

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

THOMÁS GERDULO BODELÃO

**Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumas de  
Contaminação em Investigações Detalhadas**

São Paulo

2022

**Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumas de  
Contaminação em Investigações Detalhadas**

**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: Reginaldo Bertolo

São Paulo

2022

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

Gerdulo Bodelão, Thomás

Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumas de Contaminação em Investigações Detalhadas / T. Gerdulo Bodelão -- São Paulo, 2022.

66 p.

Monografia (MBA em 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. Legislação Ambiental 2. Áreas Contaminadas 3. Contaminação do Solo  
4. Contaminação de Águas Subterrâneas 5. Remediação do Solo I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Jéssica J. Simon, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou durante todo esse tempo.

À minha família que me apoiou em todos os momentos, em especial, aos meus pais e meu irmão.

Ao Dr. Reginaldo Bertolo pela orientação, pelas discussões, ensinamentos e dedicação durante este trabalho.

Aos profissionais entrevistados, Marco Pede, Marcos Tanaka, Paulo Lima e José Lutti, os quais contribuíram muito para o desenvolvimento do presente trabalho.

À toda equipe do MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

E, finalmente, a todos aqueles que em algum momento me ajudaram e apoiaram ao longo deste caminho e não foram aqui citados.

## RESUMO

Bodelão, Thomás Gerdulo. Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumas de Contaminação em Investigações Detalhadas. 2022. 66 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A delimitação das plumas de contaminação, segundo a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, deve ser integral, independente da classificação da área (complexa ou não). Porém ela não identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória, dificultando a realização das investigações em diversas situações. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar criticamente a exigência pela Decisão de Diretoria (DD) Nº 038/2017/C da CETESB do mapeamento tridimensional de plumas de contaminação na execução de uma Investigação Detalhada, independente da complexidade do site e de outros desafios que podem ser encontrados ao longo desta etapa do gerenciamento. Sendo assim, inicialmente realizou-se o levantamento dos documentos pertinentes, a fim de revisá-los e formar uma opinião crítica da exigência da DD. A partir disso, foram definidas perguntas que foram realizadas aos entrevistados convidados. Os principais resultados, de acordo com cada questão foram: (1) Os quatro entrevistados concordam que a DD é um documento de qualidade excelente; (2) Três dos quatro entrevistados acreditam que não seja possível delimitar integralmente as plumas de contaminação em todos os casos, porém todos concordam que as complexidades técnicas e questões orçamentárias envolvidas dificultam a delimitação em alguns casos; (3 e 4) Todos os quatro entrevistados citaram pelo menos uma ou mais complexidades técnicas e não técnicas envolvidas na delimitação, sendo elas principalmente condições geológicas/heterogeneidade geológicas, condições hidrogeológicas, contaminação de água subterrânea em grandes profundidades e condições relacionadas a contaminantes, mudanças de uso e questões orçamentárias; (5) Todos entrevistados concordam com uma repercussão positiva quanto à hipotética adoção de algo similar às diretrizes apresentadas no documento do Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) no Brasil, apenas com uma ressalva de que seu cumprimento na prática poderia não ser integral; (6) Cada um dos entrevistados apresentou sugestões distintas, desde manter o foco no cumprimento da legislação atual, maior intervenção dos órgãos públicos até a elaboração de novos documentos. Com base no levantamento bibliográfico e nas entrevistas, fica evidente a contribuição da DD para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), porém é necessário ressaltar que ela não

identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória, o que dificulta as investigações em situações de complexidade geológica e contaminação, culminando em complexidades não técnicas, como custos elevados. Tais complexidades podem resultar em atendimento incompleto de alguns itens da DD, impossibilitando o avanço para as próximas etapas. Apesar de a CETESB preconizar o uso de literaturas internacionais, o "Remediation Management of Complex Sites" não é um documento oficial no Brasil, o que pode dificultar sua aceitação quando utilizado em determinadas etapas do GAC. Portanto, como sugestão, seria de grande contribuição para os profissionais da área se a próxima revisão da presente DD contemplasse algo similar ou que fosse realizada a elaboração e oficialização de um outro com conteúdo análogo ao preconizado pelo ITRC.

Palavras-chave: Legislação Ambiental, Áreas Contaminadas, Contaminação do Solo, Contaminação de Águas Subterrâneas e Remediação do Solo.

## ABSTRACT

Bodelão, Thomás Gerdulo. Evaluation of Criteria for The Complete Spatial Delimitation of Contamination Plumes in Detailed Investigations. 2022. 66 f. Monograph (MBA in Contaminated Area Management, Sustainable Urban Development and Brownfields Revitalization) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The delimitation of contamination plumes, according to the document Nº 038/2017/C of CETESB, must be integral, regardless of the classification of the area (complex or not). However, it does not clearly identify what are the criteria and activities necessary to be carried out for satisfactory delimitation to occur, making it difficult to carry out investigations in various situations. The main objective of this work was to critically evaluate the requirement by document Nº 038/2017/C of CETESB of three-dimensional mapping of contamination plumes in the execution of a Detailed Investigation, regardless of the complexity of the site and other challenges that can be faced throughout this stage of management. Thus, initially, the relevant documents were surveyed in order to review them and form a critical opinion of the DD requirement. From this, questions were defined that were asked to the invited interviewees. The main results, according to each question were: (1) The four interviewees agree that DD is an excellent quality document; (2) Three of the four interviewees believe that it is not possible to fully delimit the contamination plumes in all cases, but all of them agree that the technical complexities and budgetary issues involved make it difficult to delimit in some cases; (3 and 4) All four interviewees cited at least one or more technical and non-technical complexities involved in the delimitation, mainly geological conditions/geological heterogeneity, hydrogeological conditions, groundwater contamination at great depths and conditions related to contaminants, changes in use and budgetary issues; (5) All interviewees agree with a positive repercussion regarding the hypothetical adoption of something similar to the guidelines presented in the Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) document in Brazil, with only a caveat that its compliance in practice might not be integral; (6) Each of the interviewees presented different suggestions, from keeping the focus on compliance with current legislation, greater intervention by public agencies to the preparation of new documents. Based on the bibliographic survey and interviews, it is evident the contribution of DD to the Management of Contaminated Areas (GAC), but it is necessary to emphasize that it does not clearly identify what are the criteria and activities necessary to be carried out for satisfactory delimitation, which hinders investigations in situations of geological complexity and contamination, non-

technical complexities, such as high costs. Such complexities may result in incomplete care of some DD items, making it impossible to advance to the next steps. Although CETESB advocates the use of international literature, the "Remediation Management of Complex Sites" is not an official document in Brazil, which may hinder its acceptance when used in certain stages of GAC. Therefore, as a suggestion, it would be of great contribution to professionals in the area if the next review of this DD contemplated something similar or that the elaboration and officialization of another with content analogous to that recommended by the ITRC were carried out.

Keywords: Environmental Legislation, Contaminated Areas, Soil Contamination, Groundwater Contamination and Soil Remediation.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Constatações de Grupo de Contaminantes.</i> .....	6
<i>Figura 2. As diferentes fases do contaminante em meio ambiente subterrâneo.</i> .....	7
<i>Figura 3. Etapas para remediação de sites complexos.</i> .....	17
<i>Figura 4. Modelo Conceitual da unidade.</i> .....	30

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>4.1 Áreas Contaminadas .....</b>	<b>5</b>
4.1.1 Comportamento dos Contaminantes.....	6
<b>4.2 Legislações de Áreas Contaminadas .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3 Gerenciamento de Áreas Contaminadas .....</b>	<b>10</b>
4.3.1 Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB .....	10
<b>4.4 Gerenciamento de Remediação em Sites Complexos .....</b>	<b>14</b>
4.4.1 Estudos de Caso .....	27
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Reconhecimento e Leitura dos Documentos Pertinentes.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 Discussão dos Resultados.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Entrevistas.....</b>	<b>33</b>
5.3.1 Definição do questionário .....	33
5.3.2 Os Entrevistados.....	34
<b>5.4 Fechamento Final .....</b>	<b>35</b>
<b>6. RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>36</b>
6.1 Entrevistas .....	36
6.2 Discussão dos Resultados.....	48
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso fundamental no Estado de São Paulo, sendo que 80% dos municípios do estado utilizam essa água, parcial ou exclusivamente, para o abastecimento público (IBGE, 2002; CETESB, 2007). Com a crescente expansão urbana e industrial, a deterioração da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos vem sendo motivo de preocupação para profissionais que atuam na área ambiental, pois cada vez mais estão sujeitos à contaminação pelos dejetos urbanos, vazamentos acidentais que ocorrem em indústrias, postos de abastecimento e outras atividades que podem comprometer a qualidade desse recurso (CETESB, 2012).

O Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, publicado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em dezembro de 2020, identificava 6.434 áreas como contaminadas, mostrando um número crescente desde 2002, que era de pouco mais de 250 áreas (CETESB, 2020). Entre os contaminantes encontrados em águas subterrâneas, destacam-se compostos orgânicos de várias classes, como solventes aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), combustíveis automotivos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), TPH, metais e solventes halogenados.

Em função da crescente preocupação dos profissionais que atuam no meio ambiente e do aumento de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, a CETESB elaborou em 1999 o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, com a finalidade de identificar, gerenciar e reabilitar áreas contaminadas. Em 07 de fevereiro de 2017 a CETESB publicou a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, a qual “dispõe sobre a aprovação do Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e estabelece Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências”.

A Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, referente ao Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), estabeleceu desenvolver as seguintes etapas: Identificação de Áreas Contaminadas (Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação, Priorização de Áreas com Potencial de Contaminação, Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Avaliação de Risco); Processo de Reabilitação de Áreas

Contaminadas (Elaboração do Plano de Intervenção, Execução do Plano de Intervenção, Monitoramento para Encerramento, Emissão do Termo de Reabilitação para o Uso Declarado), Ações Emergenciais e Averbação.

O mapeamento das plumas de contaminação, segundo a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, deve ser realizado durante a Investigação Detalhada, sendo que em sua finalização, as plumas devem estar integralmente delimitadas, independente da classificação da área (complexa ou não). Áreas complexas, de modo geral, são sites onde abordagens de remediação não são suficientes e/ou esperadas para realizar o encerramento ou facilitar a transição para gestão sustentável de longo prazo dentro de um prazo razoável (ITRC, 2017). Além disso, a DD 038 não identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória, dificultando inclusive para os profissionais da área na identificação e realização das investigações em diversas situações de complexidade geológica (por exemplo, aquíferos fraturados e/ou aquíferos multicamadas) e de contaminação (plumas combinadas e/ou plumas muito grandes), que conferem características de complexidades técnicas aos sites, e que resultam em complexidades não técnicas, tais como custos muito elevados, limite das responsabilidades pelas investigações entre dois ou mais responsáveis legais, dentre outros.

Assim, será desenvolvida uma pesquisa identificando os desafios e seus impactos na execução de uma Investigação Detalhada, referente a etapa da delimitação tridimensional de plumas contaminação. Especificamente, este trabalho visa desenvolver o conhecimento e demonstrar os impactos da execução de uma Investigação Detalhada em áreas complexas, abordando os desafios técnicos e não técnicos, baseado em referências bibliográficas, estudos de caso, bem como entrevistas com diversos profissionais da área.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar criticamente a exigência pela DD Nº 038/2017/C da CETESB do mapeamento tridimensional de plumas de contaminação na execução de uma Investigação Detalhada, independente da complexidade do site e de outros desafios que podem ser encontrados ao longo desta etapa do gerenciamento.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar os desafios técnicos que podem resultar de um site complexo (Condições geológicas; Condições hidrogeológicas; Condições geoquímicas; Condições relacionadas a contaminantes e Sites de grande escala).
- Avaliar os desafios não técnicos que podem resultar de um site complexo (Objetivos do site; Mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo; Sobreposição de responsabilidades regulatórias; Mudanças de uso do site; Controles institucionais e Financiamento).

### **3. JUSTIFICATIVA**

A Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, emitida pela CETESB em 07 de fevereiro de 2017, teve por finalidade atualizar/adequar alguns procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas, além de descrever detalhadamente o que deve constar em cada uma das etapas, desde a Identificação de Áreas Contaminadas, Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas, Ações Emergenciais e Averbação. Em resumo, é um guia para todos os profissionais do Estado de São Paulo que atuam na área ambiental, o qual tem o objetivo de aumentar a qualidade dos trabalhos desenvolvidos no GAC, priorizando a eficiência, otimizando os recursos, reduzindo o tempo e o custo da intervenção ambiental.

Entretanto, alguns itens da Decisão de Diretoria da CETESB podem impossibilitar seu atendimento integral, a depender das características do site e/ou processos não técnicos envolvidos. Isso pode inviabilizar o avanço para as próximas etapas do gerenciamento, podendo, inclusive, acarretar autuações para o responsável legal da área.

No presente estudo, o tema abordado é o mapeamento das plumas de contaminação, que segundo a Decisão de Diretoria, deve ser realizado durante a Investigação Detalhada, sendo que em sua finalização, as plumas devem estar integralmente delimitadas. Partindo do exposto e das pontuações feitas até aqui, fica evidente que as características de cada área (complexas ou não) e dos processos não técnicos envolvidos influenciam diretamente no mapeamento das plumas de contaminação, dificultando e/ou impossibilitando o mesmo. Sendo assim, é um assunto relevante para se tratar, além de desenvolver o conhecimento e demonstrar os impactos da execução de uma Investigação Detalhada em áreas complexas, abordando os desafios técnicos e não técnicos, baseado em referências bibliográficas, estudos de caso, bem como entrevistas com diversos profissionais da área.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

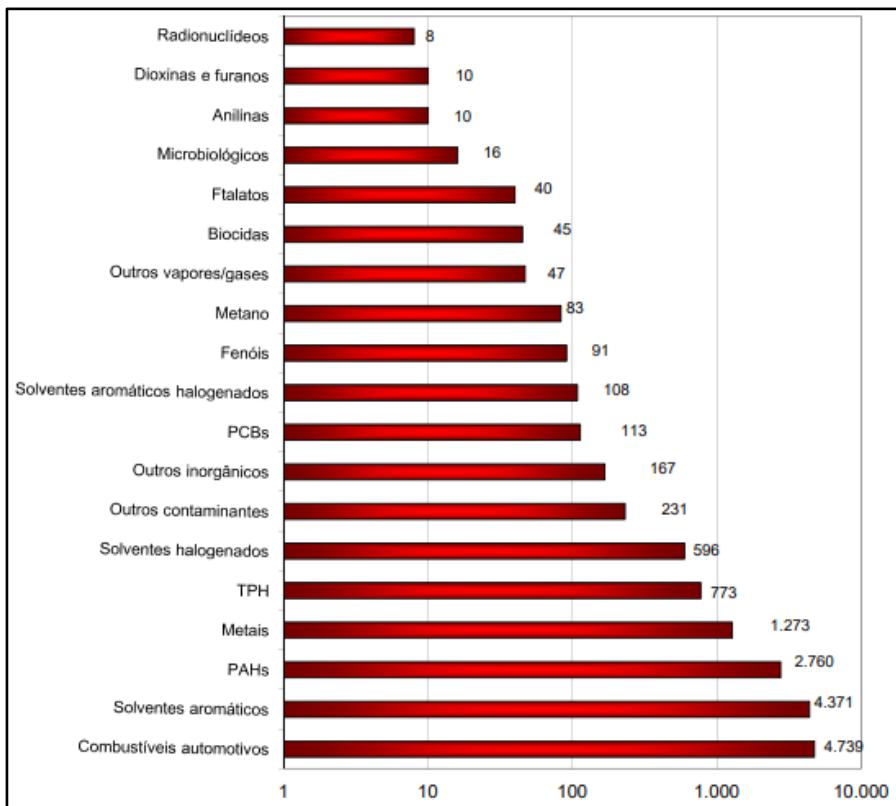
### 4.1 Áreas Contaminadas

Em função da crescente preocupação dos profissionais que atuam no meio ambiente e do aumento de áreas contaminadas no Estado de São Paulo, a CETESB elaborou em 1999 o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, o qual foi atualizado em 2021, com a finalidade de identificar, gerenciar e reabilitar áreas contaminadas, bem como desativação de empreendimentos e a reutilização de áreas que abrigam ou abrigaram atividades com potencial de contaminação.

