



Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

**Governo do Estado de São Paulo
Secretaria do Meio Ambiente
CETESB - Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**



Governo do Estado de São Paulo
Geraldo Alckmin - *Governador*

Secretaria de Estado do Meio Ambiente
José Goldemberg - *Secretário*

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Dráusio Barreto - *Diretor Presidente*

Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Projeto CETESB - GTZ
Cooperação Técnica
Brasil - Alemanha



Companhia de Tecnologia
de Saneamento Ambiental



Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit
(GTZ) GmbH

Cooperação Técnica Brasil – Alemanha

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental



Agência Brasileira de Cooperação



Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit
(GTZ) GmbH



Projeto Recuperação do solo e das águas subterrâneas em áreas de disposição de resíduos industriais

Coordenação brasileira: Eduardo Luís Serpa

Coordenação alemã: Dr. Andreas Marker
pela Dr. Krätzig Ingenieuresellschaft mbh

dr. krätzig
ingenieuresellschaft mbh



Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

2ª edição

Equipe

Álvaro Gutierrez Lopes
Andreas Marker
Elton Gloeden
Marco Antonio Günther
Maria José de Barros Fraccaroli
Nádia Azevedo de Almeida
Rodrigo César de Araújo Cunha
Vicente de Aquino Neto
Wagner França Aquino

Com apoio de

Ero Hermínio Crozera, consultor
Jan Weber, consultor

Estagiários

Marcelo Itacarambi Albergaria
Marta Tereza Deucher

Projeto Gráfico e Editorial da Publicação

Andreas Nieters, GTZ
Darci Andrade Oliveira

É permitida a reprodução parcial da presente publicação,
desde que citada a fonte

Copyright © 1999 da CETESB – GTZ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418m CETESB
2.ed. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas / CETESB, GTZ. - -
2.ed. - - São Paulo : CETESB, 2001.
[389] p. em várias paginações : il. ; 30 x 21 cm

Projeto de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha - CETESB –
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e GTZ – Deutsche
Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

ISBN

1. Água subterrânea – poluição 2. Meio ambiente – administração 3.
Meio ambiente – legislação 4. Meio ambiente – políticas 5. Poluição –
controle 6. Solo – poluição I. GTZ. II. Título.

CDD (18ª ed.) 614.77
628.55

CDU (2ª ed. Med. Port.) 628.396
628.516

Contato:

Projeto CETESB – GTZ

Eduardo Luís Serpa
Andreas Marker

Telefone/Fax: (0xx11) 3030-6577
E-mail: eduardols@cetesb.sp.gov.br

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
do Estado de São Paulo – CETESB.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345

05489-900 São Paulo - SP

0010 Apresentação

A questão da contaminação do solo e das águas subterrâneas tem sido objeto de grande preocupação nas três últimas décadas em países industrializados, principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Esse problema ambiental torna-se mais grave para centros urbanos industriais como a Região Metropolitana de São Paulo.

O encaminhamento de soluções para essas áreas contaminadas por parte dos órgãos que possuem a atribuição de administrar os problemas ambientais, deve contemplar um conjunto de medidas que assegurem tanto o conhecimento de suas características e dos impactos por elas causados quanto da criação e aplicação de instrumentos necessários à tomada de decisão e às formas e níveis de intervenção mais adequados, sempre com o objetivo de minimizar os riscos à população e ao ambiente decorrentes da existência das mesmas.

A CETESB, responsável pelas ações de controle ambiental no Estado de São Paulo e preocupada com o problema no âmbito do Estado, tem procurado organizar-se no sentido de dotar a instituição de estrutura que possibilite a sua efetiva atuação e encaminhamento de soluções para esse grave problema ambiental.

Para tanto, procurou apoio técnico e suporte financeiro viabilizado através de cooperação técnica com o governo da Alemanha, por meio de sua Sociedade de Cooperação Técnica (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ), desenvolvendo projeto específico dentro do tema Áreas Contaminadas com o objetivo de capacitar a instituição para sua atuação no gerenciamento dessas áreas.

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas é o resultado dessa cooperação, do trabalho e da experiência adquiridos pela equipe técnica da CETESB que atua no projeto.

Este manual, sendo o primeiro desse gênero na língua portuguesa, pretende ser um documento consultivo e propositivo. Consultivo no que diz respeito a fornecer aos técnicos da CETESB, de outros órgãos e de empresas privadas, os conceitos, informações e metodologias que venham uniformizar as ações dessas instituições que deverão agir em conjunto para a solução dos problemas gerados por estas contaminações. Propositivo no sentido de que serve para mostrar as propostas da equipe do projeto em termos de atuação e do estabelecimento de metodologias de trabalho a serem seguidas nas futuras ações da CETESB em termos de áreas contaminadas.

A sua apresentação em forma de fascículo por assunto tem como objetivo possibilitar a sua contínua revisão, atualização e inserção de novos capítulos.

Dr. Dráusio Barreto

Diretor Presidente

0020 Notas explicativas para o usuário

A apresentação deste manual em formato de fascículos individuais tem como objetivo possibilitar a contínua revisão e atualização dos textos. A biblioteca da CETESB receberá as atualizações do gerente do setor responsável, possibilitando aos usuários manter-se informados sobre as mesmas.

Ao receber as novas versões, o usuário deve substituir as já existentes.

Para controle, encontra-se uma Ficha de Atualização, na seção 0021, na qual deverão ser registradas as modificações efetuadas e na qual constará o estado atual do manual.

Este está dividido em 12 capítulos, numerados em milhares, subdivididos em seções (algarismos arábicos) com os respectivos anexos.

Cada seção terá a sua própria numeração de páginas, facilitando assim a atualização para troca das páginas de toda a seção.

A seguir, encontra-se uma descrição sucinta de cada um dos capítulos que constituem este manual.

Capítulo I: é uma introdução geral do assunto, descrevendo os **conceitos básicos** e o **estado-de-arte mundial** sobre áreas contaminadas (ACs) quanto ao seu gerenciamento e tratamento institucional.

Capítulo II: aborda as **bases legais** existentes no Brasil e na Alemanha sobre ACs, contemplando as normas legais para gerenciamento dessas áreas.

Capítulo III: apresenta métodos, técnicas e procedimentos na **identificação de áreas potencialmente contaminadas** em escala regional e local.

Capítulo IV: discorre sobre a estrutura e o uso do **cadastro de áreas contaminadas**.

Capítulo V: apresenta os instrumentos de **avaliação preliminar** e explica o uso da ficha cadastral, na qual estão registrados todos os dados disponíveis sobre a área a ser analisada.

Capítulo VI: descreve os procedimentos propostos para confirmar a existência de uma contaminação e os critérios aplicados para essa confirmação através da **investigação confirmatória**. Os procedimentos incluem métodos empregados em campo, amostragem, análise e interpretação dos resultados, utilizando-se listas de valores-limite.

Capítulo VII: apresenta a metodologia de **priorização** que é aplicada para identificar áreas com maior urgência de intervenção, dentro do universo de áreas potenciais.

Os capítulos VIII ao XII são apresentados em itálico no índice do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, entretanto estes não estão incluídos nesta 1ª edição, devendo ser acrescentados nas próximas edições.

Capítulo VIII: *aborda os métodos e procedimentos de investigação detalhada de uma AC, para a caracterização dos contaminantes e de sua distribuição espacial em nível suficientemente detalhado para decidir sobre a realização de ações posteriores.*

Capítulo IX: *descreve os aspectos da avaliação de risco e seus métodos.*

Capítulo X: *apresenta os métodos e procedimentos aplicados na investigação de uma área contaminada para planejar e projetar sua recuperação/remediação.*

Capítulo XI: *aborda a elaboração do projeto de recuperação de uma área contaminada.*

Capítulo XII: *apresenta informações e critérios sobre a aplicação de tecnologias de remediação, incluindo métodos de contenção, descontaminação e revitalização de áreas contaminadas.*

Atualizações

Capítulo	Seções	Data	Objetivo
Capítulo 0	0010 – 0999	11/99	
	Capa - 0010 – 021 – 0200 – 0300 - 0400	10/01	Alterações gerais - Nova apresentação - português
Capítulo I	1000 – 1999	11/99	
	1000	10/01	Figuras 1000-1 e 1000-2
Capítulo II	2000 – 2999	11/99	
Capítulo III	3000 – 3999	11/99	
Capítulo IV	4000 – 4999	11/99	
Capítulo V	5000 – 5999	11/99	
	5101	10/01	Atualização da Ficha Cadastral
	5102	10/01	Atualização da Guia de Preenchimento
Capítulo VI	6000 – 6999	11/99	
Capítulo VII	7000 – 7999	11/99	
	7101	10/01	Atualização da Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas

Atualizações

Capítulo	Seções	Data	Objetivo
----------	--------	------	----------

Capítulo VIII	8000 - 8999		
Capítulo IX	9000 - 9999		
Capítulo X	10 000 – 10 999		
Capítulo XI	11 000 – 11 999		
Capítulo XII	12 000 – 12 999		

Índice

A estrutura geral (capítulos e seções)

Informações e dados básicos

Capítulo 0	0001 –	0999	Apresentação e dados técnicos
Capítulo I	1000 –	1999	Aspectos gerais
Capítulo II	2000 –	2999	Bases legais

O procedimento do gerenciamento de áreas contaminadas

Capítulo III	3000 –	3999	Identificação de áreas contaminadas
Capítulo IV	4000 –	4999	Cadastro de áreas contaminadas
Capítulo V	5000 –	5999	Avaliação preliminar
Capítulo VI	6000 –	6999	Investigação confirmatória
Capítulo VII	7000 –	7999	Priorização
Capítulo VIII*	8000 –	8999	<i>Investigação detalhada</i>
Capítulo IX*	9000 –	9999	<i>Avaliação de risco</i>
Capítulo X*	10000 –	10999	<i>Investigação para remediação</i>
Capítulo XI*	11000 –	11999	<i>Projeto de remediação</i>
Capítulo XII*	12000 –	12999	<i>Remediação</i>

Índice

Apresentação	0010
Notas explicativas para o usuário	0020
Atualizações	0021
Índice	0100
Glossário - Definições	0200
Abreviaturas	0300
Autores	0400

Capítulo I Aspectos gerais

Conceituação	1000
O gerenciamento de áreas contaminadas	1100

Capítulo II Bases legais

Bases legais – Introdução	2000
Legislação brasileira	2100
Legislação alemã	2200
Lei estadual sobre o reconhecimento, contenção e remediação de áreas contaminadas (Lei estadual de Hessen de 1994, tradução)	2210

Capítulo III	Identificação de áreas potencialmente contaminadas	
	Identificação de áreas potencialmente contaminadas – Introdução	3000
	Definição das atividades potencialmente contaminadoras	3100
	Lista de atividades potencialmente contaminadoras	3101
	Utilização de fotografias aéreas para a detecção de áreas contaminadas	3200
	Ficha de identificação de áreas suspeitas em fotografias aéreas	3201
	Exemplos de análise de fotografias aéreas	3202
Capítulo IV	O Cadastro de áreas contaminadas	
	O Cadastro de áreas contaminadas	4000
Capítulo V	Avaliação preliminar	
	Avaliação preliminar – Introdução	5000
	A ficha cadastral de áreas contaminadas	5101
	Guia para preenchimento da ficha cadastral de áreas contaminadas	5102

Capítulo VI Investigação confirmatória

Investigação confirmatória – Introdução	6000
Métodos de “screening”	6100
Métodos geofísicos	6200
Procedimentos de amostragem do solo	6300
Protocolo de amostragem de solo	6301
Preservação de amostras do solo	6310
Amostragem de águas subterrâneas	6400
Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas – Norma CETESB, 1988	6410
Preservação de amostras de água/ chorume	6420
Parâmetros de qualidade do solo e águas subterrâneas para a Investigação Confirmatória	6500
Regulamentação da Lei Federal da Proteção do Solo e Áreas Contaminadas	6510
Níveis de avaliação para solo – “Soil Screening Levels” – aplicados pela USEPA	6520
Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI	6530

Capítulo VII Priorização

Priorização – Introdução	7000
Estrutura básica da ficha de pontuação	7100
A ficha de pontuação	7101

<i>Capítulo VIII*</i>	<i>Investigação detalhada</i>	8000
<i>Capítulo IX*</i>	<i>Avaliação de risco</i>	9000
<i>Capítulo X*</i>	<i>Investigação para remediação</i>	10000
<i>Capítulo XI*</i>	<i>Projeto de remediação</i>	11000
<i>Capítulo XII*</i>	<i>Remediação</i>	12000

** Os capítulos VIII ao XII são apresentados em itálico no índice do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas; entretanto, esses capítulos não estão incluídos nesta edição, devendo ser acrescentados nas próximas edições.*

0200 Glossário – Definições

Com o objetivo de facilitar o entendimento do gerenciamento de áreas contaminadas, alguns termos serão aqui definidos de forma que todos tenham uma interpretação uniforme dos conceitos aqui utilizados. Alguns termos foram criados pelo grupo de trabalho para facilitar a verbalização e o entendimento de situações, e alguns outros foram mantidos em inglês por serem termos bastante difundidos mundialmente, podendo ser encontrados em qualquer literatura estrangeira.

Área contaminada (AC)	Área onde há comprovadamente poluição causada por quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, e que determina impactos negativos sobre os bens a proteger.
Análise temporal	Estudo de documentos e fotos aéreas de diferentes datas, visando à realização do estudo histórico de uma determinada área.
Área degradada	Área onde há a ocorrência de alterações negativas das suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compactidade, a perda de matéria devido à erosão e a alteração de características químicas, devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes.
Área potencialmente contaminada (AP)	Área onde estão sendo desenvolvidas ou onde foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras.
Área suspeita de contaminação (AS)	Área na qual, após a realização de uma avaliação preliminar, foram observadas indicações que induzem a suspeitar da presença de contaminação.
Atividade potencialmente contaminadora	É aquela em que ocorre o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem acarretar danos aos bens a proteger, caso entrem em contato com os mesmos.
Avaliação de risco	Em relação à investigação de áreas contaminadas, é o processo pelo qual se identificam e avaliam os riscos potenciais e reais que a alteração do solo pode causar à saúde humana e a outros organismos vivos.

