

Seção 6.1: Introdução – Investigação Confirmatória

A etapa de Investigação Confirmatória tem como objetivo identificar a existência de contaminação nos compartimentos do meio ambiente de uma área classificada como Área Suspeita de Contaminação (AS), causada a partir de fontes de contaminação primárias.

As atividades principais da etapa de Investigação Confirmatória são as seguintes:

- ✓ executar o plano da etapa de Investigação Confirmatória, por meio da coleta de amostras nos volumes representativos dos compartimentos do meio ambiente;
- ✓ revisar as hipóteses de liberação das SQIs a partir das fontes de contaminação primárias para os compartimentos do meio ambiente;
- ✓ verificar a possibilidade da área em avaliação ser atingida por contaminação gerada em fonte de contaminação externa, em fonte de contaminação difusa ou fonte de contaminação natural;
- ✓ identificar os bens a proteger que podem ser efetivamente atingidos pela contaminação;
- ✓ identificar os caminhos de exposição;
- ✓ identificar os responsáveis legais e solidários;
- ✓ definir o segundo modelo conceitual (MCA 2);
- ✓ verificar a necessidade de continuidade do GAC;
- ✓ propor o plano da etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ propor nova classificação da área em avaliação.

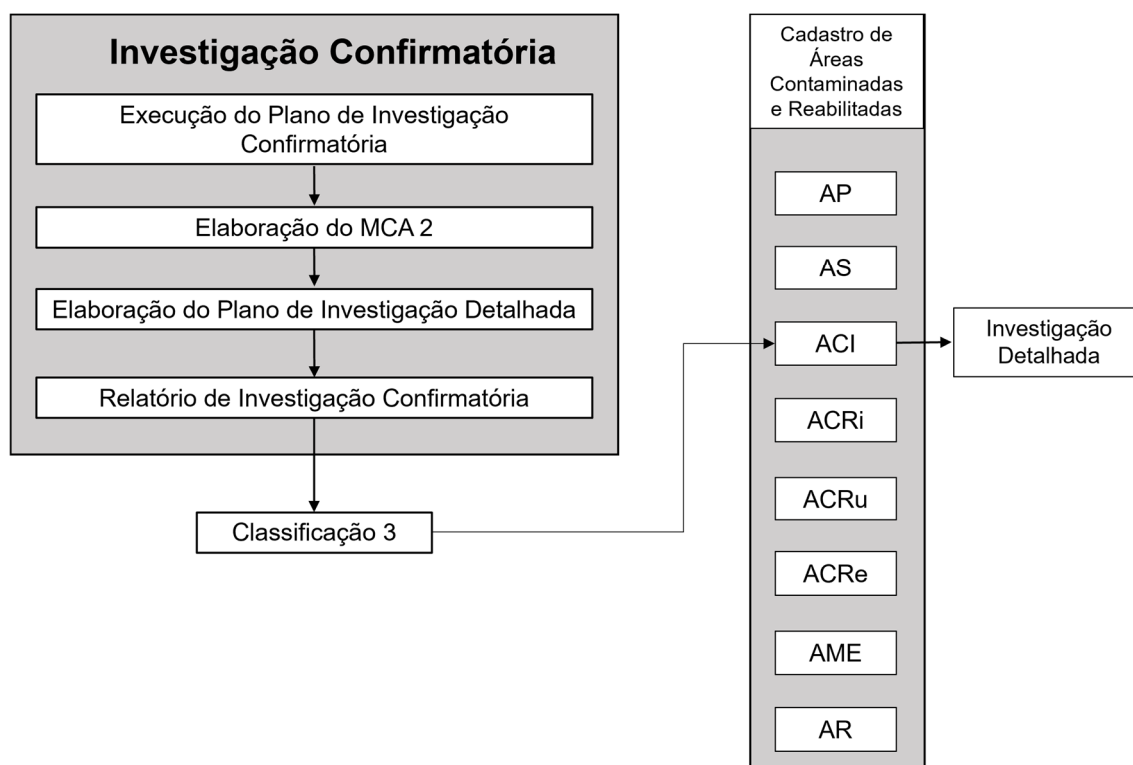
O fluxograma de atividades da etapa de Investigação Confirmatória está ilustrado na **Figura 6.1-1**.

Os critérios a serem considerados na execução do plano de Investigação Confirmatória estão detalhados na **Seção 6.2**.

Finalizada a execução do plano de Investigação Confirmatória, a interpretação dos resultados fornecerá a base para elaboração do segundo modelo conceitual da área (MCA 2), conforme **Seção 6.3**, e do plano da etapa de Investigação Detalhada, tratado na **Seção 6.4**, e para atualização da classificação da área (Classificação 3).

A compilação e a interpretação das informações dessa etapa são apresentadas em um documento denominado Relatório de Investigação Confirmatória, de acordo com o especificado na **Seção 6.5**.

Figura 6.1-1: Fluxograma da etapa de Investigação Confirmatória



Fonte: Elaboração própria (CETESB, 2023)

Quando necessário, a realização da Investigação Confirmatória pode ser exigida diretamente pelo Órgão Ambiental Gerenciador, inclusive em áreas não classificadas como AS.

A área classificada como Área Contaminada Sob Investigação (ACI) após a Investigação Confirmatória, passa a integrar a Relação de Áreas Contaminadas sob Investigação, a ser armazenada no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas.

Conforme o procedimento de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, os responsáveis legais pelas áreas classificadas como ACI devem prosseguir os trabalhos de gerenciamento com a execução das etapas de Investigação Detalhada, tratada no **Capítulo 7**, e Avaliação de Risco, tratada no **Capítulo 8**.

Seção 6.2: Execução do Plano de Investigação Confirmatória

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Aplicação de métodos de investigação para o direcionamento das amostragens ..	1
3. Consolidação do plano de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória ..	1
4. Execução das amostragens e análises.....	2

1. Introdução

A subetapa de Execução do Plano de Investigação Confirmatória é composta pelas seguintes ações:

- ✓ aplicação de métodos de investigação para o direcionamento das amostragens;
- ✓ consolidação do plano de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória;
- ✓ execução das amostragens e análises.

2. Aplicação de métodos de investigação para o direcionamento das amostragens

Quando observadas incertezas sobre a existência, localização e características das fontes de contaminação no MCA 1, podem ser aplicados métodos de investigação visando direcionar as amostragens e definir a distribuição espacial dos pontos de amostragem nos compartimentos do meio ambiente.

A aplicação desses métodos, quando necessária, é realizada no início da subetapa de Execução do Plano de Investigação Confirmatória, para que seja possível consolidar o plano de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória.

3. Consolidação do plano de amostragem da etapa de Investigação Confirmatória

O plano de amostragem da Investigação Confirmatória tem de ser revisto e consolidado com base nos resultados das investigações para direcionamento das amostragens (conforme item 2), e em novas informações de campo, levantadas durante as primeiras sondagens ou amostragens da subetapa de Execução do Plano de Investigação Confirmatória.

Podem ser várias as possibilidades de refinamento do plano de amostragem, em razão das características das fontes de contaminação e dos compartimentos do meio ambiente ainda não completamente conhecidos nessa fase, cujo conhecimento é construído gradativamente.

Utilizando-se de métodos de investigação, por exemplo, é possível estimar a localização de uma determinada fonte de contaminação ou pluma de contaminação dissolvida, permitindo a adoção de um design amostral direcionado posteriormente.

Novas informações obtidas durante as investigações de campo podem indicar, por exemplo, a presença de materiais resistentes ao método de perfuração utilizado, que resultem na substituição por outro método mais eficiente e eficaz.

Quando não for de interesse mudar o método de perfuração do projeto, é possível que se altere o posicionamento do ponto de amostragem, desde que a nova localização permaneça dentro do volume representativo definido para o compartimento do meio ambiente a ser amostrado.

Portanto, os resultados da aplicação de métodos de investigação para o direcionamento das amostragens, assim como das informações obtidas em campo durante a execução da Investigação Confirmatória, podem alterar significativamente o plano de amostragem, assim como os planos de infraestrutura e segurança, além do cronograma dessa etapa.

4. Execução das amostragens e análises

Com base no plano de amostragem revisado e consolidado, conforme item 3, os trabalhos dão continuidade às perfurações, amostragens e análises químicas programadas, utilizando-se dos métodos selecionados em razão das características da fonte de contaminação, das SQIs, dos compartimentos do meio ambiente e dos bens a proteger.

Da mesma forma, nas amostras coletadas são aplicados os métodos analíticos para quantificação da contaminação, com precisão suficiente para atender aos propósitos e limites de quantificação exigidos, permanecendo inferiores aos respectivos valores de intervenção (VI).

