



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



Filipe Strutz Pinto

**AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA DE ÁREA CONTAMINADA POR
DERIVADOS DE PETRÓLEO – ESTUDO DE CASO**

Ouro Preto, dezembro de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



Filipe Strutz Pinto

**AVALIAÇÃO DO RISCO A SAÚDE HUMANA DE ÁREA CONTAMINADA POR
DERIVADOS DE PETRÓLEO – ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a
obtenção de Grau em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar

Ouro Preto, dezembro de 2017

P659a

Pinto, Filipe Strutz.

Avaliação do risco à saúde humana de área contaminada por derivados de petróleo [manuscrito]: estudo de caso / Filipe Strutz Pinto. - 2017.

69f.: il.: color; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Contaminação. 2. Solos - Analise. 3. Águas subterrâneas. 4. Postos de serviços. 5. Avaliação de riscos de saúde. I. Bacellar, Luís de Almeida Prado . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 504

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental - CEAMB
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

Folha de Aprovação

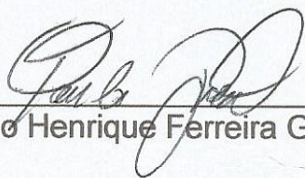
FILIPPE STRUTZ PINTO

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA DE ÁREA CONTAMINADA POR
DERIVADOS DE PETRÓLEO – ESTUDO DE CASO

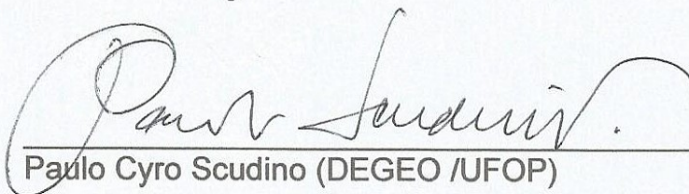
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 08/12/2017 pela
comissão avaliadora constituída pelos professores:



Luis de Almeida Prado Bacellar (DEGEO/UFOP)



Paulo Henrique Ferreira Galvão (DEGEO /UFOP)



Paulo Cyro Scudino (DEGEO /UFOP)

Dedico a toda a minha família e amigos, em especial meus pais Edna e Mauro, a meu irmão Fabiano , minha namorada Caroline, e meus tios Maurício e Michele por todo apoio, carinho e dedicação.

RESUMO

O conhecimento preciso de uma contaminação ambiental causada por vazamentos em tanques subterrâneos utilizados no armazenamento de combustíveis derivados de petróleo tem se tornado assunto recorrente devido ao alto índice de acidentes deste tipo em países industrializados. No Brasil, os dados coletados por órgãos ambientais comprovam a crescente preocupação com acidentes desta natureza, representando alto potencial de risco à saúde da população com a contaminação do solo e aquíferos. Com isso, este trabalho procurou avaliar os processos de caracterização e detalhamento de uma contaminação existente em um posto revendedor de combustíveis do interior do estado de Minas Gerais, bem como, quantificar o risco a saúde dos funcionários do posto e moradores da comunidade vizinha à área contaminada. Ao final, obtiveram-se resultados sobre a situação atual e gravidade da contaminação da área, indicando a necessidade de intervenção frente ao risco carcinogênico quantificado.

Palavras-chaves: contaminação, solo, água subterrânea, posto de combustíveis, avaliação de risco.

ABSTRACT

The knowledge of an environmental contamination caused by leaks in used underground tanks of non-stored petroleum fuels has been turned to the high rate of accidents of this type in industrialized countries. In Brazil, the data collected by environmental agencies confirm the growing concern with accidents of this nature representing a high risk potential for the health of the population with a contamination of the soil and aquifers. This work aimed to evaluate the processes of characterization and detailing of a contamination existing in a fuel retailer station in the interior of the state of Minas Gerais, as well as to quantify the health risk of employees in the station and residents of the neighboring community of the contaminated area. At the end, results were obtained on a current situation and severity of contamination of the area, indicating a need for intervention in face of the quantified carcinogenic risk.

Keywords: Contamination, soil, groundwater, fuel station, risk assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo esquemático típico de um posto revendedor.....	5
Figura 2 – Fonte de contaminação comum em um posto revendedor de combustíveis..	7
Figura 3 – Etapas de identificação de áreas potencialmente contaminadas	10
Figura 4 – Fases da Investigação Confirmatória	15
Figura 5 – Fases da Investigação Detalhada	16
Figura 6 – Componentes básicos para caracterização do risco	17
Figura 7 – Fluxograma simplificado da metodologia para Avaliação de Risco	17
Figura 8 – Principais vias de ingresso	18
Figura 9 – Croqui de localização dos poços de monitoramento e sentido de fluxo subterrâneo	28
Figura 10 – Pluma de fase retida de benzeno	29
Figura 11 – Pluma de fase retida de etilbenzeno	30
Figura 12 – Pluma de fase livre	31
Figura 13 – Pluma de fase dissolvida de benzeno	32
Figura 14 – Pluma de fase dissolvida de etilbenzeno	33
Figura 15 – Pluma de fase dissolvida de xilenos	34
Figura 16 – Pluma de fase dissolvida de naftaleno	35
Figura 17 – Pluma de fase dissolvida de benzo (a) antraceno	36
Figura 18 – Realização das sondagens	37
Figura 19 – Coleta das amostras de solo	38
Figura 20 – Medição instantânea de COV	38
Figura 21 – Coleta de água utilizando o bailer – fase livre	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fontes de informação	11
Tabela 2 - Matriz de Decisão para Execução da Investigação Ambiental em SASC.....	13
Tabela 3 - Modelo Conceitual de Exposição – Trabalhador Comercial/Industrial	42
Tabela 4 – Modelo Conceitual de Exposição – Residencial Urbano.....	43
Tabela 5 – Planilha de entrada de dados do meio físico para receptores comerciais e industriais	44
Tabela 6 – Planilha de entrada de dados do meio físico para receptores residentes.....	46
Tabela 7 – Resultados analíticos das amostras de solo subsuperficial	48
Tabela 8 – Resultados analíticos das amostras de água subterrânea	49
Tabela 9 – Síntese das planilhas de quantificação do risco para o solo subsuperficial – Trabalhadores Comercial e Industrial Adultos.....	51
Tabela 10 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para água subterrânea – Trabalhadores Comercial e Industrial Adultos.....	52
Tabela 11 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para solo subsuperficial – Residentes Urbanos Crianças	53
Tabela 12 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para água subterrânea – Residentes Urbanos Adultos	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM – American Society for Testing and Materials

BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos

CAS – Chemical Abstracts Service

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CMA – Concentrações Máximas Aceitáveis

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CQI – Compostos Químicos de Interesse

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DN – Deliberação Normativa

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

HPA – Hidrocarbonetos Poliaromáticos

LNAPL - Light Non-Aqueous Phase Liquids

MPE – Multi-Phase Extraction

NAPL – Non Aqueous Phase Liquids

PM – Poço de Monitoramento

RAGS – Risk Assessment Guidance for Superfund

RBCA – Risk Based Corrective Action

RfD – Reference dose

SAAC – Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis

SASC – Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis

SF – slope fator

SSTL's – Site-Specific Target Levels

SUMÁRIO

RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS	4
3.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	5
3.3 CONTAMINAÇÃO DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA	6
3.4 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS	9
3.5 AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA	17
3.6 PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB.....	23
4. MÉTODOS.....	24
4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
4.2 COLETA DE DADOS.....	37
4.3 TRATAMENTO DOS DADOS.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1. MODELOS CONCEITUAIS DE EXPOSIÇÃO	41
5.2. MODELO DO MEIO FÍSICO	44
5.3. RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS.....	47
5.4. QUANTIFICAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA	49
4. CONCLUSÕES	55
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades brasileiras tem como consequência o aumento da frota de veículos automotores, fazendo deste o principal e mais acessível meio de transporte do país. Para atender a demanda de combustíveis existem 41.829 postos revendedores (ANP, 2017) espalhados em todas as regiões do país. Apenas no estado de Minas Gerais, estão localizados cerca de 10,8% do total deste montante, fazendo dele o segundo estado com maior número de empreendimentos desta natureza, atrás apenas do estado de São Paulo, que possui aproximadamente 22% (ANP, 2017).

Com isso, postos revendedores de combustíveis tornam-se empreendimentos com alto potencial de risco para este tipo de contaminação, uma vez que se encontram bastante dispersos e disseminados em todo o território nacional. Outro fator agravante está na forma de armazenamento dos seus produtos, na grande maioria dos casos, em tanques subterrâneos.

A contaminação de solos e água subterrânea por hidrocarbonetos derivados de petróleo tem ganhado cada vez mais a atenção em países industrializados, se revelando como um dos mais graves e recorrentes dos problemas ambientais estudados.

A falta ou inexistência de manutenção adequada, a obsolescência dos sistemas de armazenamento, a falta de capacitação de pessoal e de fiscalização são apenas alguns exemplos de fatores que contribuem com o aumento dos casos de contaminação causados por esse tipo de atividade.

O posto revendedor de combustíveis alvo deste trabalho, localizado na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte-MG, apresentou problemas de contaminação no sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis. Os responsáveis pelo empreendimento concordaram em fornecer todas as informações necessárias, desde que o nome da cidade não fosse divulgado, evitando possíveis represálias por parte da população.

Segundo Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais de 2016, desenvolvido pela FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente, 475 das 642 áreas contaminadas no estado estão relacionadas aos postos de combustíveis, incluídos o comércio varejista de combustíveis, e revendedores de gasolina, álcool e óleo diesel.

Cabe ressaltar que estes dados foram obtidos com base no cadastro das áreas contaminadas por parte do empreendimento junto a FEAM, de acordo com a Deliberação Normativa DN 116/2008, o que pode indicar um número subestimado deste tipo de contaminação, principalmente pelo interior do estado.

Sendo assim, tanto os trabalhadores destes postos revendedores quanto a comunidade que reside em áreas vizinhas a este tipo de empreendimento estão potencialmente expostos aos riscos envolvidos com este tipo de contaminação.

Daí a importância de se avaliar a situação e abrangência da contaminação, como ela está se comportando no meio e qual o risco a saúde humana tais contaminantes oferecem.

Para tanto, foram obtidos dados complementares visando a elaboração de um Modelo Conceitual da Área para posterior elaboração de análise e avaliação do risco à saúde humana diante da contaminação existente.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal foi avaliar o risco à saúde humana causado pela contaminação de hidrocarbonetos derivados de petróleo para os trabalhadores e para a comunidade vizinha em um posto de combustíveis do estado de Minas Gerais.

O trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar os procedimentos realizados nas etapas de investigação preliminar, confirmatória e detalhada realizados no empreendimento;
- b) fazer a avaliação de risco à saúde humana do local utilizando a metodologia da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental;
- c) confirmar a necessidade da remediação/descontaminação das fases dissolvida e retida, caracterizadas nos estudos de investigação detalhada..

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS

Os postos revendedores de combustíveis compreendem empreendimentos de prestação de serviços à rede de usuários de automóveis, que se fazem presentes, da ordem de dezenas de milhares em território nacional, cuja estrutura física, pela normatização vigente, é bem definida, de fácil identificação e descrição. Segundo SANTOS (2005), pode-se citar como principais instalações existentes em postos desta natureza:

- bombas de abastecimento;
- tanques de armazenamento de combustíveis (aéreos ou subterrâneos);
- tanque para armazenamento de óleo usado (aéreo ou subterrâneo);
- bocais de descarga de combustíveis;
- tubulações que interligam os bocais de descarga aos tanques e estes as bombas;
- sistemas coletores de drenagem oleosa;
- sistema de drenagem pluvial;
- equipamentos e sistemas de prevenção e contenção de derramamentos e/ou vazamentos;
- equipamentos de segurança contra incêndios e explosões;
- sistema de filtração de óleo diesel;
- área para lavagem de veículos;
- área de lubrificação de veículos;
- área administrativa e comercial (escritório, loja de conveniência, restaurantes, banheiros).

Além da atividade principal de comércio e abastecimento de combustíveis, estes empreendimentos, comumente, prestam os seguintes serviços, como atividades secundárias (SANTOS, 2005):

- troca de óleo lubrificante;
- lavagem de veículos;
- operação de lojas de conveniência;

- operação de restaurantes;
- operação de hospedagens.

A Figura 1 ilustra um modelo esquemático de um posto de combustíveis genérico, com o layout de suas principais estruturas:



Figura 1 – Modelo esquemático típico de um posto revendedor.
Fonte: FOGAÇA (2015).

3.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

A ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - é a agência responsável por, dentre outras atribuições, regulamentar, fiscalizar e monitorar todas as empresas relacionadas com as atividades que integram a indústria do petróleo e gás natural e a dos biocombustíveis no Brasil, dentre elas, os postos varejistas de combustíveis.

Além disso, a sua implantação e operação estão sujeitas a outras normas, leis e resoluções de outras entidades para desenvolvimento pleno de sua atividade como Corpo de Bombeiros, Prefeituras Municipais, Departamento de Estradas de Rodagem - DER, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, órgãos ambientais estaduais, dentre outros (NETTO et al. 2005).

As diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos que exercem a atividade de postos revendedores de combustíveis são relacionadas na Resolução CONAMA nº 273 de 2000, que considera a atividade como potencialmente ou parcialmente poluidora.

No âmbito estadual, a Deliberação Normativa DN COPAM nº 74 de 2004 estabelece critérios para a classificação de empreendimentos e atividades de potencial degradação do meio ambiente, levando em consideração o seu porte (pequeno, médio e grande), determinado pela capacidade de armazenamento de combustíveis, e seu potencial poluidor na água, no ar, e no solo.

3.3 CONTAMINAÇÃO DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA

A origem dos problemas relacionados a áreas contaminadas é muito variada, o que dificulta ainda mais o processo de identificação/remediação. A falta de informações sobre o uso e ocupação anterior do terreno, a baixa ou inexistente preocupação com o meio ambiente por parte dos empreendedores industriais, a busca pela maximização dos lucros, bem como a falta de fiscalização no cumprimento das legislações ambientais são apenas alguns fatores que favorecem a entrada, cada vez maior, de substâncias químicas no solo e na água subterrânea, as quais, em sua maioria, são nocivas à saúde e bem estar da população,

São fatores que favorecem o aporte de substâncias químicas poluentes no solo e água subterrânea (OLIVEIRA & LOUREIRO, 1998):

- vazamentos nos sistemas de armazenamento subterrâneo, em decorrência de:
 - a) corrosão dos tanques ou das tubulações fabricados em aço;
 - b) defeitos de fabricação dos tanques;
 - c) instalação defeituosa dos tanques, das tubulações ou dos equipamentos de abastecimento;
- transbordamentos ou derramamentos que acontecem durante as operações de descarga de combustível.

A Figura 2 apresenta um exemplo de contaminação comum em postos revendedores de combustíveis por compostos mais leves que a água (LNAPL - *Light Non-Aqueous Phase Liquids*).

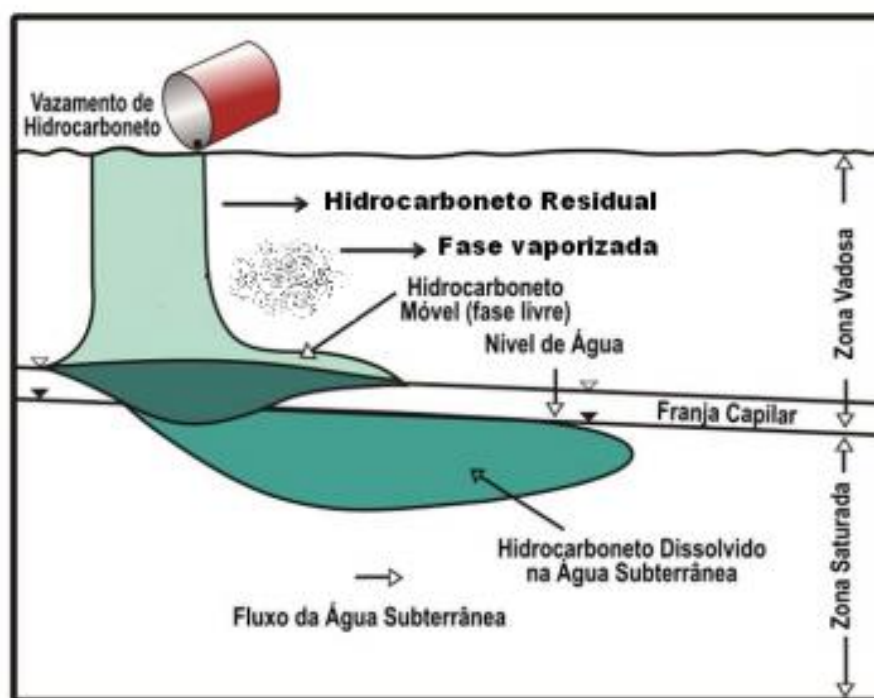


Figura 2 – Fonte de contaminação comum em um posto revendedor de combustíveis.
Fonte: FETTER (1999).

