande risco à saúde humana, podendo causar distúrbios de fala, audição, visão, controle dos músculos, tumores cerebrais e podendo até levar à morte (SANDRES; MAINIER, 2004 apud MATTOS JR; MAIA, 2017).

Existem uma série de contaminantes químicos orgânicos que na presença de água, se apresentam como uma fase separada (fase líquida não aquosa). Mais conhecidos como NAPLs (*non aqueous phase liquids*), podendo ser divididos em dois tipos, de acordo com a densidade

de tais hidrocarbonetos: LNAPL (*light non-aqueous phase liquid*) ou DNAPL (*dense non-aqueous phase liquid*). O primeiro, caracteriza-se por possuir densidade menor do que a água, estando relacionado à produção e refino de produtos derivados do petróleo, já o segundo, possui densidade maior que a água e comumente associados com atividades industriais (VIVIAN, 2015).

Segundo Mariano (2006 apud VIVIAN, 2015, p. 37), o transporte de hidrocarbonetos no solo se dá a partir da composição de quatro fases diferentes, determinando o processo de migração da substância. A separação de fase para fase é caracterizada por processos de dissolução, volatilização e adsorção (USEPA, 2004 apud VIVIAN, 2015, p.37).

Conforme Vivian (2015) estabeleceu, pode-se definir cada fase como:

- Fase livre: véu não miscível sobre o cume do nível freático, podendo ser mais espesso quando o sistema freático é pouco dinâmico;
- Fase adsorvida: fase praticamente imóvel retida entre sólidos no solo, onde os hidrocarbonetos embrulham a matéria orgânica do solo;
- Fase dissolvida: é caracterizada pela dissolução de substâncias polares, juntamente com uma fração emulsionada de hidrocarbonetos, detentoras de grande mobilidade, dissipando-se abaixo do nível freático, mais atribuída à fluidos menos viscosos como a gasolina, por exemplo;
- Fase vapor: é a fase gasosa dos constituintes voláteis dos combustíveis, ocupando vazios do solo (ou rocha).

Os componentes solúveis presentes na LNAPL são dissolvidos quando a água infiltra no solo, sendo transportados até a zona saturada do mesmo, formando então uma pluma que se difunde por difusão e advecção. Uma parte do gás fica retida no solo enquanto a outra migra para o ar, ocorrendo o transporte por difusão molecular, encaminhando-se para outras partes do aquífero. Isso acontece já que muitas substâncias tendem a ser voláteis fazendo com que o gás sofra partição (CORSEUIL; SCHNEIDER, 2005).

Segundo Guiguer (2000, apud VIVIAN, 2015, p. 38), quando um grande volume de hidrocarbonetos é liberado, esse volume desloca-se em direção à franja capilar, os componentes mais solúveis da LNAPL ultrapassam os componentes menos solúveis, no topo desta franja e, com a água saturando um grande volume de poros, o material acumulado causa uma redução na permeabilidade da LNAPL, impedindo-a de mover-se para baixo, fazendo com que a mesma

tenda a se dispersar sobre o topo da franja capilar. Tendo e então uma quantidade suficiente acumulada de LNAPL na franja, fazendo assim com que a mesma comece a fluir na mesma direção da água subterrânea. Como a LNAPL possui baixa densidade, ela se mantém sobre o nível da água subterrânea, na zona de capilaridade, e é por isso, que algumas substâncias como gasolina, óleos e querosene, são encontradas em sua forma livre sobre o topo da franja capilar (MERCER; COHEN, 1990).

O derramamento de altos volumes de derivados do petróleo alimenta continuamente uma quantidade de hidrocarbonetos para a zona não saturada. Isso favorece o aumento progressivo da condutividade hidráulica, que cria uma interface entre a zona saturada e LNAPL, gerando o acúmulo desses mesmos hidrocarbonetos (FERREIRA; ZUQUETTE, 1998).

Independentemente do caso de haver a remoção da fonte de contaminação (ou até mesmo o término da mesma), os hidrocarbonetos presentes na zona não saturada migram para níveis mais profundos continuamente, cessando apenas quando a concentração dos mesmos, atinge o nível de saturação residual, não podendo mais avançar (VIVIAN, 2015). Na pior das hipóteses, com a fonte de contaminação ainda ativa, a pluma de contaminação continua a mover-se para as profundezas do solo, ocasionando um maior espalhamento lateral sobre a franja capilar (CORSEUIL; SCHNEIDER, 2005).

### 3.4 LEGISLAÇÃO

Conforme o decorrer do crescimento populacional e o desenvolvimento de um determinado local, a necessidade e a ocorrência de atividades que por consequência tenham impactos diretos na dinâmica ambiental tornam-se inevitáveis. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o Brasil apresenta um significativo aumento na instalação de postos revendedores de combustíveis automotivos, passando de 39.763 no ano de 2014 para 41.829 ao final do ano de 2016 (APN, 2017).

É devido a este fato que podemos concluir que conforme o número de postos revendedores de derivados do petróleo aumenta, as chances de vazamento dessas substâncias também se intensificam. Sendo assim, devido ao grande número de casos de contaminação do solo e águas subterrâneas por postos de combustíveis, a legislação pertinente à essa temática vem evoluindo, conforme leis, resoluções, decretos e normas vão sendo criadas com o intuito

de proteger e monitorar a qualidade dos solos e dos recursos hídricos, pertencentes às áreas de influência dos postos de combustíveis (MATTOS JR; MAIA, 2017).

O Brasil vem fortalecendo o cenário legislativo ambiental desde décadas atrás, a exemplo primeiramente da Constituição Federal de 1988, que em seu artigo 225 estabelece que um ambiente ecologicamente equilibrado é direito de todos e, impõe-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações. Determina também que para atividades potencialmente poluidoras e destruidoras do meio ambiente necessita-se de estudo prévio de impacto ambiental, atribuindo também ao responsável pela exploração de recursos naturais a obrigatoriedade de recuperação do meio ambiente, e reparo de eventuais danos que as atividades venham a causar (PONS, 2006).

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), lei nº 6.938/81, fundamentada nos incisos VI e VII do artigo 23 e no artigo 235 da Constituição Federal Brasileira, define como sendo obrigatória a recuperação de áreas degradadas e áreas contaminadas, estabelecida pela mesma e destinada aos geradores de poluição (MATTOS JR; MAIA, 2017).

Em 1997, a Lei 9.433 da Política Nacional de Recursos Hídricos foi criada, singularmente veiculando suas principais diretrizes: a água é um bem econômico, pertencente ao domínio público, possui uso prioritário para consumo humano, possui usos múltiplos, diferencia-se pelo gerenciamento por bacias hidrográficas e aponta sua gestão descentralizada e participativa (HAGER; D'ALMEIDA, 2008).

Com o intuito de concatenar os múltiplos usos da água, a Política Nacional de Recursos Hídricos trata tanto de águas superficiais quanto águas subsuperficiais, estando a segunda delas, a partir do sancionamento da lei, ligadas ao limite da bacia hidrográfica na qual situa-se o aquífero em questão, devendo também possuir gestão integrada com a das águas superficiais correspondentes (FINOTTI *et al.*, 2001).

Através dessa lei, pode-se instituir regras claras para a gestão de qualidade dos recursos hídricos, sendo essa um dos passos para o controle de poluição incidente sobre as águas. Dois instrumentos utilizados para a gestão integrada de qualidade e quantidade dos cursos d'água são o enquadramento dos cursos da d'água em classes e o Plano de Recursos Hídricos. Esses dois pontos firmam-se na Lei 9.433/97 por definirem que a outorga se dispõe das prioridades de uso estabelecidas no Plano de Recursos Hídricos e respeita a classe de enquadramento do corpo d'água (FINOTTI *et al.*, 2001).

Desde então, o aumento de áreas contaminadas vem acontecendo pelo fato dessas mesmas estarem sendo registradas em inventários realizados pelos órgãos ambientais competentes. Isso aconteceu após a publicação da resolução CONAMA nº 273/2000 responsável por instituir instrumentos de política ambiental para prevenção e controle da poluição ocasionada em postos de serviços e combustíveis, especificamente estabelecendo o licenciamento ambiental através da exigência de investigação de passivos ambientais (LIMA *et al.*, 2017).

Segundo Brasil (2000), essa resolução determina que o órgão ambiental competente exija as seguintes licenças ambientais:

- Licença Prévia (LP): para aprovação e concepção do empreendimento, certificando a viabilidade ambiental do mesmo e determinando diretrizes que serão atendidas nas próximas fases de implementação;
- Licença de Instalação (LI): para a autorização da instalação do procedimento, contendo as especificações dos planos, programas e projetos aprovados, bem como as medidas de controle ambiental correspondentes;
- Licença de Operação (LO): para a autorização da atividade depois da verificação do cumprimento do que foi estabelecido nas licenças anteriores.

No ano de 2009 foi oficializada uma regulamentação federal específica para o gerenciamento de áreas contaminadas através da Resolução CONAMA nº 420/2009, determinando critérios e valores orientados de referência de qualidade, prevenção e de investigação do solo e de águas subterrâneas. A Resolução determina que os órgãos competentes devem elaborar ações específicas voltadas para a proteção da população quando ocorre da mesma encontrar-se exposta à riscos de saúde por contaminação de substâncias químicas (LIMA *et al.*, 2017).

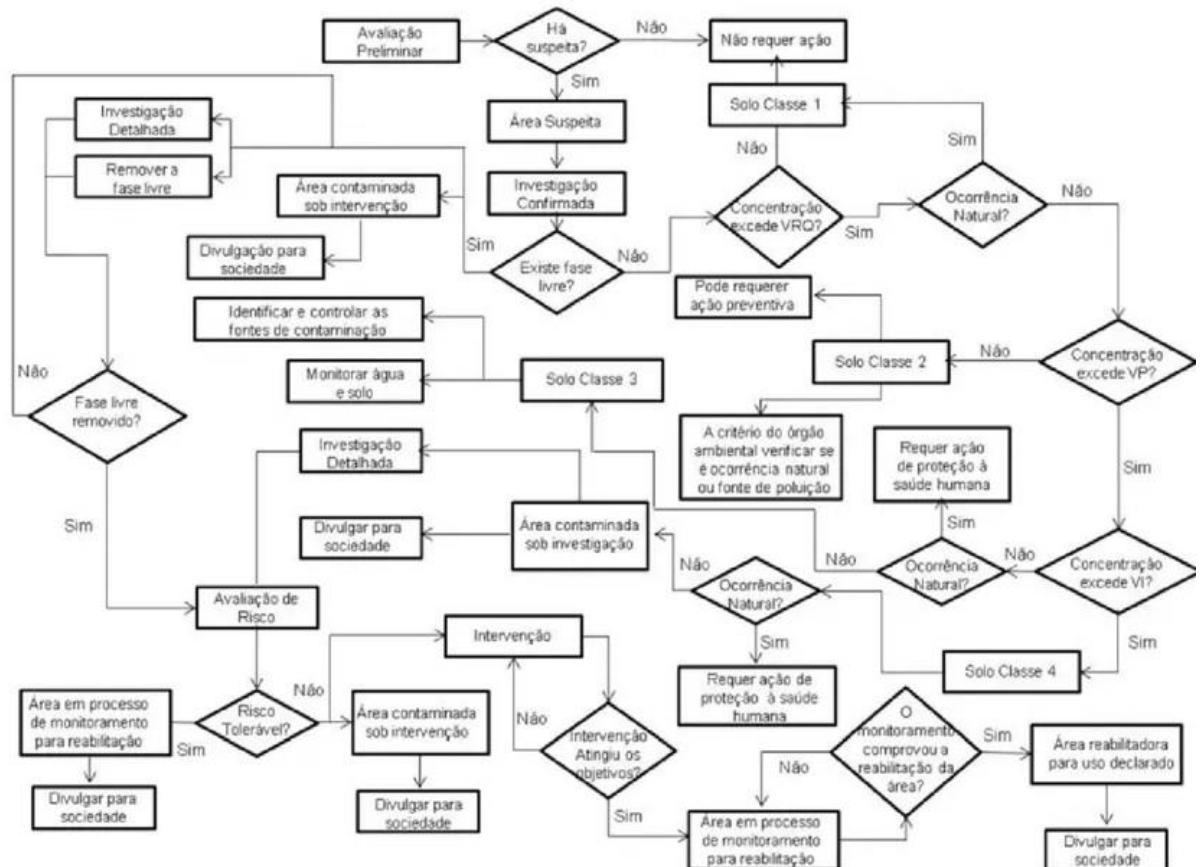
Segundo CONAMA (2009), as metodologias de investigação e gestão devem seguir as seguintes etapas:

- Identificação: realização de uma avaliação preliminar e investigação confirmatória;
- Diagnóstico: efetuar investigação detalhada e avaliação de risco para dar base à etapa de intervenção;
- Intervenção: procedimento que objetiva executar ações de controle a fim de erradicar ou diminuir o perigo à níveis toleráveis de risco, incluindo o monitoramento dessas

atividades e seu efetivo desempenho, levando em consideração o uso atual e futuro da área.

Dessa forma, podemos ilustrar as etapas do gerenciamento de áreas contaminadas segundo o fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas segundo a Resolução CONAMA nº 420/09



Fonte: CONAMA (2009).

Existem estados da união que já possuem legislação específica para áreas contaminadas, podendo assim estabelecer critérios de qualidade para o meio e uma regulamentação de medidas de gerenciamento dessas mesmas áreas. No estado de São Paulo é importante citar a Lei nº 13.577 de 08 de Julho de 2009, que dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.

Segundo Brasil (2009), a lei Estadual nº 13.577 estabelece o cadastramento e identificação de áreas contaminadas, bem como a remediação das mesmas, de forma a assegurar seus usos atual e futuro. Em seu artigo 4º, estabelece alguns dos principais instrumentos para a implementação do sistema de proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, onde podemos destacar:

- O cadastro de Áreas Contaminadas;
- Licenciamento e fiscalização;
- Plano de Remediação
- Critérios de qualidade para o solo e águas subterrâneas.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB (2017), essa lei foi regulamentada pelo Decreto Estadual nº 59.263/13, estipulando a obrigatoriedade da atualização continua do cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas, o decreto também determinou a metodologia e suas condições referentes ao gerenciamento de áreas contaminadas, frisando ações que dizem respeito aos processos de identificação e remediação.

Sendo corroborada por essas duas disposições legais, a CETESB aprova então o procedimento para Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas, a revisão do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e as Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental, através da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C. Dessa forma, através do novo regulamento, passa a existir maior eficiência e objetividade quanto ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas, onde objetiva-se o incentivo à reutilização/revitalização dessas áreas, bem como as penalidades impostas pela Lei Estadual 13.577/09 e do Decreto Estadual nº 59.263/13 e os valores de multas reativos à atenuantes e agravantes e, substitui os pareceres técnicos antes emitidos pelo órgão responsável por novos procedimentos, mais simples e restringidos apenas às informações de aprovação ou reprovação das medidas apresentadas (CETESB, 2017).

### 3.5 TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO

As técnicas de remediação de áreas contaminadas devem levar em conta um grande número de variáveis para cada processo devidamente adequado poder ser aplicado com sucesso. Essa tarefa, muitas vezes, complexa, custosa e dispendiosa, deve levar em conta que os contaminantes possuem características que alteram os mecanismos de avanço da contaminação,



características essas que variam consideravelmente em cada caso, isso ocorrendo porque cada contaminante possui uma natureza química específica e os locais afetados possuem diferentes atributos geológicos (BERTOLA, 2016).

No momento atual, a gama de métodos para remediar áreas contaminadas é extensa, trazendo diversidade e precisão no momento de escolha da técnica adequada para cada caso. Essa escolha deve ser embasada na caracterização prévia da área a ser tratada, bem como os tipos de contaminantes presentes no local. Essa caracterização deverá incluir diversos estudos, como: avaliação da heterogeneidade física da área, extensão da contaminação, localização das fontes primárias de contaminação, existência de zonas de descarga e presença do contaminante em suas fases imiscível, residual e/ou adsorvida do meio geológico (BERTOLA, 2016).

A princípio, as técnicas de remediação são divididas em “*in situ*” e “*ex situ*”, a primeira trata-se do material contaminado sendo tratado na própria área de contaminação e o segundo, ocorre quando há a retirada do material contaminado para posterior tratamento. Procedimentos “*in situ*” são mais utilizados por não apresentarem possibilidade de contaminação secundária, fator esse presente nas técnicas “*ex situ*” que necessitam de remoção do material contaminado e transporte do mesmo para outro local (MARQUES; GUERRA, 2008; TAVARES, 2013).

Segundo Coutinho e Gomes (2014), algumas das principais tecnologias de remediação de águas subterrâneas e solos são: Barreira hidráulica; *Pump-and-treat*; Extração multifásica; Oxidação química; Extração de vapores do solo; *Air sparging*; *Air stripping*; Biopilhas; Biorremediação; *Soil flushing*; *Bioventing*; Atenuação Natural; *Biosparging*; Dessorção Térmica e Fitorremediação.

Dentro destas principais técnicas, podemos destacar:

### 3.5.1 Atenuação Natural Monitorada

Trata-se da capacidade que possuem os contaminantes presentes no solo e na água subterrânea de, atenuar-se naturalmente através de processos naturais, a fim de reduzir as concentrações desses contaminantes, bem como sua toxicidade, até que atinjam níveis adequados à proteção da saúde humana e meio ambiente, onde, através do monitoramento da pluma de contaminação, avaliam-se os parâmetros dessa atenuação, através da verificação da estabilização ou redução da pluma dissolvida (COUTINHO; GOMES, 2014).

Segundo Marques e Guerra (2008), desde que a taxa de transformação seja superior à taxa de migração do contaminante e, que a pluma de contaminação seja mais estável, os mecanismos naturais de diluição, dispersão, volatilização, sorção e biodegradação podem ser utilizados para remediação de contaminação em aquíferos.

Como é uma técnica que provoca interferência mínima no local e, possui custos baixos, a atenuação natural monitorada torna-se atraente, porém, para que seja considerada efetiva, é necessário que haja um estudo fundamentado da evolução da pluma de contaminação, bem como sistema de avaliação de risco e monitoramento durante o período de aplicação da técnica (CETESB, 2001).

### 3.5.2 Extração Multifásica (MPE)

A extração multifásica (MPE), também um tipo de tecnologia “*in situ*” consiste na combinação de bioventilação e remoção de massa à vácuo, para a remoção do produto em fase livre, fase vapor, fase dissolvida no solo, bem como águas subterrâneas com compostos dissolvidos. Através do estímulo da biodegradação na zona não saturada, a extração multifásica apresenta-se como uma solução eficiente na atenuação da concentração de hidrocarbonetos contaminantes (SANTOS *et al.*, 2008; COUTINHO; GOMES, 2014).

Estando distribuídos pela área de interesse de tratamento, poços de extração são instalados para realização da extração multifásica, através da introdução de um sistema de extração a vácuo.