Seção 6.3: Elaboração do Segundo Modelo Conceitual e Classificação 3

Sumário

1. Introdução	1
2. Estrutura do MCA 2	1
2.1. Plantas georreferenciadas.....	1
2.2. Fluxograma de exposição	2
2.3. Tabela resumo	3
2.4. Texto explicativo.....	3
3. Classificação 3.....	4

1. Introdução

O segundo modelo conceitual da área (MCA 2) é uma atualização das plantas, fluxograma, tabela e texto explicativo do primeiro modelo conceitual da área (MCA 1), realizada com base nos resultados obtidos na etapa de Investigação Confirmatória.

Sua concepção busca representar as fontes de contaminação cuja existência foi confirmada, assim como os compartimentos do meio ambiente onde foi constatada a contaminação.

O Órgão Ambiental Gerenciador se utiliza das informações do MCA 2 para realizar a Classificação 3, que pode, nessa etapa, classificar a área como Área Contaminada sob Investigação (ACI) ou Área com Potencial de Contaminação (AP).

Nesta seção, são apresentadas, no item 2, as diretrizes para a construção do MCA 2 e, no item 3, a metodologia para a classificação da área após a Investigação Confirmatória.

Uma conceituação geral sobre essa ferramenta importante do Gerenciamento de Áreas Contaminadas, que é o Modelo Conceitual da Área, pode ser consultada no item 5 da **Seção 1.2** deste manual.

2. Estrutura do MCA 2

A elaboração do MCA 2 segue um processo organizado por fonte de contaminação, formando uma estrutura que contenha o seguinte:

- ✓ plantas georreferenciadas com a representação da área, informações multitemporais e localização dos pontos de amostragem;
- ✓ fluxograma dos caminhos de exposição;
- ✓ tabela com o resumo das informações;
- ✓ texto explicativo com a integração das informações sobre os caminhos de exposição, potenciais ou reais, identificados.

2.1. Plantas georreferenciadas

O seguinte conjunto de plantas georreferenciadas compõe o MCA 2:

Planta da área com proposta de classificação como ACI (ou outra classificação possível) – planta contendo o polígono que representa os limites (perímetro) da atividade potencialmente geradora de áreas contaminadas investigada (atual e pretéritas), delineado com base na(s) matrícula(s) do imóvel(is), ao qual se propõe aplicar a classificação como ACI (ou outra possível). Na legenda, são inseridas informações sobre o CNAE da atividade potencialmente geradora de áreas contaminadas, sua razão social, o número da matrícula do imóvel, as coordenadas do centro da área, dimensões e pontos de acesso.

Planta multitemporal das áreas fonte – planta contendo as áreas fonte levantadas na Avaliação Preliminar, indicando, em sua legenda, aquelas que tiveram contaminação confirmada, cujas respectivas fontes de contaminação serão contempladas na etapa de Investigação Detalhada.

Planta multitemporal das fontes de contaminação – planta contendo a localização das fontes de contaminação levantadas na Avaliação Preliminar, indicando, em sua legenda, as que foram classificadas como fontes de contaminação primárias e as que permaneceram como fontes de contaminação potenciais. São também representadas nessa planta as fontes de contaminação que, por motivos justificados, serão contempladas ou terão sua caracterização completada na etapa de Investigação Detalhada.

Planta multitemporal da vizinhança – planta contendo a localização das áreas da vizinhança levantadas na Avaliação Preliminar, cuja influência na área em avaliação foi investigada na etapa de Investigação Confirmatória, indicando aquelas que efetivamente alteram a qualidade dos compartimentos do meio ambiente na área em avaliação, que podem influenciar ou que necessitam de investigações adicionais na etapa de Investigação Detalhada, para confirmar tal hipótese.

Planta multitemporal dos bens a proteger – planta contendo os bens a proteger levantados na Avaliação Preliminar, indicando em sua legenda aqueles que foram atingidos, ou que possam ter sido atingidos, pelas contaminações provenientes da área em avaliação.

Planta dos pontos de amostragem – Planta e seções indicando os pontos de amostragem dos compartimentos do meio ambiente, relacionados a cada fonte de contaminação investigada na etapa de Investigação Confirmatória, discriminando aqueles em que foram detectadas concentrações das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) acima ou abaixo dos seus respectivos valores de intervenção (VI). Para facilitar a interpretação da planta e seções, em complementação aos pontos de amostragem, são representados os volumes representativos das fontes de contaminação e uma estimativa conservadora das plumas de contaminação e dos bens a proteger.

Em todas as plantas do modelo conceitual, quando a Investigação Confirmatória contemplar a instalação de poços de monitoramento de água subterrânea, as informações são representadas em sobreposição ao mapa potenciométrico.

2.2. Fluxograma de exposição

A partir das novas informações obtidas na etapa de Investigação Confirmatória, o fluxograma de exposição pode ser atualizado, para representar as fontes de contaminação primárias confirmadas e os caminhos de exposição.

Um exemplo do fluxograma de exposição pode ser consultado no item 2.2 da **Seção 5.4**.

2.3. Tabela resumo

Para melhor entendimento do MCA 2, é necessário que se elabore um resumo das informações sobre os caminhos de exposição definidos na etapa de Investigação Confirmatória. Esse resumo pode ser feito por meio de tabela, cuja estrutura represente uma fonte de contaminação em cada linha e as seguintes informações nas colunas:

- ✓ a identificação da fonte de contaminação primária confirmada;
- ✓ a identificação da área fonte;
- ✓ as SQLs liberadas para os compartimentos do meio ambiente;
- ✓ a indicação do compartimento do meio ambiente em que se confirmou a contaminação;
- ✓ a indicação dos compartimentos do meio ambiente a serem amostrados na etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ a indicação do nível de prioridade de cada fonte de contaminação para o plano da etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ os bens a proteger atingidos ou que podem ser atingidos;
- ✓ as ações preventivas e corretivas indicadas.

Em outra tabela, com estrutura semelhante, são resumidas as seguintes informações sobre as áreas da vizinhança que contaminam ou podem contaminar a área em avaliação:

- ✓ a identificação da área vizinha que influencia a área em avaliação;
- ✓ a classificação da área vizinha em relação ao GAC;
- ✓ as SQLs da área vizinha liberadas para a área em avaliação;
- ✓ a indicação dos compartimentos do meio ambiente a serem amostrados na etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ a indicação do nível de prioridade de cada área vizinha para o plano da etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ os bens a proteger atingidos ou que podem ser atingidos.

O responsável técnico pode propor complementações às tabelas resumo, incluindo colunas adicionais, que julgar necessárias para compilação das informações.

2.4. Texto explicativo

O texto explicativo do MCA 2 traz sentido e conecta as informações representadas nas plantas georreferenciadas, no fluxograma e na tabela resumo, por meio da descrição

resumida dos caminhos de exposição a partir de cada fonte de contaminação primária, cuja existência foi confirmada após a etapa de Investigação Confirmatória, seja na área em avaliação ou vizinhança.

3. Classificação 3

Os resultados da etapa de Investigação Confirmatória são utilizados para embasar a classificação da área em avaliação (Classificação 3) como ACI, ou outra classificação possível, além de orientar a continuidade do GAC, que pode prosseguir para a etapa seguinte, de Investigação Detalhada, ou mesmo ser encerrado.

A totalidade da área em avaliação será classificada como ACI quando os resultados obtidos em pelo menos um dos compartimentos do meio ambiente, relativos a qualquer fonte de contaminação primária, forem suficientes para confirmar a contaminação nesse compartimento, ou seja, quando houver a detecção de concentração de pelo menos uma das SQIs analisadas acima do seu respectivo valor de intervenção (VI).

Outras situações ou condições adversas também podem ser utilizadas para cumprir o mesmo papel do valor de intervenção, por exemplo, a constatação da presença de fase livre, assim como a constatação da presença de resíduos perigosos depositados ou armazenados de forma inadequada e a identificação de situações que possam representar perigo ou risco agudo.

Portanto, a área em avaliação será classificada como ACI quando houver a constatação da presença de:

- I. SQI no solo, na água subterrânea, ou em outro compartimento do meio ambiente, com concentrações acima dos valores de intervenção (VI);
- II. produto ou substância em fase livre ou residual;
- III. substâncias, condições ou situações que possam representar perigo ou riscos agudos aos bens a proteger;
- IV. resíduos perigosos dispostos em desacordo com as normas vigentes;
- V. SQI nos gases e vapores do solo que superem os VI;

Quando os resultados obtidos em todos os compartimentos do meio ambiente, relativos a todas as fontes de contaminação potenciais identificadas, forem suficientes para confirmar que não há contaminação na área em avaliação – ou seja, quando não forem identificadas as situações citadas nos incisos I a V –, e não permanecer funcionando, nessa área, uma Atividade Potencialmente Geradora de Áreas Contaminadas, sua classificação como AS será removida e o GAC será encerrado. Nesse mesmo cenário, a área em avaliação será classificada como AP quando nela permanecer em funcionamento uma Atividade Potencialmente Geradora de Áreas Contaminadas.

