



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

9. ANEXO 1 – INVESTIGAÇÃO DETALHADA

A etapa de investigação detalhada tem como objetivo principal caracterizar espacialmente a contaminação verificada na etapa de investigação confirmatória, considerando o fechamento das plumas de contaminação e caracterização dos *hot spots*, nos diferentes compartimentos do meio físico, bem como caracterização detalhada das áreas fontes de contaminação, dos tipos litológicos que ocorrem em subsuperfície e da hidrologia local.

Na etapa de investigação detalhada, deverá ser avaliado detalhadamente as características da fonte de contaminação e dos meios afetados e apresentar os seguintes resultados:

- Dimensões das áreas e volumes afetados;
- Tipos de contaminantes presentes e suas concentrações;
- Características das plumas de contaminação para todos os diferentes contaminantes (limites em relação % de propagação).

Objetivos Específicos da Investigação Detalhada:

- a) Mapeamento horizontal e vertical da contaminação por meio da comparação entre as concentrações dos contaminantes e os valores de investigação ou intervenção;
- b) Definição da dinâmica de transporte;
- c) Caracterização do meio físico e entorno;
- d) Definição das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) e suas concentrações nos compartimentos;
- e) Identificação e caracterização de outras fontes de contaminação;
- f) Simulação de prognóstico da evolução da contaminação;
- g) Identificação das vias de exposição e receptores da contaminação, com Avaliação de Riscos;
- h) Subsidiar Planos de Ações;
- i) Deve também ser considerada a eventual necessidade de ações emergenciais concomitantes à realização de investigação detalhada, como em caso de ocorrência de fase livre e intrusão de vapores.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Nesta etapa, visando subsidiar a execução da etapa de Avaliação de Risco, o Responsável Técnico deverá obrigatoriamente estabelecer as substâncias químicas de interesse que serão consideradas na etapa de investigação detalhada e determinar suas concentrações nos compartimentos do meio físico em conformidade com as etapas anteriores de gerenciamento de áreas contaminadas. Para estas determinações, deverão ser considerados:

- 1.A distribuição espacial destas substâncias nos diferentes compartimentos do meio físico investigados;
- 2.A delimitação espacial (planos horizontal e vertical) destas substâncias em fase retida, dissolvida, vapor e, caso ocorra, em fase livre nos diferentes compartimentos do meio físico investigados;
- 3.A distribuição espacial destas substâncias na região dos “*hot spots*” ou centros de massa;
- 4.A determinação das concentrações das substâncias químicas de interesse que atingem ou atingirão os receptores identificados no “Modelo Conceitual 2 (MCA 2), tanto nas áreas internas como externas a área sob investigação. Essa determinação deverá ser realizada obrigatoriamente com base nos resultados analíticos laboratoriais obtidos por meio de métodos diretos de investigação e por meio de modelos matemáticos para determinação das concentrações no futuro.

No “Relatório de Investigação Detalhada” o Responsável Técnico deverá obrigatoriamente apresentar as plumas de contaminação que tenham origem na área investigada, integralmente delimitadas no plano horizontal e vertical. O “*hot spot*” ou centro de massa de cada uma das plumas de contaminação (delimitadas para as substâncias químicas de interesse identificadas) **deverão ter sido investigados com a resolução adequada, de modo a proporcionar a delimitação da sua distribuição espacial e permitir a quantificação das massas destas substâncias nos compartimentos do meio físico investigados** conforme Plano de Investigação Detalhada (elaborado de acordo com item 6.2 da norma ABNT NBR 15515-3).

No “Relatório de Investigação Detalhada”, o Responsável Técnico deverá **obrigatoriamente apresentar a quantificação das massas das substâncias químicas de interesse em fase retida, dissolvida, vapor e em fase livre, caso estas ocorram**, nos diferentes compartimentos do meio físico



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

investigados.

Para definição dos limites espaciais da contaminação em **fase dissolvida** na água subterrânea, o Responsável Técnico deverá considerar:

1. No plano horizontal, **instalar poços de monitoramento a partir do poço onde foi identificada a contaminação em fase dissolvida**, conforme MCA 2. O mapeamento horizontal deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2, para as quais o limite será interpolado a 3/4 da distância entre o poço de monitoramento que apresentar concentração acima do valor de investigação e o poço que apresentar concentração abaixo deste valor. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada;
2. **No plano vertical, instalar poços multiníveis dispostos no “hot spot” ou centro de massa da pluma de contaminação em fase dissolvida, bem como nos seus limites**, ou seja, onde forem verificadas as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse, considerando a direção do fluxo de água subterrânea. **O mapeamento vertical deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2**, para as quais o limite da pluma será interpolado na metade da distância entre a base da seção filtrante do poço que apresente concentração acima do valor de intervenção e a base da seção filtrante do poço adjacente que apresente concentração abaixo deste valor. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada.

Para definição dos limites espaciais da contaminação em **fase retida no solo**, o Responsável Técnico deverá considerar:

1. No plano horizontal, a partir do ponto de amostragem onde foi identificada a contaminação em concentrações acima do valor de intervenção executar novos pontos de amostragem em malha aproximada de 5x5 metros, podendo esta ser alterada a critério do Responsável Técnico e em função do MCA 2. O mapeamento horizontal deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2, para as quais o limite será interpolado



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

na metade da distância entre o ponto de amostragem que apresentar concentração acima do valor de intervenção e o ponto de amostragem que apresentar concentração abaixo deste valor. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada;

2. No plano vertical, coletar pelo menos 03 (três) amostras de solo (não estando limitada somente a três amostras), sendo uma nos 50 centímetros iniciais da sondagem (amostra superficial), a segunda a critério do Responsável Técnico na maior medição de compostos orgânicos voláteis ou na litologia de textura mais fina, a terceira na zona saturada do solo perfurado. A localização da coleta da segunda amostra no perfil de sondagem deverá ser justificada tecnicamente pelo Responsável Técnico com base no MCA 2. O mapeamento vertical deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2, para as quais o limite será interpolado na metade da distância entre a amostra em profundidade que apresentar concentração acima do valor de investigação e a amostra que apresentar concentração abaixo deste valor. Quando a amostra de solo coletada na zona saturada do solo perfurado apresentar concentrações acima dos valores de investigação, considerar a necessidade de aquisição de nova amostra em níveis mais profundos. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada.

Para definição dos limites espaciais da contaminação em **fase vapor na zona não saturada do solo**, o Responsável Técnico deverá considerar:

1. No plano horizontal, instalar poços de vapor a partir do poço onde foi identificada a contaminação em fase vapor, conforme MCA 2. O mapeamento horizontal deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2, para as quais o limite será interpolado a 3/4 da distância entre o poço de vapor que apresentar concentração acima do Regional Screening Levels (RSLs) corrigido com fator de atenuação 0,03 e na base 10^{-5} , e o poço que apresentar concentração abaixo deste valor. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada;

2. No plano vertical, instalar poços multiníveis dispostos no “hot spot” ou centro de massa da pluma de contaminação em fase vapor, bem como nos seus limites, ou seja, onde forem verificadas as maiores concentrações das substâncias químicas de interesse. O mapeamento vertical deve ser realizado para cada substância química de interesse definida no MCA 2, para as quais o limite da pluma será interpolado na metade da distância entre a base da seção filtrante do poço de vapor que apresentar concentração acima do Regional Screening Levels (RSLs) corrigido com fator de atenuação 0,03 e na base 10^{-5} , e a base da seção filtrante do poço adjacente que apresente concentração abaixo deste valor. O critério de interpolação descrito acima poderá ser substituído pelo Responsável Técnico por outro critério, desde que devidamente justificado no relatório técnico de investigação detalhada.

O Responsável Técnico deverá coletar amostras indeformadas para caracterização de geotécnica dos materiais encontrados em subsuperfície. A localização desta amostragem deverá ter como base o MCA 2 e a sondagem inicial/guia. **A quantidade e profundidade das amostras indeformadas deverá ser definida em função das camadas litológicas representativas da área em investigação.** A localização do ponto de coleta deve ser obrigatoriamente fora da zona de influência da contaminação.

A metodologia de aquisição dessa amostra deverá ser a descrita pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). Para cada amostra coletada deverão ser realizados minimamente ensaios que determinem a porosidade total, porosidade efetiva, densidade de grãos e umidade (%). Deverá ser apresentado em Relatório a descrição da metodologia utilizada para aquisição dessas amostras, bem como fotos que comprovem os serviços executados em campo.

Os resultados obtidos durante a etapa de Investigação Detalhada deverão ser considerados pelo Responsável Técnico para compor o Modelo Conceitual 3 (MCA 3), que servirá como base suficiente para o desenvolvimento das etapas de Avaliação de Risco à Saúde Humana e Elaboração do Plano de Intervenção.

Comprovada a necessidade de prazo adicional para fechamento de pluma, o Responsável



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Técnico deverá solicitar pedido de prorrogação no IMA.

Deverá ser elaborado e apresentado ao IMA relatório técnico intitulado “Relatório de Investigação Detalhada”, elaborado por Responsável Técnico contendo os dados e informações obtidos durante a realização desta etapa, bem como sua interpretação, conforme itens abaixo:

1. 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;
2. Georreferenciamento das sondagens, pontos de amostragem (solo e água, além de outros meios) e poços de monitoramento;
3. 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;
4. Descrição dos procedimentos efetuados durante a instalação de cada poço de monitoramento (perfuração, montagem e desenvolvimento);
5. 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;
6. 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;
7. Documentação fotográfica relativa aos serviços de campo;
8. 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;
9. Texto explicativo com a interpretação dos ensaios destinados à caracterização das



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

propriedades físicas e químicas dos materiais;

10. 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;
11. 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;
12. Especificar as substâncias químicas de interesse e o critério empregado para a seleção dessas;
13. 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**;
14. 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);
15. 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;
16. Texto com justificativa da escolha do posicionamento dos pontos de amostragem e das profundidades de investigação;
17. Texto com descrição dos métodos de investigação e amostragem utilizados, justificando as escolhas realizadas;
18. 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;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

19. Laudos analíticos, ficha de recebimento de amostras emitida pelo laboratório e as cadeias de custódia devidamente assinadas pelo profissional responsável pelas análises;
20. 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;
21. Identificação de todos os Responsáveis Legais e Técnicos, especificando os respectivos e-mails e endereços completos;
22. Declaração de Responsabilidade, conforme modelo indicado no Anexo 3 da IN IMA nº 74/2023, devidamente assinada pelos Responsáveis Legal e Técnico.
23. Anotação de Responsabilidade Técnicas (ART) ou declaração do respectivo conselho profissional do Responsável Técnico (profissional habilitado), devidamente firmada.

O **Relatório de Investigação Detalhada** deve contemplar no mínimo os seguintes tópicos conforme norma ABNT NBR 15515-3:2013:

- a) Resumo executivo;
- b) Introdução;
- c) Histórico da área e das atividades realizadas, incluindo-se os resultados analíticos consolidados;
- d) Objetivo e escopo;
- e) Localização da área;
- f) Caracterização do entorno;
- g) Caracterização geológica/hidrogeológica (regional e local);
- h) Plano de Amostragem;
- i) Metodologias e descrições detalhadas das atividades realizadas;
- j) Limitações da metodologia adotada, garantia e controle da qualidade e avaliação de incertezas;
- k) Apresentação e discussão de informações obtidas e resultados:
 - Características de sondagens, poços de monitoramento, ensaios e outras atividades



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

executadas;

- Tabelas com resultados analíticos de amostras de solo e água subterrânea comparados aos valores de referência, prevenção e intervenção/investigação ou outros valores máximos permitidos que forem exigidos pelo órgão ambiental;

l) Representação gráfica das informações e dos resultados:

- Mapa de localização georreferenciado das atividades realizadas com a identificação das instalações e fontes de contaminação;
- Mapa (georreferenciado) de uso e ocupação do entorno incluindo-se captações de água subterrânea;
- **Mapa Potenciométrico, atualizado e georreferenciado, com cotas baseadas em referências oficiais de nível sobre o mapa do tópico anterior, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica emitida por profissional habilitado;**
- Seções esquemáticas geológicas e hidrogeológicas transversal e longitudinal ao sentido preferencial do fluxo de água subterrânea;
- Mapas (georreferenciados) de distribuição de contaminação horizontal e vertical para solo e água subterrânea;

m) Modelo Conceitual Atualizado;

n) Conclusões e Recomendações;

o) Plano de Ações (medidas emergenciais, necessidade de refinamento do modelo conceitual, proposição de medidas de controle institucional, Avaliação de Risco à Saúde Humana e plano de monitoramento, entre outras);

p) Referências técnicas e bibliográficas;

q) Equipe técnica, qualificação e assinatura do(s) profissional(is) responsável(is).

r) Devem ser anexados no Relatório de Investigação Detalhada, entre outros, os seguintes documentos:

- 1) Registro fotográfico da investigação;**
- 2) Boletins de sondagens de solo e perfis litológico-construtivos de poços de monitoramento;**



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- 3) Boletins de amostragem de solo, águas subterrâneas ou demais meios amostrados;
- 4) Boletins de ensaios hidrogeológicos e interpretações;
- 5) Levantamento topográfico georreferenciado de pontos de amostragem, sondagens e poços de monitoramento;
- 6) Resultados de testes e medições em campo (como geofísica, medição de vapores, entre outros);
- 7) Protocolo de recebimento e cadeia de custódia de amostras;
- 8) Boletins, laudos ou relatórios de ensaios analíticos;
- 9) Certificados de calibração dos instrumentos de medição utilizados em campo;
- 10) Anotações de responsabilidade técnica (ARTs) emitidas e, quando exigido, Declaração de Responsabilidade.