De acordo com CETESB (2021), área contaminada (AC) “é uma área onde existe ou existiu fonte de contaminação primária e, como resultado, contém quantidades de matéria ou concentrações de substâncias, em ao menos um dos compartimentos do meio ambiente, capazes de causar danos aos bens a proteger”. É importante salientar que os principais compartimentos do meio ambiente de interesse são os solos, sedimentos, rochas, águas subterrâneas, águas superficiais, ar, organismos vivos, dentre outros.

O Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo, publicado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) em dezembro de 2020, identificava 6.434 áreas como contaminadas, mostrando um número crescente desde 2002, que era de pouco mais de 250 áreas (CETESB, 2021). Entre os contaminantes encontrados em águas subterrâneas, destacam-se compostos orgânicos de várias classes, como solventes aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), combustíveis automotivos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), TPH, metais e solventes halogenados, conforme apresentado na **Figura 1**.

Figura 1. Constatações de Grupo de Contaminantes.



Fonte: CETESB, 2021.

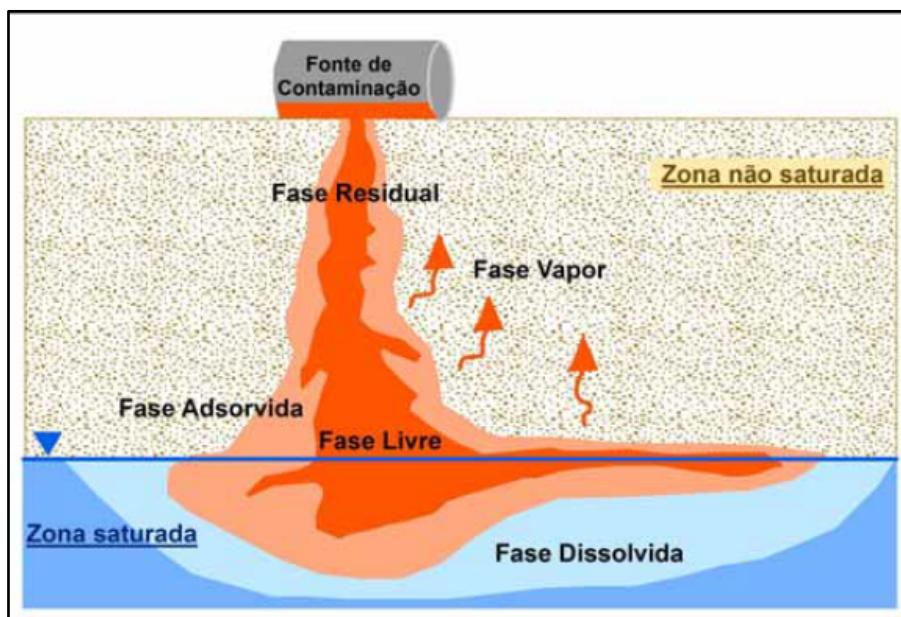
#### 4.1.1 Comportamento dos Contaminantes

Conforme exposto no item acima (4.1 *Áreas Contaminadas*), entre os contaminantes encontrados em águas subterrâneas, destacam-se compostos orgânicos de várias classes, como solventes aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), combustíveis automotivos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), TPH, metais e solventes halogenados. Sendo assim, se faz necessário uma breve introdução ao comportamento dos contaminantes e suas fases no meio ambiente subterrâneo.

O comportamento dos contaminantes orgânicos em fase líquida não-aquosa (NAPL, do inglês Non-Aqueous Phase Liquid), pode afetar o meio ambiente subterrâneo, as fases nas quais os contaminantes podem se distribuir e como estas fases se comportam na zona saturada e não-saturada. O transporte e a distribuição dos contaminantes orgânicos em meio ambiente subterrâneo são determinados pelas propriedades dos mesmos e pelas características geológicas e do meio poroso, sendo que dentre as mais importantes propriedades do contaminante, estão a densidade, a viscosidade, a tensão interfacial e a solubilidade.

Quando ocorre vazamento de combustíveis em tanques de armazenamentos subterrâneos (TAS) localizados em postos de abastecimento, vazamentos acidentais que ocorrem em indústrias e outras atividades potencialmente contaminadoras, isto provoca a contaminação dos solos e das águas subterrâneas. Ao atingir o solo, o contaminante se distribui e pode apresentar-se em cinco fases distintas (**Figura 2**):

Figura 2. As diferentes fases do contaminante em meio ambiente subterrâneo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### Fase Separada:

A fase separada é assim chamada, pois é a fase separada do ar e da água na zona não saturada; e separada da água subterrânea na zona saturada. É o produto puro, e apresenta uma interface claramente definida entre ela e os demais fluidos (água ou ar). Essa fase pode ser classificada em dois tipos:

#### *Fase residual*

Quando o contaminante migra no meio poroso, uma parcela pode ficar retida no interior dos poros, ou seja, o contaminante deixa seu rastro por onde passa, gerando-se assim a fase residual, que é caracterizada por “gotas” ou filmes desconectados presos por forças capilares dentro dos poros (OLIVEIRA, 1992). Uma das principais características dessa fase é o fato de ser imóvel.

A fase residual é bem complexa e precisa ser bem entendida, principalmente para adotar o melhor tipo de remediação, pois a permanência dela no solo é uma fonte contínua de contaminação para as águas subterrâneas, devido à lenta solubilização dos contaminantes para a água.

#### *Fase livre*

A gasolina é relativamente pouco solúvel e apresenta densidade menor que a da água, sendo classificada como LNAPL (Light Non-Aqueous Phase Liquid). Sendo assim, a gasolina quando atinge o topo da franja capilar se distribui lateralmente sobre a água. Já se o contaminante em questão for um DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid), ou seja, mais denso que a água, o produto irá infiltrar no subsolo, atingir a superfície impermeável, seguir por gravidade e continuar descendo até encontrar o topo da superfície rochosa e se espalhar lateralmente, deixando um rastro de contaminação.

Pode-se estimar o volume do produto presente na fase livre medindo e monitorando a espessura da camada sobrenadante em poços de monitoramento. Isso é possível, pois em seu caminho de infiltração o contaminante (LNAPL) procura o poro maior por ser o líquido não molhante, e os poços de monitoramento, em relação ao meio poroso, seriam como um poro de maior dimensão. Sendo assim, o produto adota esse caminho preferencial e por gravidade vai para o interior do poço. A variação sazonal do nível d'água afeta a fase livre e a residual, tanto na zona saturada quanto na não-saturada.

#### Fase dissolvida:

Quando a água subterrânea entra em contato com a fase livre e residual, ocorre a dissolução de compostos para a água subterrânea, gerando a fase dissolvida. A solubilidade dos contaminantes e o grau de mistura entre a fase livre e a água subterrânea são de extrema importância nessa fase, pois a quantidade de produto que se dissolve irá depender desses fatores. A solubilidade também varia com a temperatura e, em geral, quanto maior a temperatura, maior a solubilidade.

#### Fase vapor:

O contaminante que está próximo da, ou na, zona não-saturada (que está parcialmente preenchida por ar) pode volatilizar e algumas moléculas são transferidas para os poros vazios

do meio em que se encontra. A transferência de massa da fase líquida para a fase vapor é controlada pela constante de Henry (OLIVEIRA, 1992).

A propriedade que caracteriza a volatilidade dos compostos é a denominada pressão de vapor. Ela é diretamente proporcional à temperatura, varia conforme o composto e a mistura de compostos.

#### Fase adsorvida:

A fase adsorvida é formada quando o produto fica retido (adsorvido) na fase sólida (superfície dos grãos do solo) do meio ambiente subterrâneo. Os compostos que estão dissolvidos em água subterrânea, por forças elétricas, ficam retidos, aderindo à superfície dos grãos do solo. Portanto, a quantidade adsorvida está diretamente relacionada à área da superfície do solo e à quantidade de matéria orgânica (FERREIRA, 2003).

Essa fase se distingue claramente da fase livre e residual, pois são moléculas presas na fase sólida do meio ambiente subterrâneo e, em geral, representam uma massa menor de contaminante do que a fase livre e residual.

## **4.2 Legislações de Áreas Contaminadas**

Com a crescente preocupação sobre a temática ambiental no Brasil, surgiram leis para proteção do meio ambiente, incluindo solo, água subterrânea, superficial, dentre outros. Sendo assim, a seguir serão brevemente citadas as leis ambientais nacionais emitidas até o presente momento, e discutidas em detalhes em momentos oportunos:

- ✓ Decreto-Lei nº 1.413, de 31 de julho de 1975, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais;
- ✓ Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente;
- ✓ Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente;
- ✓ Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental;

- ✓ Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências;
- ✓ Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas;
- ✓ Resolução CONAMA 420, de 28 de dezembro de 2009, que 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;
- ✓ Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013, que regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas;
- ✓ Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017, a qual dispõe sobre a aprovação do Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e estabelece Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências; e
- ✓ Manual de gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB, em revisão com previsão de conclusão em outubro de 2021, que estabelece metodologia para identificação, gerenciamento e reabilitação de áreas contaminadas;

### **4.3 Gerenciamento de Áreas Contaminadas**

No Estado de São Paulo, a CETESB é o órgão ambiental que elabora os procedimentos e atua na fiscalização dos casos de áreas contaminadas. Portanto, se faz necessário aprofundar na Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, mais especificamente no item de Investigação Detalhada, alvo do presente estudo.

#### **4.3.1 Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB**

Em 07 de fevereiro de 2017 a CETESB publicou a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, a qual “dispõe sobre a aprovação do Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas”, da revisão do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas

Contaminadas e estabelece Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências”.

A Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, referente ao Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), estabeleceu desenvolver as seguintes etapas: Identificação de Áreas Contaminadas (Identificação de Áreas com Potencial de Contaminação, Priorização de Áreas com Potencial de Contaminação, Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Avaliação de Risco); Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas (Elaboração do Plano de Intervenção, Execução do Plano de Intervenção, Monitoramento para Encerramento, Emissão do Termo de Reabilitação para o Uso Declarado), Ações Emergenciais e Averbação.

A etapa de Investigação Detalhada "*tem como objetivo caracterizar o meio físico onde se insere a Área Contaminada sob Investigação (ACI), determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse nos diversos meios avaliados, definir tridimensionalmente os limites das plumas de contaminação, quantificar as massas das substâncias químicas de interesse, considerando as diferentes fases em que se encontram, caracterizar o transporte das substâncias químicas de interesse nas diferentes unidades hidroestratigráficas e sua evolução no tempo e caracterizar os cenários de exposição necessários à realização da etapa de Avaliação de Risco*" (CETESB, 2017).

A Investigação Detalhada deve ser realizada com base nos resultados obtidos (Modelo Conceitual 2) nas etapas de Avaliação Preliminar e Confirmatória, determinando as substâncias químicas de interesse (SQIs), bem como as concentrações em todos os meios investigados, prioritariamente nos hot spots (foco de contaminação), por meio dos resultados analíticos obtidos através de métodos diretos de investigação, além de modelos matemáticos para determinação das concentrações no futuro.

Com a finalização da etapa de Investigação Detalhada, se obtém o Modelo Conceitual 3, o qual irá nortear as próximas etapas do gerenciamento de áreas contaminadas, mais especificamente, a Avaliação de Risco à Saúde Humana e o Plano de Intervenção.

O relatório de Investigação Detalhada deve obrigatoriamente conter os seguintes itens (CETESB, 2017):

- a. Texto explicativo sobre a caracterização do meio físico, com plantas e seções estratigráficas e modelos tridimensionais representativos das rochas, sedimentos, solos e aterros identificados no local, especificando o tipo de porosidade (intergranular ou fratura) presente para cada material ou unidade hidroestratigráfica identificada;
  - b. Georreferenciamento das sondagens, pontos de amostragem (solo e água, além de outros meios) e poços de monitoramento;
  - c. Representação do perfil de cada sondagem realizada, indicando as unidades hidroestratigráficas ou materiais observados (definidos a partir de observações em campo e de análises granulométricas) e suas espessuras, a profundidade do nível d'água, os resultados de medições realizadas em campo e a indicação das profundidades de amostragem para análises químicas e para determinação das propriedades físicas do meio;
  - d. Descrição dos procedimentos efetuados durante a instalação de cada poço de monitoramento (perfuração, montagem e desenvolvimento);
  - e. Perfil construtivo de cada poço de monitoramento, com a justificativa para o seu posicionamento e da seção filtrante, levando em consideração a distribuição das substâncias químicas de interesse, unidades hidroestratigráficas responsáveis pelo armazenamento e pela movimentação preferencial dos contaminantes;
  - f. Tabela com os seguintes dados relativos aos poços de monitoramento: profundidade do nível da água subterrânea, profundidade da detecção de produto em fase livre, altura da coluna de fase livre, cota topográfica dos poços, cargas hidráulicas e condutividade hidráulica;
  - g. Documentação fotográfica relativa aos serviços de campo;
  - h. Texto explicativo com os resultados e interpretação dos métodos de investigação de alta resolução (quando esses forem utilizados), com a apresentação dos resultados em planta e seções transversais e longitudinais;
  - i. Texto explicativo com a interpretação dos ensaios destinados à caracterização das propriedades físicas e químicas dos materiais;
  - j. Texto explicativo sobre os dados hidrogeológicos obtidos para todos os materiais identificados (porosidade total e efetiva, condutividade hidráulica), destacando as unidades hidroestratigráficas de importância para o transporte e a retenção dos contaminantes;

- k. Plantas e seções representando as superfícies de mesmo potencial hidráulico (nos planos horizontal e vertical) e as relações hidráulicas com os corpos d'água superficiais, poços de captação, nascentes e sistemas de drenagem ou de rebaixamento do nível d'água;*
- l. Especificar as substâncias químicas de interesse e o critério empregado para a seleção das mesmas;*
- m. Quantificação e caracterização das contaminações associadas a todas as fontes primárias de contaminação, determinando as concentrações das substâncias químicas de interesse a elas associadas que possam estar presentes em fase livre, dissolvida, gasosa e retida, delimitando tridimensionalmente as plumas de contaminação e calculando as massas das substâncias químicas de interesse nas diferentes unidades hidroestratigráficas identificadas;*
- n. Texto explicativo sobre a caracterização das contaminações, com plantas, seções e modelos tridimensionais representativos da distribuição das substâncias químicas de interesse identificadas no local, considerando as diferentes unidades hidroestratigráficas e meios que compõem o subsolo (ar, água e solo/rocha);*
- o. Planta e seções, com a localização e dimensionamento das fontes potenciais, primárias e secundárias de contaminação, com a representação da localização dos pontos de amostragem executados;*
- p. Texto com justificativa da escolha do posicionamento dos pontos de amostragem e das profundidades de investigação;*
- q. Texto com descrição dos métodos de investigação e amostragem utilizados, justificando as escolhas realizadas;*
- r. Texto e representações gráficas da distribuição das substâncias químicas de interesse (tridimensional), em fase livre, retida, dissolvida e gases/vapores, modelada para o tempo em que será atingida a concentração máxima onde estão localizados os receptores identificados, quando aplicável;*
- s. Laudos analíticos, ficha de recebimento de amostras emitida pelo laboratório e as cadeias de custódia devidamente assinadas pelo profissional responsável pelas análises;*

*t. Texto e ilustrações com a atualização do Modelo Conceitual (MCA 3), desenvolvido a partir dos resultados obtidos na Investigação Detalhada, acompanhado de discussão dos resultados obtidos, das limitações do MCA 3 e das recomendações de ações a serem realizadas em vista dos resultados obtidos;*

*u. Identificação de todos os Responsáveis Legais e do Responsável Técnico (conforme artigo 18 do Decreto nº 59.263/2013), especificando os respectivos e-mails e endereços completos;*

*v. Declaração de Responsabilidade, conforme modelo indicado no ANEXO A, devidamente assinada pelos Responsáveis Legal e Técnico.*

A Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB ainda recomenda que em áreas com complexidades técnicas (meio físico, distribuição das SQIs, bem como fontes primárias de contaminação não identificadas nas etapas anteriores), se deva utilizar técnicas de investigação por alta resolução.

