

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

KELEN DE FREITAS CUSTÓDIO GARCIA

Uso de amostradores passivos para mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis em áreas descaracterizadas: um estudo de caso

São Paulo

2024

Uso de amostradores passivos para mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis em áreas descaracterizadas: um estudo de caso

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientador: Profa. Carolina Afonso Pinto

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Garcia, Kelen de Freitas Custódio

Uso de amostradores passivos para mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis em áreas descaracterizadas: um estudo de caso / K. F. C. Garcia -- São Paulo, 2024.

52 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1. Áreas contaminadas 2. Compostos orgânicos 3. Amostragem de vapores
4. Amostradores passivos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, pelo dom da vida e pela força para não desistir.

Agradeço ao meu companheiro de vida, meu amigo, meu parceiro Michael Rossini Pantera, por todo apoio e compreensão, principalmente nesse momento em que escolhi fazer essa especialização.

À orientadora Profa. Carolina Afonso Pinto pela disponibilidade em me orientar nesse trabalho, transmitindo seu conhecimento com toda atenção e carinho sobre o assunto.

À minha supervisora, e à empresa em que trabalho, expresso minha gratidão pela confiança depositada em meu trabalho e pela valiosa oportunidade de participar e observar diversas operações de revitalização de terrenos. Isso me proporcionou uma significativa ampliação de minha experiência profissional, envolvendo uma variedade de desafios e obstáculos e também por fazer parte do processo de transformação positiva da paisagem urbana, através da reabilitação desses terrenos, que culminaram em melhorias tangíveis nas vizinhanças, graças à implementação de novos empreendimentos.

Ao grupo de amigos que o curso de MBA me deu, levarei por toda vida.

RESUMO

Garcia, Kelen de Freitas Custódio. Uso de amostradores passivos para mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis em áreas descaracterizadas: um estudo de caso. 2024. 52 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Em São Paulo, o Gerenciamento de Áreas Contaminadas foi introduzido por meio da primeira publicação do manual de gerenciamento de áreas contaminadas no ano de 1999 e desde então, tem desempenhado um papel fundamental na proteção do ambiente e da saúde pública no Estado. As principais etapas do gerenciamento de áreas contaminadas estabelecidas no Estado de São Paulo são a avaliação ambiental preliminar, a investigação confirmatória, a investigação detalhada, a avaliação de risco, o plano de intervenção, a remediação, quando necessária, e por final, a obtenção do termo de reabilitação da área para o uso declarado. A avaliação ambiental preliminar é uma etapa importante para a identificação de questões ambientais em uma área, que irá direcionar às ações subsequentes, como a realização de estudos mais específicos e detalhados. A partir de 2017 com a publicação da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C da CETESB, no Estado de São Paulo, passou a ser exigida a aplicação de métodos de *screening*, com o objetivo de direcionar melhor os demais métodos de investigação. O presente estudo de caso, realizado em uma antiga área industrial de equipamentos elétricos, avaliou a aplicação de amostradores passivos que auxiliaram na identificação de zonas com maiores probabilidades de se encontrar efetivamente contaminações por compostos orgânicos voláteis no solo, na água e em fase vapor. De acordo com os dados obtidos o método de *screening* baseado em amostragem de vapor passiva para determinação de compostos orgânicos voláteis utilizado foi eficaz e auxiliou com precisão no direcionamento das demais investigações. A amostragem de vapor permitiu a verificação que o patamar inferior apresentava contaminação decorrente de antigas fontes primárias da atividade industrial e que a fase adsorvida no solo se comportava como uma fonte secundária de contaminação. Já no patamar superior onde havia apenas histórico de uso administrativo, verificou-se que a magnitude de contaminação foi menor e pode estar correlacionada com o manuseio de solo contaminado do patamar inferior em anos anteriores e que ainda estava presente no local no momento em que a investigação foi realizada. Através dos dados obtidos os estudos foram ampliados, possibilitando assim um direcionamento mais assertivo da técnica de remediação futura a ser utilizada na área em questão.

Palavras-Chave: Áreas contaminadas. Compostos orgânicos. Amostragem de vapores. Amostradores passivos

ABSTRACT

Garcia, Kelen de Freitas Custódio. Use of passive samplers for mapping contamination hotspots of volatile organic compounds in uncharacterized areas: a case study. 2024. 52 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

In São Paulo, the Management of Contaminated Areas was introduced through the first publication of the contaminated areas management manual in 1999 and has since played a crucial role in protecting the environment and public health in the state. The main stages of contaminated area management established in São Paulo include preliminary environmental assessment, confirmatory investigation, detailed investigation, risk assessment, intervention plan, remediation when necessary, and finally, obtaining the rehabilitation certificate for the declared use. The preliminary environmental assessment is an important stage for identifying environmental issues in an area, guiding subsequent actions such as more specific and detailed studies. In 2017 with the publication of Decisão de Diretoria No. 038/2017/C from CETESB São Paulo, the application of screening methods became a requirement to better guide other investigation methods. This case study, conducted in an industrial area, evaluated the use of passive samplers to assist in identifying zones with a higher probability of finding actual contamination by volatile organic compounds in soil, water, and vapor phase. According to the data obtained, the screening method based on passive vapor sampling for the determination of volatile organic compounds was effective and accurately assisted in directing further investigations. Vapor sampling revealed that the lower level showed contamination from old primary sources of industrial activity, and the adsorbed phase in the soil behaved as a secondary source of contamination. In the upper level, where there was only a history of administrative use, contamination was found to be lower and may be correlated with the handling of contaminated soil from the lower level in previous years, which was still present at the site when the investigation was conducted. Based on the obtained data, the studies were expanded, allowing for a more accurate direction of the future remediation technique to be used in the area in question.

Keywords: Contaminated areas. Organic compounds. Vapor sampling. Passive samplers

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – <i>Layout</i> da área de estudo.....	21
Figura 02 – Amostrador passivo de vapores – Vsorber®	23
Figura 03 – Sequência de instalação de amostrador passivo.....	24
Figura 04 – Localização dos pontos de investigações.....	30
Figura 05 – Resultados para os organoclorados – Amostradores passivos.	33
Figura 06 – Resultados das amostras de Solo	36
Figura 07 – Resultados das amostras de água subterrânea.....	39
Figura 08– Resultados das amostras de vapor do solo	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características e justificativa das amostras de solo coletadas	26
Tabela 2 – Características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de água subterrânea.	28
Tabela 3 – Características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de vapor.	29
Tabela 4 – Resultados mais representativos dos amostradores passivos.	32
Tabela 5 – Resultados analíticos de amostras de solo.	35
Tabela 6– Resultados analíticos de amostras de água subterrânea.....	38
Tabela 7– Resultados analíticos de amostras de solo.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1. Malha de Soil Gas Survey (SGS)	16
4.2. Sondagens MIT – <i>Membrane Interface Probe</i>	17
4.3. Amostragem de vapores ativa.....	18
4.4. Amostragem de vapores passiva.....	18
5. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1. – Definição da área de interesse.....	21
5.2. Atividades desenvolvidas.....	22
5.2.1. Instalação dos amostradores passivos	22
5.2.2. Realização de sondagens para amostragem de solo	25
5.2.3. Instalação de poços de monitoramento e amostragem de água subterrânea.....	27
5.2.4. Instalação e amostragem de poços de monitoramento de vapor	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO 1 – TABELA DE RESULTADOS DOS AMOSTRADORES PASSIVOS.....	47

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB de 2021, uma área contaminada tem por definição, um local onde existiu ou existe uma fonte de contaminação primária, que causou algum impacto acarretando concentrações de substâncias ou compostos capazes de causar danos aos solos, aos sedimentos, às rochas, aos materiais utilizados para aterrinar os terrenos, às construções, às águas subterrâneas e superficiais, ao ar e aos organismos vivos.

Em São Paulo, o Gerenciamento de Áreas Contaminadas foi introduzido por meio da primeira publicação de Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas no ano de 1999 e desde então o Gerenciamento de Áreas Contaminadas tem desempenhado um papel fundamental na proteção do ambiente e da saúde pública no estado.

Gerenciamento de Áreas Contaminadas é um conjunto de ações e procedimentos destinados a identificar, avaliar, controlar, mitigar e, quando necessário, remediar áreas que tenham sido afetadas por contaminação. As principais etapas são: o levantamento do histórico de ocupação da área por meio da avaliação ambiental preliminar, a investigação confirmatória, a investigação detalhada, a avaliação de risco, o plano de intervenção, a remediação e por final, a obtenção do Termo de Reabilitação da área para o uso declarado.

A avaliação ambiental preliminar é uma etapa importante para a identificação de questões ambientais em uma área, que irá direcionar às ações subsequentes, como a realização de estudos mais específicos e detalhados, a elaboração de planos de intervenção que podem contemplar a remediação ambiental ou outras medidas para minimizar ou mitigar os impactos ambientais identificados.

Com a consolidação das informações sobre o uso e ocupação do solo da área e do entorno, atuais e pretéritas, é possível definir as áreas fontes de contaminação.

Os métodos de *screening* são utilizados como levantamentos de informações que tem como objetivo de confirmar ou não a suspeita de contaminação através de técnicas de baixo custo e com economia de tempo (CETESB, 1999).

Em 2017, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria 038/2017/C, onde apresenta as diretrizes para o Gerenciamento de áreas contaminadas. Através da definição do Modelo conceitual inicial, estão estabelecidas as estratégias de investigações específicas a ser aplicadas.