Avaliação preliminar	Etapa do gerenciamento de AC que objetiva encontrar indícios de uma possível contaminação do solo e águas subterrâneas, através das informações obtidas nos estudos histórico e de fotos aéreas e em inspeções em campo. A partir dessa etapa, a área em estudo poderá ser classificada como suspeita (AS) ou contaminada (AC).
Bens a proteger	Bens que, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente e legislações decorrentes desta, devem ser protegidos. São considerados como bens a proteger: <ul style="list-style-type: none">• saúde e bem-estar da população;• fauna e flora;• qualidade do solo, das águas e do ar;• interesses de proteção à natureza/paisagem;• ordenação territorial e planejamento regional e urbano;• segurança e ordem pública.
Cadastro de Áreas Contaminadas (AC)	Conjunto de operações que estabelecem o registro e o armazenamento dos dados obtidos sobre áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) e áreas contaminadas (ACs). É considerado o instrumento central do gerenciamento de AC, sendo composto de duas partes principais: cadastro físico e cadastro informatizado.
Cadastro físico	Parte do Cadastro de AC, em que devem ser armazenadas as informações disponíveis sobre as áreas na forma de fichas cadastrais, mapas, relatórios, etc.
Cadastro informatizado	Parte do Cadastro de AC, constituído por um banco de dados alfanumérico, associado ou não a um Sistema Geográfico de Informações (SGI), de forma a agilizar a visualização da situação e facilitar o planejamento das ações posteriores.
Classificação de áreas	É o procedimento central que, através das informações da Ficha Cadastral de ACs, permite definir se as áreas são APs, ASs ou ACs.
Contaminação	Introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição.

Definição de região de interesse	Definição dos limites da região a ser considerada no gerenciamento de AC.
Estudo histórico industrial	Coleta e análise de informações existentes sobre a área, visando definir as formas como eram manuseadas as substâncias.
Ficha Cadastral de AC	Formulário básico utilizado para o levantamento de dados sobre as AP, AS e AC, em que são anotadas as informações obtidas sobre o histórico do local, os contaminantes presentes e as características dos arredores da área. Esses dados alimentarão o Cadastro de Áreas Contaminadas.
Ficha de Pontuação de AC	Formulário utilizado como instrumento para a realização das etapas de priorização. É composto de quatro partes denominadas “critérios” 1, 2, 3 e 4, consideradas “critérios de priorização”.
Foco de contaminação (“Hot spot”)	São os pontos, em uma AC, onde são detectadas as maiores concentrações do(s) contaminante(s), na maioria das vezes relacionados à fonte de contaminação.
Fonte de contaminação	Local onde foi gerada a contaminação ou onde funciona ou funcionou uma atividade potencialmente contaminadora.
Gerenciamento de AC	Conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.
“Hot spot”	Ver: Foco de contaminação .
Identificação de AP	Etapa do gerenciamento de AC em que são identificadas, dentro da região de interesse, as áreas potencialmente contaminadas, a partir de denúncias, reclamações e do levantamento das atividades potencialmente contaminadoras.

Investigação confirmatória	Etapa do gerenciamento de AC em que são feitos estudos e investigações com o intuito de comprovar a existência da contaminação em uma AP ou AS.
Investigação detalhada	Etapa do gerenciamento de AC em que devem ser avaliadas as características da fonte de contaminação e do meio afetado, através da determinação das dimensões da área afetada, dos tipos e concentração dos contaminantes presentes e da pluma de contaminação, visando obter dados suficientes para a realização da avaliação de risco e do projeto de recuperação.
Investigação para remediação	O objetivo é selecionar, dentre as várias opções de técnicas de remediação existentes, aquelas, ou a combinação destas, que são possíveis, apropriadas e legalmente permissíveis para o caso considerado.
Métodos diretos de investigação	Métodos de investigação em que a aquisição de informações sobre o meio ou extensão da contaminação é realizada através da coleta e análise de amostras de solo e águas subterrâneas, utilizando-se diferentes técnicas de perfuração.
Métodos geofísicos	São técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se, portanto, como métodos não invasivos ou não destrutivos.
Métodos indiretos de investigação	Métodos de investigação em que são realizadas medidas de certas propriedades do meio que possam indicar as características da área, sem a realização de coleta de amostras para análise, por exemplo os métodos geofísicos.
Modelo conceitual	Constitui-se numa síntese das informações relativas a uma área em estudo, onde se pode visualizar, através de texto explicativo ou ilustração, a localização da contaminação, a sua forma de propagação e a sua relação com os bens a proteger existentes.
Monitoramento	Medição contínua ou periódica da qualidade ou características de um meio.
Pluma de contaminação	Delimitação da extensão da contaminação de um meio (água, ar e solo).

Poluição	<p>É definida através da Lei Federal nº 6938/81:</p> <p><i>Art 3º: III - “Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:</i></p> <p><i>a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;</i></p> <p><i>b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;</i></p> <p><i>c) afetem desfavoravelmente a biota;</i></p> <p><i>d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;</i></p> <p><i>e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.</i></p>
Priorização	<p>Ação que conduz a um ordenamento das áreas a ser investigadas/remediadas, em função da importância relativa dos impactos que cada uma das áreas poderá causar, observando-se as características das substâncias presentes, importância dos bens a proteger e possibilidade destes serem atingidos pela contaminação.</p>
Processo de identificação de áreas contaminadas	<p>É a base do gerenciamento de áreas contaminadas, tendo como objetivo principal a localização das áreas contaminadas.</p>
Processo de recuperação de áreas contaminadas	<p>Etapas do gerenciamento de AC, que visa a compatibilização da qualidade da área com o uso do solo. Inclui medidas como remediação ou restrição ao uso do solo.</p>
Projeto de remediação	<p>É a base técnica para o órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental avaliar a possibilidade de autorizar ou não a implantação e operação dos sistemas de remediação propostos.</p>
Remediação de áreas contaminadas	<p>Aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área contaminada, visando à remoção ou contenção dos contaminantes presentes, de modo a assegurar uma utilização para a área, com limites aceitáveis de riscos aos bens a proteger.</p>

Risco (referente a ACs)	É a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso aos bens a proteger em decorrência da sua exposição aos contaminantes presentes em uma AC.
“Screening” (métodos de “screening”)	São levantamentos expedidos que têm como função confirmar ou não a suspeita de contaminação numa determinada área de interesse, através de técnicas que economizam tempo e investimentos.
Sistema Geográfico de Informações (SGI)	É um sistema destinado ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Esse sistema manipula dados de diversas fontes, como mapas, imagens de satélite, cadastro e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre os dados.
Valores de intervenção	São valores–limite usados para induzir medidas de remediação imediata.
Valores de investigação	São valores–limite para uma investigação simplificada (“screening-tool”) que poderá indicar a necessidade de uma investigação mais detalhada na área avaliada.
Valores - limite	Teor máximo de determinado elemento ou substância no meio avaliado, que ao ser ultrapassado implica a adoção de ações específicas.
Valores naturais	São as concentrações observadas naturalmente no solo, água subterrânea e outros meios.
Via de exposição	São os caminhos de entrada dos contaminantes no organismo: via inalação, ingestão e contato com a pele.
Via de propagação	Meios pelos quais a contaminação se propaga a partir de uma fonte de contaminação: solo, ar, águas superficiais e águas subterrâneas.

0300 Abreviaturas

AC	Área(s) Contaminada(s)
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AP	Área(s) Potencialmente Contaminada(s)
APA	Área de Proteção Ambiental
APC	Atividade industrial / comercial Potencialmente Contaminadora
APM	Área de Proteção dos Mananciais
Art.	Artigo
AS	Área(s) Suspeita(s) de Contaminação
BDT	Boletim de Dados Técnicos da Prefeitura de São Paulo
BP	Bem a Proteger (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
CADES	Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de São Paulo
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CGC	Cadastro Geral de Contribuinte (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente de São Paulo
CP1(2,3)	Critério Principal 1(2,3) (da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
DIN	Deutsche Industrie-Norm (norma industrial alemã)
EC	Coordenadoria de Gestão em Áreas Contaminadas (da CETESB)
ECC	Grupo de Gestão em Áreas Contaminadas (da CETESB)
ECA	Grupo de Apoio Técnico em Áreas Contaminadas (da CETESB)

EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMPLASA	Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S/A
GPS	sistema de posicionamento global por satélite
GRAPROHAB	Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais de São Paulo
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
Inc.	Inciso
ISAL	Informationssystem Altlasten (sistema de informações sobre AC) de NRW - Alemanha
M.A.	Meio Ambiente
NRW	Nordrhein-Westfalen (Estado da RFA)
PA	Propagação via ar (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
PAS	Propagação via águas subterrâneas (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
PASP	Propagação via águas superficiais (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
PMDI	Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado de São Paulo
PS	Propagação via solo (item da Ficha Cadastral de AC, veja 5101)
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RIVI	Relatório de Impacto de Vizinhança (do Município de São Paulo)
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo

SIS (ex SAR)	Secretaria de Implementação das Subprefeituras – antiga Secretaria de Administrações Regionais do Município de São Paulo
SEHAB	Secretaria Municipal da Habitação e Desenvolvimento Urbano do Município de São Paulo
SEMPLA	Secretaria Municipal de Planejamento Urbano do Município de São Paulo
SIG	Sistema Geográfico de Informações
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo
SMT	Secretaria Municipal de Transporte do Município de São Paulo
STM	Secretaria dos Transportes Metropolitanos de São Paulo
SP	Estado de São Paulo
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente do Município de São Paulo

0400 Autores

Alvaro Gutierrez Lopes	Geólogo, Mestre, CETESB
Andreas Marker	Geólogo, Doutor, Coordenador alemão do Projeto CETESB/GTZ
Elton Gloeden	Geólogo, Doutor, CETESB
Ero Hermínio Crozera	Eng ^o Agrônomo, Consultor do Projeto CETESB/GTZ
Jan Weber	Eng ^o Planejamento Ambiental, Consultor do Projeto CETESB/GTZ
Maria José de B. Fraccaroli	Eng ^a Química, CETESB
Nádia Azevedo de Almeida	Eng ^a Química, CETESB
Rodrigo César de Araujo Cunha	Eng ^o Agrônomo, Doutor, CETESB
Vicente de Aquino Neto	Eng ^o Agrônomo, Mestre, CETESB
Wagner França Aquino	Geofísico, Mestre, CETESB

Obs.: Se houver, no futuro, a inserção de novos textos, os autores destas contribuições serão indicados nas seções correspondentes.

Várias partes da tese de doutoramento do Sr. Elton Gloeden foram adaptadas e incluídas neste Manual, sem ter sido citada explicitamente no texto do mesmo.

1000 Conceituação

O conceito da proteção dos solos foi o último a ser abordado nas políticas ambientais dos países industrializados, bem após os problemas ambientais decorrentes da poluição das águas e da atmosfera terem sido tematizados e tratados.

O solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém essa capacidade, como ficou comprovado posteriormente, foi superestimada e, somente a partir da década de 70, direcionada maior atenção a sua proteção.

Dentro desse assunto, o conceito de "Áreas Contaminadas", como sendo um local cujo solo sofreu dano ambiental significativo que o impede de assumir suas funções naturais ou legalmente garantidas, é relativamente recente na política ambiental dos países desenvolvidos, o mesmo ocorrendo no Brasil.

BEAULIEU (1998) descreve que o mundo industrializado começou a se conscientizar dos problemas causados pelas áreas contaminadas no final da década de 70 e início da década de 80, após a ocorrência de "casos espetaculares", como "Love Canal", nos Estados Unidos; "Lekkerkerk", na Holanda; e "Ville la Salle", no Canadá. Após esses eventos foram criadas políticas e legislações em vários países, províncias e estados.

Ao mesmo tempo, percebeu-se que o passivo ambiental é maior que o esperado, ameaçando exceder as previsões e as abrangências dos danos causados por ele.

Na Alemanha, os custos ecológicos relacionados a problemas do solo foram calculados em cerca de US\$ 50 bilhões, sendo quase o dobro dos custos ecológicos relacionados à poluição das águas e do ar (US\$ 33 bilhões) – Der Spiegel 16/93, p. 292. Pelos cálculos da Comunidade Européia, foram identificadas cerca de 300.000 áreas contaminadas nos 12 países membros, estimando um total de 1.500.000 áreas potencialmente contaminadas (EEA, 1999).

A complexidade do problema exige sem dúvida uma atenção especial por parte das esferas política e administrativa. Uma pesquisa da PNUD revelou que, apesar de 78% dos países consultados considerarem a contaminação do solo um problema sério, somente 28% dos países possuem regulamentos e procedimentos que tratam do assunto (BUTLER, 1996).

A conceituação do assunto "áreas contaminadas" representa o primeiro passo em direção à criação de estruturas políticas, legais e institucionais e serve para a conscientização de toda a sociedade para que novas áreas contaminadas não sejam geradas.

Este manual apresenta e tematiza os conceitos já consagrados e os propostos pelo grupo de trabalho que o elaborou, colocando-os numa ordem lógica e seqüencial, voltado para o objetivo principal, que é o **gerenciamento de áreas contaminadas**.

Os conceitos apresentados nesta seção foram utilizados para o desenvolvimento da metodologia do gerenciamento de áreas contaminadas. Estes foram definidos a partir da consulta à literatura nacional e internacional sobre o assunto bem como da experiência de atuação dos profissionais da CETESB.

1 Área contaminada

Nos vários países onde são desenvolvidas políticas no sentido de solucionar os problemas causados pela existência das **áreas contaminadas**, existem diferentes definições para esse termo.

As definições presentes nas legislações do Reino Unido, Região de Flandres (Bélgica) e Alemanha são apresentadas a seguir, como exemplos.

Na legislação do Reino Unido (“Section 57 of the Environment Act, 1995”), que necessita de regulamentação para ser implantada, “uma área contaminada é qualquer área ou terreno que apresenta-se para a autoridade local em tal condição, apresentando substâncias dentro ou abaixo da superfície do terreno, onde um dano significativo está sendo causado ou existe a possibilidade de tal dano ser causado; ou a poluição de águas controladas está provavelmente sendo causada” (POLLARD, HERBERT, 1998).

Segundo VAN DYCK (1995), na região de Flandres, na Bélgica, “uma área contaminada é definida como um local onde, como resultado das atividades humanas, resíduos estão presentes ou a poluição dos solos e águas subterrâneas ocorrem ou podem ocorrer”.

Na legislação federal da Alemanha, que vigora a partir de 1999 (“Bodenschutzgesetz”), uma área contaminada é definida como “locais abandonados de disposição, tratamento ou armazenagem de resíduos e áreas industriais abandonadas onde substâncias ambientalmente perigosas foram manejadas, causando mudanças prejudiciais à qualidade do solo ou outros perigos para o indivíduo ou para o público em geral” (BIEBER et al., 1998).

Nota-se que, nessas definições, existe uma preocupação em considerar não apenas a presença de poluentes, mas também a ocorrência de danos ou riscos **aos bens a proteger**, como a qualidade das águas em geral, a qualidade dos solos e das águas subterrâneas, a saúde do indivíduo e do público em geral.