Conforme exposto neste item, o mapeamento das plumas de contaminação, segundo a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, deve ser realizado durante a etapa da Investigação Detalhada, sendo que em sua finalização, as plumas devem estar integralmente delimitadas, independente da classificação da área (complexa ou não) e de seus desafios (técnicos e não técnicos).

#### **4.4 Gerenciamento de Remediação em Sites Complexos**

A partir deste item, será apresentado como os EUA realizam o Gerenciamento de Áreas contaminadas, mais especificamente em sites complexos, presente no documento "Remediation Management of Complex Sites", elaborado pelo Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC, 2017).

Áreas complexas, de modo geral, são sites onde abordagens de remediação não são suficientes e/ou esperadas para realizar o encerramento ou facilitar a transição para gestão sustentável de longo prazo dentro de um prazo razoável (ITRC, 2017). Já o Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRC) descreve que áreas complexas são locais que exigem remediação de longo prazo, baseado em complexidades técnicas ou em regulamentações específicas (NRC, 2013).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) iniciou o desenvolvimento de trabalhos referente a sites complexos, ou também conhecido como mega sites, na década de 2000, sendo que os problemas intrínsecos a este tipo de área já eram e foram rapidamente reconhecidos em toda a escala de gerenciamento da referida agência.

O entendimento do conceito de sites complexos é de extrema importância, uma vez que os desafios técnicos e não técnicos da área em estudo, geralmente tem um prazo de remediação longo, com custos bem expressivos, além do alto consumo de energia, emissões de carbono, geração de resíduos, etc, a depender da técnica empregada. Por isso, o entendimento de sites complexos deve ser bem compreendido, com a finalidade de reduzir custos, ser mais sustentável, bem como promover benefícios sociais, de acordo com "Green and Sustainable Remediation" (GSR). Segundo ITRC (2011), GSR considera os objetivos da comunidade, os efeitos econômicos e os ambientais, enquanto a Remediação Verde (Green Remediation) engloba todos os efeitos ambientais da remediação, otimizando as ações para correção do site contaminado.

Em resumo, sites complexos podem ter grande potencial de reuso, benefícios sociais e econômicos, sendo que estudos revelam que a remediação dessas áreas valoriza a região do entorno entre 5 e 15%, melhorando a disponibilidade de recursos, restaurando a qualidade da água subterrânea, diminuindo os riscos à saúde pública, bem como promove o melhoramento do comércio e preserva as práticas culturais (USEPA, 2016).

A remediação em sites complexos é orientada pelos objetivos deles, sendo classificados em objetivos do site e objetivos provisórios. Segundo ITRC (2017), objetivos do site "*são as expectativas gerais para um site, incluindo a proteção da saúde pública e do meio ambiente*", enquanto os objetivos provisórios "*são metas intermediárias que orientam o progresso no sentido de atingir os objetivos do site*".

Órgãos ambientais estaduais e federais exigem a remediação de um site em um período razoável, mas não apresentam numericamente em seus regulamentos qual é esse prazo, tornando uma decisão complexa e específica para cada área (ITRC, 2017). No mesmo documento foi realizada uma pesquisa com algumas pessoas sobre o que seria um tempo de remediação razoável e as respostas apresentaram divergências expressivas, não chegando a um denominador comum, conforme pode ser visualizado na **Tabela 1**:

Tabela 1: Pesquisa sobre tempo de remediação que torna um site complexo.

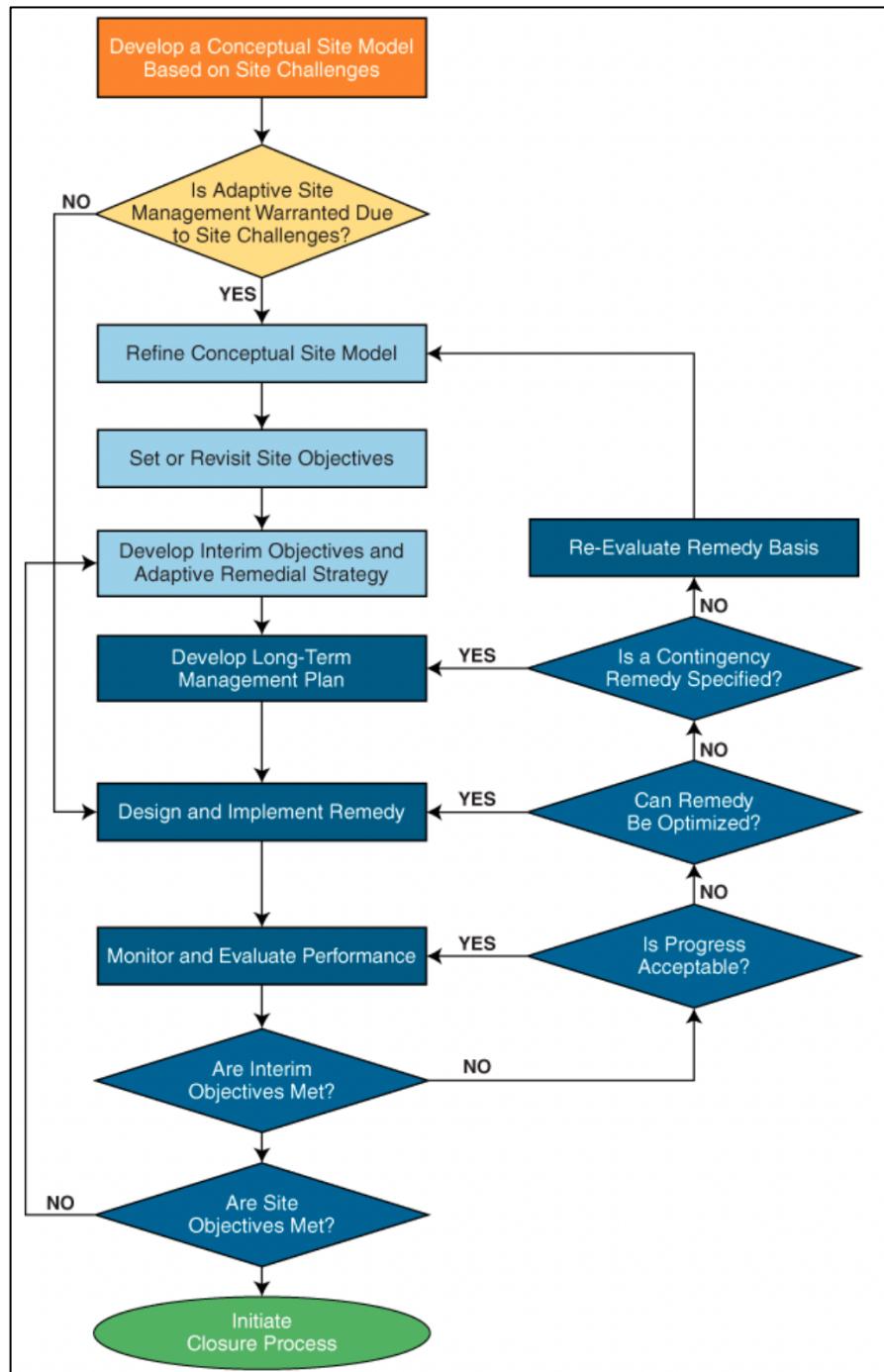
<b>Pergunta da pesquisa: Um período de remediação / restauração maior do que o seguinte geralmente torna um site complexo:</b>		
<b>Prazo</b>	<b>Resposta à pesquisa</b>	<b>Contagem de Respostas</b>
<b>10 anos ou mais</b>	11%	12
<b>30 anos ou mais</b>	28%	30
<b>60 anos ou mais</b>	6%	6
<b>100 anos ou mais</b>	14%	15
<b>O prazo de correção não determina se um site é complexo</b>	47%	50
<b>TOTAL</b>		107

\* Observação: as respostas da pesquisa totalizam mais de 100% porque 5 entrevistados selecionaram várias respostas.

Fonte: Modificado de ITRC, 2017.

Em função das complexidades apresentadas, surgiu o termo Gerenciamento Adaptativo do Site (**Figura 3**), sendo um processo abrangente, flexível e frequente, o qual tem por finalidade gerenciar todo o processo de remediação de uma área (ITRC, 2017). Já o NRC (2003) define como *"uma abordagem abrangente e flexível para lidar com sites que tenham resíduos perigosos difíceis de remediar a longo prazo ou onde as tecnologias atuais provaram ser ineficazes para alcançar objetivos do local para muitos tipos de contaminação"*. É importante também ressaltar que o Gerenciamento Adaptativo do Site pode considerar o desempenho das técnicas de remediação adotadas, bem como novos dados adquiridos em investigações e/ou estudos complementares, atualizando o modelo conceitual da área e os avanços das tecnologias ao longo do tempo.

Figura 3. Etapas para remediação de sites complexos.



Fonte: Modificado de ITRC, 2017.

A **Figura 3** apresenta as etapas do gerenciamento adaptativo do site para remediação de áreas complexas, sendo divididas da seguinte forma:

- Identificar os desafios do site dentro do Modelo Conceitual;
- Realizar a avaliação do potencial de remediação para definir se o Gerenciamento Adaptativo é aceitável devido aos desafios do site;
- Refinar o Modelo Conceitual;
- Definir ou relembrar os objetivos do site;
- Desenvolver objetivos provisórios e estratégia adaptativa de remediação;
- Desenvolver um plano de gestão de longo prazo;
- Elaborar e implementar soluções corretivas (remediação);
- Monitorar e avaliar o desempenho; e
- Aplicar critérios para adequar, otimizar e/ou reavaliar as técnicas de remediação.

Até o exposto aqui, se sabe que o processo de remediação é uma etapa complexa, dependendo de vários fatores, não sendo de adoção simples, mesmo em sites que não sejam complexos. Entre os principais fatores que classificam um site como complexo, se pode considerar os desafios técnicos e não técnicos, uma vez que podem dificultar e/ou mesmo impedir o sucesso da remediação implantada dentro de um prazo razoável ou até acordado com os órgãos responsáveis. Os desafios técnicos que podem resultar de um site complexo são condições geológicas (heterogeneidade geológica, falhas, rochas fraturadas, meio cárstico e zonas de baixa permeabilidade), condições hidrogeológicas (velocidades de fluxo altas, variações da água subterrânea, variações do nível d'água e contaminações em grandes profundidades), condições geoquímicas (geoquímica extrema, como pH e alcalinidade muito alto ou baixo e temperaturas extremas da água subterrânea), condições relacionadas a contaminantes (LNAPL ou DNAPL, altas concentrações de contaminantes ou plumas combinadas e contaminantes emergentes) e sites de grande escala (localização e extensão da contaminação, proximidade de receptores, profundidade da contaminação e plumas muito extensas e combinadas/misturadas), enquanto os desafios não técnicos podem ser mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo (uso futuro, gerenciamento do site, várias partes responsáveis envolvidas, mudança de funcionários e responsáveis legais), objetivos do site (questões sociais, tal como aceitabilidade e mudança de objetivos), sobreposição de responsabilidades regulatórias (nível federal e estadual, alteração nas leis e regulamentos, contaminantes sem critérios e/ou parâmetros regulatórios e sites "órfãos"); mudanças de uso do site (acesso ao site e múltiplos proprietários), controles institucionais (aplicação e gestão dos controles a longo prazo) e financiamento (falta de financiamento e prioridades das empresas/programas) (ITRC, 2017).

A seguir serão explorados brevemente os desafios técnicos e não técnicos:

Desafios Técnicos:

- Condições Geológicas/Heterogeneidade Geológica: Quando se tem uma geologia complexa na área de estudo, os desafios aumentam, desde a etapa da investigação até a definição das técnicas de remediação. As principais condições que tornam uma geologia complexa são a heterogeneidade do solo (caso dos solos brasileiros, por exemplo), rochas fraturadas, meios de baixa permeabilidade, tal como argilas. Sendo assim, resumidamente, a geologia do local determina o caminho dos contaminantes, pelas zonas de fluxo e na retenção deles, nas zonas de armazenamento, devendo ser bem compreendida para um melhor entendimento e refinamento do Modelo Conceitual da área;
- Rochas Fraturadas/Aquíferos Fraturados: Em meios fraturados, a condutividade hidráulica da zona saturada geralmente é bastante elevada, dificultando mapear o tipo e a extensão da contaminação na água subterrânea, implicando em maiores desafios para a investigação ambiental e para a definição das técnicas de remediação;
- Geologia Cársica: Em rochas sedimentares, onde as partes mais "solúveis" se dissolvem, devido a ações externas (principalmente intemperismo químico), surgem cavidades, de várias dimensões, deixando um vazio. Em relação ao fluxo da água subterrânea, no que diz respeito a permeabilidade e velocidade, pode acarretar contaminação a grandes distâncias, dificultando seu mapeamento, bem como a definição da técnica de remediação mais eficaz;
- Zonas de baixa permeabilidade: A concentração de contaminantes em zonas de armazenamento, ou seja, com baixa permeabilidade, podem sustentar contaminações em meios de maior permeabilidade, mesmo por longo período e sem a presença de fontes ativas;
- Condições Hidrogeológicas: Assim como nas condições geológicas, as condições hidrogeológicas geralmente são complexas, devido a heterogeneidade e anisotropia dos aquíferos, dificultando a elaboração de um Modelo Conceitual preciso;
- Variações na água subterrânea: Velocidades de fluxo da água subterrânea altas e baixas influenciam diferentemente o meio, sendo que em áreas que apresentam fluxo com alta velocidade, dificulta bastante a redução das concentrações de contaminantes em níveis aceitáveis, enquanto em baixa velocidade, fornecem maior tempo de contato, fazendo

com que os contaminantes sejam adsorvidos nas partículas sólidas do aquífero. Outro ponto importante a ser considerado é a variação do nível d'água (NA), uma vez que as oscilações (mudanças de marés em áreas costeiras, mudanças no estágio do rio, mudanças no uso da água, recarga aumentada ou diminuída, dentre outros) dificultam a caracterização do local;

- Contaminação de água subterrânea em grandes profundidades: Quanto mais profundo está a contaminação, mais difícil o mapeamento das plumas, devido a necessidade de realizar poços profundos, além do aumento considerável de custo no projeto;
- Condições Geoquímicas: Cada site tem suas características específicas, devido a mineralogia do solo, composição das águas subterrâneas e matéria orgânica e inorgânica de ocorrência natural, sendo que estes fatores influenciam diretamente o transporte e a transformação dos de contaminantes no meio ambiente subterrâneo;
- Condições relacionadas a contaminantes: Dentre alguns exemplos estão os NAPLs, contaminantes recalcitrantes, contaminantes emergentes, contaminantes em altas concentrações e/ou múltiplos contaminantes. Conforme apresentado no item de *Comportamento dos Contaminantes*, o LNAPL apresenta densidade menor que a da água, se distribuindo lateralmente sobre a água, enquanto o DNAPL é mais denso que a água, ou seja, o produto irá infiltrar no subsolo, até atingir uma superfície impermeável, seguir por gravidade e continuar descendo até encontrar o topo da superfície rochosa e se espalhar lateralmente, deixando um rastro de contaminação. Alguns exemplos de LNAPL são óleo diesel, gasolina e óleo cru; e de DNAPL são solventes clorados, creosoto, clorobenzenos e PCBs. Os contaminantes recalcitrantes são caracterizados por não se degradarem facilmente, exigindo escolhas mais direcionadas para a remediação, pois técnicas convencionais podem não ser suficientes. Já os contaminantes emergentes, tal como PFAs e 1,4-dioxano, exigem técnicas específicas e limitadas de remediação, por geralmente também serem resistentes à biodegradação. Em resumo, diferentes contaminantes exigem diferentes técnicas de remediação, uma vez que cada um tem suas características próprias, fazendo com que em sites com plumas combinadas (múltiplos contaminantes) sejam bastantes desafiadores; e
- Sites de grande escala: Sites complexos geralmente são caracterizados por contaminações de vários quilômetros quadrados, o que exige remediações mais longas. Alguns outros exemplos que podem caracterizar um site como complexo são a

localização, tipo e extensão da contaminação, profundidade da contaminação, tipo e proximidade de receptores e plumas combinadas.