Ao criar-se um gradiente de pressão nos pontos de distribuição da área de interesse, por meio da aplicação do vácuo dos poços de extração, a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante são removidas. O gradiente de pressão e o vácuo aplicado possuem uma relação diretamente proporcional, sendo então, a eficiência do processo de extração das distintas fases do contaminante ligada diretamente ao sistema implementado. Após a realização do processo, o material residual deverá ser encaminhado para procedimento adequado, a então bombeada mistura é encaminhada para uma caixa separadora de água e óleo, onde o combustível recuperado é posteriormente armazenado em tambores e, a água contaminada é alocada para tratamento adequado, em filtro de carvão ativado, com seguinte reinjeção ao meio. Por último, mas não menos importante, o vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e despachado para atmosfera (NOBRE *et al.*, 2003; FURTADO, 2005).

Essa técnica é bastante eficaz e causa grandes benefícios para o local de aplicação contaminado, tendo-se como premissa um trabalho realizado dentro de uma faixa hidrogeológica pré-determinada e propriedades dos contaminantes conhecidas. Os custos da mesma são elevados quando comparados à técnicas de remediação tradicionais, sendo eles explicados pelo uso de equipamentos e acessórios complementares requeridos por esse tipo de tratamento (SANTOS *et al.*, 2008).

### 3.5.3 Biorremediação

Essa técnica é compreendida no uso de microrganismos (bactérias e fungos) e/ou plantas removendo os compostos poluentes a partir da sua contenção ou transformação. A biorremediação pode ser subdividida em: estímulo da atividade de microrganismos para intensificação da degradação de compostos orgânicos; inoculação de microrganismos que possuam capacidade de biotransformação de locais contaminados; aplicação de enzimas imobilizantes para transformação ou degradação de poluentes; fitorremediação, utilizada para conter ou reverter a toxicidade de contaminantes, a partir do uso de plantas acumuladoras (MARQUES; GUERRA, 2008).

Na biorremediação, os microrganismos obtêm nutrientes e energia das substâncias orgânicas presentes no solo e água subterrânea, digerindo essas substâncias, eles as transformam em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água. Tomando os devidos cuidados, nessa prática faz-se necessária a atenção para a capacidade que os microrganismos possuem de gerar substâncias tóxicas, mudando a finalidade do uso da técnica, criando um quadro prejudicial ao meio ambiente e ao ser humano (COUTINHO; GOMES, 2014).

Técnicas biológicas de remediação como essa vem se tornando cada vez mais usuais, uma vez que apresentam impactos reduzidos para o solo, porém, esse recurso exige mais tempo para o processo de descontaminação ocorrer, nem sempre sendo suficiente para atingir as metas de projeto desejadas, onde faz-se necessária a aplicação de tecnologias complementares, na maioria dos casos (BERTOLA, 2016).

Os custos da biorremediação são baixos quando comparados a outros métodos convencionais de tratamento, uma vez que corresponde à um processo natural de recuperação do meio. As condições do meio favorecedoras da atividade microbiana à aplicação do procedimento, são fatores determinantes para a eficácia do mesmo, sendo sua caracterização

prévia um fator importante. Tornam-se assim relevantes, o conhecimento de características como: meio anóxico, teor de nutrientes, tempo de retenção, atividade enzimática, temperatura, pH e inóculo aclimatado ao meio tóxico (SANTOS *et al.*, 2008).

#### 3.5.4 *Pump-and-Treat*

*Pump-and-treat* é um sistema composto por um poço com uma bomba, com a finalidade de recuperar água e o contaminante ao mesmo tempo, ou então, pode ser formado por um sistema de duas bombas, funcionando de maneira que, uma delas rebaixe o nível d'água para retirada da água subterrânea e a outra, retire o contaminante (TAVARES, 2013).

Constitui-se em um processo físico que através da instalação de poços de extração, remove águas subterrâneas contaminadas da zona saturada, para posterior tratamento com outras tecnologias. Depois de tratadas, elas são reintroduzidas no aquífero ou então, descartadas nos corpos hídricos superficiais (LIMA *et al.*, 2017).

Segundo Tavares (2013), geralmente esse método está associado com outras tecnologias complementares de remediação, para que o tempo de descontaminação do local seja menor. Necessita-se de um bom conhecimento das características hidrogeológicas do local e da extensão da pluma de contaminação para eficácia do processo, já que em áreas geologicamente complexas e heterogêneas, a tecnologia pode não ser a mais adequada para descontaminação do aquífero, uma vez que esses mesmos atributos geológicos podem não permitir a reinjeção da água contaminado após seu tratamento, ou ainda, tornar lento o processo de difusão hidráulica em certos tipos de solo. Essa técnica é comumente utilizada na descontaminação de sítios, já que é relativamente mais barata do que outras e a água bombeada pode facilmente ser tratada por processos já conhecidos de tratamento de efluentes.

#### 3.5.5 Oxidação Química

É um tratamento que utiliza oxidantes químicos como ozônio, peróxidos e persulfatos para decompor e reduzir a toxicidade de contaminantes nos solos e águas subterrâneas (LIMA *et al.*, 2017). É uma técnica de remediação “*in situ*”, classificada como uma das mais inovadoras para áreas contaminadas, realizando a oxi-redução dos contaminantes orgânicos e alterando-os para que se configurem em formas não mais tóxicas para o meio (SANTOS *et al.*, 2008).

Segundo Furtado (2005), a injeção de nutrientes é mais difícil em solos argilosos, e por esse motivo, Processos Oxidativos Avançados – POA são realizados, utilizando um reagente “Fenton” (peróxido de hidrogênio + catalisador). Para mais, o ferro é comumente utilizado como agente catalisador, gerando radicais hidroxilas livres que oxidam os compostos orgânicos presentes no meio contaminado.

### 3.5.6 *Air Sparging*

Corresponde ao processo no qual há introdução de ar atmosférico sob pressão no aquífero contaminado, ocasionando borbulhamento na água e provocando a remoção por arraste dos compostos orgânicos por volatilização, compostos esses, que podem estar tanto dissolvidos na água subterrânea quanto adsorvidos na zona saturada (LIMA *et al.*, 2017).

Esse sistema de aeração pode favorecer também a biodegradação aeróbia de determinados compostos, já que acaba por incrementar a quantidade de oxigênio dissolvido nas águas do aquífero (*biosparging*). O *Air Sparging* possui alta eficácia quando combinado com o processo de Extração de Vapores (SEV), onde os contaminantes são captados na região imediatamente acima da contaminação, na zona insaturada do solo (TAVARES, 2013; COUTINHO; GOMES, 2014).

Não obstante das outras técnicas citadas anteriormente, esse método possui limitações de aplicabilidade e eficiência, tais como: profundidade de contaminação e de nível d’água local; composição pouco permeável do solo, que impossibilitam a subida de gases; planejamento preciso da injeção de ar, para que o fluxo do mesmo através da zona não saturada não ocorra de maneira não uniforme, o que pode vir a reduzir a performance da técnica (COUTINHO; GOMES, 2014).

Segundo Santos *et al.* (2008), as principais características que determinam a eficiência desse processo são: permeabilidade gasosa na zona não saturada, taxa de fluxo da água, permeabilidade do aquífero e volatilidade e solubilidade dos contaminantes orgânicos.

#### 4 METODOLOGIA

Esta pesquisa será realizada por meio de um estudo de caso, verificando-se assim a aplicabilidade e eficiência do gerenciamento de áreas contaminadas nos casos de contaminação por postos de combustíveis, mostrando todas as etapas desse processo. Essas etapas são: investigação detalhada, implantação do sistema de remediação, remoção de fase livre e monitoramento.

Durante a primeira etapa, diversas investigações são feitas com o intuito de delimitar a contaminação, como por exemplo, análise de amostras de solo deformada e indeformada e análises químicas do solo e água subterrânea, tanto em área (delimitação da pluma de fase livre) quanto em concentração (fase dissolvida), determinar quais são as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs), que neste estudo de caso são os hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX e PAH), avaliar as fontes primárias e secundárias de contaminação, possíveis meios de deslocamento dos poluentes, quem são os possíveis receptores que possam ser afetados pela contaminação e criar um plano de intervenção, que servirá de base para a segunda etapa.

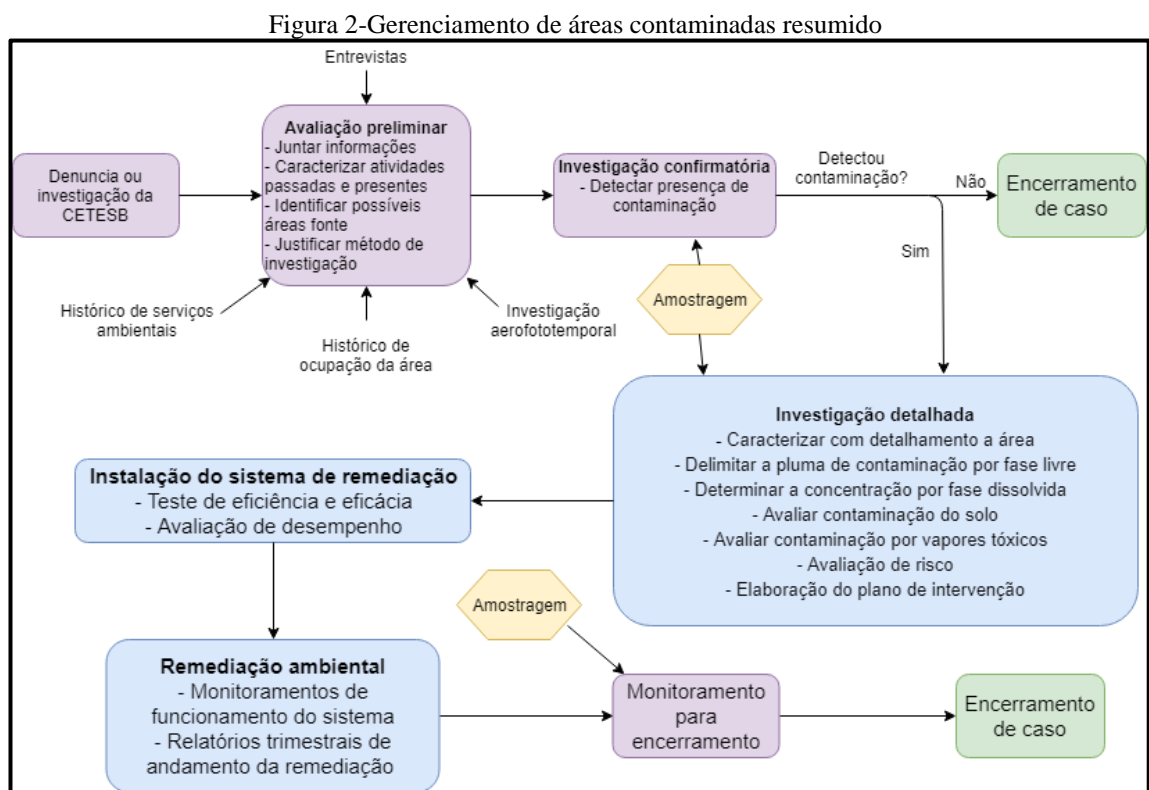
A segunda etapa consiste na implantação do sistema que será utilizado para a remediação, de forma a explicar seu funcionamento e realizar testes para que possa operar da forma mais eficiente possível. Por fim, a última etapa demonstra a evolução da remediação, demonstrando ao longo do tempo a retirada do contaminante do solo, juntamente com monitoramentos da qualidade da água e da espessura da contaminação, comprovando então a eficiência do sistema utilizado.

Vale ressaltar que existe a necessidade da realização da avaliação preliminar e investigação confirmatória antes que a investigação detalhada seja realizada, pois essa apenas é necessária caso a investigação confirmatória indique presença de contaminação. Porém, para fins de encurtamento deste estudo, abordaremos apenas a investigação detalhada, que contempla todas as informações das investigações anteriores com um maior grau de aprofundamento, não havendo então informações que seriam omitidas.

Após a remoção da fase livre, deverá ser feita a remediação da fase dissolvida, que consiste em tratamentos para remoção dos compostos que foram dissolvidos na água subterrânea. Esta remediação pode ser feita por meio de oxidação química, tratamento biológico ou por filtração com carvão ativado. Porém, como este estudo de caso não possui contaminação

por fase dissolvida, não será necessário avaliar esta etapa. A CETESB então exige que sejam realizados monitoramento semestrais para avaliação da qualidade da água, por um período mínimo de 2 anos. Após 4 campanhas de monitoramento serem realizadas, e, caso não tenha sido apresentado indícios de contaminação, a área é então habilitada para seu uso declarado.

O fluxograma na Figura 2, representa o processo de gerenciamento de áreas contaminadas com as etapas avaliadas neste estudo de caso em azul, as outras etapas não serão abordadas devido a redundância de informações, ou, no caso do monitoramento para encerramento, por se tratarem de etapas com duração mínima de 2 anos, não foram finalizadas.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Como primeiro passo para a realização do procedimento, a investigação detalhada é feita, sendo um dos relatórios mais complexos e longos exigidos pela CETESB, é requerido um grau de aprofundamento e detalhamento da área em estudo (meio físico e antrópico), pluma de contaminação, entorno do empreendimento, avaliação dos riscos aos funcionários e à população no entorno do empreendimento e elaboração das medidas necessárias para a remediação

baseadas nas informações obtidas. A etapa em questão tem como objetivos: caracterizar o meio físico onde está localizado o empreendimento e a Área Contaminada sob Investigação (ACI), no caso, o objeto de estudo deste trabalho é um posto de combustível; determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse nos diversos meios analisados, no caso, água subterrânea, solo e vapores na superfície; delimitar tridimensionalmente os limites da pluma de contaminação e também quantificar a massa e volume de contaminante presente na área contaminada, tanto em fase livre quanto em fase dissolvida; caracterizar e determinar quais são os meios de transporte de contaminação e meios e cenários de exposição.

A investigação deverá ter como base para seu planejamento o Modelo Conceitual, um cenário construído a partir dos dados obtidos nas investigações anteriores e no manual de gerenciamento de áreas contaminadas, servindo assim para embasar as decisões futuras quanto à recuperação do sítio contaminado.

Como o gerenciamento de áreas contaminadas funciona de forma linear, ou seja, cada etapa realizada justifica e serve como base para a próxima, as informações apresentadas na investigação detalhada servirão de base para a Avaliação de Risco, criação do Plano de Intervenção e instalação do sistema de remediação. Para isso, serão realizadas análises químicas das amostras de água e solo, a fim de fornecer dados precisos da situação atual da área.

Após o fim das análises laboratoriais, a pluma de contaminação deverá ser delimitada e apresentada em formato de planta. Todos os *hot spots*, lugares com possibilidade de contaminação ou contaminação confirmada, devem ser investigados e definidos, porém, neste estudo de caso, existe apenas uma pluma de contaminação.

Devido a maior complexidade e número de particularidades durante a etapa da investigação detalhada, muitas vezes o modelo conceitual desenvolvido nas etapas anteriores do gerenciamento de áreas contaminadas acaba se mostrando incompleto e desatualizado, ou seja, caso sejam descobertas novas fontes primárias de contaminação durante a investigação detalha, que não foram identificadas na investigação confirmatória, estas também deverão ser delimitadas e estudadas.

Todas as análises laboratoriais devem constar com as respectivas cadeias de custódia e laudos analíticos fornecidos pelo laboratório responsável, e devem estar em conformidade com a norma IO – IEC 17025, devendo necessariamente fornecer informações da amostragem, como



por exemplo a localização do ponto onde foi amostrado, data e hora da coleta, método utilizado para a coleta, banco de campo e equipamento, quando necessário, limites de quantificação do método utilizado e assinatura de recebimento do laboratório.

Dessa forma, a primeira etapa deste estudo de caso irá, através de análises químicas de solo e água, delimitar a pluma de fase dissolvida no solo e água subterrânea; realizar o monitoramento do nível d'água e espessura de fase livre utilizando o equipamento de interface água/óleo para delimitar a pluma de fase dissolvida; determinar as possíveis formas de transporte da contaminação e identificar quais são os bens a proteger e possíveis receptores.

Todos os trabalhos executados nesta etapa estão em conformidade com a Decisão de Diretoria 038/2017, documento elaborado pela CETESB que apresenta todas as instruções e exigências necessárias para o gerenciamento de áreas contaminadas. Essas etapas consistem em:

- 1 – Reunir todas as informações disponíveis existentes;
- 2 – Coletar os dados necessários nesta etapa de investigação;
- 3 – Elaboração do plano de intervenção;
- 4 – Elaboração do modelo conceitual;
- 5 – Avaliação de risco;
- 6 – Determinação do sistema de remediação a ser adotado.

Todos os procedimentos descritos estão de acordo com as normas e metodologia da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) “NBR 15.495 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares” e “NBR 15.492 – Sondagens de reconhecimento para fins de qualidade ambiental”.

As medidas de controle institucional adotadas tiveram como objetivo proteger os receptores comerciais e residenciais presentes nas redondezas do empreendimento e foram baseadas nos diagnósticos realizados no local.

Por fim, na implantação do sistema de remediação é demonstrado o primeiro teste de eficiência e eficácia, juntamente com a descrição do equipamento com maior detalhamento e instalação do poço de bombeamento, visando a remediação da área contaminada por hidrocarbonetos derivados de petróleo.

Os trabalhos executados seguiram as preconizações e metodologia estabelecidas na Decisão de Diretoria nº 038/2017 que dispõe sobre a aprovação do “Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas” e estabelece “Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 INVESTIGAÇÃO DETALHADA

#### 5.1.1 Escopo

Os procedimentos realizados na etapa de investigação detalhada para este estudo de caso foram:

- a) Reconhecimento da área a partir de caminhadas nas redondezas, entrevistas com funcionários e moradores próximos, reconhecimento aero fotográfico pelo Google Earth e utilização de softwares, como por exemplo, DataGeo, ArcGis e AutoCAD, para reconhecimento de geologia, hidrogeologia e uso e ocupação do solo;
- b) Elaboração do plano de investigação;
- c) 6 Sondagens para instalação de poços, dos quais 4 poços são poços de monitoramento com 2” de diâmetros e 2 são poços de monitoramento multinível com 2” de diâmetro. Vale ressaltar que já existiam alguns poços de monitoramento previamente instalados no empreendimento;
- d) Coleta de 9 amostras de água subterrânea;
- e) Coleta de 6 amostras de solo;
- f) Levantamento planialtimétrico do empreendimento e arredores;
- g) Análise química realizada por laboratórios acreditados pelo INMETRO. Os parâmetros analisados nos ensaios laboratoriais foram:

- BTEX (Benzeno, Etilbenzeno, Tolueno e Xilenos Totais);
- PAH (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos);
- Etanol;

- h) Interpretação dos resultados;
- i) Avaliação de risco;
- j) Elaboração do plano de intervenção.

### 5.1.2 Características do Empreendimento

Como o objetivo desta etapa do estudo de caso é a de caracterizar completamente o *site*, descrever as características do empreendimento é de grande importância, pois desta descrição de características e atividades realizadas no local, podemos identificar as possíveis fontes de contaminação, ou até mesmo identificar novas fontes primárias e secundárias não identificadas nas etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória.