A definição do Reino Unido inclui a importância do órgão gerenciador, ou autoridades ambientais, que deverão decidir se uma área poderá ser classificada como um área contaminada ou não.

Nessa definição, não são fixados os compartimentos do meio ambiente que possam ser atingidos, enquanto na definição da região de Flandres o solo e as águas subterrâneas são destacados.

Na Alemanha, a saúde do indivíduo e da população em geral é destacada e salienta-se alguns tipos de fontes de poluição do solo, áreas de disposição de resíduos e áreas industriais abandonadas (veja Figuras 1000-1 e 1000-2)

Portanto, para o desenvolvimento da metodologia do gerenciamento de áreas contaminadas propõe-se, neste manual, uma definição ampla para o termo "área contaminada", visando englobar a maioria das possíveis formas de ocorrência e problemas gerados pela existência destas, apresentada a seguir.

Uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais ou qualidades e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.

Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), são considerados bens a proteger:

- a saúde e o bem-estar da população;
- a fauna e a flora;
- a qualidade do solo, das águas e do ar;
- os interesses de proteção à natureza/paisagem;
- a ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- a segurança e ordem pública.

Segundo SÁNCHEZ (1998), na literatura especializada internacional e nacional são empregados vários termos que podem ser considerados sinônimos do termo "área contaminada", como, por exemplo, "sítio contaminado", "terrenos contaminados", "solos contaminados" e "solo poluído".

Outro termo normalmente encontrado na literatura especializada, principalmente quando se trata de áreas mineradas e de grandes obras civis, é o termo "área degradada". Segundo SÁNCHEZ (1998), dando enfoque ao compartimento solo, o termo "degradação" é o termo mais amplo e engloba o termo "poluição". Esse autor considera, por exemplo, que o termo "degradação do solo" significa a ocorrência de alterações negativas das suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compacidade, a perda de matéria devido à erosão e a alteração de características químicas devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes.

Dessa forma, pode-se definir uma **área degradada** como uma área onde ocorrem processos de alteração das propriedades físicas e/ou químicas de um ou mais compartimentos do meio ambiente. Portanto, uma área contaminada pode ser considerada um caso particular de uma área degradada, onde ocorrem alterações principalmente das propriedades químicas, ou seja, contaminação.

Portanto, pode-se concluir que as áreas degradadas podem ocorrer em duas formas principais: as áreas degradadas predominantemente por processos físicos e as áreas degradadas predominantemente por processos químicos, ou áreas contaminadas, destacando-se que em determinadas áreas os dois processos podem ocorrer simultaneamente.

Poder considerar uma área contaminada como um tipo particular de área degradada é um fator importante, pois propicia a utilização da legislação federal existente nos casos de adoção de medidas de remediação de áreas contaminadas. A Lei 6.938/81, regulamentada pelo Decreto 99.274/90, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, que introduz instrumentos de planejamento ambiental e determina a responsabilização e penalidades para casos de poluição, em seus artigos 2º e 4º apresenta como objetivo dessa lei a "recuperação de áreas degradadas e ao poluidor obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados".

2 Poluição e contaminação

Para a definição de "área contaminada" foram utilizados os termos **poluição** e **contaminação**. Neste manual, esses termos são considerados como sinônimos por serem utilizados amplamente na literatura especializada e nas legislações ambientais.

Na legislação ambiental federal do Brasil e do Estado de São Paulo, o termo mais aplicado e claramente definido é "poluição", enquanto o emprego do termo "contaminação" é limitado a algumas citações, como, por exemplo, na Lei 6.134/88, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo; no seu artigo 4º, é citado que "os órgãos estaduais competentes manterão serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, fiscalizarão sua exploração e adotarão medidas contra a contaminação dos aquíferos e deterioração das águas subterrâneas".

A Lei 997/76, que dispõe sobre o controle da poluição ambiental no Estado de São Paulo, apresenta a seguinte definição para o termo "poluição": "Considera-se poluição do meio ambiente a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência dessa lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo:

- impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;
- inconvenientes ao bem-estar público;
- danosos aos materiais, à fauna e à flora;
- prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade".

Essa definição favorece assumir os dois termos como sinônimos, pois nela está incluído o conceito de risco e/ou danos à saúde das pessoas e a outros bens a proteger.

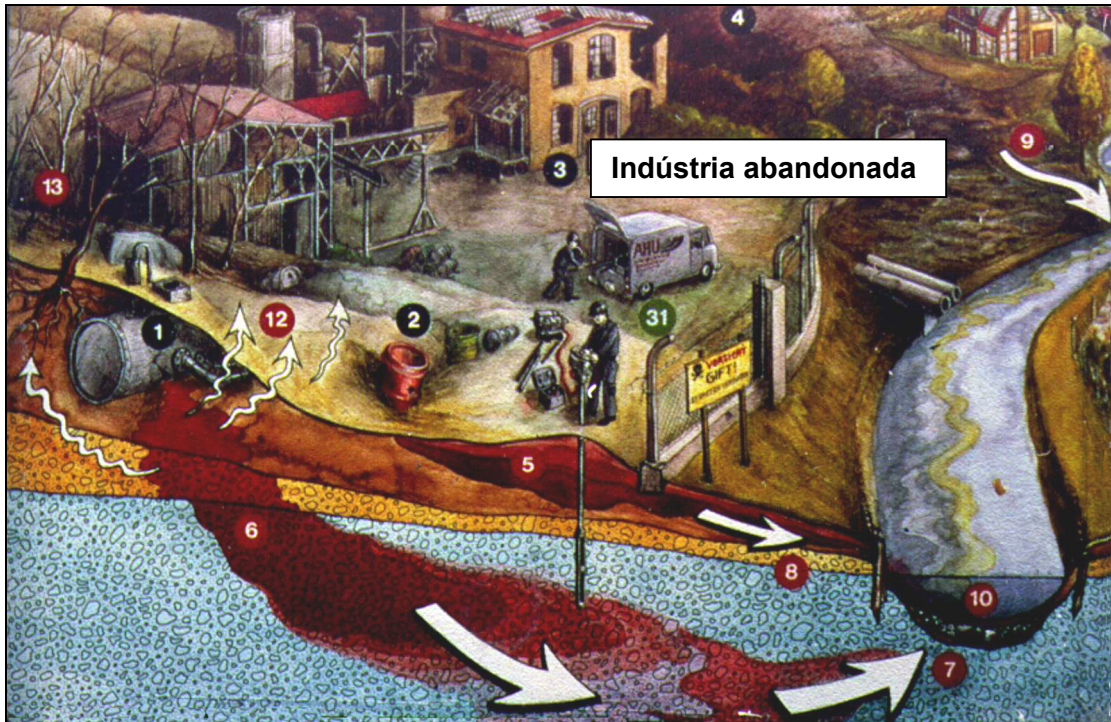
3 Fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas

As áreas contaminadas e os problemas gerados devido à existência destas podem ser originados a partir de uma enorme quantidade de tipos de fontes potenciais de contaminação, pois na maioria das atividades humanas são geradas substâncias, resíduos e/ou efluentes com potencial para contaminar os diferentes compartimentos do meio ambiente, destacando-se, neste estudo, o solo e as águas subterrâneas.

FETTER (1993) apresenta uma complementação do relatório do Congresso americano, "Protecting the Nation's Ground Water from Contamination, the Office of Technology Assessment (OTA)", de 1984, mostrando as fontes de contaminação das águas subterrâneas que podem ser consideradas também como fontes de contaminação do solo, classificadas em seis categorias:

- a primeira categoria é constituída por fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo, incluindo tanques sépticos e fossas negras (normalmente descarregam efluentes de origem doméstica, vários tipos de compostos orgânicos e inorgânicos); poços de injeção de substâncias perigosas, águas salgadas da exploração de petróleo, etc. (a contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer devido à má construção do poço ou falhas de projeto); aplicação de efluentes municipais ou industriais no solo, lodos de tratamento de água utilizados como fertilizantes, resíduos oleosos de refinarias ("landfarming");
- na segunda categoria estão incluídas as fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo, na qual estão incluídas as áreas de disposição de resíduos (aterros sanitários e industriais, lixões, botas-fora, etc.); lagoas de armazenamento e tratamento de vários tipos de efluentes industriais; depósitos ou pilhas de resíduos de mineração; tanques de armazenamento de substâncias, aéreas ou subterrâneas;
- na terceira categoria estão enquadradas as fontes projetadas para reter substâncias durante o seu transporte, como oleodutos, tubulações para o transporte de esgoto e efluentes industriais; transporte de substâncias químicas, como combustíveis por meio de caminhões e trens;
- na quarta categoria estão as fontes utilizadas para descarregar substâncias como consequência de atividades planejadas, na qual estão incluídas a irrigação ou fertirrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes na lavoura; percolação de poluentes atmosféricos;
- a quinta categoria é constituída por fontes que funcionam como um caminho preferencial para que os contaminantes entrem em um aquífero, como, por exemplo, poços de produção de petróleo e poços de monitoramento com falhas de construção e projeto;

- na sexta categoria estão posicionadas as fontes naturais ou fenômenos naturais associados às atividades humanas, das quais pode-se citar a interação entre águas subterrâneas e superficiais contaminadas, a ocorrência natural de substâncias inorgânicas nas águas subterrâneas e a intrusão salina. A esta sexta categoria pode ser adicionada a contaminação do solo e das águas subterrâneas ocasionada pelos gases de processos produtivos, ou outras fontes de poluição atmosférica (por exemplo, veículos automotivos), quando estes, contendo substâncias perigosas de alta toxicidade, podem ser lançados à atmosfera e se infiltrarem no solo, carregados pelas águas de chuva.
- As Figuras 1000-1 e 1000-2 mostram as fontes e vias de contaminação de dois tipos de área contaminada: área industrial abandonada e área de disposição de resíduos.



Fonte: AHU, Consultoria em Hidrogeologia e Meio Ambiente, Alemanha, 1987

Figura 1000-1: Fonte de contaminação do solo e águas subterrâneas – área industrial abandonada.

Fontes de Perigo

- 1- Vazamento de tanques enterrados e sistema de tubulação
- 2- Valas com barris enferrujados com resíduos tóxicos
- 3- Percolação no subsolo de antigos vazamentos
- 4- Resíduos abandonados lançados sobre o solo

Cenários

- 5- Poluição do solo
- 6- Poluição de água subterrânea
- 7- Percolação de poluentes na água subterrânea em direção ao rio
- 8- Fluxo superficial e subterrâneo de poluentes em direção ao rio
- 9- Erosão de resíduos sólidos tóxicos em direção ao rio
- 10- Deposição de metais pesados no fundo do rio
- 12- Emissão de gases tóxicos
- 13- Efeitos na vegetação

Medidas de Identificação

- 31- Investigação Confirmatória



Antiga área de disposição de resíduos

Fonte: AHU, Consultoria em Hidrogeologia e Meio Ambiente, Alemanha, 1987

Figura 1000-2: Fonte de contaminação do solo e águas subterrâneas – antiga área de disposição de resíduos.

Fontes de perigo

- 16- Resíduos domésticos
- 17- Resíduos sólidos industriais
- 18- Aterro com entulho, solo e escória

Cenários

- 19- Percolação de poluentes lixiviados para água subterrânea
- 20- Poluição da água subterrânea pela percolação de contaminantes
- 21- Bombeamento de águas contaminadas
- 22- Irrigação com água subterrânea contaminada

- 23- Contaminação da água potável
- 24- Emissão de gases tóxicos por resíduos
- 25- Entrada de gases nocivos nas casas
- 26- Entrada de gases nocivos através da rede de esgoto,
- 27- Entrada de vapores na edificação
- 28- Rachaduras nas construções devido a recalques do aterro
- 29- Contato dermal e ingestão de material tóxico

Medidas Emergenciais

- 32- Fechamento da estação de tratamento de água

4 Problemas gerados pela presença das áreas contaminadas

Vários são os problemas gerados pelas áreas contaminadas. SÁNCHEZ (1998) aponta quatro problemas principais: existência de riscos à segurança das pessoas e das propriedades, riscos à saúde pública e dos ecossistemas, restrições ao desenvolvimento urbano e redução do valor imobiliário das propriedades.

Um dos primeiros problemas a ser reconhecido como de grande importância é a contaminação das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público e domiciliar, além do comprometimento de aquíferos ou reservas importantes de águas subterrâneas. A literatura especializada em todo o mundo descreve inúmeros casos de contaminação das águas subterrâneas por diferentes tipos de fontes de contaminação.

Como consequência da presença de áreas contaminadas podem ser geradas condições favoráveis para o acúmulo de gases em residências, garagens e porões a partir de solos e águas subterrâneas contaminadas por substâncias voláteis originadas, por exemplo, de vazamentos de combustíveis ocorridos em postos de serviço ou pela produção de gases, como o metano, em áreas de disposição de resíduos urbanos.

Segundo SÁNCHEZ (1998), a existência de áreas contaminadas gera não somente problemas evidentes, com a ocorrência ou a possibilidade de explosões e incêndios, mas também ocasiona danos ou riscos à saúde das pessoas e ecossistemas, ocasionados por processos que se manifestam, em sua maioria, a longo prazo, provocando: o aumento da incidência de doenças em pessoas expostas às substâncias químicas presentes em águas subterrâneas coletadas em poços; contato dermal e injeção de solos contaminados por crianças ou trabalhadores, inalação de vapores e consumo de alimentos contaminados (hortas irrigadas com águas contaminadas ou cultivadas em solo contaminado e animais contaminados).

A presença de uma área contaminada pode representar também a limitação dos usos possíveis do solo, induzindo restrições ao desenvolvimento urbano e problemas econômicos relativos ao valor dos imóveis.

Durante a década de 80, nos Estados Unidos e Canadá, várias indústrias foram fechadas e essas antigas áreas industriais localizadas nos centros das cidades, próximas às áreas com infra-estrutura urbana e bom acesso, atraíram os investidores, sendo elaborados projetos para reutilização dessas áreas, criando-se novas áreas residenciais, comerciais e industriais.

Após a investigação dessas áreas, foi constatado que várias encontravam-se contaminadas, em decorrência das atividades desenvolvidas anteriormente. Como consequência desse fato, o número de áreas contaminadas registradas cresceu exponencialmente e um novo enfoque surgiu, que foi o de prevenir a ocupação de áreas industriais desativadas ou abandonadas contaminadas, sem que ações destinadas à remediação dessas áreas fossem realizadas.