Caso ocorram incertezas quanto à identificação, caracterização e localização de áreas fonte e/ou das fontes potenciais de contaminação associadas a essas áreas fonte, a investigação deve ser realizada através da aplicação de métodos de investigações como métodos de *screening* e geofísicos, que orientem e demonstrem evidências sobre o meio físico, natureza e distribuição de substâncias químicas de interesse, de modo que o direcionamento das investigações seja mais eficiente e adequado.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo, apresentar um estudo de caso, onde foi aplicado método de *screening* na área, através da utilização de uma malha de amostradores passivos para direcionar as investigações posteriores, de uma área totalmente descaracterizada e permitir a elaboração de um modelo conceitual de contaminação mais eficiente, promovendo tomadas de decisões mais efetivas para a reabilitação do local.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo demonstrar a efetividade do uso de amostradores passivos como uma ferramenta eficaz para o mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis (VOC) em áreas descaracterizadas/demolidas, onde não é possível identificar as áreas fontes de contaminação. Através de um estudo de caso específico, pretendeu-se avaliar a viabilidade, a precisão e a eficiência desse método, bem como sua aplicabilidade em situações em que o histórico de ocupação não é conhecido ou limitado de informações, contribuindo assim para a gestão e remediação eficaz desses locais.

3. JUSTIFICATIVA

Um estudo de diagnóstico ambiental possui diversas etapas a serem seguidas, sendo que a Avaliação Ambiental Preliminar é uma das etapas mais importantes, pois direcionará os demais estudos. No entanto, em algumas situações, não é possível a obtenção de informações detalhas de uso do terreno, seja pela ausência de plantas antigas e até mesmo pela descaracterização das construções com a total demolição das estruturas existentes, o que acarreta em lacunas na elaboração de um modelo conceitual coerente e eficiente para diagnosticar uma área contaminada.

A partir de 2017 com a publicação da Decisão de Diretoria nº 038/2017/C da CETESB, no Estado de São Paulo, de encontro a minimizar os efeitos da ausência de informações que corroborem para construção de um modelo conceitual robusto, passou a exigir a aplicação de métodos de *screening*, com o objetivo de direcionar melhor os demais métodos de investigação. Sendo assim o presente estudo apresenta como a utilização de amostradores passivos podem auxiliar na identificação de zonas com maiores probabilidades de se encontrar efetivamente contaminações por Compostos Orgânicos voláteis no solo, na água e em fase vapor.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Avaliação Preliminar consiste no levantamento de informações sobre o histórico de utilização da área, assim como do seu entorno imediato, com o objetivo de identificar áreas com atividades com potenciais de contaminação (CETESB, 2017).

Essas informações podem ser obtidas através de vistorias, entrevistas com funcionários da área e moradores no entorno, solicitações de vistas no órgão ambiental, prefeitura, secretarias de meio ambiente e licenciamento, obtenção de fotos aéreas e imagens de satélites de diversas épocas com o objetivo de verificar a alteração de uso do imóvel e seu entorno, além do levantamento de dados locais e regionais de geologia, hidrogeologia, hidrografia, clima, etc. (ABNT, 2021).

Caracterizar o uso da área em linha do tempo, é bastante importante, uma vez que mudanças no layout da ocupação do imóvel é muito comum. Sendo assim, para a execução da Avaliação ambiental preliminar, além da vistoria do imóvel para verificação da situação atual do terreno, o levantamento histórico possibilita a reconstituição das atividades, produção, armazenamento, podendo assim definir as possíveis áreas fontes de contaminação (ABNT, 2021).

Todas essas informações irão corroborar para a consolidação de um modelo conceitual robusto e eficaz.

De acordo a norma ABNT NBR 16210/2022 o modelo conceitual é a representação gráfica ou em forma de texto de um sistema ambiental e dos processos físico-químicos e biológicos que determinam o fluxo de contaminantes a partir das áreas fontes de contaminação até atingir seus possíveis receptores, e considera os dados disponíveis além das suas incertezas.

No mesmo caminho, o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB de 2021 define modelo conceitual, como um relato escrito e gráfico dos resultados obtidos na Avaliação ambiental Preliminar, sendo evidenciadas as áreas potenciais, substâncias associadas, os caminhos de exposição potenciais e dos bens a proteger.

Sendo assim, a elaboração de um Modelo Conceitual consistente, promoverá um direcionamento mais assertivo das investigações.

De maneira a gerenciar as incertezas ou ausência de informações detalhadas na etapa de avaliação preliminar, A Decisão de Diretoria 038/2017/C da CETESB, propõe que em função da qualidade das informações obtidas o Modelo Conceitual Inicial da Área 1 (MCA 1) poderá

ser classificado como “A”, “B” ou “C”, sendo que em cada tipo de classificação tem uma estratégia de investigação.

A classificação de MCA 1A se aplica quando todas as áreas fontes pretéritas e atuais foram totalmente definidas e foi possível obter dados completos de substâncias utilizadas nas atividades executadas. Nesse caso será possível aplicar a Estratégia 1 para o plano de investigação, a qual se baseia em uma amostragem direcionada às substâncias de interesse nas áreas fontes de contaminação identificadas (CETESB,2017).

A classificação de MCA 1B se aplica quando incertezas foram identificadas, seja na localização das áreas potenciais e substâncias manuseadas. Nesse caso o plano de investigação deve ser baseado na Estratégia 2, onde são utilizadas técnicas de investigação que fornecerão informações sobre o meio físico e até mesmo sobre a distribuição de substâncias químicas através de métodos de *screening*, geofísico ou amostragem probabilística para que o direcionamento das investigações seja mais adequado (CETESB,2017).

A classificação como MCA 1C se aplica à situação em que não há informações sobre a localização e características das áreas fonte, situação em que deverá ser adotada a Estratégia 2 para toda área avaliada (CETESB,2017).

Conforme mencionado anteriormente, nos casos em que o modelo conceitual seja caracterizado como MCA1 B ou C, técnicas de *screening* devem ser aplicadas considerando o meio avaliado e as substâncias químicas de interesse (CETESB,2017).

O Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB de 1999 define os métodos de *screening* como levantamentos de informações que tem como objetivo de confirmar ou não a suspeita de contaminação através de técnicas de baixo custo e com economia de tempo. Geralmente, esses métodos são de baixo custo e de baixo tempo de execução e geralmente são qualitativos ou semi-quantitativos e tem como objetivo o mapeamento de pontos com maiores concentrações, entendimento sobre questões reativas à higiene ocupacional e também o direcionamento de locação de pontos de investigação como sondagens para amostragem de solo e instalação de poços de monitoramento. A seguir foram abordados alguns métodos de *screening* para COVs.

4.1. Malha de *Soil Gas Survey (SGS)*

Em um passado não muito distante, no Brasil o método de malha de SGS foi amplamente usado em decorrência de uma antiga exigência da CETESB para investigação de postos de combustíveis com ampla área (RIYIS, 2018).

De acordo com esse método proposto pela CETESB (2007), a malha para medição de gases deve ser regular com espaçamento máximo de 5metros entre os pontos de medição, devendo sempre ser adensada para melhor caracterização desses vapores, sendo que as anomalias devem sempre ser totalmente delimitadas.

As sondagens para *SGS* são executadas através da perfuração do solo à profundidade máxima de aproximadamente 1,0 m, com uma perfuratriz manual com broca de diâmetro de 16 mm. Para a leitura, é introduzida uma sonda ranhura da, a medição é efetuada através do equipamento devidamente calibrado (CETESB,2007).

De acordo com Riysis (2018), o método de *screening* por malha de SGS tem três grandes problemas: 1º - a possibilidade de falso negativo em função da baixa permeabilidade do solo, o que impossibilita a detecção dos vapores no detector uma vez que a migração do vapor é prejudicada pela permeabilidade. 2º- A possibilidade de falso positivo em função de possíveis bolsões de vapores presos embaixo de pisos de concreto, que não necessariamente seja da fonte potencial abaixo do ponto de medida, mas de outra fonte localizada em uma outra posição. O 3º fator é decorrente dos outros dois, o equipamento de medição em campo, em solos pouco permeáveis preferencialmente analisa o ar da superfície gerando dados inconsistentes.

Ressalta-se que hoje, no Estado de São Paulo, essa técnica já não é mais recomendada, dada às inconsistências de resultados que o método pode apresentar.

4.2. Sondagens MIT – *Membrane Interface Probe*

O *Membrane Interface Probe* (MIP) é uma ferramenta de *screening* semiquantitativas que atua como uma interface entre contaminantes voláteis. A membrana do MIP é semipermeável e consiste em um polímero de película fina impregnado em uma tela de aço inoxidável para suporte. A sonda do MIP é acoplada ao *direct push* (metodologia de amostragem de solo por cravação contínua) e cravada diretamente no solo para realização das leituras (GEOPROBE, 2023).

A membrana tem aproximadamente 6,35 mm de diâmetro e é colocada em um bloco aquecido conectado à sonda. Este bloco é aquecido a aproximadamente 100-120 °C à medida que a sonda avança no solo. O aquecimento do bloco acelera a difusão da substância através da membrana, ao mesmo tempo que minimiza a absorção pela membrana. A difusão através da membrana é impulsionada pelo gradiente de concentração entre o solo contaminado e o gás de transporte limpo atrás da membrana. Um fluxo constante de gás de 35-45 mL/min flui atrás da membrana e transporta os contaminantes para os detectores de fase gasosa na superfície (GEOPROBE, 2023).