Seção 6.4: Elaboração do Plano de Investigação Detalhada

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Abordagem “Triad”.....	2
3. Plano de Amostragem	4
3.1. Caracterização das fontes de contaminação primárias.....	5
3.1.1. Existência, localização, dimensões e materiais constituintes.....	5
3.1.2. SQI	6
3.1.4. Classificação como ativa ou inativa	7
3.2. Caracterização das plumas de contaminação e das fontes de contaminação secundárias.....	8
3.2.1. Volume de Concentração de Massa (centro de massa).....	9
3.2.3. Fase sorvida	11
3.2.4. Fase dissolvida	12
3.2.4. Fase vapor ou gasosa	13
3.2.5. Comportamento e dinâmica de propagação, capacidade de atenuação e possibilidade de atuar como fonte de contaminação secundária	13
3.3. Caracterização dos bens a proteger.....	14
3.4. Caracterização dos compartimentos do meio ambiente	15
3.5. Métodos de investigação.....	16
4. Elaboração do plano de infraestrutura e segurança e de controle de qualidade e cronograma	17
Referências	17

1. Introdução

O planejamento da etapa de Investigação Detalhada é similar ao planejamento da etapa de Investigação Confirmatória, sendo estabelecidas ações semelhantes, mas com objetivos diferentes. Enquanto, na etapa de Investigação Confirmatória, se busca identificar a presença de fontes de contaminação primárias e de contaminações nos compartimentos do meio ambiente, na Investigação Detalhada o objetivo principal é caracterizar as fontes de contaminação, as plumas de contaminação e os bens a proteger, assim como as características dos compartimentos do meio ambiente, permitindo determinar os caminhos de exposição potenciais ou reais a serem considerados nas etapas seguintes do Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC).

Na Elaboração do Plano de Investigação Detalhada, são levadas em consideração as informações do segundo modelo conceitual (MCA 2), as restrições técnicas e econômicas, os problemas ambientais que possam ser gerados pela sua execução e as futuras medidas de intervenção, que já podem ser vislumbradas após a determinação do comportamento das contaminações, e da caracterização dos riscos e danos aos bens a proteger.

Dessa forma, o nível de investigação a ser atingido na etapa de Investigação Detalhada precisa ser suficiente para entender o comportamento espacial e temporal das contaminações e embasar a execução das etapas de Avaliação de Risco e de Elaboração do Plano de Intervenção. Caso o resultado da Investigação Detalhada apresente algumas lacunas que não prejudiquem a continuidade nem o atingimento de tais fins, em um momento posterior, haverá a necessidade de se realizar investigações

adicionais ou complementares, preferencialmente durante as etapas subsequentes do GAC mencionadas.

Para a construção do Plano de Investigação Detalhada, recomenda-se adotar a abordagem “Triad”. Isso significa que o terceiro modelo conceitual da área (MCA 3) será continuamente atualizado durante a execução da etapa de Investigação Detalhada, conforme os resultados sejam obtidos e interpretados, permitindo a realização dos ajustes necessários ao que foi planejado inicialmente na etapa de Investigação Confirmatória. Esses ajustes são feitos até que o responsável técnico conclua que os objetivos da Investigação Detalhada foram atingidos, podendo, portanto, ser consolidado o MCA 3.

Destaca-se que a aplicabilidade e adoção da abordagem “Triad” para as investigações, em cada caso, é uma decisão do responsável técnico, com a concordância do responsável legal.

2. Abordagem “Triad”

No planejamento da Investigação Detalhada, é recomendável a aplicação da abordagem “Triad”, que é baseada em:

- ✓ desenvolvimento de planejamento sistemático;
- ✓ uso de estratégias dinâmicas de investigação;
- ✓ utilização de procedimentos de medição em tempo real.

Mais detalhes sobre essa abordagem podem ser obtidos em documentos publicados pela Agência Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA – Triad Resource Center, no seguinte link: <https://triadcentral.clu-in.org/index.cfm>).

A abordagem “Triad” requer planejamento contínuo e sistemático da investigação, o que pode provocar mudanças nas estratégias de investigação ao longo do trabalho de campo, a partir da análise de dados produzidos em tempo real, em alta resolução e interpretados rapidamente.

O uso dessa abordagem tem como justificativa a heterogeneidade espacial dos compartimentos do meio ambiente investigados, que representam a principal fonte de incerteza que afeta a tomada de decisão confiável. Assim, desde o início das investigações, a obtenção de dados em tempo real e em alta resolução permite um melhor entendimento da heterogeneidade e, conseqüentemente, a redução das incertezas, provocando o reajuste das próximas investigações. Esse processo iterativo prossegue até que os compartimentos do meio ambiente e a contaminação sejam caracterizados adequadamente, atingindo os objetivos da etapa de Investigação Detalhada.

Os dados obtidos em grande quantidade e com alta resolução espacial são gerados a partir de métodos analíticos quantitativos pouco precisos, semi quantitativos ou qualitativos, que servem, principalmente, ao propósito de guiar as investigações para locais de maior interesse, onde são combinados com métodos de maior precisão, exatidão e devidamente acreditados. Esses métodos mais robustos podem, assim, ser posicionados de maneira mais racionalizada, para que sirvam ao propósito de caracterizar precisamente a contaminação.

Pode-se considerar que a vantagem da abordagem “Triad” está na possibilidade de alteração rápida da estratégia de investigação, durante a mesma mobilização de campo, pois se baseia em dados gerados em tempo real, e tomada de decisão mais assertiva, por conta de utilizar uma maior quantidade de dados e em alta resolução.

Cabe destacar que o planejamento sistemático sempre foi utilizado na Investigação Detalhada. Entretanto, recentemente, o desenvolvimento e disponibilidade dos métodos de investigação em tempo real e em alta resolução propiciaram as condições necessárias para a utilização da abordagem “Triad”.

A diferença é que, de forma isolada, o emprego de técnicas tradicionais de investigação não permite, na maioria dos casos, uma tomada de decisão rápida e precisa, por conta da produção de poucos dados de baixa resolução, normalmente insuficientes para a caracterização adequada da contaminação e da heterogeneidade espacial dos compartimentos do meio ambiente.

O planejamento sistemático é um processo rigoroso de planejamento de projetos, cujas atividades propostas são atreladas a uma base cientificamente defensável. Como elementos principais, o planejamento sistemático inclui:

- ✓ Identificação das decisões a serem tomadas;
 - o identificar as metas e objetivos do projeto;
 - o definir as decisões a serem tomadas;
 - o revisar o MCA 2;
 - o identificar lacunas de dados no MCA 2 e restrições à coleta de dados;
 - o preparar um plano de trabalho dinâmico para implementar a investigação de campo.
- ✓ Desenvolvimento do MCA 3;
 - o estabelecer o tipo, a quantidade e a qualidade dos dados iniciais necessários na investigação de campo;
 - o avaliar e selecionar métodos de campo para a caracterização do local e para a coleta de dados;
 - o elaborar um programa de coleta e análise de dados para abordar como, quando e onde os dados serão coletados;
 - o desenvolver e revisar o MCA 3 conforme novos dados são obtidos de forma dinâmica, identificando as incertezas que ainda necessitam ser eliminadas;
 - o consolidar o MCA 3 quando atingidos os objetivos das investigações.
- ✓ Planos de apoio;
 - o Preparar planos de apoio para complementar o plano de trabalho dinâmico, incluindo:

- Plano de Amostragem e Análise;
 - Plano de Garantia de Qualidade;
 - Plano de Saúde e Segurança do Local;
 - Plano de Gerenciamento de Dados.
- o Descrever os métodos para análise, avaliação e interpretação de dados, que considere o uso pretendido dos dados levantados.

No planejamento sistemático, também são consideradas outras questões importantes inerentes ao caso específico, como a segurança dos trabalhadores e da vizinhança ou fatores econômicos, de forma equilibrada, sem prejudicar as decisões técnicas necessárias para atender aos objetivos da Investigação Detalhada.

Outras situações como a existência de obstáculos físicos, problemas relativos aos prazos a serem atingidos ou recursos econômicos insuficientes, também podem provocar ajustes no Plano de Amostragem da Investigação Detalhada, sendo necessário apontar as soluções encontradas a esses problemas, com as devidas justificativas.

Observa-se que o desenvolvimento de metas e objetivos não pode ser uma ação subestimada. Muitas vezes, durante o planejamento da Investigação Detalhada, atenção insuficiente é direcionada para estabelecer metas e objetivos claros, levando a investigações improdutivas, que não proporcionam a obtenção das informações necessárias. Com objetivos claramente definidos, os recursos disponíveis podem ser usados de forma mais eficiente e eficaz, e com os ajustes necessários. Exemplos de metas e objetivos específicos da Investigação Detalhada estão listados a seguir:

- ✓ caracterizar tridimensionalmente as fontes de contaminação primária;
- ✓ definir e caracterizar as fontes de contaminação secundárias que contribuem para as plumas de contaminação em fase dissolvida e vapores;
- ✓ caracterizar a contaminação em fases: livre, retida, dissolvida e gasosa/vapores;
- ✓ caracterizar os compartimentos do meio ambiente e desenvolver um modelo conceitual da geologia e hidrogeologia que permita entender a distribuição espacial e dinâmica das plumas de contaminação detectadas.