O posto de combustível em questão está localizado no centro do município de Araraquara (SP), com uma área de 590 m<sup>2</sup> segundo sua licença de operação (disponível para ser consultada no site da CETESB), informação que já nos possibilita enquadrar o empreendimento em área residencial, fato que indica um maior risco devido ao maior tempo de exposição para as pessoas que vivem próximas à área e consequentemente tornando as concentrações máximas aceitáveis para a área menores do que, caso por exemplo, estivesse em uma área industrial.

Possui uma loja de conveniência, uma área coberta para abastecimento e um local onde é realizada a lavagem de carros. O posto também realizado a troca de óleo. A troca de óleo por exemplo é uma possível atividade com risco de contaminação.

A Tabela 2 fornece as informações referentes aos tanques de armazenamento de combustível do posto, os quais são possivelmente as fontes primárias de contaminação, pois em postos de combustível, as contaminações costumam ser causadas devido a vazamentos nos tanques, que usualmente eram feitos de aço, porém conforme os anos passam (os antigos tanques usados em postos de combustível tinham uma média de vida útil de 25 anos), podem ocorrer fissuras em suas paredes, gerando os vazamentos. Atualmente são exigidos tanques com camada dupla, para que sejam evitados novos vazamentos.

Tabela 2 - Tanques subterrâneos e suas características

<b>Nº do tanque</b>	<b>Capacidade (Litros)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Material</b>	<b>Produto</b>	<b>Idade</b>	<b>Status</b>
<b>A.1</b>	10.000	Bicompartmentado	Camada Dupla	Diesel S-10	<15 anos	Ativo
<b>A.2</b>	20.000	Bicompartmentado	Camada Dupla	Gasolina comum	<15 anos	Ativo
<b>B.1</b>	10.000	Bicompartmentado	Camada Dupla	Gasolina Podium	<15 anos	Ativo
<b>B.2</b>	20.000	Bicompartmentado	Camada Dupla	Gasolina comum	<15 anos	Ativo
<b>C</b>	30.000	Pleno	Camada Dupla	Etanol	<15 anos	Ativo

O sistema de abastecimento do posto consta com 4 bombas, das quais 2 possuem 3 bicos, e 2 possuem 4 bicos, somando um total de 14 bicos de abastecimento distribuídos em 4 ilhas de abastecimento. Sempre deve-se considerar todo o sistema de armazenamento e distribuição de combustíveis como possíveis fontes de contaminação, pois podem ocorrer vazamentos em qualquer um destes dispositivos, apesar de usualmente o vazamento estar localizado nos tanques.

O empreendimento também conta com um filtro de diesel, piso de concreto com canaletas que levam a água até a caixa separadora de água e óleo (SAO). Vale ressaltar que a parte do lugar, que realiza a lavagem de carros, possui canaletas e uma caixa SAO própria.

Em postos de combustíveis mais antigos que ainda não foram reformados conforme nova legislação, a ausência de canaletas que levem a caixa separadora de água e óleo pode ser um indicativo de fonte de contaminação, pois, conforme o caimento do terreno, toda substância que venha a cair no chão do empreendimento será carregada pela água até um ponto mais baixo, podendo então ser infiltrada no solo e gerando uma contaminação. Porém, no empreendimento em estudo, existem canaletas em bom estado, descartando assim esse cenário.

O empreendimento conta com abastecimento de água proveniente da rede de abastecimento da cidade, assim como coleta de esgoto. Ambos os abastecimentos de água como a coleta de esgoto são de responsabilidade da SABESP. Fato este que não descarta o cenário de

captação de água do lençol freático contaminado no local, devido a um poço de captação existente nas proximidades do empreendimento.

O layout do empreendimento com a localização dos poços de monitoramento e bombeamento está disposto no **ANEXO A**.

### 5.1.3 Histórico dos Serviços Realizados no Empreendimento

O histórico de serviços realizados é de grande importância para a investigação detalhada, pois através dele é possível identificar a existência de contaminações passadas ou ainda existentes no local. É muito comum uma remediação ser interrompida e posteriormente outra ser iniciada no local, tornando o estudo do histórico uma importante ferramenta. Através do estudo do histórico de serviços é possível detectar os poços previamente instalados no local, não havendo necessidades de novas sondagens, tornando assim o processo de remediação mais barato e rápido.

Também é possível determinar através de um histórico de serviços anteriores que um determinado equipamento de remediação não possui alta eficiência e eficácia no local, possibilitando então a escolha de um equipamento mais adequado.

Ou até mesmo identificar contaminações de SQIs presentes no local que não seriam avaliadas caso não fossem constatadas no histórico, por exemplo: um posto de combustível realizava troca de óleo que gerou contaminação e foi constatado em um estudo realizado por uma empresa de remediação, porém posteriormente foi encerrada a atividade de troca de óleo e uma nova empresa foi contratada para realizar a remediação, caso a avaliação das características do empreendimento fosse realizada sem o estudo do histórico, provavelmente não seriam considerados cenários de contaminação por óleos lubrificantes.

- Antes da realização do estudo de investigação detalhada, em junho de 2009 foi realizada a avaliação preliminar e a investigação confirmatória, a fim de descrever o perfil hidrológico e litológico do local, identificar e localizar as possíveis contaminações existentes no posto e decorrentes vazamentos nos tanques subterrâneos. Os tanques após estudo de fundo de cava (estudo que identifica vazamentos nos antigos tanques, durante

a remoção dos mesmos) foram substituídos por tanques novos, atendendo as exigências necessárias.

- O estudo anteriormente realizado constou com 1 sondagem de 15 metros próxima aos tanques, 8 sondagens de 5 metros, 9 sondagens de 2 metros, medição de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e LIE em todas as sondagens. Também foram construídos 3 poços de monitoramento com 2'' de diâmetro, nomeados de **PM-01, PM-02 e PM-03**. Para fins de confirmar a existência e contaminação, foram coletadas amostras de solo e água subterrânea nos 3 poços de monitoramento instalados. As amostras tiveram os parâmetros BTEX e PAH analisados.
- Os resultados analíticos da qualidade da água e solo mostraram a ausência de contaminação nos poços, pois os resultados estavam abaixo dos valores de intervenção.
- Em outubro de 2009 a CETESB emitiu uma notificação de não conformidade do relatório de passivo ambiental. Exigindo então que o relatório fosse revisado dentro de um prazo de 30 dias para que fosse enquadrado corretamente na Decisão de Diretoria 010/2006/C.
- O novo relatório foi protocolado em junho de 2011 por outra empresa de consultoria, a qual realizou 6 sondagens e a instalação de 5 novos poços de monitoramento, os quais foram nomeados de **PM-04 a PM-08**. Também foram coletadas 6 amostras de solo e água subterrânea para análise química dos parâmetros mencionados anteriormente.
- Os resultados analíticos da qualidade da água e do solo indicaram a presença de contaminação por Benzeno e Xilenos acima dos valores de intervenção da CETESB no **PM-03**, assim como a presença de fase livre sobrenadante, classificando a área como contaminada no cadastro da CETESB.
- Devido a presença de contaminação, foi necessária a realização do estudo de investigação detalhada, objeto em questão deste estudo de caso.

Através do estudo deste histórico, algumas informações importantes já foram apresentadas, entre elas: Onde está inserida a pluma de contaminação, quais são as SQIs presentes, existência de poços de monitoramento que podem ser utilizados, evitando assim a necessidade de novas sondagens e realização reformas no local, todas essas informações são importantes para a elaboração do modelo conceitual da área, apresentado na Tabela 3, assim como possibilitaram a não realização de sondagens para instalações de poços de

monitoramento, pois os mesmos já existem no local e estão distribuídos de forma satisfatória para a delimitação das plumas.

Sintetizando, existiam 5 poços de monitoramento, PMs de 1 a 5, os quais já haviam detectado presença de contaminação por fase livre no **PM-03**. Posteriormente, na etapa de investigação detalhada, foram instalados os **PMs de 6 a 8**, mais os PMNs 1 e 2.

#### 5.1.4 Caracterização do Entorno

Assim como o estudo do histórico de uso e ocupação do solo e serviços ambientais já realizados no local, é necessário que se faça um estudo e caracterização do entorno, pois apesar dos históricos acima mencionados, diversos fatores podem ter sido alterados no entorno do empreendimento, como por exemplo a construção de residências próximas, reformas ou instalação de indústrias.

Para que se fosse feita a caracterização do entorno, foram utilizados 3 métodos principais, o primeiro deles foi por meio de caminhadas no entorno do empreendimento, em um raio de 200 metros a partir dos limites do empreendimento. Este método apesar de muito simples é de grande importância, pois pode, por exemplo detectar indícios de contaminação que os próximos métodos não conseguiriam.

O segundo método utilizado para a caracterização do entorno foi através do software Google Earth, pelo qual, através de imagens de satélite, pode-se observar por uma vista superior os arredores do empreendimento. Este método possui grande utilidade e eficiência, principalmente para que se consulte as alterações da área ao longo dos anos. Através deste método fica evidente a existência de reformas e instalação de novas construções nas redondezas do local. Outro fator importante para a utilização deste método de investigação é a detecção de corpos d'água e áreas de preservação próximas ao empreendimento.

E o último método consistiu em entrevistas com funcionários do posto e moradores da região circunvizinha. Este método, assim como os 2 mencionados anteriormente, pode proporcionar informações que não seriam possíveis pelos outros métodos. Como por exemplo uma denúncia de vazamento, odores e reclamações de quaisquer eventuais acontecimentos que possam vir a ser importantes para o estudo.

Além destes 3 métodos utilizados para a caracterização do entorno, também foram realizadas pesquisas junto ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), o órgão que faz a gestão do uso de água subterrânea no Estado de São Paulo e a CETESB, para fins de determinar a existência de poços de captação de água ou outras áreas contaminadas nas proximidades do empreendimento.

Após a realização destas três investigações, pode-se concluir que o empreendimento está localizado em uma região mesclada entre estabelecimentos comerciais e residências, localizada na área urbana central do município de Araraquara (SP). Entre os estabelecimentos comerciais presentes na região circunvizinha, podemos mencionar um supermercado, lojas comerciais de diversos tipos e uma sede do correio.

Quanto a caracterização da água no local, deve-se avaliar a água subterrânea e superficial, assim como seus respectivos usos. O posto de combustível está inserido na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, valendo ressaltar que o município de Araraquara está inserido na bacia Tietê-Jacaré e na bacia Mogi-Guaçu. O empreendimento possui uma elevação média de 635 metros acima do nível do mar.

Foi localizada através do software Google Earth a presença de um corpo hídrico a 1400 metros de distância a noroeste do empreendimento, distância grande o suficiente para que o corpo hídrico não seja enquadrado como possível receptor para a contaminação. O corpo hídrico é um córrego afluente do rio Ribeirão das Cruzes (corpo d'água que abastece parte do município de Araraquara), o Ribeirão das Cruzes é classificado como rio Classe II.

Para fins de usos da água subterrânea, foi realizada uma pesquisa junto ao cadastro do DAEE para localização de poços de abastecimento de água nas proximidades do empreendimento. Foi localizado 1 poço de captação de água dentro do limite de 70 metros do empreendimento. Esta informação é de grande importância, pois está dentro de uma distância muito pequena do empreendimento, podendo existir a possibilidade do poço estar captando água contaminada. A água do poço de captação não foi coletada para amostragem, pois a contaminação desse poço é pouco provável já que o mesmo capta água do aquífero confinado, onde a contaminação não o atinge.

Para localização de áreas contaminadas nas proximidades do empreendimento, foi realizada uma pesquisa no catálogo de áreas contaminadas da CETESB de 2016. Foi localizada



apenas 1 área contaminada no raio de 200 metros do empreendimento, pertencente a um outro posto de combustível, localizado aproximadamente a 180 metros do empreendimento. A área contaminada em questão está classificada como “em processo de monitoramento para encerramento (AME)”, última etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas. Ou seja, a contaminação nesta área já foi remediada, desconsiderando então cenários onde as duas contaminações possam eventualmente se encontrar.

#### 5.1.5 Modelo Conceitual da Área

A investigação detalhada sempre deve contar com um modelo conceitual atualizado, em relação ao modelo conceitual inicial elaborado na Avaliação preliminar, e possivelmente atualizado durante a investigação confirmatória. O modelo conceitual é um relato do empreendimento sob investigação. Nele são necessariamente abordadas características do meio físico, químicos, biológicos e os processos físicos envolvidos.

Este modelo conceitual é necessário para a determinação da movimentação do contaminante no solo e água subterrânea, assim como a possibilidade de ingestão de vapores tóxicos.

Para o empreendimento em questão, foram identificadas atividades potencialmente contaminantes de revenda de combustíveis automotivos, óleos lubrificantes e armazenamento de combustíveis em tanques subterrâneos.

Como mencionado anteriormente, foi localizado um poço de captação de água subterrânea dentro de um raio de interesse de 200 metros a partir dos limites do empreendimento, localizado a aproximadamente 70 metros. Também foi localizada uma outra área contaminada dentro do raio de interesse, a qual localiza-se a aproximadamente 180 metros de distância. As informações foram obtidas, respectivamente, pelo cadastro de poços de captação outorgados pelo DAEE e cadastro de áreas contaminadas da CETESB.

Devido à natureza volátil e semi-volátil dos contaminantes, é necessário considerar a formação de bolsões de gases que podem se acumular nas estruturas do empreendimento ou formações mais duras do solo. Fato este que pode gerar risco de explosão.

Os contaminantes em questão uma vez presentes no solo, devido a força da gravidade e infiltração da água da chuva, são carregados até atingirem o lençol freático. Por apresentarem características hidrofóbicas, o contaminante não se mistura com a água subterrânea, formando então uma camada que se espalha pela superfície do lençol, formando a fase livre de produto sobrenadante.

Devido a longos períodos de exposição e grandes concentrações de contaminantes, esta fase livre pode misturar-se com a água, formando então a fase dissolvida.

Os possíveis receptores e grupos de risco à exposição são: os trabalhadores e funcionários do posto, os moradores do entorno do empreendimento e qualquer outra pessoa que possa vir a circular nas proximidades do empreendimento.

Uma vez determinados os contaminantes, as fontes de contaminação e os possíveis receptores, devemos considerar como as possíveis vias de exposição para a contaminação do solo são: Inalação de vapores tóxicos, tanto em ambientes fechados (devido à existência da loja de conveniência e residências próximas) como em ambientes abertos, ingestão de partículas do solo contaminadas e contato dérmico.

Para o caso das vias de exposição consideradas para a água subterrânea, temos: Inalação de vapores tóxicos em ambientes abertos e fechados, encontro com o corpo d'água superficial e ingestão de água subterrânea captada pelo poço de captação presente no entorno do empreendimento.

Tabela 3 – Representação do Modelo Conceitual Área (MCA)

<b>Fontes primárias</b>	<b>Mecanismos primários de liberação</b>	<b>Fontes secundárias</b>	<b>Mecanismos secundários de liberação</b>	<b>Via de transporte dos contaminantes</b>	<b>Receptores</b>
Vazamentos de combustíveis proveniente dos tanques de abastecimento	Infiltração no solo	Solo, Água Subterrânea e Superficial contaminados	Lixiviação e solubilização	Solo e Água Subterrânea	Corpos d'água subterrâneos, funcionários do posto e população que reside próxima ao empreendimento

### 5.1.6 Atividades Realizadas

Até o momento foram apenas descritas as atividades referentes a coleta de informações, neste capítulo serão descritas as atividades realizadas com fins de investigações e coletas de amostras de solo, vapores de VOC, água e caracterização geológica.

Iniciando com as sondagens para instalação de poços de monitoramento, durante as sondagens, são coletadas amostras de solo de VOC. A instalação de novos poços de monitoramento deve-se ao fato de apenas existirem 4 poços de monitoramento, não sendo suficientes para a delimitação completa da pluma de contaminação.

Amostras de solo e VOC são coletadas nas novas sondagens, e as amostras de água são coletadas nos poços de monitoramentos novos e antigos, com exceção dos poços onde for encontrada fase livre, pois nos mesmos já existe contaminação confirmada devido à presença de camada espessa de fase livre. Esta fase livre é detectada utilizando o equipamento de medição interface de água e óleo e posteriormente coletada com *bailers* de plástico, como visto na Figura 3, para confirmação visual.

Figura 3 – *Bailer* com fase livre



Fonte: Infraestrutura Urbana (2018)

#### *5.1.6.1 Sondagens e Poços de Monitoramento*

Foram realizadas 6 sondagens com fim de coletar as amostras de solo, que posteriormente foram enviadas para análise química das SQIs em laboratório acreditado pelo INMETRO. Para fins de aproveitamento de recursos, todas as sondagens também serviram para a instalação de novos poços de monitoramento no empreendimento.

Dos 6 poços de monitoramento instalados no empreendimento, 4 foram construídos para fins de delimitação da pluma de contaminação na horizontal, chamados de poços de monitoramento (**PM**), e 2 deles para fim de delimitar a pluma na vertical, estes são chamados de poços multinível (**PMN**), todos os poços instalados possuem o diâmetro de 6” (polegadas) e foram realizadas por trado manual.

Os poços de monitoramento multinível (**PMNs**) são mais profundos em comparação com os poços de monitoramento (**PMs**), para que desta forma seja possível delimitar com maior precisão a pluma de contaminação no sentido vertical. Quando ao seu diâmetro e material, são idênticos aos **PMs**.

Como já existiam 4 poços de monitoramento no local, denominados de **PM-01, PM-02, PM-03 e PM-04**, os novos poços instalados foram denominados de **PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PMN-01 e PMN-02**. As localizações dos poços de monitoramento instalados e previamente instalados estão dispostas no **Anexo A**.

Os poços instalados possuem revestimento por um tubo de PVC, com fim de proteger o poço e evitar um possível desmoronamento. Os poços de monitoramento possuem uma seção filtrante de 3 metros no fundo do poço, e os poços multinível apenas 1 metros de seção filtrante. O espaço anelar entre os furos realizados nas sondagens e o revestimento de PVC é preenchido com um pré-filtro composto por areia, por fim é selado com bentonita.

As Figuras 4, 5 e 6 mostram a sondagem e poços de monitoramento com e sem tampa.