MAPEAMENTO DA CONTAMINAÇÃO

O mapeamento é focado sempre na investigação do solo superficial e subsuperficial e da água subterrânea.

O objetivo do mapeamento é conhecer a distribuição vertical e horizontal das substâncias químicas de interesse e delimitar as zonas onde essas substâncias apresentam concentrações acima dos valores de investigação ou intervenção (VI) (zona contaminada) ou que imponham risco presumido ou real à saúde humana. Caso ocorram substâncias não elencadas nas listas de VI, devem ser adotadas as diretrizes do órgão ambiental competente.

O mapeamento espacial da distribuição da contaminação deve contemplar a delimitação das plumas de fase livre e dissolvida e da zona da fase retida, bem como a variação das concentrações das substâncias químicas de interesse no interior da zona contaminada.

Técnicas de medição rápida podem auxiliar na definição dos meios, pontos e profundidades de amostragem ou seleção de amostras representativas, conforme normas específicas.

O plano de investigação para o mapeamento deve ponderar as incertezas de amostragem.

A coleta de amostras representativas é realizada conforme o padrão de distribuição dos contaminantes, que é influenciado principalmente pelo volume liberado e pelas características do meio e dos contaminantes, e deve ser realizada conforme normas específicas.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Os resultados obtidos na investigação detalhada devem prover informações suficientes para elaborar a representação da geometria das zonas contaminadas.

Zona Não Saturada

O mapeamento na zona não saturada refere-se à delimitação da contaminação no solo para cada substância química de interesse. Ainda que na investigação confirmatória não tenham sido quantificadas concentrações das substâncias químicas de interesse acima do valor de investigação ou intervenção (VI) no solo, a investigação da zona não saturada é necessária para reduzir as incertezas na fonte de contaminação investigada, desde que tenham sido quantificadas concentrações acima de VI na água subterrânea.

Para delimitação da ocorrência dos contaminantes, a zona não saturada deve ser compartimentada em superficial e subsuperficial. Para solo superficial considera-se a profundidade de até 1m e, para solo subsuperficial, de 1m até o nível de água subterrânea.

Para definir os pontos de amostragem e as substâncias químicas de interesse, são utilizados os dados da avaliação preliminar, da investigação confirmatória, do licenciamento ambiental e de informações adicionais, considerando-se a distribuição das litologias e os comportamentos das substâncias químicas de interesse no meio. Essas informações adicionais podem ser obtidas por meio da utilização de técnicas de medição rápida.

Na seleção das profundidades de coleta de amostras para análise química **é também recomendável a utilização de técnicas de medição rápida em campo, ressaltando-se que o tipo de amostra de solo para análise química deve ser simples.**

Em uma investigação detalhada, **os dados podem ser obtidos com base em mais de uma campanha de amostragem**, como em caso de complexidade do cenário ambiental ou de resultados inesperados.

A delimitação da zona contaminada de cada uma das SQI deve ser definida em função dos VI (Valores de Investigação) vigentes.

Para traçar o limite horizontal da área de solo contaminado, o limite deve passar pelo ponto situado na metade da distância entre o ponto de amostragem que apresente concentração da SQI acima de VI e o ponto de amostragem que apresente concentração inferior ao VI, do cenário



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

considerado.

Na delimitação da área de solo contaminado em uma fonte são utilizados pontos de um mesmo plano, horizonte ou profundidade.

Para realizar a delimitação da zona em fase retida no plano vertical, pertencendo os pontos de amostragem à mesma camada litológica, o ponto-limite é definido na metade da distância entre um ponto de amostragem onde foi quantificada concentração da SQI acima do VI e outro ponto de amostragem onde foi detectado valor inferior ao do VI, do cenário considerado.

Caso os pontos não pertençam à mesma camada litológica, os limites devem considerar a descontinuidade entre as camadas ou estruturas litológicas como meios preferenciais de dispersão dos contaminantes.

Quando constatada concentração acima do VI na amostra coletada na franja capilar, o limite inferior da zona de fase retida é a profundidade do nível d'água medido.

O limite superior pode ser definido com base em resultados analíticos ou considerando, sempre que possível, a posição da fonte primária mais próxima.

Fase Livre

Durante o planejamento e execução dos trabalhos de investigação, é necessário considerar a eventual presença de fase livre e, **caso esta ocorra**, se ela é mais ou menos densa que a água para adequar os procedimentos de delimitação.

Para otimização da instalação de poços de monitoramento para delimitação de fase livre, admite-se a utilização prévia de sondagens ou métodos geofísicos.

A determinação da presença de fase livre no interior dos poços e da sua espessura deve ser feita por meio de equipamento de medição de interface óleo/água por método eletro-ótico.

Outros métodos mais simples podem ser utilizados para constatação da presença ou ausência de fase livre.

A delimitação da distribuição da fase livre deve ser definida quando for obtido um número suficiente de pontos-limite necessário para o seu fechamento.

A partir da confirmação da existência de fase livre, é necessária a implementação de medidas emergenciais para remoção da substância em fase livre, conforme os procedimentos técnicos



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

aplicáveis.

Fase Dissolvida

A delimitação da pluma dissolvida é realizada pela investigação da distribuição das SQI nos planos horizontal e vertical.

Para o mapeamento da pluma dissolvida devem ser instalados poços de monitoramento e **poços multiníveis**, de acordo com as normas ABNT NBR 15495-1 e ABNT NBR 15495-2, podendo também ser utilizados sistemas multiníveis.

Na caracterização da distribuição vertical das SQI são utilizados poços de monitoramento com captação em diferentes profundidades e seções curtas (até 1 m) na profundidade desejada de investigação.

Estes podem ser instalados de forma aninhada (no mesmo furo mais de uma tubulação) ou individualizada (em cada furo uma tubulação). Pode ainda ser instalados poços com sistema de captações discretas e isoladas em um mesmo furo do tipo múltiplos septos ou com isolamento por obturadores. Sempre são necessárias medidas para evitar a migração de contaminantes pelo espaço anelar.

Subsidiariamente, ainda podem ser utilizadas (assistir de) outras formas auxiliares na delimitação vertical, utilizando-se técnicas de medição rápida.

Considerando-se a sazonalidade do nível de água, recomenda-se a instalação de poços multiníveis.

Para a coleta de amostras de águas subterrâneas, devem ser observadas as orientações contidas na norma ABNT NBR 15495-2.

As amostragens para delimitação de pluma devem ser preferencialmente realizadas em todos os poços de monitoramento instalados na área de interesse.

A utilização de dados obtidos em campanhas realizadas em épocas distintas é admitida, desde que tecnicamente justificável, considerando a sazonalidade e que as amostragens tenham sido realizadas dentro de um intervalo máximo de 120 dias.

A delimitação da pluma de contaminação em fase dissolvida deve ser definida a partir de um número suficiente de pontos-limite necessário para o seu fechamento e os valores de



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

investigação (VI) considerados como limite da pluma.

Para realizar a delimitação da pluma em fase dissolvida no plano horizontal, considerar como ponto-limite da pluma o ponto situado na metade da distância entre os pontos de amostragem que apresentem concentrações de SQI superior ao VI e o primeiro ponto inferior ao VI.

A delimitação das plumas no plano vertical deve ser realizada por meio da utilização de conjunto de poços multiníveis em quantidade suficiente para estimar a espessura da pluma próximo à área-fonte e ao longo do eixo longitudinal de movimentação, bem como caracterizar a existência ou não de fluxo vertical.

Na instalação de poços ou sistemas multiníveis é sempre importante adotar todos os recursos técnicos para o isolamento entre as zonas de captação de água. As profundidades das seções filtrantes dos poços multiníveis são definidas com fundamento na interpretação do modelo conceitual hidrogeológico desenvolvido para a área, por meio do qual devem ser identificadas as camadas favoráveis ao transporte da pluma de contaminantes.

O conjunto de captação múltipla (poços ou sistema multinível) deve ser formado por no mínimo um par de poços com seção filtrante instalada em duas profundidades diferentes, no mesmo compartimento hidrogeológico. Recomenda-se que um dos poços tenha a seção filtrante posicionada próxima e abaixo do nível d'água estabilizado e o outro poço deve ter a seção filtrante a uma distância não superior a 5m entre a base da seção filtrante do poço de captação rasa e o topo da seção do poço de captação profunda, sendo que este deve ter seção filtrante de até 1m. Em função do modelo conceitual, litologia, espessura das camadas litológicas, tipo de contaminantes, evidência ou ocorrência de fluxo vertical, ou caso seja quantificada concentração da SQI acima do VI no poço mais profundo, deve(m) ser adicionado(s) um ou mais níveis ao sistema de captação, visando a proporcionar a definição correta do limite inferior da pluma dissolvida.

Na determinação dos limites da pluma dissolvida no plano vertical, deve ser considerado que o ponto-limite da pluma esteja situado na metade da distância entre a base da seção filtrante do poço que apresente concentração abaixo do VI e a base da seção filtrante do poço adjacente que apresente concentração da SQI acima de VI. Caso o poço mais profundo limite-se ao topo rochoso ou camada impermeável, o limite da pluma deve ser presumido ao longo da interface entre o meio



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

poroso e a rocha ou camada impermeável.

O revestimento de furo durante a perfuração dos poços do conjunto multinível deve ser adotado quando houver possibilidade de migração de contaminantes pelo furo de porções rasas para mais profundas.

Estabelecidos os limites da pluma dissolvida, deve ser verificada a distribuição da contaminação horizontal e vertical dentro desses limites com a identificação dos centros de massa, por meio do adensamento da malha de poços de monitoramento, posicionados próximos às fontes primárias ou secundárias de contaminação.

A partir dos dados obtidos, a representação das plumas de contaminação na água subterrânea deve ser individual para cada SQI, cujas concentrações ultrapassem o VI (Valor de Intervenção ou Investigação).

ESTIMATIVA DE VOLUME DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA COM CONCENTRAÇÕES ACIMA DE VI (VALOR DE INVESTIGAÇÃO)

As estimativas de volume de solo e água subterrânea são realizadas com fundamento na delimitação horizontal e vertical da área com concentrações acima de VI (Valor de Investigação).

A estimativa de volume de solo é calculada em função da área de ocorrência e da espessura média de solo impactado.

Em relação à água subterrânea, **a estimativa é calculada pela projeção em superfície da área da pluma, da sua espessura média e da porosidade do meio.**

Quando houver variação significativa de espessuras, podem ser utilizados cálculos integrativos.

A massa de contaminantes deve ser calculada após a etapa de avaliação de risco à saúde humana, caso sejam necessárias medidas de remediação.

PROGNÓSTICOS DE EVOLUÇÃO DE PLUMAS

O objetivo do prognóstico é estimar, a partir do centro de massa, qual a evolução espacial da(s) pluma(s) ao longo do tempo, principalmente para simular se as concentrações atingirão receptores em um determinado tempo. Além disso, o prognóstico auxilia na tomada de decisão de



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

etapas futuras do processo de gerenciamento de áreas contaminadas.

A seleção de quais substâncias químicas de interesse serão prognosticadas deve ser feita com fundamento **na representatividade das substâncias na configuração da contaminação, em função da toxicidade, massa e persistência da substância.**

A premissa para elaboração dos prognósticos é o cumprimento de todos os itens da investigação detalhada.

Os prognósticos de evolução da pluma devem contemplar um horizonte de 5 anos e 10 anos, utilizando-se modelos de fluxo e de transporte de contaminantes.

A aplicação de modelos matemáticos de fluxo e transporte de contaminantes para execução dos prognósticos deve ser realizada com base em literatura e procedimentos específicos.

Os modelos matemáticos utilizam uma série de equações, resolvidas por aproximações analíticas ou numéricas, para simular e prever as respostas físico-químicas de um meio poroso e as migrações de SQI (Substâncias Químicas de Interesse).

Cabe ressaltar que os modelos matemáticos ampliam a base de informações, mas não produzem respostas definitivas, uma vez que fornecem uma versão simplificada de um fenômeno que frequentemente é muito mais complexo na prática. Todavia, quando usados em conjunto com a experiência e dados de campo, auxiliam na tomada de decisão, sobretudo quando várias alternativas, envolvendo muitas variáveis, precisam ser comparadas.

IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES, DINÂMICA DE TRANSPORTE, VIAS DE EXPOSIÇÃO E RECEPTORES (MODELO CONCEITUAL)

O modelo conceitual da área em estudo deve ser atualizado e validado com as informações obtidas na investigação detalhada, aprimorando o modelo conceitual da investigação confirmatória e gerando uma nova versão, que deve ser a base para o planejamento e realização das etapas seguintes.