Os vazamentos podem ocorrer durante meses a anos sem que sejam percebidos, resultando na liberação de uma grande quantidade de material no solo, impactando na qualidade da água subterrânea no local de origem da contaminação, podendo alcançar até centenas de metros de distância, dependendo de características como: a quantidade de contaminante despejada; as características físico-químicas dos materiais do solo; as propriedades físico-químicas do contaminante; a profundidade do lençol freático; e a presença de estruturas subterrâneas de origem antropogênica e das características do fluxo subterrâneo (OLIVEIRA & LOUREIRO, 1998).

Outras fontes desta contaminação acidental podem ser observadas, destacando-se as mais significativas com base na CETESB (2005):

- Trincas e rachaduras na área da pista de abastecimento causados pelo fluxo de veículos (leves e pesados);
- Avarias no sistema subterrâneo de armazenamento de combustíveis devido ao efeito das vibrações e movimentações do solo;

- Inexistência ou inadequada impermeabilização da pista, contribuindo para a vulnerabilidade do solo, em casos de derramamentos provenientes das atividades abastecimento e descarga de combustíveis;
- Ausência de sistemas de coleta, drenagem e tratamento primário dos efluentes oleosos gerados;
- Inexistência de estruturas de contenção impermeável (*sump*) nos principais equipamentos do posto (bomba de abastecimento, filtro de óleo, bocais de descarga);
- Utilização de tubulações rígidas que oferecem pouca resistência à movimentação do solo em comparação com as tubulações flexíveis;
- Extravasamento de combustíveis dos respiros dos tanques de armazenamento durante as operações de descarga;
- Vazamentos por meio de conexões e tubulações do sistema de filtragem de óleo diesel;
- Avarias na estrutura do sistema de tratamento primário dos efluentes (caixa separadora de água e óleo), ou até mesmo, transbordamento do efluente devido à falta de manutenção adequada (acúmulo de resíduos);
- Problemas operacionais relacionados à falta de capacitação dos funcionários ou imprudência no desenvolvimento das atividades.

Os combustíveis derivados de petróleo têm por característica se comportar no meio como um contaminante não miscível a água (NAPL - *Non Aqueous Phase Liquids* – Fase Líquida Não Aquosa). Essas substâncias, por apresentarem densidade inferior à densidade da água pura (LNAPL - *Light Non-Aqueous Phase Liquids*), ao entrarem em contato com o solo migram verticalmente pela zona não saturada. Uma pequena parte deste efluente é adsorvida nas partículas do solo (fase adsorvida). Ainda na porção não saturada do solo, são formados pequenos gânglios que são retidos nos poros do solo (fase residual) (REIS JÚNIOR, 2009).

Portanto, a partir da sua liberação no solo, estes combustíveis estão suscetíveis a uma série de processos de transporte, mobilização e atenuação, dentre os quais se pode destacar (OLIVEIRA & LOUREIRO, 1998):

- penetração pela zona não saturada do solo, deixando uma fase residual, até atingir o lençol freático, onde pode formar uma fase sobrenadante (fase livre);
- mobilização horizontal do combustível no solo, em sua fase livre, podendo vir a atingir fundações, garagens, galerias e outras estruturas subterrâneas;
- retenção nos poros dos solos na zona não saturada (fase residual), formando uma fonte perene de contaminação de longo prazo;
- dissolução parcial de componentes solúveis dentro da fase aquosa do solo, contaminando aquíferos e comprometendo a qualidade de cursos d'água e de poços de extração de água de abastecimento;
- volatilização dos componentes mais leves com acúmulo de vapores explosivos em algumas estruturas e provocando poluição atmosférica (que pode ser apenas temporária);
- biodegradação dos hidrocarbonetos resultante de processos físico-químicos e biológicos.

3.4 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

No Brasil, a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - criou o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, principal referência no âmbito de áreas contaminadas, que apresenta todos os procedimentos necessários para a identificação, confirmação, intervenção, remediação e gerenciamento, bem como, direcionamentos em relação à análise de risco a saúde humana (CETESB, 2005).

A primeira etapa para investigação acerca de possíveis contaminações é a identificação de áreas potencialmente contaminadas dentro de uma região de interesse. Trata-se do levantamento inicial de todas as informações das atividades potencialmente poluidoras que foram e/ou estão sendo executadas na área (CETESB, 2005).

As principais etapas sobre a identificação destas áreas potencialmente contaminadas estão apresentadas na Figura 3.

As informações acerca da região de interesse podem ser obtidas das mais diversas fontes, as quais variam de acordo com as características locais. A Tabela 1 apresenta as principais fontes de consulta normalmente utilizadas. A primeira coluna apresenta as principais fontes de informação, a segunda coluna o tipo de informação a ser obtido na fonte e por fim, a terceira coluna relaciona quais os documentos a serem consultados para obtenção da fonte.

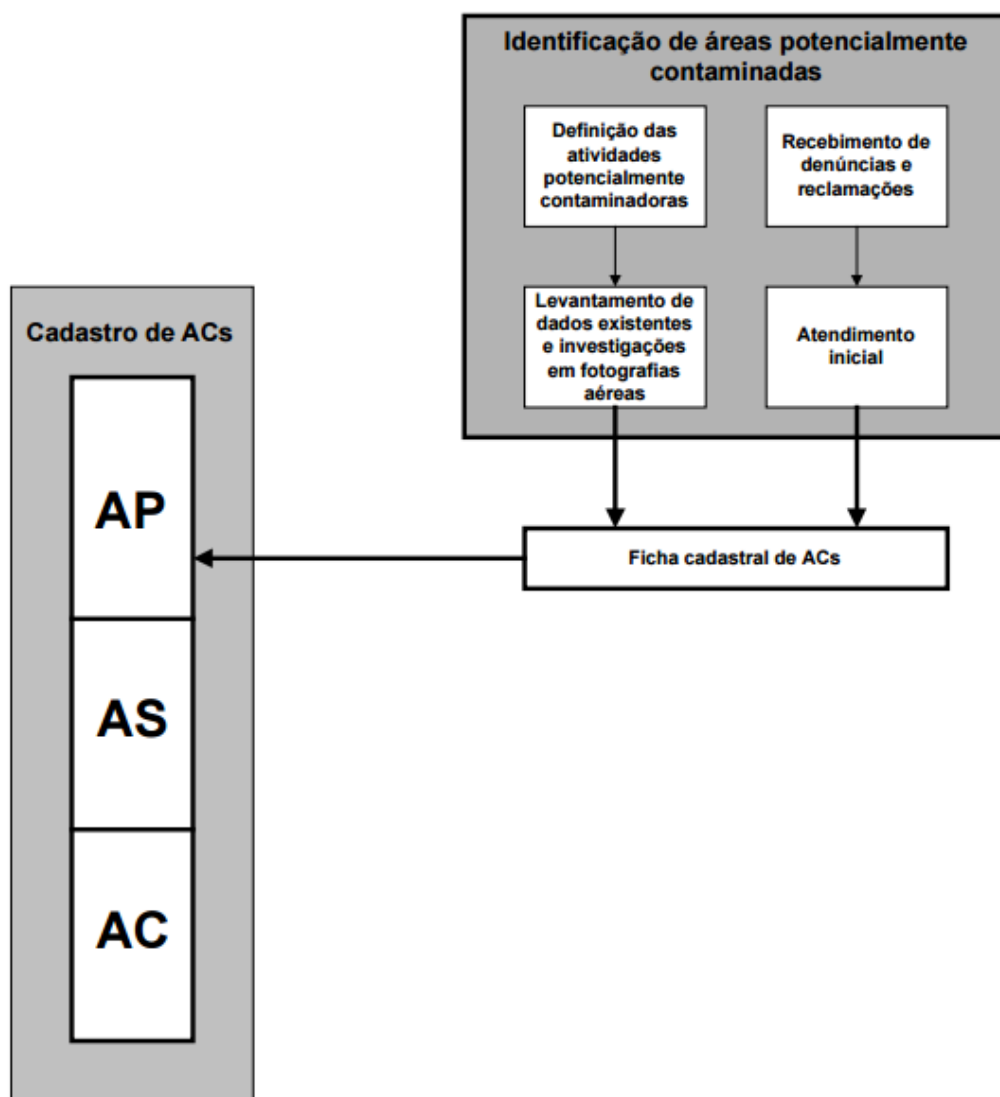


Figura 3 – Etapas de identificação de áreas potencialmente contaminadas
AP – Área Potencialmente Contaminada; **AS** – Área com Suspeita de Contaminação; **AC** – Área Contaminada

Fonte: CETESB, 2005

Tabela 1 - Principais fontes de informação

FONTES DE INFORMAÇÃO	TIPO DE INFORMAÇÃO A SER OBTIDA	DOCUMENTOS A CONSULTAR
Órgão de controle ambiental	Órgão de controle ambiental Dados cadastrais e localização de áreas industriais, comerciais e de disposição, armazenamento e tratamento de resíduos.	Cadastros de indústrias, de áreas comerciais, de acidentes, de áreas de disposição e tratamento de resíduos.
Associações industriais e comerciais, sindicatos patronais	Localização de áreas industriais, comerciais e de disposição, armazenamento e tratamento de resíduos; classificação industrial.	Cadastros de áreas industriais e comerciais.
Órgão de planejamento do uso e ocupação do solo	Localização de áreas industriais, comerciais e de disposição e tratamento de resíduos; localização de bens a proteger. Bases cartográficas.	Mapas: topográficos, de uso e ocupação do solo, geológicos, pedológicos, hidrológicos, etc.
Prefeituras	Localização de áreas industriais, comerciais e de disposição e tratamento de resíduos; localização de bens a proteger.	Licenças de construção, cadastros e mapas.
Empresas de geração e distribuição de energia elétrica	Localização de depósitos de óleo combustível e de transformadores	Cadastros.
Secretarias de Saúde e de Agricultura	Localização de depósitos de agrotóxicos e de suas embalagens.	Cadastros.
Outras	Localização de fontes potenciais de contaminação.	Listas de endereço, listas telefônicas.

Fonte: CETESB, 2005

Após o levantamento das áreas potencialmente contaminadas (AP), é realizada a Investigação Preliminar no empreendimento, buscando identificar as áreas suspeitas de contaminação (AS). A Deliberação Normativa COPAM nº 108 estabelece o roteiro mínimo a ser cumprido para a realização desta investigação no estado de Minas Gerais:

- Preenchimento do Anexo I da Resolução CONAMA nº 273 (dados gerais do empreendimento);
- Elaboração de croqui georreferenciado das instalações atuais, contendo edificações, sistemas de armazenamento de combustíveis e redes de drenagem;
- Levantamento do histórico de vazamentos/derramamentos, acidentes e reformas;
- Levantamento de dados geológicos do terreno, incluindo a permeabilidade do solo e dados hidrogeológicos (indicação inferida da direção e sentido de fluxo da água subterrânea por meio de sondagem com profundidade de 8 metros ou do nível do lençol freático, o que ocorrer primeiro);
- Croqui georeferenciado de poços de captação de água subterrânea em um raio de 100 metros, bem como, corpos hídricos superficiais;
- Execução de malha de perfuração do solo, com espaçamento aproximado de 5m x 5m para medição do teor de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) a 0,5 metro e 1,0 metro de profundidade;
- Croqui contendo as curvas de isoconcentrações de COV a 0,5 e 1,0 metro de profundidade;
- Avaliação dos resultados por meio da Matriz de Decisão (Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - SASC, e Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis – SAAC).

O somatório de pontos da Matriz de Decisão para SASC (Tabela 2), mais comum no caso de postos revendedores de combustíveis, indica se há necessidade, ou não, da realização da Investigação Confirmatória de Passivo Ambiental. Esta etapa busca confirmar a existência de contaminação nas áreas suspeitas identificadas na Investigação Preliminar. As principais fases da Investigação Confirmatória estão relacionadas na Figura 4.

Tabela 2 - Matriz de Decisão para Execução da Investigação Ambiental em SASC

Matriz de Decisão para Execução da Investigação Ambiental em SASC				
Tipo de Dado Ambiental	Característica Ambiental	Resposta	Peso	Marcar "x"
Problemas Reportados	1. Histórico ou Indícios de vazamentos ou derrames	Sim	3	
		Não sabe	3	
		Não	0	
	2. Perdas anormais de produto (Controle de Estoques)	Sim	1	
		Não sabe	1	
		Não	0	
	3. Explosividade em caixas de concessionárias (raio de 100m)	≥10% LEL	2	
		Não sabe	2	
		<10% LEL	0	
	4. Reparos em SASC	Sim	1	
		Não sabe	1	
		Não	0	
	5. Tanque desativado	Sim	1	
		Não	0	
Atividade	6. Tempo desde a primeira instalação do SASC	>20 anos	2	
		10 a 20 anos	1	
		<10 anos	0	
Facilidades Existentes	7. Tipo de tubulação subterrânea	Metálica	1	
		Não sabe	1	
		PEAD	0	
	8. Pavimentações em concreto nas áreas de abastecimento	Não	2	
		Defeituosa	1	
		Sim	0	
	9. Vala de troca de óleo	Permeável	2	
		Impermeável	1	
		Não tem	0	
	10. Sistema de drenagem oleosa com SAO (pista de abastecimento, troca de óleo e lavagem)	Não	1	
Sim		0		
Condições Hidrogeológicas	11. Profundidade das águas subterrâneas	< 5 metros	1	
		> 5 metros	0	
	12. Permeabilidade do solo	≥10 ⁻³ cm/s	2	
		entre 10 ⁻³ e 10 ⁻⁵ cm/s	1	
		≤10 ⁻⁵ cm/s	0	
	13. Medição da malha de COV (Somatória dos 3 maiores valores)	> 1500 ppm	12	
		< 1500 ppm ≥ 1000 ppm	6	
		< 1000 ppm	0	
Risco Relacionado ao Entorno	14. Classificação do posto segundo a tabela 1-A da ABNT-NBR 13786	Classe 3	2	
		Classe 2 ou 1	1	
		Classe 0	0	
Total de Pontos				
DECISÃO				

Fonte: Adaptado de COPAM (2007).

Segundo a Deliberação Normativa nº 108 (COPAM, 2007), para realização desta etapa é necessário:

- Execução de sondagens até a profundidade de 8 metros ou do nível do lençol freático, nas áreas suspeitas de contaminação, com medição de COV a cada metro;
- Coleta de pelo menos uma amostra de solo por sondagem no ponto de maior leitura de COV;
- Coleta de uma amostra de água subterrânea por sondagem, quando houver;
- Elaboração dos laudos laboratoriais das amostras por laboratório cadastrado na FEAM para análise de Hidrocarbonetos Poliaromáticos - HPA e Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos – BTEX;
- Elaboração de relatório conclusivo.

Caso os laudos laboratoriais confirmem a contaminação, se faz necessária a etapa de Investigação Detalhada (Figura 5), que busca delimitar a extensão da contaminação, bem como definir quais as medidas a serem tomadas. Esta etapa consiste em:

- Instalação de poços de monitoramento, em quantidade suficiente (medição de nível d'água, coleta de amostras, medição de eventual fase livre);
- Levantamento planialtimétrico via poços de monitoramento;
- Relatório conclusivo contendo comparação dos resultados das análises com os Valores Orientadores de Intervenção para solo e água subterrânea (CETESB).

Quando os laudos laboratoriais apresentam valores superiores aos Valores Orientadores de Intervenção, é realizada a Análise de Risco para determinar a necessidade de remediação da área, bem como, qual a eficiência mínima a ser alcançada.