Figura 4 - Poço de monitoramento com tampa



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 5 - Poço de monitoramento sem tampa



Fonte: Autoria Própria (2018)





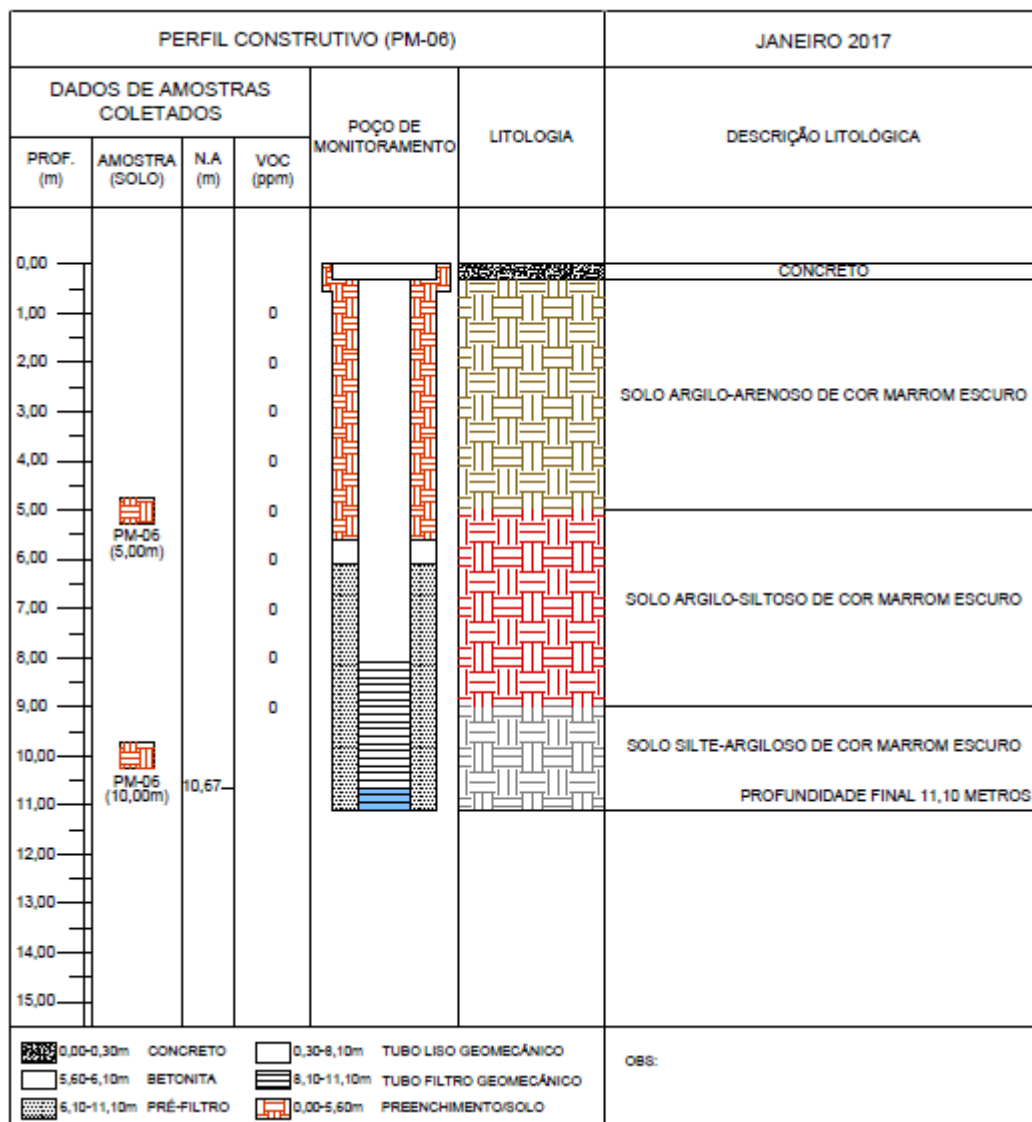
Devido à ausência de concentrações detectadas de VOC, foram enviadas amostras de solo aleatórios para o laboratório. Caso fossem obtidos valores detectáveis, as amostras com maiores concentrações deveriam ser enviadas ao laboratório para análise química. As amostras enviadas estão marcadas em vermelho na Tabela 4.

Dentre os possíveis cenários de contaminação, são descartados os cenários de contaminação por vapores, pois foi observado a ausência deles em todos os poços analisados.

#### *5.1.6.3 Caracterização Geológica*

Foram detectadas 3 principais unidades litológicas durante a realização das sondagens, elas são: solo argilo-arenoso de coloração marrom escuro, solo argilo-siltoso de coloração marrom escuro e solo silte-argiloso de coloração marrom escuro, segundo a Figura 7, como podemos observar no boletim de sondagem do **PM-06**.

Figura 7 - Perfil construtivo com tipologia do solo



A Tabela 5 apresenta os resultados das caracterizações do solo na área, obtidas com a utilização de ensaios de amostra deformada e indeformada, realizadas por laboratório especializado e acreditado pelo INMETRO.



Tabela 5 – Características físico-químicas do solo

Amostra	Granulometria			pH	Carbono (g/dm <sup>3</sup> )
	Argila	Silte	Areia		
<b>PM-05 (2 m)</b>	61,6	9,3	25,0	4,7	8,0
<b>PM-05 (6 m)</b>	55,6	28,0	12,5	5,4	6,0
Amostra	Porosidade total (%)		Porosidade efetiva (%)		Densidade (mg/m <sup>3</sup> )
<b>PM-05</b>	40		14		1,52

#### 5.1.6.4 Caracterização Hidrogeológica

No mesmo dia em que foram realizadas as sondagens, foi realizada uma medição do nível de água nos poços de monitoramento, com fim de determinar a carga hidráulica e criar o mapa potenciométrico do empreendimento. O monitoramento é realizado com o equipamento de interface da marca Hidrosuprimentos de modelo “HS IF 30” com precisão milimétrica de leitura. O equipamento em questão é composto por uma corda metrificada com uma sonda no final. Esta sonda consegue detectar a presença de água e óleo. Desta maneira é possível determinar a espessura da fase livre sobrenadante.

Figura 8 – Medidor interface



Fonte: Hidrosuprimentos (2018)

Os resultados do monitoramento do nível de água estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Nível d'água, cotas planialtimétricas e carga hidráulica

Poço de monitoramento	Nível d'água (m)	Fase livre (m)	Cota topográfica	Carga hidráulica
PM-01	10,80	-	99,793	88,993
PM-02	11,11	-	99,528	88,838
PM-03	10,58	0,03	99,213	88,658
PM-04	10,54	-	99,506	88,966
PM-05	10,83	-	99,945	89,115
PM-06	10,67	-	99,606	88,936
PM-07	10,34	-	98,890	88,550
PM-08	10,54	-	98,795	88,225
PMN-01	10,64	-	99,601	88,961
PMN-02	10,36	-	98,888	88,528

Foi detectado então a profundidade do lençol freático no local variando entre 10,36 metros e 11,11 metros, tendo então um nível d'água médio de 10,64 metros. Pelas

características podemos considerar o aquífero como lençol freático livre, com porosidade primária, instalada numa litologia de granulometria fina média.

Devido a esta profundidade média do lençol, juntamente com a ausência de vapores tóxicos no solo, algumas alternativas de remediação são descartadas, entre elas estão a remediação do tipo DPE (Dual Phase Extraction) que realiza juntamente com a retirada da água com fase livre, a extração de vapores por vácuo. Porém este equipamento tem eficiência adequada apenas para níveis de lençol freático por volta dos 7 a 8 metros. Como o lençol neste empreendimento está bem mais baixo, e com ausência de vapores, está uma técnica (que apesar de muito eficiente e recomendada) não seria adequada para a remediação da área.

Durante o monitoramento realizado, foi detectada fase livre sobrenadante no **PM-03** de 0,03 metros de espessura, com indícios visuais de contaminação e odor acentuado de óleo diesel. As Figuras 9 e 10 demonstram o monitoramento do nível d'água com a utilização do equipamento de interface.

Figura 9 – Monitoramento do nível d'água



Figura 10 – Monitoramento do nível d'água



Fonte: Autoria Própria (2018)

O monitoramento do nível d'água, além de permitir a detecção de fase livre e variação do nível do lençol freático ao longo do tempo, também possibilita a elaboração do mapa potenciométrico, que através das linhas de fluxo e linhas equipotenciais, permite demonstrar a sentido do fluxo da água subterrânea. Para isso é necessário o nível d'água e a cota topográfica da base do poço de monitoramento em questão.

O mapa potenciométrico é elaborado com utilização das cargas hidráulicas calculadas, a carga hidráulica é calculada subtraindo o nível de água do valor da cota topográfica do terreno. O mapa potenciométrico tem por finalidade determinar o sentido preferencial do fluxo de água subterrânea, para que assim seja possível determinar a direção da expansão da pluma de contaminação e as áreas com maior risco de apresentarem contaminação, tendo em vista que dificilmente a pluma de contaminação irá se expandir contrariamente ao sentido do fluxo de água subterrânea.

O mapa potenciométrico local demonstra que o fluxo da água subterrânea na área do empreendimento apresenta fluxo preferencial no sentido de NE para SO (nordeste para sudoeste), conforme apresentado no **Anexo C**.

#### 5.1.6.5 Amostragem de Solo

Como mencionado anteriormente, para cada sondagem realizada, foram coletadas amostras de solo em profundidades diferentes, variando de metro em metro, com finalidade de detectar contaminação no solo, tendo então 10 amostras por sondagem.

Caso fossem detectadas concentrações de VOC, as amostras de solo que deveriam ser enviadas ao laboratório seriam as dos pontos onde foram detectadas as maiores concentrações de VOC, porém, como demonstrado na Tabela 4 anteriormente, não foram detectados vapores VOC em nenhuma das sondagens realizadas, sendo então enviadas para o laboratório 6 amostras aleatórias, demarcadas com a cor vermelha na própria Tabela 4.

#### 5.1.6.6 Amostragem de Água Subterrânea

A amostragem de água subterrânea tem como objetivo identificar a presença de contaminação por fase dissolvida, tendo em vista que a contaminação por fase livre pode ser detectada utilizando equipamentos de campo, no caso o medidor de interface. Caso em algum poço de monitoramento seja detectada fase livre, não existe a necessidade de investigar fase dissolvida, devido a presença da contaminação em seu estado mais concentrado (produto em fase livre).

Na etapa de investigação detalhada, a amostragem de água subterrânea foi realizada utilizando a técnica de purga, com a utilização de *bailers* descartáveis de plástico. Porém, o método mais indicado é o de baixa vazão, por ser um método mais preciso e que fornece parâmetros físicos da água durante a amostragem. A utilização da técnica de purga foi definida devido a pequena quantidade de água nos poços de monitoramento instalados na área em estudos anteriores.

O procedimento de amostragem pelo método de purga baseia-se em introduzidos lentamente o equipamento nos poços de forma a minimizar a turbulência da água no momento da coleta. Após retirar o equipamento do poço de monitoramento, é necessário transferir a água dos *bailers* para os frascos adequados, no caso, foram utilizados frascos âmbar, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Frasco Âmbar



Fonte: Hidrosuprimentos (2018)

Para uma amostragem com menor interferência possível, foi realizada a purga da água dos poços de monitoramento um dia antes da amostragem propriamente dita, para que caso a água no fundo dos poços estiver muito suja ou com contaminação que entrou pela boca do poço, não seria detectada na amostragem, que tem como objetivo analisar a qualidade da água subterrânea. Os *bailers* utilizados na purga foram reutilizados na amostragem, sendo apenas substituídas as linhas de sustentação dos *bailers* e as luvas de látex utilizadas, com finalidade de evitar o contato da amostra com as mãos. A Figura 12 ilustra uma amostragem com *bailers* descartáveis.

Figura 12 – Bailer descartável



Fonte: Hidrosuprimentos (2018)



Foram coletadas amostras de água subterrânea nos poços de monitoramento **PM-01**, **PM-02**, **PM-04**, **PM-05**, **PM-06**, **PM-07**, **PM-08**, **PMN-01**, **PMN-02**. Pois o **PM-03** detectou fase livre, não havendo então amostragem no mesmo.

#### 5.1.7 Resultados Analíticos das Amostragens

A CETESB fornece em seu site um documento contendo os Valores Orientadores (2016) para vários compostos, em solo de regiões industriais, agrícolas e residências e valores para água subterrânea. Os resultados das análises químicas dos parâmetros em questão foram então comparados com os valores orientadores (VO).

O valor de intervenção, ou valor orientador, é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerado um cenário de exposição genérico. Para as amostras de solo, foi considerado o valor para áreas residenciais uma vez que o empreendimento se encontra em área de ocupação mista.

##### 5.1.7.1 Resultados Analíticos do Solo

Como já explicado anteriormente, foram enviadas para análise química 6 amostras de solo aleatoriamente selecionadas dentre todas as amostras retiradas durante as sondagens.

Os resultados das amostras de solo indicaram que não há contaminação no solo para solos em regiões residenciais (que são os valores mais baixos, devido ao maior risco à saúde pelos longos períodos de exposição), uma vez que não foram obtidas concentrações superiores aos limites de detecção analíticos laboratoriais para todos as SQIs analisadas, BTEX, Etanol, Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH), conforme apresentado na Tabela 7.

Temos então contaminação por fase livre no **PM-03**, ausência de contaminação por vapores tóxicos e ausência de contaminação no solo. No próximo item será analisado a presença de contaminação por fase dissolvida.

Tabela 7 – Resultados Analíticos das Amostras de Solo

Parâmetros		Sondagem / Profundidade de coleta (µg/Kg)						Valores de Intervenção Residencial* (µg/Kg)
		PM-05		PM-06		PM-07		
		5,0 m	10,0 m	2,0 m	9,0 m	2,0 m	9,0 m	
BTEX	Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	80
	Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14000
	Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	600
	Xilenos Totais	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3200
PAH	Naftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1800
	Acenaftileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Acenafteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fluoreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Fenantreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40000
	Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4600000
	Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
	Benzo(a)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7000
	Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	600000
	Benzo(b)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7200
	Benzo(k)fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	750000
	Benzo(a)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	800
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8000
	Dibenzo(a,h)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	800
Benzo(g,h,i)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR	
Etanol		ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR

NR – não regulamentado; ND - não detectado;

Valores de Intervenção para solos em áreas residenciais estabelecidos pela CETESB (2016).

#### 5.1.7.2 Resultados Analíticos da Água Subterrânea

Foi realizada a amostragem e análise química de 9 amostras de água subterrânea, uma para cada poço de monitoramento (PM) presente no empreendimento (com exceção do PM-03 que apresentou fase livre), além de 1 amostra de branco de campo, que é uma amostra comparativa que não há contaminação.

A Tabela 8 apresenta as concentrações dos compostos químicos analisados, e os seus respectivos padrões de referência ambiental utilizados para sua interpretação. Ressalta-se que



[illegible]

Compostos		Poços de monitoramento (µg/l)									Branco de campo	Poços de monitoramento (µg/l)
		PM-01	PM-02	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PM-N-1	PM-N-2		
	Dibenzo(a,h)antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04
	Benzo(g,h,i)perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR
Etanol		Nd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NR

ND – não detectado; NR – não regulamentado;

V.O – Valores Orientadores para água subterrânea estabelecidos pela CETESB (2016)

#### 5.1.8 Elaboração do Mapa de Fase Livre

Podemos concluir então, ao observarmos as tabelas com os resultados analíticos, que devido à ausência de contaminação no solo ou na água por fase dissolvida, não há necessidade da elaboração de mapas para delimitação de plumas de isoconcentração de fase dissolvida na água ou no solo.

Porém, como foi detectada fase livre de 0,03 m no **PM-03** é necessário que seja elaborado o mapa de isoespessura de fase livre.

Segundo as orientações da CETESB presentes na Decisão de Diretoria nº 269/2009, a pluma de contaminação por fase livre deve ser desenhada de forma a englobar os poços de monitoramento onde foi detectada a fase livre, e a pluma deve ser estendida até a metade da distância entre o poço com contaminação e os poços sem contaminação ao redor.

A pluma de contaminação em fase livre encontra-se delimitada em todos os sentidos e restrita ao poço **PM-03**, com caráter pontual e espessura de 0,03 metros, conforme **Anexo B**.

#### 5.1.9 Avaliação de Risco

A avaliação de risco consiste em juntar todas as informações obtidas até o momento e demonstradas nos itens anteriores, e através da utilização de softwares, calcular quais serão as metas de remediação, de forma a não haver risco à saúde humana em nenhum dos cenários de exposição possíveis.

A avaliação de risco e necessidade da adoção de medidas de intervenção é realizada através de um arquivo disponível no site da CETESB, a Análise de Risco Tecnológico, a qual é preenchida com as informações de concentração das SQIs obtidas nas amostragens de água e solo, os valores orientadores da CETESB, características do entorno obtidas e apresentadas nos itens anteriores (residências, APPs próximas, corpos d'água, outras áreas contaminadas, etc...), tipos de solo, nível d'água, classificação da área do local a ser analisado (residencial, agrícola ou industrial) entre outros.

Após o preenchimento do arquivo, são geradas as concentrações máximas aceitáveis (CMA), assim como medidas de intervenção necessárias estabelecidas pela CETESB na Decisão de Diretoria nº 263/2009/P.

As CMAs são os valores dos quais as concentrações das SQIs em água subterrânea ou solo devem ser atingidos através da remediação, para que assim não exista mais risco à saúde das pessoas que possam vir a ser afetadas pela área contaminada em questão. Ou seja, as CMAs são as concentrações que começam a apresentar risco para os receptores, sendo que valores das SQIs abaixo dessas concentrações não são prejudiciais à saúde.

Caso a concentração esteja acima dos valores orientadores, porém abaixo da CMA, então a remediação já é considerada como completa. Porém, é de grande interesse que as concentrações de SQIs estejam abaixo dos VO ou próximas de zero. Para que assim a água subterrânea e o solo possam ser utilizados livremente, sem posteriores estudos para diversos fins, como por exemplo instalação de poços de captação. Vale ressaltar também que a fase livre deve necessariamente ser removida por completo, não existindo níveis seguros para a existência da mesma.

Devido à grande extensão das tabelas e complexidade desta etapa de projeto, serão apenas apresentados os dados referentes as CMAs obtidas na avaliação de risco. As CMAs estão dispostas nas Tabelas 19 e 20 apresentadas na etapa de monitoramento após início da remediação.

Algumas considerações a serem feitas:

- Não foram considerados cenários referentes ao solo, devido à ausência de contaminação no mesmo;

- Não foram considerados cenários de contaminação de corpos d'água superficiais, devido à grande distância entre o corpo hídrico mais próximo e o empreendimento;
- Presença de trabalhadores no local (receptores primários) que atuam no local a distancias variando de 0 a 10 metros do Hot Spot;
- Presença de moradores das residências de até aproximadamente 200 metros do empreendimento;
- Foram considerados cenários de ingestão de água subterrânea para receptores primários e secundários;
- Foram considerados cenários de inalação de vapores tóxicos devido à presença de fase livre.

Como não houve presença de contaminação por fase dissolvida, a pluma de contaminação foi delimitada apenas pela fase livre. Apesar da ausência de fase dissolvida, ainda existe risco para cenário de ingestão de água subterrânea e inalação de vapores (apesar de detectada ausência na análise de VOC), para residentes e comerciantes, pelo fato da existência de fase livre no local.

O cenário de inalação de vapores em ambientes abertos e fechados é aplicado apenas para os receptores comerciantes, pois a delimitação da contaminação é limitada apenas pela área com fase livre, deve-se ao fato da ausência de fase dissolvida, isso deve-se ao fato da mobilidade da fase livre ser bem inferior à da fase dissolvida.