#### Desafios Não Técnicos:

- Objetivos do site: O objetivo principal é recuperar a qualidade das águas subterrâneas, mas em alguns casos isso não pode ser alcançado, ainda mais em um tempo razoável, exigindo objetivos alternativos, com base nas características do local, sendo inclusive aceito para os órgãos reguladores e partes interessadas;
- Mudanças que ocorrem ao longo do tempo: O tempo impacta diretamente na remediação, sendo que quanto maior o tempo necessário, maior a complexidade para se atingir os objetivos do site. No decorrer dos anos pode ter mudanças regulatórias, de exigências de níveis de concentração para se atingir as metas, na avaliação de risco, dentre outras, fazendo com que os responsáveis e gestores adotem um risco de projeto, com a finalidade de se mitigar os impactos destas mudanças;
- Sobreposição de responsabilidades regulatórias: No decorrer dos anos em que se desenvolve a remediação de um site complexo, diferentes agências regulatórias e/ou ambientais podem ser envolvidas, tendo divergência entre as exigências de cada uma, ocasionando desafios, no caso não técnicos, para o gerenciamento da remediação. Ressalta-se que também podem ocorrer mudanças de um programa regulatório para outro ao longo dos anos;
- Controles Institucionais: Os controles institucionais adotados devem ser acompanhados e gerenciados, objetivando que a área seja respeitada, para não ocorrer violações das medidas;
- Mudanças do uso do solo: Ao longo do tempo, mudanças do uso do solo da propriedade podem ocorrer, podendo afetar os objetivos do local inicialmente estipulados. Um exemplo de mudança que pode ocorrer é o zoneamento externo passar de industrial para residencial, impactando as metas de remediação adotadas; e
- Financiamento: Quanto maior o tempo de remediação de um site, ainda mais sites complexos, maior são os recursos financeiros necessários, sendo um grande desafio para os responsáveis pelas áreas e órgãos reguladores. Por exemplo, em setores privados, os gastos com o gerenciamento de áreas contaminadas afetam a lucratividade e os investimentos em projetos.

A avaliação do potencial de remediação é fundamental na escolha da técnica de remediação mais eficaz e eficiente, com orçamento limitado, auxiliando a definição dos objetivos do site e determinando se uma gestão adaptativa do site será necessária (ITRC, 2017). As avaliações podem ser realizadas em todas as fases do projeto de remediação, desde a implementação, o monitoramento e a avaliação do desempenho, sendo aplicadas para fins de triagem e como uma ferramenta para tomada de decisão regulatória.

Existem diferentes questões e critérios de avaliação que afetam a probabilidade de atingir os objetivos do local, mais especificamente o de remediação de águas subterrâneas, em um período razoável. As principais questões que devem ser levantadas, de acordo com a experiência profissional dos membros do ITRC, com a finalidade de avaliar o potencial de remediação durante o início da remediação, são expressas abaixo:

- Quão difícil é trabalhar na superfície do site? Acessos restritos ao local, tanto em questões físicas, logísticas, ambientes hostis, quanto legais;
- Quão difícil é a perfuração na área? A depender da litologia do local, se deve utilizar determinada técnica de perfuração em detrimento de outra. A profundidade da contaminação é também um fator muito importante, uma vez que a dificuldade vai aumentando com a profundidade. Outro exemplo relevante são as contaminações em rochas fraturadas, tornando as perfurações difíceis e geralmente caras;
- Qual o tamanho da área fonte ou pluma? O tamanho da área fonte ou das plumas de contaminação impactam diretamente na escolha da técnica de remediação, pois quanto maior a contaminação, maior a dificuldade da remediação propriamente dita;
- Qual a redução da concentração do contaminante é necessária? Em uma área contaminada, a redução das concentrações para níveis aceitáveis são fundamentais para se alcançar o objetivo da remediação. Geralmente reduções em ordens de magnitude para atingir metas de remediação de água subterrânea podem ser úteis;
- Os principais contaminantes do site se atenuam rapidamente no tempo de deslocamento até os receptores? A atenuação natural influencia diretamente a degradação, sendo que altas taxas atingem mais rapidamente os objetivos definidos para o site, enquanto baixas taxas demoram mais para alcançar o mesmo objetivo.
- Existe alguma massa difícil de remover na área? Conforme já exposto, contaminantes (NAPL) se distribuem no meio ambiente subterrâneo e tendem a se concentrar mais em zonas de armazenamento, ou seja, em zonas de baixa condutividade hidráulica, sendo

que os contaminantes destas zonas podem se difundir de volta, tornando uma fonte de contaminação constante (longo prazo), além também de ser mais difícil remover a massa nestas zonas;

- Qual o desempenho previsto da remediação para as técnicas disponíveis? A redução das concentrações em níveis aceitáveis auxilia a determinação das técnicas de remediação a serem adotadas. Essas informações podem ser embasadas em estudos semelhantes realizados, em testes piloto do site, em ações emergenciais implantadas na área, bem como na literatura científica. Lembrando que a forma mais confiável de se embasar para a escolha mais assertiva é a própria caracterização do local; e
- Qual o prazo previsto para atingir os objetivos do site ou do local? Alguns softwares podem auxiliar na determinação dos prazos para atingir os objetivos do site, sendo geralmente modelos computacionais/matemáticos. É importante ressaltar que alguns fatores afetam as avaliações do tempo de remediação, sendo presença de receptores sensíveis, espécies ou habitats ameaçados ou em perigo de extinção, uso atual e potencial do aquífero, aceitação pública da prorrogação de prazo da remediação, dentre outros.

As principais questões que devem ser levantadas apresentadas acima, que tem a finalidade de avaliar o potencial de remediação durante o início da remediação, também podem ser respondidas individualmente com probabilidade alta, moderada ou baixa de atingir os objetivos de remediação, sendo possível usar como uma ferramenta de avaliação do potencial de remediação, conforme **Tabela 2**.

Tabela 2: Avaliação do potencial de remediação.

Critério de avaliação	Probabilidade de atingir os objetivos de remediação		
	Alto	Moderado	Baixo
1. Acesso para perfuração / escavação			
2. Viabilidade de perfuração de poços			
3. Escala da zona de origem ou pluma			
4. Redução de concentração			
5. Atenuação dos constituintes do local			
6. Massa difícil de remover			
7. Desempenho de tecnologia corretiva			
8. Prazo previsto			
Total verificado:			

Fonte: Modificado de ITRC, 2017.

Os resultados possíveis da avaliação do potencial de remediação, de acordo com a **Tabela 2**, podem ser:

- Os objetivos são alcançáveis: Com base na avaliação da tabela, se chegando na conclusão de que o potencial de remediação é alto, as técnicas devem atingir os objetivos dentro de um período razoável;
- Os objetivos não são alcançáveis: Entretanto, se a conclusão for que o potencial de remediação é baixo, as técnicas adotadas provavelmente não atingirão os objetivos da área, muito menos em um prazo razoável. Para estes casos, uma gestão adaptativa do site deve ser avaliada e considerada; e
- Nenhum resultado pode ser previsto: Para este caso, serão necessários mais investimentos para novos estudos, com a coleta de novos dados, com a finalidade de refinar e enriquecer o Modelo Conceitual da Área.

Os critérios apresentados dão um norte para avaliação das técnicas de remediação, após sua implantação, e caso algumas das questões se prove inadequada, o órgão ambiental pode solicitar que a remediação seja aprimorada, ampliada ou mesmo modificada.

Portanto, a avaliação do potencial de remediação é de extrema importância, pois pode ser usada para definir se uma gestão adaptativa do site é necessária, devido aos desafios identificados. A gestão adaptativa do site pode ser avaliada e/ou modificada conforme surjam novas informações e tecnologias mais apropriadas, sendo uma abordagem extremamente útil em áreas complexas, onde a remediação é complicada, exigindo muito tempo para sua finalização (ITRC, 2017).

Na gestão adaptativa do site as primeiras etapas a serem realizadas são identificar os atributos da complexidade dentro do Modelo Conceitual da Área, bem como avaliar se a gestão adaptativa é garantida, sendo que as próximas etapas são:

- Refinar o Modelo Conceitual do Site: O Modelo Conceitual é uma das etapas mais importantes no processo de áreas contaminadas, devendo frequentemente ser revisitado e refinado, objetivando embasar da melhor forma possível as decisões da remediação em todo o processo da gestão adaptativa do site. Se for necessário estudos complementares para otimização da remediação, preencher gaps (pontos abertos e/ou com incertezas), uma caracterização integrada do site (ISC) pode ser realizada para refinar e melhorar a caracterização da área, assim aumentando a eficácia da remediação.

A caracterização integrada do site é utilizada para selecionar as técnicas para caracterizar com precisão a geologia, permeabilidade e distribuição dos contaminantes, que possibilita a revisão do Modelo Conceitual. É importante salientar que na caracterização complementar, por vezes, se pode observar que o site é mais complexo do que se imaginava inicialmente.

- Definir ou revisar os objetivos do site: Os objetivos do site são determinados no início, antes de considerar as técnicas de remediação para se atingir esse objetivo, sendo que eles são considerados durante o planejamento da remediação ou quando o desempenho da remediação não é satisfatório para se atingir os objetivos do local dentro de um prazo razoável. Conforme já mencionado anteriormente, objetivos do site "*são as expectativas gerais para um site, incluindo a proteção da saúde pública e do meio ambiente*", enquanto os objetivos provisórios "*são metas intermediárias que orientam o progresso no sentido de atingir os objetivos do site*", sendo que os objetivos do site e os provisórios não precisam ser os mesmos em todo o site, podendo ser diferenciados devido a contaminação fora do site, áreas fontes, áreas de plumas, prazo de remediação, dentre outros; e
- Desenvolver objetivos provisórios e estratégias corretivas de remediação: Esta etapa é caracterizada pelo desenvolvimento da estratégia corretiva na área, estabelecendo os objetivos provisórios e a técnica escolhida (pode ser mais de uma). Ressalta-se que os objetivos provisórios abrangem prazos de curto prazo para embasar as próximas etapas e o progresso em direção aos objetivos do local. Por fim, é importante o Modelo Conceitual da Área estar atualizado, para se estabelecer os objetivos provisórios, para melhor otimização das técnicas escolhidas, bem como do desempenho.

Diversas são as avaliações comparativas para escolha das abordagens corretivas que serão implantadas no site, entretanto, como a remediação propriamente dita não é o tema do presente estudo, serão citadas brevemente as técnicas mais utilizadas:

- Tratamento biológico in situ: Aplicação de produto no aquífero para biorremediação de um determinado volume;
- Tratamento químico in situ: Aplicação de produto no aquífero para remediar quimicamente um determinado volume;
- Tratamento/Remediação Termal: Utilização de energia térmica para extrair ou degradar os contaminantes presentes no meio ambiente subterrâneo;

- Remoção: Escavação para remover contaminantes da subsuperfície;
- Capeamento/Capping: Colocar uma cobertura sobre solos contaminados ou demais materiais para prevenir e/ou reduzir a infiltração e lixiviação de contaminantes para as águas subterrâneas;
- Estabilização e/ou solidificação: Tratamento de solos contaminados para reduzir a mobilidade de contaminantes e lixiviação, bem como encapsular contaminantes;
- Extração de vapor do solo: Extrair vapores do solo e realizar seu tratamento;
- Sistema *P&T*: Extração de águas subterrâneas com tratamento dos contaminantes;
- Barreira Hidráulica: Alteração dos padrões dos fluxos de água subterrânea;
- Atenuação Natural Monitorada: Processos naturais atenuam a contaminação e realização de monitoramentos para verificar se está surtindo efeito; e
- Controles Institucionais: Aplicação de restrições administrativas para evitar a exposição a um determinado contaminante e/ou situação que afetaria a mesma.

A gestão de longo prazo em áreas complexas se inicia com um projeto de remediação, incluindo as fases após gestão, monitoramento e avaliação das técnicas adotadas, podendo durar várias décadas, aumentando as incertezas (ITRC, 2017). Sendo assim, uma gestão adaptativa do site deve ser considerada, pois pode vir a auxiliar no gerenciamento de longo prazo, informando a todas as partes interessadas o andamento da remediação, acelerando as avaliações e facilitando a transição para outras técnicas de remediação, se for o caso.

O gerenciamento de longo prazo dentro do processo de gestão adaptativa do site, consiste nas seguintes etapas:

- Implementação da remediação;
- Monitoramento e realização de avaliações periódicas para acompanhar a evolução da remediação;
- Avaliar, otimizar, modificar ou fazer a transição da abordagem de remediação se a solução não for mais considerada adequada.

Para responder a todas estas questões, o planejamento deve ser muito bem ajustado e acertado com todas as partes envolvidas, incluindo desenvolvimento de métricas para mensurar o desempenho da remediação e seus componentes, bem como para cada objetivo provisório. Além disso, o planejamento inclui avaliações periódicas (monitoramento, por exemplo) e controles administrativos do site, para avaliar o desempenho do sistema e seu progresso ao

cumprimento dos objetivos inicialmente estipulados, podendo se realizar a comparação do progresso real com o que era esperado. Portanto, com base nesses dados, além de se gerenciar todos os riscos e as incertezas durante a realização do projeto, os interessados e/ou responsáveis têm todas as estratégias definidas e caso alguma mudança seja necessária, rapidamente se consegue mapear e implantar. É importante salientar que como a remediação propriamente dita não é tema do presente estudo, detalhes mais aprofundados podem ser consultados no documento do ITRC (2107).

#### **4.4.1 Estudos de Caso**

Neste item serão apresentados alguns exemplos de estudos de caso, os quais constam no documento *Remediation Management of Complex Sites* do ITRC (2017) para pesquisas posteriores mais aprofundadas. Os casos que serão apresentados têm históricos longos, consistentes com uma abordagem de gestão adaptativa, onde as partes interessadas são bem mais engajadas do que em sites não complexos. A seguir são apresentados os sites, a localização, suas complexidades e as abordagens corretivas adotadas:

##### Koppers Oroville Wood Treatment (Tratamento de madeira Koppers Oroville):

Este site se situa na Califórnia, sendo uma antiga instalação de tratamento de madeira que operou de 1948 até 2001. O entorno do site é caracterizado por usos residenciais, industriais e agrícolas. Basicamente as principais áreas de operação da área eram o processamento de madeira e tanques de decantação de creosoto. A partir de 1988 começaram os primeiros estudos no site e devido a operações realizadas, o site foi contaminado com PCP (pentaclorofenol, presente como DNAPL no site), creosoto, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAHs) e metais pesados, incluindo cobre, cromo e arsênio.