Em função dos altos custos envolvidos na investigação e remediação dessas áreas, os investidores foram atraídos para áreas ainda não ocupadas localizadas fora dos centros urbanos, conhecidos como “greenfields”, causando o abandono das antigas áreas industriais denominadas “brownfields”, gerando um dos maiores problemas ambientais e sociais existentes nesses países atualmente. Nos Estados Unidos, são estimados que existam de 130.000 a 450.000 áreas enquadradas como “brownfields”, com um custo potencial para sua recuperação de US\$ 650 bilhões. Apenas na cidade de Chicago, 18% das áreas industriais estão sem uso, o que corresponde a mais de 610 hectares ou cerca de 2.000 locais (BEAULIEU, 1998).

As dificuldades em recuperar antigas áreas industriais também são observadas em outros países, como, por exemplo, no Reino Unido e Alemanha, onde existem propostas para utilização dessas áreas para uso residencial.

Na Região Metropolitana de São Paulo, principal região industrial do Brasil, antigas áreas industriais desativadas vêm sendo utilizadas para novos usos. A mudança do uso dessas áreas para outras, como residencial, comercial ou industrial leve, vem ocorrendo nessa região, indicando que existe grande possibilidade de sucederem os mesmos problemas observados nos países citados.

Dessa forma, as indústrias desativadas, conforme destaca CUNHA (1997), “provavelmente se incluem entre as fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas mais importantes na Região Metropolitana de São Paulo, uma vez que sobre elas já não se exerce qualquer forma de controle ambiental e as restrições à sua reutilização estão associadas às leis de zoneamento urbano, as quais ainda não consideram as questões relativas à poluição ambiental”.

5 Investigação e avaliação de risco das áreas contaminadas

A escolha das técnicas de investigação de uma área contaminada é realizada em função das características específicas de cada área a ser estudada. Entretanto, alguns procedimentos gerais são aplicáveis.

Inicialmente, são levantados dados existentes sobre a geologia, pedologia, hidrogeologia e outros, visando indicar as características do fluxo das águas nas zonas não saturada e saturada na área a ser investigada, com o objetivo de definir os meios pelos quais os prováveis contaminantes irão se propagar, além de se definir os métodos de perfuração e amostragem que poderão ser utilizados para coleta de amostras de solo e/ou água (superficial ou subterrânea). Em seguida, devem ser identificadas e determinadas as características dos contaminantes presentes, ou provavelmente presentes na área. A identificação dos contaminantes pode ser executada realizando-se, por exemplo, um levantamento histórico da área, utilizando-se várias fontes de informação, como, por exemplo, registros de matérias-primas e resíduos gerados, além da interpretação de fotografias, para localizar as áreas onde estes eram manipulados, aplicados ou dispostos (NICHOLSON; SMYTH, 1994).

Em função dos resultados obtidos nos levantamentos, são planejadas e executadas investigações, utilizando-se de métodos indiretos e diretos para caracterização da contaminação nos diferentes compartimentos, definindo-se, dessa forma, o seu posicionamento e taxa de propagação e as concentrações que atingem os receptores ou bens a proteger (LAGREGA et al., 1994).

Os métodos indiretos são utilizados para medir parâmetros, que estão relacionados com as informações de interesse, enquanto os métodos diretos implicam na realização de sondagens, amostragens e testes para coletar as informações de interesse. Como exemplo de métodos indiretos, podem ser citados os métodos geofísicos de investigação, como a eletrorresistividade, eletromagnéticos, sísmica e radar de penetração do solo (USEPA, 1993b).

Os métodos diretos consistem da execução de sondagens, amostragens e testes utilizados para definir as propriedades dos solos, das rochas e outros tipos de materiais, além das concentrações dos contaminantes. Amostragens de águas subterrâneas podem ser realizadas utilizando-se vários tipos de poços de monitoramento; águas da zona não saturada podem ser amostradas por meio de lisímetros de sucção, e amostradores de drenagem livre, por exemplo. Diferentes métodos de perfuração, conjugados com diferentes tipos de amostradores, podem ser utilizados para a execução das amostragens e instalação de equipamento para a realização das mesmas.

Normalmente, com base nos dados obtidos na investigação da área são realizados estudos de avaliação de risco, cujos resultados são aplicados na decisão da necessidade de eliminar ou reduzir os riscos impostos pela presença de uma área contaminada. No processo de avaliação de risco são identificadas as populações potencialmente expostas aos contaminantes presentes na área sob investigação, determinadas as concentrações às quais esses indivíduos encontram-se expostos e quantificado o risco decorrente dessa exposição, considerando a toxicidade dos contaminantes envolvidos. Caso seja constatada a existência de risco, um plano de remediação deve ser desenvolvido.

6 Recuperação e remediação de áreas contaminadas

No Brasil, diferentes termos são utilizados para descrever os processos pelos quais uma área contaminada recebe intervenções, visando à contenção, ao isolamento, à remoção ou redução das concentrações dos contaminantes. Normalmente, são utilizados os termos “recuperação” de áreas contaminadas, “remediação” de áreas contaminadas ou em alguns casos é utilizado o termo “restauração”. O emprego dos termos “recuperação” e “restauração”, que podem ser considerados como sinônimos, significam readquirir uma condição, enquanto o termo “remediação”, amplamente utilizado internacionalmente em língua inglesa (“remediation”), significa dar remédio, sanear, tornar uma área saudável, curar.

Dessa forma, propõe-se neste manual a aplicação desses termos, quando tratar-se do assunto “áreas contaminadas”, segundo os princípios apresentados a seguir. Deve-se entender por recuperação de uma área contaminada o processo de aplicação de medidas corretivas necessárias para isolar, conter, minimizar ou

eliminar a contaminação, visando à utilização dessa área para um determinado uso. Essa definição considera que o princípio da “aptidão para um determinado uso” é mais viável técnica e economicamente em países onde os recursos são escassos do que o princípio da “multifuncionalidade” (restaurar as condições naturais, viabilizando todos os tipos de uso de uma área), que vem sendo abandonado pela maioria dos países. Dessa forma, para recuperar uma área contaminada pode ser feita uma escolha entre dois tipos de medidas: as que se destinam à compatibilização ao uso atual ou futuro da área contaminada e medidas de remediação.

As medidas de compatibilização ao uso atual ou futuro da área contaminada compreendem a definição de uma utilização (onde a contaminação continuará presente na área), que garante que não existirão vias de transporte de contaminantes ou receptores expostos à contaminação. Por exemplo, pode-se optar pela implantação de um estacionamento, com pavimento impermeável, ao invés da área ser utilizada para fins residenciais, o que pode implicar na não-necessidade de outras formas de intervenção na área. Esse tipo de ação pode ser tomado tendo como base a avaliação de risco e a consequente constatação de que a presença dos contaminantes e seu transporte ofereçam, aos bens a proteger, um risco considerado baixo.

As medidas de remediação (“aplicação de remédios”) podem ser divididas basicamente em dois tipos: medidas de contenção ou isolamento da contaminação e medidas para o tratamento dos meios contaminados, visando à eliminação ou redução dos níveis de contaminação a níveis aceitáveis ou previamente definidos. Deve-se considerar que medidas de contenção e tratamento podem ser adotadas conjuntamente. Dessa forma, pode-se considerar que o termo “recuperação” engloba os termos “remediação” (contenção e tratamento) e “compatibilização ao uso atual ou futuro da área”.

Basicamente, três abordagens são utilizadas no planejamento da remediação em uma área contaminada (USEPA, 1998):

- mudança do uso definido da área para minimizar o risco;
- remoção ou destruição dos contaminantes para a eliminação do risco;
- redução da concentração dos contaminantes ou contenção desses para eliminar ou minimizar risco.

A estratégia de remediação proposta para uma determinada área pode combinar essas três abordagens.

Em geral, a aplicabilidade de um método de remediação depende de vários fatores, como, por exemplo, as características do meio contaminado, dos contaminantes, objetivos da remediação, localização da área, tempo e recursos disponíveis.

7 Políticas e legislações utilizadas no gerenciamento das áreas contaminadas

As políticas e abordagens de diversos países para lidar com áreas contaminadas diferem largamente devido a circunstâncias e fatores locais. Por exemplo, existem diferenças na definição de áreas contaminadas, nos procedimentos de avaliação de risco, na origem dos critérios de qualidade do solo, na metodologia para definir prioridades, nos conceitos de recuperação (“multifuncionalidade” e “aptidão para o uso”), nos procedimentos de remediação, na garantia de qualidade das investigações e remediação e no monitoramento (VAN DEN BRINK et al., 1995).

SÁNCHEZ (1998) identificou cinco tipos de abordagem governamentais para lidar com os problemas gerados pelas áreas contaminadas: a negligente, a reativa, a corretiva, a preventiva e a proativa.

A abordagem **negligente** é observada em países ou regiões onde ainda não existe um reconhecimento público dos problemas gerados pelas áreas contaminadas. Sob a alegação de que a população não se preocupa com esses problemas, não efetuando reclamações, ou alegando a existência de outros problemas mais importantes, como, por exemplo, os vários problemas sociais existentes em países em desenvolvimento, o problema das áreas contaminadas na maior parte das vezes é ignorado.

A abordagem **reativa** caracteriza-se pela adoção de ações emergenciais em situações onde os riscos ou danos são evidentes e existe pressão da população para que os órgãos governamentais tomem alguma atitude. Em geral os órgãos governamentais não estão preparados para tratar desses problemas, gerando ações desarticuladas.

A abordagem **corretiva** adota formas planejadas e sistematizadas de ação, prevendo-se as intervenções necessárias em áreas contaminadas prioritárias. Pressupõe a necessidade de remediar áreas contaminadas após a identificação e diagnóstico destas.

A abordagem **preventiva** considera que, embora os contaminantes possam ter-se acumulado durante a operação de um empreendimento, eles devem ser reduzidos ou eliminados quando de sua desativação ou fechamento. Tal enfoque pressupõe, no mínimo, a preparação e implementação de um plano de desativação do empreendimento.

A abordagem **proativa** é aquela que busca evitar que a contaminação se acumule durante a operação de um empreendimento, minimizando assim os impactos ambientais durante todo o ciclo de vida de uma instalação.

Segundo SÁNCHEZ (1998), os países que mais avançaram no trato da questão das áreas contaminadas, passando por etapas caracterizadas por posturas negligentes e reativas, evoluíram no sentido de adotar políticas corretivas e começaram também a esboçar ações de cunho preventivo voltadas para alguns setores industriais/comerciais, cujo potencial de contaminação de solos é elevado.

Fica evidente que uma atuação efetiva nesse assunto requer uma integração em nível político, jurídico-legal e institucional. O mecanismo que compreende essas três

esferas para uma atuação institucional eficaz e eficiente e o GAC - Gerenciamento de Áreas Contaminadas, podendo ser definido como uma "atuação interdisciplinar, interinstitucional e integral dos órgãos competentes no trato do problema ambiental gerado pelas áreas contaminadas, inclusive dos procedimentos institucionais e técnicos, o quadro normativo-legal e o sistema financeiro".

Os primeiros passos em direção a um Gerenciamento de Áreas Contaminadas, no Brasil, foram elaborados pela CETESB, que identificou as necessidades institucionais para atuar no assunto e propôs uma estruturação técnica-institucional para uma atuação na Região Metropolitana e no Estado de São Paulo (MARKER et al., 1993, 1995, 1998)

Neste Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, são apresentadas propostas de procedimentos para a adoção de uma política corretiva no Estado de São Paulo; essas propostas seriam a base para a elaboração de uma legislação específica sobre o assunto.

Para viabilizar as ações propostas neste manual, a futura legislação deve contemplar os seguintes aspectos:

- definição do universo de atuação, ou seja, estabelecer as definições de áreas potencialmente contaminadas, áreas suspeitas de contaminação e áreas contaminadas;
- estabelecer os objetivos básicos a ser atingidos pela lei, ou seja, adotar o princípio de que a realização da remediação de uma área deve viabilizar seu uso futuro, ou adotar o princípio de que devem ser restauradas as condições de multifuncionalidade;
- definir os órgãos competentes e suas atribuições;
- definir os procedimentos e regulamentos pelos quais as áreas contaminadas são identificadas, avaliadas, investigadas e remediadas;
- geração e administração, pelo órgão competente, de um cadastro de áreas potencialmente contaminadas, áreas suspeitas de contaminação e áreas contaminadas, cujos dados subsidiarão as decisões para o estabelecimento de ações corretivas nas áreas contaminadas, o planejamento urbano, os processos para aprovação de projetos, a transferência de propriedades e/ou mudança do uso do solo, além de tornar pública a localização dessas áreas;
- procedimentos para a definição dos responsáveis (poluidores, proprietários, ex-proprietários, acionistas, empresários, gerentes de empresas e agentes financiadores, etc.);
- estabelecer as obrigações do responsável/causador e do órgão competente;
- definição dos procedimentos para definição das responsabilidades sobre os custos da investigação e remediação das áreas contaminadas;
- criação e administração de recursos financeiros destinados à investigação e remediação de áreas contaminadas;
- colaboração entre o órgão estadual competente e os órgãos públicos municipais;
- criação de canais de comunicação com a população.

8 Referências bibliográficas

- BEAULIEU, M. The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening. In: CONTAMINATED SOIL'98, Edinburgh, 1998. **Proceedings**. London, The Reserch Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998, v.1, p. 51-59.
- BIEBER, A.; FRANZIUS, V.; FREIER, K. Framework for contaminated sites management in Germany. In: CONTAMINATED SOIL'98, Edinburgh, 1998. **Proceedings**. London, The Reserch Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998, v. 2, p. 1235-1236.
- BUTLER, B.E. Consultation with national experts: managing contaminated land. UNEP Industry and Development, April June, 55-56, 1996.
- CUNHA, R.C.A. **Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas**. São Paulo, 1997. 152p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- DER SPIEGEL: revista alemã semanal, n. 16, p. 292, 1993.
- EEA - European Environment Agency: Environment in den European Union at the turn of the century. Appendix to the summary. Facts and findings per environmental issue, 42 p., Copenhagen, 1999.
- FETTER, C.W. **Contaminant hidrogeology**. New York, Macmillan Publishing Company, 1993.
- LAGREGA, M.D.; BUCKINGHAM, P.L.; EVANS, J.C. **Hazardous waste management**. New York, McGraw-Hill, 1994.
- MARKER, A.; CUNHA, R.C.A.; GÜNTHER, M.A., 1993: Avaliação de Áreas Contaminadas na Região Metropolitana de São Paulo - Saneamento Ambiental, Ano IV, n. 25,36 - 39.
- MARKER, A.; KRÄTZIG, T.; CUNHA, R.C.A.; GÜNTHER, M.A., 1995: Integral approach to contaminated sites management in urban-industrial agglomerates of developing countries- example São Paulo, Brazil - W.J. van den Brink, R. Bosman and F. Arendt (eds.): Contaminated Soil'95,99 - 100 - Kluwer Ac. Publ., Netherlands.
- MARKER, A.; GÜNTHER, M.A.; CUNHA, R.C.A., 1998: Contaminated Sites and Urban Ecology in São Paulo, Brazil - J. Breuste, H. Feldmann, O. Uhlmann (eds.): Urban Ecology, Springer - Verlag, Berlin 446-451.
- NICHOLSON, R.; SMYTH, D. Desk top review. In: CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, WATERLOO CENTRE FOR GROUND WATER RESEARCH. **SUBSURFACE ASSESSMENT HANDBOOK FOR CONTAMINATED SITES**. Winnipeg, 1994. Section 2, p 21-43.