3. Plano de Amostragem

O Plano de Amostragem da Investigação Detalhada é constituído pelas seguintes partes:

- ✓ caracterização das fontes de contaminação primárias;
- ✓ caracterização das plumas de contaminação e das fontes de contaminação secundárias;
- ✓ caracterização dos bens a proteger;
- ✓ caracterização dos compartimentos do meio ambiente.

Para todas as partes citadas, o plano de amostragem da Investigação Detalhada traz: especificações das dimensões estimadas das fontes de contaminação, plumas de contaminação e características dos bens a proteger; os designs amostrais; as técnicas de amostragem e análises; o número de amostras e a localização em planta e em seção dos pontos de amostragem; além do processo decisório do planejamento sistemático para avançar ou encerrar as investigações, e das soluções em relação às dificuldades que podem ser encontradas para o posicionamento dos pontos de amostragem.

3.1. Caracterização das fontes de contaminação primárias

Para caracterizar as fontes de contaminação primárias (internas ou externas), é necessário planejar investigações com o objetivo de obter as seguintes informações:

- ✓ existência;
- ✓ localização;
- ✓ dimensões;
- ✓ materiais constituintes;
- ✓ SQIs envolvidas;
- ✓ potência;
- ✓ classificação como ativa ou inativa.

Todas as fontes de contaminação primárias consideradas prioritárias no MCA 2, ou durante a construção do MCA 3, precisam ser adequadamente caracterizadas na Investigação Detalhada.

Quando houver a possibilidade de a área em avaliação ser atingida por contaminação originada em áreas vizinhas, proveniente de fonte de contaminação primária externa, é necessário planejar investigações para sua caracterização. As informações sobre essas fontes poderão ser estimadas com base nas características das plumas de contaminação identificadas a montante, que atingiram ou que possam atingir a área em avaliação. Outra possibilidade consiste em investigar, se possível, a própria área vizinha, com o objetivo de atualizar ou complementar o MCA 3 e refinar paulatinamente o Plano de Amostragem da Investigação Detalhada.

É importante que o responsável legal comunique o Órgão Ambiental Gerenciador sobre as evidências levantadas de contaminação com origem em fonte de contaminação primária em áreas externas, com o objetivo de orientar o gerenciamento do caso.

3.1.1. Existência, localização, dimensões e materiais constituintes

O passo inicial para investigar as fontes de contaminação primárias requer uma estimativa da sua localização e dimensões (volume), assim como dos tipos de materiais constituintes (por exemplo, resíduos industriais, resíduos da construção civil ou outros).

As investigações que buscam determinar a existência e localização de uma fonte de contaminação primária, como, por exemplo, uma área de deposição de resíduos, são planejadas ao redor dos locais onde foram identificados indícios da presença de

resíduos na etapa de Avaliação Preliminar, ao redor das anomalias identificadas pela aplicação de métodos geofísicos ou no entorno dos pontos de amostragem onde esses resíduos foram detectados na etapa de Investigação Confirmatória, ou mesmo durante a própria execução da Investigação Detalhada.

Para esse trabalho, os pontos de amostragem podem ser posicionados, a partir de julgamento profissional, nos sentidos horizontal e vertical, utilizando um design amostral direcionado, com o objetivo de se detectar visualmente a presença de resíduos em testemunhos de sondagens. Quando o objetivo for mapear a área de deposição de resíduos, sem informações prévias que indiquem possíveis locais de disposição, o design amostral probabilístico, utilizando uma malha regular de amostragem, se mostra mais aplicável.

Quando, no exemplo citado, já estiver prevista a avaliação da viabilidade da técnica de remediação por remoção e destinação final dos resíduos, pode ser necessária a definição mais precisa dos limites horizontais e verticais da fonte de contaminação primária, bem como da concentração média das SQIs em todo o seu volume. Isso implicaria na execução de um número maior de pontos de amostragem e análises, sendo a escolha de um design amostral probabilístico mais adequada. Esse exemplo evidencia como as intervenções futuras, quando previstas antecipadamente na etapa de Investigação Detalhada, podem influenciar no plano de amostragem dessa etapa.

Outro exemplo são as fontes primárias relacionadas a utilidades subterrâneas, como tanques, caixas de passagem e tubulações de efluentes. A caracterização dessas fontes, muitas vezes negligenciada, pode ser a principal ação no sentido de obter subsídios para o planejamento das futuras medidas de intervenção.

Inicialmente, esse trabalho pode ser feito por meio da aplicação de métodos indiretos de investigação, ou pela correlação com resultados analíticos indicativos da presença de contaminação nos compartimentos do meio ambiente, visando identificar os locais ou partes da fonte de contaminação primária onde ocorreu o vazamento de substâncias químicas. Os métodos de investigação podem incluir, entre outros, a investigação passiva de vapores do solo, a investigação ativa ou passiva de vapores no interior de tubulações desativadas, a avaliação do pH do solo e a medição de VOC com PID em solo ou diretamente nas utilidades.

Técnicas adicionais que podem ser empregadas para investigar utilidades subterrâneas consistem em filmagem de tubulações e em escavação ou abertura de valas que exponham as tubulações, tanques ou caixas. Em determinadas situações, a reabertura de antigas valas, canaletas ou tubulações se mostra um trabalho relevante para detectar a presença de lodos ou mesmo de produto puro (NAPL) armazenado em seu interior. Muitas vezes, esse tipo de fonte de contaminação primária pode ser caracterizada – em grande parte – visualmente e complementado por meio da coleta de amostras direcionadas.

3.1.2. SQI

Quando não há informações sobre a composição dos materiais constituintes da fonte de contaminação primária no MCA 2, pode ser necessária a realização de coleta de amostras e análises químicas desses materiais para a identificação das SQIs. Utilizando-se de um design amostral probabilístico e de um amplo espectro de

parâmetros, as características dos resíduos ou solos contaminados depositados em um aterro de resíduos clandestino e a sua composição química podem ser descritas.

Se houver fonte de contaminação primária externa, localizada em área na vizinhança, fora dos limites da área em avaliação, a indicação das SQIs poderá ter como base as informações sobre as plumas de contaminação mapeadas ou investigadas a montante.

Em casos em que houver permissão de acesso, poderão ser planejadas investigações junto à própria fonte de contaminação primária externa para a identificação das SQIs inerentes e, se for de interesse, o mapeamento das plumas de contaminação.

3.1.3. Potência

A potência da fonte de contaminação primária é a capacidade que ela possui de provocar a contaminação dos compartimentos do meio ambiente, se propagar por eles e atingir os bens a proteger da área em avaliação ou em sua vizinhança.

Em termos de classificação, a potência pode ser baixa, média ou alta, em função da quantidade de massa liberada e distribuída nos compartimentos do meio ambiente. Por ser um parâmetro relacionado ao transporte e distribuição de substâncias, depende das características das SQIs e dos compartimentos do meio ambiente.

Como regra, as fontes de contaminação com potência baixa são aquelas em que as SQIs, mesmo após alguns anos da sua liberação nos compartimentos do meio ambiente, tendem a permanecer próximas da fonte de contaminação primária, se afastando apenas alguns metros. Em grande parte, se concentram em fase residual ou adsorvida.

As fontes de contaminação com potência média possuem SQIs que tendem a se afastar da fonte algumas dezenas de metros, predominantemente em fase dissolvida, alguns anos depois da ocorrência do vazamento. Podem atingir bens a proteger localizados dentro e fora dos limites da área em avaliação, com tendência de estabilização ou encurtamento das plumas de contaminação a médio prazo (cinco anos).

As fontes de contaminação com potência alta possuem SQIs com tendência de se afastar por dezenas de metros ou mais de cem metros da fonte de contaminação, em fase dissolvida, ou mesmo em fase livre e em fase vapor, após alguns anos da ocorrência do vazamento. Podem atingir bens a proteger localizados dentro e fora da área em avaliação, ou em grandes profundidades (superiores a 100 metros, em fase dissolvida ou livre), com tendência de expansão das plumas de contaminação a médio prazo (cinco anos).

A potência da fonte de contaminação primária pode ser estimada com base em resultados de monitoramento das plumas de contaminação geradas a partir dessa fonte e de modelagem matemática.

3.1.4. Classificação como ativa ou inativa

Quando a fonte de contaminação primária continua liberando substâncias para os compartimentos do meio ambiente, ela é classificada como ativa. Isso pode ser

observado diretamente, se houver continuidade do vazamento, ou indiretamente, se as plumas de contaminação geradas estão em modo estacionário ou se ampliando.