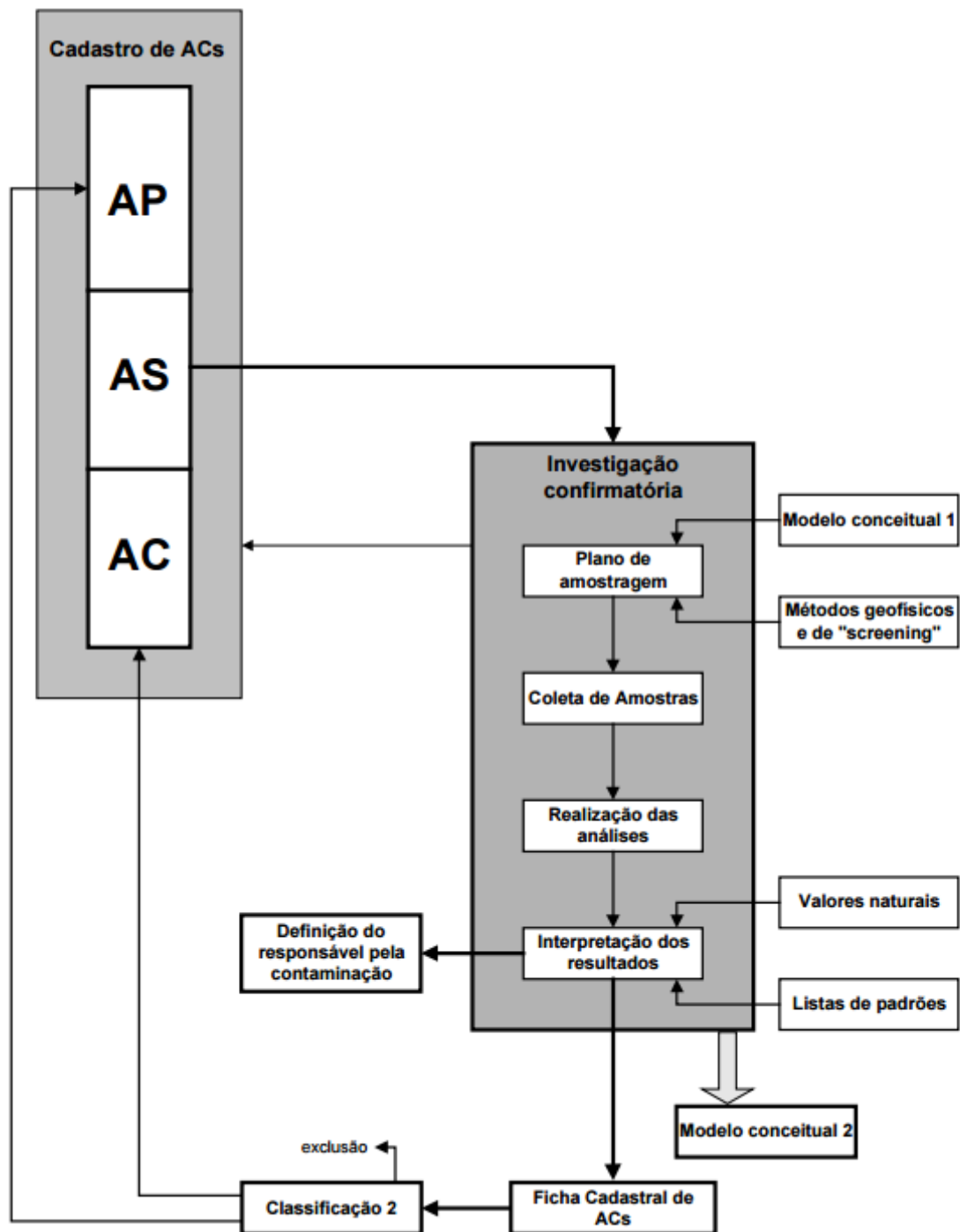


Figura 4 – Fases da Investigação Confirmatória
Fonte: CETESB, 2005

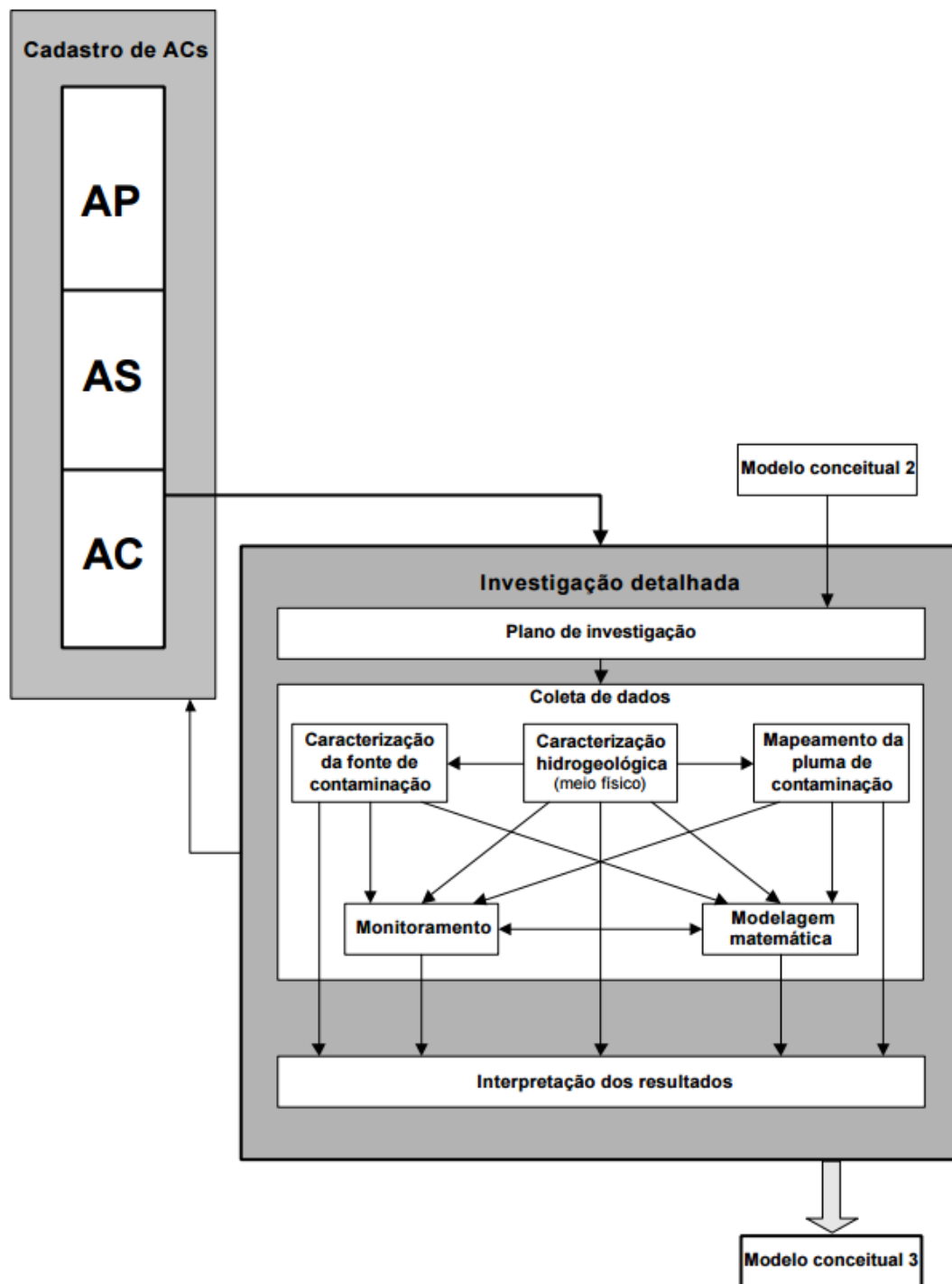


Figura 5 – Fases da Investigação Detalhada
Fonte: CETESB, 2005

3.5 AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA

A avaliação de risco é um método que utiliza os dados das concentrações de compostos químicos obtidos a partir de amostras coletadas na área para quantificação do risco às pessoas potencialmente expostas (PEDROZO *et al.*, 2004). A Figura 6 mostra os componentes básicos para caracterização do risco.

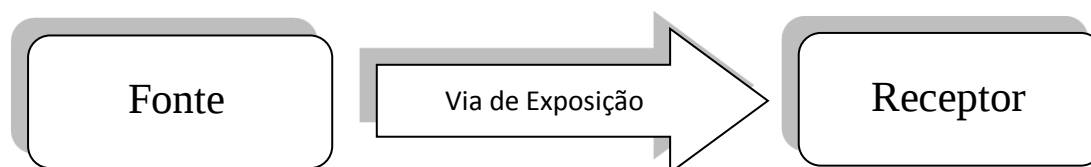


Figura 6 – Componentes básicos para caracterização do risco
Fonte: Adaptado de PEDROZO *et al.*(2002)

A metodologia mais utilizada foi desenvolvida pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM nos Estados Unidos, homologada em 1995 com o nome de RBCA - *Risk Based Corrective Action*, desenvolvida especificamente para problemas com derivados de petróleo (ASTM, 1995). A Figura 7 apresenta uma representação esquemática da metodologia utilizada na Avaliação de Risco à Saúde Humana.

Segundo PEDROZO *et al.* (2002), a análise de risco é uma das etapas principais para o adequado gerenciamento de áreas contaminadas por derivados de petróleo, uma vez que essa metodologia possibilita a definição de ações corretivas, obedecendo uma sequência lógica de atividades conjunta com tomada de decisões passando desde a suspeita da contaminação, obtenção dos níveis máximos aceitáveis, até o encerramento da remediação.

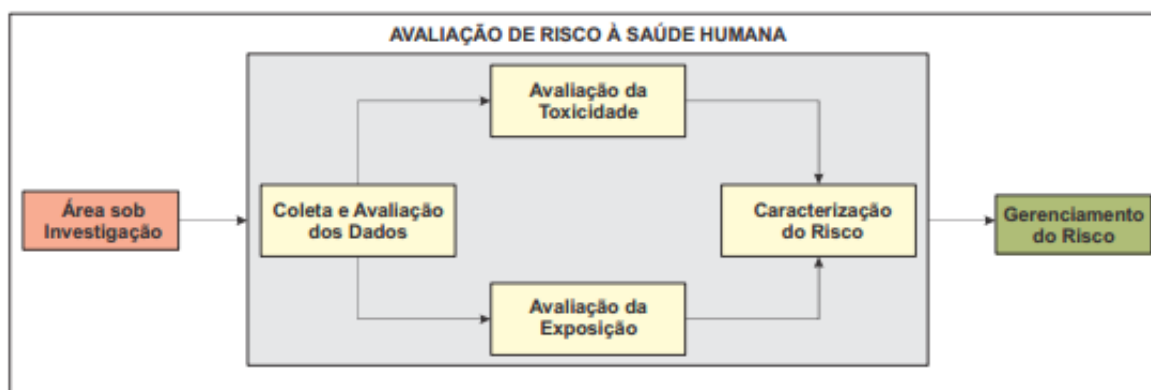


Figura 7 – Fluxograma simplificado da metodologia para Avaliação de Risco
Fonte: SQUISSATO (2012)

A etapa de coleta e avaliação dos dados envolve a seleção das informações relevantes para o desenvolvimento de um Modelo Conceitual de Exposição (MCE) da área sob investigação, bem como, dentre outras características dos contaminantes, a determinação das concentrações dos CQI's (Compostos Químicos de Interesse) a serem utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Após selecionados, interpretados e organizados, estes dados são utilizados para confirmar o modelo conceitual teórico da área estudada (SQUISSATO, 2012).

Segundo SQUISSATO (2012), na etapa de avaliação da exposição são avaliados todos os possíveis caminhos de exposição, analisando desde a fonte até o receptor, e as populações potencialmente expostas, tanto dentro quanto fora da área de interesse. Em suma, nesta fase devem ser identificados os pontos de exposição, processos de transporte prováveis (Figura 8), vias de ingresso dos contaminantes nos organismos expostos (inalação, ingestão e contato dérmico), distância entre a fonte e receptor, dentre outros dados a serem utilizados na quantificação do risco e da exposição.

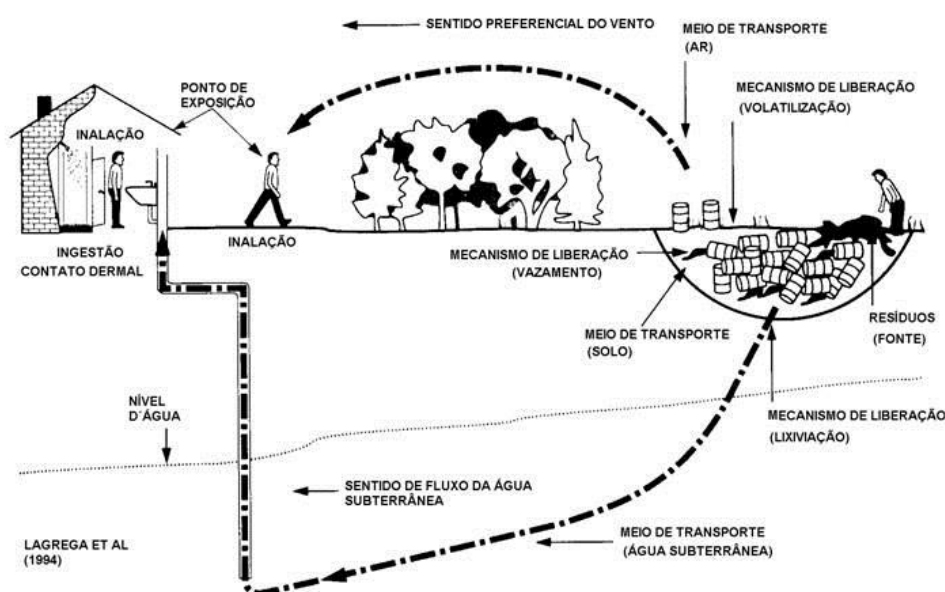


Figura 8 – Principais vias de ingresso
Fonte: Adaptado de LaGREGA (1994)

Segundo BARROS & CARVALHO (2010), o entendimento do comportamento das plumas de contaminação nos caminhos de exposição, passa pelo entendimento das características envolvidas nos processos de transporte dos contaminantes.

A fase livre ao migrar verticalmente pela zona não saturada do solo é parcialmente retida em pequenas porções isoladas que, devido a sua baixa mobilidade, são liberadas de forma lenta e contínua para a fase dissolvida (BARROS & CARVALHO, 2010).

Segundo FETTER (2000) os principais mecanismos de transporte de contaminantes em água subterrânea são: difusão, advecção, dispersão, retardamento e degradação natural.

O processo de difusão ocorre quando as moléculas ou íons passam da porção mais concentrada para a menos concentrada, formando um gradiente de concentração (FETTER, 2000).

A advecção é o transporte dos solutos dissolvidos pelo fluxo de água, ou seja, os contaminantes se movimentam na mesma taxa da velocidade linear média da água subterrânea (FETTER, 2000).

O fluxo de fluido contaminado pelo meio poroso misturando-se com a água não contaminada resulta na diluição do contaminante pelo processo de espalhamento, conhecido como dispersão. Como em água subterrânea este mecanismo está combinado a difusão molecular, esse fenômeno de espalhamento é conhecido como dispersão hidrodinâmica (FETTER, 2000).

Segundo FETTER (2000), embora na maioria dos casos os mecanismos anteriores são mais significantes, também precisam ser compreendidos e analisados os processos de retardamento (relacionado com reatividade do soluto com o meio) e de degradação natural, por serem de grande importância para o entendimento do comportamento dos contaminantes, visando a adoção de medidas de intervenção.

Portanto, compreendidos os processos de transporte envolvidos nos caminhos de exposição, pode-se avaliar quais são os receptores em potencial e a partir daí, como esse receptor reage a determinada exposição através das vias de ingresso.

A quantificação da concentração química dos CQI's que potencialmente será assimilada por organismos receptores por determinado caminho de exposição é chamado de cálculo de ingresso (CETESB, 2001). A estimativa da dose de ingresso pode ser obtida por meio de uma equação matemática genérica (USEPA, 1989):

$$I = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$$

onde:

I: dose de ingresso (mg/kg de peso corporal-dia);

C: concentração média do composto químico no meio (mg/L);

CR: taxa de contato para o caminho de exposição (L/dia);

EF: frequência da exposição (dias/ano);

ED: duração da exposição (dias/ano);

BW: peso corporal (kg);

AT: tempo médio de exposição (dias).

Conforme TAKEUCHI (2008), a etapa de avaliação da toxicidade consiste em um estudo dos efeitos adversos à saúde humana relacionados à exposição do organismo a um composto químico durante determinado período. Esta etapa pode ser dividida em duas partes: identificação do perigo e determinação da dose resposta.