POLLARD, S.J.T.; HERBERT, S.M. Contaminated land regulation in the UK: the role of the Environment Agency and Scottish Environment Protection Agency. In: CONTAMINATED SOIL'98, Edinburgh, 1998. **Proceedings**. London, The Research Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998, v. 1, p. 33-42.

SÁNCHEZ, L.E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental**. São Paulo, 1998. 178p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Subsurface characterization and monitoring techniques – Solids and Ground Water. EPA/625/R-93/003**. Washington, DC, Office of Research and Development, 1993b.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY. **NATO/CCMS Pilot Study – Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater. Phase II, Final Report, number 219. EPA 542-R-98-001a**. 1998. INTERNET (www.clu-in.com).

VAN DYCK, E. The contaminated sites policy in Flanders (Belgium). In: CONTAMINATED SOIL'95, Maastricht, 1995. **Proceedings**. Dordrecht, The Research Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, 1995. v. 1, p. 39-48.

1100 O gerenciamento de áreas contaminadas

O gerenciamento de áreas contaminadas (ACs) visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, em virtude da existência das mesmas, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

Com o objetivo de otimizar recursos técnicos e econômicos, a metodologia utilizada no gerenciamento de ACs baseia-se em uma estratégia constituída por etapas seqüenciais, em que a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior.

Dessa forma, foram definidos dois processos que constituem a base do gerenciamento de ACs denominados: processo de identificação e processo de recuperação.

O **processo de identificação de áreas contaminadas** tem como objetivo principal a localização das áreas contaminadas, sendo constituído por quatro etapas:

- definição da região de interesse;
- identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- avaliação preliminar;
- investigação confirmatória.

O **processo de recuperação de áreas contaminadas** tem como objetivo principal a adoção de medidas corretivas nessas áreas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas a ser atingidas após a intervenção, adotando-se dessa forma o princípio da “aptidão para o uso”. Esse processo é constituído por seis etapas:

- investigação detalhada;
- avaliação de risco;
- investigação para remediação;
- projeto de remediação;
- remediação;
- monitoramento.

Na realização das etapas do processo de identificação, em função do nível de informação existente referente a cada uma das áreas em estudo, estas podem ser classificadas como: áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) ou áreas contaminadas (ACs).

Durante a execução das etapas do gerenciamento de ACs, em função do nível de informação referente a cada uma das áreas em estudo, estas podem ser classificadas como áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) e áreas contaminadas (ACs).

As **áreas potencialmente contaminadas** são aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras, isto é, onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger.

As **áreas suspeitas de contaminação** são aquelas nas quais, durante a realização da etapa de avaliação preliminar, foram observadas falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos e outros. Essas constatações induzem a suspeitar da presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas e/ou em outros compartimentos do meio ambiente.

Uma **área contaminada**, conforme definição apresentada no capítulo 1000, pode ser definida resumidamente como a área ou terreno onde há comprovadamente contaminação, confirmada por análises, que pode determinar danos e/ou riscos aos bens a proteger localizados na própria área ou em seus arredores.

As informações obtidas nessas etapas devem ser armazenadas no Cadastro de Áreas Contaminadas, o qual se constitui no elemento central do gerenciamento de ACs. Essas informações podem ser utilizadas no controle e planejamento ambiental da região de interesse ou ser fornecidas para outras instituições públicas ou privadas, para diversos usos, como, por exemplo, o planejamento urbano.

Para a aplicação dos procedimentos necessários para a realização de priorizações de áreas, na metodologia desenvolvida para o gerenciamento de ACs, são previstas três etapas de priorização. Os critérios utilizados para realizar essas priorizações consideram basicamente as características da fonte de contaminação (tipo de contaminante, tamanho da fonte de contaminação), as vias de transporte dos contaminantes e a importância dos bens a proteger.

O gerenciamento de ACs pode ser conduzido por um órgão federal, estadual, municipal ou até mesmo privado que possua a atribuição de controlar os problemas ambientais na região de interesse. Esse órgão deve se responsabilizar pela execução das etapas do processo de identificação de áreas contaminadas e pela fiscalização da execução das etapas do processo de recuperação, que caberá, normalmente, ao responsável pela contaminação, de acordo com o princípio do “poluidor pagador”.

A proposta de metodologia para o gerenciamento de ACs é apresentada de forma esquemática na Figura 1100-1. O fluxograma apresentado mostra a seqüência das etapas do gerenciamento, destacando o Cadastro de Áreas Contaminadas e os caminhos pelos quais os dados obtidos são registrados. Nessa figura, também é apresentado o posicionamento das diferentes etapas de priorização.

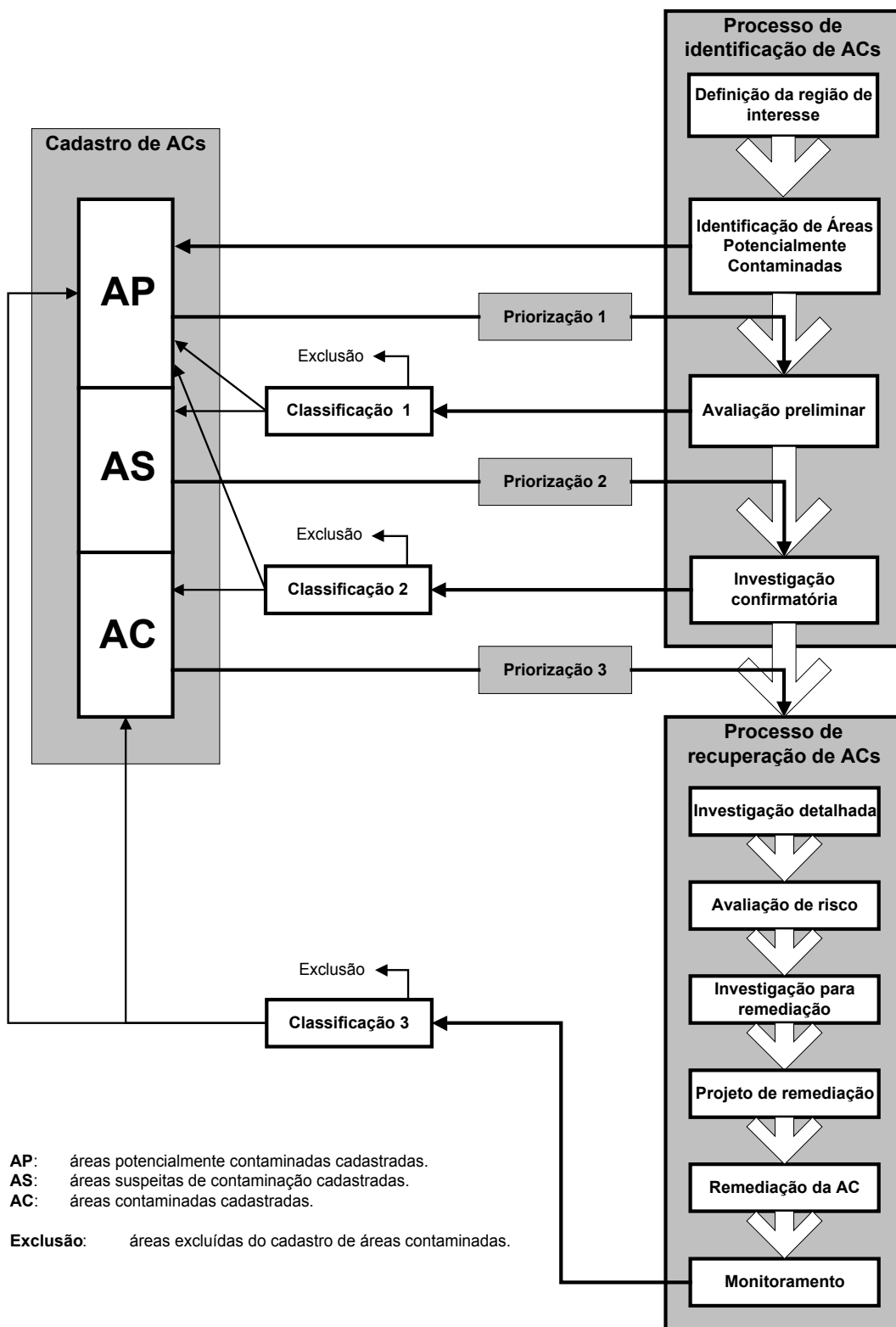


Figura 1100-1: Fluxograma das etapas do gerenciamento de ACs.

Nesta seção, a metodologia do gerenciamento de ACs é apresentada de maneira resumida, sendo descrita em três partes principais:

- ETAPAS DO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS
- CADASTRO DE ÁREAS CONTAMINADAS
- PRIORIZAÇÕES

1 Etapas de gerenciamento de áreas contaminadas

1.1 Definição da região de interesse

Nesta etapa, que marca o início do gerenciamento de ACs, são definidos os limites da região a ser abrangidos pelo gerenciamento e estabelecidos os objetivos principais a ser alcançados por este, considerando os principais bens a proteger.

A região de interesse pode ser um estado, um município, uma área industrial, uma área de mineração, uma localidade onde ocorra usos do solo incompatíveis, entre outras, que sejam de interesse social, político, econômico e/ou ambiental.

A definição da região de interesse e o estabelecimento dos objetivos do gerenciamento de ACs estão relacionados com as atribuições e interesses da instituição que deverá executar o gerenciamento, denominado aqui de órgão gerenciador.

No caso de um município, o órgão gerenciador será a prefeitura; no caso de um estado ou país, será a agência ambiental estadual ou federal; e, no caso de instituições que desenvolvem atividades potencialmente contaminadoras, as próprias empresas privadas.

Definida a região de interesse, devem ser identificados os bens a proteger, pois são os principais elementos a ser considerados na avaliação dos riscos, decorrentes da existência das áreas contaminadas.

São exemplos de bens a proteger: a qualidade das águas subterrâneas (regiões com aquíferos importantes para o abastecimento, áreas de proteção de poços, de recarga e vulneráveis), a qualidade do solo (uso e ocupação do solo, planejamento urbano), a qualidade das águas superficiais (qualidade do solo, das águas subterrâneas e das superficiais em bacias hidrográficas utilizadas para abastecimento), as áreas de preservação ambiental (fauna e flora), a saúde da população (ocupação em áreas de conflito, por exemplo, zonas urbanas com elevada densidade populacional em contato com zonas industriais) e as áreas agrícolas (aplicação ou armazenamento de defensivos e fertilizantes, que podem

prejudicar a qualidade dos alimentos e águas e descarte inadequado de embalagens destes).

O solo e a água subterrânea são meios prioritários a ser considerados no gerenciamento de ACs, pois, além de ser bens a proteger de extrema importância, normalmente são as principais vias de propagação de contaminantes para outros bens a proteger. Dessa forma, na definição dos objetivos do gerenciamento de ACs em uma determinada região de interesse, a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas deve ser prioritária.

Visando à definição da região de interesse, devem ser levantadas as bases para a determinação dos seus limites e o posicionamento dos bens a proteger no seu interior. Isso deve ser feito pela utilização de mapas, normalmente, em escala regional.

Quando a região de interesse for um estado, a escala poderá variar de 1:500.000 a 1:250.000; regiões metropolitanas e municípios, de 1:100.000 a 1:25.000 ou até mesmo 1:10.000, em pequenas regiões industriais, bacias hidrográficas de reservatórios ou áreas de bombeamento de águas subterrâneas para abastecimento (áreas de proteção de poços).

1.2 Identificação de áreas potencialmente contaminadas

[ver capítulo III]

Nessa etapa, são identificadas as áreas existentes na região de interesse onde são manipuladas ou foram manipuladas substâncias, cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas possam causar danos aos bens a proteger, caso estas entrem em contato com os mesmos.

Inicialmente, devem ser definidas quais são as atividades potencialmente contaminadoras existentes na região de interesse. Em seguida, a *identificação das APs* pode ser realizada coletando-se os dados necessários através das técnicas de levantamento de dados existentes, de investigações, utilizando-se fotografias aéreas, e do recebimento e atendimento de denúncias ou reclamações. Essas diferentes técnicas podem ser utilizadas, de preferência como técnicas complementares, em função das suas disponibilidades para a região de interesse.

Os dados coletados devem ser tratados e apresentados em base cartográfica com escala apropriada. Esses resultados serão utilizados, posteriormente, como base para a execução das etapas subseqüentes. As áreas identificadas nessa etapa entram no Cadastro de Áreas Contaminadas, recebendo a classificação AP.

1.3 Avaliação preliminar

[ver capítulo V]

A execução da etapa de avaliação preliminar consiste basicamente na elaboração de um diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas, identificadas na etapa anterior, o que será possível realizando-se um levantamento de informações existentes e de informações coletadas em inspeções de reconhecimento em cada uma dessas áreas.

A execução dessa etapa possibilitará:

- levantar informações sobre cada AP de modo a subsidiar o desenvolvimento das próximas etapas do gerenciamento de ACs;
- documentar a existência de evidências ou fatos que levem a suspeitar ou confirmar a contaminação nas áreas em avaliação, possibilitando sua classificação como AS, AP, AC ou exclusão do cadastro;
- estabelecer o modelo conceitual inicial de cada área em avaliação;
- verificar a necessidade da adoção de medidas emergenciais nas áreas.

Os resultados obtidos nessa etapa possibilitam estabelecer uma classificação das áreas anteriormente identificadas como APs, com base em dados existentes e observações realizadas durante inspeções às mesmas. Como resultado da avaliação dessas informações, as áreas poderão ser classificadas como ASs, ACs ou mesmo permanecerem como APs.

Esse levantamento de informações deve ser orientado pela Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas, que constitui-se no elemento central do procedimento de *classificação de áreas*.

As informações existentes para a área a ser avaliada devem ser identificadas e reunidas, o que pode ser feito seguindo dois procedimentos básicos:

- a elaboração de um levantamento histórico das atividades desenvolvidas ou em desenvolvimento na área;
- o levantamento de dados sobre o meio físico.

Várias fontes podem ser consultadas na obtenção dessas informações, como, por exemplo, processos e relatórios do órgão de controle ambiental, arquivos existentes nas prefeituras, documentos existentes no próprio empreendimento ou com seu proprietário, mapas e fotografias aéreas multitemporais, entre outros.