A geologia do site é complexa, apresentando cascalhos aluviais, areias e argilas que foram depositadas por rio e seus sistemas ancestrais. Além da geologia complexa, a área apresenta várias zonas interconectadas de aquíferos, desde água doce a salobra e salina, separadas por argilas de baixa permeabilidade.

Com base no exposto, às complexidades do site vão desde presença de DNAPL, contaminação dentro e fora do site, inclusive em poços de abastecimento de água potável, demandando extremo cuidado e acompanhamento ao longo de todo seu processo.

Para o compartimento solo, inicialmente foram propostas as seguintes técnicas para sua recuperação:

- Biodegradação in situ;
- Escavação de solo;
- Capping/Cobertura com extração de água subterrânea;
- Escavação e fixação química.

Foram realizados ensaios de bancada e piloto para tratabilidade para avaliar as técnicas de remediação e os resultados demonstraram que as tecnologias não iriam atingir os padrões de referência desejados. A partir disso, após novos estudos foram realizados na área, com amostragens de solo, instalação de poços de monitoramento de água subterrânea e de injeção, dentre outros, objetivando refinar o Modelo Conceitual, e assim ter mais dados para as discussões e decisões entre partes interessadas, sendo que foi definido o seguinte:

- escavação dos solos contaminados, detritos, sedimentos e disposição do material escavado em células com cobertura;
- Instalação de *P&T* para bombeamento e tratamento de águas contaminadas;
- Recuperação de DNAPL de creosoto;
- Fornecimento alternativo de água potável; e
- Implantação de medidas institucionais, para evitar o uso futuro residencial e restringir o uso de águas subterrâneas.

É importante salientar que para implantação das técnicas, o site foi dividido em partes/células, a fim de otimizar e direcionar melhor cada esforço, uma vez que se tinha plumas dentro e fora do site, sendo ações corretivas de solo, onde foi escavado vários metros cúbicos, inclusive com altas concentrações de dioxina/furano, com sua conclusão em 2002; ações corretivas de água subterrânea, onde foram implantados sistemas de remediação dentro e fora do site, não conseguindo remediar por completo o DNAPL presente nas camadas de argila dentro do site, mas sim off-site, devido a biorremediação in situ, quando o PCB não foi mais detectado em 2009 por quatro trimestres consecutivos.

Em 2003 foi apresentado o relatório de fechamento preliminar que documentou que todas as atividades corretivas para o site foram concluídas de acordo com os procedimentos de encerramento para áreas contaminadas.

Por fim, ainda são realizados monitoramentos para acompanhamento da contaminação, com base em um programa de otimização de monitoramento de água subterrânea, baseado em resultados analíticos de poços individuais, sendo que se um parâmetro for detectado acima dos padrões, ele é analisado no próximo evento trimestral, com aumento da frequência de amostragem, enquanto se não for detectado por quatro rodadas consecutivas, a frequência é reduzida.

Uma informação muito relevante é que a USEPA durante todo o processo incentivou a participação do público, com reuniões e visitas sendo informadas durante toda etapa de remediação do site.

#### Moffet-MEW Regional Plume (Pluma Regional Moffet-MEW):

Este site também se situa na Califórnia, sendo uma antiga estação aérea naval, com estudos sendo conduzidos desde 1980, servindo de modelo nacional para a participação pública e reutilização da propriedade.

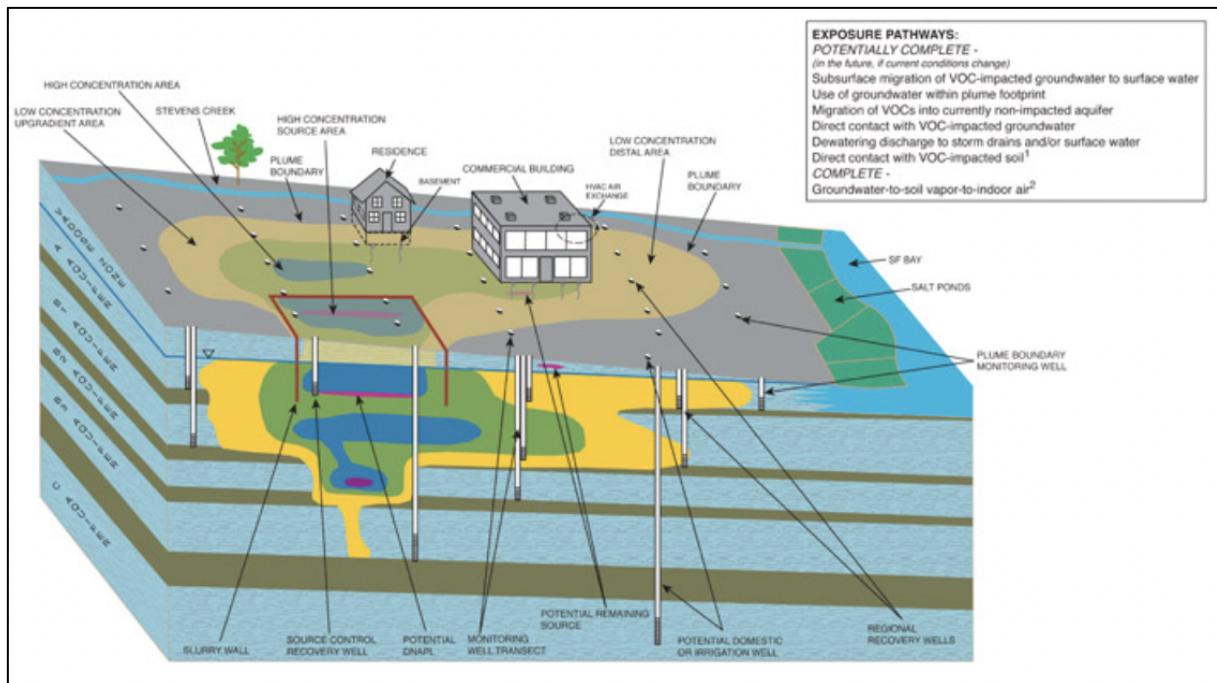
O site é complexo, desde suas fontes, geologia, hidrogeologia, uso do solo, sendo que várias áreas fontes contribuíram para a contaminação do solo e água subterrânea, tornando um desafio as investigações e remediações.

Em 1981, estudos realizados na região constataram contaminação do solo e da água subterrânea, proveniente de tanques de armazenamentos industriais subterrâneos em todo o Vale do Silício, inclusive onde também se situa o Moffet-MEW. O site Moffet-MEW abrigava instalações de fabricação de semicondutores, outros eletrônicos e acabamento de metal, sendo que os principais produtos contaminantes encontrados foram o Tricloroeteno (TCE) e seus subprodutos de degradação (cis-1,2-dicloroeteno e cloreto de vinila).

Cada empresa foi responsável pela investigação e remediação da contaminação do solo e da água subterrânea nas dependências de suas propriedades, sendo que em 1988 foram instalados mais de 400 poços de monitoramento em diferentes zonas de aquífero, mais especificamente em oito zonas. Já em 2004 existiam mais de 1.200 poços de monitoramento em toda extensão da pluma. Além dos contaminantes principais mencionados, outros também eram preocupantes, tal como 1,1-dicloroetano, 1,1-dicloroeteno, 1,1,1-tricloroetano, Freon 123, clorofórmio, 1,2-diclorobenzeno e 1,4-dioxano.

A pluma de contaminação da área migrou em direção à Baía de São Francisco (SF BAY), com concentrações de TCE detectadas em vários aquíferos, em diferentes profundidades, inclusive com contaminações cruzadas, conforme apresentado na **Figura 4**.

Figura 4. Modelo Conceitual da unidade.



Fonte: ITRC, 2017.

Devido às dimensões da contaminação, sua extensão e partes envolvidas, foram realizadas escavações de solo contaminado, implantação e operação de SVE e extração e tratamento de águas subterrâneas. Ressalta-se que a extração e tratamento de águas subterrâneas se iniciou em 1980 e se espera que a remediação continue por muitas décadas, até que as concentrações de TCE e demais compostos atendam os objetivos do site.

É importante também salientar que em 2002 a remediação do solo foi concluída e que a pluma foi estabilizada e as concentrações de TCE diminuíram em 75%, sendo considerado um site de sucesso do Superfund, com empresas de alto padrão ocupando a área, tal como Google e Symantec, e NASA e Exército assumindo a propriedade em Moffet.

As revisões solicitadas pela USEPA após 5 anos foram:

- Continuar a verificar a proteção de longo prazo monitorando a extensão da contaminação das águas subterrâneas ao longo da pluma;

- Otimizar os sistemas para aprimorar a captura da pluma e avaliar as tecnologias aplicáveis para agilizar a remoção de massa e diminuir o prazo de remediação; e
- Avaliar as construções que recobrem a pluma mais superficial de TCE para identificar caminhos potenciais e implementar medidas de mitigação para reduzir as concentrações elevadas em ar ambiente interno.

Os principais riscos à saúde humana identificados foram em função das águas subterrâneas contaminadas e das concentrações do ar ambiente interno que excedem os padrões de referência USEPA, sendo encontrados em vários edifícios comerciais e inclusive em alguns residenciais. Para isso, foram implantados sistemas de extração e tratamento de águas subterrâneas, barreiras reativas permeáveis, biorremediação in situ aprimorada, barreira de vapor, sistema de ventilação passivo sub slab, que pudesse ser ativado.

A partir de 2004, o problema se tornou comunitário, inclusive com um morador solicitando que fosse coletada amostra para ar ambiente interno em sua residência, sendo que as concentrações detectadas estavam acima dos padrões de referência, onde foi necessário a implantação de medidas, tal como sistemas de troca de ar/ventiladores em seu porão. Com a temática sobre holofotes, foram convocadas reuniões, da qual participaram mais de 400 pessoas, dentre elas vários moradores do entorno, onde mais estudos foram prometidos e realizados até o ano de 2009, que apresentou as seguintes conclusões:

- Não detectados problemas de saúde imediatos ou de curto prazo;
- O TCE foi detectado acima dos padrões de referência de proteção à saúde humana de longo prazo em vários edifícios comerciais e algumas residenciais;
- Medidas de mitigação (vedação de rachaduras e de conduítes, atualização e/ou modificação dos sistemas de ventilação e instalação de sistemas de purificação de ar) que foram implementadas tiveram sucesso na redução das concentrações de TCE em ambientes internos para níveis aceitáveis.

Em 2012 a USEPA solicitou ações complementares na área, sendo:

- Tratamento de oxidação ou redução in situ;
- Extração, remoção, tratamento e descarte (por exemplo, escavação, extração multifásica, tratamento termal, dentre outros);
- Barreiras subterrâneas (barreiras reativas e fitorremediação); e
- Atenuação monitorada natural.

Um outro ponto interessante, é que a cidade implementou um processo de licenciamento inovador, onde edifícios novos ou reconstruídos dentro ou perto da pluma de contaminação, deveriam seguir os padrões USEPA, para mitigação preventiva.

Por fim, com tudo que foi exposto, nota-se que é um site complexo, com mais de três décadas de estudos ambientais, com várias partes envolvidas (consultores, reguladores e comunidade, levando inclusive à criação de conselho consultivo), sendo que ainda tem mais décadas de estudos pela frente.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia do presente estudo será baseada nos seguintes itens:

### **5.1 Reconhecimento e Leitura dos Documentos Pertinentes**

Com base nas referências bibliográficas sobre o tema (*item 4*), foi possível ter a base para as discussões e aprofundamentos técnicos sobre a exigência da CETESB, de delimitação tridimensional das plumas de contaminação durante a execução da Investigação Detalhada.

### **5.2 Discussão dos Resultados**

Após o reconhecimento e leitura dos documentos de interesse, foi possível se ter base para uma discussão sobre a temática delimitação tridimensional das plumas de contaminação, com a finalidade de se levantar aspectos que viabilizam ou não o atendimento integral à exigência da CETESB, uma vez que a DD 038/2017 não identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória.

### **5.3 Entrevistas**

#### **5.3.1 Definição do questionário**

O levantamento e leitura dos documentos apresentados no *item 4* (Revisão Bibliográfica) foi de extrema importância para se ter uma base para a crítica da exigência pela DD Nº 038/2017/C da CETESB do mapeamento tridimensional de plumas de contaminação na execução de uma Investigação Detalhada, independente da complexidade do site e de outros desafios que podem ser encontrados ao longo desta etapa do gerenciamento.

Sendo assim, foram definidas as seguintes perguntas que serviram de base para discussão dos resultados do presente trabalho e que foram realizadas aos entrevistados.

- 0 - Como começou nesta área e qual sua experiência no gerenciamento de áreas contaminadas?
- 1 - Em relação às legislações ambientais adotadas no Brasil, mais especificamente a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB, referente ao estado de São Paulo, ela direciona satisfatoriamente a elaboração das etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas ou tem pontos que podem ser aperfeiçoados?
- 2 - O tema do presente trabalho é Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumás de Contaminação em Investigações Detalhadas. Segundo a

Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB, o mapeamento das plumas de contaminação deve ser realizado durante a Investigação Detalhada, sendo que em sua finalização, as plumas devem estar integralmente delimitadas. A partir disso, acredita que seja uma etapa possível de se atingir em todos os casos?

- 3 - E como seria esse atendimento para situações de complexidades geológicas (por exemplo, aquíferos fraturados e/ou aquíferos multicamadas) e de contaminação (plumas combinadas e/ou plumas muito grandes), que conferem características de complexidades técnicas aos sites?
- 4 - E para situações que resultam em complexidades não técnicas, tais como custos muito elevados, limite das responsabilidades pelas investigações entre dois ou mais responsáveis legais, sobreposição de órgãos reguladores (por exemplo, CETESB e MP), como seria esse atendimento?
- 5 - Nos EUA, em função das complexidades de um site, devido aos desafios técnicos e não técnicos, surgiu o termo Gerenciamento Adaptativo do Site, sendo um processo abrangente, flexível e frequente, o qual tem por finalidade gerenciar todo o processo de remediação de uma área (ITRC, 2017). Já o NRC (2003) define como "*uma abordagem abrangente e flexível para lidar com sites que tenham resíduos perigosos difíceis de remediar a longo prazo ou onde as tecnologias atuais provaram ser ineficazes para alcançar objetivos do local para muitos tipos de contaminação*". A partir disso, acredita que podemos ter algo parecido aqui no Brasil e se isso acrescentaria positivamente?
- 6 - Por fim, em função de tudo que foi conversado, teria alguma sugestão adicional em função de sua vivência no gerenciamento de áreas contaminadas?

### **5.3.2 Os Entrevistados**

As perguntas serão feitas aos seguintes profissionais que atuam na área ambiental:

- José Eduardo Ismael Lutti, atualmente Procurador de Justiça Cível, sendo que até 2016 foi Promotor de Justiça do meio ambiente de São Paulo/SP;
- Paulo Lima, mestre em hidrogeologia pela Universidade de Waterloo, doutor em hidrogeologia pela Universidade de São Paulo (USP) e consultor ambiental, com grande experiência no Gerenciamento de Áreas Contaminadas;
- Marcos Tanaka, engenheiro ambiental (UNESP), pós-graduado em Gerenciamento de Áreas Contaminadas (SENAC), mestre e doutor em engenharia civil e ambiental (UNESP) e atualmente é docente da pós-graduação em engenharia civil e ambiental da

UNESP, ministrando a disciplina Gerenciamento de Áreas Contaminadas e diretor técnico da ECD Ambiental; e

- Marco Pede, geólogo, mestre e doutor em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP, consultor ambiental com experiência na área de Geociências, com ênfase em hidrogeologia, atuando principalmente nos temas hidrogeologia, remediação e caracterização hidrogeológica.