Segundo MALUF (2009), os compostos são avaliados de acordo com seu potencial carcinogênico com base na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF – *slope factor*) acompanhado do peso de evidência de ocorrência do câncer. Os valores toxicológicos são expressos em risco por unidade de concentração do tóxico presente no meio a qual o organismo receptor está exposto, através da equação (USEPA, 1989):

$$UR = SF \times \frac{CR}{BW}$$

onde:

SF: fator de carcinogenicidade (1/mg/kg-dia);

CR: taxa de contato para o caminho de exposição (L/dia);

BW: peso corporal (kg);

Já para compostos tóxicos, porém não carcinogênicos, são calculadas as Doses de Referência (RfD - *Reference dose*), parâmetro toxicológico que pode se apresentar em

diferentes formas dependendo da via de exposição (ingestão, inalação ou contato dérmico) e de extensão da exposição (crônica, subcrônica ou eventos simples) (MALUF, 2009).

Para tanto, a RfD pode ser calculada por meio da equação (USEPA, 1989):

$$RfD = \frac{MNEN \text{ ou } MNEO}{UFI \times FM}$$

onde:

MNEN: maior nível efeito adverso não observado (mg/kg-dia);

MNEO: menor nível efeito adverso observado (mg/kg-dia);

UFI: fator de incerteza;

FM: fator de modificação.

A caracterização do risco é a etapa que integra todas as demais buscando quantificar os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos à saúde humana, levando em consideração a exposição individual ou simultânea aos CQI's relacionados, considerando os receptores em potencial e os caminhos de exposição identificados no modelo conceitual teórico. (SQUISSATO, 2012).

Para compostos carcinogênicos, a quantificação do risco (probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer ao longo da sua vida) é obtida a partir da dose de ingresso para determinado caminho de exposição a que o organismo está potencialmente exposto e do fator de carcinogenicidade relacionado (MALUF, 2009):

$$Risco = I_n \times SF$$

onde:

I_n = dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg de peso corporal-dia).

Os efeitos não carcinogênicos são representados por um Quociente de Perigo não Carcinogênico (HQ), que faz a comparação que compara o nível de exposição (I_n) com a Dose de Referência (RfD) para o mesmo período de tempo (MALUF, 2009):

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \times SF$$

Onde:

I_n = dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg de peso corporal-dia).

RfD_n = dose de referência para a via de ingresso “i” (mg/kg de peso corporal-dia).

Após a síntese de todos os dados são calculadas as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA's - SSTL's – *Site-Specific Target Levels*) para cada caminho de exposição. Esses resultados são comparados com as concentrações dos CQI's coletadas na área sob investigação para se determinar se há necessidade de ações, fornecendo informações para o gerenciamento adequado da área contaminada.

3.6 PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DA CETESB

A CETESB, por meio da Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E de 22 de junho de 2007, disponibilizou planilhas a serem utilizadas para avaliação de risco em áreas contaminadas, buscando padronizar e otimizar a execução dos estudos de avaliação de risco do estado de São Paulo, se tornando principal referência em todo o país.

A partir destas planilhas, é possível quantificar o risco à saúde humana em áreas contaminadas e determinar as CMA's (concentrações máximas aceitáveis) de cada um dos Compostos Químicos de Interesse (CQI's) e, com isso, servir como base de informações para o gerenciamento de áreas contaminadas. São avaliados o meio físico de exposição (solo, água e sedimento), as vias de ingresso (inalação, contato dérmico e ingestão, por exemplo), os receptores presentes (criança ou adulto), e o ponto de exposição (receptor na fonte ou fora da fonte).

A FEAM também disponibilizou planilhas que utilizam a mesma metodologia para avaliação de risco, porém ainda se encontram em fase de aprimoramento e, com isso, apresentam algumas falhas técnicas que impossibilitaram a sua utilização.

A CETESB disponibiliza 4 planilhas considerando os diferentes cenários de exposição: Residentes em Áreas Urbanas (crianças e adultos), Residentes em Áreas Rurais (crianças e adultos), Trabalhadores Comerciais/Industriais e Trabalhadores em Obras Cívicas.

O desenvolvimento das planilhas foi baseado no método RBCA - *Risk-Based Corrective Action* regulamentada no documento RAGS – *Risk Assessment Guidance for Superfund* (USEPA, 1989)

Dentre as equações utilizadas na formulação matemática das planilhas podem-se destacar as equações para transporte de contaminantes em meio saturado (DOMÊNICO, 1987), equações para transporte de contaminantes em meio não saturado (JURY E JOHNSON, 1991), equações para intrusão de vapores (JOHNSON E ETINGER, 1992) e para transporte e absorção de compostos orgânicos pelas plantas (TRAPP, 2002) e (TRAPP E MATTHEIS, 1995).

4. MÉTODOS

Considerando a situação atual do empreendimento, serão avaliados neste trabalho os cenários de exposição para os trabalhadores comerciais/industriais (trabalhadores do próprio posto), e para os residentes em áreas urbanas (residentes nas proximidades da área contaminada).

Para tanto, foram coletados todos os estudos e informações pertinentes sobre o empreendimento e seu entorno, principalmente laudos laboratoriais contendo as concentrações dos CQI's presentes no solo e água subterrânea.

A partir daí, esses dados foram utilizados nas planilhas de avaliação de risco da CETESB visando à determinação da existência de risco a saúde humana e obtenção das CMA's correspondentes.

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada previamente uma revisão na literatura sobre postos de combustíveis, contaminação de solo e água subterrânea, análise de risco, bem como na legislação pertinente como normas e deliberações relacionadas ao tema.

Também foi realizado um levantamento de todos os estudos realizados no empreendimento, visando o mapeamento das fontes de contaminação e conhecimento aprofundado da área.

4.1.1 HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO

Foram realizadas pesquisas com os responsáveis pelo empreendimento e seus funcionários, com o objetivo de identificar as atividades anteriormente desenvolvidas na área de estudo.

Conforme informações contidas nos relatórios anteriores (POSTO A, 2014), inicialmente foi identificada a ocorrência de vazamento no tanque de armazenamento de álcool em 2003, detectado a partir do teste de estanqueidade periódico realizado pela empresa.

Durante o processo de licenciamento ambiental, foram realizados estudos de Investigação Preliminar e Confirmatória de Passivos Ambientais em 2006 e Dezembro de 2007, e uma

Análise de Risco Ambiental, que indicou que alguns compostos (Benzo (a) Antraceno, Benzeno, Etilbenzeno e Xilenos) ultrapassaram os valores de comparação da lista da CETESB, indicando a existência de vazamentos em outros tanques e linhas.

As concentrações dos compostos não ultrapassaram os SSTL's (*Site Specific Target Levels* - Valores Alvo Específicos da Área) para cada CQI. No relatório, foi recomendado o monitoramento destes compostos com a construção de 3 poços de monitoramento.

Em 2012, nas obras de reforma e retirada dos tanques de armazenamento, foi realizada nova Investigação Confirmatória do Passivo Ambiental, e com isso, novas sondagens e construção de novos poços de monitoramento (PM 01, PM 02 e PM 03), em virtude da desativação dos antigos poços de monitoramento.

Em comparação com os valores de referência da CETESB/SP, DN 420 do CONAMA e DN 166/2011 COPAM, os compostos xileno (PM 01), fenantreno (PM 01) e benzeno (PM 03) ultrapassaram o limite. Desta forma, concluiu-se que a área apresentava indícios de uma nova contaminação.

Em 2014, após solicitação da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais, por meio da Gerência de Áreas Contaminadas, iniciou-se a Investigação Ambiental Detalhada, visando mapear a contaminação identificada nos estudos de investigação ambiental confirmatória, e complementar o modelo conceitual da área, possibilitando a elaboração do plano de intervenção da área impactada.

Com isso, foram construídos mais oito poços de monitoramento (PM 04, PM 05, PM 06, PM 07-1, PM 07-2, PM 08, PM 09, PM 10, PM 11-1 E PM 11-2), localizados dentro da área do empreendimento, sendo dois deles multi-níveis (PM 07 e PM 11).

Neste estudo foi identificada a presença de Fase Livre no poço de monitoramento PM 04 e Fase Dissolvida nos poços de monitoramento PM 01, PM 05, PM 06 e PM 07, considerando que estes apresentaram valores superiores aos CMA's utilizados como referência pela Decisão da Diretoria 263/2009 CETESB.

As plumas de contaminação foram elaboradas também, conforme orientado pela CETESB (2009).

Considerando a identificação da Fase Livre e a caracterização do risco existente, recomendou-se iniciar um processo de descontaminação/remediação da área em caráter

emergencial uma vez, que esta representa risco imediato aos trabalhadores do local e demais ocupantes da área.

Já em 2017, foram iniciados os trabalhos de complementação do modelo conceitual da área, visando à delimitação da pluma de fase livre encontrada (POSTO A, 2017).

Com isso, foram construídos cinco poços de monitoramento adicionais (PM 12, PM 13, PM 14, PM 15 e PM 16), conforme Figura 9.

Assim como na etapa de investigação detalhada, foram coletadas amostras de solo e água subterrânea a serem enviadas para o laboratório para análise de BTEX e HPA e comparadas com os valores orientados da Resolução CONAMA 420/2009, COPAM 166/2011 e COPAM/CERH 02/2010, e também valores orientadores de intervenção da Decisão Diretoria 256/2016/E CETESB.

Visando um diagnóstico completo, foram coletadas amostras de água subterrânea em todos os poços, inclusive nos poços já existentes.

Com relação às amostras de solo coletadas, a sondagem S 12 apresentou concentrações de Benzeno e Etilbenzeno acima dos valores orientadores. A amostra coletada na sondagem S 16 também apresentou concentração acima dos valores orientadores para o composto Benzeno (Figuras 10 e 11).

Já nas amostras de água subterrânea, foram encontradas fase livre de combustíveis nos poços PM 04, PM 12 e PM 15 (Figura 12), as quais não foram encaminhadas para o laboratório. Também foi caracterizada fase dissolvida nos poços PM 05 (Benzo (a) Antraceno) e PM 16 (Benzeno, Etilbenzeno, Xilenos, Benzo (a) Antraceno e Naftaleno) conforme Figuras 12 a 17.

Cabe ressaltar que não foram considerados para a determinação do sentido de fluxo subterrâneo os poços que apresentaram fase livre uma vez que para compensação da depleção do nível do lençol freático dentro do poço causado pela espessura da fase livre, se faz necessário o conhecimento da sua espessura, o que não foi possível identificar em dois poços (PM 04 e PM 12) os quais apresentaram apenas fase livre.

Considerando que o poço PM 16 está a fluxo montante da fonte principal de contaminação (tanques de armazenamento retirados), as concentrações encontradas (fase dissolvida e fase

retida) indicam a existência de outra fonte, caracterizada por vazamentos em antigas tubulações que ligavam os tanques às bombas e que passavam próximo ao poço.

As plumas de contaminação das fases livre, retida e dissolvida, foram elaboradas conforme a Decisão de Diretoria N° 263/2009/P da CETESB/SP.

Assim como no estudo anterior, foi recomendada a intervenção imediata da área visando a retirada da fase livre de combustíveis via sistema adequado de remediação.

Em Setembro de 2017, foram iniciados os trabalhos de remediação da área com a instalação de um Sistema de Extração Multifásica (MPE – *Multi-Phase Extraction*), com objetivo de remover tanto a fase livre, quanto a fase dissolvida e fase vapor.

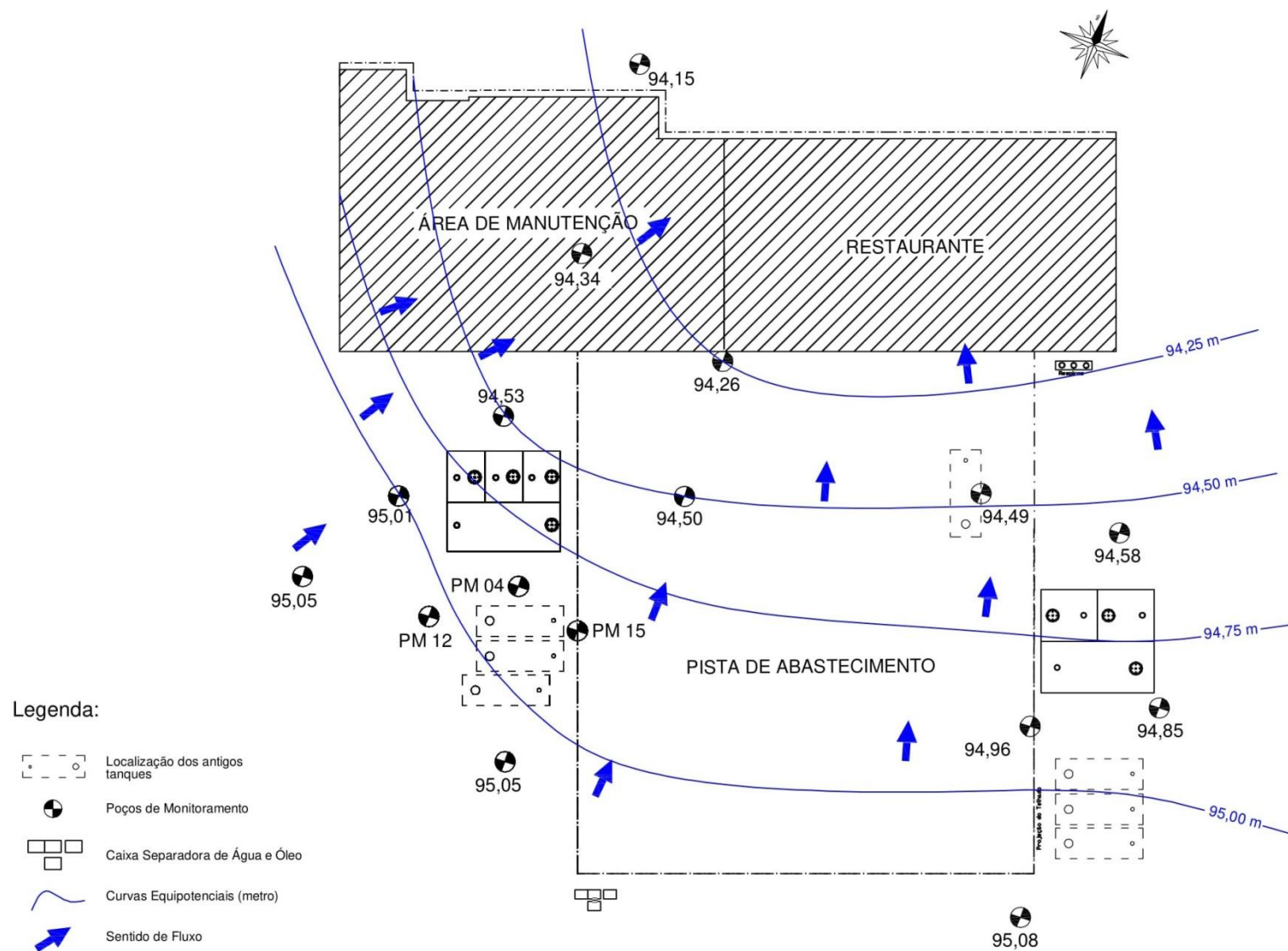


Figura 9 – Croqui de localização dos poços de monitoramento e sentido de fluxo subterrâneo
 Fonte: Elaborado pelo autor