As informações obtidas na investigação detalhada a serem utilizadas para atualizar o modelo conceitual e para suprir a avaliação de risco à saúde humana são pelo menos:

- a) Distribuição das litologias;
- b) Nível de água dos poços de monitoramento;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- c) Sentido e velocidade de fluxo;
- d) Concentração e distribuição da contaminação nos meios afetados;
- e) Mecanismos de liberação identificados;
- f) Meios de transporte;
- g) Quantificação de contaminantes presentes no solo e água subterrânea;
- h) Prognósticos de transporte de contaminantes;
- i) Vias de exposição reais e hipotéticas;
- j) Receptores potenciais e reais identificados;
- k) Necessidade ou não de ações imediatas.

O modelo pode ser apresentado de forma escrita, tabulada, gráfica ou combinação destas.

Estas informações devem ser suficientes para subsidiar a avaliação de risco à saúde humana, etapa posterior do gerenciamento de áreas contaminadas.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

10. ANEXO 2 – AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA

A etapa de avaliação de risco à saúde humana tem como objetivo principal quantificar o risco associado à exposição de receptores humanos a Substâncias Químicas de Interesse (SQI) originadas em fontes de contaminação identificadas. A execução da etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana será responsabilidade do responsável técnico, o qual deverá apresentar o “Relatório de Investigação Detalhada” e o “Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana”.

A avaliação do risco deverá ser realizada por meio da utilização da Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação (CETESB, 2013, ou outro documento de referência que vier a substituí-la), a partir da qual deverão ser quantificados os riscos à saúde humana e as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA). Os dados toxicológicos e físico-químicos das substâncias químicas de interesse (SQI) deverão ser aqueles presentes na planilha supramencionada.

Atender a instrução específica 2.5.1 da IN IMA 74/2023 vigente, que estabelece que em caso de identificação de fase livre, **a avaliação de risco deverá ser efetuada após a sua eliminação ou redução a níveis mínimos estabelecidos a critério do órgão ambiental competente, com base nos recursos tecnológicos disponíveis**, sem prejuízo à implementação das etapas de gerenciamento das outras fontes de contaminação da área.

Para a coleta, avaliação e validação dos dados disponíveis, deverão ser obtidos os dados e informações disponíveis em estudos anteriores que servirão como base para o desenvolvimento da avaliação de risco à saúde humana. Esses dados devem ser obtidos a partir dos projetos de avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada. Os seguintes grupos de dados e informações deverão ser pesquisados e disponibilizados pela consultoria ambiental para a avaliação de risco:

- Documentação relativa às análises físico-químicas realizadas nas amostras coletadas nos diferentes compartimentos do meio físico de interesse para a avaliação de risco (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar) e, quando aplicável, alimentos. A análise dos dados e resultados relativos às análises físico-químicas das amostras dos diferentes compartimentos do meio físico de interesse, para avaliação de risco deve ser desenvolvida,



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

minimamente, com base nos laudos analíticos laboratoriais, cadeia de custódia, lista de verificação de recebimento de amostras e procedimentos de controle e garantia da qualidade na amostragem.

- Caracterização do meio físico em subsuperfície (pedologia, geologia, hidrogeologia, etc.) e superfície (morfologia, fisiografia, climatologia, hidrologia, etc.) que podem afetar o transporte, a atenuação natural e a persistência dos contaminantes;
- Caracterização do uso e ocupação do solo na área de interesse para o estudo, considerando os processos operacionais, industriais e de estocagem de substâncias químicas que podem impactar o meio físico, bem como a tipificação da ocupação de entorno da área a ser avaliada considerando aspectos ligados a ocupação residencial, comercial e/ou industrial.

Os resultados obtidos na etapa de Investigação Detalhada deverão ser comparados com as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) calculadas especificamente para a área de interesse, considerando as Unidades de Exposição (UE) os Cenários de Exposição (CE) válidos e constantes no Modelo Conceitual de Exposição (MCE) desenvolvido conforme norma ABNT NBR 16.209:2013.

Para o desenvolvimento da Avaliação de Risco à Saúde Humana o Responsável Técnico deverá adotar os seguintes procedimentos:

1. Identificar as unidades de exposição (UE) com base na interpretação do meio físico e distribuição espacial da contaminação apresentadas no “Relatório de Investigação Detalhada. Os critérios adotados pelo Responsável Técnico para definição das unidades de exposição deverão estar descritos detalhadamente no “Relatório de Avaliação de Risco”;
2. Identificar os receptores humanos considerando o uso atual e futuro da área, em cada unidade de exposição, bem como os receptores que se situam fora da área de exposição, mas que possam vir a ser atingidos em decorrência da expansão da pluma de contaminação. Os critérios adotados pelo Responsável Técnico para definição dos receptores humanos deverão estar descritos detalhadamente no “Relatório de Avaliação de Risco”;
3. Identificar as substâncias químicas de interesse (SQI) em cada unidade de exposição;
4. Identificar todos os caminhos de exposição presentes e potenciais, atuais e futuros, para todos os receptores em cada unidade de exposição;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

5. Calcular o risco para cada substância química de interesse considerando os diferentes receptores e caminhos de exposição, para cada unidade de exposição;
6. Calcular o risco total para cada unidade de exposição, por receptor, considerando a soma dos riscos individuais das Substâncias Químicas de Interesse, agrupando-as em função dos seus efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos;
7. Calcular as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) para as Substâncias Químicas de Interesse (SQI) existentes, para cada meio, considerando cada caminho de exposição e receptor identificado;
8. Apresentar mapas de risco, georreferenciados, com a indicação dos receptores e dos *hot spots*;
9. Apresentar conclusão sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

O Responsável Técnico deverá adotar o valor de 1×10^{-5} como o limite aceitável de risco total à saúde humana para exposição a substâncias carcinogênicas. Para substâncias não carcinogênicas, o valor correspondente ao limite de aceitação para o quociente de risco total a ser adotado será igual a 1 (um).

Os resultados de risco carcinogênico e não carcinogênico calculados individualmente por SQI, deverão ser somados por SQI considerando todos os cenários de exposição nos quais estas ocorram e por cenários de exposição considerando todas as SQI que ocorram nos cenários de exposição que está sendo analisado. Caso a somatória do Risco seja maior que o Risco Aceitável (item 3.1 – Instrução Específica da IN IMA 74/2023 vigente) para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos a área será classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi).

O “Relatório de Avaliação de Risco a Saúde Humana” deverá ser conclusivo acerca dos riscos associados à exposição de receptores humanos à área de interesse, bem como quanto aos perímetros de restrição, mapas de risco e concentrações máximas aceitáveis a serem utilizados no Plano de Intervenção.

Caso ao final da etapa de Avaliação de Risco a Saúde Humana a área for classificada como AME (Áreas em Processo de Monitoramento para Encerramento), deverá ser realizada a etapa de Monitoramento para Encerramento, com o objetivo de verificar se as concentrações identificadas



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

na etapa de investigação detalhada se mantiveram abaixo das CMA definidas na etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana para a área de interesse, bem como se a somatória dos riscos conforme descrito acima se mantém abaixo do Risco Aceitável (item 3.1 – Instrução Específica da IN IMA 74/2023 vigente). A etapa de Monitoramento para Encerramento deverá ser parte do Plano de Intervenção a ser desenvolvido para a área de interesse e apresentado obrigatoriamente ao IMA.

Após a etapa de Monitoramento para Encerramento, caso as condições definidas acima se mantenham satisfeitas, a área será classificada como Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR).

O Modelo Conceitual 4 (MCA 4) deverá ser elaborado objetivando a apresentação de uma síntese das informações relativas à área de interesse, incluindo a localização da contaminação, o transporte e distribuição das SQIs desde as fontes primárias até aos Pontos de Exposição (PDE) e a relação com a exposição dos receptores existentes, representando o conjunto de cenários de exposição presentes na área de interesse. O MCA 4 deverá ser desenvolvido para a área de interesse considerando suas características específicas apresentadas no “Relatório de Investigação Detalhada”. A consolidação do MCA 4 deverá ser apresentada por meio de fluxograma ou tabela, sempre acompanhados de texto explicativo.

Cenários de Exposição

A elaboração dos cenários de exposição deverá representar todos os caminhos que permitem a evolução do contaminante partindo da origem da contaminação (fonte de contaminação) até chegar aos receptores potenciais. Os cenários de exposição são divididos em cenários de exposição direta e cenários de exposição indireta.

- Exposição Direta: quando o receptor está diretamente em contato com o compartimento do meio físico contaminado, ou com a fonte de contaminação.
- Exposição Indireta: quando as SQIs atingem o receptor por meio de outros compartimentos do meio físico, que não estão contaminados, mas que poderá afetá-los em decorrência do transporte da SQI.

Os cenários de exposição devem ser sempre relacionados aos seguintes elementos: Fonte de Contaminação; Substância Química de Interesse (SQI); Receptores Potenciais; Ponto de Exposição



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

(PDE); Caminho de Exposição e Via de Ingresso.

Estes elementos devem ser identificados e caracterizados para que um cenário de exposição seja considerado completo. A caracterização de cada um desses elementos servirá como base para identificação de eventos de exposição atuais e futuros relacionados à área de interesse. Caso um ou mais destes elementos estejam ausentes, o cenário será incompleto e não será considerado na avaliação de risco.

Fonte de Contaminação

A fonte de contaminação (Área Fonte) está relacionada a um determinado processo operacional que ocasionou a origem da contaminação, liberando a SQI no meio físico. A caracterização da fonte de contaminação deve permitir avaliar quais compartimentos do meio físico podem ser impactados e como as SQIs chegarão aos receptores potencialmente expostos. Cada área fonte compreende um ponto ou local onde ocorre ou ocorreu a liberação da SQI para o meio físico.

Nesta etapa, após a identificação das áreas fonte, deverão ser identificadas as fontes de contaminação secundárias no solo e água subterrânea as quais deverão ser caracterizadas com base no “Relatório de Investigação Detalhada”.

Substâncias Químicas de Interesse (SQI)

As substâncias químicas de interesse (SQI) que devem ser consideradas na Avaliação de Risco à Saúde Humana são todas aquelas identificadas nas amostras de solo e água subterrânea em concentrações superiores aos padrões legais aplicáveis (PLA).

A SQI será selecionada desde que ocorra pelo menos em uma única vez em concentração superior ao PLA adotado. Para esta etapa devem ser relacionadas às SQIs a serem consideradas para quantificação do risco e determinação das Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA) por meio do uso da Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação (CETESB, 2013).

Receptores

A identificação de receptores potenciais a serem considerados na avaliação de risco visa representar indivíduos humanos expostos às SQIs, considerando situações atuais e futuras de



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

exposição, sendo classificados em:

1. Receptores Residenciais: todo residente que possa estar potencialmente exposto direta ou indiretamente às SQIs identificadas nos compartimentos do meio físico, localizados na área investigada ou em suas proximidades.
2. Receptores Trabalhadores (Comercial/Industrial): todo funcionário que possa estar potencialmente exposto direta ou indiretamente às SQIs identificadas nos compartimentos do meio físico, localizados na área investigada ou em suas proximidades.

Para esta etapa devem ser relacionados os receptores a serem considerados para quantificação do risco e determinação das CMA por meio do uso da Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação (CETESB, 2013).

Pontos de Exposição (PDE)

Os pontos de exposição (PDE) são pontos onde ocorre a exposição do receptor à SQI. Os PDEs devem ser identificados para cada compartimento do meio físico impactado ou potencialmente impactado, considerando os cenários atuais e futuros de uso e ocupação do solo.

Os seguintes compartimentos devem ser considerados para a identificação de PDE:

- a) Água Subterrânea: se ocorrer a utilização de poços e nascentes para abastecimento municipal, industrial, doméstico e agrícola, bem como para atividades recreacionais;
- b) Solo: se ocorrer contato com as SQIs presentes no solo superficial e subsuperficial.
- c) Água superficial: se ocorrer sua utilização para abastecimento municipal, industrial, doméstico e agrícola, bem como para atividades recreacionais e de pesca;
- d) Ar: na ocorrência de cenários de exposição em ambientes abertos e espaços fechados contemplando todos os potenciais receptores.

Para esta etapa devem ser relacionados os PDEs a serem consideradas para quantificação do risco e determinação das CMAs por meio do uso da Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação (CETESB, 2013).

Caminhos de Exposição



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Um caminho de exposição deverá descrever o curso de uma SQI, desde a área fonte considerando seu transporte partindo da fonte secundária até os receptores potencialmente expostos no ponto de exposição (PDE). Deverão ser considerados caminhos de exposição às seguintes situações:

- Emissão de vapores e partículas a partir do solo superficial;
- Lixiviação do solo para água subterrânea;
- Transporte em meio saturado de água subterrânea contaminada;
- Transporte em meio não saturado de vapores a partir do solo subsuperficial;
- Transporte em meio não saturado de vapores a partir da água subterrânea.