É importante salientar que os entrevistados foram escolhidos com base em representatividade qualitativa, levando em consideração o tempo disponível de cada para a data selecionada, bem como um retorno de aceitação para participação dentro do prazo para execução desta etapa.

#### **5.4 Fechamento Final**

Coletadas todas as opiniões dos entrevistados, as informações foram compiladas a fim de ampliar a discussão sobre como os desafios devem ser conduzidos e suas implicações na delimitação de plumas de contaminação.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1 Entrevistas

As perguntas realizadas no presente trabalho foram respondidas individualmente pelos entrevistados entre os dias 07 e 14 de dezembro de 2021 e são apresentadas a seguir:

- 0 - Como começou nesta área e qual sua experiência no gerenciamento de áreas contaminadas?

Marco Pede: *Comecei por influência de meu pai, que fez um trabalho para uns americanos em 1993, onde acabei conhecendo o pessoal que estava realizando um processo de investigação em uma empresa, inclusive um deles era geólogo. Então aconteceu ao acaso. Depois disso, sempre prestei serviços para consultorias ambientais, principalmente com ferramentas de alta resolução.*

Marcos Tanaka: *Entrei na área em 2006, no meio da graduação em Engenharia Ambiental. Meu pai e meu irmão tinham uma empresa de sondagem para mineração, mas decidiram, em 2004, fazer um braço da empresa no setor ambiental, para investigação de áreas contaminadas, quando acabei entrando para a empresa. Em 2007 fiz o curso de pós-graduação no SENAC e a partir daí fiquei na área de gerenciamento de áreas contaminadas.*

José Eduardo Ismael Lutti: *Minha experiência com áreas contaminadas é diferente de qualquer outro técnico de consultoria, por incrível que pareça é uma experiência externa, porque comecei a atuar como promotor de meio ambiente na capital de São Paulo em 2007, mais ou menos. A partir de 2010 quis começar a entender melhor o gerenciamento de áreas contaminadas, falando como advogado, até que um ex-funcionário da CETESB foi trabalhar no MP em 2010/2011, quando as coisas começaram a ficar mais claras. A partir disso comecei a levantar questionamentos sobre a atuação da CETESB, não somente dela, mas também dos consultores, especialmente porque estavam prestando informações inadequadas e a CETESB estava simplesmente aceitando. Foi quando instaurei uma série de inquéritos civis para investigar várias áreas aqui em São Paulo, quando então tomei conhecimento de Jurubatuba. Quanto mais eu entendia, mais ficava assustado com o que estava acontecendo. Enfim, tudo que foi discutido em função disto, acabou de alguma forma sendo aproveitado para a emissão da Decisão de Diretoria de 2017 da CETESB.*

Paulo Lima: *A minha experiência veio no início do ano 2000, época em que o mercado ambiental estava em alta. Eu estava cursando geologia, e tinha diversos anúncios de estágio na área ambiental, com as consultorias crescendo. Em 2001 iniciei meu estágio na empresa ERM e desde então atuo na área. Desde 2015 tenho minha própria empresa. Na graduação, procurei o Ricardo Hirata para desenvolver a dissertação de conclusão de curso já na área de hidrogeologia, utilizando um estudo de caso da empresa. Fiz meu mestrado em 2009 na Universidade de Waterloo, procurando melhorar tecnicamente e me especializar e, posteriormente, em 2018, finalizei meu doutorado na USP, também na área de hidrogeologia.*

- 1 - Em relação às legislações ambientais adotadas no Brasil, mais especificamente a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB, referente ao estado de São Paulo, ela direciona satisfatoriamente a elaboração das etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas ou tem pontos que podem ser aperfeiçoados?

Marco Pede: *A DD 038 foi uma grande evolução e ajudou os profissionais a entenderem melhor as etapas do gerenciamento, discutindo inclusive o uso de ferramentas de alta resolução. Sempre tem algo para aperfeiçoar, por exemplo, essa questão da delimitação de plumas é importante aprofundar, pois o que é definição de pluma, definição de pluma em 3D, o que mapear, como mapear, como fechar a pluma, principalmente em áreas muito industrializadas, com plumas combinadas, pois trabalhos de alta resolução que realizei demonstraram que muitas coisas estavam ligadas a redes de esgoto com vazamentos, tornando difícil o mapeamento.*

Marcos Tanaka: *Sempre trabalhei com investigação pelo olhar de quem está prestando serviço e depois fui ser professor de investigação, então não elaboro relatórios. Mas, em minha leitura, a DD é excelente. Se esta fosse cumprida da forma que foi escrita, os desfechos seriam muito melhores. Então acho que o aperfeiçoamento na DD 038 não é necessário, mas há a necessidade de se garantir que ela vai ser cumprida, tanto na ponta da fiscalização (CETESB) quanto o mercado entender o que ela representa. Além disso, o cliente precisa saber o que fazer exatamente. Resumindo, acho que não precisa aperfeiçoar, apenas melhorar seu entendimento e cumprimento.*

José Eduardo Ismael Lutti: *Satisfatoriamente, acho que sim. Agora, toda norma merece melhorias, pois não existe norma perfeita, sendo a DD 038 bastante razoável. Acho que se a CETESB e os funcionários do setor de áreas contaminadas exigissem o que está exatamente na DD 038, seria um ganho exponencial, porque a verdade é que nem a*

*Decisão de Diretoria eles cumprem. Essa é a questão, e você deve conhecer a instrução técnica 039, que dentro dela eles modificam até a lei. É um documento interno, que se tornou público, que hoje é usado como se fosse uma norma e na verdade não é. Então, se a CETESB exigisse friamente o que está na DD 038, seria ótimo.*

*Paulo Lima:* *Eu gosto muito da DD 038, acho que desde 2017 a gente passa a ter, efetivamente, um documento que ajuda a direcionar as metodologias a serem utilizadas e traz as diretrizes do passo a passo das diferentes fases do GAC. Então acho que é um documento que agregou muito para o nosso mercado, mas reconheço que há sim limitações e, concordo com você, talvez a grande limitação esteja associada a delimitação tridimensional. Apesar da DD 038 indicar que há a necessidade da delimitação das plumas de contaminação, na prática, isso é difícil. A DD é clara em vários aspectos, o que, de fato, não ocorre é o cumprimento dela. Ela traz as diretrizes da quantificação da massa, da delimitação tridimensional das plumas e, com base nisso, ocorre a execução da Avaliação de Risco e do Plano de Intervenção não somente envolvendo as ações de intervenção, mas também as medidas institucionais. Então, acho que é um documento bem-feito, completo e que falta, na verdade, sua execução apropriada.*

- 2 - O tema do presente trabalho é Avaliação de Critérios para a Delimitação Espacial Completa de Plumás de Contaminação em Investigações Detalhadas. Segundo a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB, o mapeamento das plumas de contaminação deve ser realizado durante a Investigação Detalhada, sendo que, em sua finalização, as plumas devem estar integralmente delimitadas. A partir disso, acredita que seja uma etapa possível de se atingir em todos os casos?

*Marco Pede:* *É difícil atingir em todos os casos, por exemplo em áreas industriais que o processo se deu por 40 anos e continua ainda até os dias de hoje, sendo um item difícil de integrar de uma forma definitiva. É necessário entender bem o meio, principalmente as unidades hidroestratigráficas e, em conjunto com isso, a natureza da contaminação. Além disso, existem áreas imensas, com várias produções fabris, presença de redes de esgoto, plumas combinadas, tudo isso misturado torna bem mais complicado o mapeamento das plumas. Minha versão de fora, trabalhando prestando consultoria para várias empresas (fornecendo dados), é que muitas vezes não é possível mapear as plumas durante a realização da Investigação Detalhada.*

Marcos Tanaka: *Em todos os casos, não. Mas vou exemplificar com um outro olhar também: a DD também pede que a gente defina as unidades hidroestratigráficas, o que na prática não é feito integralmente. Esse é um paradigma nos EUA, da advecção e dispersão, e lá era assim também - consideravam que a hidrogeologia clássica dava resposta para o aquífero livre e que era tudo homogêneo, então essa questão da delimitação veio daí e continua até hoje. Sendo assim, não tem muito sentido delimitar da forma como se faz hoje, com esses poços de monitoramento, precisa identificar a zona de fluxo, o fluxo de massa que esteja eventualmente passando por ela, sendo que isso é mais importante que instalar um poço muito longe e falar que está delimitada a pluma. Da mesma forma ocorre com a pluma vertical, quando se considera que o aquífero é homogêneo – é preciso ver se a unidade hidroestratigráfica tem um impacto, se tem outra unidade no nível inferior e, talvez, você tenha que avaliar a água subterrânea. Então esse é um ponto que acho que o mercado tem que melhorar o entendimento da Decisão de Diretoria, pois ela diz que tem que delimitar naquela unidade que é relevante para o fluxo, não precisando delimitar em uma unidade não relevante para o fluxo. Uma observação importante é que esse entendimento não é só para os consultores, mas até para o próprio CETESB.*

José Eduardo Ismael Lutti: *A investigação detalhada é uma etapa do gerenciamento de áreas contaminadas e a delimitação é obrigatória. Mesmo esta etapa sendo complexa, tem que buscar finalizar esse detalhamento, a extensão da pluma, para depois passar para a próxima etapa. Só que você traz essa questão de áreas complexas, e Jurubatuba, acho que é a área complexa mais estudada no Brasil. De fato, se fosse ficar delimitando plumas, e tenho dificuldade de entender isso, mas acho que a tecnologia permite rastrear ou delinear os contaminantes, não sei por que seria impossível em um determinado período você detalhar a pluma. Claro, tem situações que essas plumas se cruzam, vão e voltam, mudam de posição, aí você não avança no gerenciamento e na remediação. Ontem, em um debate, discutimos muito sobre medidas institucionais, que a CETESB inverteu a lógica da lei e tornou a medida institucional um substituto para a remediação. Ela é uma medida excepcional, para alguns casos específicos, casos complexos, aí você precisa de uma medida institucional. Já em outros que você precisa de uma medida institucional por um período curto, porém eles estão fazendo a remediação pela medida institucional com um prazo indeterminado. Para casos complexos, como você cita nos EUA, seria bom ter uma flexibilização, mas tenho até*

*medo de falar isso, pois aqui no Brasil e, se falando do retrospecto da CETESB neste aspecto, é uma coisa pavorosa, pois nem a DD 38 é cumprida integralmente. Ou seja, na teoria seria ótimo, pois não pode passar uma vida tentando delimitar pluma e deixar a remediação para depois, mas na prática não sei se seria uma boa opção.*

**Paulo Lima:** *Essa é uma boa pergunta, acho que possível é, mas a gente sempre recai sobre limitações orçamentárias na prática. Então nós, na maioria dos casos, quando tem grandes contaminações profundas ou suspeita-se da ocorrência de impactos mais profundos, nem sempre conseguimos efetivamente delimitar esses impactos e aí parte-se para uma análise mais específica, da distribuição da massa de contaminantes e acaba direcionando as ações pautadas na distribuição da massa e não no volume. Então existe essa limitação na prática, mas acho que seria possível. Porém isso parte de uma premissa da disponibilização de recursos. Na prática, procuramos dentro de uma etapa de mobilização, que não é a fase inicial, partindo de uma premissa que pode ser delimitada e não se delimita. Então se faz uma etapa secundária que porventura não delimita, isso acaba criando n etapas de delimitação, que geram custos excessivos e normalmente a gente avalia criticamente o que aquele dado que está sendo coletado é suficiente ou se dá para inferir determinadas coisas ou interpretações. Mas, na prática, existe uma limitação efetiva da execução dessas atividades e, quando há fontes regionais, esse trabalho de delimitação se torna mais complexo, onde se admite outras contribuições além daquelas associadas à área de interesse. Então caímos em uma estratégia de investigar e maximizar a informação até onde dá, procurando maximizar essas interpretações, se já dá para a partir desses dados definir uma contribuição vertical com a área de estudo; a partir do momento que se identifica potenciais fontes regionais que possam contribuir, acho que aí normalmente há uma dificuldade e o trabalho geralmente para por aí, principalmente nas empresas que o corpo jurídico atua diretamente, devido ao impacto de outras fontes potenciais que podem não ser somente do site. Também na medida em que se avança em profundidade, a dificuldade também aumenta bastante, criando limitações operacionais, devido ao número de hastes que seriam necessárias para perfuração. Então à medida que a gente vai avançando em profundidade, efetivamente vai aumentando a complexidade do estudo e criando limitações operacionais mesmo da tecnologia disponível para execução de uma determinada obra.*

- 3 - E como seria esse atendimento para situações de complexidades geológicas (por exemplo, aquíferos fraturados e/ou aquíferos multicamadas) e de contaminação (plumas combinadas e/ou plumas muito grandes), que conferem características de complexidades técnicas aos sites?

Marco Pede: *Acredito que a complexidade está mais relacionada aos contaminantes, principalmente aos DNAPLs, pois o LNAPL, a partir das técnicas de alta resolução, geralmente se torna um pouco mais simples. Entretanto, se não utilizar as técnicas mais adequadas ao caso, usando as técnicas tradicionais, instalando apenas poços de monitoramento, dificulta bastante o mapeamento, além de um custo elevado de curto a médio prazo, com várias análises, ou seja, não tendo muito como fugir das técnicas de alta resolução.*

Marcos Tanaka: *Também seguindo a DD, as coisas começaram a se simplificar um pouco, então cada fonte deve ser investigada de uma forma, amostrando o solo e verificando as unidades hidroestratigráficas. O problema é quando você tem muitas fontes e não tem controle sobre elas, podendo ter dificuldade neste ponto, pois isto é complexo. Sendo assim, é possível atender, mas tem que ser interpretado corretamente (qual o impacto naquela unidade hidroestratigráfica?). Além disso, você também precisa fazer a pergunta certa, se tem contaminação no fraturado, precisa investigar ele? Quais são os indícios que isso pode estar ocorrendo? Então, analisar a fonte e entender a fonte na sua área, bem como verificar a relação desta fonte com o aquífero mais profundo. Se realmente for necessário investigar, ideal começar em uma escala regional, olhando os poços tubulares ao redor, ver os tipos de fraturas, fazendo uma investigação bem mais geológica, pra depois tudo chegar na sua área e realizar uma perfuração, entendo o meio físico e coletar inclusive amostras de rocha (para ver se tem impacto), não necessariamente instalando poços no aquífero fraturado. Então, resumindo, é possível fazer a delimitação, mas dá um trabalho muito maior do que parece.*

José Eduardo Ismael Lutti: *Acabei juntando um pouco as 2 perguntas e já respondendo juntamente com a anterior.*

Paulo Lima: *Acredito que a questão é reconhecer efetivamente qual a contribuição da área fonte que está sendo estudada a aquele impacto. Então, existem maneiras de se buscar essa resposta, coletando amostras ao longo da seção vertical, uma análise geoquímica detalhada, abrangendo talvez uma varredura maior de compostos, análise*

*isotópica de compostos específicos, que é uma ferramenta muito interessante que pode apontar presença dessas fontes combinadas e de plumas combinadas. E o que se observa é que a partir do momento que se detecta principalmente plumas combinadas o trabalho é interrompido até que a outra parte interessada seja trazida a bordo do projeto e normalmente essa interlocução é feita de forma indireta tendo o órgão ambiental como centralizador, então cria-se linhas de evidência onde aponta-se que em uma determinada profundidade, aquilo que é detectado eventualmente não seja vinculado a fonte de contaminação e a partir daí já se interrompe o trabalho e faz uma comunicação com o órgão ambiental. No caso dos aquíferos fraturados e multicamadas, não vejo como impeditivo, principalmente nas suas porções mais rasas, pois existem métodos de perfuração e tecnologias de construção de poços de monitoramento que podem ser utilizados para caracterização destes aquíferos. Como normalmente é feito uma abordagem em fases, se detecta um impacto em uma determinada profundidade, óbvio se a interpretação do dado indica que esse impacto é relativo à área de estudo, deveria ser então complementado com estudo adicional para efetivamente reconhecer a extensão vertical desse impacto. Na prática nem sempre isso acontece, pois normalmente se faz uma análise conjugada daquele impacto com os receptores associados e do uso da água. Se porventura o uso da água não é algo preponderante na área e na ausência de um receptor, normalmente observamos que as investigações se interrompem, aí efetivamente não há um estudo complementar. Então recai muito em uma combinação de uma abordagem da exposição, pois chega em um momento que mesmo que diante da falta de informação relativa a delimitação vertical, a ausência de um receptor vinculado aquele impacto, já é suficiente para atenuar a necessidade de se avançar dentro desse processo de delimitação, aí os esforços são fortemente direcionados aos centros de massa, que normalmente ocorre em zonas aquíferos mais rasas e onde efetivamente se observa um cenário de exposição a um determinado receptor. Então, minha opinião pessoal é realizar uma abordagem por fases e sempre refazendo a pergunta se a informação é suficiente para entender se esse impacto é relativo à minha fonte de contaminação ou se existem potenciais fontes regionais contribuindo para aquele impacto, além das questões relativas ao uso da água.*

- 4 - E para situações que resultam em complexidades não técnicas, tais como custos muito elevados, limite das responsabilidades pelas investigações entre dois ou mais

responsáveis legais, sobreposição de órgãos reguladores (por exemplo, CETESB e MP), como seria esse atendimento?