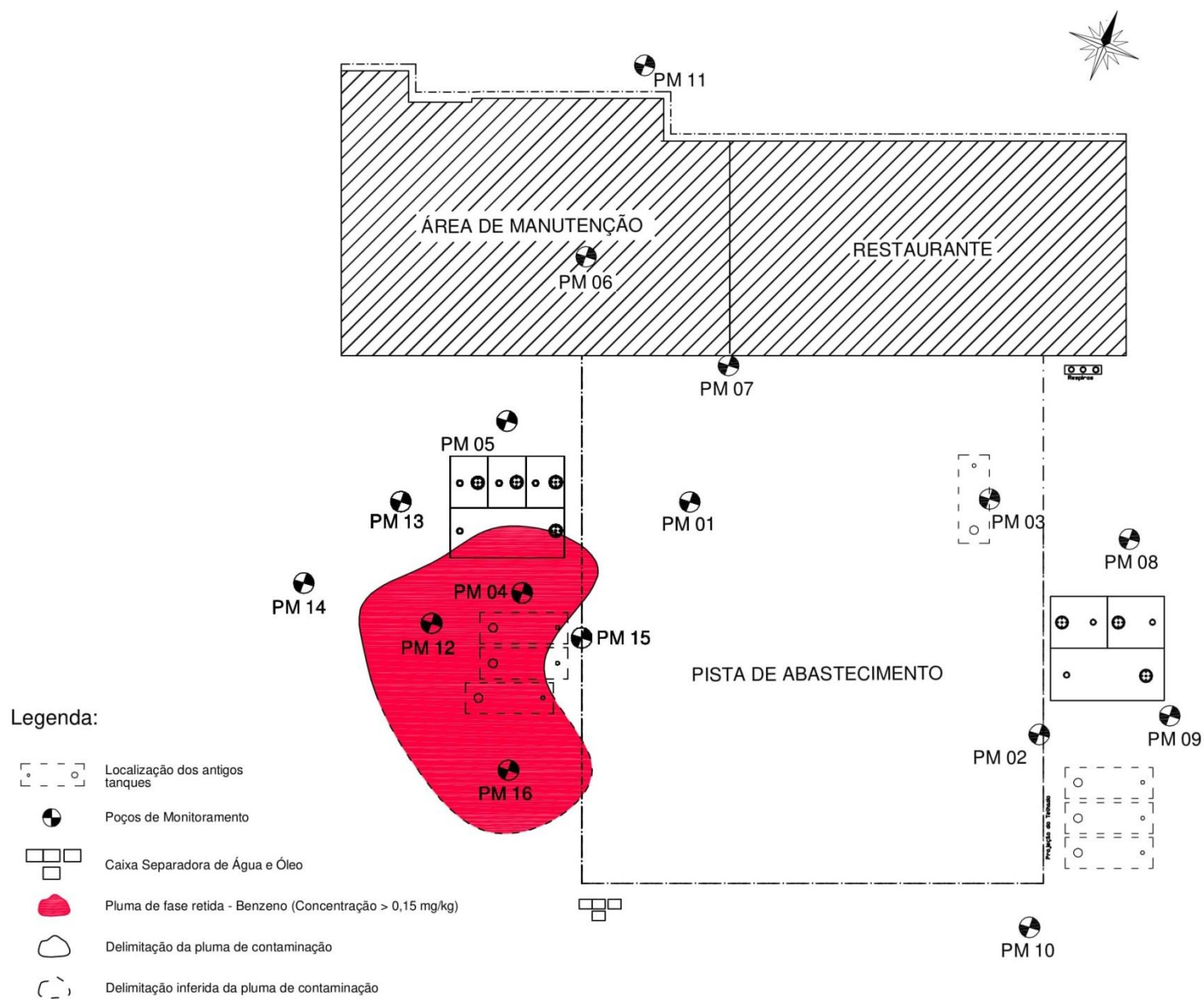


Figura 10 – Pluma de fase retida de benzeno
Fonte: Elaborado pelo autor

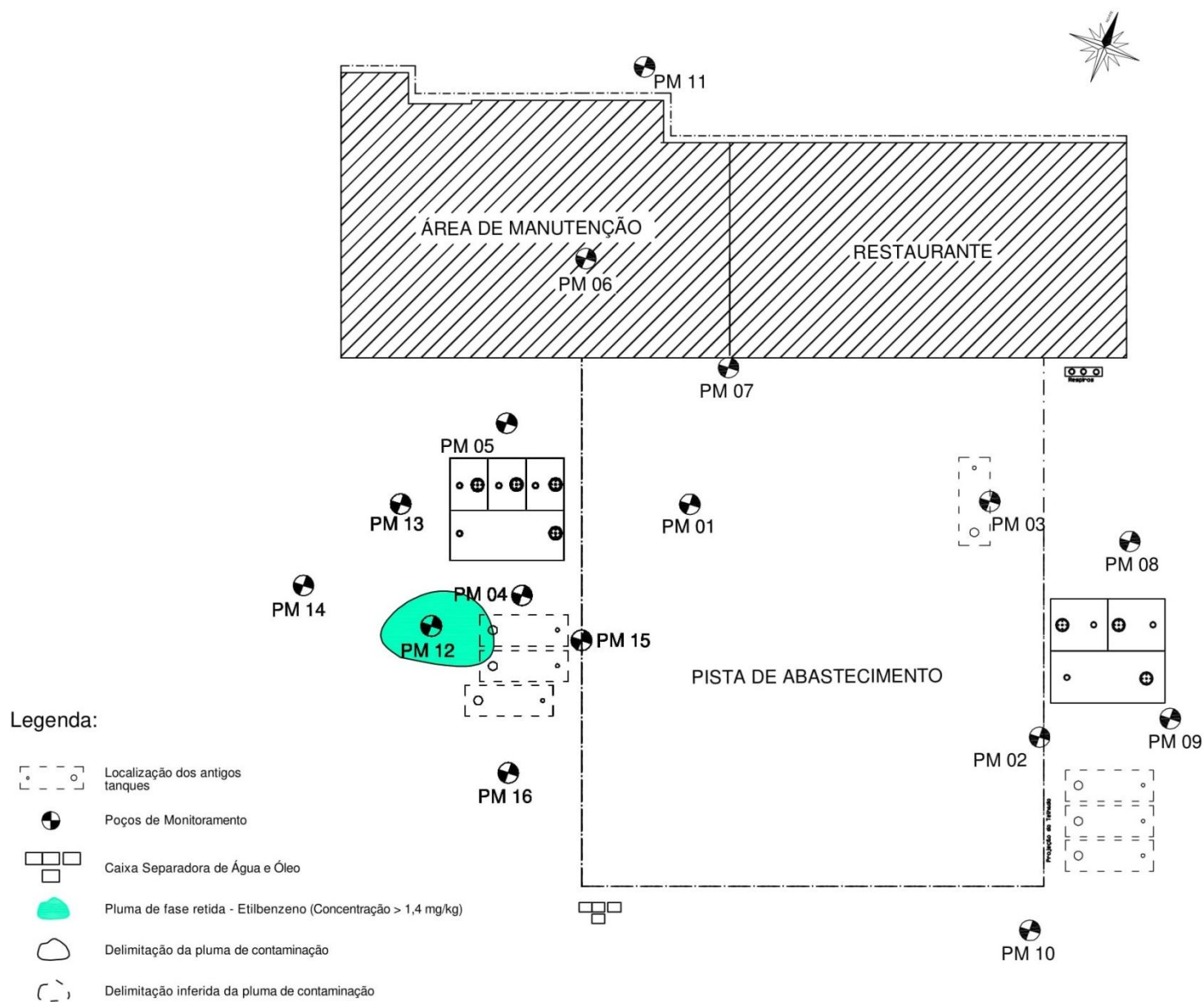


Figura 11 – Pluma de fase retida de etilbenzeno
Fonte: Elaborado pelo autor

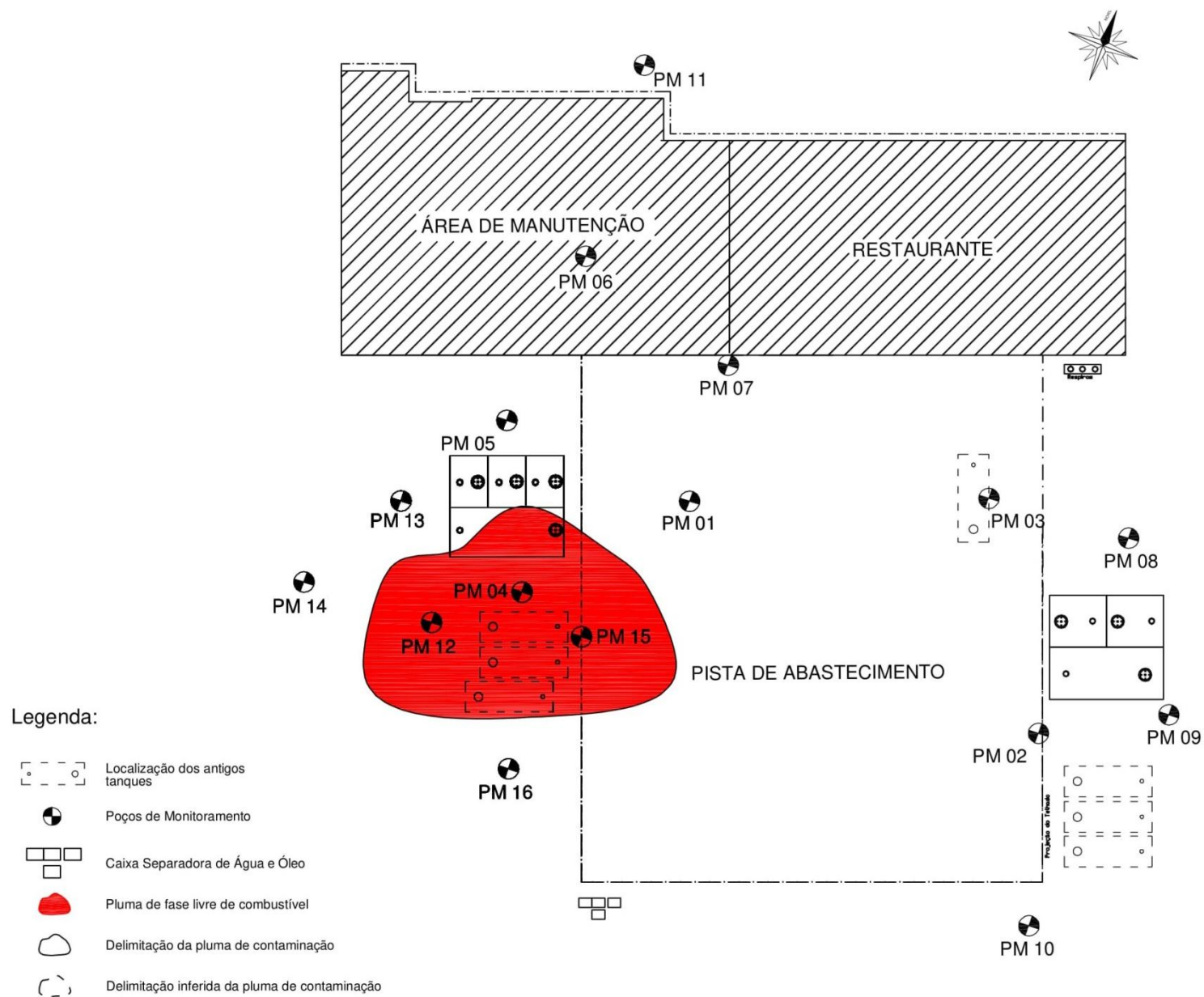


Figura 12 – Pluma de fase livre
 Fonte: Elaborado pelo autor

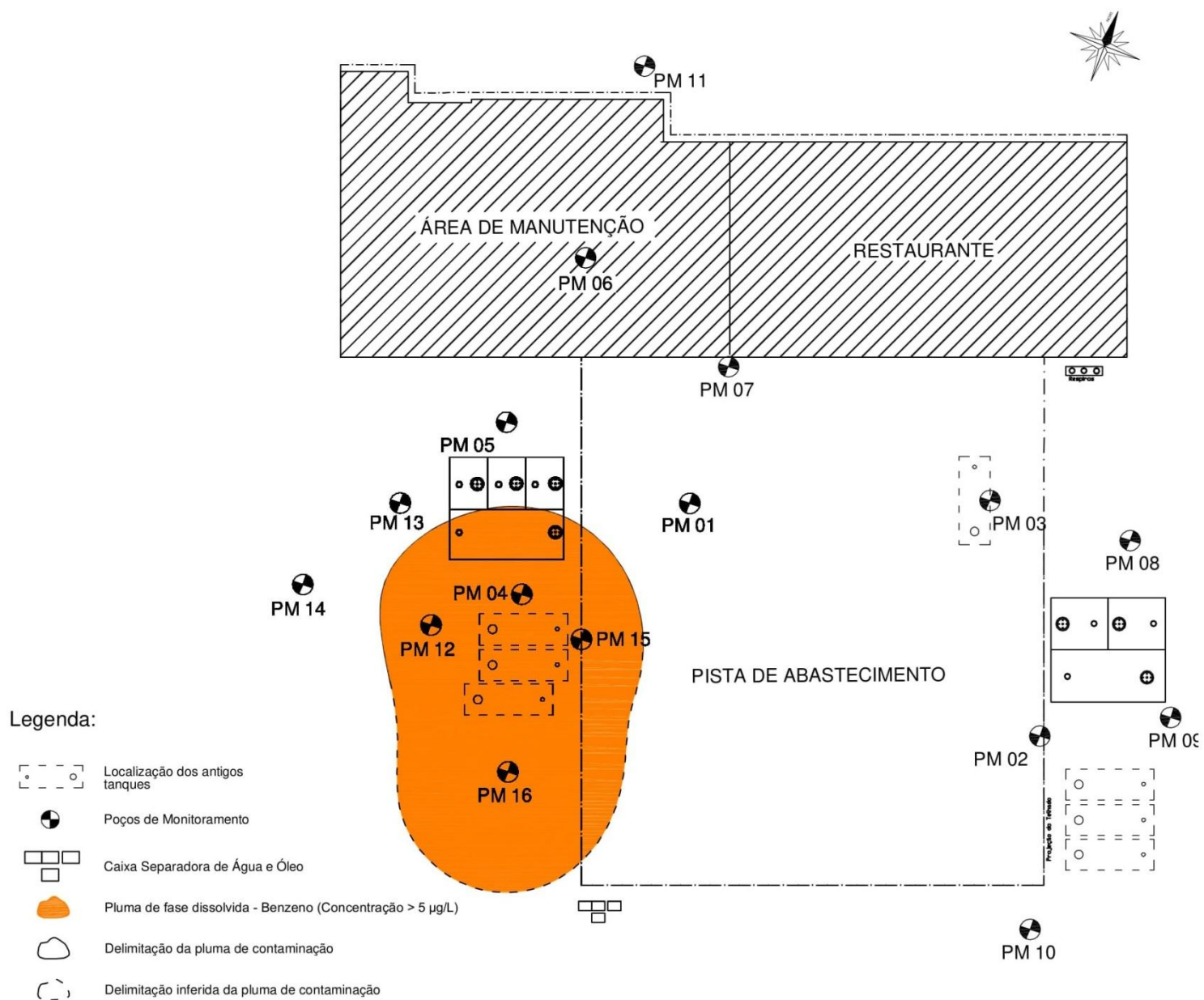


Figura 13 – Pluma de fase dissolvida de benzeno
Fonte: Elaborado pelo autor

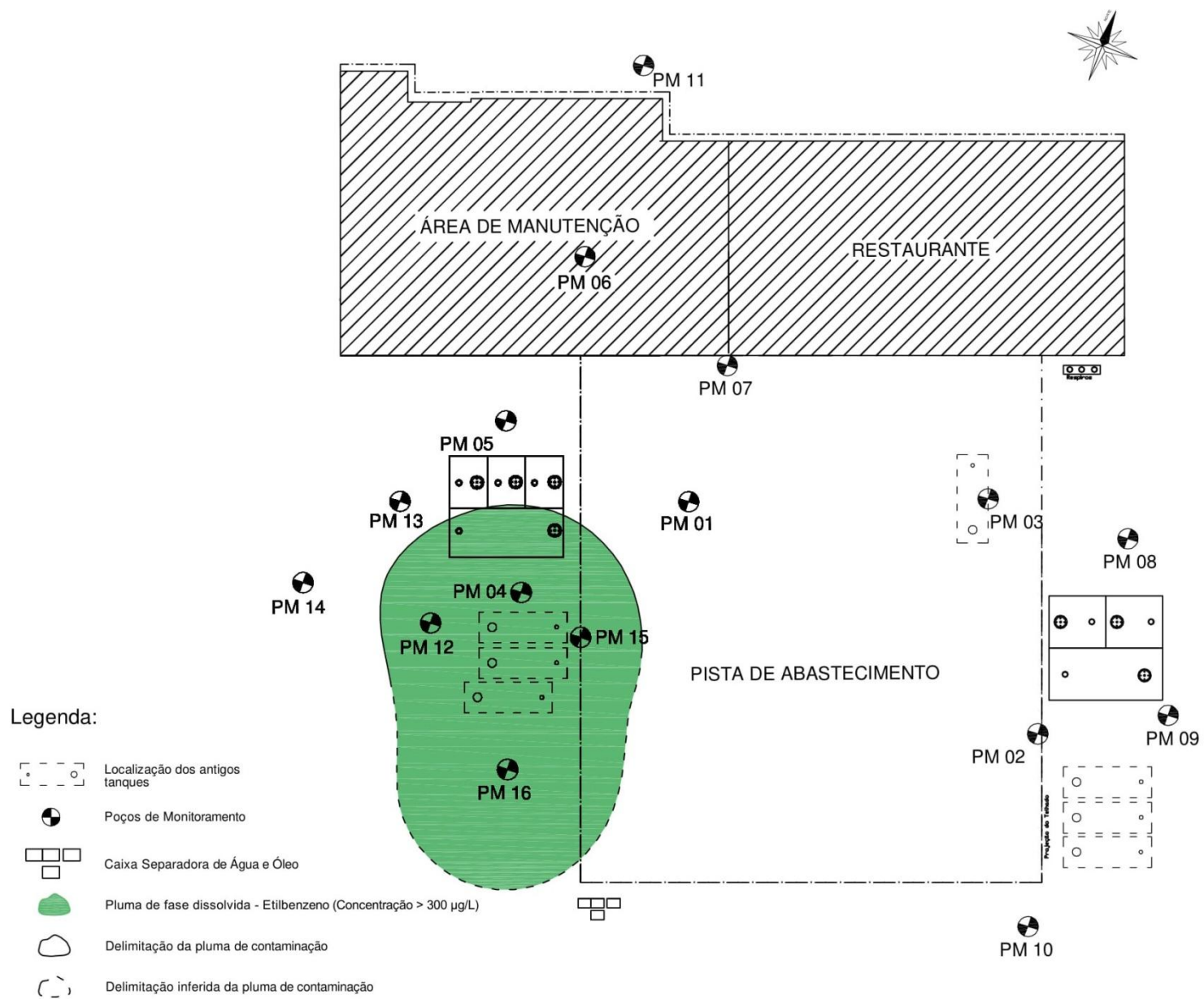


Figura 14 – Pluma de fase dissolvida de etilbenzeno
Fonte: Elaborado pelo autor

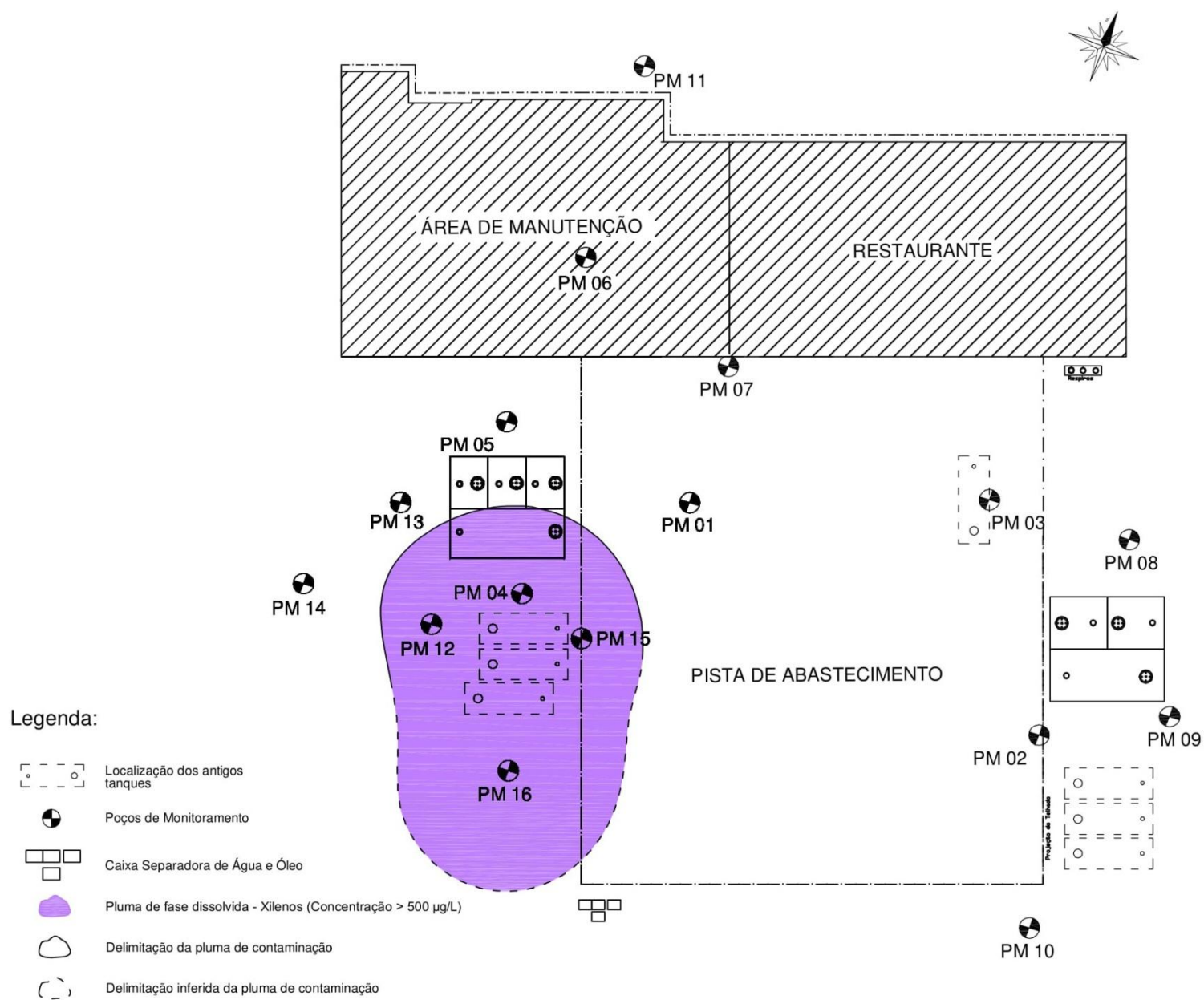


Figura 15 – Pluma de fase dissolvida de xilenos
Fonte: Elaborado pelo autor

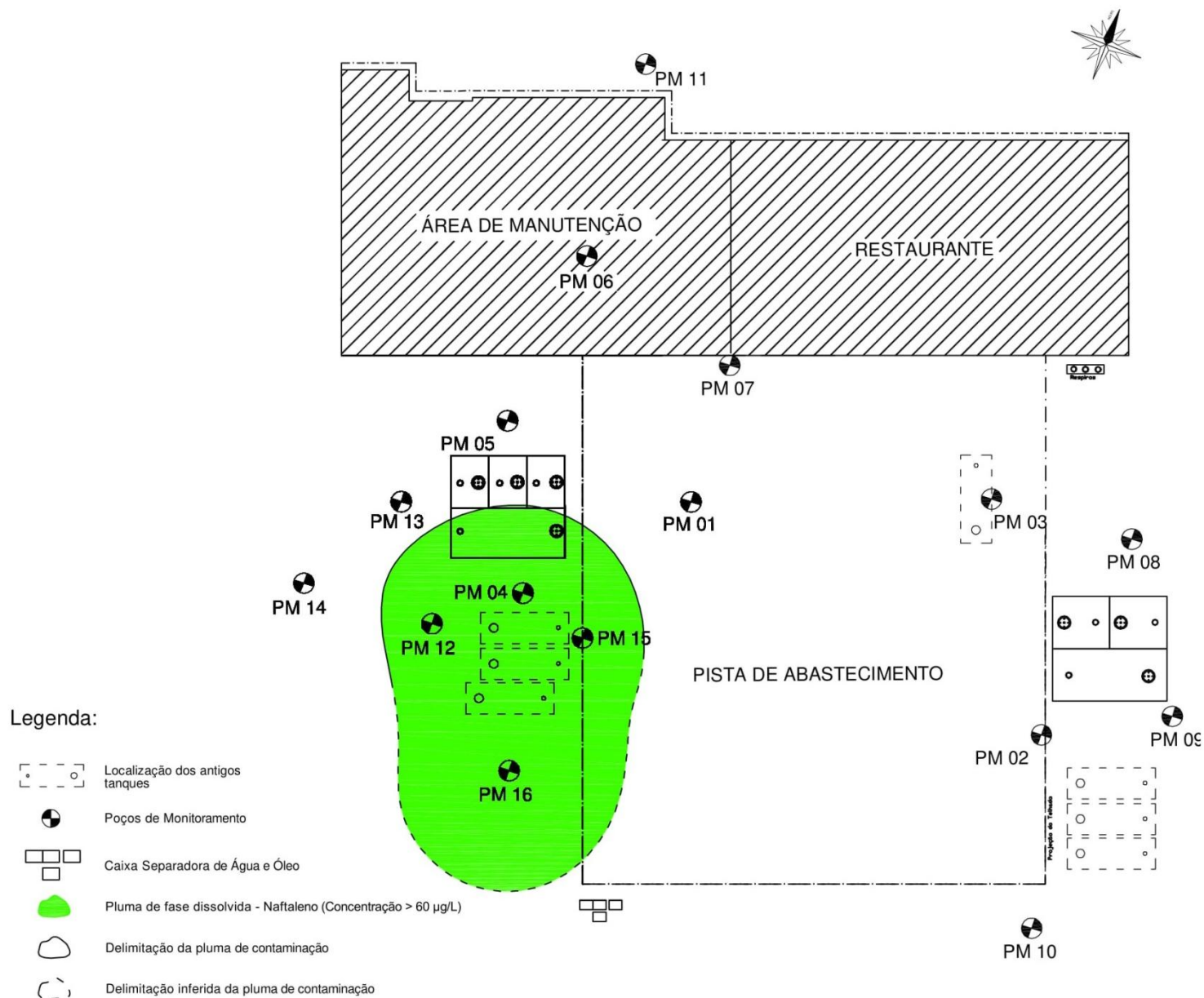


Figura 16 – Pluma de fase dissolvida de naftaleno
Fonte: Elaborado pelo autor

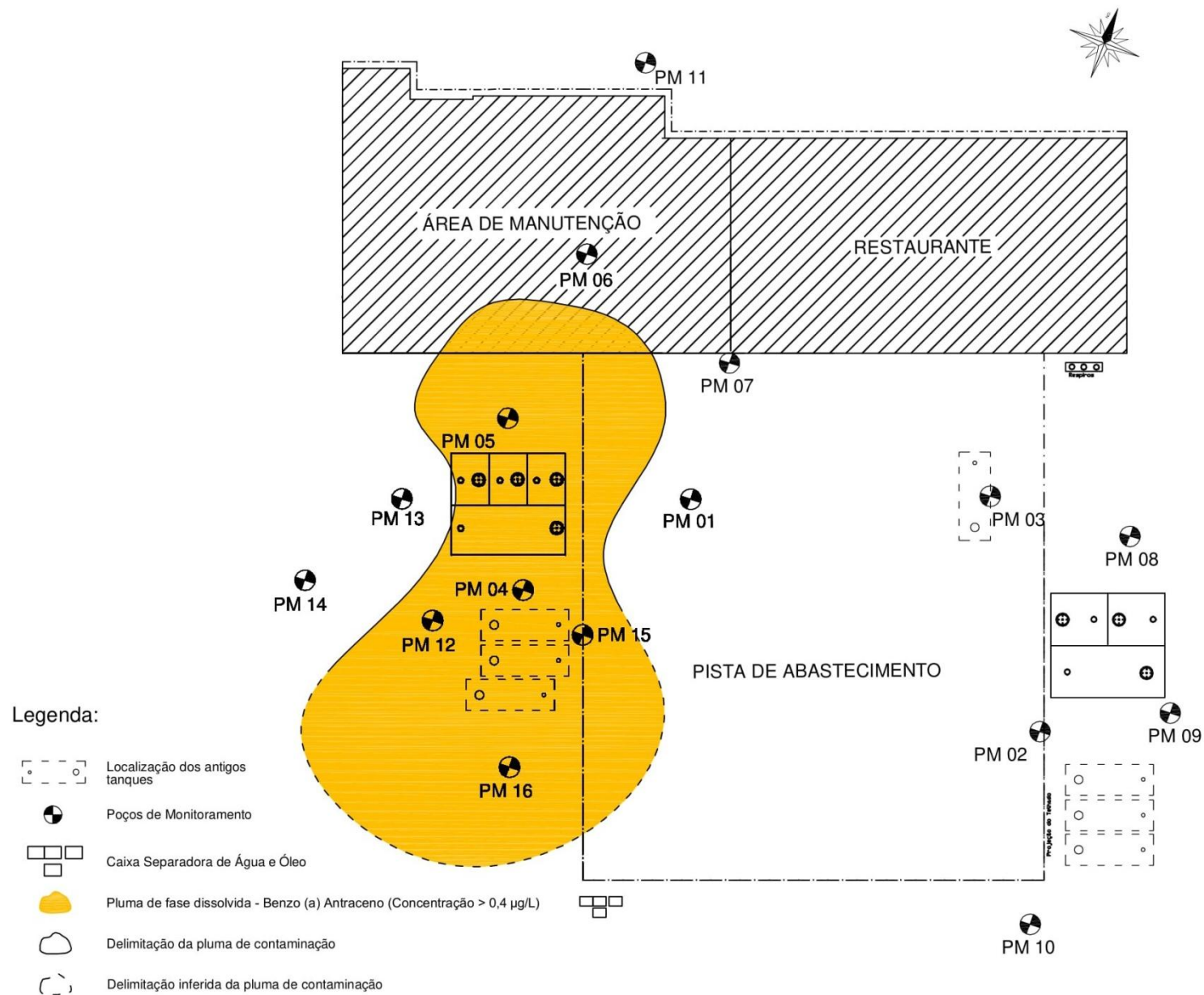


Figura 17 – Pluma de fase dissolvida de benzo (a) antraceno
 Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 COLETA DE DADOS

Os dados referentes à situação da contaminação no solo e água subterrânea foram obtidos a partir dos laudos laboratoriais mais recentes realizados no empreendimento (POSTO A, 2017).

As amostras foram coletadas durante a construção dos poços de monitoramento e durante a etapa de complementação da investigação detalhada realizada no empreendimento em 2017. As coletas foram realizadas com o auxílio do equipamento de sondagem composto por uma perfuratriz elétrica dotada de hastes e trados com diâmetro de quatro polegadas (Figura 18).



Figura 18 – Realização das sondagens
Fonte: Elaborada pelo autor

As sondagens que definiram a localização dos poços de monitoramento foram estrategicamente locadas no entorno da área que apresentou, no estudo de investigação detalhada de passivos ambientais realizado em 2014, fase livre de combustíveis. O sentido de fluxo das águas subterrâneas também influenciou na definição da localização dos poços.