As seguintes informações deverão ser consideradas na análise dos caminhos de exposição:

- Os compartimentos do meio físico que estão impactados (ar, água e solo);
- Os mecanismos de transporte das SQIs desde a área fonte até os PDEs;
- A localização dos PDEs;
- Os receptores potencialmente expostos.

Para esta etapa devem ser relacionados os caminhos de exposição a serem considerados para quantificação do risco e determinação das CMA por meio do uso da **Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação** (CETESB, 2013).

Vias de Ingresso

Os potenciais receptores identificados podem entrar em contato com as SQIs por meio de determinadas vias de ingresso, que são:

- Ingestão de contaminantes presentes na água subterrânea, água superficial, solo.
- Inalação de contaminantes presentes no ar, incluindo vapores emitidos a partir da água subterrânea, água superficial, solo superficial e solo subsuperficial.
- Contato dérmico com contaminantes presentes na água subterrânea, água superficial e solo.

Para esta etapa devem ser relacionadas às vias de ingresso a serem consideradas para



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

quantificação do risco e determinação das CMA por meio do uso da Planilha para Avaliação de Risco para Áreas Contaminadas sob Investigação.

A Avaliação de Risco deverá ser executada com base no Modelo Conceitual 3 (MCA 3), bem como os dados e interpretações constantes do “Relatório de Avaliação Preliminar”, no “Relatório de Investigação Confirmatória” e no “Relatório de Investigação Detalhada”.

Com base nos documentos citados no parágrafo anterior, deverá ser desenvolvida a etapa de avaliação de risco considerando as diferentes hipóteses de risco conforme abaixo:

1. Quando na Avaliação de Risco for constatado que os valores definidos para risco aceitável à saúde humana foram ultrapassados, ver item 3.4.2 da IN IMA 74/2023 vigente (Avaliação de Risco à Saúde Humana);
2. Quando for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico, ver item 3.4.3 da IN IMA 74/2023 vigente (Avaliação de Risco Ecológico);
3. Nas situações em que os contaminantes gerados em uma área tenham atingido compartimentos do meio físico e determinado a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis ao enquadramento dos corpos d'água e de potabilidade, ver item 3.4.2.1 da IN IMA 74/2023 vigente (Avaliação de Risco Considerando Padrões Legais Aplicáveis);
4. Nas situações em que haja risco à saúde ou à vida em decorrência de exposição aguda a contaminantes, ou à segurança do patrimônio público e privado, ver item 3.4.2.2 da IN IMA 74/2023 vigente (Perigo à Vida ou à Saúde da População);
5. Nas situações em que os contaminantes gerados possam atingir corpos d'água superficiais ou subterrâneos, determinando a ultrapassagem dos padrões legais aplicáveis, comprovadas por modelagem do transporte dos contaminantes, ver item 3.4.2.3 da IN IMA 74/2023 vigente (Modelagem Matemática para Fins de Avaliação de Risco).

Sendo assim, somente poderá considerar risco quantificável considerando as hipóteses descritas acima, sendo que estas deverão estar claramente descritas e avaliadas do “Relatório de Avaliação de Risco” e fazerem parte do Modelo Conceitual 4 (MCA 4).

Após a realização da etapa de Avaliação de Risco, caso não tenha sido identificado risco,



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

deverá ser classificada a área como Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME).

Deverá ser apresentado ao IMA relatório técnico intitulado “Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana”, elaborado por profissional habilitado Responsável Técnico, contendo os dados e informações obtidos durante a realização desta etapa, bem como sua interpretação, conforme itens abaixo:

1. Texto contendo conclusão acerca da existência de risco acima dos níveis considerados aceitáveis e da necessidade de adoção de medidas de intervenção;
2. Análise das incertezas associadas à Avaliação de Risco realizada;
3. Mapas de Risco para todos os cenários de exposição válidos que apresentaram risco a saúde humana;
4. Texto e ilustrações com o Modelo Conceitual (MCA 4);
5. Proposta de **Plano de Monitoramento para Encerramento**, nos casos em que a área sob avaliação tenha sido classificada como Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME);
6. Identificação de todos os Responsáveis Legais e Técnicos, especificando os respectivos e-mails e endereços completos;
7. Cópia atualizada (expedida há 3 meses no máximo) de todas as matrículas do imóvel onde se localiza a área sob avaliação, nos casos em que a área do imóvel seja composta por mais de uma matrícula, estas deverão ser identificadas em planta. **Obs.:** caso não tenha alterações nas matrículas apresentadas na fase de Investigação Confirmatória, não há necessidade de reapresentação das matrículas, bastando a confirmação no relatório que Não Houve alterações.
8. Declaração de Responsabilidade, conforme modelo indicado no Anexo 3 da IN IMA nº 74/2023 vigente, devidamente assinada pelos Responsáveis Legal e Técnico.
9. Anotação de Responsabilidade Técnicas (ART) ou declaração do respectivo conselho profissional do Responsável Técnico.

10.1 Avaliação de Risco Considerando Padrões Legais Aplicáveis

A execução dessa etapa deverá proporcionar a identificação dos riscos potenciais e presentes



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

por meio da constatação de concentrações das substâncias químicas de interesse que superem os padrões legais aplicáveis adotados pelo Responsável Técnico.

Nota 1: A Identificação de Risco considerando Padrões Legais Aplicáveis relativa à qualidade dos corpos d'água superficiais deverá ser realizada utilizando os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas atualizações. A existência de risco à qualidade do corpo d'água será confirmada quando forem observadas concentrações das substâncias químicas de interesse acima dos padrões legais citados, nos pontos de conformidade posicionados junto ao corpo d'água superficial.

Nota 2: A Identificação de Risco considerando Padrões Legais Aplicáveis relativa à ingestão das águas subterrâneas deverá ser realizada utilizando os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 e suas atualizações (**ANEXO XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde**). A existência de risco para ingestão de águas subterrâneas será confirmada quando for constatado que a concentração das substâncias químicas de interesse nas amostras coletadas em poços e nascentes de captação de água para abastecimento ou em poços de monitoramento, ultrapassam o padrão de potabilidade.

A análise e interpretação feita para cumprir a etapa em questão, deverão ser apresentados por meio de:

- a) Texto explicativo, plantas e seções, indicando a posição dos receptores (corpos d'água superficiais, poços de abastecimento de água e nascentes) e pontos de conformidade, além da distribuição das concentrações de cada substância química de interesse;
- b) Mapas (georreferenciados) de risco com a indicação dos receptores;
- c) Conclusão sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

10.2 Perigo à Vida ou à Saúde da População

Deve ser observado que a Identificação de Perigo à Vida ou à Saúde da População, em decorrência da contaminação de uma área, também determina a classificação da área como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRI).

Nesses casos, a análise da situação a ser realizada deverá caracterizar a relação entre a contaminação e o perigo existente, sendo recomendável, para tanto, a utilização dos resultados do



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

mapeamento das plumas de contaminação apresentados no “Relatório de Investigação Detalhada” e de resultados de medições que possibilitem a identificação de exposição aguda, como do índice de inflamabilidade e amostragem de gases e vapores.

Os resultados dessa avaliação deverão ser apresentados pelo Responsável Técnico no “Relatório de Avaliação de Risco” por meio de:

- a) Texto explicativo, plantas e seções, indicando a posição dos receptores e a distribuição das concentrações das substâncias químicas de interesse;
- b) Mapas (georreferenciados) de risco com a indicação dos receptores;
- c) Conclusão sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

Nos casos em que seja constatada exposição aguda aos contaminantes ou condição de risco à segurança dos receptores, as medidas emergenciais deverão ser dimensionadas e submetidas à aprovação do IMA para serem adotadas imediatamente. **Deverá ser elaborado o “Relatório das Medidas Emergenciais” descrevendo os critérios, metodologias e resultados da aplicação das medidas para mitigação da exposição aguda aos contaminantes ou condição de risco à segurança dos receptores.**

10.3 Modelagem Matemática para Fins de Avaliação de Risco

A modelagem matemática a ser desenvolvida deverá ser empregada para simular o comportamento temporal da contaminação, possibilitando a verificação de alterações nos cenários de exposição, e prever a potencial alteração da qualidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, assim como definir a necessidade de adoção de medidas de intervenção.

No caso da verificação da ultrapassagem dos padrões legais para as águas subterrâneas por meio de modelos matemáticos, a modelagem deverá contemplar o transporte tridimensional das substâncias químicas de interesse, assim como os efeitos de retardamento, a influência de eventual bombeamento de poços de captação e outras interferências.

Os resultados dessa avaliação deverão ser apresentados por meio de:

- a) Texto explicativo, plantas e seções, para cada substância química de interesse, indicando a posição dos receptores e a distribuição das concentrações das substâncias químicas de



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- interesse atual e futura obtida por modelagem matemática;
- b)** A partir dos resultados da modelagem, deverão também ser apresentadas as concentrações máximas aceitáveis (CMA), em plantas e seções, para cada substância química de interesse junto a cada receptor e nos *hot spots*;
- c)** Conclusão sobre a necessidade de implementação de medidas de intervenção.

10.4 ETAPAS DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA, DE ACORDO COM A NORMA ABNT NBR 16209:2013

10.4.1 Coleta, Avaliação e Validação de Dados

A etapa de coleta, avaliação e validação de dados envolve a compilação e validação de todas as informações relevantes para o desenvolvimento de um modelo conceitual de exposição (MCE) da área de interesse, bem como a identificação dos dados básicos para a quantificação das doses de ingresso (In) das substâncias químicas de interesse (SQI).

10.4.1.1 COLETA DE DADOS

Dos Relatórios de Avaliação Preliminar, de Investigação Confirmatória, de Investigação Detalhada, devem ser obtidos os seguintes dados a serem avaliados e validados em conformidade com item 4.1.2 da norma ABNT NBR 16209:2013:

- a)** Resultados de análises químicas das amostras coletadas nos diferentes compartimentos do meio físico (solo, sedimento, água subterrânea, água superficial e ar) e alimentos;
- b)** As características do meio físico que podem afetar o transporte, a atenuação natural e a persistência dos contaminantes;
- c)** As características de uso e ocupação do solo na área de interesse.

10.4.1.2 AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS

A consolidação dos dados pode envolver diferentes eventos de amostragem, que eventualmente tenham como base diferentes técnicas de amostragem e métodos analíticos, os quais devem ser validados conforme os critérios descritos a seguir, bem como, quando aplicável, conforme norma ABNT NBR 15847.



ESTADO DE SANTA CATARINA

PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

10.4.1.3 ANÁLISES QUÍMICAS LABORATORIAIS

10.4.1.3.1 As análises químicas devem seguir métodos analíticos laboratoriais aceitos e padronizados para cada substância química. Os padrões de sensibilidade para os métodos analíticos devem ser selecionados de acordo com os valores legais aplicáveis estabelecidos pelo órgão competente e, na ausência de padrões nacionais, podem ser adotados padrões internacionais de referência.

10.4.1.3.2 As amostras devem ser analisadas dentro do prazo de validade específico para a análise de cada substância química. Caso contrário, os dados devem ser desconsiderados e um novo plano de amostragem e análises laboratoriais devem ser realizados.

10.4.1.3.3 O processo de avaliação e validação dos dados referentes às análises químicas laboratoriais deve se basear na ABNT NBR ISO 17025 e nas condições especificadas nesta subseção.

Desta forma, os laudos analíticos devem conter:

- a)** A identificação do projeto, nome e endereço da área de interesse;
- b)** A identificação da amostra e do ponto de amostragem, especificando a matriz (solo, sedimento, água superficial, água subterrânea, ar e alimentos) em que a amostra foi coletada, e seu código de identificação, o qual deve ser único, de modo a possibilitar a rastreabilidade da amostra;
- c)** Datas de recebimento das amostras pelo laboratório, de processamento da amostra e de realização da análise laboratorial, de acordo com normas aplicáveis;
- d)** A unidade de medida da concentração obtida na análise química, a qual deve ser coerente com a matriz amostrada;
- e)** A indicação se a análise da amostra de material sólido se refere à base úmida ou seca. Se úmida, especificar a umidade da amostra;
- f)** A indicação se o resultado da análise de amostra líquida se refere ao teor total ou à fração dissolvida;
- g)** Método analítico empregado e, quando aplicável, o método de preparo da amostra (extração, digestão etc.);
- h)** Limite de quantificação da amostra (LQA), limite de quantificação praticável (LQP) do método



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

para o laboratório, limite de detecção do método (LDM) e fator de diluição da amostra (FD), sendo $(LQA = LQP \times FD)$;

- i)** Nos casos em que as análises tenham sido conduzidas em condições anômalas, os qualificadores de resultados devem ser reportados (valor estimado, conforme 10.4.1.3.10);
- j)** Cromatogramas, nos casos de análises químicas por cromatografia.

10.4.1.3.4 Os laudos analíticos devem ser acompanhados de cadeia de custódia e relatório de recebimento das amostras, que permitam controlar e assegurar a qualidade e a rastreabilidade das amostras.