#### 5.1.10 Plano de Intervenção

O plano de intervenção pode ser dividido em 3 etapas, a primeira sendo a tomada de medidas para controle institucional, qual serão adotadas apenas durante o processo de remediação, a segunda envolvendo o sistema de remediação com extração de fase livre e, por fim, o plano de monitoramento da qualidade da água subterrânea, após a conclusão da remediação.

#### 5.1.10.1 Medidas de Controle Institucional

As medidas de controle institucional a serem adotadas envolvem a desativação temporário do poço de captação de água presente no raio de 250 m do empreendimento. A fim de evitar a ingestão de água subterrânea enquanto o local encontra-se contaminado, após o fim da remediação, é liberada a utilização do poço de captação.

Outra medida de controle institucional é a de restrição da instalação de novos poços de captação na área. Ambas as medidas de controle institucional adotadas devem ser informadas ao DAEE, órgão qual é responsável pelo controle de usos de água e energia no estado de São Paulo.

O cenário de ingestão de água subterrânea é considerado um cenário hipotético, pois o poço de captação tem profundidade de aproximadamente 70 metros, passando pela camada de rocha e captando água do aquífero confinado, e a contaminação encontra-se na superfície do aquífero livre. Além do fato do poço de captação encontrar-se distante do **PM-03**, poço no qual encontra-se a contaminação.

A área a ser restringida foi delimitada pela área do empreendimento e pela pluma de contaminação por fase livre, também foi considerada uma margem na direção do fluxo de água subterrânea, pois existe a possibilidade de migração da pluma.

#### 5.1.10.2 Medidas de Remediação da Área

A remediação deve contar com a remoção da fase livre, uma vez que não existe contaminação por fase dissolvida e nem contaminação do solo. Para tal remediação será utilizado um sistema do tipo *Pump-and-Treat* o qual será posteriormente descrito com maiores detalhes na etapa de instalação do sistema.

O sistema *Pump-and-Treat* consiste uma técnica de remediação que possibilita a remediação no local, através dos poços de monitoramento e bombeamento instalados no local. Resumidamente, a água juntamente com a fase livre será bombeada através do poço de bombeamento para dentro do sistema de remediação presente no local a alguns metros do poço de bombeamento. Essa técnica é muito recomendada para a remediação em questão, pois não

há a necessidade de extração de vapor e a localização da pluma de contaminação é conhecida e pontual.

Este tratamento também é indicado para profundidades superiores a 9 metros, o que prejudicaria um sistema de remediação do tipo MPE (extração multifásica) ou DPE (*dual phase extraction*), o qual realiza a extração de vapor simultaneamente com o bombeamento de água.

A remediação deve proceder até que toda fase livre no **PM-03** seja removida e, caso houvesse contaminação por fase dissolvida ou contaminação do solo, a remediação deveria ocorrer (com ou sem combinação com outras técnicas de remediação, como por exemplo oxidação química) até que as concentrações das SQIs estejam abaixo das CMAs.

Para a instalação do sistema de remediação, foi necessária a instalação de um poço de bombeamento, de 4'' de diâmetro e 6 m de seção filtrante ao lado do **PM-03**. A instalação do poço de bombeamento possibilita a formação de um cone de rebaixamento do nível de água ao redor da contaminação, mudando o sentido preferencial do fluxo para o centro do poço de bombeamento.

A água contaminada bombeada passará por um sistema separador de água e óleo, sendo a água posteriormente tratada por adsorção em carvão ativado e a fase livre armazenada em recipiente apropriado para posterior descarte. Após tratamento, a água será descartada na rede pública de esgotos atendendo eventuais legislações locais aplicáveis para o descarte, pois não existe contaminação por fase dissolvida.

O sistema de remediação é projetado para operar automaticamente ao longo de 24 h todos os dias, de forma a ser calibrado com os tempos de recarga do nível d'água e de bombeamento de forma mais eficiente possível, com manutenções periódicas, pois devido a variação do nível da água subterrânea, é preciso ajustar os tempos de carga e bombeamento.

Os dados de operação monitorados semanalmente serão:

- Nível d'água dos poços de monitoramento;
- Vazão de água subterrânea bombeada através do hidrômetro instalado juntamente do sistema de remediação;

- Paralisação periódica do sistema para limpeza de tanques, hidrômetro e demais equipamentos e instrumentos;
- Limpeza trimestral dos tubos de captação do poço de bombeamento, da bomba e dos demais itens do sistema, além de retrolavagem nas colunas de adsorção, se necessário.
- Substituição do carvão ativado das colunas de adsorção quando as mesmas estiverem saturadas.

O sistema de remediação produz alguns resíduos, entre eles o óleo removido na caixa SAO, resíduos que ficam adsorvidos no filtro de carvão ativado ou acumulados na caixa SAO e o efluente pós tratamento, que é descartado na rede de esgoto. Os resíduos oleosos e sólidos são armazenados em tambores de plástico e descartados periodicamente com empresas especializadas em destinação de óleo diesel.

#### *5.1.10.3 Plano de Monitoramento para Enceramento de Caso*

É exigido pela CETESB que, mesmo após o final da remediação e ausência de fase livre, contaminação por fase dissolvida e contaminação do solo, sejam realizadas campanhas de monitoramento, com periodicidade semestral, com um mínimo de 4 campanhas de monitoramento, porém com possibilidade de serem necessárias mais campanhas. Nas quais devem ser analisadas as SQIs do empreendimento, no caso as SQIs que devem ser avaliadas são: BTEX, PAH e etanol.

Os monitoramentos devem ser realizados preferencialmente nos meses de março/abril e setembro/outubro, pois estes períodos representam, teoricamente, duas situações distintas do aquífero em um ciclo hidrológico.

Após a realização das 4 campanhas de monitoramento, caso as concentrações se mantenham inferiores aos valores estabelecidos, será solicitado ao órgão ambiental a emissão do termo de reabilitação da área para uso declarado.

## 5.2 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

### 5.2.1 Instalação do Poço de Bombeamento

O local de instalação do poço de bombeamento foi definido na investigação detalhada, que identificou a presença de hidrocarbonetos em fase livre sobrenadante no **PM-03**. Foi realizada 1 sondagem com a finalidade de instalar o poço de bombeamento para remoção de produto sobrenadante próximo do **PM-03**. Não é possível instalar a bomba do sistema de remediação no **PM-03** pois as características do mesmo não comportam o equipamento, sendo necessária a instalação de um poço com um diâmetro de pelo menos 6'', visto que os PMs têm um diâmetro de 4''.

O poço de bombeamento instalado foi denominado de **PB-01**. O **Anexo A** ilustra a localização dos poços de monitoramento já instalados em estudos anteriores e do poço de bombeamento.

### 5.2.2 Instalação do Sistema de Remediação

O sistema de remediação é composto por uma bomba pneumática submersa no interior do poço de bombeamento e movida por ar comprimido proveniente de um compressor de ar, localizado juntamente dos demais equipamentos do sistema de remediação. A regulagem da vazão e da sucção do sistema das bombas pneumáticas é realizada através de um painel elétrico constituído por um controlador de pressão de ar e por um temporizador.

O ar comprimido é enviado até a bomba pneumática através de mangueiras de PEAD acopladas na entrada da bomba pneumática e forma um vácuo no interior das bombas. A mistura de água e óleo entra pela parte superior da bomba e posteriormente é encaminhada através de uma mangueira de saída subsuperficial até a caixa separadora de água e óleo, localizada a alguns metros do poço de bombeamento.

A caixa separadora utilizada no sistema tem 1200 mm de altura, 600 mm de largura, 600 mm. A bomba pneumática instalada no fundo do poço possui uma capacidade máxima de 3,5 litros e opera a uma vazão média de 33,85 L/h.



O sistema de tratamento de efluentes é constituído por uma caixa separadora de água e óleo vertical que promove a decantação física da água em relação ao óleo, que é transportada para um tambor preenchido com carvão vegetal ativado, onde são promovidos os processos de absorção de massa orgânica e de compostos voláteis e semi-voláteis em fase dissolvida. Após absorção da massa orgânica, a água é encaminhada para a rede de esgoto do município. As Figuras de 13 à 17 apresentam o sistema de remediação utilizado e o **Anexo E** mostra a disposição do sistema no âmbito do empreendimento.

Figura 13 – Caixa SÃO



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 14 – Compressor de ar



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 15 – Filtro de Carvão Ativado



Fonte: Autoria Própria (2018)



Figura 16 - Armazenamento de Resíduos Removidos



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 17 – Sistema de Remediação



Fonte: Autoria Própria (2018)

### 5.2.3 Sistema de Eficácia e Eficiência

O teste de eficiência e eficácia consiste na medição do nível de água com o sistema ligado e desligado, para que se possa verificar a formação do cone de rebaixamento no poço de bombeamento e nos poços de monitoramento próximos à ele, o cone de rebaixamento do lençol freático ocorre devido ao bombeamento da água através do poço de bombeamento, mudando então o sentido do fluxo da água subterrânea nas redondezas do poço de bombeamento, com sentido ao próprio poço.

Outra etapa do teste de eficiência e eficácia consiste na regulagem dos tempos de bombeamento e recarga da bomba. Inicialmente os dois tempos são programados com tempos iniciais de 40 segundos de bombeamento e 2 minutos de tempo de recarga da bomba. O operador então avalia a caixa SAO e verifica se a vazão bombeada está suficiente, caso seja notado que as descargas de água na caixa SAO sejam baixas, então é necessário que o tempo de recarga da bomba seja aumentado, pois no tempo programada a água subterrânea não entrou em grandes quantidades na bomba.

Caso não seja programado adequadamente, o sistema pode ser danificado pelo bombeamento de pouca água ou até mesmo pelo excesso de água, devendo então diminuir os tempos de recarga e bombeamento, para que assim a remediação possa ocorrer de forma mais rápida e eficiente. Devido às características do solo e lençol freático, o aquífero é considerado moderadamente permeável, devido ao teor relativamente elevado de material argiloso e silteoso, esse comportamento genético do material rochoso condiciona as baixas vazões dos poços localizados nessa unidade hidrogeológica. Os tempos programados para o bombeamento foram de 1 minuto e 30 segundos de recarga e 35 segundos de tempo de bombeamento. Tendo assim um funcionamento adequada, com vazão de água e fase livre considerados suficientes.

Para a verificação do cone de rebaixamento, foram realizadas duas medições, a primeira para medir o nível de água com o sistema desligado, logo após a instalação do mesmo, e a segunda foi realizada 24 horas após a ativação do sistema. É necessário que a segunda medição seja feita apenas no dia seguinte, para que seja verificado o correto funcionamento do sistema. Pois o sistema pode apresentar bom funcionamento após ser ativado, porém após algumas horas esse rendimento pode se alterar, sendo necessária a avaliação 24 horas depois, caso após 24 horas a medição dos níveis d'água demonstrem a formação do cone de rebaixamento, e a vazão de entrada de água com fase livre na caixa SAO continue adequada, então o sistema está

regulado de forma adequada. A Tabela 9 apresenta as medições do nível d'água realizadas com o medidor Interface de água/óleo nos poços de monitoramento e de bombeamento do aquífero livre antes da ativação do sistema de remediação.

Tabela 9 - Medições do nível de água estático antes do funcionamento do sistema

Poços	Cota Topográfica (Metros)	Prof. Nível d'água (metros)	Espessura da Coluna de fase livre (metros)	Carga hidráulica (Metros)
PM-01	99,793	10,72	-	89,073
PM-02	99,528	10,64	-	88,888
PM-03	99,213	10,48	0,03	88,758
PM-04	99,506	10,65	-	88,856
PM-05	99,945	10,78	-	88,765
PM-06	99,606	10,63	-	88,976
PM-07	98,890	10,28	-	88,610
PM-08	98,795	10,50	-	88,295
PMN-01	99,601	10,59	-	89,011
PMN-02	98,888	10,29	-	88,598
PB-01	99,278	10,55	-	88,728

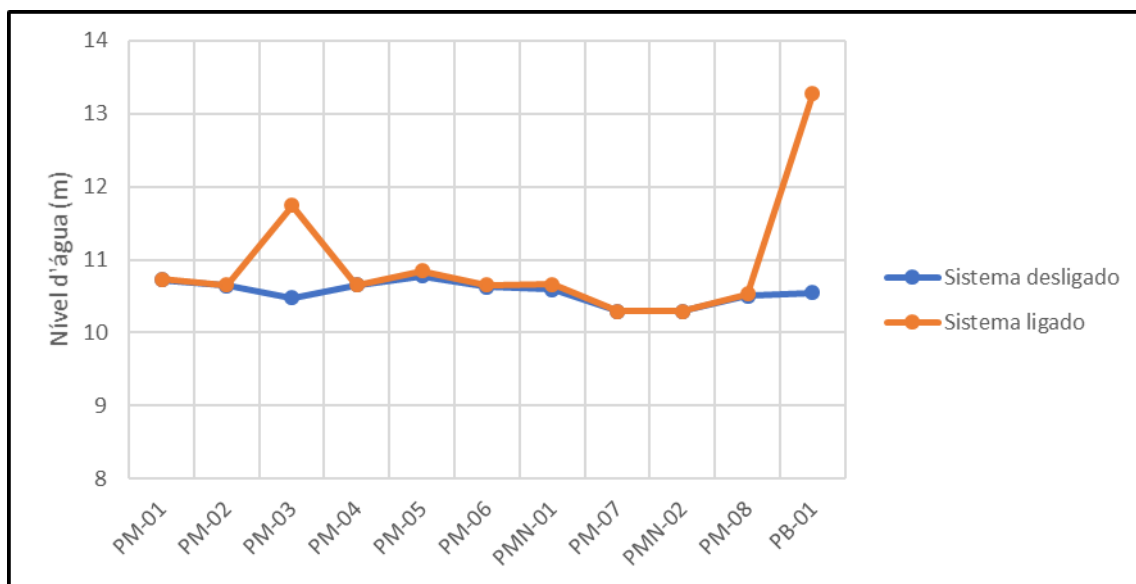
Após 24 horas de funcionamento do sistema de remediação, foi realizada a segunda medição do nível de água em todos os poços de monitoramento. A Tabela 10 apresenta as medições do nível de água estático subterrâneo com o sistema ligado.

Tabela 10 – Medições do nível de água estático após o funcionamento do sistema

Poços	Cota Topográfica (Metros)	Prof. Nível d'água (metros)	Espessura da Coluna de fase livre (metros)	Carga hidráulica (Metros)
PM-01	99,793	10,73	-	89,063
PM-02	99,528	10,65	-	88,878
PM-03	99,213	11,74	0,03	87,473
PM-04	99,506	10,64	-	88,466
PM-05	99,945	10,85	-	88,473
PM-06	99,606	10,65	-	88,956
PM-07	98,890	10,29	-	88,600
PM-08	98,795	10,53	-	88,265
PMN-01	99,601	10,66	-	88,941
PMN-02	98,888	10,30	-	88,588
PB-01	99,278	13,27	-	86,008

O gráfico mostrado na Figura 18 apresenta as medições das profundidades do nível d'água com o sistema desligado e ligado, assim como, o rebaixamento do lençol freático após a ativação do sistema.

Figura 18 – Variação do nível de água



A medição do nível d'água estático do aquífero livre após a ativação do sistema de remediação, apresentou rebaixamento de 2,72 metros no **PB-01** e de 0,26 metros no **PM-03** em comparação ao nível de água natural do *site*, o que é um rebaixamento adequado, os demais poços de monitoramento tiveram seus níveis d'água pouco afetados devido a maiores distancias do poço de bombeamento. Todos os poços apresentaram pequenas variações, porém estas são devido à variação natural no nível d'água, sendo apenas notada grandes variações nos poços próximos à bomba.

Consequentemente também foi observada a alteração na carga hidráulica aferida em todos os poços de monitoramento antes e depois da ativação do sistema de remediação. A Tabela 11 apresenta os valores respectivos das cargas hidráulicas aferidas antes e depois do início do funcionamento do sistema.

No poço de monitoramento **PM-03** foi notada fase livre mensurável. Para este poço, realizou-se o cálculo para a correção da carga hidráulica do poço, pela seguinte equação (EPA-510-R-96-001):

$$HC = Hm + \left( Ho * \frac{Do}{Dw} \right)$$

Onde:

HC = Carga hidráulica corrigida (m)

Hm = Cota mensurada da interface e hidrocarboneto/água (m),

sendo Hm = Cota do poço – nível de água

Ho = Espessura na fase imiscível

Dw = Densidade da água (1,00 g/ml)

Do = Densidade da fase imiscível (g/ml)

- Para gasolina = 0,73
- Para óleo diesel = 0,83

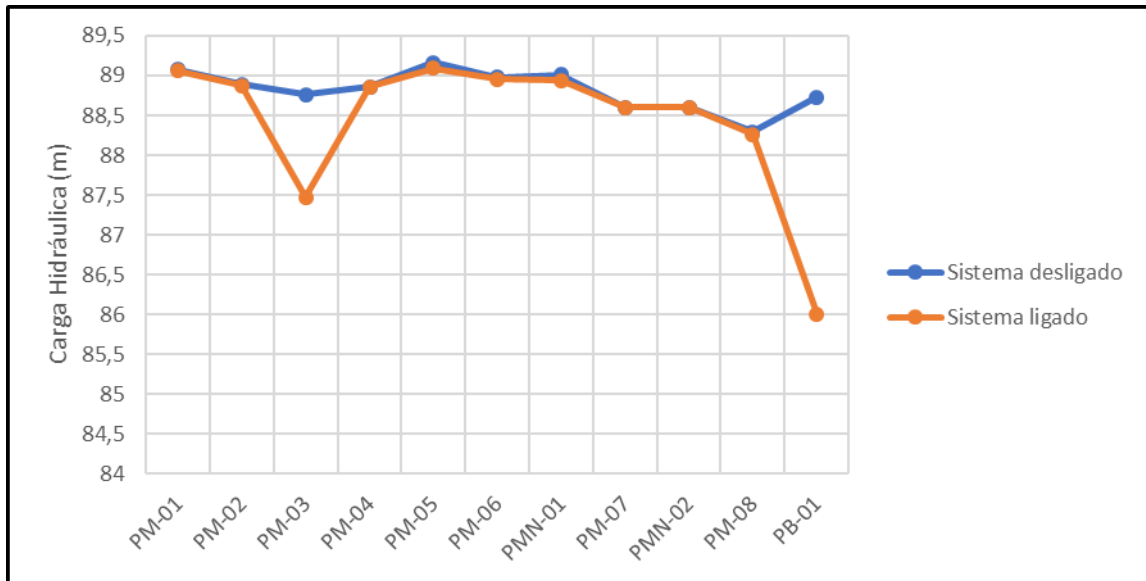
Tabela 11 – Diferença de cargas hidráulicas

Poço	Carga Hidráulica (m)		
	Sistema desligado	Sistema ligado	Diferença de carga
PM-01	89,073	89,063	0,01
PM-02	88,888	88,878	0,01
<b>PM-03</b>	<b>88,758</b>	<b>87,473</b>	<b>0,285</b>
PM-04	88,856	88,866	-0,01
PM-05	89,165	89,095	0,07
PM-06	88,976	88,956	0,02
PM-07	88,610	88,600	0,01
PM-08	88,295	88,265	0,03
PMN-01	89,011	88,941	0,07
PMN-02	88,598	88,588	0,01
PB-01	88,728	86,008	2,72

A diferença entre os valores das cargas hidráulicas antes e depois da ativação do sistema de remediação permitiu observar que as maiores variações hidráulicas nos poços **PM-03** e **PB-**

**01.** Esta redução de carga hidráulica comprova a mudança do sentido do fluxo de água subterrânea nas proximidades do **PB-03** visto que o sentido da água subterrânea vai da maior carga hidráulica para a menor. O gráfico da Figura 19 demonstra a diferença de carga hidráulica.