Durante a realização das sondagens em campo, foram coletadas duas amostras de solo a cada metro perfurado (Figura 19), uma para a medição instantânea de COV (Figura 20) e outra que ficou armazenada em uma caixa térmica refrigerada para a conservação da mesma até a definição de qual perfil seria encaminhado para as análises químicas em laboratório.

Quanto a geologia da região, ocorrem gnaisses e migmatitos de composição TTG (tonalito-trondhjemitó-granodiorito) intrudidos por granitóides de idades arqueanas. O solo apresenta granulometria variando entre siltosa a arenosa, característica de solos residuais.



Figura 19 – Coleta das amostras de solo
Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 20 – Medição instantânea de COV
Fonte: Elaborada pelo autor

Para a perfuração dos poços de monitoramento (PM), foi formalizado junto a SUPRAM Leste de Minas, processo para emissão da Autorização para perfuração dos poços. A

construção destes poços foi realizada em conformidade com a ABNT NBR 13895 (ABNT, 1997).

Para coleta de água foram utilizados amostradores de água subterrânea descartáveis fabricados em polietileno de alta qualidade (*bailer*), adequados para manter as características químicas dos contaminantes (Figura 21). Para obtenção de amostras representativas, foi retirado o volume da água estagnada no interior do poço de monitoramento (purga) em conformidade com a norma ABNT NBR 15847 (ABNT, 2010).



Figura 21 – Coleta de água utilizando o bailer – fase livre
Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 TRATAMENTO DOS DADOS

A primeira etapa para entrada dos dados nas planilhas de avaliação de risco da CETESB foi a elaboração do Modelo Conceitual de Exposição, onde foram relacionados todos os caminhos de exposição com as vias de ingresso.