A sonda do MIP possui três detectores, sendo eles os detectores:

- Detector de Fotoionização (PID) - emprega uma lâmpada ultravioleta (UV) com capacidade de detectar compostos orgânicos aromáticos (exemplo: benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e compostos clorados que contenham átomos de carbono em ligação dupla como tricloroeteno e tetracloroeteno (MILANI e CARVALHO, 2021).
- Detector de Compostos Halogenados Específicos (XSD) - através da oxidação do composto orgânico halogenado em átomos de halogênios livres. Esses átomos não absorvidos pela superfície de platina da sonda montada no sensor, resultando em um aumento na emissão termiônica. Esta corrente de emissão é composta por elétrons livres, íons negativos e positivos, proporcionando uma voltagem correspondente que é medida por meio de um circuito de eletrômetro no controlador do detector.
- Detector de Ionização de Chama (FID) - utiliza uma chama de hidrogênio para induzir a combustão dos compostos no gás de arraste. Esse método é aplicado na medição de hidrocarbonetos de cadeia linear e em concentrações elevadas de alguns compostos clorados (MILANI e CARVALHO, 2021).

A sonda ainda pode contar com o HPT e com EC, que são respectivamente sensores de condutividade hidráulica e elétrica.

Os dados de saída do MIP podem gerar até seis gráficos para cada ponto com os dados dos sensores PID, FID e XSD, HPT e EC. Um sexto gráfico é apresentado quando o teste de dissipação é realizado e mostra a estimativa do valor da condutividade (K) da formação, assim como o nível estático do lençol freático. Em todos os gráficos, o eixo Y é referente à profundidade (GEOPROBE, 2023).

Ressalta-se que este método pode ser limitado por custo, espaço físico, tipo e concentração do contaminante, permeabilidade do solo entre outros (MILANI e CARVALHO, 2021).

4.3. Amostragem de vapores ativa

A definição de amostragem ativa pela ASTM D7758-11 é trazida como:

“...meio de coletar uma substância em fase gasosa que utiliza um dispositivo mecânico, como uma bomba ou um orifício crítico assistido por vácuo, para aspirar ar para dentro ou através de um dispositivo de amostragem”.

Amostragem e análise ativa de gases do solo é um dos métodos utilizados para coletar dados da fase de vapor em locais potencialmente afetados por compostos orgânicos voláteis (COVs). Os dados obtidos de uma investigação de gases no solo podem ser usados para identificar a fonte e a distribuição espacial da contaminação em um local e também, para obter as concentrações de contaminantes no ar interno para fins de avaliação de risco (CAL EPA, 2015)

Portanto a investigação ativa de vapores do solo é uma técnica na qual um volume de vapor é bombeado da zona vadosa através de um poço de monitoramento de vapores ou *subslab*, após a execução do teste de estanqueidade, para um recipiente adequado e é destinada para análise química laboratorial (CAL EPA, 2015)

4.4. Amostragem de vapores passiva

CLARKE et al. em 2008 publicaram um estudo onde foram utilizados amostradores passivos para determinação de fonte e extensão da contaminação na água subterrânea por tetracloroeteno em área urbana. Em seu estudo foi abordado que em situações em que os suprimentos de água subterrânea foram afetados por compostos orgânicos voláteis (COVs), como o tetracloreto de etileno (PCE), e a fonte não foi identificada, os custos para identificar a

fonte e os padrões de migração da pluma podem ser extremamente altos. Um investigador ambiental e o Departamento de Qualidade Ambiental do Arizona utilizaram com sucesso levantamentos passivos de gás do solo para investigar de forma economicamente viável os impactos de VOCs na água subterrânea e identificar potenciais fontes de impacto. O resultado é uma representação superficial da pluma de contaminantes e da localização de "pontos quentes", que são as potenciais fontes. Isso proporciona uma melhor compreensão da natureza e extensão do impacto e permite uma investigação subsuperficial focada, reduzindo os custos de perfuração e amostragem.

Normalmente, um furo de pequeno diâmetro (aproximadamente 2,5 cm) com aproximadamente 15 cm a 1,0 m de profundidade em cada um dos locais da amostra. O amostrador sorvente é então baixado no furo até a profundidade de amostragem desejada usando fio ou barbante, que facilita a recuperação do amostrador após o período de exposição. Após 7 a 14 dias após a instalação o amostrador é recuperado e encaminhado para análise em laboratório (ASTM, 2011). Após a retirada do amostrador é recomendado o fechamento do furo com calda de cimento.

A amostragem de longo período de tempo é o ponto chave que torna os resultados de uma pesquisa de amostragem passiva mais robustos e confiáveis do que as técnicas convencionais de amostragem ativa. O princípio da amostragem passiva baseia-se na migração lenta dos contaminantes presentes na fase gasosa do solo para os sorventes dentro do amostrador. Esta característica do amostrador permite um período de amostragem longo (ou seja, 7 a 14 dias) quando comparado à amostragem ativa usual (minutos-horas). O longo período de tempo pode ser comparado a um vídeo onde é possível rastrear muito mais informações do que uma imagem (VAPOR SOLUTIONS, 2019).

Os dados de gases passivos do solo são relatados em massa com as unidades geralmente em nanogramas (ng) ou microgramas (μ g) por amostrador e não uma concentração. Os dados produzidos utilizando este método serão representativos das concentrações ponderadas de gases no solo, presentes nas proximidades do amostrador e sorvidas no amostrador durante o período de exposição. Em geral, as informações obtidas a partir de um programa passivo de amostragem de gases no solo por si só não são suficientes para apoiar uma determinação quantitativa das concentrações de gases no solo (ASTM, 2011).

Portanto, conforme observado no levantamento bibliográfico, a utilização de ferramentas de *screening* auxiliam com grande assertividade no direcionamento das demais investigações,

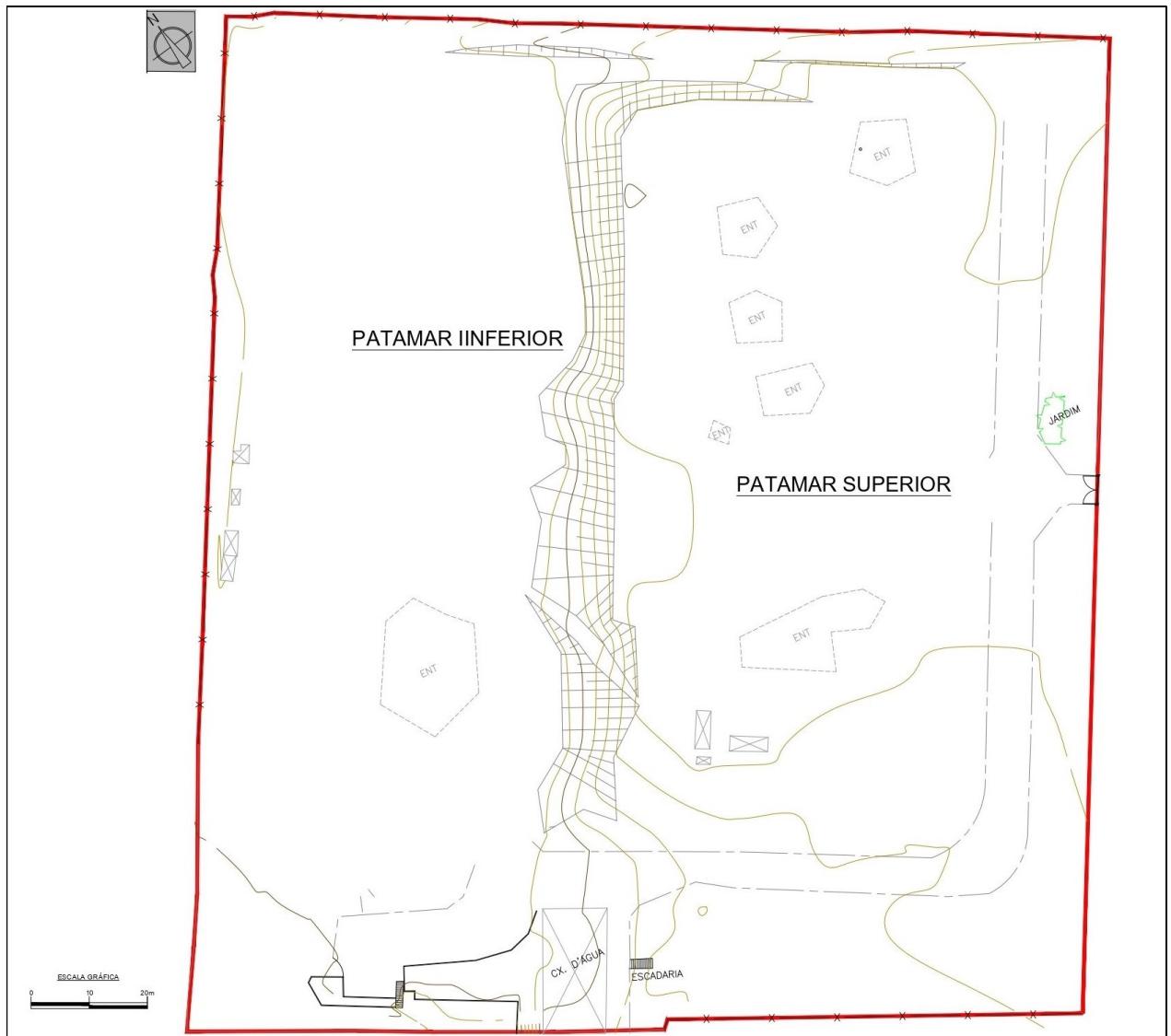
principalmente em áreas descaracterizadas. O importante é direcionar os objetivos para melhor adequar os recursos para a execução de uma investigação ambiental responsável e efetiva.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. – Definição da área de interesse

A área alvo do presente estudo de caso se localiza na zona sul da cidade de São Paulo/SP no ramo de montagem e estocagem de aparelhos elétricos e operou no local de 1960 a 2011 quando suas estruturas foram desmobilizadas e demolidas. A Figura 01 apresenta o *layout* atual da área.

Figura 01 – *Layout* da área de estudo.