Figura 19 – Diferença de carga hidráulica



Os **Anexos C e D** representam, respectivamente, os mapas potenciométrico antes e depois da ativação do sistema de remediação.

Após 24 horas da avaliação do sistema de remediação, foram coletados os dados referentes a quantidade de efluente bombeado. O sistema bombeou cerca de **2 litros** de produto e **815 litros** de água subterrânea, com uma média de 33,85 litros de efluente por hora.

Com os dados demonstrados anteriormente, podemos concluir uma adequada instalação do sistema de remediação. Pois foi comprovada a formação do cone de rebaixamento, assim como uma quantidade adequada de fase livre removida (2 litros) nas primeiras 24 horas. Tendo em vista que as primeiras 24 horas apresentam sempre uma maior remoção de fase livre, que tende a diminuir conforme o tempo, como será demonstrado na etapa de avaliação da remoção de fase livre.



### 5.3 REMEDIAÇÃO POR REMOÇÃO DE FASE LIVRE

As atividades realizadas na etapa de remediação no período de remoção de fase livre, que ocorreram entre os meses de **março de 2017 à maio de 2018** foram:

- Monitoramento ambiental dos poços de monitoramento instalados no âmbito do empreendimento, utilizando o equipamento de medição de interface água e óleo, para que assim seja possível a medição da espessura da camada de fase livre;
- Remoção de produto em fase livre através do Sistema de Remediação *Pump-and-Treat*, juntamente com manutenções periódicas;
- Monitoramento analítico da qualidade da água subterrânea (Apenas no terceiro e quinto trimestre), através da amostragem e análise laboratorial;
- Tratamento primário, por meio de sistema de separação água/óleo diesel;
- Tratamento secundário, por meio de filtros de carvão ativado

Deve-se ressaltar que os monitoramentos realizados no terceiro e quinto trimestre de remediação não são campanhas de monitoramento para encerramento de caso, estas devem ser realizadas apenas após o tratamento completo da contaminação. As amostragens realizadas durante a remediação têm caráter preventivo, para acompanhar cenários de surgimento de plumas por fase dissolvida.

#### 5.3.1 Monitoramento Ambiental

Como mencionado anteriormente, o período de remediação ocorreu de março de 2017 a maio de 2018, ou seja, um ano e dois meses até que a remediação fosse concluída. Neste período, como já mencionado anteriormente, foram realizadas 2 amostragens de água, para que fosse avaliada a presença de fase dissolvida.

Assim como na etapa de instalação do sistema de remediação, também são realizadas duas medições do nível de água em cada monitoramento realizado, para verificação e ajustes do funcionamento do sistema de remediação. Porém, são apenas demonstrados dados referentes a uma medição, pois a outra tem apenas com objetivo verificar o funcionamento do sistema.

Juntamente com os monitoramentos e manutenções do sistema de remediação, são realizadas e limpezas dos equipamentos, desta maneira é possível quantificar a quantidade de óleo removida entre um monitoramento e outro, pois o mesmo acumula-se na bombona de armazenamento.

As Tabela 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam o resumo dos dados de monitoramento obtidos no posto com a utilização do equipamento acima descrito.

Tabela 12 – Dados do monitoramento realizado entre março e maio de 2017.

Poços	13/03/2017		20/03/2017		27/03/2017		03/04/2017		10/04/2017		17/04/2017		24/04/2017		08/05/2017		15/05/2017		26/05/2017	
	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PM-01	10,80	-	11,24	-	10,93	-	10,81	-	10,76	-	10,74	-	10,73	-	10,73	-	10,77	-	10,80	-
PM-02	10,69	-	9,94	-	10,12	-	10,20	-	10,41	-	10,63	-	10,66	-	10,65	-	10,66	-	10,69	-
PM-03	10,58	0,030	10,89	0,030	10,76	0,028	10,73	0,029	10,55	0,026	10,47	0,025	10,55	0,026	10,74	0,023	10,68	0,021	10,58	0,022
PM-04	10,54	-	10,52	-	10,50	-	10,50	-	10,58	-	10,57	-	10,62	-	10,68	-	10,60	-	10,54	-
PM-05	10,83	-	11,08	-	11,53	-	10,73	-	10,82	-	10,84	-	10,84	-	10,85	-	10,84	-	10,83	-
PM-06	10,67	-	10,68	-	10,59	-	10,56	-	10,64	-	10,62	-	10,63	-	10,65	-	10,67	-	10,67	-
PM-07	10,34	-	13,68	-	10,89	-	10,28	-	10,30	-	10,31	-	10,51	-	10,66	-	10,38	-	10,34	-
PM-08	10,54	-	9,10	-	10,02	-	10,49	-	10,48	-	10,44	-	10,32	-	10,29	-	10,45	-	10,54	-
PMN-01	10,64	-	9,96	-	10,09	-	10,32	-	10,33	-	10,30	-	10,31	-	10,29	-	10,57	-	10,64	-
PMN-02	10,36	-	12,92	-	11,75	-	11,28	-	10,83	-	10,72	-	10,61	-	10,53	-	10,46	-	10,36	-
PB-01	13,16	-	13,30	-	13,25	-	13,13	-	13,15	-	13,19	-	13,23	-	13,27	-	13,39	-	13,93	-

Tabela 13 – Dados do monitoramento realizado entre junho e agosto de 2017

Poços	05/06/2017		19/06/2017		03/07/2017		17/07/2017		26/07/2017		02/08/2017		07/08/2017		14/08/2017		21/08/2017		28/08/2017	
	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PM-01	10,77	-	10,73	-	10,71	-	10,73	-	10,74	-	10,74	-	10,73	-	10,64	-	10,73	-	10,75	-
PM-02	10,66	-	10,64	-	10,62	-	10,63	-	10,65	-	10,64	-	10,65	-	10,74	-	10,69	-	10,67	-
PM-03	10,55	0,021	10,53	0,020	10,51	0,018	10,50	0,017	10,47	0,015	10,49	0,016	10,54	0,015	10,55	0,014	10,48	0,013	10,42	0,013
PM-04	10,52	-	10,52	-	10,50	-	10,53	-	10,57	-	10,50	-	10,68	-	10,54	-	10,53	-	10,57	-
PM-05	10,80	-	10,79	-	10,73	-	10,78	-	10,84	-	10,78	-	10,85	-	10,81	-	10,79	-	10,84	-
PM-06	10,66	-	10,65	-	10,56	-	10,57	-	10,62	-	10,58	-	10,65	-	10,58	-	10,64	-	10,69	-
PM-07	10,31	-	10,30	-	10,29	-	10,29	-	10,31	-	10,28	-	10,29	-	10,28	-	10,29	-	10,32	-
PM-08	10,55	-	10,58	-	10,49	-	10,51	-	10,54	-	10,50	-	10,53	-	10,50	-	10,52	-	10,54	-
PMN-01	10,60	-	10,58	-	10,62	-	10,56	-	10,26	-	10,63	-	10,66	-	10,65	-	10,59	-	10,63	-
PMN-02	10,26	-	10,20	-	10,28	-	10,35	-	10,62	-	10,28	-	10,29	-	10,35	-	10,30	-	10,32	-
PB-01	13,63	-	13,27	-	13,14	-	13,47	-	13,70	-	13,22	-	13,27	-	13,27	-	13,82	-	13,95	-

Tabela 14 – Dados do monitoramento realizado entre setembro e novembro de 2017

Poços	04/09/2017		11/09/2017		18/09/2017		09/10/2017		16/10/2017		23/10/2017		30/10/2017		06/11/2017		13/11/2017		20/11/2017	
	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PM-01	10,76	-	10,82	-	10,91	-	10,99	-	11,05	-	11,11	-	11,17	-	11,17	-	11,13	-	11,08	-
PM-02	10,70	-	10,75	-	10,83	-	10,90	-	10,96	-	11,02	-	11,08	-	11,08	-	11,03	-	10,98	-
PM-03	10,50	0,012	10,58	0,013	10,59	0,012	10,61	-	10,62	0,011	10,63	-	10,65	-	10,93	-	10,87	-	10,81	0,010
PM-04	10,59	-	10,60	-	10,68	-	10,76	-	10,82	-	10,88	-	10,93	-	10,99	-	10,92	-	10,85	-
PM-05	10,85	-	10,89	-	10,97	-	11,05	-	11,10	-	11,15	-	11,21	-	10,75	-	10,91	-	11,06	-
PM-06	10,72	-	10,75	-	10,84	-	10,90	-	10,95	-	11,00	-	11,05	-	11,01	-	11,01	-	11,01	-
PM-07	10,36	-	10,40	-	10,48	-	10,55	-	10,61	-	10,67	-	10,73	-	11,35	-	11,00	-	10,66	-
PM-08	10,58	-	10,63	-	10,70	-	10,78	-	10,83	-	10,89	-	10,94	-	10,98	-	10,92	-	10,86	-
PMN-01	10,64	-	10,69	-	10,77	-	10,85	-	10,91	-	10,96	-	11,02	-	11,04	-	10,99	-	10,94	-
PMN-02	10,37	-	10,40	-	10,48	-	10,56	-	10,62	-	10,68	-	10,73	-	10,73	-	10,69	-	10,66	-
PB-01	10,65	-	10,77	-	11,65	-	12,54	-	13,11	-	13,69	-	14,27	-	14,17	-	14,23	-	14,27	-

Tabela 15 – Dados do monitoramento realizado entre dezembro de 2017 e fevereiro de 2018.

Poços	08/12/2017		22/12/2017		09/01/2018		15/01/2018		22/01/2018		29/01/2018		05/02/2018		13/02/2018		28/02/2018	
	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PM-01	10,6	-	11,09	-	11,05	-	11,06	-	11,12	-	11,19	-	11,47	-	11,49	-	11,28	-
PM-02	10,9	-	10,84	-	10,8	-	10,8	-	10,98	-	11,05	-	11,36	-	11,32	-	11,11	-
PM-03	10,87	0,01	10,69	0,01	10,82	-	10,77	-	10,90	0,01	10,99	-	11,17	0,01	11,22	-	11,05	-
PM-04	10,98	-	10,9	-	10,77	-	10,76	-	10,89	-	11,03	-	11,14	-	11,18	-	11,06	-
PM-05	11,18	-	11,13	-	11,09	-	11,08	-	11,12	-	11,22	-	11,47	-	11,47	-	11,12	-
PM-06	10,93	-	10,13	-	10,83	-	10,89	-	11,02	-	11,1	-	11,27	-	-	-	11,15	-
PM-07	10,62	-	10,64	-	10,61	-	10,6	-	10,73	-	10,91	-	10,97	-	11,03	-	10,95	-
PM-08	10,84	-	10,87	-	10,84	-	10,84	-	11,05	-	11,12	-	11,17	-	11,21	-	10,98	-
PMN-01	10,98	-	10,94	-	10,9	-	10,9	-	11,09	-	11,18	-	11,27	-	11,27	-	11,08	-
PMN-02	10,61	-	10,64	-	10,61	-	10,61	-	10,81	-	10,89	-	10,76	-	10,91	-	10,99	-
PB-01	14,28	-	14,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,83	-	14,85	-	13,85	-

Tabela 16 – Dados do monitoramento realizado entre março e maio de 2018.

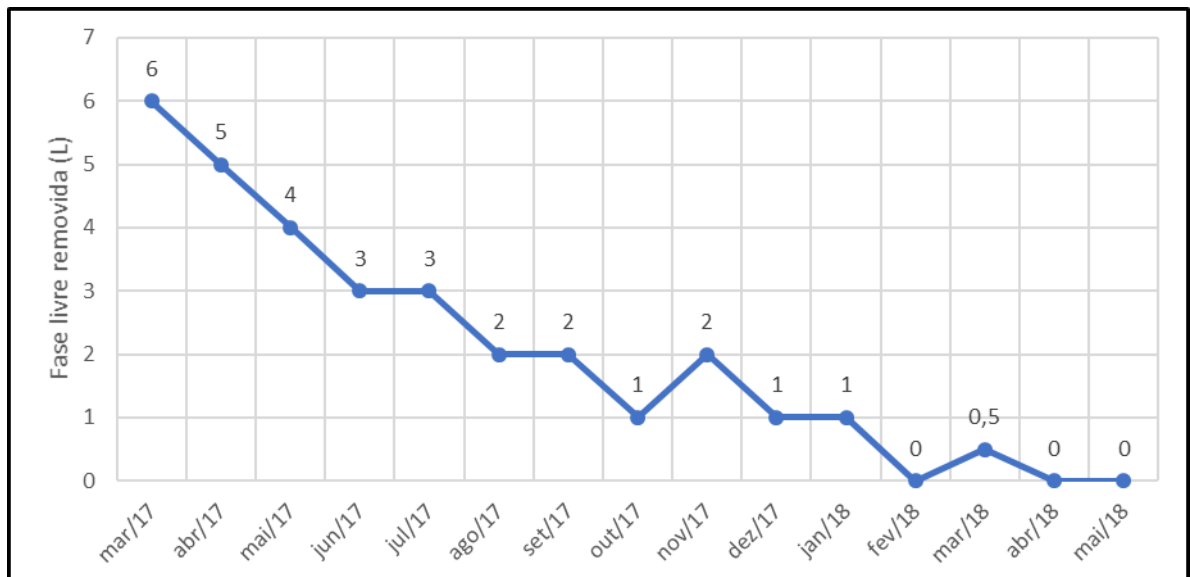
Poços	01/03/2018		14/03/2018		22/03/2018		04/04/2018		16/04/2018		27/04/2018		07/05/2018		18/05/2018		29/05/2018	
	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL	NA	FL
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PM-01	11,02	-	11,10	-	11,04	-	10,97	-	10,91	-	10,86	-	10,85	-	10,79	-	10,75	-
PM-02	10,97	-	10,92	-	10,87	-	10,91	-	10,86	-	10,82	-	10,76	-	10,71	-	10,67	-
PM-03	10,91	-	10,87	-	10,81	-	10,78	-	10,73	-	10,69	-	10,70	-	10,62	-	10,59	-
PM-04	10,93	-	10,88	-	10,85	-	10,79	-	10,73	-	10,68	-	10,65	-	10,53	-	10,58	-
PM-05	10,95	-	10,98	-	10,94	-	10,93	-	10,87	-	10,84	-	10,78	-	10,79	-	10,81	-
PM-06	10,94	-	10,89	-	10,84	-	10,87	-	10,81	-	10,77	-	10,73	-	10,74	-	10,70	-
PM-07	10,89	-	10,82	-	10,77	-	10,71	-	10,65	-	10,57	-	10,59	-	10,51	-	10,46	-
PM-08	10,86	-	10,89	-	10,85	-	10,79	-	10,76	-	10,72	-	10,69	-	10,66	-	10,61	-
PMN-01	10,91	-	10,87	-	10,84	-	10,79	-	10,75	-	10,71	-	10,68	-	10,67	-	10,62	-
PMN-02	10,88	-	10,83	-	10,77	-	10,71	-	10,68	-	10,64	-	10,61	-	10,56	-	10,50	-
PB-01	12,98	-	12,97	-	13,03	-	13,07	-	13,12	-	13,07	-	13,14	-	13,16	-	13,18	-

### 5.3.2 Quantificação de Fase Livre Removida

Através das manutenções realizadas juntamente com os monitoramentos, pode-se observar a quantidade de óleo removida, pois a mesma encontra-se acumulada em bombonas de plástico para posterior destinação. O gráfico 3 ilustrado na Figura 20 apresenta o volume aproximado de produto recuperado mensalmente.

Podemos notar uma remoção total de aproximadamente 30,5 litros de produto em fase livre removido em um pouco mais de um ano, utilizando um sistema de remediação com 1 bomba.

Figura 20 – Volume recuperado de produto em fase livre



### 5.3.3 Amostragem de Água Subterrânea

Devido a existência de contaminação por fase livre, sempre existe o risco da contaminação espessa ser dissolvida na água, gerando assim contaminação por fase dissolvida. Existindo então a necessidade da realização de amostragem e análise laboratorial da água subterrânea. Novamente vale ressaltar que estas amostragens não são monitoramentos para encerramento de caso, mas sim amostragens com caráter preventivo.

A amostragem de água subterrânea foi realizada por meio do método de baixa vazão (*low flow*) de acordo com o procedimento estabelecido pela norma ABNT NBR 15.847/2010 “Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – métodos de purga”.



O método *low flow* consiste em introduzir uma bomba no fundo do poço de monitoramento, essa bomba então coleta água de forma constante, que passa pelo equipamento enquanto realiza medições dos parâmetros físicos da água e depois a descarta. Após alguns segundos, quando o equipamento detectar uma estabilização dos parâmetros, então a água é transferida para o recipiente onde será transportada para análise. A Figura 21 mostra o equipamento utilizado neste procedimento.

Diferentemente das amostragens realizadas durante a investigação detalhada, este método é considerado mais adequado e recomendado pela CETESB, pois fornece valores dos parâmetros físicos *in situ* e apenas inicia a coleta de água após a estabilização dos parâmetros. Evitando então que seja coletada uma amostra de água não representativa da qualidade da água subterrânea como um todo.