3.2. Caracterização das plumas de contaminação e das fontes de contaminação secundárias

Considera-se pluma de contaminação o espaço nos compartimentos do meio ambiente onde existe massa ou concentração da SQL capaz de provocar riscos acima dos níveis aceitáveis aos bens a proteger.

Por sua vez, uma fonte de contaminação secundária é um compartimento do meio ambiente contaminado por substância liberada de uma fonte de contaminação primária (parte ou totalidade de uma pluma de contaminação), cujo acúmulo da substância é tal que atua como fonte de contaminação para outro compartimento do meio ambiente, tornando-o também contaminado.

Os conceitos de pluma de contaminação e fonte de contaminação secundária se sobrepõem, muitas vezes, por representarem diferentes consequências relativas à ocorrência de alterações significativas da qualidade dos compartimentos do meio ambiente. Por exemplo, uma pluma de contaminação em fase livre pode atuar como fonte de contaminação secundária ao transferir SQLs para as águas subterrâneas, para o ar da zona não saturada ou mesmo para o ar ambiente (ambientes abertos ou fechados).

Uma pluma de contaminação em fase residual pode atuar como fonte de contaminação secundária ao transferir SQLs para o ar da zona não saturada ou para o ar ambiente (ambientes abertos ou fechados).

A pluma de contaminação em fase dissolvida pode atuar como fonte de contaminação secundária ao transferir SQLs para o ar da zona não saturada ou para o ar ambiente (ambientes fechados ou abertos).

A pluma de contaminação em fase vapor no ar da zona não saturada, pode atuar como fonte de contaminação secundária ao transferir SQLs para o ar ambiente (ambientes fechados ou abertos).

O planejamento das investigações para a caracterização das plumas de contaminação (em fase livre, residual, adsorvida, dissolvida e vapor), assim como das fontes de contaminação secundárias, tem como referência os volumes estimados de cada uma delas, especificados no MCA 2.

Os volumes estimados das plumas de contaminação são porções tridimensionais dos compartimentos do meio ambiente, onde se espera encontrar alteração de qualidade relacionada a um risco potencial para os bens a proteger.

O posicionamento das investigações e de coleta de amostras nesses volumes não segue o mesmo padrão para todos os tipos de pluma de contaminação, pois irá depender de fatores como as características das fontes de contaminação primárias, as características físico-químicas das SQLs envolvidas e seu modo de propagação nos compartimentos do meio ambiente. Assim, o design amostral final, seja ele direcionado ou probabilístico, acaba por ser específico para cada tipo de pluma de contaminação a

ser caracterizada, e determinado a partir de julgamento do responsável técnico durante o planejamento sistemático da Investigação Detalhada.

Ao final dos trabalhos da caracterização das plumas de contaminação, busca-se delimitar, tridimensionalmente, o seu volume e massa e, quando necessário, entender sua dinâmica de propagação, além de avaliar a possibilidade de estarem funcionando como fontes de contaminação secundárias.

A seguir, são apresentadas diretrizes para caracterização do centro de massa da contaminação, plumas de contaminação em fase livre, fase retida, fase dissolvida e fase vapor e das fontes de contaminação secundárias.

3.2.1. Volume de Concentração de Massa (centro de massa)

O centro de massa da contaminação, independentemente das SQLs, envolve o volume dos compartimentos do meio ambiente onde se concentra ao menos 80% da massa das SQLs, presentes como fase livre, residual, adsorvida, vapor e dissolvida. Isso significa que ele provavelmente supera o volume da fonte de contaminação secundária (comumente referida como “Zona Fonte” na literatura). Para substâncias líquidas e moderadamente solúveis, o centro de massa da contaminação é chamado de “Zona Fonte de NAPL”, que pode ser *Light, Non Aqueous Phase Liquids* (LNAPL), ou *Dense, Non Aqueous Phase Liquids* (DNAPL).

A natureza do ambiente hidrogeológico, a composição e forma de liberação das SQLs a partir da fonte de contaminação, assim como os processos subsequentes de transporte e transformação, se combinam para determinar como as SQLs são distribuídas dentro do centro de massa.

É parte da Investigação Detalhada a caracterização do volume do centro de massa, de maneira que seja delimitado em três dimensões, em todas as direções a partir da fonte de contaminação primária.

Compreender as características do centro de massa é fundamental para conduzir, efetivamente, tanto a caracterização da área em avaliação, quanto a implementação de medidas de intervenção, como a implementação de técnicas de remediação.

3.2.2 Fase livre e residual

De acordo com sua forma de ocorrência, o NAPL pode estar presente como fase livre ou fase residual. A diferença entre as duas fases é a mobilidade.

A fase livre é móvel, podendo migrar para dentro de poços de monitoramento. Isso ocorre quando o volume do NAPL, em relação ao volume de poros (saturação de NAPL), é suficiente para existir continuidade do produto nos poros.

A fase residual é imóvel, não apresenta continuidade, estando retida por forças capilares. Como comentado anteriormente, tanto o volume de NAPL em fase livre quanto em fase residual estão inseridos dentro do que denominamos centro de massa – volume do compartimento do meio ambiente contaminado, de grande importância, a ser identificado e mapeado durante a Investigação Detalhada.

O mapeamento de uma pluma de contaminação em fase livre de líquidos imiscíveis menos densos que a água (LNAPL), tem a mobilidade como parâmetro para diferenciá-la da fase residual, sendo que ambas fazem parte do mapeamento do centro de massa, cujo volume tem mais relevância prática para o planejamento das medidas intervenção.

O mapeamento do LNAPL em fase livre é importante quando existem ações emergenciais em andamento, ou quando se identificou a hipótese de ela migrar em direção aos bens a proteger, com risco de provocar uma exposição aguda ou gerar um ambiente com risco de explosão. Descartada a possibilidade de risco emergencial, o mapeamento do LNAPL em fase livre é necessário para a quantificação dos riscos potenciais e para o dimensionamento de sistemas de remediação.

A fase livre de LNAPL é caracterizada pela possibilidade de ser extraída hidraulicamente e, para tanto, é necessário conhecer a área que ocupa, assim como a distribuição da sua espessura.

Um ponto limite de uma pluma de contaminação em fase livre de LNAPL pode ser estimado na metade da distância entre um poço de monitoramento onde foi identificada a presença de LNAPL e outro onde a sua presença não foi identificada. Quanto menor o espaço entre os poços de monitoramento, maior a exatidão da localização do ponto limite.

Dessa forma, os pontos de amostragem para a delimitação da pluma de contaminação em fase livre de LNAPL precisam estar posicionados em todas as direções do ponto onde inicialmente tenha sido detectada a sua presença, de maneira a mapear adequadamente seus limites no centro de massa da contaminação e, posteriormente, a jusante dele, caso necessário, considerando o sentido de fluxo das águas subterrâneas.

Nesse contexto, são construídos poços de monitoramento com características específicas para a detecção de fase livre de LNAPL (por exemplo, o poço de monitoramento não pode estar afogado), e sua constatação e determinação de espessura são realizadas por meio de equipamento apropriado, no caso, um medidor de interface água/LNAPL.

Os poços de monitoramento instalados com a finalidade de mapear a fase livre de LNAPL não são adequados para o monitoramento das plumas em fase dissolvida, pois não possuem um suporte de amostragem e perfil construtivo apropriado para uma avaliação precisa da distribuição vertical da contaminação em fase dissolvida.

Durante a interpretação e mapeamento da fase livre ou residual de LNAPL, é necessário considerar a variação do nível d'água, tendo em vista que um rebaixamento ou elevação desse nível pode alterar significativamente as condições de ocorrência e mobilidade do NAPL.

Em relação à pluma de contaminação em fase livre de líquidos imiscíveis mais densos que a água (DNAPL), o comportamento é semelhante, com o grande diferencial da densidade.

O principal fator que controlará a migração de DNAPL é a presença de camadas de materiais de menor permeabilidade na subsuperfície, que podem interromper ou desviar o fluxo do DNAPL, na zona saturada ou não saturada.

A interrupção do fluxo de DNAPL pode causar seu acúmulo, por conta de dois mecanismos. O primeiro é que o DNAPL precisa ter pressão suficiente para superar as forças capilares no material de menor permeabilidade (mecanismo de barreira capilar). O segundo é a maior resistência ao fluxo na camada menos permeável.

Em meios fraturados, para que o DNAPL consiga penetrar em uma fratura, é necessário que haja pressão suficiente para vencer a pressão capilar na fratura. Essa pressão depende das propriedades do DNAPL (como densidade e tensão interfacial) e das características da fratura (como o tamanho da abertura).

Considerando os processos descritos, inerentes à dinâmica de movimentação de DNAPL, verifica-se que o mapeamento da fase livre dessas substâncias exige uma avaliação da sua mobilidade, para que seja diferenciada da fase residual.