O terreno em questão possui dois patamares, sendo que o patamar superior era destinado à parte administrativa e o patamar inferior eram exclusivos para a operação da fábrica.

A área já foi alvo de investigações ambientais, e de etapas de remediação. No entanto, como a área já se encontrava demolida à época dos estudos aqui apresentados, e considerando os resultados obtidos nas investigações ambientais anteriores, foram levantadas suspeitas sobre possíveis fontes secundárias de contaminações ainda não investigadas. De maneira a dirimir essas possibilidades, foi realizada uma investigação de maneira sistêmica para direcionar as demais etapas do gerenciamento da contaminação existente no terreno.

Sendo assim, foi realizada a instalação dos amostradores passivos em malha regular e a partir de seus resultados foram direcionadas as sondagens para coleta de amostras de solo, instalação de poços de monitoramento para verificação da qualidade das águas subterrâneas e instalados poços de vapores para verificação de intrusão de vapores.

Ressalta-se que o estudo utilizado na presente monografia foi realizada por empresa de consultoria ambiental contratada pelo proprietário do terreno e seus relatórios encontram-se devidamente protocolados na CETESB. Salienta-se ainda que os resultados utilizados nessa monografia são apenas uma parte desse estudo, uma vez que o foco desta é apresentar a efetividade de uso de métodos de *screening* por amostradores passivos para identificação de fontes secundárias de contaminação.

No estudo de caso, o amostrador passivo utilizado foi o Vsorber ® do Laboratório Vapor Solutions. O amostrador é composto por um frasco âmbar, 2 tipos de sorventes, um fio metálico, uma tampa de armazenamento e uma tampa de amostragem. Todas as peças do amostrador são inertes feitas de vidro, PTFE e aço inoxidável 316 silanizado. A tampa de amostragem é de cor branca e possui uma membrana hidrofóbica e oleofóbica ultra porosa que permite que os vapores orgânicos entrem livremente no frasco e sejam adsorvidos (VAPOR SOLUTIONS, 2019).

5.2. Atividades desenvolvidas

5.2.1. *Instalação dos amostradores passivos*

Com o objetivo de identificação de possíveis áreas fontes que não haviam ainda sido identificadas em investigações anteriores, foi realizada a instalação de 185 amostradores passivos do tipo Vsorbers, como método de *screening*.

A amostragem passiva se baseia na utilização de materiais sorventes posicionados em subsuperfície para adsorver compostos orgânicos voláteis presentes nos solos da área e consequentemente na fase gasosa. A Figura 2 mostra o tipo de amostrador utilizado para este projeto.

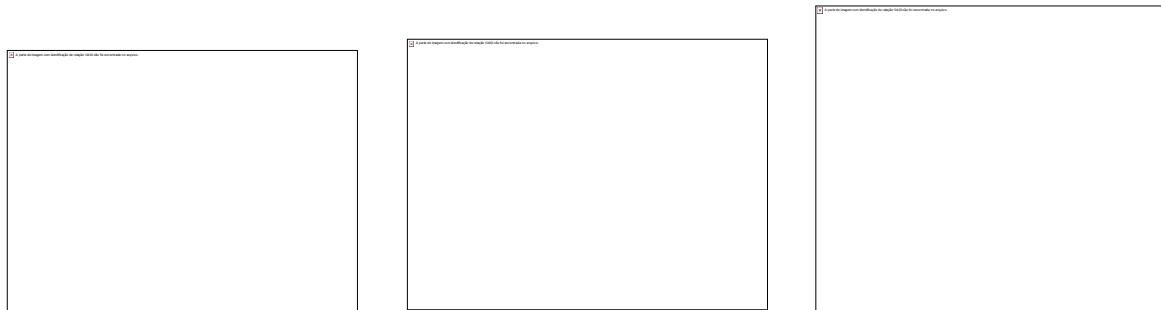
Figura 02 – Amostrador passivo de vapores – Vsorber®



Fonte:Vapor Solutions, 2019

Para a instalação dos amostradores passivos, foi realizado um furo com uma broca de $1\frac{1}{2}$ " até 30 cm de profundidade e com uma broca de $\frac{1}{2}$ " de diâmetro para continuar o furo até 1,0 m de profundidade. Foi colocado um tubo de alumínio de 1" de diâmetro com 30 cm de comprimento como apoio do amostrador e para impedir o desmoronamento do furo. Foi trocada a tampa hermética por uma tampa com uma tela que permite a entrada do ar do solo no amostrador. O amostrador foi inserido e preso no tubo de alumínio e a parte superior do tubo foi tampada com papel alumínio. Em seguida, foi realizado um selo de concreto na superfície. A Figura 3 abaixo apresenta a sequência de instalação de um amostrador passivo.

Figura 03 – Sequência de instalação de amostrador passivo



Fonte: Adaptado de Vapor Solutions – 2019

Após instalado, o fornecedor recomenda aguardar de 7 a 14 dias para a retirada do amostrador. No caso em questão, aguardou-se 7 dias após a instalação para a retirada dos amostradores do solo. Por fim, a amostra é então enviada ao laboratório para análises químicas.

O processo que ocorre na amostragem passiva é a absorção de compostos de interesse na superfície e poro do material sorvente, que geralmente são projetados e sintetizados de acordo com as características dos compostos-alvo (VAPOR SOLUTIONS, 2019).

Os resultados são reportados em unidades de massa, que permite a comparação do grau de intensidade da contaminação entre as diferentes localizações de amostras de modo a possibilitar a identificação as áreas-fontes, determinação de espalhamento lateral e o monitoramento de remediação (VAPOR SOLUTIONS, 2019).

Os cartuchos de adsorção foram analisados por um método baseado no método USEPA TO17 MODIFIED. Trata-se de uma análise por um cromatógrafo de gás (GC) acoplado a um detector de espectrometria de massa (MS). Como o que se deseja analisar está adsorvido na superfície do recheio do amostrador, é realizada uma dessorção/desfixação dos compostos do sorvente utilizando a elevação da temperatura que serão posteriormente transferidos para o sistema analítico GC/MS.

5.2.2. *Realização de sondagens para amostragem de solo*

Após a análise dos dados analíticos obtidos através dos amostradores passivos, foram selecionados pontos específicos para realização de sondagem para amostragem de solo e instalação de poços de monitoramento.

As amostras foram coletadas por meio da cravação de liner em todo o perfil perfurado durante as sondagens para medição de voláteis. As medições de gases no solo foram realizadas com o equipamento Tiger, devidamente calibrado.

Cada liner de cerca de 70cm foi perfurado a cada 15cm para a medição de VOC. O solo dos intervalos que apresentaram as maiores leituras foram então coletados em vials previamente preparados pelo laboratório. Na Tabela 1 são apresentadas as características e justificativa das amostras de solo.

O critério de seleção das amostras de solo apresentadas no presente trabalho, foi de evidenciar a efetividade do direcionamento das investigações através da utilização dos amostradores passivos. Ressalta-se que o estudo completo apresentou uma densidade muito maior de investigações, além das apresentadas nesse trabalho.

Tabela 1 – Características e justificativa das amostras de solo coletadas

5.2.3. Instalação de poços de monitoramento e amostragem de água subterrânea

Foram instalados doze (12) poços de monitoramento, sendo 5 no nível mais raso e 7 multiníveis, instalados nos níveis intermediários e profundos, variando de 7 a 23 metros de profundidade. Todos os poços instalados tiveram como referência a norma ABNT NBR 15495-1 (Junho/2007) – “Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção”.

Para a instalação dos poços profundos intermediários e profundos foram tomadas providências para que a contaminação não atingisse níveis profundos durante as perfurações, uma vez que uma das principais características dos compostos clorados, principais contaminantes da área, é que são mais densos que a água.

Para tanto, todas as perfurações foram realizadas com revestimento desde o início e realizadas em duas etapas: a primeira parte da perfuração foi feita em trado de 5” até a profundidade de 6m ou 12m (a depender dos resultados das análises) e, após o furo ser devidamente seco, caso houvesse água, as sondagens prosseguiram, por dentro do revestimento, com trado de 3”, até a profundidade de interesse.

As amostragens, realizadas pelo método de baixa vazão (micropurga), foram feitas pelas empresas acreditadas na ISO/IEC 17.025/2017 – Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.

Destaca-se que as amostragens foram conduzidas de acordo com as normas da ABNT NBR 15847 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga. Na Tabela 2 são apresentadas as características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de água subterrânea.

Tabela 2 – Características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de água subterrânea.

5.2.4. Instalação e amostragem de poços de monitoramento de vapor

Levando em consideração os principais focos identificados nos amostradores passivos, foram instalados 4 poços para avaliação de intrusão de vapores.

Os poços de gás foram instalados com secção filtrante curta de 0,30 metro com diâmetro de 1” centralizado em um furo de 4”. A extremidade do tubo foi fechada com um conector Swagelop® com tampa.