Figura 21 – Equipamento de baixa vazão



Fonte: Hidrosuprimentos (2018)

#### 5.3.4 Parâmetros Físico-Químicos “*in situ*”

Os resultados dos parâmetros físico-químicos *in situ*, medidos durante a coleta de amostras de água subterrânea nos poços de monitoramento durante as amostragens, encontram-se contemplados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17 – Resultados dos parâmetros físico-químicos no 3º trimestre de remediação

Poço	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial de Oxi-Redução (ORP)	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	pH (-)
PM-01	449	-153,4	25,20	0,63	6,32
PM-02	272	-108,2	24,70	1,27	6,63
<b>PM-03</b>	<b>502</b>	<b>-168,0</b>	<b>25,80</b>	<b>1,48</b>	<b>6,98</b>
PM-04	311	-155,0	24,28	0,73	6,83
PM-05	391	-138,1	24,61	1,63	6,15
PM-06	498	-144,9	24,44	0,98	6,29
PM-07	731	-111,2	24,39	1,11	6,52
PM-08	512	-184,0	25,23	1,18	6,73
PMN-01	308	-169,0	24,73	2,07	6,59
PMN-02	401	-145,7	24,24	1,62	6,87

Tabela 18 – Resultados dos parâmetros físico-químicos no 5º trimestre de remediação

Poço	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial de Oxi-Redução (ORP)	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	pH (-)
PM-01	375	-142,6	24,30	1,22	6,07
PM-02	308	-139,3	24,90	1,03	6,52
<b>PM-03</b>	<b>412</b>	<b>-173,2</b>	<b>25,15</b>	<b>1,17</b>	<b>6,84</b>
PM-04	561	-121,9	24,37	1,52	6,91
PM-05	662	-130,3	24,43	1,33	6,37
PM-06	417	-129,6	24,59	1,28	6,55
PM-07	479	-170,5	24,72	0,97	6,41
PM-08	572	-195,1	24,53	1,46	6,78
PMN-01	458	-174,9	24,40	1,58	6,49
PMN-02	391	-132,8	24,37	1,33	6,32

Devido à grande diferença de tempos entre as duas amostragens, é normal que os parâmetros tenham variações, porém, para todas as medições realizadas, os parâmetros encontram-se dentro das faixas típicas para água subterrânea.

Com pH variando entre 6,07 (**PM-01**) e 6,98 (**PM-01**), caracterizando um ambiente levemente ácido. As temperaturas estão todas entre 24,24°C (**PMN-02**) e 25,23°C (**PMN-08**), sendo consideradas temperaturas normais para água subterrânea. Essas variações nas temperaturas podem ocorrer devido ao horário em que cada amostragem foi realizada, sendo que cada ponto para ser amostrado pelo método de *low flow* leva em torno de 20 minutos. Os

valores de oxi-redução encontram-se na faixa de -108,2 (**PM-02**) e -195,1 (**PM-08**), o que indica um ambiente oxidante. A condutividade nos pontos apresenta variação entre 272,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**PM-02**) e 731,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**PM-07**) e, por fim, as concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre 0,63 mg/l (**PM-01**) e 2,07 mg/l (**PMN-01**), sendo considerados normais para água subterrânea.

#### 5.3.5 Avaliação de Resultados

Os resultados das análises químicas dos parâmetros determinados nas amostras de água subterrânea foram comparados aos Valores Orientadores preconizados pela CETESB (2016), juntamente com as CMAs obtidas durante a avaliação de risco, caso os resultados estejam acima dos valores orientadores, porém abaixo das CMAs, então a área enquadra-se como remediada.

Podemos notar que algumas CMAs apresentam valores iguais aos VO, o que indica que o próprio VO já é o suficiente para causar algum dano à saúde das pessoas, logo, caso as concentrações estejam acima desse valor, alguma medida de remediação deve ser tomada, até que a concentração esteja abaixo do valor prejudicial à saúde.

As Tabelas 19 e 20 apresentam as concentrações de BTEX, PAH nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento, e os seus respectivos padrões de referência ambiental utilizados para sua interpretação. Não foi mais avaliado etanol, pois o mesmo não foi detectado em nenhum momento. Além do fato do etanol não apresentar fase livre, devido a sua maior solubilidade em água e mobilidade.

De acordo com as Tabelas 19 e 20, as concentrações das SQIs obtidas apresentam inferiores aos VO preconizados pela CETESB (2016) e aos limites de quantificação do laboratório, indicando a ausência de risco para todos os cenários de exposição.

Salienta-se que nas análises da amostra de água do branco de campo e branco de equipamento, não foram detectadas concentrações das SQIs superiores aos limites de quantificação do laboratório.

Tabela 19 – Concentrações dos compostos químicos de interesse em água subterrânea realizada no 3º trimestre de remediação

Compostos		Poços de monitoramento (µg/l)												CMA (Ingestão de água)	CMA (Inalação de vapores)	Valores Orientadores (2016) *
		PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PMN-01	PMN-02	Branco de campo	Branco Equipa- mento			
<b>BTEX</b>	Benzeno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>5</b>	<b>272</b>	<b>5</b>
	Tolueno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>170</b>	<b>-</b>	<b>700</b>
	Etilbenzeno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>200</b>	<b>2700</b>	<b>300</b>
	Xilenos totais	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>300</b>	<b>222000</b>	<b>500</b>
<b>PAH</b>	Naftaleno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>1760</b>	<b>9310</b>	<b>60</b>
	Acenaftileno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Fluoreno	<0,001	<0,001	<b>2,998</b>	<0,001	<b>0,039</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Fenantreno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>140</b>
	Antraceno	<0,001	<0,001	<b>7,687</b>	<0,001	<b>0,202</b>	<0,001	<0,001	<b>0,162</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,023</b>	-	-	<b>900</b>
	Fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Benzo(a)antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Criseno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>41</b>
	Benzo(k)fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>4,1</b>
	Benzo(b)fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Benzo(a)pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,7</b>	-	<b>0,7</b>
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Dibenzo(a,h)antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,348</b>	-	<b>0,04</b>
	Benzo(g,h,i)perileno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>

NR: Não regulamentado;

&lt;: Valor inferior aos limites de quantificação

Tabela 20 – Concentrações dos compostos químicos de interesse em água subterrânea realizada no 5º trimestre de remediação

Compostos		Poços de monitoramento (µg/l)												CMA (Ingestão de água)	CMA (Inalação de vapores)	Valores Orientador es (2016) *
		PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08	PMN-01	PMN-02	Branco de campo	Branco Equipamen to			
<b>BTEX</b>	Benzeno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>5</b>	<b>272</b>	<b>5</b>
	Tolueno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>170</b>	<b>-</b>	<b>700</b>
	Etilbenzeno	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>200</b>	<b>2700</b>	<b>300</b>
	Xilenos totais	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<b>300</b>	<b>222000</b>	<b>500</b>
<b>PAH</b>	Naftaleno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>1760</b>	<b>9310</b>	<b>60</b>
	Acenaftileno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Acenafteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Fluoreno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Fenantreno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>140</b>
	Antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>900</b>
	Fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>
	Benzo(a)antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Criseno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>41</b>
	Benzo(k)fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>4,1</b>
	Benzo(b)fluoranteno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Benzo(a)pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,7</b>	-	<b>0,7</b>
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>0,4</b>
	Dibenzo(a,h)antraceno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,348</b>	-	<b>0,04</b>
	Benzo(g,h,i)perileno	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	<b>NR</b>

NR: Não regulamentado;

&lt;: Valor inferior aos limites de quantificação

## 6 CONCLUSÃO

Ao analisarmos todo este processo, algumas considerações devem ser feitas, entre elas foi a ausência de contaminação por fase dissolvida em todo o processo, fato que possibilitou que apenas o método de remediação escolhido fosse suficiente para remediar a área. No caso de contaminação por fase dissolvida, uma possibilidade para complementar a remediação seria a oxidação química, ou o uso de surfactantes para lavar a contaminação do solo, porém, como visto na etapa de investigação detalhada, não houve contaminação do solo também.

A contaminação somente por fase livre pode ser decorrente das características do solo, como o mesmo possui porosidade elevada, facilita o processo de lixiviação do contaminante até o lençol freático. Também sempre devemos considerar que a contaminação pode não ter sido localizada, havendo possibilidade da existência da mesma em algum local não inspecionado pelos poços de monitoramento.

Podemos concluir que a remediação levou um pouco mais de um ano para ser concluída, utilizando apenas um poço de bombeamento. Isso deve-se ao fato de a pluma de contaminação ser pontual e bem delimitada ao **PM-03**. Caso a contaminação abrangesse outros poços de monitoramento, provavelmente seriam necessários mais poços de bombeamento, pois seu raio de influência dificilmente ultrapassa 4 metros.

Para uma remediação mais eficiente, caso houvesse contaminação no solo, é recomendada juntamente com a remediação de *pump-and-treat*, a utilização de Lauril 27%, que é um surfactante que desprende o contaminante que possa estar adsorvido no solo. Caso existisse contaminação por fase dissolvida, seria recomendada a utilização de oxidação química, na qual é inserido peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) nos poços de bombeamento, e esse composto reage com a fase dissolvida, quebrando suas cadeias de carbono em compostos mais simples, como  $CO_2$  e água.

Também vale ressaltar, mais uma vez, que o processo dentro do gerenciamento de áreas contaminadas ainda não foi encerrado, visto que não foram realizadas campanhas de monitoramento (preferencialmente utilizando-se a técnica de *low flow*) para fim de encerrar o caso. Essas campanhas devem ser realizadas semestralmente e preferencialmente em épocas de chuva e seca, para que assim, caso existe contaminação presa no solo, seja possível de ser detectada. Após 4 campanhas (podendo ser exigidas mais campanhas pela CETESB) sem a

detecção de fase livre ou fase dissolvida, então é solicitado o termo de reabilitação da área, para que assim ela seja classificada como reabilitada.

Após a emissão do termo de reabilitação, pode-se então solicitar ao DAEE a reabertura dos poços de captação próximos ao empreendimento, este que se encontrava desativado devido às medidas institucionais adotadas na etapa de plano de intervenção.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Posto de Serviço – Seleção de Equipamentos e Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis**. NBR 13786. Rio de Janeiro/RJ. 2001

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.786 – Posto de serviços – Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis**. 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.492 - Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental**. 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.495-1 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção**. 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.495-2 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento**. 2008.

ALAMBARIEL. **Avaliação Ambiental Detalhada**. São Paulo/SP. 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis - 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP (Brasil). **Você no posto de combustíveis**. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/consumidor/voce-no-posto-de-combustivel>>. Acessado em: 31/10/2018.

ARAÚJO, G. H. S. et al. **Gestão de Áreas Degradadas**. 8ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BERTOLA, C. H. *et al.* **Áreas Contaminadas por Combustíveis Derivados de Petróleo: Criando Diretrizes para a Requalificação de Solo Através da Descontaminação por Biorremediação**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia-CONTECC'2016. Foz do Iguaçu, PR. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.577, de 08 de Julho de 2009. **Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatadas**. Brasília, DF, jul 2009. Disponível em <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>>.

Acessado em: 20 out. 2018.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos**. São Paulo/SP. 2000.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 038/2017. Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis**. São Paulo/SP, 42p. 2017.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo/SP, 247 p. 2001.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Roteiro para Realização de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em postos e sistemas retalhistas de combustíveis**. São Paulo/SP, 07 p. 2006.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Texto Explicativo – Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo**. Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental. 2017.



CONAMA, Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; **“Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle de poluição”**; publicada no Diário Oficial da União em 08/01/2001; Brasília, DF.

CONAMA, Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; **“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”**; publicada no Diário Oficial da União em 30/12/2009; Brasília, DF.

CORREA, T. P. **Avaliação do gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos derivados de petróleo em postos revendedores de combustíveis no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, RS. 2017.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. **Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, n. 2, p. 50-54. 1997.

COURSEUIL, H. X.; SCHNEIDER, M. R. **Vazamento de combustíveis em postos de serviços automotivos: impacto no solo e na água subterrânea**. Anais. II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 2000. Porto Alegre, 2005, p. 81.

COUTINHO, R. C. P.; GOMES C. C. **Técnicas para Remediação de Aquíferos Contaminados por Vazamentos de Derivados de Petróleo em Postos de Combustíveis**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2014.

DAEE/IG/IPT/CPRM (Departamento de Águas e Energia Elétrica/Instituto Geológico/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/Serviço Geológico do Brasil). **Coordenação Geral: Gerônimo Rocha. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: nota explicativa**. São Paulo/SP, Brasil. 2005.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. **Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os compostos do meio físico**. Geociências, v. 17(2), 1998, p. 527-557.

- INOTTI, A. R. *et al.* **Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6 n.2. Abril/Junho. 2001.
- FURTADO, M. **Remediação de solos: para afastar o perigo que se esconde nos subterrâneos das grandes cidades, meios legais e econômicos devem fomentar obras de descontaminação.** Química e Derivados, edição 437 de maio de 2005.
- GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento.** Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2000. p. 356.
- HAGER, F. P. V.; D'ALMEIDA, M. L. **Legislação aplicada às águas subterrâneas.** 2008.
- JOHNSON, P. C. *et al.* **A Practical Approach to the Design, Operation and Monitoring of In Situ Soil-Venting Systems.** Groundwater Monitoring Review, p.159-178. 1990.
- LEONHARDT, R. D. **CETESB inicia aplicação de dispositivos da nova legislação sobre gerenciamento de áreas contaminadas no estado de São Paulo,** 2017. Disponível em <<https://www.machadomeyer.com.br/pt/inteligencia-juridica/publicacoes-ij/ambiental/cetesb-inicia-aplicacao-de-dispositivos-da-nova-legislacao-sobre-gerenciamento-de-areas-contaminadas-no-estado-de-sao-paulo>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- LIMA, S. D. *et al.* **Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.** Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Revista Ambiente & Água vol. 12 n. 2 Taubaté – Março/Abril. 2017
- MARIANO, P. A. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel.** Tese (Doutorado em geociências e meio ambiente) Instituto de ciências exatas e geociências. Universidade estadual paulista. 2006.
- MARQUES, E. M. GUERRA, A. J. T. **Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo.** 2008.
- MATTOS JR, A. S.; MAIA, T. Q. **Contaminação de Solo.** Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias. Foz do Iguaçu (PR). 2017
- MERCER, J.; COHEN, R. **A review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization and remediation.** Journal of Contaminant Hydrology. EUA, v. 6, p. 107-163, 1990.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº518: Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. Brasil, 32 p. 2004.

NOBRE, M. M. *et al.* **Remediação de solos: Técnicas alternativas melhoram desempenho**. Química e Derivados. Julho. 2003. Disponível em <<https://www.quimica.com.br/remediacao-de-solos-tecnicas-alternativas-melhoram-desempenho/>>. Acessado em: 28/10/2018.

OLIVEIRA, E. **Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo**. Dissertação (mestrado). São Paulo (SP). 1992.

PENNER, G. C. **Estudos laboratoriais da contaminação do solo por gasolina com o uso de detector de fotoionização**. Dissertação (mestrado). São Carlos (SP). 2000.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento. Vol I**. Dissertação (Doutorado). São Carlos (SP). 2006.

POTTER, T. L.; SIMMONS K. E. **Composition of petroleum mixtures. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series**. Massachusetts: Amherst Scientific Publishers, 1998. v. 2.

PROFÍRIO, P.R. *et al.* **Áreas Contaminadas e com Potencial de Contaminação no Município de Paulínia-Tendências e Possibilidade de Gerenciamento**. UNICAMP. 2016.

PRESS, F. *et al.* **Para Entender a Terra**. 4ª ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

SANDRES, G. C.; MAINIER, F. B. **Estudo de Modelo de Proteção de Tanques Subterrâneos como Proposta de Gestão Ambiental em Postos de Gasolina**. Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais. São Paulo, 2005.

SANTOS, E. *et al.* **Principais Técnicas de Remediação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos no Estado de São Paulo**. Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção de título de especialista em Gestão Ambiental. Campinas, SP. 2008.

SILVA, F. G. **Gestão de áreas contaminadas e conflitos ambientais: o caso da cidade dos**

**Meninos.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

**SILVA, J. A. F. Sistematização e Avaliação de Técnicas de Investigação Aplicadas à Caracterização e Diagnóstico de Área Contaminada por Hidrocarbonetos de Petróleo.** Dissertação (Mestrado em geociências e meio ambiente) Instituto de ciências exatas e geociências. Universidade estadual paulista. 2002.

**TAVARES, S. R. de L. Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos.** Joinville: Clube de Autores, 2013. cap. 2, p. 61-90.

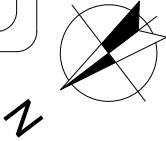
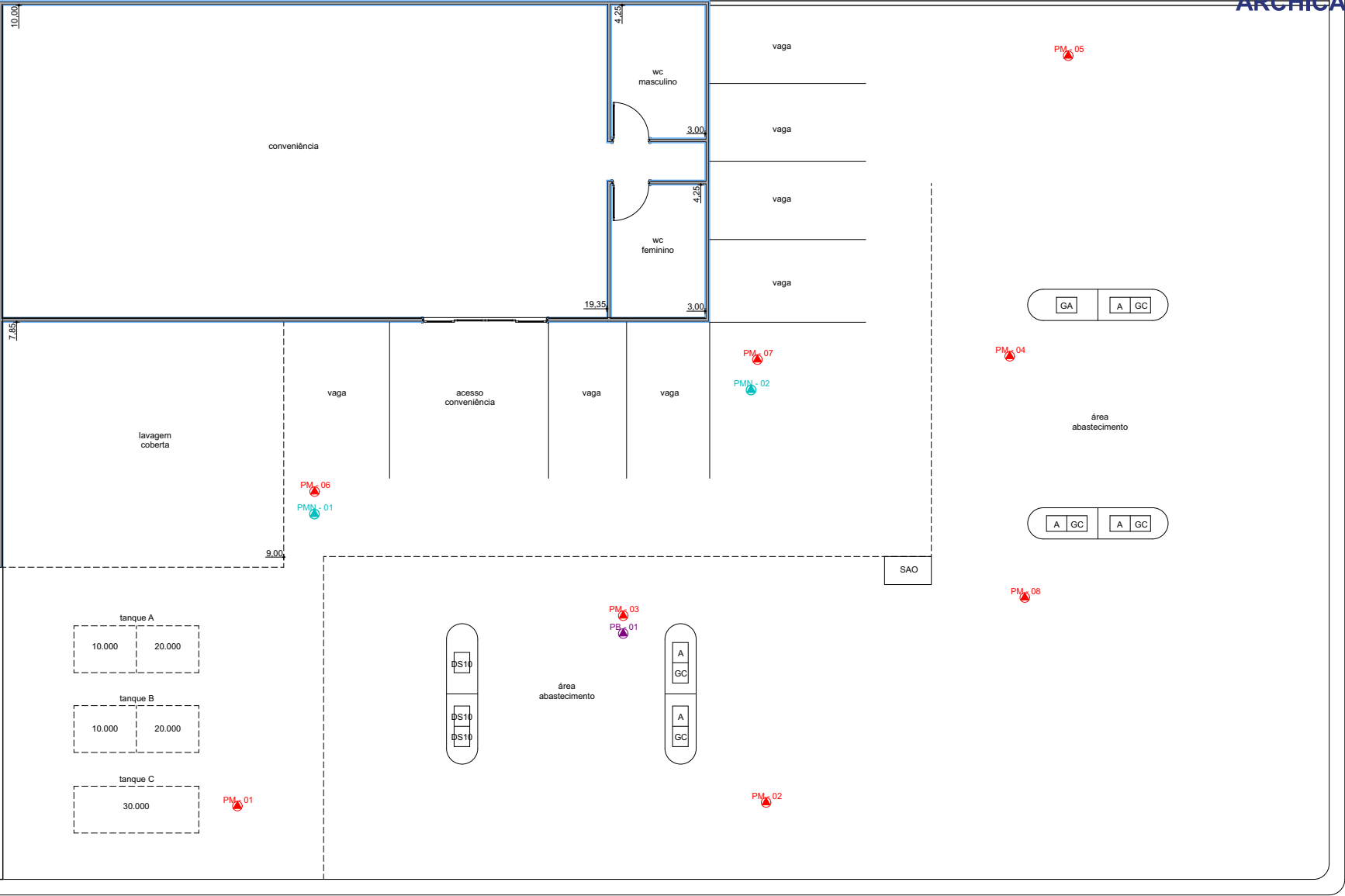
USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Chapter III: Behavior of hydrocarbons in the subsurface.** 2004. Disponível em: <[http://www.epa.gov/OUST/pubs/fprg\\_chap3.pdf](http://www.epa.gov/OUST/pubs/fprg_chap3.pdf)>. Acessado em: 01/12/2013.