A obtenção de dados através de inspeção de reconhecimento da área é feita por meio de observações em campo e por entrevistas com pessoas do local, possibilitando responder algumas das questões da Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas, como, por exemplo, as substâncias utilizadas, o estado geral das instalações, o uso do solo na área e em seus arredores e a existência de bens a

proteger. Os dados obtidos devem ser interpretados, visando formular hipóteses sobre as características da fonte de contaminação, as prováveis vias de transporte dos contaminantes (meios onde pode se propagar), a distribuição espacial da contaminação e os prováveis receptores ou bens a proteger atingidos. Dessa forma, estabelece-se um modelo conceitual inicial da área, que poderá ser utilizado como base para o planejamento das etapas de **investigação confirmatória e detalhada**.

1.3.1 Classificação 1

[ver seções 5000 e 5102]

As informações obtidas no preenchimento da Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas, durante a etapa de **avaliação preliminar**, possibilitam uma nova **classificação da área**, a qual pode permanecer como AP, ser identificada como AS ou ser excluída do cadastro em função das evidências quanto a sua não-contaminação.

A classificação das áreas deve ser realizada de acordo com procedimentos previamente estabelecidos e divulgados.

1.4 Investigação confirmatória

[ver capítulo VI]

A etapa de **investigação confirmatória** encerra o processo de identificação de áreas contaminadas e tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação nas áreas suspeitas, identificadas na etapa de avaliação preliminar.

Nessa etapa, as áreas anteriormente classificadas como ASs são avaliadas, utilizando-se métodos diretos e indiretos de investigação, visando comprovar a presença de contaminação, possibilitando a classificação das mesmas como ACs. Dessa forma, os resultados obtidos na etapa de investigação confirmatória são importantes para subsidiar as ações do órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental na definição do responsável pela contaminação e dos trabalhos necessários para a solução do problema.

A definição de uma área contaminada ou a comprovação da contaminação ocorrerá pela realização de análises específicas, tomando-se como base o conhecimento adquirido sobre a área nas etapas anteriores e utilizando-se diferentes técnicas de investigação, isolada ou conjuntamente, cuja seleção depende das características específicas de cada área em estudo.

O processo de confirmação da contaminação dá-se, basicamente, pela tomada de amostras de solo e/ou água subterrânea para análises químicas. O número de amostras coletadas deve ser reduzido, porém suficiente para comprovar a contaminação.

Para locar esses pontos e definir a profundidade de investigação, toma-se como base o conhecimento adquirido sobre a área na etapa anterior (avaliação preliminar), onde foi definido o modelo conceitual inicial da área.

Em seguida, deve ser feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas pela comparação dos valores de concentração obtidos com os valores de concentração estabelecidos em listas de padrões, definidas pelo órgão responsável pelo gerenciamento de ACs.

1.4.1 Classificação 2

[ver seções 5102 e 6000]

As ASs avaliadas na etapa de investigação confirmatória podem receber nova classificação, em função dos resultados obtidos, podendo ser identificadas como ACs, ASs, APs ou serem excluídas do cadastro. Aquelas classificadas como ACs deverão ser incluídas no **processo de recuperação de ACs**, enquanto aquelas identificadas como APs deverão permanecer no cadastro aguardando novas informações ou nova priorização.

Após a realização da etapa de investigação confirmatória, a Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas deverá ser atualizada, assim como o Cadastro de ACs, em função da nova classificação da área em questão.

1.5 Investigação detalhada

[ver seção 8100]

A etapa de **investigação detalhada** é a primeira do processo de recuperação de áreas contaminadas. Dentro desse processo, a etapa de investigação detalhada é de fundamental importância para subsidiar a execução da etapa seguinte de avaliação de riscos e, conseqüentemente, para a definição das intervenções necessárias na área contaminada.

A metodologia utilizada para execução da etapa de investigação detalhada é semelhante à utilizada para a execução da etapa de investigação confirmatória; entretanto, os objetivos são diferentes.

Enquanto na etapa de investigação confirmatória o objetivo principal é confirmar a presença de contaminação na área suspeita, na etapa de investigação detalhada o objetivo principal é quantificar a contaminação, isto é, avaliar detalhadamente as características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando-se as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações. Da mesma forma, devem ser definidas as características da pluma de contaminação, como seus limites e sua taxa de propagação.

1.6 Avaliação de risco

[ver capítulo IX]

O objetivo principal da etapa de **avaliação do risco** é a quantificação dos riscos gerados pelas áreas contaminadas aos bens a proteger, como a saúde da população e os ecossistemas, para edificações, instalações de infra-estrutura urbana, produção agrícola e outros. Essa quantificação é baseada em princípios de toxicologia, química e no conhecimento sobre o comportamento e transporte dos contaminantes.

Os resultados obtidos na etapa de avaliação de risco são úteis para:

- determinar a necessidade de *remediação* em função do uso atual ou proposto da área;
- embasar o estabelecimento de níveis de remediação aceitáveis para a condição de uso e ocupação do solo no local e imediações;
- embasar a seleção das técnicas de remediação a ser empregadas.

As seguintes etapas devem ser consideradas na avaliação dos riscos:

- identificação e quantificação dos principais contaminantes nos diversos meios;
- identificação da população potencialmente atingida pela contaminação;
- identificação das principais vias de exposição e determinação das concentrações de ingresso dos contaminantes;
- avaliação do risco através da comparação das concentrações de ingresso com dados toxicológicos existentes.

Os resultados da avaliação de risco podem subsidiar a tomada de decisão quanto às ações a ser implementadas, de modo a promover a recuperação da área para um uso definido. Em alguns casos, tais ações podem restringir-se à compatibilização do uso do solo com o nível de contaminação apresentado, não havendo, neste caso, necessidade de realização das etapas posteriores.

1.7 Investigação para remediação

[ver capítulo X]

O objetivo da etapa de **investigação para remediação** é selecionar, dentre as várias opções de técnicas existentes, aquelas, ou a combinação destas, que são possíveis, apropriadas e legalmente permissíveis para o caso considerado.

Para a realização dessa etapa, devem ser desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- levantamento das técnicas de remediação;
- elaboração do plano de investigação;
- execução de ensaios piloto em campo e em laboratório;
- realização de monitoramento e modelagem matemática;
- interpretação dos resultados;
- definição das técnicas de remediação.

A partir dos objetivos da remediação definidos na etapa de avaliação de riscos, devem ser selecionadas as técnicas de remediação mais adequadas, entre as várias existentes.

Em seguida, deve ser estabelecido um plano de investigação, necessário para a implantação e execução de ensaios piloto em campo e em laboratório que podem ser realizados para testar a adequabilidade de cada uma das técnicas para conter ou tratar (reduzir ou eliminar) a contaminação, avaliar a eficiência e a confiabilidade das técnicas, além de considerar aspectos legais e ambientais, custos e tempo de implantação e operação.

1.8 Projeto de remediação

[ver capítulo XI]

O **projeto de remediação** deve ser confeccionado, para ser utilizado como a base técnica para o órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental avaliar a possibilidade de autorizar ou não a implantação e operação dos sistemas de remediação propostos.

Dessa forma, o projeto de remediação deverá conter todas as informações sobre a área contaminada, levantadas nas etapas anteriores do gerenciamento.

Além disso, o projeto de remediação deverá conter planos detalhados de segurança dos trabalhadores e vizinhança; plano detalhado de implantação e operação do sistema de remediação, contendo procedimentos, cronogramas detalhados e o plano de monitoramento da eficiência do sistema, com os pontos de coleta de dados definidos, parâmetros a ser analisados, frequência de amostragem e os limites ou padrões definidos como objetivos a ser atingidos pela remediação para interpretação dos resultados.

A aprovação do projeto de remediação pelo órgão gerenciador deverá levar em conta a qualidade dos trabalhos técnicos realizados e os requerimentos legais existentes, assim como a opinião de outras partes interessadas, como a população local, os responsáveis pela execução da remediação e outros.

1.9 Remediação de ACs

[ver capítulo XII]

A **remediação de ACs** consiste na implementação de medidas que resultem no saneamento da área/material contaminado e/ou na contenção e isolamento dos contaminantes, de modo a atingir os objetivos aprovados a partir do *projeto de remediação*.

Os trabalhos de remediação das áreas contaminadas devem ser continuamente avaliados de modo a verificar a real eficiência das medidas implementadas, assim como dos possíveis impactos causados aos bens a proteger pelas ações de **remediação**.

O encerramento dessa etapa se dará, após anuência do órgão de controle ambiental, quando os níveis definidos no projeto de remediação forem atingidos.

1.9.1 Monitoramento

Durante as ações de remediação, a área deverá permanecer sob contínuo **monitoramento**, por período de tempo a ser definido pelo órgão de controle ambiental.

Os resultados do monitoramento serão utilizados para verificar a eficiência da remediação, propiciando observar se os objetivos desta estão sendo atingidos ou não.

1.9.2 Classificação 3

A partir dos resultados obtidos nesse monitoramento, será possível realizar uma nova etapa de **classificação**, na qual a área poderá ser classificada como AP, caso a contaminação tenha sido removida e continue existindo uma atividade potencialmente contaminadora na área. Uma área poderá ser classificada ou permanecer como AC, caso continue existindo contaminação na área, embora os riscos aos bens a proteger tenham sido eliminados ou minimizados pela aplicação das técnicas de remediação. Uma área poderá ser excluída do Cadastro de ACs, caso a contaminação seja removida e não exista uma atividade potencialmente contaminadora na área.

2 Cadastro de áreas contaminadas

[ver capítulo IV]

O **Cadastro de ACs** constitui-se no instrumento central do gerenciamento de ACs. Ele é composto por duas partes, o cadastro físico e o cadastro informatizado, em que ficam armazenados todos os dados obtidos sobre as áreas, assim como a

representação destes em base cartográfica. Em função da dinâmica inerente ao processo de gerenciamento de ACs, o cadastro deve ser regularmente atualizado.

Uma vez estruturado, o cadastro subsidia:

- a administração dos dados pelo órgão gerenciador ou entidade responsável;
- a elaboração de diagnósticos e análises regionais referentes às áreas;
- a apresentação da situação de áreas específicas quanto ao diagnóstico e ações desenvolvidas ou propostas com vistas a sua recuperação;
- a adoção de ações de controle e planejamento ambiental;
- o planejamento do uso e ocupação do solo;
- a apresentação e divulgação dos dados e informações referentes às ACs.

2.1 Cadastro físico

No **cadastro físico**, devem ser armazenadas todas as informações disponíveis sobre as áreas, como, por exemplo, as fichas cadastrais e de pontuação preenchidas, mapas contendo a localização das áreas e bens a proteger, os relatórios emitidos durante o desenvolvimento das etapas do gerenciamento de ACs, além de outras informações não armazenadas no cadastro informatizado.

2.2 Cadastro informatizado

O cadastro informatizado pode ser constituído por um banco de dados alfanuméricos associado a um Sistema Geográfico de Informações (SGI). As informações são fornecidas ao banco de dados a partir da Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas nas diferentes etapas que compõem o gerenciamento de ACS.

A entrada de dados no cadastro é realizada após a etapa de **identificação de APs** e as atualizações são feitas após as etapas subsequentes do gerenciamento de ACs.

A base cartográfica que compõe o SGI, se possível, deve compreender a mancha urbana, as vias de circulação, geologia, hidrografia, áreas de proteção e/ou restrição legal, localização de poços de abastecimento, mapas de profundidade de nível d'água subterrânea, perímetros de proteção de poços, mapas de uso do solo e as localizações das APs, ASs e ACs.

Os dados cadastrados no SGI, juntamente com o banco de dados alfanuméricos, permitem a realização de pesquisas gráficas onde o usuário pode indicar um ponto ou área do mapa da região de interesse e ter acesso às informações disponíveis, imagens e textos digitalizados relacionados a uma área específica. Pelo cruzamento de imagens, pode-se definir áreas críticas e/ou prioritárias, como, por exemplo, mapas de susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas baseados nos mapas de profundidade do nível d'água, litologia e localização de APs, ASs e ACs.

O cadastro deve dispor também de rotina para **priorização** em função das características das áreas, das vias de transporte dos contaminantes e dos bens a proteger que possam ser afetados, baseado no Sistema de Pontuação (ver seção 7101).

2.3 Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas

[ver seções 5101 e 5102]

A **Ficha Cadastral de ACs** constitui-se no instrumento central para coleta e organização de dados e, conseqüentemente, para alimentação do Cadastro de ACs.

As informações obtidas através da ficha podem ser agrupadas da seguinte forma:

- dados relativos à natureza e características da fonte de contaminação;
- dados relativos à existência e características dos bens a proteger;
- dados indicativos da forma de propagação dos contaminantes;
- informações sobre as ações adotadas em relação à avaliação e remediação da área.

Com base nas informações registradas na ficha cadastral, as áreas são classificadas em AP, AS ou AC, dependendo da etapa do gerenciamento que se tenha atingido.

3 Priorizações

No desenvolvimento do gerenciamento de áreas contaminadas (ACs) em uma região de interesse, pode ser necessária a execução de **priorizações**, visando à utilização racional dos recursos destinados à execução das diversas etapas, em função do elevado número de áreas normalmente envolvidas nesse processo.

A metodologia desenvolvida para o gerenciamento de ACs prevê a execução de três etapas de priorização: Priorização 1, Priorização 2 e Priorização 3, realizadas, respectivamente, antes de iniciar-se as etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada, que são descritas a seguir.

3.1 Priorização 1

[ver capítulo VII]

Os fatores a ser considerados nessa etapa consideram aspectos técnicos, econômicos, administrativos e políticos. As atribuições do órgão gerenciador também são muito importantes na definição destes.

Entre os aspectos técnicos, devem ser considerados a natureza das substâncias presentes, o potencial contaminador da atividade desenvolvida ou em desenvolvimento na área e sua proximidade em relação a bens a proteger.

3.2 Priorização 2

[ver capítulo VII]

As áreas classificadas como ASs na etapa de avaliação preliminar poderão ser submetidas a um sistema de pontuação, pelo qual é possível estabelecer uma priorização das áreas avaliadas em função dos riscos que as mesmas determinam aos bens a proteger.

O instrumento de priorização das áreas a ser utilizado nessa etapa é o Sistema de Pontuação de Áreas Contaminadas (ver seção 7101), o qual tem por base a Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas.

3.3 Priorização 3

[ver capítulo VII]

Em princípio, todas as áreas classificadas como ACs devem ser submetidas ao processo de recuperação de ACs. Há, entretanto, casos em que é difícil a identificação do responsável pela contaminação, ou mesmo situações em que esses não possuem condições financeiras para arcar com as despesas relativas à execução das etapas desse processo.