Ressalta-se que a fase residual de DNAPL também pode estar presente na zona não saturada.

Uma vez que o centro de massa tenha sido identificado e mapeado de forma adequada, o mapeamento da pluma de DNAPL em fase livre pode ser direcionado por meio da interpretação de análises químicas de solo e águas subterrâneas, considerando as concentrações das SQLs observadas. Com base nessas informações, podem ser instalados poços de monitoramento com seção filtrante posicionada no topo de camadas litológicas com menor permeabilidade, que apresentam maior probabilidade de acumular DNAPL em fase livre, ou seja, móvel e, portanto, passível de extração por técnicas de bombeamento e tratamento.

Recomenda-se que esses poços possuam câmara de sedimentação na sua base, de pequena extensão, mas que permita a captura e acúmulo de DNAPL no seu interior. Além disso, a instalação deve ser realizada com métodos que evitem a transferência do contaminante para maiores profundidades.

O mapeamento horizontal dessa pluma em fase livre de DNAPL segue, em linhas gerais, as mesmas recomendações efetuadas para os LNAPL.

Outra forma de constatar a presença de NAPL é aplicar um corante hidrofóbico (“Sudan IV, Oil Red O”), que tem como propriedade alterar a cor do NAPL, em testemunhos de sondagem. Entretanto, a utilização dessa substância não permite diferenciar fase livre de fase residual.

No caso de substâncias orgânicas imiscíveis em fase residual – como óleos lubrificantes usados –, os limites da pluma de contaminação em fase residual podem ser definidos utilizando-se a mesma regra aplicada para a fase livre: a metade da distância entre um ponto com a presença do material ou produto em testemunhos de sondagens e outro onde esse não foi constatado.

3.2.3. Fase sorvida

A fase sorvida é a massa de contaminante retida nas partículas sólidas, seja por adsorção, absorção, troca catiônica ou sorção química (Fetter, 1999).

A caracterização de uma pluma de contaminação em fase sorvida consiste na definição do seu volume e a distribuição espacial das concentrações das SQIs dentro de seus limites.

Um ponto limite de uma pluma de contaminação em fase sorvida é definido no local onde a concentração da SQI na amostra coletada do compartimento do meio ambiente (solo, sedimento, rocha ou material antrópico) é igual ao Valor de Intervenção (VI), determinado na etapa de Investigação Confirmatória. A localização desse ponto limite é calculada interpolando-se o valor de concentração da SQI obtida em um ponto de amostragem, cujo resultado demonstrou concentração acima do VI e outro ponto, em que foi observada concentração abaixo do VI, considerando-se uma distribuição tridimensional.

Para a determinação da distribuição espacial da SQI dentro dos limites horizontal e vertical da pluma de contaminação em fase sorvida, pode-se construir linhas de isoconcentração, a partir da interpolação dos valores de concentração obtidos em pontos de amostragem localizados dentro e fora dos limites da pluma de contaminação em fase retida.

Dessa forma, os pontos de amostragem para a delimitação da pluma de contaminação em fase sorvida precisam estar posicionados no entorno da fonte de contaminação primária, caso ela tenha sido identificada, ou no centro de massa estimado na Investigação Confirmatória, bem como em outros identificados no desenvolvimento da Investigação Detalhada, que estejam mais afastados da fonte de contaminação primária ou da zona fonte.

Para o mapeamento da fase sorvida, é recomendável a aplicação de uma malha de amostragem regular, com espaçamento adequado ao volume estimado nas hipóteses estabelecidas inicialmente.

3.2.4. Fase dissolvida

A caracterização de uma pluma de contaminação em fase dissolvida compreende a definição de seu volume e a distribuição espacial das concentrações das SQIs dentro de seus limites.

Um ponto limite de uma pluma de contaminação em fase dissolvida é definido no local onde a concentração da SQI na água subterrânea é igual ao VI. A localização desse ponto limite é calculada interpolando-se o valor de concentração da SQI obtida em um ponto de amostragem, cujo resultado mostrou concentração acima do VI, e outro ponto, onde foi observada concentração abaixo do VI.

No processo de caracterização da pluma dissolvida, é importante levar em consideração as características de fluxo e transporte (geologia, hidrogeologia e características das SQIs), assim como as decisões que serão tomadas relacionadas aos riscos ou danos para os bens a proteger ou receptores identificados, além da definição dos pontos de conformidade.

Para a determinação da distribuição espacial das SQIs dentro dos limites horizontal e vertical da pluma de contaminação em fase dissolvida, podem ser construídas linhas de isoconcentração, a partir da interpolação dos valores de concentração obtidos em

pontos de amostragem (poços de monitoramento ou outra ferramenta de alta resolução) localizados dentro e fora dos limites da pluma de contaminação em fase dissolvida.

Em alguns casos – quando considerados suficientes para embasar a realização das etapas seguintes de Avaliação de Risco e Elaboração do Plano de Intervenção –, podem ser utilizados como limites horizontais da pluma de contaminação em fase dissolvida: o divisor de águas subterrâneas local ou regional (área de recarga) localizado a montante, ou um corpo d'água superficial (área de descarga) localizado a jusante.

Também, em alguns casos, podem ser utilizados como limites verticais da pluma de contaminação em fase dissolvida, camadas com baixa permeabilidade identificadas, ou determinadas profundidades estimadas considerando o fluxo horizontal ou vertical (descendente ou ascendente).

3.2.4. Fase vapor ou gasosa

Da mesma maneira como é realizada para as fases sorvida e dissolvida, a caracterização de uma pluma de contaminação em fase vapor, na zona não saturada, compreende a definição do seu volume e a distribuição espacial das concentrações das SQIs dentro de seus limites.

O ponto limite de uma pluma de contaminação em fase vapor é definido no local onde a concentração da SQI é igual ao VI. A localização desse ponto limite é calculada interpolando-se o valor de concentração da SQI obtida em um ponto de amostragem cujo resultado mostrou concentração acima do VI, e outro ponto onde foi observada concentração abaixo do VI.

Na ausência de VIs definidos pelo Órgão Ambiental Gerenciador, o responsável técnico poderá derivá-los a partir da Planilha de Avaliação de Risco da CETESB ou do *VISL Calculator* da USEPA, sendo o valor definido submetido à avaliação do Órgão Ambiental Gerenciador.

No caso da pluma de metano, seus limites horizontais ou verticais podem ser definidos utilizando-se os limites inferiores de inflamabilidade.

Para a determinação da distribuição espacial da SQI dentro dos limites horizontal e vertical da pluma de contaminação em fase vapor, podem ser construídas linhas de isoconcentração, a partir da interpolação dos valores de concentração obtidos em pontos de amostragem (poços de monitoramento de vapor, preferencialmente multinível) localizados dentro e fora dos limites da pluma de contaminação em fase vapor.

Em alguns casos, podem ser utilizados como limites horizontais e verticais da pluma de contaminação em fase vapor a presença de materiais impermeáveis, como paredes, rochas impermeáveis e o nível d'água subterrânea.

3.2.5. Comportamento e dinâmica de propagação, capacidade de atenuação e possibilidade de atuar como fonte de contaminação secundária

Além da caracterização das plumas de contaminação, durante a etapa de Investigação Detalhada é necessária a determinação da sua dinâmica de propagação ou do seu

comportamento, incluindo a avaliação da possibilidade de essas estarem atuando como fontes de contaminação secundária.

A dinâmica das plumas em fase livre pode ser estimada por meio de campanhas de monitoramento, mais aplicadas às plumas de LNAPL, com frequência definida em função das características dos materiais constituintes e dos compartimentos do meio ambiente onde estão se propagando ou podem se propagar.

No caso da contaminação em fase dissolvida, é importante determinar a possibilidade de se atingir bens a proteger a jusante, como um corpo d'água superficial ou poços de abastecimento de água. Nesse trabalho, a caracterização do centro de massa da pluma é importante, pois ajuda na determinação de sua potência, a partir da qual se pode derivar a dinâmica de propagação por meio de campanhas de monitoramento – cuja frequência leva em consideração as características das SQLs e hidrogeológicas –, ou por meio de modelagem matemática.

Para a pluma de contaminação em fase vapor, sua dinâmica pode ser estimada por meio de campanhas de monitoramento, que algumas vezes envolvem também a determinação de pressões do ar em diferentes ambientes, visando, principalmente, obter informações sobre a possibilidade de intrusão de vapores em ambientes fechados.

Além da determinação da dinâmica das plumas de fase livre, dissolvida e vapor por meio da interpretação de resultados de diferentes monitoramentos, projeções futuras, ou mesmo simulações de diferentes condições do modelo conceitual da contaminação, podem ser feitas utilizando-se de modelagem matemática. Nesses casos, os monitoramentos existentes são importantes para validar e calibrar o modelo matemático.