**VIVIAN, R. B. Análise de contaminação em solo e água subterrânea por hidrocarbonetos derivados de petróleo.** Dissertação (mestrado). Santa Maria (RS). 2015.

**ANEXO A**

**LAYOUT DO EMPREENDIMENTO COM  
LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO**





LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO SEM ESCALA

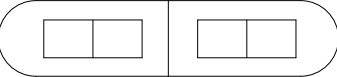
LEGENDA



POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO DE BOMBEAMENTO

POÇOS DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL



ILHA DE ABASTECIMENTO

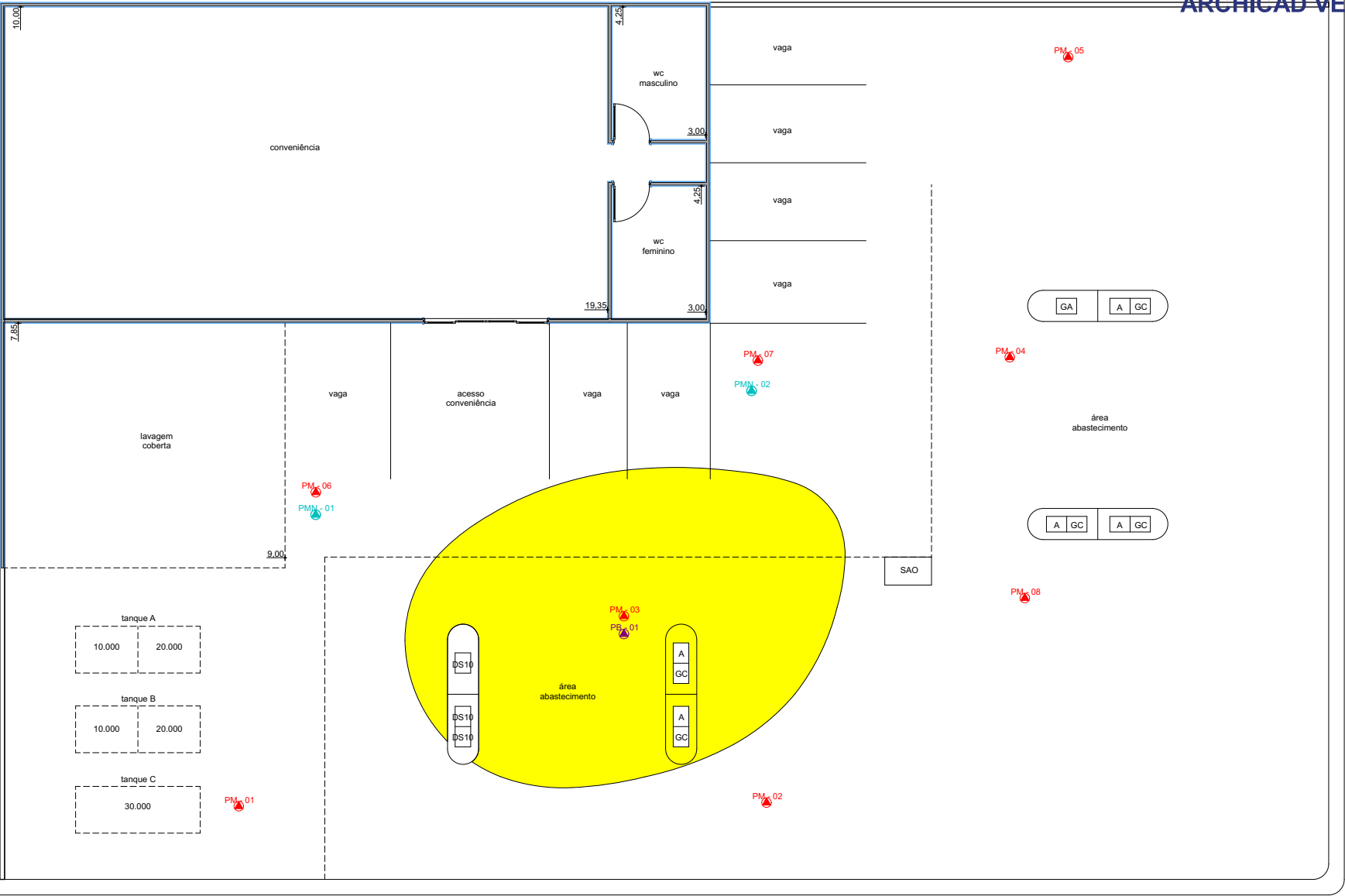




**ANEXO B**

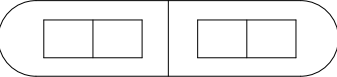
**MAPA DE ISOESPESSURA DE FASE LIVRE**





MAPA DE ISOESPESURA DE FASE LIVRE SEM ESCALA

LEGENDA



POÇOS DE MONITORAMENTO

POÇO DE BOMBEAMENTO

POÇOS DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL

ISOESPESURA DE FASE LIVRE DE PRODUTO SOBRENADANTE EM ÁGUA SUBTERRÂNEA (m)

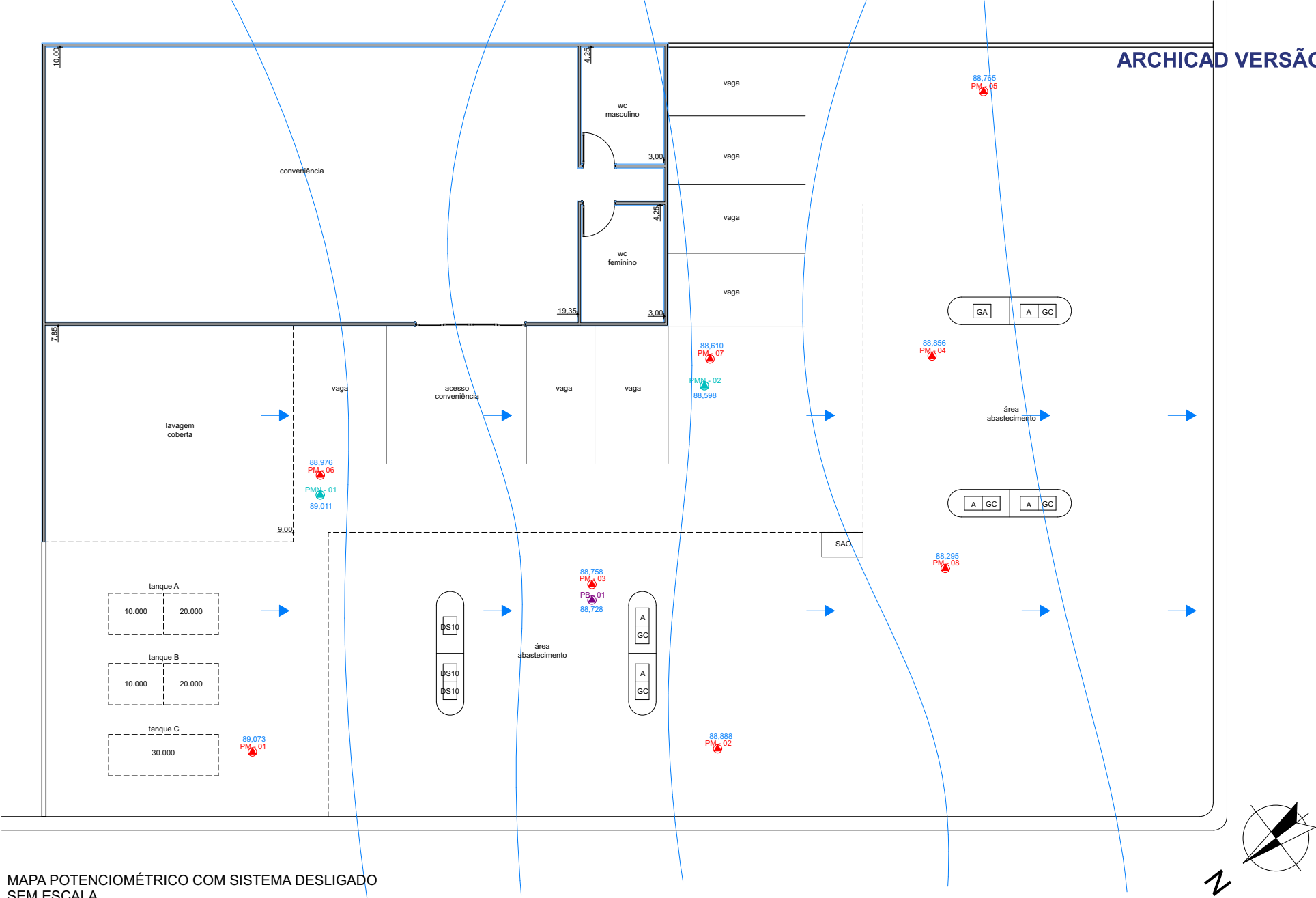




**ANEXO C**

**MAPA POTENCIOMÉTRICO COM O SISTEMA  
DESLIGADO**





MAPA POTENCIOMÉTRICO COM SISTEMA DESLIGADO SEM ESCALA

LEGENDA



TANQUE DE ABASTECIMENTO



POÇOS DE MONITORAMENTO

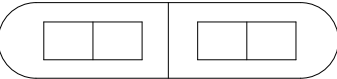


POÇO DE BOMBEAMENTO



POÇOS DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL

88,888 CARGA HIDRÁULICA



ILHA DE ABASTECIMENTO



LINHA EQUIPOTENCIAL



SENTIDO DO FLUXO

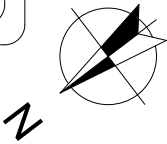
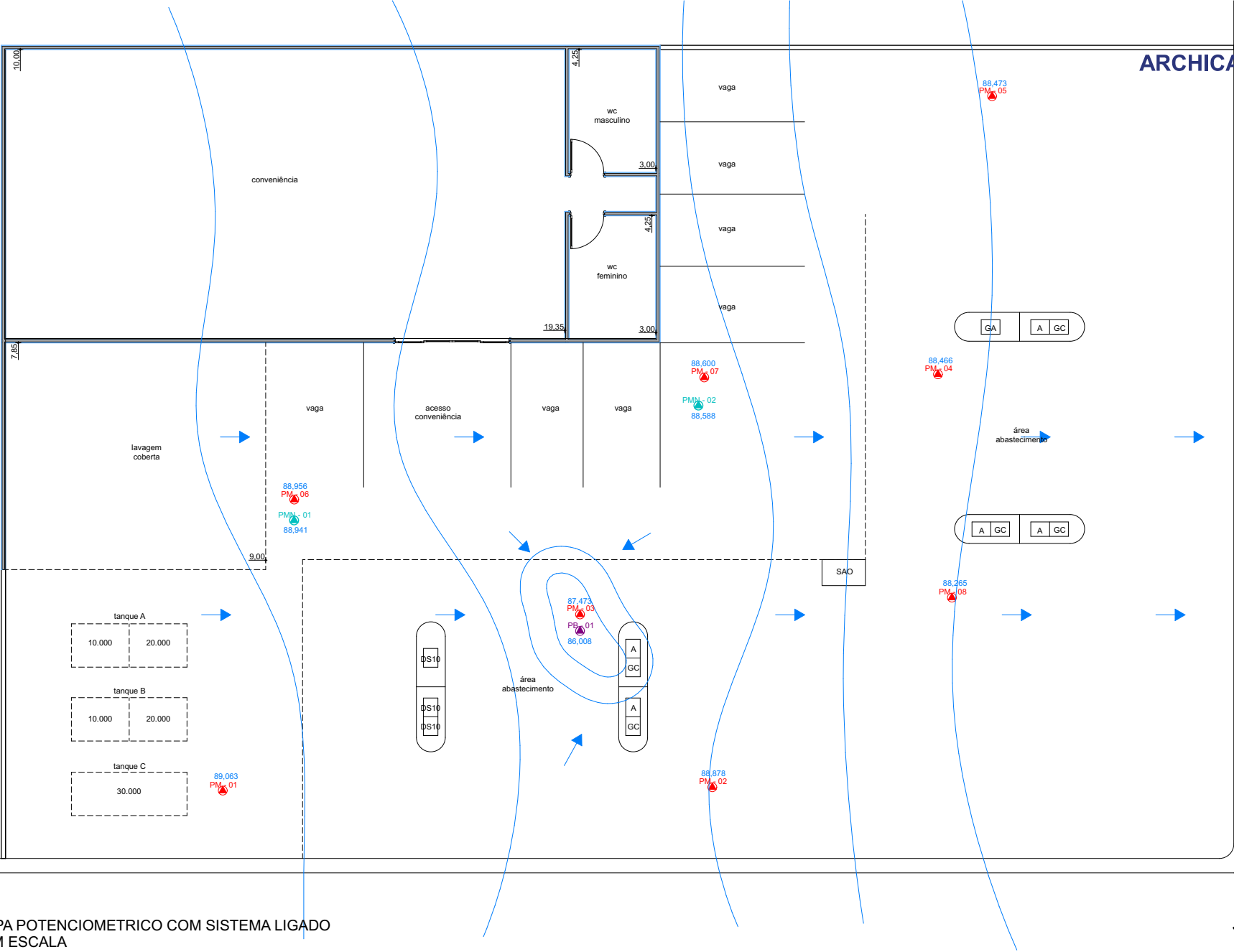




**ANEXO D**

**MAPA POTENCIOMÉTRICO COM O SISTEMA  
LIGADO**





MAPA POTENCIOMETRICO COM SISTEMA LIGADO SEM ESCALA

LEGENDA



TANQUE DE ABASTECIMENTO



POÇOS DE MONITORAMENTO

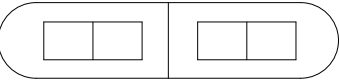


POÇO DE BOMBEAMENTO



POÇOS DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL

88,888 CARGA HIDRÁULICA



ILHA DE ABASTECIMENTO



LINHA EQUIPOTENCIAL



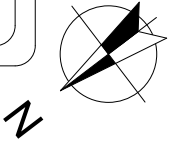
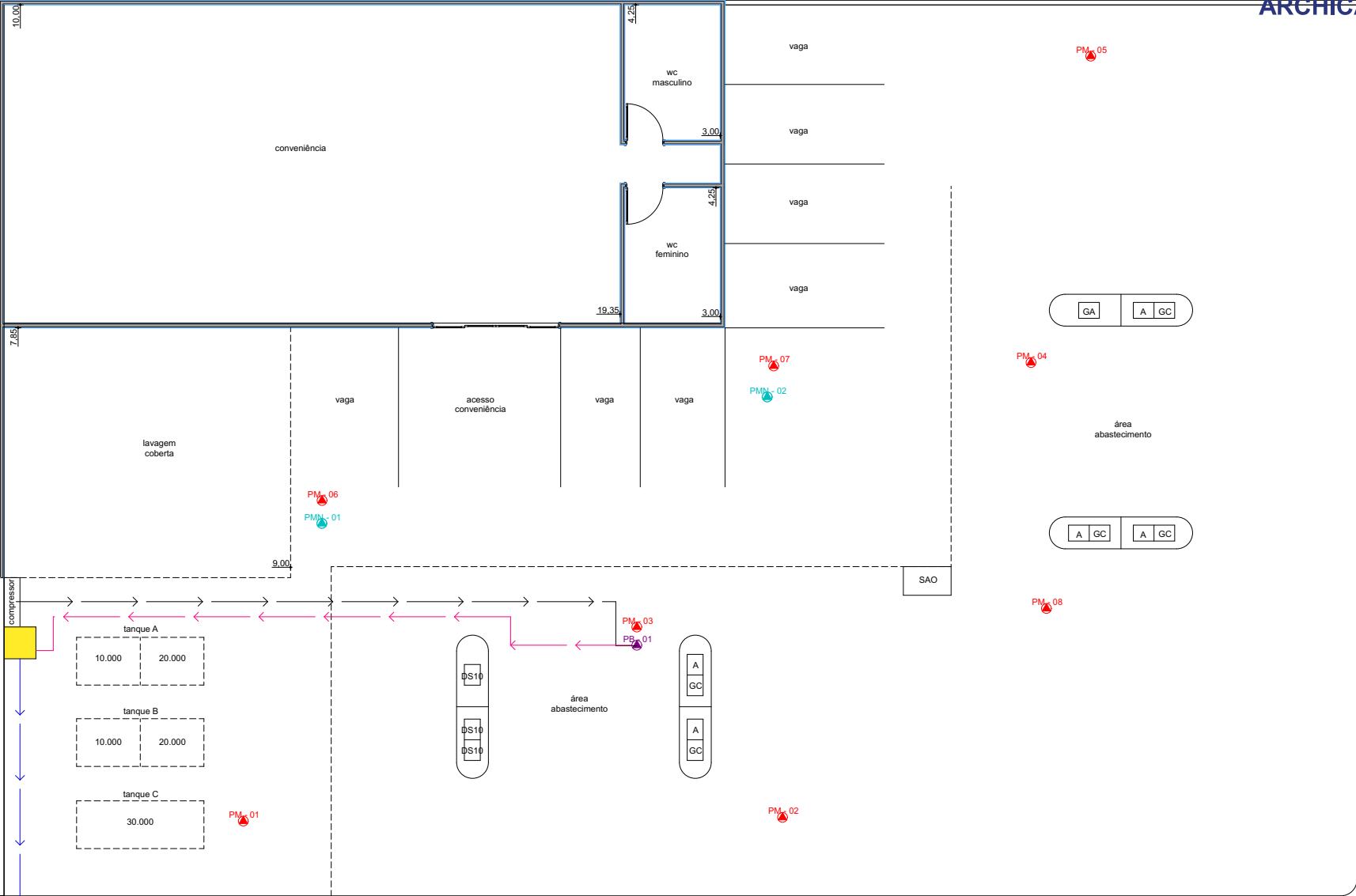
SENTIDO DO FLUXO



**ANEXO E**

**DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO**





DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE REMEDIAÇÃO SEM ESCALA

LEGENDA



- POÇOS DE MONITORAMENTO
- POÇO DE BOMBEAMENTO
- POÇOS DE MONITORAMENTO MULTINÍVEL
- SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

- FLUXO DE EFLUENTE A SER TRATADO
- FLUXO DE AR COMPRIMIDO
- FLUXO DE EFLUENTE PÓS TRATAMENTO