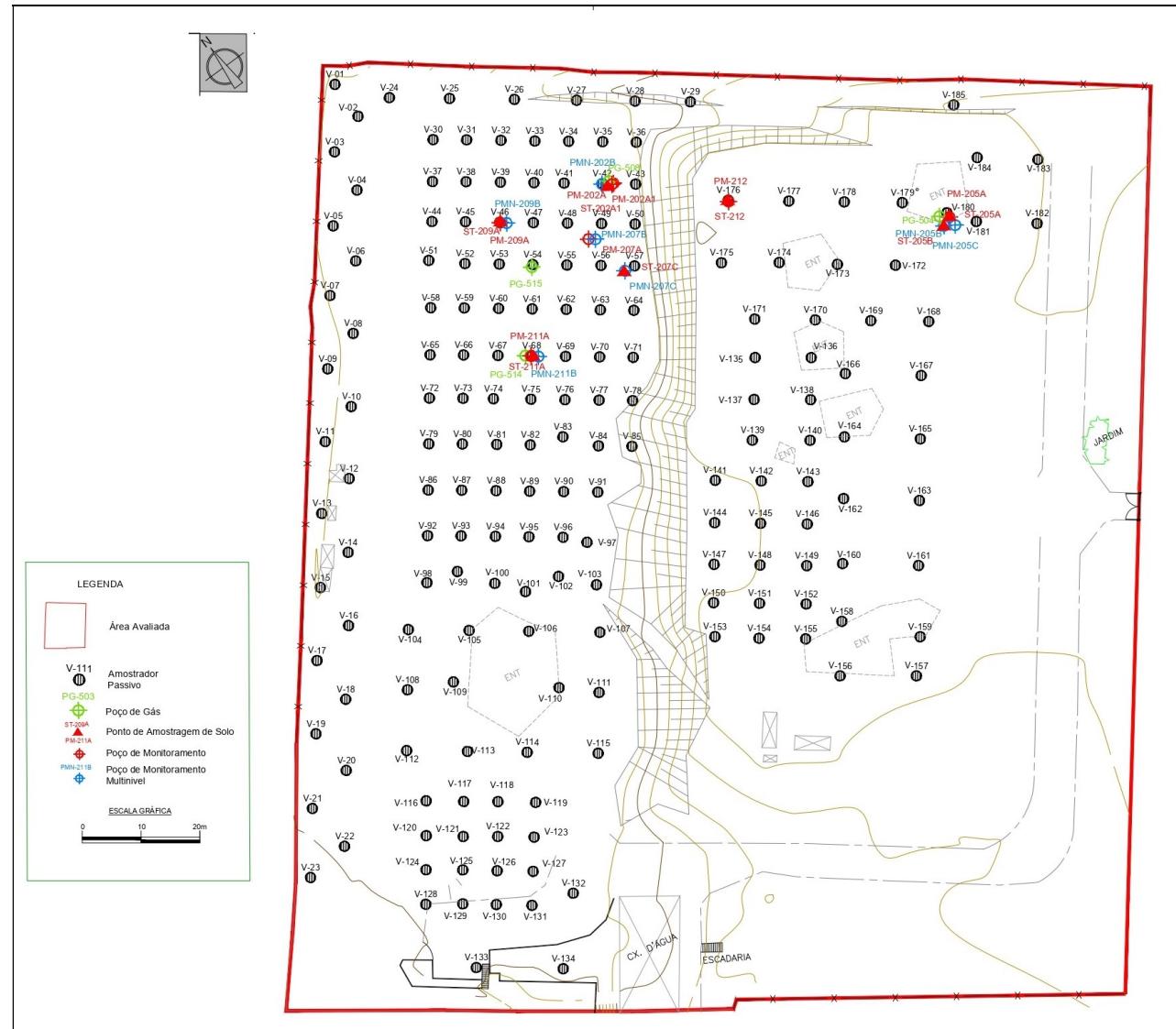
Na Tabela 3 são apresentadas as características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de água subterrânea.

Tabela 3 – Características e justificativa de localização dos poços de monitoramento e amostras de vapor.

A large empty rectangular box with a thin black border, representing a table that is intended to be filled with data but is currently blank.

Na Figura 4 são apresentadas as localizações dos amostradores passivos, sondagens para coleta de solo e instalação de poços de monitoramentos.

Figura 04 – Localização dos pontos de investigações.



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo demonstrar a utilização de amostradores passivos para mapeamento de focos de contaminações por compostos orgânicos voláteis em áreas descaracterizadas. Portanto, após a etapa de instalação dos amostradores, retirada e análise química dos cartuchos, novas etapas de investigações foram realizadas para confirmação efetiva da contaminação no solo, água ou vapor.

Ressalta-se que o estudo original não se limitou apenas as amostragens apresentadas nessa Monografia, mas sim a um escopo mais abrangente.

- Resultados dos amostradores passivos

No Anexo 1 são apresentados os resultados dos amostradores passivos e na Figura 5 estão representados os resultados para os compostos organoclorados. Os compostos que foram identificados em maior magnitude foram: Tetracloroeteno, Tricloroeteno, Dicloroeteno Cis e Trans e Cloreto de Vinila. Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos pontos com os resultados mais representativos das massas detectadas nos amostradores passivos, cuja somatória de compostos clorados ficou acima de 50.000 ng.

Observa-se que em toda a área foram observadas massas de vapores de compostos organoclorados, sendo a maior massa observada no ponto V-181 com 314.025 ng de clorados no patamar superior do terreno, onde havia algumas pilhas de solo oriundas de uma etapa anterior de movimentação de solo no patamar intermediário do terreno.

No patamar inferior do terreno, observou-se que a maior massa de clorados foi identificada no V-42 com 238.090 ng e em seu entorno também foram identificadas massas significativas desses compostos, coerente com o histórico anterior, onde operava a unidade fabril, no entanto, ressalta-se que essa porção foi considerada como uma fonte secundária de contaminação.

CLARKE et al. em 2008 publicou um estudo onde foram utilizados amostradores passivos para determinação de fonte e extensão da contaminação na água subterrânea por tetracloroeteno em área urbana. Como conclusão do estudo, Clarke diz que a investigação foi eficaz na identificação da origem do tetracloroeteno e que a investigação também teve sucesso em delinear a extensão lateral da pluma de tetracloroeteno e concluiu que a pesquisa pelo método de amostragem passiva provou ser um método rentável para identificar as áreas de origem e a extensão da pluma de compostos organoclorados.

Tabela 4 – Resultados mais representativos dos amostradores passivos.

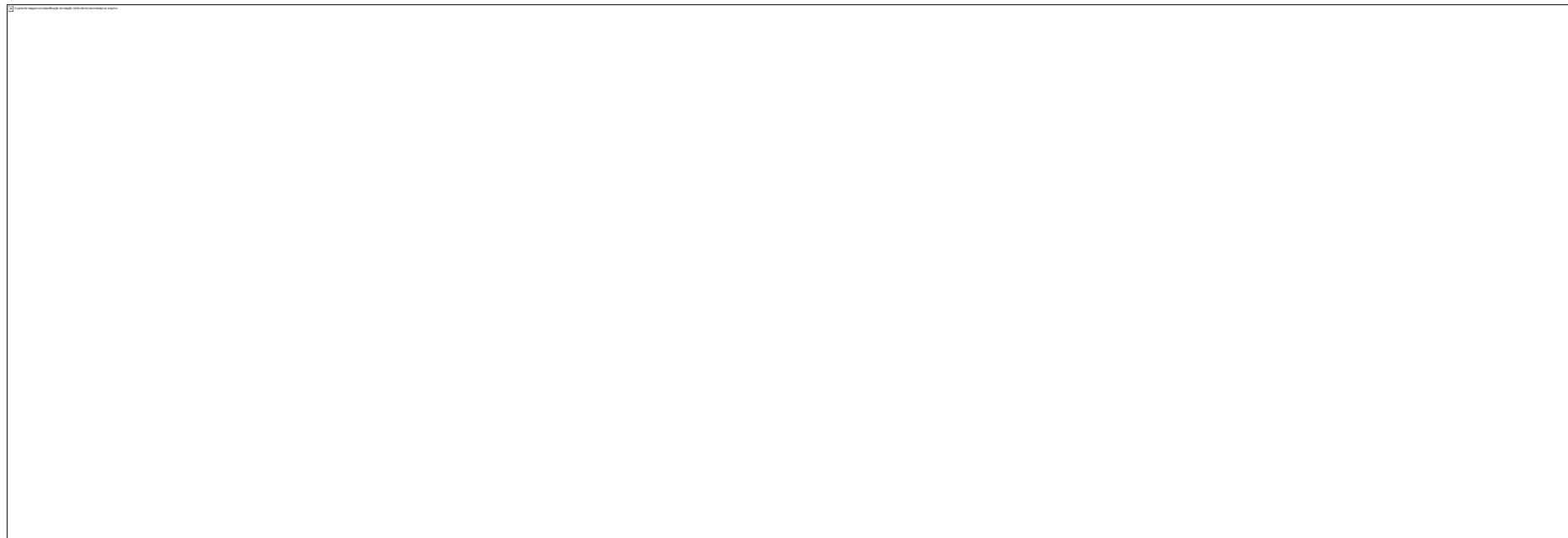
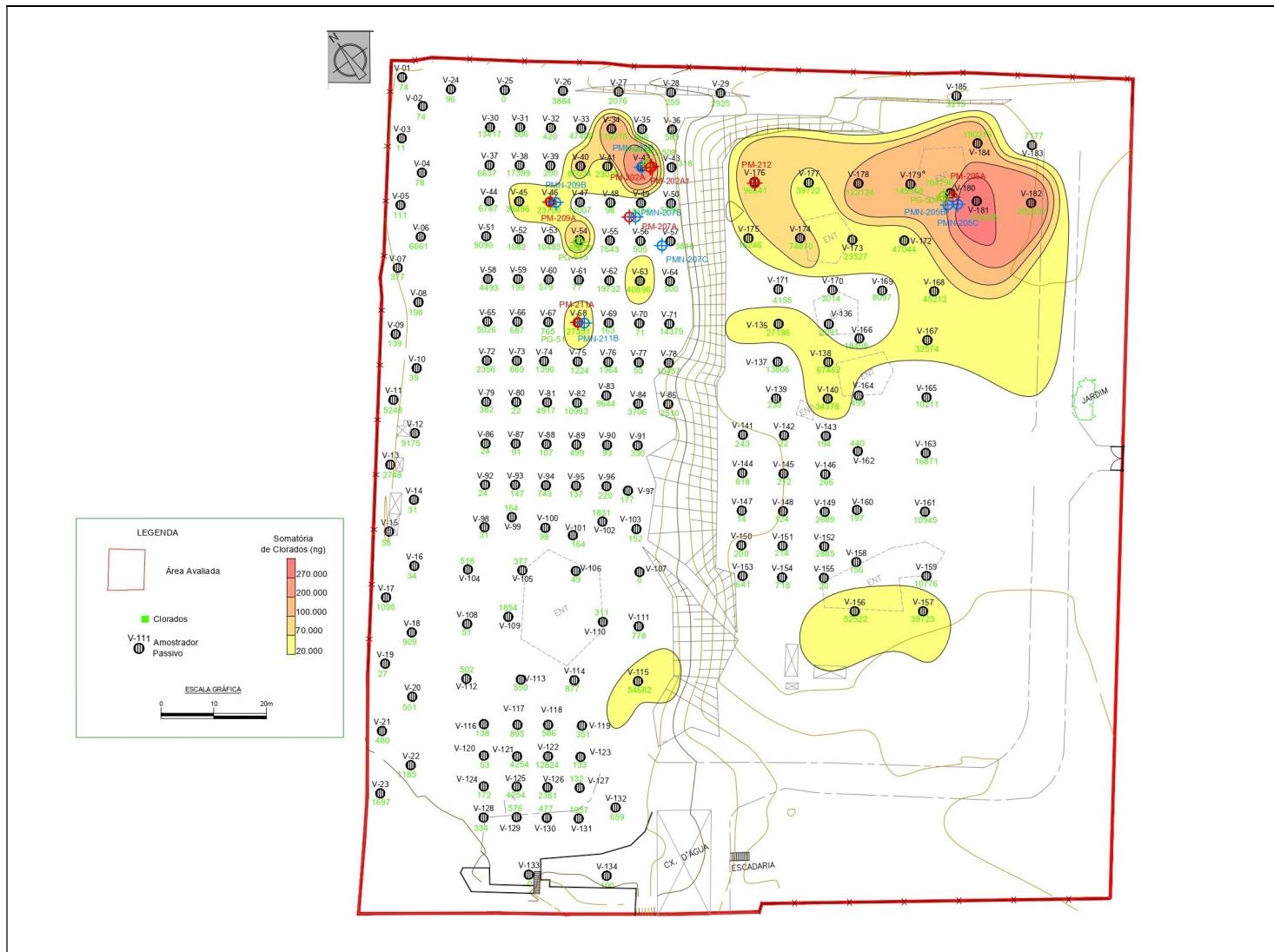