10.4.1.3.5 Na cadeia de custódia devem constar as seguintes informações:

- a)** Identificação do projeto, nome e endereço da área de interesse;
- b)** Empresa responsável pela coleta;
- c)** Identificação e assinatura do técnico responsável pela coleta;
- d)** Identificação e assinatura do responsável pelo transporte;
- e)** Identificação e assinatura do técnico responsável pelo recebimento das amostras no laboratório;
- f)** Identificação da amostra;
- g)** Identificação da matriz a ser analisada;
- h)** Identificação das substâncias químicas a serem quantificadas;
- i)** Quantidade e tipo de frascos utilizados por amostra;
- j)** Especificação dos conservantes eventualmente utilizados;
- k)** Data e horário de amostragem;
- l)** Data e horário de entrega ao laboratório;
- m)** Temperatura de chegada ao laboratório.

10.4.1.3.6 O relatório de recebimento das amostras deve especificar as condições das amostras no momento de seu recebimento pelo laboratório, como:

- a)** As amostras recebidas estão em caixas térmicas?
- b)** A caixa térmica está lacrada?



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- c)** Data de abertura da caixa térmica.
- d)** A cadeia de custódia está presente?
- e)** A temperatura da caixa térmica está entre $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$, medida no branco de temperatura?
- f)** As amostras recebidas estão intactas?
- g)** A quantidade de amostra é suficiente?
- h)** Os frascos utilizados são corretos para análise?
- i)** As amostras encontram-se preservadas corretamente?
- j)** As amostras respeitam o tempo de validade?
- k)** A identificação dos frascos coincide com a da Cadeia de Custódia?
- l)** Os frascos para compostos orgânicos voláteis (VOC) estão isentos de bolha?
- m)** O cliente foi comunicado, caso constatada alguma irregularidade?

10.4.1.3.7 Os laudos analíticos laboratoriais devem apresentar os critérios e resultados do controle de qualidade laboratorial adotados:

- a)** Valores de recuperação de traçadores e/ou recuperação na amostra fortificada (Spike);
- b)** Análise de branco do procedimento analítico laboratorial.

10.4.1.3.8 A validação dos dados deve considerar as informações contidas nos laudos analíticos e na cadeia de custódia. Desta forma, caso a cadeia de custódia não acompanhe o laudo analítico, ou não esteja devidamente preenchida e assinada, os laudos analíticos devem ser desqualificados para efeito do estudo de avaliação de risco à saúde humana.

10.4.1.3.9 No que se refere aos laudos analíticos, a validação dos dados deve considerar o período de validade da amostra estabelecido por normas ou pelos órgãos competentes, bem como observar os seguintes itens referentes aos LQA:

- a)** Se os resultados das análises laboratoriais das substâncias químicas forem superiores aos LQA, os dados podem ser considerados;
- b)** Caso os LQA sejam menores que os valores legais aplicáveis, os dados podem ser considerados;
- c)** Caso os LQA sejam maiores que os valores legais aplicáveis, as concentrações superiores aos



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

LQA devem ser consideradas, e para os resultados qualificados como não detectados (ND), deve ser considerada a possibilidade de realização de nova amostragem e/ou de adequação dos procedimentos analíticos. Feitas estas tentativas e mantidas a condição dos LQA superiores aos valores legais aplicáveis e resultados qualificados como não detectados (ND), a substância, ainda assim, deve ser considerada na etapa de identificação das SQI.

10.4.1.3.10 Quando aplicado e descrito no método analítico empregado, devem constar no laudo os qualificadores dos resultados (QR). O seguinte deve ser observado:

- a)** Os qualificadores que indicam o grau de incerteza da concentração de uma amostra devem ser reportados como: J (estimado entre limite de detecção - LD e limite de quantificação - LQ); M (precisão na injeção da duplicata não foi identificada); E (valor estimado devido à interferência da matriz ou quando a concentração excedeu os valores de calibração do instrumento); N (recuperação do branco fortificado do laboratório fora dos limites de controle); W (resultado do branco fortificado do laboratório fora dos limites de controle); B (substância química quantificada no branco e na amostra); D (substância identificada depois de uma diluição secundária); H (resultado de traçador fora dos limites de controle devido à interferência de matriz). Quando o resultado for abaixo do LD, reportar como menor que o valor numérico do LD;
- b)** A concentração à qual o qualificador J está associado deve ser reportada da mesma forma que as concentrações quantificadas, e esta concentração deve ser avaliada na etapa de identificação das SQI.

10.4.1.3.11 No caso de análise cromatográfica, se ocorrerem picos não reportados no laudo que possam representar concentrações significativas, esses picos devem ser identificados e a concentração quantificada correspondente deve ser considerada na avaliação de risco.

10.4.1.3.12 Amostras de branco de laboratório são utilizadas para aferir o processo de análise laboratorial, no que diz respeito à ocorrência de possíveis concentrações adicionais associadas aos procedimentos e equipamentos do laboratório. Os brancos podem ser de diferentes tipos: branco de calibração do método no laboratório, branco do reagente do laboratório, água utilizada para o



ESTADO DE SANTA CATARINA

PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

branco. Os resultados das análises de branco devem estar abaixo dos LQP.

10.4.1.4 MEIO FÍSICO

10.4.1.4.1 Os parâmetros do meio físico a serem avaliados e validados devem estar relacionados às características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas que podem influenciar o comportamento e o transporte do contaminante no meio físico, bem como serem passíveis de utilização nos modelos matemáticos utilizados nos estudos de avaliação de risco à saúde humana.

10.4.1.4.2 A verificação da adequação e a suficiência de dados no que se refere à caracterização do meio físico devem contemplar os seguintes compartimentos:

a) Solo – A descrição pedológica e litológica da área deve seguir o descrito na norma ABNT NBR 15492, bem como estar adequada para possibilitar a caracterização do comportamento dos contaminantes no meio físico, sendo necessário, para tanto:

- Definir as dimensões da área de interesse com base no modelo conceitual atualizado;
- Verificar se o número e a distribuição das sondagens realizadas são adequados;
- Verificar as profundidades alcançadas e se a descrição do material amostrado foi realizada;
- Verificar a consistência da interpretação dos dados geofísicos, quando disponíveis;
- Verificar se na interpretação da geologia local foram levadas em consideração as características geológicas regionais;
- Verificar se seções geológicas foram elaboradas em número suficiente para caracterização do meio físico em subsuperfície, considerando o sentido longitudinal e transversal do escoamento da água subterrânea;
- Verificar a qualidade e consistência dos dados provenientes das determinações realizadas para cada uma das camadas representativas para a caracterização do meio e rocha são quando aplicável, como granulometria, pH, potencial redox, fração de carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC), densidade aparente, umidade, permeabilidade, porosidade total e efetiva.
- Caso os dados não sejam suficientes para caracterização do compartimento em questão visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, deve-se prever a obtenção de dados complementares.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

b)Aquífero – A caracterização hidrogeológica da área de interesse deve ser avaliada visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, sendo necessário, para tanto, verificar:

- A instalação dos poços de monitoramento, conforme as normas ABNT NBR 15495-1 e 15495-2;
- A classificação do aquífero, conforme a Resolução CONAMA nº 396/2008 e suas futuras revisões;
- Se o mapa potenciométrico foi elaborado adequadamente, considerando o número de pontos de medição de nível d'água, a data de medição e o nivelamento dos poços;
- Se a geometria das linhas equipotenciais é consistente com a geologia e o relevo locais e se possibilita a identificação de áreas de recarga ou descarga eventualmente existentes;
- Se o sentido de fluxo das águas subterrâneas é consistente, considerando a potenciometria;
- Se a taxa de infiltração/recarga, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, carga hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico foram determinados ou se foram estimados.

Em caso de estimativa, verificar a adequação destes para o uso pretendido e a fonte de dados. Caso contrário, verificar se a quantidade de dados é suficiente e identificar se a metodologia utilizada para as determinações foi a adequada;

- A existência de aquíferos profundos, suas características e utilização, em caso de aquíferos confinados e semiconfinados, verificando a possibilidade de estarem conectados com o aquífero livre;
- A existência de aquitardes, aquicludes e aquíferos suspensos, estabelecendo a conexão entre eles;
- A existência e localização de poços de captação de água subterrânea, suas características construtivas, dados de produção, dados de teste de bombeamento, informações sobre zona de captura, bem como a geologia a eles associada;



ESTADO DE SANTA CATARINA

PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- Se foram realizadas determinações de granulometria, pH, potencial redox, carga hidráulica, condutividade hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico e porosidade efetiva e, caso necessário, a fração de carbono orgânico.
- Caso os dados não sejam suficientes para caracterização do aquífero visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, deve-se prever a obtenção de dados complementares.

c) Águas superficiais – Avaliar a existência de corpos de águas superficiais na área de interesse, sendo necessário verificar:

- O enquadramento, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas futuras revisões;
- O sentido de escoamento;
- A vazão do corpo d'água (preferencialmente a Q_{7,10} – vazão mínima de sete dias seguidos em um período de recorrência de dez anos), para o caso de rios;
- Sua perenidade e a vazão de recarga ou descarga associada ao aquífero local, caso necessário;
- A largura e a profundidade do corpo d'água, caso necessário;
- A cota da superfície da água e se ela foi obtida no mesmo período da obtenção das medidas de nível d'água nos poços;
- As variações de maré, quando aplicável;
- Os resultados de determinações realizadas, como pH, condutividade elétrica, potencial redox, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais em suspensão e dissolvidos.
- Caso os dados não sejam suficientes para caracterização das águas superficiais visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, deve-se prever a obtenção de dados complementares.

d) Ar – As características do compartimento ar e do clima da área de interesse devem ser avaliadas visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, sendo necessário verificar:

- A velocidade média, a direção e o sentido predominante dos ventos;
- Se a rosa dos ventos foi apresentada;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- A temperatura média do ar;
- A umidade relativa do ar;
- A pressão atmosférica;
- A taxa de precipitação média anual, a taxa de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial;
- As variações sazonais associadas ao ciclo hidrológico;
- A morfologia da área de interesse.

10.4.1.4.3 Caso os dados não sejam suficientes para caracterizar o compartimento ar e do clima visando o entendimento do comportamento dos contaminantes, deve-se prever a obtenção de dados complementares.

10.4.1.5 CONTAMINAÇÃO

A avaliação e a validação dos dados referentes à contaminação devem ser realizadas a partir dos dados obtidos nas investigações desenvolvidas (avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada), sendo necessário verificar se:

- a) As substâncias químicas associadas às fontes de contaminação foram consideradas para a amostragem dos compartimentos de interesse do meio físico;
- b) Os resultados identificaram a presença de substâncias não associadas às fontes de contaminação descritas no modelo conceitual atualizado. Caso isso ocorra, o modelo conceitual deve ser revisto;
- c) Os limites das plumas de contaminação foram definidos por meio de amostragem, considerando sua extensão nos planos horizontal e vertical;
- d) O número e a localização dos pontos de amostragem são suficientes e adequados para a delimitação das plumas, considerando os valores legais aplicáveis à região de estudo;
- e) Os pontos de amostragem onde foram detectadas as mais altas concentrações estão relacionados com as fontes de contaminação identificadas. Caso não estejam, é necessária a reavaliação dos dados, verificando a sua suficiência para a identificação das fontes e a caracterização da contaminação, revisando o modelo conceitual após a obtenção dos novos dados;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- f)** Foi constatada a presença de fase livre e, se identificada, verificar se ela foi delimitada adequadamente, considerando sua extensão e espessura.

Se a concentração dos compostos identificados for superior a 1% de sua solubilidade, deve ser avaliada a possível presença de fase livre, utilizando a Lei de Raoult para o caso de misturas de substâncias.

No caso da existência de fase livre, proceder conforme norma aplicável. A presença de fase livre não impede a realização da avaliação de risco à saúde humana fora da área de ocorrência, sendo que os resultados deste estudo devem ser obrigatoriamente revistos ao final da remoção da fase livre.

- g)** Caso os dados não sejam suficientes e adequados, deve-se prever a obtenção de dados complementares.

10.4.1.5.1 Valores representativos da área e livres de influência da fonte (VRA)

Os valores representativos da área e livres de influência da fonte (VRA) representam as concentrações das substâncias químicas de interesse de ocorrência natural, os quais estão presentes na área de interesse e isentos da influência das fontes de contaminação. A determinação dos VRA é recomendável quando as concentrações naturais das SQI forem anômalas ou quando não se dispor de valores que sejam representativos para a área, por exemplo, os valores legais aplicáveis ou aqueles determinados por pesquisa científica e referendados pelo órgão ambiental.

Os VRA devem ser estabelecidos por meio da coleta de amostras de solo, sedimento, água subterrânea e água superficial, obtidas em pontos que estejam fora da área de influência da fonte e em número suficiente, de modo a contemplar a variabilidade existente.

10.4.1.6 Transporte e atenuação natural

O transporte e a atenuação natural de contaminantes são os processos pelos quais as substâncias se movimentam e são transformadas no meio físico. A avaliação desses processos permite identificar os caminhos percorridos por uma substância química de interesse (SQI), desde a área-fonte até o PDE (Pontos de Exposição), bem como as transformações que ela sofrerá, permitindo determinar os produtos dessas transformações e suas concentrações finais nos PDE.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

As seguintes categorias de dados e informações devem ser avaliadas:

- a)** As propriedades físico-químicas das SQI consideradas, bem como dos produtos de sua transformação;
- b)** Os processos de transporte que ocorrem com a SQI a partir da área-fonte;
- c)** Os processos físicos, químicos e biológicos que podem influenciar a persistência e o movimento da SQI no meio físico;
- d)** As condições específicas da área de interesse que irão influenciar a movimentação de uma SQI no meio físico.