Para trabalhadores comerciais/industriais, buscou-se avaliar o risco a saúde humana os quais foram expostos os próprios funcionários do empreendimento (receptores na fonte e fora da fonte) para os caminhos de exposição do solo e água subterrânea.

Para os residentes no entorno (receptores fora da fonte), foi avaliada somente a água subterrânea como caminho de exposição, considerando adultos e crianças como receptoras.

Posteriormente, foram inseridos todos os CQI's avaliados nas análises laboratoriais, de acordo com seu número de registro no CAS (*Chemical Abstracts Service*), encontrado no banco de dados da planilha. Este banco de dados carrega todos os parâmetros físico-químicos e toxicológicos pertinentes para o cálculo da quantificação do risco a saúde humana.

Também foram utilizados dados sobre o meio físico da área de estudo, buscando maior representatividade dos resultados, sendo que parte destes parâmetros foram coletados em campo, próximo da fonte de contaminação. Porém, para efeitos de simplificação, para alguns parâmetros, foram utilizados valores de referência da CETESB presentes no banco de dados.

Por fim, foram inseridas as concentrações dos CQI's obtidas nos laudos laboratoriais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. MODELOS CONCEITUAIS DE EXPOSIÇÃO

As tabelas 3 e 4 apresentam o modelo conceitual de exposição elaborado nas planilhas, relacionando o meio físico contaminado com os caminhos de exposição e suas vias de ingresso no organismo humano para os públicos expostos (trabalhadores comerciais/industriais e residentes no entorno).

A primeira coluna da Tabela 3, apresenta o meio físico a ser analisado. A coluna seguinte contém as vias de ingresso possíveis através do meio físico, sendo que, na terceira e quarta coluna são relacionados quais destas são pertinentes para receptores adultos dentro e fora da fonte.

Para a Tabela 4 foram adicionadas a quinta e a sexta coluna levando em consideração também as crianças como receptores.

Tabela 3 - Modelo Conceitual de Exposição – Trabalhador Comercial/Industrial

MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO							
MEIO FÍSICO			VIAS DE INGRESSO			TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL	
						ADULTO	
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL
					PARTICULAS		
				CONTATO DERMICO			
				INGESTÃO			
		INGESTÃO DE VEGETAIS					
		SUBSUPERFICIAL	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS	x	x
					AMBIENTES FECHADOS	x	x
			INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO			NÃO APLICÁVEL	x
	ÁGUA	SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS	x	x
					AMBIENTES FECHADOS	x	x
			USO IRRESTRITO	CONTATO DIRETO	CONTATO DERMICO	x	x
					INGESTÃO	NÃO APLICÁVEL	x
		SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO		NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL
				INGESTÃO			
				CONTATO DERMICO			
		SEDIMENTO	INGESTÃO			NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL
	CONTATO DERMICO						

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

Tabela 4 – Modelo Conceitual de Exposição – Residencial Urbano

MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO														
MEIO FÍSICO			VIAS DE INGRESSO			RESIDENCIAL URBANO								
						CRIANÇA		ADULTO						
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA FONTE	RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA FONTE					
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL					
					PARTICULAS									
				CONTATO DERMICO										
				INGESTÃO										
				INGESTÃO DE VEGETAIS										
		SUBSUPERFICIAL	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS									
					AMBIENTES FECHADOS									
			INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO											
	ÁGUA	SUBTERRÂNEA	INALAÇÃO		AMBIENTES ABERTOS	NÃO APLICAVEL	X	NÃO APLICAVEL	X					
					AMBIENTES FECHADOS									
			USO IRRESTRITO	CONTATO DIRETO	CONTATO DERMICO					X	X	X		
					INGESTÃO								X	
			SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO					NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL		NÃO APLICAVEL
					INGESTÃO									
			CONTATO DERMICO											
			SEDIMENTO	INGESTÃO						NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	NÃO APLICAVEL	
CONTATO DERMICO														

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

5.2. MODELO DO MEIO FÍSICO

As tabelas 5 e 6 apresentam os dados do meio físico utilizados como entradas nas planilhas para quantificação do risco, para os dois receptores avaliados neste estudo.

Tabela 5 – Planilha de entrada de dados do meio físico para receptores comerciais e industriais

PLANILHA DE ENTRADA DE DADOS				
DESCRIÇÃO	UNIDADE	TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL		
		Referência CETESB	VALORES ESPECÍFICOS	VALORES DE CÁLCULO
Cenários Associados a Intrusão de Vapores				
Área das Fundações	cm²	200000,00	16500000	16500000
Pé Direito	cm	300,00		300,00
Espessura das fundações/paredes de construções	cm	15,00		15,00
Cenários Associados a Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea				
Profundidade da Fonte no Solo Subsuperficial	cm	100	300,00	300
Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	cm	345	350,00	350
Largura do solo subsuperficial impactado	cm	4500	3.000,00	3000
Profundidade do Nível d'Água	cm	450	550	550,00
Temperatura da Água Subterrânea	K	298		298,00
Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	4500	2500	2500
Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200	400	400
Porosidade Total	-	0,460		0,460
Densidade do Solo	g/cm3	1,300		1,300
Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/g-solo	0,003		0,0030
Cenários Associados a Lixiviação do Solo Subsuperficial para Água Subterrânea				
Taxa de infiltração no Solo	cm/ano	66,10		66,10
Cenários Associados ao Contato Direto com Solo superficial				
Espessura do Solo Superficial Impactado	cm	100	0,00	0
Área de Emissão de Vapores	cm²	20250000	0,00	0
Largura do solo superficial impactado	cm	4500	0,00	0
Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado				
Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	200	145,00	145
Largura da Fonte	cm	4500	300,00	300
Gradiente Hidráulico	-	0,050	0,084	0,084
Condutividade Hidráulica	cm/dia	11,23	8,64	8,64
Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4500		4500
Porosidade Efetiva	cm3/cm3	0,120		0,120

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

Para algumas situações foram utilizados os dados de referência da CETESB, tendo em vista que alguns dos parâmetros foram considerados adequados ao ambiente estudado (pé direito, espessura das fundações/paredes de construções, temperatura da água subterrânea). Não se dispunha de dados de outros parâmetros importantes (porosidade total, densidade do solo, fração de carbono orgânico no solo e taxa de infiltração), e adotou-se igualmente os dados fornecidos pela mesma planilha.

A primeira e segunda coluna lista todos os parâmetros necessários para a quantificação do risco, bem como a unidade de entrada de cada parâmetro. A coluna seguinte apresenta os dados de referência da CETESB a serem utilizados na falta de dados específicos. Na quarta coluna são adicionados os dados específicos da área objeto de estudo. A quinta coluna contém os dados utilizados nos cálculos, sendo eles específicos ou de referência. Os dados específicos foram obtidos nos relatórios de Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada, e por meio de visitas *in loco*.

Tabela 6 – Planilha de entrada de dados do meio físico para receptores residentes

PLANILHA DE ENTRADA DE DADOS				
DESCRIÇÃO	UNIDADE	RESIDENCIAL URBANO		
		Referência CETESB	VALORES ESPECÍFICOS	VALORES DE CÁLCULO
Cenários Associados a Intrusão de Vapores				
Área das Fundações	cm²	200000,00	16500000	16500000
Pé Direito	cm	250,00		300,00
Espessura das fundações/paredes de construções	cm	10,00		15,00
Cenários Associados a Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea				
Profundidade da Fonte no Solo Subsuperficial	cm	100	300,00	300
Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	cm	345	350,00	350
Largura do solo subsuperficial impactado	cm	4500	3.000,00	3000
Profundidade do Nível d'Água	cm	450	550	550
Temperatura da Água Subterrânea	K	298		298,00
Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	4500	2500	2500
Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200	400	400
Porosidade Total	-	0,460		0,460
Densidade do Solo	g/cm3	1,300		1,300
Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/g-solo	0,003		0,0030
Cenários Associados a Lixiviação do Solo Subsuperficial para Água Subterrânea				
Taxa de infiltração no Solo	cm/ano	66,10		66,10
Cenários Associados ao Contato Direto com Solo superficial				
Espessura do Solo Superficial Impactado	cm	100	0,00	0
Área de Emissão de Vapores	cm²	20250000	0,00	0
Largura do solo superficial impactado	cm	4500	0,00	0
Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado				
Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	200	145,00	145
Largura da Fonte	cm	4500	300,00	300
Gradiente Hidráulico	-	0,050	0,084	0,084
Condutividade Hidráulica	cm/dia	11,23	8,64	8,64
Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4500	10000	10000
Porosidade Efetiva	cm3/cm3	0,120		0,120

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

5.3. RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS

As tabelas 7 e 8 ilustram os CQI's e as concentrações máximas encontradas nas amostras de solo subsuperficial e água subterrânea coletados durante a etapa de Investigação Detalhada (2014) e complementação (2017) no empreendimento.

Estes valores foram comparados com os Valores de Intervenção em áreas industriais da CETESB/SP, com os valores orientadores da DN nº 166/2011 COPAM (levando em conta que para os parâmetros analisados, tais valores da DN nº 420/2009 CONAMA e nº 166/2011 COPAM são idênticos).

Dentre os compostos analisados pelo laboratório, o Acenaftleno, o Benzo (g,h,i) Perileno e Fenantreno não constam no banco de dados das planilhas e, assim, não foram avaliados.

Os CQI's analisados foram listados na primeira coluna, sendo que na segunda coluna foram apresentados as máximas concentrações correspondentes. A terceira coluna descreve o ponto o qual foi realizada a coleta que apresentou a máxima concentração. Os valores de intervenção CETESB e valores orientadores DN nº 166/2011 estão relacionados na quarta e quinta coluna, respectivamente.

Tabela 7 – Resultados analíticos das amostras de solo subsuperficial

CQI	Máxima Concentração encontrada (mg/kg)	Sondagem/ Profundidade de coleta da amostra (m)	Valor de Intervenção CETESB (mg/kg)	Resolução nº 420/09 e DN nº 166/11 (mg/kg)
Benzeno	0,221	PM 04/5,40 ¹	0,2	0,15
Tolueno	2,0	PM 12/5,00	80	75
Etilbenzeno	3,1	PM 12/5,00	1,4	95
Xilenos	18,9	PM 12/5,00	19	70
Acenafteno	0,943	PM 12/5,00	-	-
Antraceno	0,589	PM 12/5,00	10000	-
Benzo(a)Antraceno	0,242	PM-07/5,30 ¹	22	65
Benzo(a)Pireno	0,290	PM-07/5,30 ¹	2,7	3,5
Benzo(b)Fluoranteno	0,398	PM-07/5,30 ¹	25	-
Benzo(k)Fluoranteno	0,036	PM-07/5,30 ¹	240	-
Criseno	0,150	PM-07/5,30 ¹	1600	-
Dibenzo(a,h)Antraceno	ND	-	2,9	1,3
Fluoranteno	0,367	PM-07/5,30 ¹	-	-
Fluoreno	1,568	PM 12/5,00	-	-
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	0,035	PM-07/5,30 ¹	30	130
Naftaleno	5,5	PM 12/5,00	5,9	90
Pireno	0,295	PM-07/5,30 ¹	-	-

¹ - coleta realizada na franja capilar.

ND – Não detectado em nenhuma amostra.

Fonte: Relatórios internos do empreendimento

Como no estudo de complementação realizado em 2017 foi realizada coleta de amostras de água subterrânea em todos os poços existentes, foram considerados apenas as concentrações máximas encontradas nesta etapa, desconsiderando os resultados anteriores.

Cabe ressaltar que como apresentaram fase livre os poços PM 04, PM 12 e PM 15, os quais se encontram mais próximos da principal fonte (tanques retirados), não foram coletadas amostras para análises laboratoriais, e assim, não entram apresentam dados para utilização na análise de risco.

Tabela 8 – Resultados analíticos das amostras de água subterrânea

CQI	Máxima Concentração encontrada (µg/L)	Poço de Coleta	Valor de Intervenção CETESB (µg/L)	Resolução nº 420/09 e DN nº 166/11 (mg/kg)
Benzeno	463	PM 16	5	5
Tolueno	185	PM 16	700	700
Etilbenzeno	498	PM 16	300	300
Xilenos	2985	PM 16	500	500
Acenafteno	22	PM 16	900	-
Antraceno	15	PM 16	-	-
Benzo(a)Antraceno	1,4	PM 05	0,4	1,75
Benzo(a)Pireno	0,086	PM 13	0,7	0,7
Benzo(b)Fluoranteno	ND	-	0,4	-
Benzo(k)Fluoranteno	ND	-	4,1	-
Criseno	0,77	PM 16	41	-
Dibenzo(a,h)Antraceno	ND	-	0,04	0,18
Fluoranteno	0,37	PM 16	-	-
Fluoreno	35	PM 16	-	-
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	ND	-	0,4	0,17
Naftaleno	251	PM 16	60	140
Pireno	2,1	PM 05	-	-

¹ - coleta realizada em poço multinível, na porção de menor profundidade.

ND – Não detectado em nenhuma amostra.

Fonte: Relatórios internos do empreendimento

5.4. QUANTIFICAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA

Os resultados da quantificação do risco a saúde humana avaliados pela planilha da CETESB foram organizados e apresentados nas Tabelas 9 a 12.

Na Tabela 9, a primeira coluna lista os CQI's avaliados e a segunda, o seu efeito no organismo (carcinogênico e/ou não carcinogênico). As duas colunas seguintes apresentam os resultados para a via de ingresso de inalação para os receptores na fonte de contaminação, em ambientes abertos e fechados. A quinta coluna apresenta a quantificação do risco pela via de ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo, avaliados para os receptores fora da fonte. As duas últimas colunas apresentam o somatório dos riscos de todas as vias de ingresso de cada CQI para os receptores dentro (somatório da terceira e quarta coluna).

Na Tabela 10, as quatro primeiras colunas contêm as mesmas informações apresentadas na Tabela 9. A quinta e oitava colunas apresentam os resultados para a via de ingresso por

contato dérmico do receptor dentro e fora da fonte. A sexta e a sétima exibem os resultados para a via de ingresso de inalação para os receptores fora da fonte, para ambientes abertos e fechados. A nona coluna contém os resultados para contato direto via ingestão da água subterrânea para os receptores fora da fonte. Assim como a tabela anterior, a décima coluna apresenta o somatório das vias de ingresso para receptores na fonte (soma da terceira, quarta e quinta coluna). A coluna seguinte contém o risco cumulativo para o receptores fora da fonte (somatório da sexta, sétima, oitava, e nona coluna).

As Tabelas 11 e 12 demonstram os resultados para os receptores residentes no entorno do empreendimento (apenas fora da fonte de contaminação), considerando crianças e adultos respectivamente.

Considerando o caminho de exposição solo subsuperficial, para os receptores Trabalhadores Industriais e Comerciais adultos na fonte, a via de ingresso por inalação em ambientes fechados apresentou risco carcinogênico para o composto Etilbenzeno. Este CQI também superou o risco cumulativo aceitável na fonte de contaminação.

No caminho água subterrânea para o mesmo grupo de receptores, o composto Benzeno apresentou risco carcinogênico cumulativo acima do aceitável.

Já considerando os receptores Residentes Urbanos fora da fonte de contaminação, tanto para adultos quanto para crianças, nas vias de ingresso avaliadas, todos os riscos calculados estão dentro dos limites máximos aceitáveis (carcinogênico e não carcinogênico).