Para avaliar se as plumas de contaminação estão atuando como fontes de contaminação secundária, é necessário investigar os mecanismos de transferência das SQLs entre os compartimentos do meio ambiente, para avaliar, por exemplo, se há possibilidade de uma pluma de contaminação dissolvida atingir um corpo d'água superficial, ou se há possibilidade de intrusão de vapores em ambientes fechados a partir de uma pluma de contaminação em fase retida na zona não saturada.

A investigação detalhada pode prever uma avaliação de processos bio-geoquímicos atuantes sobre as plumas de contaminação, que indicam a capacidade que o meio tem de atenuar a massa e migração das SQLs. Essa abordagem é utilizada quando se vislumbra a adoção de técnicas de remediação por atenuação natural ou biorremediação.

3.3. Caracterização dos bens a proteger

A caracterização de um bem a proteger, na etapa de Investigação Detalhada, inicia-se pela definição do seu tipo, por exemplo, moradores de residências, trabalhadores de obras, trabalhadores comerciais, poço de abastecimento de água ou parte de um aquífero utilizado para abastecimento de água.

Em seguida, são definidas as vias de exposição potenciais ou reais relativas a cada bem a proteger, e determinadas as concentrações das SQL nessas vias de exposição, em contato com o bem a proteger, visando subsidiar a elaboração da etapa de Avaliação de Risco (tratada no **Capítulo 8**).

No caso do trabalhador de obras (bem a proteger: saúde humana), por exemplo, podem ocorrer vias de exposição por inalação de vapores e contato dérmico com o solo contaminado, ou inalação de vapores e contato dérmico com a água subterrânea contaminada, por conta da execução de obras que envolvem escavações.

Dessa forma, para o receptor trabalhador de obras, podem ser coletadas amostras de solo (fase retida), ar ambiente, ar do solo ou águas subterrâneas (fase dissolvida), para a determinação das concentrações das SQIs nos pontos onde esse receptor tem contato com os compartimentos do meio ambiente citados.

No caso do poço de abastecimento de água para consumo humano, inicialmente se avalia a possibilidade de a pluma de contaminação atingi-lo, considerando o sentido de fluxo das águas subterrâneas e os padrões de potabilidade.

Considerado possível o atingimento do poço, com risco de ocorrer alteração da qualidade da água acima dos padrões definidos, a coleta de amostras no referido poço faz parte da caracterização desse bem a proteger.

No caso de um aquífero utilizado para abastecimento de água para consumo humano, busca-se avaliar se a pluma de contaminação dissolvida pode atingir e se propagar nesse aquífero, considerando o sentido de fluxo das águas subterrâneas e os padrões de potabilidade, bem como se as águas do aquífero citado são utilizadas para consumo humano.

Conforme demonstrado nos exemplos, os pontos de amostragem para a caracterização dos bens a proteger estão posicionados imediatamente a montante desses e a jusante da fonte de contaminação primária ou secundária, considerando o sentido de fluxo das águas subterrâneas, podendo ser aplicado um design amostral direcionado.

3.4. Caracterização dos compartimentos do meio ambiente

De maneira integrada com as fontes de contaminação, plumas de contaminação e bens a proteger, as características dos compartimentos do meio ambiente influenciam na definição da distribuição espacial dos pontos de amostragem.

Nesse sentido, em continuidade às investigações realizadas na etapa de Investigação Confirmatória, as seguintes informações são buscadas no planejamento das investigações para caracterização dos compartimentos do meio ambiente:

- ✓ os tipos e distribuição espacial dos materiais presentes nas zonas não saturada e saturada, como, por exemplo, solo, sedimento, rocha (ígneia, sedimentar ou metamórfica) ou material antrópico (aterro ou partes das edificações como piso, paredes e fundações);
- ✓ as camadas dos materiais identificados nas zonas não saturada e saturada, suas respectivas espessuras e capacidades de transmitir ou reter contaminação, em termos de textura, granulometria e permeabilidade, considerando diferentes fluidos (água, ar do solo, outros líquidos/produtos);

- ✓ os tipos de porosidade existentes nos materiais das zonas não saturada e saturada, ou seja, porosidade granular total e efetiva, porosidade de fraturas ou porosidade mista;
- ✓ as características do fluxo das águas subterrâneas na zona saturada (ascendente ou descendente em áreas de recarga/descarga, fluxo horizontal em regiões planas), a posição do nível d'água e estimativa do sentido de fluxo, além das possíveis relações com os corpos d'água superficiais;
- ✓ a estimativa da existência de isotropia/anisotropia e homogeneidade/heterogeneidade;
- ✓ as características do fluxo das águas e ar na zona não saturada;
- ✓ estimativa da resistência à perfuração dos materiais presentes nas zonas não saturada e saturada e posição dos materiais mais resistentes ou que apresentem problemas geotécnicos potenciais, que precisarão ser considerados, por exemplo, para verificar a viabilidade de aplicação de determinadas técnicas de remediação;
- ✓ outras informações em função das características específicas do meio físico e das possíveis intervenções a serem realizadas.

No plano de amostragem da Investigação Detalhada, os pontos de amostragem utilizados para a caracterização das fontes de contaminação, das plumas de contaminação e dos bens a proteger, também podem ser utilizados para caracterizar os compartimentos do meio ambiente, ou podem ser propostos pontos de amostragem dedicados à obtenção dessas informações.

De forma a aproveitar as mobilizações de campo da etapa de Investigação Detalhada, podem ser planejadas amostragens e análises para atender aos objetivos das etapas seguintes de Avaliação de Risco e Elaboração do Plano de Intervenção. Esse planejamento pode ocorrer quando existirem fortes evidências da necessidade de continuidade das etapas do GAC.

Portanto, nesses casos, podem ser previstos pontos de amostragem para complementar a caracterização das fontes de contaminação primárias e secundárias, das plumas de contaminação (em fase livre, retida, dissolvida ou em vapor) e dos bens a proteger, assim como a caracterização dos compartimentos do meio ambiente, no nível necessário para o planejamento de medidas de intervenção já vislumbradas, por exemplo.

3.5. Métodos de investigação

No **Capítulo 14** são descritos os métodos de investigação utilizados durante o desenvolvimento das etapas do GAC.

A escolha dos métodos de investigação adequados depende das características do meio físico, das fontes e plumas de contaminação e dos bens a proteger, assim como das incertezas levantadas sobre esses aspectos.

Por exemplo, informações sobre a resistência dos materiais à perfuração, a profundidade a ser atingida pela investigação, a profundidade do nível d'água

subterrânea e as características das SQIs, são aspectos que podem influenciar na escolha dos métodos de investigação.

A escolha dos métodos analíticos também depende de diversos fatores, especialmente das características das SQIs e dos compartimentos do meio ambiente a serem amostrados, além de limites de quantificação inferiores aos respectivos VIs.

A seleção dos métodos de investigação também pode depender do cronograma da etapa de Investigação Detalhada e dos custos envolvidos.

4. Elaboração do plano de infraestrutura e segurança e de controle de qualidade e cronograma

O controle de qualidade, o plano de infraestrutura e segurança e o cronograma da etapa de Investigação Detalhada seguem as mesmas diretrizes da etapa de Investigação Confirmatória, descritas nos itens 3.4, 4 e 5 da **Seção 5.5**.

Referências

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. 2nd ed. Oak Ridge, TN: U.S. Department of Energy, 1999.

USEPA. Triad Resource Center. Triad: a smarter solution to site cleanup. Washington, DC: EPA. Disponível em: <https://triadcentral.clu-in.org/over/index.cfm>. Acesso em: maio 2025.

Seção 6.5: Relatório de Investigação Confirmatória

Sumário

1. Introdução	1
2. Relatório de Investigação Confirmatória	1
2.1. Resultados e interpretação das investigações para direcionamento das amostragens	1
2.2. Resultados e interpretação da Execução do Plano de Investigação Confirmatória	2
2.3. Descrição do segundo modelo conceitual (MCA 2) e Classificação 3	3
2.4. Cronograma executado da Investigação Confirmatória	4
2.5. Plano da etapa de Investigação Detalhada	4
2.6. Texto conclusivo	4

1. Introdução

Após a finalização das subetapas de Execução do Plano de Investigação Confirmatória, Elaboração do Segundo Modelo Conceitual (MCA 2) e Classificação 3, e Elaboração do Plano de Investigação Detalhada, o responsável técnico tem as condições para elaborar o Relatório de Investigação Confirmatória, contendo as informações levantadas e sua interpretação, finalizando, dessa forma, a etapa de Investigação Confirmatória.

Para a elaboração do Relatório de Investigação Confirmatória, o responsável legal deverá levar em consideração as diretrizes gerais estabelecidas no item 7 da **Seção 1.2** deste manual.