Figura 05 – Resultados para os organoclorados – Amostradores passivos.



- Resultados analíticos das amostras de solo

De maneira a compreender as evidências mostradas pela malha de amostradores passivos, foram coletadas amostras de solo em diversas profundidades em pontos específicos, conforme apresentados na Tabela 1. Na Tabela 5 são apresentados os resultados de solo e na Figura 06 são apresentados esses resultados em planta.

Verificou-se que no horizonte de 5,5 a 7 metros de profundidade da sondagem ST/PM-202A1 foram detectadas concentrações de Tetracloroeteno e Tricloroeteno em concentrações acima dos Valores de Intervenção estabelecidos pela CETESB (2016).

Na sondagem ST/PM-211A foram detectadas concentrações de 1,1,2,2-Tetracloroetano Tetracloroeteno, Tricloroeteno em concentrações acima dos Valores de Intervenção à 2,5 metros de profundidade. Ressalta-se que a maior concentração de Tetracloroeteno foi identificada nesse ponto com concentração de 1341,82 mg/kg, cerca de 1676 vezes maior que o valor de intervenção residencial estabelecido pela CETESB (2016).

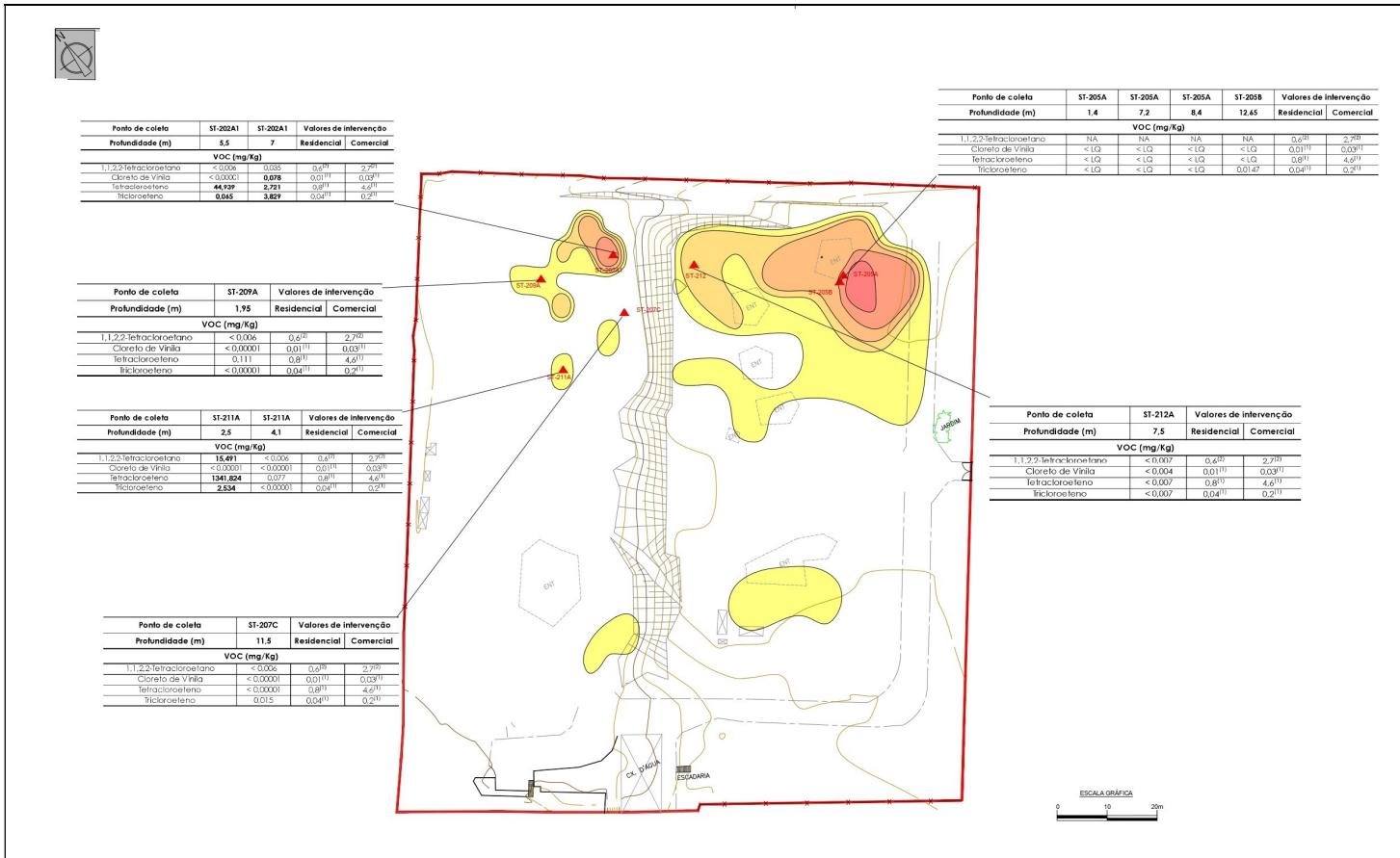
Tanto a Sondagem ST/PM-202A1 como a ST/PM-211A encontram-se no patamar inferior, e esses resultados evidenciam a presença de fase retida no solo atuando com como uma fonte secundária de contaminação da água subterrânea e consequentemente dos vapores do ar do solo.

Nas sondagens do grupo ST/PM-05 e ST/PM-212A localizada no patamar superior onde no passado foi área administrativa e houve o depósito de solo oriundo de remediação no patamar inferior, não foram detectadas concentrações acima dos valores de intervenção. Esses resultados mostram que, possivelmente, o impacto detectado pelos passivos estão restritos a porção superficial dos poros do solo.

Tabela 5 – Resultados analíticos de amostras de solo.

A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying the central portion of the page below the caption. It appears to be a placeholder for a table or figure that has been redacted or is missing from the document.

Figura 06 – Resultados das amostras de Solo



- Resultados analíticos das amostras de água subterrânea

Para a água subterrânea, seguindo a mesma tendência indicadas pelos amostradores passivos e pelas amostras de solo e, os compostos com maiores magnitudes de concentrações foram Tetracloroeteno, Tricloroeteno, 1,2 Dicloroeteno e Cloreto de Vinila. Na Tabela 6 são apresentados os resultados de Água Subterrânea e na Figura 7 são apresentados esses resultados em planta.

Para os conjuntos do PM-202 e PM-207, instalado no mesmo local do amostrador passivo V-42 e 48/49, respectivamente, no patamar inferior do terreno, verifica-se a presença desses compostos em concentrações acima dos valores orientadores com tendência de elevação da concentração com o avanço da profundidade até 10,5 metros, já no poço mais profundo verifica-se tendência de redução das concentrações.

Para os poços PM-209 e 211, instalados nos passivos V-46 e V-68, respectivamente, no patamar inferior do terreno, verificou-se concentrações desses compostos mais altas no aquífero mais raso.