Tabela 9 – Síntese das planilhas de quantificação do risco para o solo subsuperficial – Trabalhadores Comercial e Industrial Adultos

COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE	EFEITO	RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO		RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO	RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO	RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO
		INALAÇÃO		INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DO SOLO		
		AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS			
Benzeno	C	1,98E-08	3,16E-06	3,65E-07	3,18E-06	3,65E-07
	NC	2,43E-04	3,89E-02	4,78E-03	3,91E-02	4,78E-03
Tolueno	NC	1,32E-05	2,11E-03	7,93E-06	2,12E-03	7,93E-06
Etilbenzeno	C	8,88E-08	1,42E-05	1,64E-07	1,43E-05	1,64E-07
	NC	1,02E-04	1,64E-02	4,28E-04	1,65E-02	4,28E-04
Xilenos	NC	6,27E-03	8,93E-01	7,24E-04	8,99E-01	7,24E-04
Acenafteno	NC	ND	ND	5,28E-11	ND	5,28E-11
Antraceno	NC	ND	ND	8,45E-13	ND	8,45E-13
Benzo(a)Antraceno	C	2,96E-12	7,89E-11	6,61E-33	8,19E-11	6,61E-33
Benzo(a)Pireno	C	1,07E-12	2,85E-11	2,56E-54	2,95E-11	2,56E-54
Benzo(b)Fluoranteno	C	2,80E-13	7,47E-12	2,92E-42	7,75E-12	2,92E-42
Benzo(k)Fluoranteno	C	2,44E-14	6,51E-13	7,20E-28	6,75E-13	7,20E-28
Criseno	C	9,84E-14	2,62E-12	2,84E-24	2,72E-12	2,84E-24
Dibenzo(a,h)Antraceno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND	0,00E+00
Fluoranteno	NC	ND	ND	3,63E-16	ND	3,63E-16
Fluoreno	NC	ND	ND	1,33E-15	ND	1,33E-15
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	C	6,92E-15	1,84E-13	5,54E-86	1,91E-13	5,54E-86
Naftaleno	C	2,50E-07	6,65E-06	ND	6,90E-06	ND
	NC	7,05E-03	1,88E-01	3,64E-05	1,95E-01	3,64E-05
Pireno	NC	ND	ND	2,58E-11	ND	2,58E-11
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO	C	3,58E-07	2,40E-05	5,29E-07		
	NC	1,37E-02	1,14E+00	5,98E-03		

C – Carcinogênico; NC – Não Carcinogênico; ND – Não disponível.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

Tabela 10 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para água subterrânea – Trabalhadores Comercial e Industrial Adultos

COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE	EFEITO	RECEPTOR NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO			RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO				RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR NA FONTE	RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR FORA DA FONTE
		INALAÇÃO		CONTATO DIRETO	INALAÇÃO		CONTATO DIRETO			
		AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DÉRMICO	AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DÉRMICO	INGESTÃO		
Benzeno	C	4,86E-08	4,98E-06	7,35E-06	1,07E-09	1,10E-07	1,62E-07	2,22E-06	1,24E-05	2,49E-06
	NC	5,99E-04	6,12E-02	9,62E-02	1,32E-05	1,35E-03	2,12E-03	2,90E-02	1,58E-01	3,25E-02
Tolueno	NC	1,43E-06	1,49E-04	4,01E-03	1,92E-10	2,00E-08	5,38E-07	3,52E-06	4,16E-03	4,08E-06
Etilbenzeno	C	1,68E-08	1,79E-06	5,23E-06	1,31E-10	1,39E-08	4,06E-08	1,68E-07	7,03E-06	2,22E-07
	NC	1,94E-05	2,06E-03	1,37E-02	1,51E-07	1,60E-05	1,06E-04	4,39E-04	1,58E-02	5,61E-04
Xilenos	NC	1,05E-03	1,06E-01	4,16E-02	7,30E-06	7,39E-04	2,90E-04	1,18E-03	1,49E-01	2,22E-03
Acenafteno	NC	ND	ND	1,76E-03	ND	ND	6,01E-11	1,42E-10	1,76E-03	2,02E-10
Antraceno	NC	ND	ND	3,96E-04	ND	ND	8,26E-12	1,18E-11	3,96E-04	2,01E-11
Benzo(a)Antraceno	C	5,31E-12	2,74E-10	6,95E-06	4,22E-37	2,17E-35	5,52E-31	2,03E-31	6,95E-06	7,55E-31
Benzo(a)Pireno	C	4,22E-13	2,16E-11	8,67E-06	2,93E-60	1,50E-58	6,01E-53	1,72E-53	8,67E-06	7,73E-53
Benzo(b)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND	ND
Benzo(k)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND	ND
Criseno	C	1,06E-13	5,41E-12	5,48E-08	2,93E-28	1,50E-26	1,52E-22	5,19E-23	5,48E-08	2,04E-22
Dibenzo(a,h)Antraceno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND	ND
Fluoranteno	NC	ND	ND	1,59E-04	ND	ND	6,36E-16	4,20E-16	1,59E-04	1,06E-15
Fluoreno	NC	ND	ND	5,37E-03	ND	ND	2,91E-15	5,38E-15	5,37E-03	8,29E-15
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND	ND
Naftaleno	C	1,49E-08	9,18E-07	ND	5,02E-12	3,09E-10	ND	ND	9,33E-07	3,14E-10
	NC	4,21E-04	2,59E-02	3,26E-02	1,42E-07	8,73E-06	1,10E-05	4,80E-05	5,90E-02	6,78E-05
Pireno	NC	ND	ND	5,61E-04	ND	ND	2,06E-10	2,09E-10	5,61E-04	4,15E-10
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO	C	8,04E-08	7,68E-06	2,82E-05	1,21E-09	1,24E-07	2,03E-07	2,38E-06		
	NC	2,09E-03	1,95E-01	1,96E-01	2,08E-05	2,12E-03	2,53E-03	3,07E-02		

C – Carcinogênico; NC – Não Carcinogênico; ND – Não disponível.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

Tabela 11 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para solo subsuperficial – Residentes Urbanos Crianças

COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE	EFEITO	RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO				RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO
		INALAÇÃO		CONTATO DIRETO		
		AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DÉRMICO	INGESTÃO	
Benzeno	C	1,60E-10	3,69E-08	7,22E-08	5,06E-07	6,16E-07
	NC	8,18E-06	1,89E-03	3,94E-03	2,76E-02	3,35E-02
Tolueno	NC	2,63E-12	6,17E-10	2,21E-08	7,42E-08	9,69E-08
Etilbenzeno	C	7,00E-12	1,66E-09	6,51E-09	1,38E-08	2,20E-08
	NC	3,36E-08	7,99E-06	7,10E-05	1,51E-04	2,30E-04
Xilenos	NC	1,48E-06	3,40E-04	1,76E-04	3,69E-04	8,87E-04
Acenafteno	NC	ND	ND	2,65E-14	3,22E-14	5,86E-14
Antraceno	NC	ND	ND	2,81E-15	2,07E-15	4,88E-15
Benzo(a)Antraceno	C	2,25E-50	2,92E-48	8,82E-44	1,67E-44	1,05E-43
Benzo(a)Pireno	C	2,16E-84	2,79E-82	1,33E-76	1,95E-77	1,52E-76
Benzo(b)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Benzo(k)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Criseno	C	2,64E-36	3,41E-34	4,09E-30	7,18E-31	4,81E-30
Dibenzo(a,h)Antraceno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Fluoranteno	NC	ND	ND	2,74E-21	9,29E-22	3,67E-21
Fluoreno	NC	ND	ND	4,57E-21	4,35E-21	8,92E-21
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Naftaleno	C	2,90E-14	4,40E-12	ND	ND	4,43E-12
	NC	3,41E-09	5,17E-07	7,91E-07	1,77E-06	3,09E-06
Pireno	NC	ND	ND	3,16E-13	1,65E-13	4,81E-13
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO	C	1,67E-10	3,85E-08	7,87E-08	5,20E-07	
	NC	9,70E-06	2,24E-03	4,18E-03	2,81E-02	

C – Carcinogênico; NC – Não Carcinogênico; ND – Não disponível.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

Tabela 12 – Síntese das planilhas de avaliação de risco para água subterrânea – Residentes Urbanos Adultos

COMPOSTOS QUÍMICOS DE INTERESSE	EFEITO	RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO				RISCO CUMULATIVO POR CQI PARA RECEPTOR FORA DA FONTE DE CONTAMINAÇÃO
		INALAÇÃO		CONTATO DIRETO		
		AMBIENTES ABERTOS	AMBIENTES FECHADOS	CONTATO DÉRMICO	INGESTÃO	
Benzeno	C	2,63E-10	6,05E-08	3,35E-07	1,09E-06	1,48E-06
	NC	2,70E-06	6,21E-04	3,66E-03	1,18E-02	1,61E-02
Tolueno	NC	8,66E-13	2,03E-10	2,05E-08	3,18E-08	5,25E-08
Etilbenzeno	C	1,15E-11	2,73E-09	3,02E-08	2,96E-08	6,26E-08
	NC	1,11E-08	2,62E-06	6,60E-05	6,45E-05	1,33E-04
Xilenos	NC	4,89E-07	1,12E-04	1,64E-04	1,58E-04	4,34E-04
Acenafteno	NC	ND	ND	2,46E-14	1,38E-14	3,84E-14
Antraceno	NC	ND	ND	2,61E-15	8,87E-16	3,50E-15
Benzo(a)Antraceno	C	3,71E-50	4,80E-48	4,09E-43	3,58E-44	4,45E-43
Benzo(a)Pireno	C	3,56E-84	4,58E-82	6,17E-76	4,17E-77	6,58E-76
Benzo(b)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Benzo(k)Fluoranteno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Criseno	C	4,35E-36	5,60E-34	1,90E-29	1,54E-30	2,06E-29
Dibenzo(a,h)Antraceno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Fluoranteno	NC	ND	ND	2,54E-21	3,98E-22	2,94E-21
Fluoreno	NC	ND	ND	4,25E-21	1,86E-21	6,11E-21
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	C	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	ND
Naftaleno	C	4,77E-14	7,22E-12	ND	ND	7,27E-12
	NC	1,12E-09	1,70E-07	7,34E-07	7,60E-07	1,67E-06
Pireno	NC	ND	ND	2,94E-13	7,05E-14	3,64E-13
RISCO CUMULATIVO POR CENÁRIO	C	2,75E-10	6,33E-08	3,65E-07	1,11E-06	
	NC	3,20E-06	7,35E-04	3,89E-03	1,21E-02	

C – Carcinogênico; NC – Não Carcinogênico; ND – Não disponível.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2007

4. CONCLUSÕES

A contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo existente no empreendimento em estudo foi caracterizada por meio de estudos de investigação detalhada, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelas normas, resoluções e deliberações vigentes relacionadas ao gerenciamento de áreas contaminadas tanto no âmbito estadual, quanto nacional.

Porém, mesmo após sua posterior complementação, realizada em 2017, tanto a pluma de fase dissolvida quanto a pluma de fase retida não foram totalmente fechadas, sendo necessária mais uma etapa de complementação com construção de poços nas circunjunções do poço de monitoramento PM 16 visando a delimitação completa das plumas.

Diante disso, a avaliação de risco a saúde humana proposta pela CETESB a partir das planilhas foi realizada de acordo com as características e peculiaridades da área alvo e, assim, foram quantificados os riscos em que os receptores avaliados estão susceptíveis.

Os resultados dessa avaliação de risco indicam a necessidade de intervenção imediata, uma vez que o empreendimento se encontra em funcionamento normal, expondo Trabalhadores Comerciais e Industriais, que no caso, são principalmente seus funcionários, ao risco carcinogênico oferecido pela contaminação existente.

Outro fator importante a ser levado em consideração é que os funcionários não têm conhecimento do risco adicional que estão submetidos, uma vez que o risco específico para uma via de ingresso que teve seu limite máximo aceitável ultrapassado foi a de inalação em ambientes fechados, que no caso, são os funcionários do restaurante, lanchonete, manutenção e do setor administrativo.

Sendo assim, se ratifica a importância e necessidade dos processos de remediação da área que foram iniciados, mesmo que tardios levando em consideração o tempo entre a identificação da contaminação e instalação do sistema, visando o saneamento dos riscos e reabilitação da área objeto de estudo.

Destaca-se também a importância deste tipo de trabalho como subsídio para tomada de decisão quanto às medidas de intervenção a serem utilizadas.

5. RECOMENDAÇÕES

Diante das conclusões, recomenda-se uma etapa adicional de complementação dos estudos de investigação detalhada, uma vez que as plumas de contaminação de fase dissolvida e fase retida não foram totalmente delimitadas, sendo que o seu fechamento foi inferido.

Assim, recomenda-se a construção de no mínimo três poços de monitoramento adicionais nas circunjunções do poço de monitoramento PM 16, com coleta de solo e água subterrânea visando a delimitação da pluma (ou até mesmo, identificação de outras fontes de contaminação).

Recomenda-se também nova campanha de monitoramento da qualidade da água subterrânea, com coleta em todos os poços de monitoramento existentes, considerando que a técnica de remediação utilizada pode alterar o regime de fluxo subterrâneo local.

Esta nova campanha também servirá de subsídio para avaliação da eficiência do sistema de remediação projetado (Sistema de Extração Multifásica), bem como acompanhamento do comportamento das plumas de contaminação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL 2017. *Anuário Estatístico* 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>>. Rio de Janeiro, 2017. Acesso em: 20 jul. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM-E-1739-65*: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites. Philadelphia, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13895*: Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15847*: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de purga. Rio de Janeiro, 2010. 20 p.

BARROS, D. & CARVALHO, D. D. Utilização da Metodologia RBCA em Atividades De Revenda De Combustíveis – Estudo De Caso No Município Do Rio De Janeiro. *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. São Luiz, 2010.

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, CETESB, 2001. 247p. (Relatório Técnico)

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *DD 103/2007*: Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo, 2007. 40 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *DD 256/2016/E*: Dispõe Sobre a Aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016” e da outras providências. São Paulo, 2016. 5 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *DD 263/2009*: Roteiro para Execução da Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis. São Paulo, 2009. 55 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo, 2005. 586 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *Deliberação Normativa COPAM nº 108*: Procedimentos para o licenciamento ambiental de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis e dá outras providências. Belo Horizonte, 2007. 24 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 02*: Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Belo Horizonte, 2010. 20 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *Deliberação Normativa COPAM nº 116*: Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação e classificação de áreas mineradas detentoras de Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. 10 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *Deliberação Normativa COPAM nº 74*: Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte, 2004. 112 p.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *Deliberação Normativa COPAM nº 166*: Valores de Referência de Qualidade dos Solos. Belo Horizonte, 2011. 6 p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 420*: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasil, 2009. 20 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 273*: Dispõe sobre a instalação de sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis. Brasil, 2000. 10 p.

DOMÊNICO, P. A. *An Analytical Model for Multidimensional Transport of a Decaying Contaminant Species*. *Journal of Hydrology*, Texas, v.91, n.1-2, 1987. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169487901272>>. Acesso em: 3 ago. 2017

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais 2016. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2016/AREAS_CONTAMINADAS/INVENT%C3%81RIO_2016.pdf. Minas Gerais: FEAM, 2016. Acesso em: 7 ago. 2017

FETTER, C. W. *Applied Hydrogeology*. 4th Ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2000. 598 p.

FOGAÇA, P. H. C. *Contaminação do Lençol Freático por Hidrocarbonetos na Região de Avaré - SP*. 2015. 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Área de Concentração e Saneamento, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2015.

LAGREGA, M. B.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C.; The Environmental Resources Management Group. *Hazardous waste mangement*. 1sted. Singapore: McGraw-Hill, 1994, 1146 p.

MALUF, C. D. *Diagnóstico Geoambiental e Avaliação de Risco à Saúde Humana para uma Área Industrial Contaminada por Hidrocarbonetos Localizada no Município De Paulínia (SP)*. 2009. 124p. Monografia (Graduação em Engenharia de Ambiental) – Instituto de Feociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2009.

NETTO, C. C.; BALDESSAR, F.; LUCA, L. A. *Estudo qualitativo de segurança em postos revendedores de combustíveis*. 2005. 99p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança no Trabalho) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2005.

OLIVEIRA, L. I. & LOUREIRO, C. O. *Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação preliminar*. In: X Congresso Brasileiro de Águas

Subterrâneas. Disponível em: <<http://www.abas.org/congressos/x1998/art61.html>>. 1998. Acesso em: 10 de março de 2016.

PEDROZO, M. F. *et al. Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo*. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2002. 229p.

REIS JÚNIOR, J. A. *Estudo De Pluma De Contaminação Por Combustível Com O Método GPR E Desenvolvimento De Simulador Geofísico Para Fins Educativos*. 2009.

SANTOS, R. J. S. *A gestão ambiental em posto revendedor de combustíveis como instrumento de prevenção de passivos ambientais*. 2005. 217p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão do Meio Ambiente) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

SQUISSATO, B. V. A. O. *Aplicação de Sistema de Informações Geográficas para Avaliação de Risco à Saúde Humana*. 2012. 110p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

TAKEUCHI, E. *Aplicação da Metodologia RBCA para o Município de Porto Alegre: Definição de Níveis Aceitáveis Baseados no Risco para Hidrocarbonetos*. 2008. 158p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)*. Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A), Interim Final. EPA/540/1-89/003. Washington, D.C., 1989.