Pelo menos as seguintes propriedades das SQI devem ser identificadas, dada sua importância nos processos de transporte e de atenuação natural:

- a)** Peso molecular;
- b)** Solubilidade em água;
- c)** Densidade;
- d)** Pressão de vapor;
- e)** Constante da Lei de Henry;
- f)** Coeficientes de partição;
- g)** Coeficientes de difusão;
- h)** Fator de bioconcentração;
- i)** Taxas de transformação e degradação.

Visando a compreensão dos mecanismos que determinam a eventual exposição de receptores potenciais, devem ser avaliados os processos de transporte e atenuação natural nos meios e os mecanismos de transferência entre meios. Para tanto, os seguintes dados e informações devem ser avaliados:

- a)** A velocidade de fluxo da água subterrânea para determinar quando uma pluma de contaminação irá atingir um determinado PDE (Ponto de Exposição);
- b)** A dispersão dos contaminantes no meio físico que influenciará a distribuição e as concentrações das SQI nos compartimentos do meio físico;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- c) A distribuição espacial da contaminação, considerando a migração horizontal e vertical das SQI;
- d) A degradação biológica, a volatilização e a retenção das SQI nos compartimentos do meio físico.

Em relação aos fatores inerentes à área de interesse, devem ser considerados aqueles especificados em 10.4.2.2.

Caso os dados e informações relevantes para a avaliação do transporte e atenuação natural não estejam disponíveis, devem ser utilizados cenários mais conservadores de exposição.

10.4.2 Avaliação de Exposição

O objetivo da avaliação de exposição é determinar o tipo, a magnitude e a frequência da exposição humana às SQI que estão presentes no meio físico, associados a um dado evento de exposição atual e/ou futuro. Um evento de exposição de um receptor a uma SQI pode se estender por um período de tempo (horas, dias, anos) ou ser um evento isolado.

A exposição pode ser direta ou indireta. A direta ocorre quando o receptor está diretamente em contato com o compartimento do meio físico contaminado ou com a fonte primária de contaminação, e a indireta quando as SQI atingem o receptor através de outros compartimentos do meio físico que não o contaminado.

O desenvolvimento da avaliação de exposição proporciona a definição dos cenários de exposição e a quantificação do ingresso (I), possibilitando a atualização do modelo conceitual no que se refere à exposição.

A etapa de avaliação de exposição pode ser dividida em dois passos distintos, a saber:

- a) Caracterização dos cenários de exposição;
- b) Quantificação do ingresso.

10.4.2.1 Caracterização dos cenários de exposição

A caracterização dos cenários de exposição consiste em definir todos os caminhos pelos quais a contaminação se desloca a partir da fonte primária e chega a uma população potencialmente



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

exposta.

Cada cenário de exposição deve descrever um único mecanismo pelo qual cada população pode ser exposta a uma substância química, considerando um PDE (Ponto de Exposição) e uma via de ingresso.

Os cenários de exposição devem ser sempre relacionados aos seguintes elementos:

- a) Fonte primária de contaminação;
- b) Fonte secundária de contaminação;
- c) Caminho de exposição;
- d) Ponto de exposição (PDE);
- e) Via de ingresso;
- f) Receptores.

10.4.2.1.1 Fontes de contaminação

Uma área fonte está associada à origem da contaminação, e sua identificação deve servir de base para determinar quais compartimentos do meio físico podem ser impactados e como as SQI chegam aos receptores potencialmente expostos. Cada área-fonte compreende um ponto ou área onde ocorre (ou ocorreu) a liberação da SQI para o meio físico.

A caracterização das fontes de contaminação, bem como as eventuais mudanças nelas ocorridas ao longo do tempo, devem ser identificadas a partir dos dados contidos nos relatórios de avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada e de outros documentos disponíveis.

Nesses relatórios devem ser identificadas as seguintes informações:

- a) As substâncias identificadas no levantamento histórico, indicando aquelas que não foram identificadas nos trabalhos de investigação anteriores à avaliação de risco;
- b) O período de atividade e a estimativa do tempo durante o qual as fontes permaneceram ativas;
- c) Os mecanismos de liberação das substâncias para o meio impactado;
- d) Os compartimentos do meio físico potencialmente impactados;
- e) O relato de indícios de contaminação observados na inspeção do local;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- f)** A localização das fontes em planta, com a determinação de sua área e geometria;
- g)** As ações de controle e eliminação das fontes, especificando a forma de intervenção e a época em que essas ações foram implementadas.

As informações sobre as fontes de contaminação devem ser utilizadas para auxiliar na estimativa do tipo e duração da potencial exposição.

10.4.2.1.2 Substâncias químicas de interesse (SQI)

A identificação das SQI é feita em duas etapas. Na primeira etapa é feita uma seleção com base nos dados referentes às substâncias identificadas na área investigada. Na segunda etapa é feita a seleção das substâncias de interesse, tendo em vista sua significância para a avaliação de risco.

10.4.2.1.2.1 ETAPA 1

Para cada uma das fontes de contaminação, faz-se necessária a identificação dos contaminantes potenciais, conforme os critérios a seguir:

- a)** Verificar se todos os contaminantes potenciais foram analisados, os quais devem ser identificados com base no histórico das fontes (matérias-primas, produtos, produtos de reação, metabólitos, resíduos, etc.);
- b)** Listar para cada compartimento do meio físico (ar, solo, sedimento, água superficial e água subterrânea) os contaminantes encontrados e validados em 10.4.1.3 que estão acima do limite de quantificação;
- c)** Listar para cada compartimento do meio físico os contaminantes encontrados e validados que estão acima dos valores legais aplicáveis (valores orientadores, padrões de potabilidade etc.);
- d)** Verificar se houve determinação de VRA (Valores representativos da área e livres de influência da fonte). Se positivo, avaliar a aplicabilidade deste valor;
- e)** Caso os VRA sejam adotados e estejam acima dos valores legais aplicáveis, adotar os VRA como referência para a avaliação de risco da área de interesse.



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Se o resultado analítico das amostras coletadas na área sob investigação indicar concentrações inferiores ao VRA estabelecido para a substância em questão, esta poderá ser descartada da avaliação de risco concernente à área-fonte sob investigação, devendo esta decisão ser justificada.

10.4.2.1.2.2 ETAPA 2

A seleção das substâncias a serem consideradas na avaliação de risco, entre aquelas selecionadas na etapa 1, deve obedecer aos seguintes critérios:

- a) Possuir dados toxicológicos validados cientificamente e disponíveis;
- b) Possuir dados físico-químicos validados cientificamente e disponíveis;
- c) Estar envolvidas em cenários de exposição a serem avaliados;
- d) Possuir relação R_{ij}/R_j (fator de risco para a substância i no meio j / fator de risco total no meio j) superior a 0,01. Esta fração é calculada separadamente para as substâncias carcinogênicas e não carcinogênicas, como abaixo:

$$R_{ij} = (C_{ij}) \times (T_{ij})$$

Onde:

R_{ij} é o fator de risco para substância i no meio j;

C_{ij} é a concentração da substância i no meio j;

T_{ij} é o valor da toxicidade para substância i (para carcinogênicos utilizam-se os valores de SF (fator de carcinogenicidade) e para não carcinogênicos os valores correspondentes a $1/RfD$).

O fator de risco total para o meio é:

$$R_j = R_{1j} + R_{2j} + \dots R_{nj}$$

Obs.: Os dados relativos à toxicidade utilizados na equação do quadro acima são apresentados no item 4.3 da norma ABNT NBR 16209:2013 (Análise de Toxicidade). Somente devem ser consideradas no cálculo do risco por compartimento do meio físico as SQI selecionadas para aquele compartimento.

10.4.2.1.3 Receptores Potenciais

Uma avaliação deve ser realizada visando à identificação e caracterização das populações que



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

tenham sido expostas no passado, estejam expostas no presente e que possam estar potencialmente expostas no futuro. Os receptores expostos no passado que eventualmente sejam identificados devem ser avaliados sob o ponto de vista da saúde pública.

Os seguintes aspectos devem ser considerados para a identificação das populações potencialmente expostas:

- a) Receptores residenciais:** deve ser identificada a existência de casas, edifícios residenciais e outras estruturas residenciais localizadas na área ou em suas proximidades;
- b) Receptores recreacionais:** devem ser identificadas atividades recreacionais em áreas contaminadas ou em suas proximidades, associadas a campos, parques, rios, lagos e praias;
- c) Receptores trabalhadores (industrial ou comercial):** devem ser identificados, dentro e fora da área de interesse, trabalhadores que exerçam suas atividades em ambientes fechados e abertos;
- d) Trabalhadores da construção civil:** devem ser identificados, dentro da área de interesse, trabalhadores cujas atividades possam proporcionar contato com solo, água subterrânea e água superficial;
- e) Receptores eventuais:** devem ser identificados visitantes à área de interesse e suas proximidades.

A caracterização dos receptores envolve o levantamento das atividades, hábitos e dados demográficos das populações identificadas, podendo ser efetuada por meio de levantamento local ou bibliográfico. Os seguintes aspectos devem ser considerados:

- a) Dados demográficos,** como expectativa de vida, massa corpórea e altura;
- b) Dados exposicionais,** como duração, frequência e tempo de permanência no local de exposição, área superficial da pele, taxas de contato, fração de alimentos consumidos que são produzidos na área de interesse, taxas de ingestão de solo e água e taxas de inalação;
- c) Presença de subpopulações sensíveis,** como crianças, idosos, gestantes e portadores de condições patológicas. A identificação destas subpopulações está associada à existência de escolas, creches, playgrounds, asilos, unidades de saúde ou dados que evidenciem populações sensíveis na região;



ESTADO DE SANTA CATARINA

PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- d) Presença de subpopulações que em função de seus hábitos alimentares devem ser consideradas de forma diferenciada no processo de avaliação de risco. A identificação destas subpopulações está associada à existência de receptores que consumam alimentos produzidos no local;
- e) A identificação da origem de suprimento de água e seus usos.

Após o término desta etapa, devem ser apresentados quais receptores serão considerados, suas características, localização e se constituem receptores atualmente expostos ou que estarão potencialmente expostos no futuro.

10.4.2.1.4 Pontos de exposição (PDE)

Os PDE, onde podem ocorrer o contato das SQI com um potencial receptor, devem ser identificados para cada compartimento do meio físico impactado ou potencialmente impactado, considerando os cenários atuais e futuros de uso e ocupação.

Os seguintes compartimentos devem ser considerados para a identificação de PDE:

- a) Água subterrânea: se ocorrer a utilização de poços e nascentes para abastecimento municipal, industrial, doméstico e agrícola, bem como para atividades recreacionais.
- b) Solo: se ocorrer contato com as SQI presentes no solo superficial e subsuperficial;
- c) Água superficial: se ocorrer sua utilização para abastecimento municipal, industrial, doméstico e agrícola, bem como para atividades recreacionais e de pesca;
- d) Sedimentos: se ocorrer o contato com as SQI presentes com potenciais receptores, como trabalhadores envolvidos com a remoção desse material e receptores envolvidos com outras atividades ocupacionais e recreacionais;
- e) Ar: na ocorrência de cenários de exposição em ambientes abertos e espaços fechados contemplando todos os potenciais receptores;
- f) Alimentos: se ocorrer a presença de receptores que utilizem alimentos provenientes da área de interesse.

10.4.2.1.5 Caminhos de exposição



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Um caminho de exposição é o trajeto percorrido por uma SQI, desde a área-fonte até o receptor, no PDE (Ponto de Exposição).

As seguintes informações devem ser consideradas na análise dos caminhos de exposição:

- a)** Os compartimentos do meio físico que estão impactados (ar, água, solo e biota);
- b)** Os mecanismos de transporte das SQI desde a área-fonte até os PDE;
- c)** A localização dos PDE;
- d)** Os receptores potencialmente expostos;
- e)** Os caminhos de exposição cujos cálculos de ingresso (I) são apresentados no item 4.2.2 da norma ABNT NBR 16209:2013:
 - Emissão de vapores e partículas a partir do solo superficial;
 - Lixiviação do solo para água subterrânea;
 - Transporte em meio saturado de água subterrânea contaminada;
 - Transporte em meio não saturado de vapores a partir do solo subsuperficial;
 - Transporte em meio não saturado de vapores a partir da água subterrânea;
 - Transporte da contaminação do solo para o alimento.

10.4.2.1.6 Vias de ingresso

Nesta etapa devem ser identificadas as vias pelas quais as SQI podem ingressar no organismo dos receptores potencialmente expostos para todos os caminhos de exposição considerados. As vias de ingresso consideradas na avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas são as seguintes:

- a)** Ingestão de contaminantes presentes na água subterrânea, água superficial, solo e alimentos;
- b)** Inalação de contaminantes presentes no ar, incluindo vapores emitidos a partir da água subterrânea, água superficial, solo superficial e solo subsuperficial;
- c)** Contato dérmico com contaminantes presentes na água subterrânea, água superficial e solo.