Marco Pede: *Este ponto envolve questões legais, jurídicas, ações civis, fugindo um pouco do nosso mundo. Às vezes os clientes querem ganhar tempo, tentam adiar um pouco o desenvolvimento dos trabalhos, sendo uma questão a ser resolvida pelo dono da área (responsável legal), corpo técnico e órgãos ambientais.*

Marcos Tanaka: *Então, isso é uma coisa que não entendo muito, pois nunca fiz essa interface, mas falando de modo geral, se existe um impacto ambiental e você tem responsabilidade sobre aquele dano, aí tem que ser feito, independente dos custos. Para casos em que mais de uma empresa tem responsabilidade, todas deverão ser chamadas para responder.*

José Eduardo Ismael Lutti: *A sobreposição de órgãos reguladores, especialmente na cidade de São Paulo, existia o órgão ambiental municipal, secretaria municipal de meio ambiente e a CETESB. Em vários casos, a secretaria municipal era mais exigente que a CETESB, mas como a competência para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas era da CETESB, então, ela exigia somente quando a CETESB não agia. Então, nesse aspecto acho que está ótimo. Depois disso, ficou somente a CETESB como responsável. Em relação aos responsáveis legais, a legislação estabelece uma hierarquia de responsável, sendo que o grande responsável é o proprietário atual. Evidentemente, se o Ministério Público sabe quem é o autor da contaminação e o responsável legal diz que a responsabilidade é dele, teríamos duas situações: o autor da contaminação é forte o suficiente financeiramente para fazer a remediação, até mais que o proprietário, então vamos pegar o autor, pois este é o grande responsável, mas se os autores das contaminações estão muito distantes na cronologia da propriedade do terreno, e também não tem capacidade financeira para fazer o gerenciamento, aí o Ministério Público vai atrás do proprietário, pois aí ele é o grande responsável. O Ministério Público também pode escolher qualquer um dos responsáveis legais, ou seja, o que achar melhor para resolver o problema ambiental, o que é chamado de responsabilidade solidária, sendo que depois esses responsáveis legais vão se acertar no particular. Já em relação aos custos elevados, no debate de ontem falamos bastante disso, e eu até fiz um desafio para a plateia: para fazer um levantamento para as áreas reabilitadas com medidas institucionais aplicadas por prazo indeterminado, que eles me levantassem se 10% dessas áreas apresentavam uma análise econômico-financeira*

*e técnica que justificasse a inviabilidade da remoção da massa dos contaminantes. Mas respondendo, isso não existe e já percebi em 2009 que a CETESB não exigia e não exige até hoje. Além disso, não apresentam o valor que vão gastar, não constando em nenhum processo ou relatório. Acho que existem situações em que o valor deve ser altíssimo mesmo, principalmente nestas áreas complexas, mas aí temos que fazer a seguinte pergunta: por que o atual proprietário hoje não pode responder ou os proprietários anteriores também não podem responder por esse valor? A sociedade vai arcar com esse prejuízo? Quais critérios a CETESB ou o órgão ambiental utilizaria para dizer que seria economicamente inviável, pois o que pode ser para uma determinada situação, para outra pode não ser? E caberia a um órgão ambiental fazer esta análise? Acho que não. Então, esta é uma situação complexa que deveria ser melhorada na legislação. Agora, volto ao início de nossa conversa, se aplicassem isso corretamente, mas se tivesse dentro do processo esta análise financeira para justificar, até seria razoável, mas nem isso é apresentado. Então, primeiro temos que cumprir o que existe para ver se funciona, para depois tentar alterar e melhorar a legislação.*

**Paulo Lima:** *Eu gosto sempre de olhar o bom senso, é lógico que o custo é um limitante, pois vemos empresas e indústrias passando dificuldades financeiras efetivamente, e essas investigações mais profundas obviamente envolvem custos mais excessivo, porque a perfuração é mais cara, com várias horas de campo. Então, em casos assim, a gente procura direcionar sabendo que há pouca disponibilidade de recursos, para ações mais prioritárias que envolvem exposição, e outras com medidas de médio e longo prazo, que pode ser feito esse ranqueamento com base no risco e exposição do receptor. A questão das responsabilidades legais, que porventura o modelo conceitual indica a presença de plumas combinadas e/ou que os impactos em um determinado poço de produção se vinculam a plumas de duas áreas de interesse, acho que isso deve ser discutido, de forma clara e pautado em dados. É uma discussão jurídica, mas que tem base técnica e as linhas de evidências bem claras que apontam esses cenários. Então você cria uma linha de evidência, que indica que outros stakeholders possam estar envolvidos ou sejam responsáveis por determinada contaminação, com dado técnico que norteia essa hipótese e chega à conclusão do cenário. Então, acho que esse é o caminho, trazer para discussão e normalmente a gente sobrepõe esse diálogo ao órgão ambiental, ou seja, comunica o órgão ambiental que existe um outro responsável legal, eventualmente associado aquele impacto, e o órgão ambiental efetivamente faz essa*

*gestão, pelo menos deveria fazer essa gestão, com a comunicação com os demais envolvidos.*

- 5 - Nos EUA, em função das complexidades de um site, devido aos desafios técnicos e não técnicos, surgiu o termo Gerenciamento Adaptativo do Site, sendo um processo abrangente, flexível e frequente, o qual tem por finalidade gerenciar todo o processo de remediação de uma área (ITRC, 2017). Já o NRC (2003) define como "*uma abordagem abrangente e flexível para lidar com sites que tenham resíduos perigosos difíceis de remediar a longo prazo ou onde as tecnologias atuais provaram ser ineficazes para alcançar objetivos do local para muitos tipos de contaminação*". A partir disso, acredita que podemos ter algo parecido aqui no Brasil e se isso acrescentaria positivamente?

Marco Pede: *Acredito que traria bastante benefício para nós, para gerenciar essas áreas industriais, de contaminações múltiplas, de grandes extensões, com complexidades técnicas e/ou não técnicas associadas.*

Marcos Tanaka: *Hoje você pode se apoiar no ITRC, mas não seria um documento legal, teria que ter a CETESB na elaboração, talvez uma câmara técnica, talvez com uma nova decisão de diretoria específica para este tipo de caso, definindo o que é um caso complexo. Sem dúvida seria um documento que acrescentaria bastante tecnicamente.*

José Eduardo Ismael Lutti: *Temos que sempre ter em mente o seguinte, que tanto o americano quanto o alemão são muito pragmáticos. A grande diferença e o grande embate aqui no Brasil, é que os americanos e alemães não têm uma constituição federal igual do Brasil, não tem uma lei da política nacional de meio ambiente que determina a reparação integral do dano, onde se deve reparar até onde é possível tecnicamente e o que não é possível tem que ser indenizado, basicamente é isso. Essa é a grande briga do Ministério Público e CETESB, além dos incorporadores que também não querem fazer isso. Bom, voltando à questão, lá eles são pragmáticos e quem descumpe a lei tem uma punição severa, o que é diferente aqui no Brasil, onde se aplica uma multa pequena e o responsável não paga e o governo também não cobra, então tudo é um faz de conta. Por isso, acho que na prática esse tipo de flexibilização seria o fim do pouco que a gente tem de gerenciamento de áreas contaminadas.*

Paulo Lima: *Gosto muito desse documento, acho que é um caminho, pois às vezes um site tem múltiplas demandas e apresenta complexidades significativas nos atendimentos das diretrizes e metas de remediação, vinculado a complexidades geológicas ou uma contaminação expressiva, que já se observa ações de longo prazo, onde esse problema*

*não vai ser resolvido em 2, 3 ou 5 anos, mas sim em 15 anos. Sendo assim, particularmente gosto, pois cria exatamente essa capacidade de flexibilizar e procurar agir em áreas mais críticas do site e monitorar áreas menos críticas. Um exemplo, em uma área que tem LNAPL, e ele possui baixa transmissividade e está se estudando a capacidade de atenuação natural de LNAPL, e isso pode ocorrer em diversas áreas dentro do site, então isso é um processo que vai induzir ao longo prazo, recaindo em um monitoramento com controle de risco de mais longo prazo. Então, acho que essa questão do prazo e de flexibilizá-lo principalmente em uma área que não se prevê mudança de uso por exemplo, acho que essa premissa do ITRC é ir fazendo, adotando uma estratégia inicial de intervenção e chega em um ponto máximo da estratégia, aí se faz um segundo step.... Então, você cria steps de intervenção, de monitoramento, setoriza áreas mais ou menos críticas dentro do site e estabelece ações de monitoramento de curto, médio e longo prazo em uma mesma área. Acho que é uma abordagem superinteressante. O fluxograma que o ITRC mostra é um processo dinâmico de tomada de decisão e a premissa é o controle do risco. Importante ressaltar que a remoção de massa é algo difícil de se conseguir e de se atingir uma meta de remediação, onde tem que remover 99,9% da massa, aí você sabe que para aquela particularidade que tem DNAPL, sabe que terá um back diffusion, que vai haver uma persistência das concentrações ao longo do tempo, camadas orgânicas ultra impactadas, que tem uma massa retida muito grande, a gente sabe que as ações de remediação são limitadas a essas condições, aí cria-se condições mais flexíveis, abordagens mais flexíveis de remoção da massa até um determinado estágio e aí um monitoramento, uma atenuação monitorada de mais longo prazo ou um segundo step de intervenção para procurar maximizar. Então, você cria ferramentas mais flexíveis de tomada de decisão dentro do longo prazo, usando essa abordagem de risco. Lembrando que isso recai sobre a premissa da não mudança de uso. Talvez mesmo mudando o uso, tendo uma avaliação de risco bem-feita, podemos cair em um estudo de caso de mais longo prazo, mas também enxergo que talvez isso seja muito ambicioso para ser sugerido dentro de um contexto de mudança de uso. Então, acho que é possível deixar massa residual para trás em termos de intervenção não em termos de monitoramento, mas monitorar, entender as taxas de atenuação ao longo do tempo, se existe mudança de uso vinculada aquela região, então se fazer a gestão efetiva de uma determinada área dentro do longo prazo, tendo como premissa o controle dos riscos.*

*Acho isso factível, mas por ora acho isso mais aplicável a zonas industriais onde não há expectativas para a mudança de uso. Então, acho que o documento ITRC pode ser replicado aqui no Brasil, óbvio que a partir do momento que isso entra como uma Decisão de Diretoria ele se torna algo legalmente aceito, algo legal efetivamente. A DD não abrange isso, ela não discute essa flexibilidade, então talvez tenha espaço, apesar de ela dizer que pode indicar a utilização de medidas de engenharia para controle do risco e medidas de intervenção para o abatimento da massa e nós sempre preferimos o abatimento da massa, mas não traz essa discussão temporal.*

- 6 - Por fim, em função de tudo que foi conversado, teria alguma sugestão adicional em função de sua vivência no gerenciamento de áreas contaminadas?
- Marco Pede: *Bom, uma sugestão seria através da própria AESAS, Ministério Público e CETESB, para que voltassem as discussões, de alguma forma de aperfeiçoar a DD 038 e/ou lacunas nela, pois esse processo de melhoria é sempre contínuo, não tendo como ser definitivo. Essa é minha visão, de alguém que está tentando fornecer dados melhores para as consultorias, pois é algo difícil, não sendo tão trivial como várias pessoas imaginam.*
- Marcos Tanaka: *Acho que tem que ter uma participação maior da CETESB nos fóruns atuais de discussão, pois tenho visto a CETESB nos últimos 3 anos ter ficado fora das discussões. Como não tenho muito contato, provavelmente eles estão com muita coisa para fazer e com pouca gente em seu quadro, então talvez dificulte o trabalho deles, mas sinto falta dessa aproximação da CETESB com as coisas que estão sendo discutidas por aí. Por exemplo, na questão de Jurubatuba, tem várias partes envolvidas participando das discussões, inclusive MP, e a CETESB tem ficado de fora. Além disso tudo, acho que a CETESB tem que cumprir melhor a própria decisão de diretoria, estudando melhor e fazendo as coisas serem cumpridas como ela escreveu.*

José Eduardo Ismael Lutti: *Falei isso ontem em um debate, pois fizeram uma pergunta muito parecida com essa, e encerrei dizendo o seguinte: gostaria que a atual legislação fosse cumprida, só isso. Não precisava criar mais nada, deixar cumprir primeiro, efetivamente o que está na legislação para ver se a coisa realmente melhora ou se precisa de uma melhoria.*

Paulo Lima: *Acho que o ponto é um modelo conceitual bem-feito, você efetivamente entender o que aquele impacto que se observa em uma determinada profundidade significa, tanto para o poluidor quanto para o responsável legal, ou para o entorno, ou*

*em relação ao comprometimento daquele recurso subterrâneo: O que isso significa? Mesmo existindo aquele impacto, vai se espalhar? Não vai se espalhar? Posso manter aquela concentração lá embaixo e investir em uma remediação nos níveis mais rasos? E a partir dessas reduções das concentrações mais rasas observar quedas de concentração nas zonas mais profundas? Então, acho que o ponto é o modelo conceitual, é entender efetivamente as características da área de interesse, a geometria da contaminação e procurar entender como as diferentes ações se inter-relacionam, ou seja, ações de intervenção e monitoramento. Com a redução da massa da zona superior, talvez já vá criar um impacto muito positivo em termos de input de concentração e atenuação natural passa a ser algo passível de ser implementado nessas zonas mais profundas. Então, acho que é isso, é fazer ciência aplicada, é construir as perguntas e se coletar os dados efetivamente para responder essas perguntas.*

## 6.2 Discussão dos Resultados

Após coletadas todas as opiniões dos entrevistados (*item 6.1*) e com base na bibliografia levantada no presente estudo, foi possível ampliar a discussão do tema proposto e concatenar as informações em um parecer de como os desafios podem ser conduzidos e suas implicações na delimitação de plumas de contaminação.