Diante desse quadro, nova etapa de priorização deverá ser implementada, visando ao direcionamento da aplicação de recursos que possam estar disponíveis para esse fim.

Os critérios a ser empregados nessa priorização deverão estar baseados em critérios técnicos, havendo também a necessidade de serem considerados os interesses públicos e da sociedade. A ficha de pontuação de ACs também pode ser utilizada nessa etapa.

2000 Bases legais

O tema ambiental que teve elaboração de regulamentação, através de bases normativas, mais recentemente, foi a "proteção do solo e a remediação de áreas contaminadas". Até alguns anos atrás, a atuação dos órgãos ambientais nas questões que envolviam áreas contaminadas era orientada pela aplicação de itens de legislações que tratavam de resíduos sólidos, poluição das águas, licenciamento, etc.

As primeiras legislações específicas sobre ACs promulgadas no final dos anos 80 têm caráter predominantemente corretivo, sem tratar muito de aspectos preventivos no sentido de evitar futuras contaminações e de garantir a qualidade ambiental em relação ao solo e às águas subterrâneas.

Recentemente, com a conceituação do solo como um bem-a-proteger instituído em alguns países industrializados, como é o caso da Alemanha, foram criadas leis que permitem a proteção desse meio, preestabelecendo critérios de qualidade e regulamentando as medidas que visam ao saneamento do solo e das águas subterrâneas. Em particular, a questão das responsabilidades, os valores referenciais para a qualidade do solo e das águas subterrâneas (valores-limite), as exigências a respeito da investigação, avaliação de risco e da remediação de ACs, a atuação interinstitucional, a participação dos municípios e a questão de financiamento são abordados nas leis mais recentes e modernas sobre ACs.

Este capítulo apresenta um resumo das leis brasileiras que possuem relevância para o tema ACs e que possuem forte potencial de aplicação no âmbito estadual e federal.

Apresenta-se, também, um resumo da estrutura jurídico-legal da Alemanha com a citação (traduzida) de leis específicas que tratam da proteção do solo e da remediação de ACs.

O capítulo deverá abranger, nas próximas atualizações do manual, outras questões relacionadas ao quadro jurídico-legal, como os instrumentos econômicos e a integração institucional.

2100 Legislação brasileira

No Brasil, ainda não existe uma legislação específica para as questões que envolvam áreas contaminadas (AC). No entanto, a legislação ambiental existente oferece uma certa base referindo-se indiretamente a diferentes aspectos do problema de AC, como, por exemplo, os itens que abordam a preservação ou a recuperação da qualidade ambiental, os instrumentos legais como as políticas nacional ou estadual de meio ambiente e diretrizes e normas para o controle de poluição. Há também leis específicas que estabelecem instrumentos legais especiais com uma certa relevância para o problema de áreas contaminadas, como, por exemplo, o parcelamento do solo urbano.

De acordo com a estrutura federativa, encontram-se legislações ambientais no âmbito federal, estadual e municipal que podem, tendo em vista a falta de legislação específica, ser utilizadas nas ações dos órgãos ambientais nas questões que envolvem esse tema. Em seguida, será apresentado um resumo das legislações em níveis federal e estadual (exemplo: São Paulo) com relevância para o problema de AC.

1 Legislação federal

1.1 Constituição Federal

A Constituição Federal do Brasil de 1988 estabelece os *princípios* da política nacional do meio ambiente. No capítulo VI (“Do Meio Ambiente”), Artigo 225, é colocado o princípio:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

1.2 Lei nº 6.938/81 - sobre a Política Nacional do Meio Ambiente

A Lei Federal 6.938/81, regulamentada pelo *Decreto 99.274/90*, define a política nacional do meio ambiente e regula a *estrutura administrativa* de proteção e de planejamento ambiental – o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

Essa lei introduz alguns *instrumentos* de planejamento ambiental e determina a *responsabilidade/penalidade* para casos de poluição.

Art. 2º – A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios: (...)

VIII – recuperação de áreas degradadas;

Art. 4º – A Política Nacional do Meio Ambiente visará: (...)

VII – à implantação, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados (...).

O Artigo 3º, Inciso II, define:

Art. 3º – Para os fins previstos nesta lei, entende-se por: (...)

II – degradação da sua qualidade, a alteração adversa das características do meio ambiente.

De acordo com o Art. 14, IV, § 1, o *responsável* pela poluição tem a obrigação de *reparar* os danos causados por suas atividades, ao meio ambiente ou a terceiros, ou deve pagar indenização correspondente.

Art. 14, IV, § 1º – Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. (...)

O Art. 6º estabelece o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e determina a *estrutura hierárquica* das entidades responsáveis da União, dos Estados e dos Municípios, bem como as funções atribuídas pelo Poder Público. Os Estados devem criar órgãos de controle ambiental, os *Órgãos Seccionais*, e os Municípios criam as suas entidades responsáveis: os *Órgãos Locais*. Cabe aos Estados e aos Municípios elaborarem normas e padrões, observando as normas do nível superior respectivo.

Art. 6º, VI – Órgãos Seccionais: os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental; (...)

VII – Órgãos Locais: os órgãos e entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições.

§ 1º – Os Estados, na esfera de suas competências e nas áreas de sua jurisdição, elaborarão normas supletivas e complementares e padrões relacionados com o meio ambiente, observados os que foram estabelecidos pelo CONAMA.

§ 2º – Os Municípios, observadas as normas e os padrões federais e estaduais, também poderão elaborar as normas mencionadas no parágrafo anterior.

1.3 Lei nº 6.766/79 – sobre o parcelamento do solo urbano

A Lei Federal 6.766/79 define as competências do Estado e do Município sobre a questão do *parcelamento do solo*. É um instrumento importante na interface de áreas contaminadas com o desenvolvimento urbano. A lei não permite o parcelamento do solo em áreas poluídas.

*Art. 3º, Parágrafo único: Não será permitido o parcelamento do solo: (...)
II – em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; (...)
V – em áreas (...) onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.*

A lei contém regulamentos administrativos para a *aprovação* de projetos de loteamento e desmembramento (Capítulo V) e para o *registro* de loteamento e desmembramento (Capítulo VI). Através do Art. 12, a Prefeitura Municipal, em casos específicos o Estado (Art. 13), é responsável pela aprovação. Através do Art. 18, aprovado o projeto, o loteador deve submetê-lo ao registro imobiliário (no *Registro de Imóveis*).

O Art. 49 regula o *recebimento comprovado de intimações e notificações* (um mecanismo provavelmente importante na questão de notificação ao proprietário de uma AS/AC e as conseqüências relacionadas com a responsabilidade de remediação).

Art. 49 – As intimações e notificações previstas nesta Lei deverão ser feitas pessoalmente ao intimado ou notificado, que assinará o comprovante do recebimento, e poderão igualmente ser promovidas por meio dos Cartórios de Registro de Títulos e Documentos da Comarca (...)

1.4 Lei nº 9.605/98 – sobre as sanções penais e administrativas derivadas de lei de crimes ambientais, condutas e atividade lesivas ao meio ambiente (Lei dos Crimes Ambientais)

A Seção IV – A Lei prevê penas de reclusão de até 5 anos na Seção IV ("Da Poluição e outros Crimes Ambientais"), conforme mencionado no Art. 54:

Art. 54 – Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

A comercialização de substância tóxica (p. ex., a venda de áreas contaminadas) perigosa ou nociva à saúde humana está sendo considerada como infração no Art. 56:

Art. 56 – Produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana e ao meio ambiente em desacordo com as exigências estabelecidas em leis e nos seus regulamentos.

A omissão da autoridade ambiental na apuração de infrações ambientais está sendo considerada como infração administrativa no Art. 70.

Art. 70 – Considera-se infração administrativa ambiental toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente.

E colocada sob a pena de co-responsabilidade no § 3º:

§ 3º – A autoridade ambiental que tiver conhecimento de infração ambiental é obrigada a promover a sua apuração imediata, mediante processo administrativo próprio, sob a pena de co-responsabilidade.

2 Legislação estadual

Em seguida, refere-se à legislação do Estado de São Paulo.

2.1 Constituição do Estado de São Paulo de 1989

O problema de AC não é tratado especificamente. No entanto, a Constituição faz referências ao problema de AC no Capítulo IV, Seções I-IV.

O Art. 193 da Seção I – Do Meio Ambiente – estabelece o objetivo de proteger o meio ambiente mediante um sistema administrativo e define vários aspectos da política ambiental, entre os quais a *proteção contra a poluição e degradação*:

Art. 193 – O Estado, mediante Lei, criará um sistema de administração da qualidade ambiental, proteção, controle e desenvolvimento do meio ambiente e uso adequado dos recursos naturais, para organizar, coordenar e integrar as ações de órgãos e entidades da administração pública direta e indireta (...) com o fim de: (...)

XIV – promover medidas jurídicas e administrativas de responsabilização dos causadores de poluição ou de degradação ambiental; (...)

XX – controlar e fiscalizar obras, atividades, processos produtivos e empreendimentos que, direta ou indiretamente, possam causar degradação do meio ambiente, adotando medidas preventivas ou corretivas e aplicando as sanções administrativas pertinentes.

No Art. 201, a Constituição Estadual prevê ainda a *integração administrativa* entre os Municípios na questão ambiental:

Art. 201 – O Estado apoiará a formação de consórcios entre os Municípios, objetivando a solução de problemas comuns relativos à proteção ambiental, em particular à preservação dos recursos hídricos e ao uso equilibrado dos recursos naturais.

2.2 Lei nº 997/76 – sobre o controle de poluição

A lei estadual 997/76 dispõe sobre o controle da poluição ambiental.

Art. 2º – Considera-se poluição do meio ambiente a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo:

I – impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;

II – inconvenientes ao bem-estar público;

III – danosos aos materiais, à fauna e à flora;

IV – prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Art. 3º – Fica proibido o lançamento ou liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo.

Parágrafo único – Considera-se poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia que, direta ou indiretamente, causa poluição do meio ambiente de que trata o artigo anterior.

Considerando AC como a presença ou mesmo fonte de poluentes permanente do solo, da água e do ar, a lei deve ser aplicada exigindo medidas adequadas pelo Poder Executivo autorizado.

Art. 13º – Fica o Poder Executivo autorizado a determinar medidas de emergência a fim de evitar episódios críticos de poluição ambiental ou impedir sua continuidade (...)

2.3 Decreto nº 8.468/76 – Aprova o regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e sobre o controle da poluição do meio ambiente

O Título IV é dedicado à *poluição do solo*:

Art. 51 – Não é permitido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo resíduos, em qualquer estado da matéria (...)

Art. 52º – O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja propriedade pública ou particular.

Art. 56 – O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza, de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços, quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria fonte de poluição (...)

No Art. 5º do Título I, são colocadas as atribuições da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB como órgão executivo. Considerando a AC como fator nocivo ao meio ambiente, o Art. 6º estabelece a base legal para o processo do levantamento e análise de ACs, da avaliação dos riscos (Inc. I, II, III, IX, etc.) e faz uma referência à integração do problema no planejamento urbano dos Municípios (Inc.VII):

Art. 6º – No exercício da competência (...), incluem-se entre as atribuições da CETESB, para controle e preservação do meio ambiente:

I – estabelecer e executar planos e programas de atividade de prevenção e controle da poluição;

II – efetuar levantamentos, organizar e manter o cadastramento de fontes de poluição;

III – programar e realizar coleta de amostras, exames de laboratórios e análise de resultados, necessários à avaliação da qualidade do referido meio; (...)

VII – estudar e propor aos Municípios, em colaboração com os órgãos competentes do Estado, as normas a serem observadas ou introduzidas nos Planos Diretores urbanos e regionais, no interesse do controle da poluição e da preservação do mencionado meio;

IX – efetuar inspeções em estabelecimentos, instalações e sistemas que causem ou possam causar a emissão de poluentes; (...)

2.4 Lei nº 9.509/97 – da Política Estadual do Meio Ambiente (Lei Tripoli)

A lei dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. O Artigo 2º, Capítulo I, estabelece os princípios da Política Estadual, entre outros, a prevenção e *recuperação* do meio ambiente degradado, a informação da população sobre o nível da poluição e a obrigação do poluidor de recuperar danos causados.

O Artigo 2º, Inciso I, dispõe sobre a necessidade de prevenir a degradação e promover a recuperação do meio ambiente degradado:

I – adoção de medidas, nas diferentes áreas de ação pública e junto ao setor privado, para manter e promover o equilíbrio ambiental e a melhoria da qualidade ambiental, prevenindo a degradação em todas as suas formas e impedindo ou mitigando impactos ambientais negativos e recuperando o meio ambiente degradado.

O Inciso VIII coloca como princípio o fornecimento à população de informações ambientais, mostrando a necessidade e importância da existência de um cadastro de áreas contaminadas em nível estadual e/ou municipal para que se tenha essas informações organizadas para atender a essa demanda.

VIII – informação da população sobre os níveis de poluição, a qualidade do meio ambiente, as situações de risco de acidentes, a presença de substâncias nocivas e potencialmente nocivas à saúde e ao meio ambiente, nos alimentos, na água, no solo e no ar, bem como o resultado das auditorias a que se refere o Inciso VII deste artigo.

O Inciso XVII dispõe sobre as responsabilidades do poluidor:

XVII – imposição ao poluidor de penalidades e da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos, através de atos administrativos e de ações na justiça, sem prejuízo das demais penalidades previstas em lei, incumbindo, para tanto, os órgãos competentes, da administração direta, indireta e fundacional da obrigação de promover as medidas judiciais para a responsabilização dos causadores da poluição e degradação ambiental, esgotadas as vias administrativas.

Como objetivo, a Política Estadual do Meio Ambiente, através da lei, dispõe:

Art. 4º – A Política Estadual do Meio Ambiente visará: (...)

V – à imposição ao poluidor, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados (...)

O Capítulo II estabelece o Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental – SEAQUA e dá a estrutura administrativa pelo *Órgão Central (SMA)*, pelos *Órgãos Executores, Órgãos Setoriais e Órgãos Locais*.

2.5 Decreto nº 32.955/91 regulamenta a Lei nº 6.134, de 2/6/88, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo

Regulamento da Lei nº 6.134/88.

No Capítulo II, Seção II, trata dos resíduos sólidos, líquidos ou gasosos.

Art. 16º – Os resíduos, sólidos, líquidos ou gasosos provenientes de quaisquer atividades somente poderão ser transportados ou lançados se não poluírem águas subterrâneas.

Na Seção III, há regulamentos para projetos de disposições de resíduos no solo, bem como a obrigação de monitoramento pelo empreendedor e a obrigação de remediação em casos de alterações na qualidade da água.