10.4.2.1.7 Concentrações nos Pontos de Exposição (CPDE)

Nesta etapa devem ser determinadas as concentrações das SQI que potencialmente ocorrem no PDE (Ponto de Exposição), por meio dos resultados analíticos disponíveis ou estimados por



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

modelos matemáticos, as quais serão utilizadas para cálculo do ingresso (I).

As CPDE devem ser determinadas para todos os compartimentos do meio físico (ar, solo superficial e subsuperficial, água subterrânea e superficial) relevantes para a avaliação de risco, para os quais foram identificados caminhos de exposição completos conforme item 10.4.2.1.5 deste termo.

Para determinação das CPDE (Concentrações nos Pontos de Exposição), deve ser considerada a localização do PDE em relação à pluma de contaminação (solo superficial, solo subsuperficial, água subterrânea ou água superficial).

Se o PDE estiver dentro da pluma, a CPDE a ser adotada deve ser a concentração mais representativa para a área-fonte considerando um determinado compartimento do meio físico. Sendo assim, a CPDE pode ser obtida:

- a) A partir da máxima concentração analítica laboratorial da SQI em questão;
- b) A partir da identificação da média ou mediana que melhor represente a CPDE;
- c) A partir da quantificação do UCL95 que melhor represente a CPDE;
- d) A partir da análise estatística de Monte Carlo que melhor represente a CPDE.

Se o PDE estiver localizado fora da pluma, a CPDE a ser adotada deve ser a concentração obtida por modelagem matemática do transporte do contaminante, a partir da máxima concentração (analítica laboratorial) localizada dentro da pluma. Na modelagem matemática, caso o conjunto de dados dos parâmetros do meio físico seja limitado, devem ser empregados aqueles que proporcionem as maiores concentrações no PDE. Caso contrário, deve ser realizado tratamento estatístico adequado dos dados, visando identificar valores representativos dos parâmetros para o meio considerado.

10.4.2.1.8 Consolidação dos cenários de exposição

A consolidação dos cenários de exposição deve contemplar somente as situações em que uma SQI está (ou estará) em contato com as populações potencialmente expostas.

Os elementos descritos anteriormente devem estar identificados e caracterizados para que um cenário de exposição seja considerado completo. A caracterização de cada um desses elementos



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

deve servir como base para identificação de eventos de exposição atuais e futuros relacionados à área de interesse.

A integração de todas as informações de 10.4.2.1.1 a 10.4.2.1.7 deste termo permite determinar os cenários de exposição. Devem ser consideradas três situações quanto aos cenários de exposição:

- a) Cenários de exposição completos. Todos os seis elementos estão presentes;
- b) Cenários potenciais de exposição. Um ou mais dos elementos podem não estar presentes, mas não existe informação suficiente para eliminar ou excluir o cenário;
- c) Cenários de exposição incompletos. Um ou mais dos elementos estão ausentes. Neste caso, o cenário não é considerado na avaliação de risco.

10.4.2.1.9 Documentação e apresentação de cenários de exposição

Esta subseção descreve como integrar as informações obtidas e apresentar as conclusões sobre os cenários de exposição, contendo uma descrição sobre a relação entre fontes de contaminação, SQI, caminhos de exposição e receptores na área de interesse. O texto deve incluir no mínimo:

- a) A descrição de todos os cenários de exposição completos, os cenários que ocorreram no passado, que ocorrem no presente ou que poderão ocorrer no futuro;
- b) A descrição de quaisquer cenários eliminados, especificando os motivos da eliminação;
- c) A discussão de todos os caminhos de exposição e vias de ingresso, relatando suas condições e especificidades;
- d) A localização e caracterização das populações potencialmente expostas;
- e) Dados ou estimativas que permitiram estabelecer as condições temporais de exposição (crônica, subcrônica ou aguda).

10.4.2.1.10 Modelo conceitual de exposição (MCE)

O modelo conceitual de exposição (MCE) constitui-se em uma síntese das informações relativas a uma área em estudo, onde se pode visualizar, por meio de texto explicativo e ilustração, a localização da contaminação, o transporte e distribuição das SQI desde as fontes primárias ou



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

secundárias até os PDE (Pontos de Exposição) e sua relação à exposição dos receptores existentes, representando o conjunto de cenários de exposição presentes na área de interesse.

Um MCE deve ser desenvolvido para cada área de interesse considerando suas características específicas, considerando uma área de fonte primária, fontes de contaminação secundárias, receptores e PDE na área de interesse, caminhos de exposição e vias de ingresso.

10.4.2.2 Quantificação do Ingresso

O ingresso é definido pela fração da SQI que está na interface de contato com o organismo exposto (pulmões, pele e intestino) e disponível para absorção, sendo expresso pela massa de SQI, por massa corpórea e unidade de tempo, considerando as diferentes vias de ingresso.

O cálculo do ingresso (I) deve considerar os diferentes cenários de exposição definidos no MCE da área de interesse. **A quantificação do ingresso deve ser realizada seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 16209:2013.**

10.4.3 Análise de Toxicidade

Esta etapa consiste na seleção de dados toxicológicos relativos às SQI, de modo a possibilitar a interpretação dos possíveis efeitos adversos à saúde humana associados a um evento de exposição.

Esses dados devem ser obtidos em bancos de dados toxicológicos validados cientificamente, que servirão como fonte de informações sobre o perfil toxicológico da SQI, como:

- a) Tipos de efeitos adversos à saúde;
- b) Fatores de carcinogenicidade;
- c) Doses de referência.

Na identificação dos efeitos adversos à saúde, inicialmente a SQI deve ser caracterizada quanto aos seus efeitos carcinogênicos ou não carcinogênicos, com base nas evidências científicas descritas no banco de dados selecionado. Devem também ser reportados os principais efeitos deletérios ao organismo exposto a SQI.

O levantamento de dados de dose-resposta é o processo de análise das informações



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência de efeitos adversos à saúde da população exposta. A partir dessa análise, valores toxicológicos (dose de referência e fator de carcinogenicidade) são identificados, sendo determinados aqueles que serão utilizados para estimar a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos em função da exposição humana a uma SQI.

Para as substâncias carcinogênicas não há, teoricamente, um nível de exposição que seja isento de risco, enquanto para as substâncias não carcinogênicas há uma concentração abaixo da qual os efeitos adversos não são esperados.

Devido a essas diferenças, devem-se considerar separadamente os efeitos carcinogênicos e os não carcinogênicos.

A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base no fator de carcinogenicidade (SF), que representa a inclinação da curva dada pela regressão linear de dados de ensaios de dose e resposta para efeitos carcinogênicos. O SF possibilita o cálculo da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer durante o tempo de vida, como resultado de exposição a uma concentração de uma SQI. O SF é expresso pelo inverso da relação entre a massa da SQI, pela massa corpórea e tempo de avaliação para o efeito $(\text{mg/kg.dia})^{-1}$.

A análise toxicológica para efeitos não carcinogênicos é realizada com base na determinação da dose de referência (RfD), a qual é dependente da via de ingresso, dos efeitos adversos e da duração da exposição.

No que se refere à duração da exposição, a RfD pode ser classificada em aguda, crônica e subcrônica, que se diferenciam pela manifestação dos efeitos adversos em função do tempo de exposição.

A dose de referência e o fator de carcinogenicidade podem ser determinados para cada via de ingresso, como: inalação, ingestão e contato dérmico. Deve-se atentar para o fato de que nem sempre estarão disponíveis os dados toxicológicos para todas as vias de exposição. Nesses casos, podem ser aplicados os dados provenientes de uma via não específica e justificada sua adoção, com base nas orientações existentes no banco de dados consultado ou em literatura científica.

Os dados toxicológicos não carcinogênicos e carcinogênicos devem ser obtidos preferencialmente em bancos de dados existentes em órgãos ambientais ou de saúde do país e, na



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

sua ausência, no Integrated Risk Information System (IRIS) da Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S.EPA).

10.4.4 Caracterização do Risco

Nesta etapa o risco à saúde humana deve ser quantificado. A quantificação do risco deve ser realizada individualmente para cada SQI considerando seu efeito carcinogênico e não carcinogênico, para cada caminho de exposição identificado no modelo conceitual de exposição da área de interesse.

Após quantificado o risco individual das SQI para todos os caminhos de exposição, deve-se proceder ao somatório dos riscos associados à exposição simultânea a todas as SQI e caminhos de exposição.

Para as substâncias carcinogênicas, a caracterização do risco representa a probabilidade adicional do desenvolvimento de câncer no decorrer do tempo de vida a partir da exposição a uma SQI.

Para fixação das metas de remediação e gerenciamento do risco, o risco carcinogênico calculado deve ser comparado com o nível de risco aceitável estabelecido pelo órgão regulamentador local.

O risco não carcinogênico é caracterizado pelo quociente de risco (QR), que expressa a relação entre o ingresso (In) de determinada SQI e a dose de referência (RfD) desta SQI para uma dada via de ingresso. O QR deve ser menor que 1, pois um valor de QR que ultrapasse a unidade indica uma possibilidade maior de ocorrência de um efeito adverso à saúde.

A caracterização de risco só pode ser considerada completa quando a quantificação do risco estiver acompanhada de interpretação e de análise das incertezas a ela associadas.

10.4.4.1 Quantificação de risco para efeitos carcinogênicos

Esta quantificação deve ser realizada seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 16209:2013.

10.4.4.2 Quantificação de risco para efeitos não carcinogênicos



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

Esta quantificação deve ser realizada seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 16209:2013.

10.4.5 Análise de Incertezas

Para consolidação de uma avaliação de risco, as incertezas a ela associadas devem ser caracterizadas e, se possível, quantificadas. Estas usualmente podem estar associadas a todas as etapas do processo de avaliação de risco.

Nesta etapa, devem ser apresentados os procedimentos de identificação e caracterização de incertezas associadas à avaliação de risco à saúde humana. Também deve ser descrita a melhor forma de apresentar informações relevantes baseadas no grau de confiança da estimativa de risco à saúde humana quantificado para uma área de estudo.

Para a norma ABNT NBR 16209:2013, é fundamental a identificação das variáveis significativas relacionadas à área de estudo e premissas que mais contribuam para as incertezas.

O foco desta etapa são as aproximações qualitativas e semiquantitativas que podem influenciar diretamente nos resultados finais da quantificação do risco.

Devem ser identificadas e caracterizadas as seguintes categorias de incertezas associadas de avaliação de risco à saúde humana, conforme norma ABNT NBR 16209:2013:

- a) Incertezas ligadas a informações da área de estudo;**
- b) Incertezas ligadas à análise de toxicidade;**
- c) Incertezas ligadas à avaliação da exposição.**



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

11. ANEXO 3 – ELABORAÇÃO DE PLANO DE INTERVENÇÃO E MONITORAMENTO, COM BASE NA NORMA ABNT NBR 16784-1:2020

11.1 A elaboração de um plano de intervenção deve ser realizada de forma clara e concisa, dentro de uma abordagem sistemática de avaliação das melhores alternativas de intervenção visando à reabilitação da área contaminada para uso pretendido, considerando a mitigação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente a níveis aceitáveis de risco bem como, quando possível, a extinção da exposição.

11.2 O plano de intervenção deve ser desenvolvido considerando as seguintes etapas:

- a)** Definição dos objetivos do plano de intervenção;
- b)** Definição das medidas de intervenção a serem adotadas;
- c)** Seleção das técnicas a serem adotadas;
- d)** Desenvolvimento do modelo conceitual de intervenção;
- e)** Análise das incertezas e limitações do plano de intervenção.

Definição dos Objetivos do Plano de Intervenção

11.3 Os objetivos do plano de intervenção devem ser definidos considerando a conclusão acerca da necessidade de adoção de medidas de intervenção, definidas na etapa de avaliação de riscos à saúde humana que deve ser realizada conforme a norma ABNT NBR 16209:2013 ou risco ecológico, quando em ecossistemas naturais, conforme item 3.39 da norma ABNT NBR 16784-1:2020.

11.4 Os seguintes objetivos devem ser considerados na elaboração do plano de intervenção, quando aplicáveis:

- a)** Controlar as fontes de contaminação identificadas;
- b)** Atingir os níveis aceitáveis de risco aos receptores humanos ou ecológicos expostos à área contaminada;
- c)** Evitar que outros bens a proteger sejam afetados;

11.5 A definição dos objetivos do plano de intervenção deve estar alinhada à classificação da área, conforme a seguir:



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- Área contaminada com risco confirmado;
- Área contaminada em processo de remediação;
- Área contaminada em processo de reutilização;
- Área em processo de monitoramento para encerramento.