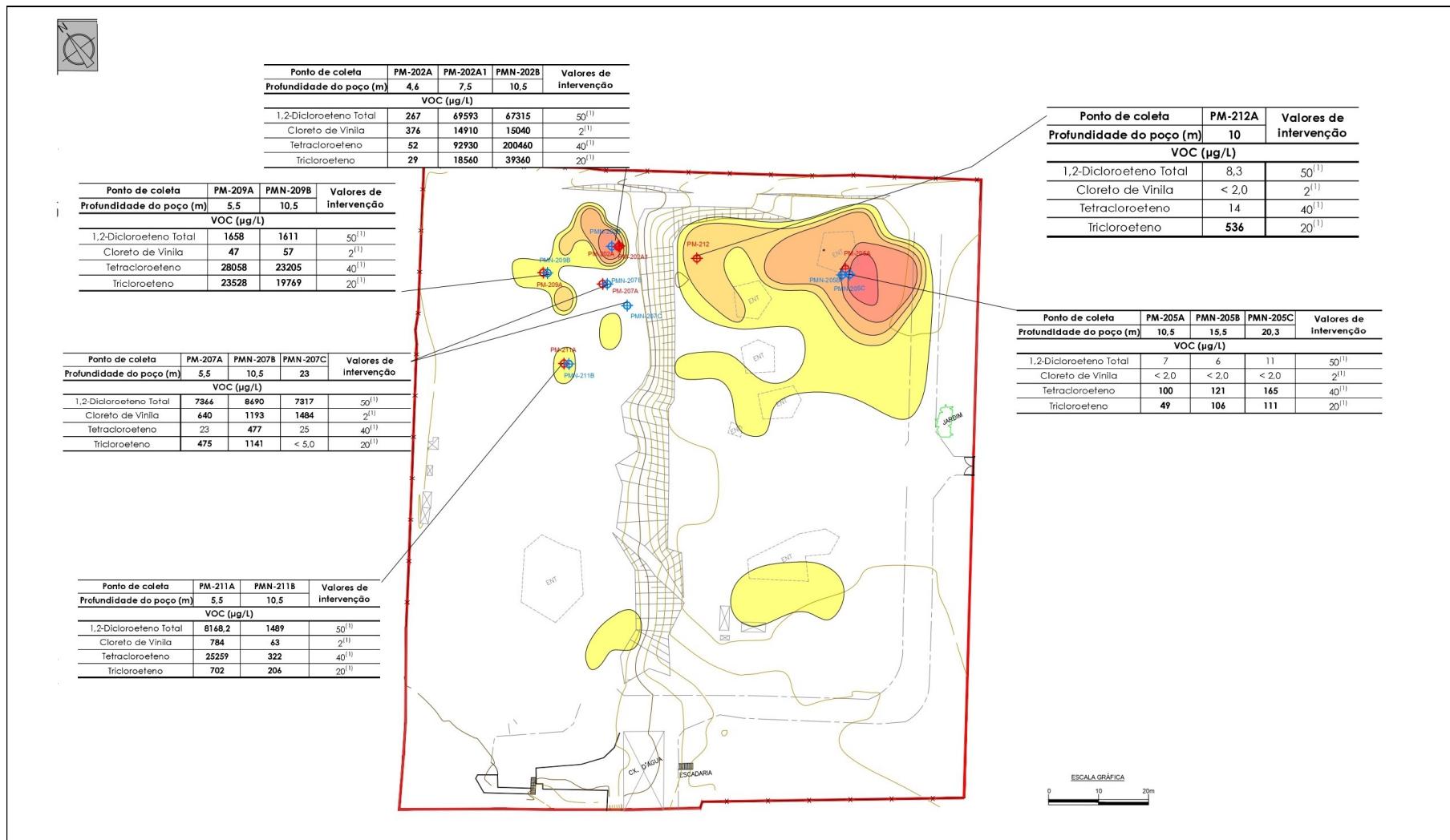
Para os poços do conjunto PM-205 e do poço PM-212, instalados nos locais dos amostradores passivos V-180/181 e V-176, respectivamente, no patamar superior do terreno, foram detectadas concentrações de Tetracloreto e Tricloroeteno (PM-205) e Ticloroeteno (PM-212) acima dos Valores de Intervenção da CETESB (2016), indicando algum processo de dissolução/solubilização dos compostos presentes no solo oriundo de remediação ali depositado.

A maior concentração detectada foi de 200.460 µg/L no PM-202B a 10,5 metros de profundidade para o composto tetracloroeteno, sendo que essa concentração é 5.011 vezes superior ao valor de intervenção da CETESB (2016).

Tabela 6— Resultados analíticos de amostras de água subterrânea.

1 de 1 | Página 1 de 1 | Versão 1.0 | Edição 1.0 |

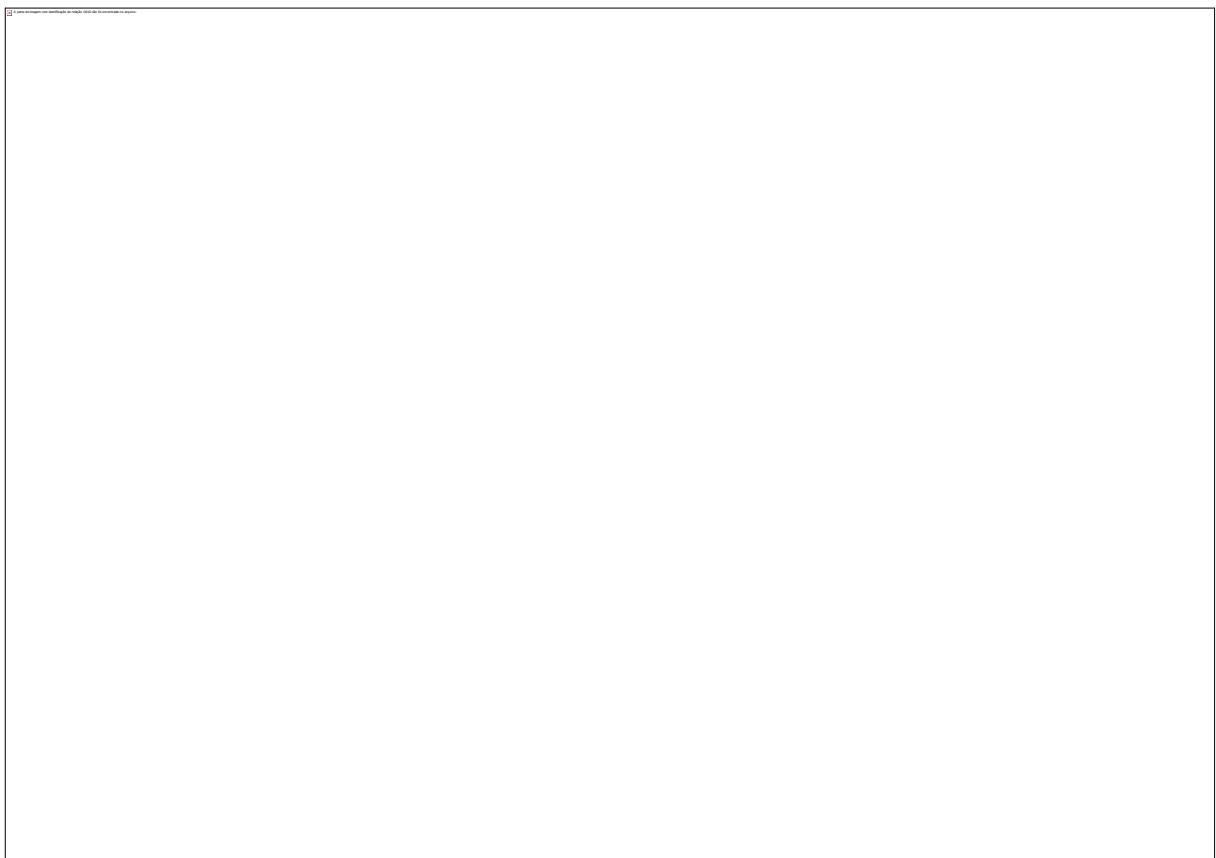
Figura 07 – Resultados das amostras de água subterrânea



- Resultados das amostras de vapores do solo

Para os vapores do solo, seguindo a mesma tendência das amostras de solo, água e indicados pelos amostradores passivos, os compostos com maiores magnitudes de concentrações foram Tetracloroeteno, Tricloroeteno e Cloreto de Vinila. Na Tabela 7 são apresentados os resultados de Vapor e na Figura 8 são apresentados esses resultados em planta.

Tabela 7– Resultados analíticos de amostras de solo.

A large empty rectangular box with a thin black border, likely a placeholder for the content of Table 7.

Ressalta-se que no geral, as concentrações de Tetracloroeteno, Tricloroeteno e Cloreto de Vinila apresentaram-se acima dos Valores de Intervenção da USEPA, o que já se configura risco de ocupação para do terreno seja para o uso residencial como comercial.