2. Relatório de Investigação Confirmatória

Em sua estrutura, o Relatório de Investigação Confirmatória contém os seguintes itens:

- ✓ resultados e interpretação das investigações para direcionamento das amostragens (se realizadas);
- ✓ resultados e interpretação da execução do plano da etapa de Investigação Confirmatória;
- ✓ MCA 2 e a proposta de Classificação 3;
- ✓ cronograma executado da Investigação Confirmatória;
- ✓ plano da etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ apresentação do texto conclusivo (conclusões e recomendações).

2.1. Resultados e interpretação das investigações para direcionamento das amostragens

Quando forem utilizadas investigações para direcionamento das amostragens, é necessário que sejam descritas as incertezas que levaram à adoção desses métodos de investigação prévios.

Na sequência da descrição dos métodos e resultados obtidos, a informação mais relevante para validar essa estratégia, a ser incluída e discutida na interpretação, se refere às decisões tomadas para posicionar e dimensionar os pontos de amostragem da Investigação Confirmatória, em termos espaciais e quantitativos.

2.2. Resultados e interpretação da Execução do Plano de Investigação Confirmatória

Neste item do relatório, são apresentados os resultados das investigações, amostragens e análises realizadas, conforme os itens a seguir:

- ✓ métodos de investigação utilizados;
- ✓ amostras dos compartimentos do meio ambiente coletadas;
- ✓ indícios de contaminação identificados nas amostras coletadas, a partir de registros visuais, organolépticos e medições expeditas feitas em campo;
- ✓ materiais identificados a partir das amostras do meio físico coletadas;
- ✓ seções geológicas preliminares;
- ✓ resultados das medições das cargas hidráulicas nos poços de monitoramento, quando estes forem instalados, e confecção de mapa potenciométrico preliminar;
- ✓ análises químicas realizadas;
- ✓ controles de qualidade adotados nas amostragens (brancos e duplicatas);
- ✓ resultados das amostragens e análises químicas, organizados em tabelas que permitam a comparação com os valores de intervenção;

Os itens a seguir podem constar de Anexos do Relatório de Investigação Confirmatória, para serem consultados conforme a necessidade:

- ✓ perfis de sondagem;
- ✓ perfis construtivos dos poços de monitoramento;
- ✓ fichas de campo, preenchidas durante as atividades de sondagens, amostragem, medição de nível d'água etc.;
- ✓ cadeias de custódia, fichas de recebimento das amostras no laboratório e laudos de análises químicas;
- ✓ certificados de calibração dos equipamentos de medição de campo;
- ✓ registro fotográfico dos trabalhos.

A interpretação tem a função de integrar os resultados, em uma abordagem que trate dos seguintes tópicos:

- ✓ fontes de contaminação;

- ponto ou área onde foi liberada a substância para os compartimentos do meio ambiente, se possível identificar;
 - refinamento das dimensões da fonte de contaminação;
 - refinamento da potência da fonte de contaminação (capacidade de liberação e transporte das SQLs nos compartimentos do meio ambiente ou transferência dessas entre eles);
 - características das SQLs liberadas para os compartimentos do meio ambiente;
 - revisão da classificação como ativa ou desativada;
 - compartimentos do meio ambiente contaminados ou que possam ser contaminados a partir da fonte de contaminação.
- ✓ áreas localizadas na vizinhança;
- revisão da potência (estimativa da massa das SQLs liberada e dinâmica da pluma de contaminação que está migrando para a área em avaliação);
 - características das SQLs que atingem ou que podem atingir a área em avaliação (relacionadas à sua dinâmica e efeitos adversos aos bens a proteger);
 - revisão da estimativa dos volumes dos compartimentos do meio ambiente contaminados ou que possam ser contaminados na área em avaliação, a partir da área vizinha.
- ✓ contaminações detectadas nos compartimentos do meio ambiente;
- fonte de contaminação onde foi gerada;
 - estimativa das dimensões das plumas de contaminação geradas ou que possam ser geradas;
 - bens a proteger atingidos ou que podem ser atingidos.
- ✓ exposição dos bens a proteger às SQLs e vias de ingresso.
- bens a proteger que foram ou podem ser atingidos por SQLs a partir das fontes de contaminação confirmadas;
 - possíveis vias de ingresso;
 - risco potencial ou real, ou dano já possível de ser identificado.

Para as fontes de contaminação potenciais não confirmadas como primárias, assim como para os caminhos de exposição não confirmados, é igualmente importante que seja esclarecido se a informação obtida na etapa de Investigação Confirmatória foi considerada completa, ou se necessita de complementação na etapa seguinte de Investigação Detalhada.

2.3. Descrição do segundo modelo conceitual (MCA 2) e Classificação 3

Faz parte do conteúdo do Relatório de Investigação Confirmatória a apresentação do MCA 2, contendo as plantas georreferenciadas, fluxograma de exposição, tabela resumo e texto explicativo, bem como a discussão sobre a classificação da área proposta pelo responsável técnico, conforme orientações dadas na **Seção 6.3**.

2.4. Cronograma executado da Investigação Confirmatória

Com relação ao cronograma executado da etapa de Investigação Confirmatória, é importante que neste item sejam consolidadas as datas de realização dos trabalhos, indicando de maneira simples, como em uma tabela de fácil conferência, datas de:

- ✓ realização de sondagens;
- ✓ coleta de amostras de solo;
- ✓ instalação dos poços de monitoramento;
- ✓ coleta de amostras de água subterrânea, vapor do solo ou outras;
- ✓ medição geral do nível d'água nos poços de monitoramento;
- ✓ período de validade da calibração dos equipamentos de mediação utilizados;
- ✓ entrada das amostras no laboratório de análises químicas.

2.5. Plano da etapa de Investigação Detalhada

Caso os resultados da Investigação Confirmatória indiquem a necessidade de prosseguir com o Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), o Relatório de Investigação Confirmatória terá como complemento um Plano da etapa de Investigação Detalhada, conforme diretrizes da **Seção 6.4**.

2.6. Texto conclusivo

No item de conclusão, o responsável técnico faz um resumo dos principais resultados obtidos na etapa de Investigação Confirmatória e apresenta suas justificativas e recomendações para a continuidade ou encerramento do GAC, conforme a Classificação 3 proposta:

ACI – realização da etapa de Investigação Detalhada.

AP – encerramento do GAC, podendo ser retomado quando da desativação da atividade, da reutilização da AP ou por exigência do Órgão Ambiental Gerenciador.

Área sem classificação – remoção da classificação como AS, por não ter sido constatada contaminação e não permanecer na área uma Atividade Potencialmente Geradora de Áreas Contaminadas.

Além das justificativas sobre a continuidade ou encerramento do GAC, o texto conclusivo discorrerá sobre os seguintes itens:

- ✓ justificativa para a priorização das fontes de contaminação internas ou das áreas localizadas na vizinhança que possam influenciar a área em avaliação a serem contempladas na etapa de Investigação Detalhada;
- ✓ definição de ações preventivas e corretivas;
- ✓ avaliação crítica sobre a acurácia e completude das informações obtidas na Investigação Confirmatória (conforme diretrizes do item 7 da **Seção 1.2**);

- ✓ definição dos responsáveis pela execução da etapa de Investigação Detalhada e demais ações necessárias (conforme diretrizes do item 7 da **Seção 1.2**).

2.6.1. Justificativa para a priorização das fontes de contaminação

Quando da elaboração do plano da etapa de Investigação Detalhada, pode ser definida uma ordem de prioridade para a realização das investigações das fontes de contaminação internas ou externas, de forma que algumas sejam contempladas na etapa de Investigação Detalhada e outras posteriormente.

Os critérios de priorização são propostos pelos responsáveis técnico e legal, com base nas características das fontes de contaminação, quantidades e características das SQIs manuseadas e dos resultados da Investigação Confirmatória.

Dessa forma, são propostos dois níveis de prioridade para as fontes de contaminação:

Prioridade 1: a inclusão da fonte de contaminação interna ou externa no plano da etapa de Investigação Detalhada é fundamental nesse momento do GAC.

Prioridade 2: a inclusão da fonte de contaminação interna ou externa no plano preliminar de amostragem da Investigação Detalhada não é fundamental para o GAC, podendo ser considerada em etapas posteriores.

2.6.2. Definição de ações preventivas e corretivas

Ações preventivas e corretivas podem ser necessárias para a eliminação ou minimização dos riscos ou danos aos bens a proteger, eventualmente identificados na área em avaliação durante a Investigação Confirmatória.

Como exemplo, pode-se citar a implementação de medida de intervenção emergencial, com a implantação e operação de sistema de remediação por contenção, visando evitar que uma provável pluma de contaminação em fase dissolvida atinja um poço de abastecimento de água próximo, a jusante da fonte de contaminação classificada como primária.

Com relação às ações corretivas, no mesmo exemplo, a remoção da fonte de contaminação primária identificada é uma ação a ser considerada já nesse momento de finalização da etapa de Investigação Confirmatória, caso seja possível adotá-la antes da etapa de Elaboração do Plano de Intervenção.