Definição das Medidas de Intervenção a Serem Adotadas

11.6 A decisão sobre as medidas de intervenção a serem propostas deve ter como base:

- a) A redução das concentrações das substâncias químicas de interesse nos compartimentos do meio físico contaminados que oferecem risco à saúde humana ou risco ecológico, considerando a sua distribuição espacial mapeada anteriormente na etapa de investigação detalhada;
- b) O controle e, se possível, a eliminação da exposição de receptores localizados em regiões nas quais foi quantificado algum risco acima de níveis aceitáveis;
- c) A contenção e o controle da expansão das plumas de contaminação mapeadas na investigação detalhada.

11.7 A definição das medidas de intervenção deve ser realizada com base nas seguintes etapas:

- Definição das premissas;
- Compilação e análise de dados existentes;
- Definição das medidas de intervenção.

11.8 Para o atingimento dos objetivos propostos, o plano de intervenção pode também estabelecer medidas de remediação (técnicas de tratamento e contenção), medidas de engenharia e medidas de controle institucional, que podem ser adotadas em conjunto ou isoladamente.

11.9 Definição das Premissas – A principal premissa para a elaboração do plano de intervenção é garantir por meio de medidas de remediação, de engenharia, e/ou institucionais **que seja possível a reabilitação do imóvel para o uso pretendido**. As premissas a serem consideradas incluem:

- A) Não ampliação das unidades de exposição definidas nos mapas de risco;**
- B) Controlar, eliminar ou interromper a exposição dos receptores;**
- C) Considerar a viabilidade técnica e os aspectos econômicos e ambientais;**
- D) Considerar a capacitação técnica das partes envolvidas na elaboração do plano de**



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

intervenção.

Metas para Reabilitação para o Uso Pretendido

11.10 As metas para reabilitação para o uso pretendido devem ser analisadas considerando a classificação como área contaminada em processo de reutilização ou área contaminada em processo de remediação.

11.11 Nesta etapa, caso disponível, devem ser analisados os projetos arquitetônicos e civis disponíveis para o uso pretendido, e as interpretações e conclusões obtidas no gerenciamento da contaminação até o momento (como nas etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco), visando dar o suporte para a decisão quanto à ocupação da área em níveis aceitáveis de risco, considerando a manutenção ou mudança do uso atual, bem como no caso da ampliação e/ou mudança da atividade potencialmente poluidora.

11.12 Esta análise deve ser conduzida visando ao atendimento dos objetivos de utilização atual e futura da área, declarados na etapa de avaliação de risco. **Nos casos em que a utilização futura da área seja declarada como indefinida, o plano de intervenção deve ser elaborado considerando o modelo conceitual de exposição (MCE) desenvolvido com base nos cenários de exposição mais restritivos.**

11.13 O plano de intervenção deve identificar e analisar informações e dados constantes no projeto pretendido que sejam efetivamente relacionados às atividades de reabilitação da área como: uso, características de ambientes abertos e fechados, interferências subterrâneas, isto é, características que efetivamente podem interferir na distribuição espacial da contaminação, gerando desta forma algum tipo de exposição e risco acima dos níveis aceitáveis. Para fins de reabilitação de áreas com manutenção do uso, devem ser disponibilizadas para análise as informações necessárias para a avaliação.

11.14 Considerando as metas para reabilitação para o uso pretendido, deve ser analisado se foram contemplados:

- a) O desenvolvimento dos mapas de risco para cada cenário de exposição previsto no MCE (Modelo Conceitual de Exposição), considerando cada SQI (Substância Química de Interesse) e compartimento do meio físico contaminado;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- b) O desenvolvimento do mapa de restrição quanto ao uso da água subterrânea;
- c) O mapeamento de pontos de exposição relacionados a receptores que consumam água potável considerando no mínimo: poços de abastecimento públicos e privados, cursos d'água classificados conforme legislação aplicável, nascentes, área de recarga e descarga de aquíferos regionais;
- d) O desenvolvimento do modelamento matemático de transporte de contaminantes em meio saturado na fase dissolvida e em meio não saturado na fase de vapor, quando pertinente, entre as áreas da fonte de contaminação e os pontos de exposição previstos do MCE;
- e) O cálculo de todas as CMA (Concentrações Máximas Aceitáveis) para cada SQI (Substância Química de Interesse) considerando todos os cenários de exposição e unidades de exposição que compõem o MCE;
- f) A identificação da CMA mais representativa para cada compartimento de meio físico contaminado, as quais são referência para a reabilitação da área para o uso pretendido.

Definição das Medidas de Intervenção

11.15 As medidas de intervenção a serem aplicadas para reabilitação da área contaminada devem ser determinadas com base nos objetivos definidos conforme item 3.2 da norma ABNT NBR 16784-1:2020. Devem ser avaliadas a aplicação individual ou em conjunto de medidas de remediação (técnicas de tratamento e contenção), medidas de engenharia e medidas de controle institucional.

11.16 As medidas de remediação utilizando técnica de contenção, de controle institucional e de engenharia **devem ser aplicadas nas situações em que as medidas de remediação utilizando técnicas de tratamento NÃO se mostrem, a curto e médio prazos, suficientes para o controle dos riscos, sua aplicação se mostre inviável técnica e economicamente ou possa intensificar o risco aos receptores ou o dano ao ambiente.**

11.17 Caso seja proposta medida de restrição de uso de água subterrânea, deve(m) ser especificado(s) o(s) aquífero(s), os volumes de cada aquífero (a área e a profundidade) e o tempo de vigência da medida, cuja estimativa deve ser baseada nos resultados obtidos nas etapas de investigação (avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco) da área. **Se necessário, a estimativa de tempo de vigência deve considerar o uso de**



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

modelagem matemática de fluxo e transporte das substâncias químicas de interesse.

11.18 Para medidas de remediação utilizando técnicas de tratamento ou contenção de longo prazo, **pode ser estabelecido um período de monitoramento, quanto à viabilidade de atingimento dos objetivos estabelecidos no plano de intervenção.**

11.19 Nos casos de áreas em processo de reutilização, onde sejam constatadas evidências de que a contaminação detectada tem origem em fontes de contaminação externas à área do empreendimento, e que por esse motivo, sejam utilizadas técnicas de contenção de longo prazo, a solução adotada terá vigência por tempo indeterminado e sem necessidade de monitoramento analítico desde que os resultados das campanhas de monitoramento para encerramento do processo na área indiquem tendência de redução ou estabilidade das plumas de contaminação.

Seleção das Técnicas a Serem Adotadas

11.20 Uma vez definidas as medidas de intervenção a serem adotadas, deve ser selecionada a técnica ou o conjunto de técnicas que irão compor cada uma destas medidas. Esta seleção deve ser realizada considerando os seguintes itens:

- a)** A disponibilidade da técnica no momento da aplicação;
- b)** A aplicabilidade da técnica considerando as propriedades das SSI e as características do meio contaminado;
- c)** As consequências ambientais de sua aplicação;
- d)** O custo estimado;
- e)** O tempo necessário para atingimento das metas de remediação;
- f)** Os requisitos legais.

Desenvolvimento do Modelo Conceitual de intervenção

11.21 O modelo conceitual de intervenção deve ser elaborado, contendo minimamente os seguintes itens:

- a)** As metas de remediação propostas para as medidas de remediação, assim como as concentrações máximas aceitáveis para as medidas de engenharia e de controle institucional, apresentando as justificativas para a sua adoção;



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

- b)** Descrição das técnicas escolhidas e justificativa técnica para escolha com base nos critérios estabelecidos no item 4.4 da norma ABNT NBR 16784-1:2020;
- c)** Mapa de intervenção em escala apropriada considerando cada substância química de interesse e compartimento do meio físico alvo da reabilitação;
- d)** Mapa de pontos de conformidade em escala apropriada considerando cada receptor exposto identificado no modelo conceitual de exposição definido na etapa de avaliação de risco;
- e)** Parâmetros que serão monitorados e critérios de monitoramento para avaliação de desempenho para cada medida de reabilitação escolhida;
- f)** Planta e seções com os locais de intervenção em escala apropriada, na qual devem ser especificadas em conjunto cada medida de intervenção (medidas de controle institucional, de engenharia e de remediação), indicando conceitualmente a localização das instalações físicas e projeção de zonas de influência;
- g)** Relato técnico das limitações e incertezas de cada medida de intervenção (medidas de controle institucional, de engenharia e de remediação) escolhida como válida para reabilitação da área contaminada.

Análise das Incertezas e Limitações do Plano de Intervenção

11.22 Para consolidação de um plano de intervenção, as incertezas associadas às etapas de investigação ambiental e avaliação de risco devem ser caracterizadas e, se possível, quantificadas, como também associadas às premissas utilizadas para o seu desenvolvimento. O foco desta etapa são as aproximações qualitativas e/ou semiquantitativas que podem influenciar diretamente nos resultados finais dos objetivos definidos para o plano de intervenção (ver item 3.2 da norma ABNT NBR 16784-1:2020).

11.23 Nesta etapa, devem ser apresentados os procedimentos de identificação e caracterização de incertezas associadas ao plano de intervenção, e descritas as formas de mitigação e controle dos impactos causados.

11.24 Devem ser identificadas e caracterizadas as seguintes categorias de incertezas associadas ao plano de intervenção:

- a)** Incertezas ligadas às etapas de Gerenciamento de Áreas Contaminadas desenvolvidas



ESTADO DE SANTA CATARINA PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

anteriormente, associadas a limitações das técnicas e procedimentos utilizados;

- b) Incertezas relacionadas ao uso e ocupação futura pretendida para a área;
- c) Incertezas relacionadas a medidas de intervenção propostas no plano de intervenção.

Relatório Técnico do Plano de Intervenção

11.25 O relatório técnico do plano de intervenção deve conter minimamente o disposto nos itens 4.2 a 4.6 da norma ABNT NBR 16784-1:2020, bem como deve possuir as seguintes etapas.

- a) **Introdução** – Na introdução, deve ser apresentado o contexto do plano de intervenção e as razões e/ou justificativas para sua elaboração, estabelecendo relações com outros trabalhos técnicos previamente desenvolvidos, como as etapas anteriores do processo de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.
- b) **Objetivos do Plano de Intervenção** – O relatório deve conter descritos os objetivos do plano de intervenção definidos conforme item 4.2 (Definição dos Objetivos do Plano de Intervenção) da norma ABNT NBR 16784-1:2020.
- c) **Síntese das Etapas de Investigação e Avaliação de Risco** – A síntese das etapas de investigação e avaliação de risco deve apresentar os dados e informações técnicas que subsidiaram a elaboração do plano de intervenção, conforme estabelecido no item 4.3.3 (Compilação e Análise de Dados Existentes) da norma ABNT NBR 16784-1:2020. Exemplo: Informações quanto ao uso e ocupação, meio físico, fontes de contaminação primária e mapeamento espacial da contaminação, modelo conceitual de exposição, concentrações máximas aceitáveis e mapas de risco.
- d) **Definição das Medidas de Intervenção a Serem Adotadas** – O relatório deve apresentar os critérios utilizados para a tomada de decisão e a definição das medidas de intervenção a serem adotadas, conforme estabelecido no item 4.4 (Seleção das Técnicas a Serem Adotadas) da norma ABNT NBR 16784-1:2020.
- e) **Seleção das Técnicas a Serem Adotadas** – O relatório deve apresentar conceitualmente todas as alternativas a serem utilizadas para o controle institucional, e as técnicas de engenharia e remediação, considerando os diferentes compartimentos do meio físico contaminado e os mapas de intervenção. A metodologia utilizada para a seleção das técnicas a serem adotadas



ESTADO DE SANTA CATARINA
PREFEITURA DE BALNEÁRIO PIÇARRAS

no plano de intervenção devem ser apresentadas e justificadas.

f) Análise das Incertezas e Limitações – O relatório deve apresentar de forma consolidada as incertezas e limitações identificadas associadas à elaboração do plano de intervenção, descrevendo as técnicas selecionadas para esta análise, bem como as alternativas para mitigação e controle dos impactos causados.

g) Conclusões e Recomendações – O relatório deve apresentar conclusões sobre os trabalhos desenvolvidos, e recomendações para continuação do processo de gerenciamento ambiental da área contaminada. Caso necessário, o relatório deve recomendar a elaboração dos projetos básico e executivo considerando as técnicas selecionadas no plano de intervenção.

h) Cronograma Físico-Financeiro – O relatório deve apresentar um **cronograma físico-financeiro e respectiva planilha orçamentária detalhada (elaborado e firmado por profissional habilitado com respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica emitida de atividade técnica de Orçamento)** contendo os custos diretos e indiretos, todos os quantitativos (de materiais, serviços, análises, horas trabalhadas de diferentes profissionais, período de tempo/locação, etc.) com composições de preços unitários (embasado em referências tabeladas atualizadas e/ou em pelo menos 3 cotações/orçamentos atualizados realizados no mercado), assim como possuir detalhamento de Bonificações e Despesas Indiretas (BDI) e dos Encargos Sociais (ES) cabíveis, prevendo todos os custos com frete, taxas e impostos, planejando todas as etapas necessárias para reabilitação da área ao final do plano. Neste Cronograma Físico-Financeiro devem ser detalhadas as ações a serem implementadas em cada etapa do Plano de Intervenção e Monitoramento, bem como os recursos que serão gastos em cada etapa.