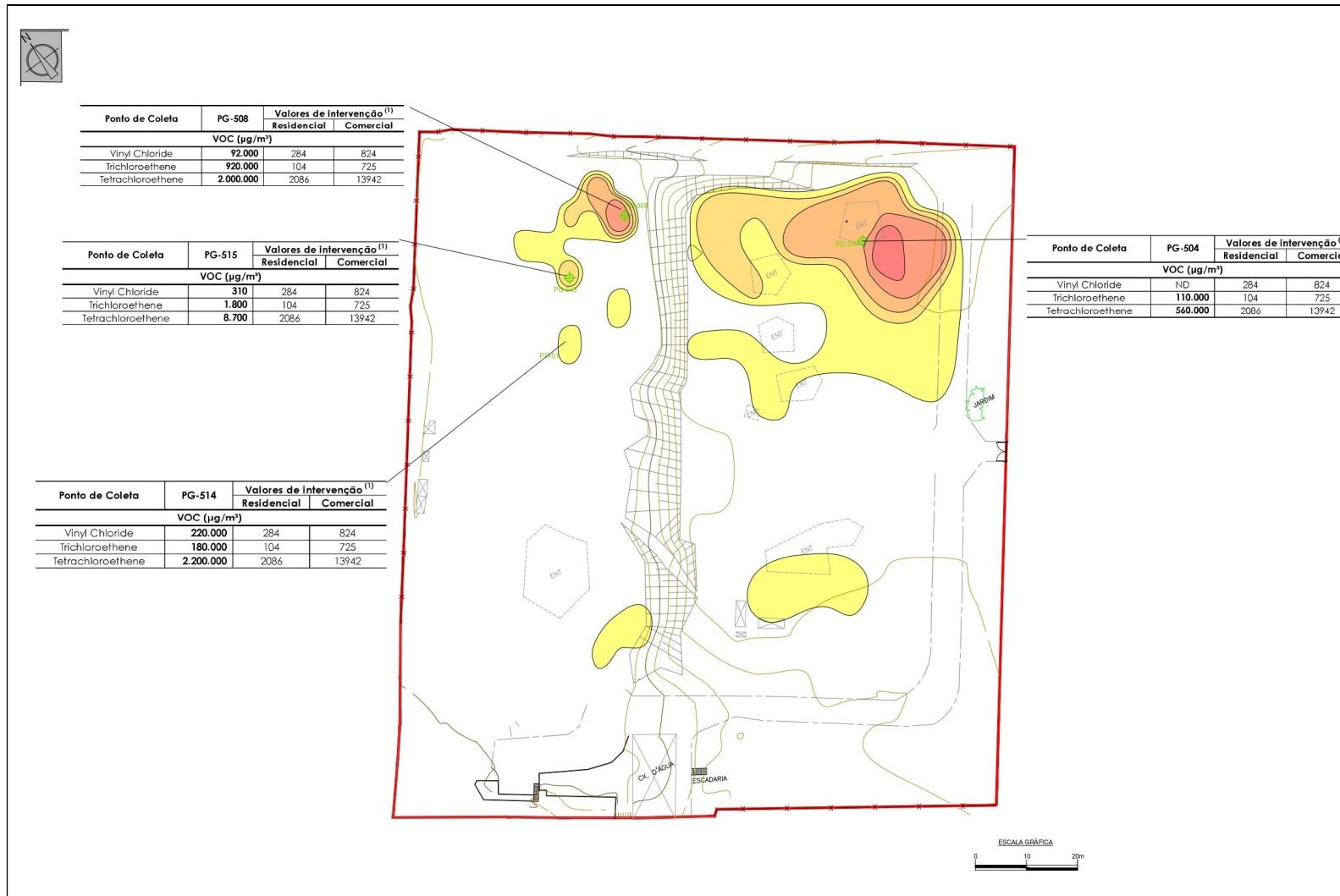
Para vapores no patamar inferior nos poços de vapor PG-508 e PG-514 foram detectadas concentrações máximas de Tetracloroeteno acima de $2.000.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o qual é 959 vezes maior que o valor de intervenção da USEPA (2019).

No patamar superior, foi detectada concentração de $560.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reforçando a hipótese de transferência de contaminação do solo oriundo de remediação para a área.

Diante dos resultados obtidos pela aplicação de amostradores passivos na etapa de investigação ambiental da área, verificou-se cenários diferentes entre as áreas avaliadas, os patamares inferior e superior. Destacam-se os resultados analíticos detectados no patamar inferior, possivelmente originados devido às antigas fontes primárias da atividade industrial desenvolvida nessa porção do terreno.

De acordo com a Ficha de Informação toxicológica de Tetracloroeteno da CETESB de 2022, podemos verificar que é um composto utilizado amplamente em lavanderias e indústrias e que as principais vias de exposição a esse organoclorado é através da inalação, ingestão de água ou alimentos contaminados. A inalação desse composto pode causar depressão do sistema nervoso central, náusea, sonolência, inconsciência e morte. A Agência Internacional em Pesquisa de Câncer, classifica o Tetracloroeteno como provável cancerígeno, onde estudo evidenciaram aumento de risco para câncer de esôfago, cervical e de linfoma não-Hodgkin.

Figura 08– Resultados das amostras de vapor do solo



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as informações levantadas ao longo da elaboração dessa monografia, pode-se entender que uma área contaminada é definida como um local com fonte de contaminação, impactando solo, água, ar, construções, entre outros. No Estado de São Paulo, as etapas principais de gerenciamento de áreas contaminadas contemplam o levantamento do histórico da área, investigações confirmatória e detalhada, avaliação de risco, plano de intervenção, remediação e obtenção do termo de reabilitação. A avaliação ambiental preliminar é vital para identificar problemas, orientando estudos detalhados e planos de intervenção. A consolidação de informações permite definir áreas fontes de contaminação.

Frequentemente, informações detalhadas tais como desenhos técnicos, diagramas de processos produtivos e inventários de substâncias/compostos manipulados, podem estar indisponíveis devido à inexistência desses dados por variadas razões. Uma circunstância adicional que pode influenciar na aquisição de informações e evidências relacionadas a atividades suscetíveis de causar contaminação é a desfiguração de estruturas construtivas, seja através de demolição integral ou parcial, reduzindo as opções de orientação eficaz das investigações.

Métodos de *screening*, como levantamentos de informações de baixo custo, auxiliam na confirmação de suspeitas de contaminação. Em 2017, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) divulgou a Decisão de Diretoria 038/2017/C, com as diretrizes para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Através da definição do Modelo Conceitual Inicial, são estabelecidas estratégias específicas de investigação. Na presença de incertezas relativas à identificação, caracterização e localização de áreas-fonte, assim como das possíveis fontes de contaminação associadas a essas áreas, a investigação demanda a aplicação de métodos, como *screening*. Essas abordagens visam orientar e fornecer evidências sobre o ambiente físico, a natureza e a distribuição de substâncias químicas de interesse. Tal processo visa otimizar a eficiência e a adequação do direcionamento das investigações.

O estudo de caso do presente trabalho visou apresentar a aplicação do método de *screening* em uma área, usando amostradores passivos para direcionar investigações subsequentes com o objetivo de desenvolver um modelo conceitual de contaminação eficiente em uma área descaracterizada, facilitando decisões para a reabilitação do local.

De acordo com os dados obtidos pode-se concluir, que o método de *screening* baseado em amostragem de vapor passiva para determinação de compostos orgânicos voláteis utilizado foi eficaz e auxiliou com precisão no direcionamento das demais investigações. No estudo de caso específico, permitiu a verificação de que o patamar inferior apresenta contaminação decorrente de antigas fontes primárias da antiga fábrica de equipamentos elétricos e que a fase adsorvida no solo está se comportando como uma fonte secundária de contaminação. Já no patamar superior onde havia apenas histórico de uso administrativo, verifica-se que a magnitude de contaminação é menor e pode estar correlacionada com o manuseio de solo contaminado do patamar intermediário em anos anteriores e que ainda estava presente no local no momento em que a investigação foi realizada.

Através dos dados obtidos, os estudos foram ampliados, possibilitando assim um direcionamento mais assertivo da técnica de remediação a ser utilizada na área em questão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-1: Passivo Ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16210: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas — procedimento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO/IEC 17.025: Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017

ASTM D7558. **Passive soil gas sampling in the vadose zone for source identification, spatial variability assessment, monitoring, and vapor intrusion evaluations.** ASTM, 2011.

CAL EPA, California Environmental Protection Agency. **Advisory – Active Soil Gas Investigations.** California Environmental Protection Agency, 2015. Disponível em: https://dtsc.ca.gov/wp-content/uploads/sites/31/2021/11/VI_ActiveSoilGasAdvisory_FINAL_a.pdf Acesso em: 05 nov. 2023

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** 1. ed. São Paulo: CETESB, 1999.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Procedimento para Avaliação de Gases no solo (SASC).** São Paulo: CETESB, 2007.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria 38/2017/C.** São Paulo, p. 65. 2017.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Seção 5.1: Introdução – Avaliação Preliminar** In: Áreas contaminadas. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/avaliacao-preliminar/introducao-avaliacao-preliminar/> Acesso em: 30 out. 2023

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental** Ficha de informação Toxicológica – Tetracloroeteno <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Tetracloroetileno.pdf> – Atualizado em fevereiro de 2022 Acesso em: 20 fev. 2024

CLARKE, J. N. et al. **Application of passive soil gas technology to determine the source and extent of a PCE groundwater plume in an urban environment.** Remediation Journal, v. 18, n. 4, p. 55–62, 2008.

GEOPROBE®. <https://geoprobe.com/mip-membrane-interface-probe>. Disponível em: <https://geoprobe.com/direct-image/mip-membrane-interface-probe> Acesso em: 09. nov. 2023.

MILANI, M.G., CARVALHO, A.C.M.G. **Estudo de tecnologias de investigação ambiental em alta resolução para refinamento do modelo conceitual – estudo de caso – Duque de Caxias (RJ), Brasil** <https://www.scielo.br/j/esa/a/j4pHdN3CC6SWqJmXBkpcKcx/> Acesso em: 09. nov. 2023.

RIYIS, M. T. **Varredura de Compostos Orgânicos Voláteis – VOCs. 2018.** Disponível em <http://www.ecdambiental.com.br/2018/04/varredura-de-compostos-organicos.html> Acesso em: 08. nov. 2023.

VAPOR SOLUTIONS – **Manual de Amostragem Passiva VSorber ®, 2019** – Apresentado pelo Fornecedor.

ANEXO 1 – TABELA DE RESULTADOS DOS AMOSTRADORES PASSIVOS