Os entrevistados que participaram do presente estudo tem vasta experiência na área ambiental, sendo: José Eduardo Ismael Lutti, atualmente Procurador de Justiça Cível, onde até 2016 foi Promotor de Justiça do meio ambiente de São Paulo/SP; Paulo Lima, mestre em hidrogeologia pela Universidade de Waterloo, doutor em hidrogeologia pela Universidade de São Paulo (USP) e consultor ambiental; Marcos Tanaka, engenheiro ambiental (UNESP), pós-graduado em Gerenciamento de Áreas Contaminadas (SENAC), mestre e doutor em engenharia civil e ambiental (UNESP) e diretor técnico da ECD Ambiental e Marco Pede, geólogo, mestre e doutor em Geociências e Meio Ambiente pela UNESP, consultor ambiental, atuando principalmente nos temas hidrogeologia, remediação e caracterização hidrogeológica.

A Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, emitida pela CETESB em 07 de fevereiro de 2017, teve por finalidade atualizar/adequar alguns procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas, além de descrever detalhadamente o que deve constar em cada uma das etapas, desde a Identificação de Áreas Contaminadas, Processo de Reabilitação de Áreas Contaminadas, Ações Emergenciais e Averbação. Em suma, ela guia os profissionais do Estado

de São Paulo que atuam na área ambiental, objetivando de aumentar a qualidade dos trabalhos desenvolvidos no GAC, priorizando a eficiência, otimizando os recursos, reduzindo o tempo e o custo da intervenção ambiental.

Em relação à primeira questão levantada, os quatro entrevistados compartilham da mesma opinião, de que a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C é um documento de qualidade excelente. Dessa maneira, fica evidente a contribuição da DD para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), inclusive aumentando e muito a qualidade técnica e operacional dos trabalhos desenvolvidos. Já em relação à segunda parte da primeira questão colocada, se ela direciona satisfatoriamente a elaboração das etapas do GAC ou tem pontos que podem ser aperfeiçoados, três dos quatro entrevistados concordam que sim, enquanto um acredita que não há necessidade. Sendo assim, mesmo com sua grande contribuição e diretrizes para o desenvolvimento das etapas do GAC, toda lei e/ou decreto pode ser aperfeiçado e/ou complementado, a fim de sanar possíveis lacunas, se for o caso, principalmente considerando o tempo de vigência.

Já em relação à segunda questão levantada, três dos quatro entrevistados compartilham da mesma opinião: julgam não ser possível delimitar integralmente as plumas de contaminação em todos os casos, enquanto apenas um afirma que as tecnologias atuais permitem rastrear ou delinear os contaminantes. Porém todos concordam que as complexidades técnicas e questões orçamentárias envolvidas dificultam a delimitação em alguns casos mais complexos. Sendo assim, é necessário ressaltar que ela não identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória, o que dificulta as investigações em situações de complexidade geológica (por exemplo, aquíferos fraturados e/ou aquíferos multicamadas) e de contaminação (plumas combinadas e/ou plumas muito grandes). Tais complexidades técnicas podem culminar em complexidades não técnicas, tais como custos muito elevados, limite das responsabilidades pelas investigações entre dois ou mais responsáveis legais, dentre outros.

Em relação à terceira questão levantada e complementando o exposto no parágrafo acima, as principais complexidades técnicas associadas aos sites são:

- Condições Geológicas/Heterogeneidade Geológica: Quando se tem uma geologia complexa na área de estudo, os desafios aumentam, desde a etapa da investigação até a definição das técnicas de remediação. As principais condições que tornam uma geologia

complexa são a heterogeneidade do solo (caso dos solos brasileiros, por exemplo), rochas fraturadas, meios de baixa permeabilidade, tal como argilas;

- Rochas Fraturadas/Aquíferos Fraturados: Em meios fraturados, a condutividade hidráulica da zona saturada geralmente é bastante elevada, dificultando mapear o tipo e a extensão da contaminação na água subterrânea, implicando em maiores desafios para a investigação ambiental e para a definição das técnicas de remediação;
- Zonas de baixa permeabilidade: A concentração de contaminantes em zonas de armazenamento, ou seja, com baixa permeabilidade, podem sustentar contaminações em meios de maior permeabilidade, mesmo por longo período e sem a presença de fontes ativas;
- Condições Hidrogeológicas: Assim como nas condições geológicas, as condições hidrogeológicas geralmente são complexas, devido a heterogeneidade e anisotropia dos aquíferos, dificultando a elaboração de um Modelo Conceitual preciso;
- Variações na água subterrânea: Velocidades de fluxo da água subterrânea altas e baixas influenciam diferentemente o meio, sendo que em áreas que apresentam fluxo com alta velocidade, dificulta bastante a redução das concentrações de contaminantes em níveis aceitáveis, enquanto em baixa velocidade, fornecem maior tempo de contato, fazendo com que os contaminantes sejam adsorvidos nas partículas sólidas do aquífero;
- Contaminação de água subterrânea em grandes profundidades: Quanto mais profundo está a contaminação, mais difícil o mapeamento das plumas, devido a necessidade de realizar poços profundos, além do aumento considerável de custo no projeto;
- Condições Geoquímicas: Cada site tem suas características específicas, devido a mineralogia do solo, composição das águas subterrâneas e matéria orgânica e inorgânica de ocorrência natural, sendo que estes fatores influenciam diretamente o transporte e a transformação dos contaminantes no meio ambiente subterrâneo;
- Condições relacionadas a contaminantes: Dentre alguns exemplos estão os NAPLs, contaminantes recalcitrantes, contaminantes emergentes, contaminantes em altas concentrações e/ou múltiplos contaminantes. Os contaminantes recalcitrantes são caracterizados por não se degradarem facilmente, exigindo escolhas mais direcionadas para a remediação, pois técnicas convencionais podem não ser suficientes. Já os contaminantes emergentes, tal como PFAs e 1,4-dioxano, exigem técnicas específicas e limitadas de remediação, por geralmente também serem resistentes à biodegradação. Em resumo, diferentes contaminantes exigem diferentes técnicas de remediação, uma

vez que cada um tem suas características próprias, fazendo com que em sites com plumas combinadas (múltiplos contaminantes) sejam bastante desafiadores; e

- Sites de grande escala: Sites complexos geralmente são caracterizados por contaminações de vários quilômetros quadrados, o que exige remediações mais longas. Alguns outros exemplos que podem caracterizar um site como complexo são a localização, tipo e extensão da contaminação, profundidade da contaminação, tipo e proximidade de receptores e plumas combinadas.

Em relação quarta questão levantada, as principais complexidades não técnicas associadas aos sites são:

- Mudanças que ocorrem ao longo do tempo: O tempo impacta diretamente na remediação, sendo que quanto maior o tempo necessário, maior a complexidade para se atingir os objetivos do site. No decorrer dos anos pode ter mudanças regulatórias, de exigências de níveis de concentração para se atingir as metas, na avaliação de risco, dentre outras, fazendo com que os responsáveis e gestores adotem um risco de projeto, com a finalidade de se mitigar os impactos destas mudanças;
- Sobreposição de responsabilidades regulatórias: No decorrer dos anos em que se desenvolve a remediação de um site complexo, diferentes agências regulatórias e/ou ambientais podem ser envolvidas, tendo divergência entre as exigências de cada uma, ocasionando desafios, no caso não técnicos, para o gerenciamento da remediação;
- Controles Institucionais: Os controles institucionais adotados devem ser acompanhados e gerenciados, objetivando que a área seja respeitada, para não ocorrer violações das medidas;
- Mudanças do uso do solo: Ao longo do tempo, mudanças do uso do solo da propriedade podem ocorrer, podendo afetar os objetivos do local inicialmente estipulados. Um exemplo de mudança que pode ocorrer é o zoneamento externo passar de industrial para residencial, impactando as metas de remediação adotadas; e
- Financiamento: Quanto maior o tempo de remediação de um site, ainda mais sites complexos, maior são os recursos financeiros necessários, sendo um grande desafio para os responsáveis pelas áreas e órgãos reguladores. Por exemplo, em setores privados, os gastos com o gerenciamento de áreas contaminadas afetam a lucratividade e os investimentos em projetos.

É importante salientar que todos os quatro entrevistados citaram pelo menos uma ou mais das complexidades técnicas e não técnicas apresentadas acima. Tais complexidades podem resultar em atendimento incompleto de alguns itens da DD, impossibilitando o avanço para as próximas etapas, o que pode, inclusive, acarretar autuações para o responsável legal da área. Por outro lado, a Decisão de Diretoria recomenda que em áreas com complexidades técnicas (meio físico, distribuição das SQIs, bem como fontes primárias de contaminação não identificadas nas etapas anteriores) deve-se utilizar técnicas de investigação por alta resolução, o que possibilitaria um melhor entendimento do meio subterrâneo e da contaminação efetivamente, principalmente com a identificação das zonas de fluxo e as zonas de armazenamento, obtendo-se, assim, pontos representativos do meio, tanto de água subterrânea quanto de solo.

Em função das complexidades apresentadas, surgiu o termo Gerenciamento Adaptativo do Site, sendo um processo abrangente, flexível e frequente, o qual tem por finalidade gerenciar todo o processo de remediação de uma área (ITRC, 2017). Já o NRC (2003) define como "*uma abordagem abrangente e flexível para lidar com sites que tenham resíduos perigosos difíceis de remediar a longo prazo ou onde as tecnologias atuais provaram ser ineficazes para alcançar objetivos do local para muitos tipos de contaminação*". Conforme já exposto, a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C da CETESB não contempla como deve ser a realização das investigações em diversas situações de complexidades técnicas e não técnicas, devendo ser seguida da mesma forma para qualquer tipo de site.

Todos entrevistados concordam com uma repercussão positiva quanto a hipotética adoção de algo similar às diretrizes apresentadas no documento do Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) no Brasil, que foi levantada na quinta pergunta, apenas com uma ressalva de que seu cumprimento na prática poderia não ser integral.

Já em relação a sexta pergunta, cada um dos entrevistados apresentou seu ponto de vista. O primeiro deles citou a necessidade dos órgãos AESAS, Ministério Público e CETESB voltarem às discussões, de forma a aperfeiçoar a DD 038 e/ou as lacunas nela, ressaltando que esse processo de melhoria é sempre contínuo. Em seguida, o segundo entrevistado apontou a carência de uma participação maior da CETESB nos fóruns atuais de discussão, por exemplo, na questão de Jurubatuba, em que várias partes estão envolvidas nas discussões, inclusive Ministério Público, porém a CETESB tem se mantido distante. Além disso, esse mesmo entrevistado ressaltou a importância deste mesmo órgão cumprir com mais fidedignidade a

própria decisão de diretoria. Já o terceiro deles citou que almeja que a atual legislação seja cumprida e que se isso ocorresse, não haveria necessidade de alteração. Por fim, o quarto deles enfatizou a importância de se elaborar um robusto Modelo Conceitual da Área nas etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

Finalmente, em relação a quinta e a sexta pergunta, apesar de a CETESB preconizar o uso de literaturas internacionais, o "Remediation Management of Complex Sites" não é um documento oficial no Brasil, o que pode dificultar sua aceitação quando utilizado em determinadas etapas do GAC. Portanto, como sugestão, seria de grande contribuição para os profissionais da área se a próxima revisão da presente DD contemplasse algo similar ou que fosse realizada a elaboração e oficialização de um outro com conteúdo análogo ao preconizado pelo ITRC. Além disso, os consultores ambientais, os clientes e o próprio quadro de funcionários da CETESB precisam cumprir de forma mais integral o que está na Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, aumentando a qualidade técnica dos dados. Salienta-se também a importância da elaboração de um Modelo Conceitual da Área de qualidade, utilizando-se de todas as ferramentas atuais disponíveis (por exemplo, ferramentas de alta resolução na etapa de investigação).

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho buscou ampliar a discussão do tema delimitação tridimensional de plumas de contaminação durante a execução da Investigação Detalhada, por meio de revisões bibliográficas, estudos de caso e entrevistas com profissionais da área. Tal discussão mostra-se de relevância para a prática dos profissionais da área, sendo eles da área técnica ou jurídica.

De acordo com o exposto nos resultados e discussão, foi de consenso que a Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C é um documento que veio para contribuir significativamente e auxiliar os profissionais que atuam no Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Na realização da etapa de Investigação Detalhada não é possível delimitar integralmente as plumas de contaminação em todos os casos, devido a complexidades técnicas e questões orçamentárias envolvidas. Além disso, a Decisão de Diretoria não identifica claramente quais são os critérios e atividades necessárias a serem realizadas para que ocorra a delimitação satisfatória na realização das investigações em diversas situações de complexidade geológica, que conferem características de complexidades técnicas aos sites, e que resultam em complexidades não técnicas. As principais complexidades técnicas e não técnicas envolvidas na delimitação são condições geológicas/heterogeneidade geológicas, condições hidrogeológicas, contaminação de água subterrânea em grandes profundidades, condições relacionadas a contaminantes, mudanças de uso e questões orçamentárias. Também foi unânime a concordância de que a hipotética adoção de algo similar às diretrizes apresentadas no documento do Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) no Brasil teria uma repercussão positiva. Por fim, foram apresentadas sugestões distintas, desde manter o foco no cumprimento da legislação atual, maior intervenção dos órgãos públicos até a elaboração de novos documentos.

As principais limitações deste trabalho foram um número amostral pequeno de profissionais entrevistados, pouca literatura e/ou estudos realizados com a temática delimitação tridimensional de plumas de contaminação e falta de representantes da CETESB na discussão.

Sendo assim, as perspectivas futuras sobre a temática devem incluir novos estudos envolvendo os órgãos ambientais, principalmente a CETESB, bem como realização de debates técnicos em fóruns de discussões, com a finalidade de difundir o tema entre os profissionais da área ambiental e clientes envolvidos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, DF, dez.2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acr.pdf>> Acesso em 17/09/2021.

BRASIL, Presidência da República. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1988. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, dez, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)> Acesso em 17/09/2021.

BRASIL, Presidência da República. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF, ag, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/16938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm)> Acesso em 17/09/2021.

BRASIL, Presidência da República. Lei nº 1413, de 31 de julho de 1975. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. Brasília, DF, jul, 1975. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/del1413.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/del1413.htm)> Acesso em 17/09/2021.

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2017. Remediation Management of Complex Sites. RMCS-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Remediation Management of Complex Sites Team. <https://rm>

NRC. 2013. Alternatives for Managing the Nation's Complex Contaminated Groundwater Sites. Washington, D.C.: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

NRC. 2003. Environmental Cleanup at Navy Facilities: Adaptive Site Management. Washington, D.C.: National Academies Press.

SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do

Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas, da revisão do Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas e estabelece Diretrizes para Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Âmbito do Licenciamento Ambiental, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2014/12/DD-038-2017-C.pdf> Acesso em 17/09/2021.

SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/apresentacao/>> Acesso em 17/09/2021.

SÃO PAULO. Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. São Paulo, jul, 2009. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>> Acesso em 17/09/2021.

SÃO PAULO. Decreto 8468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o regulamento da lei 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente São Paulo, 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>> Acesso em 17/09/2021.

SÃO PAULO. Lei 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/lei-997-31.05.1976.html>>. Acesso em 17/09/2021.