§ 3º – Se houver alteração estatisticamente comprovada, em relação aos parâmetros naturais de qualidade da água nos poços a jusante, por ele causada, o responsável pelo empreendimento deverá executar as obras necessárias para a recuperação das águas subterrâneas.

2.6 Lei nº 9.999/98

A Lei nº 9.999/98 altera a Lei nº 9.472, de 30 de dezembro de 1996, que disciplina o uso de áreas industriais.

A lei destaca o fato de que contaminações existentes em áreas localizadas em zonas de uso predominantemente industrial são cruciais para permitir ou não um uso mais nobre, p. ex. uso residencial.

*Artigo 1º – nas Zonas de Uso Predominantemente Industrial – ZUPI, divididas nas subcategorias ZUPI-1 e ZUPI-2, de que tratam os Artigos 6º, 7º e 8º da Lei nº 1.817, de 27 de outubro de 1978, poderão ser admitidos os usos residencial, comercial, de prestação de serviços e institucional quando se tratar de zona que tenha sofrido descaracterização significativa do uso industrial e **não haja contaminação** da área, mediante parecer técnico do órgão ambiental estadual, desde que o uso pretendido seja permitido pela legislação municipal.*

2.7 Outras normas

As seguintes leis estaduais têm uma certa relevância indireta para o problema de AC:

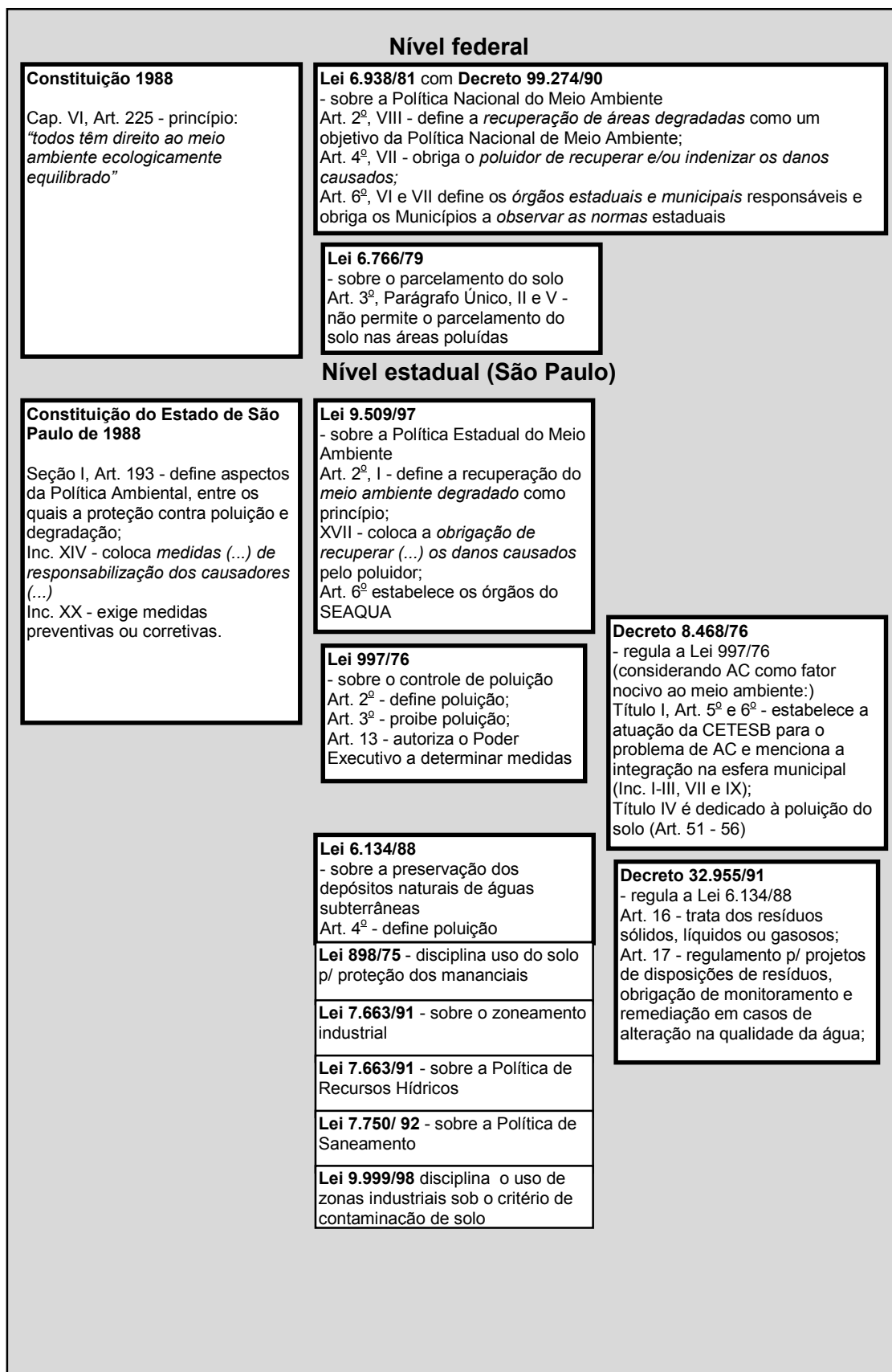
- **Lei nº 898/75** (com redação dada pela Lei nº 3.746/83 e Lei nº 7.384/91) disciplina o uso do solo para a proteção dos mananciais.
- **Lei nº 1.817/78** estabelece os objetivos e as diretrizes para o desenvolvimento industrial metropolitano e disciplina o zoneamento industrial, a localização, a classificação e o licenciamento de estabelecimentos industriais na RMSP.
- **Lei nº 6.134/88** dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

Art. 4º – As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento.

§ 3º – Para os efeitos desta Lei, considera-se poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações (...)

- **Lei nº 7.663/91** estabelece normas de orientação à Política de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- **Lei nº 7.750/92** dispõe sobre a Política de Saneamento.

Figura 2100-1: A legislação brasileira/paulista relacionada ao problema de AC



2200 Legislação alemã

A Alemanha é uma República Federal constituída por 16 estados. Com exceção das três "cidades-estado" (Berlim, Hamburgo e Bremen), os estados são administrativamente subdivididos em regiões. A entidade administrativa de uma região executa grande parte das funções dos ministérios estaduais em nível regional.

As regiões são subdivididas em distritos. As cidades com mais de 100.000 habitantes não pertencem a um distrito. Os municípios possuem uma administração própria, mas não têm uma legislação própria.

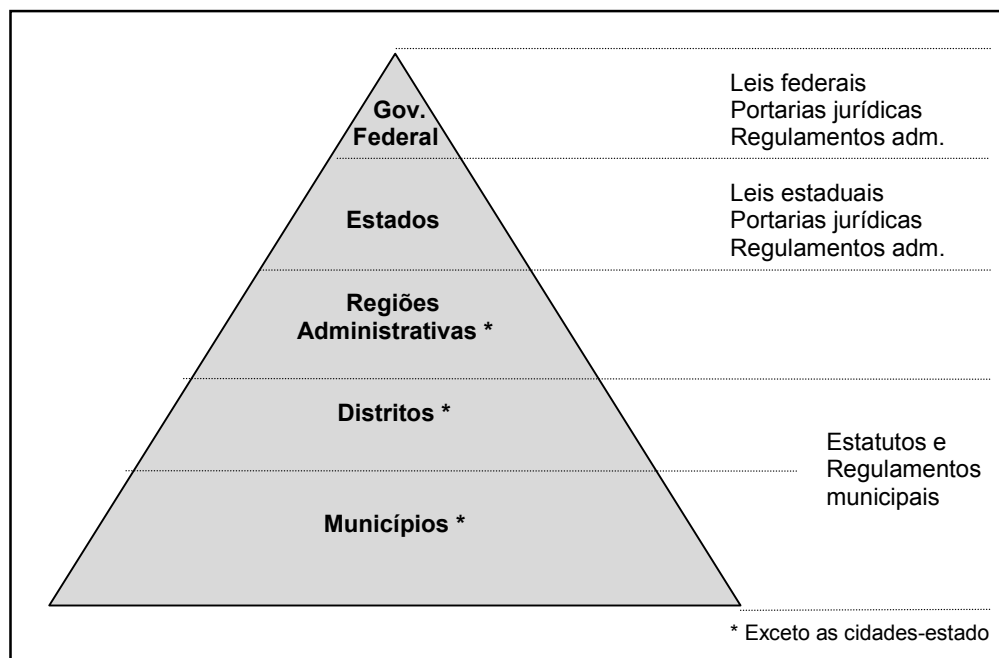


Figura 2200-1: A estrutura federativa alemã e as bases legais correspondentes.

1 Nível federal

A primeira *Lei de Resíduos Sólidos* na Alemanha entrou em vigor em 1972 e passou a responsabilidade dos lixões municipais para os distritos, assim terminando com a disposição irregular e inadequada de resíduos sólidos em lixões. Tanto a lei atual (*Lei de Resíduos Sólidos* de 1986) quanto a nova *Lei de Circuito Econômico e de Resíduos Sólidos*, que substituirá a primeira e entrou em vigor no fim de 1996, não dispõem de um parágrafo específico de áreas contaminadas (AC).

Através da sua estrutura federativa, a Alemanha estabeleceu um sistema jurídico-administrativo de proteção do solo nos três níveis governamentais: federal, estadual e municipal. O problema ambiental de AC é um aspecto integrante da proteção do solo. Dessa forma, a recente Lei Federal de Proteção do Solo de 1998¹ contém um item especial sobre AC. Na maioria dos estados, o problema de AC também foi integrado em leis de proteção do solo² ou de resíduos sólidos³ (veja item 2). O estado de Hessen, por exemplo, estabeleceu uma lei própria de AC.⁴

Em nível local, os municípios alemães não dispõem de leis próprias. Mas os órgãos locais estão encarregados, principalmente, do gerenciamento de AC, cumprindo as normas legais estaduais e federais.

Um dos problemas centrais do gerenciamento de áreas contaminadas é o de se determinar quando uma área pode ser declarada "suspeita" de contaminação. Assim, criou-se a demanda para que haja uma normatização em nível estadual e federal. A elaboração de tais normas é um processo difícil e demorado, principalmente em nível federal, por razões técnicas, econômicas, sociais, jurídicas e políticas que dificultam uma concordância geral sobre o conteúdo da regulamentação. A demanda na definição dos parâmetros dados e técnicas válidos para todo o país requereu um longo processo de elaboração, por vários grupos de trabalho interestaduais e interdisciplinares. Essa demanda foi respondida pela *regulamentação da Lei de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas*⁵ que foi decretada pelo governo federal da Alemanha em junho de 1999 e representa o passo decisivo na regulamentação e normatização de todas as etapas do gerenciamento de ACs na Alemanha.

1.1 A Lei de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas (Bundes-Bodenschutzgesetz)

A *Lei de Proteção do Solo (Bundes-Bodenschutzgesetz)* de 1998, trata em nível federal de AC quanto à proteção do solo. Seu objetivo principal é: *“Proteger o solo contra alterações negativas na qualidade do solo e tomar medidas preventivas”*. Isso inclui a intervenção para modificar a situação de contaminação.

A lei dispõe sobre a atuação do Estado em caso de alterações nocivas ao solo, definindo-as como modificações das condições física, química e biológica do solo, levando a prejuízos o homem e a sociedade. Ela define o "risco" como dano persistente da função natural do solo e estabelece a definição (uniformizando as definições das normas estaduais) de áreas suspeitas de contaminação (*“altlastenverdächtige Flächen”*) e áreas contaminadas (*“Altlasten”*) como segue:

1 Bundes-Bodenschutzgesetz, de 17 de março de 1998.

2 P. ex., no estado de Baden-Württemberg: Lei de Proteção do Solo (BodSchG) de 1991

3 P. ex., no estado de Nordrhein-Westfalen (NRW): Lei de Resíduos Sólidos de NRW (LAbfG NW) de 1995.

4 Lei de Áreas Contaminadas de Hessen (HAltlastG) de 1994.

5 Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV).

Áreas suspeitas de contaminação (AS):

- lixões desativados, onde resíduos foram manuseados, armazenados e depositados (“Altablagerungen”);
- terrenos de estabelecimentos/instalações (industriais) desativados e áreas de uso comercial, nos quais foram manuseadas substâncias com risco ambiental (“Altstandorte”).

Áreas contaminadas (AC)::

- Áreas (descritas acima - “Altablagerungen” e “Altstandorte”) que podem causar poluição do solo ou outros riscos ao bem-estar público e individual.

Os aspectos centrais na questão de AC abordados na Lei de Proteção do Solo são:

- obrigatoriedade de levantamento e cadastramento de áreas suspeitas de contaminação (AS) pelo órgão público responsável;
- definição do responsável
 - causador ou seu sucessor
 - proprietário ou arrendatário, locatário;
- elaboração de um plano de remediação pelo responsável pela contaminação;
- obrigatoriedade do responsável pela contaminação de realizar a remediação;
- obrigatoriedade de informação ao público;
- obrigatoriedade de colaboração e acesso aos dados relevantes do responsável;
- obrigatoriedade de monitoramento.

A regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas de 1999 traz, como instrumento central para a investigação e avaliação de ASS, uma lista de valores-limite, os chamados *valores de investigação (Prüfwerte)* e *valores de intervenção (Massnahmenwerte)*, bem como as *exigências para amostragem, análise e controle de qualidade na investigação*. Em conjunto com essa regulamentação, a lei federal é um instrumento completo dando orientação para todos os envolvidos responsáveis pela questão de AC.

Além disso, a regulamentação estabelece diretrizes concretas, bem como orientações práticas em nível técnico e legal para todos os aspectos administrativos do gerenciamento de AC e da questão de proteção do solo (Figura 2200-2).

Parte 1: Diretrizes gerais

- Área de aplicação
- Terminologia

Parte 2: Exigências para investigação e avaliação de ASs

- Investigação
- Avaliação

Parte 3: Exigências para remediação (...) de ACs

- Medidas de remediação, de proteção e contenção de ACs
objetivos das medidas, exigências à qualidade (eficiência) das medidas, obrigações do responsável (proprietário)

Parte 4: Diretrizes adicionais para ACs

- Investigação para remediação e planejamento da remediação
exigências adicionais para investigação e plano de remediação

Parte 5: Exceções

Parte 6: Diretrizes adicionais para o perigo de alterações danosas do solo por erosão

Parte 7: Prevenção contra a ocorrência de alterações danosas do solo

Parte 8: Diretrizes finais

Figura 2200-2: Estrutura da regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo de Áreas Contaminadas na Alemanha.

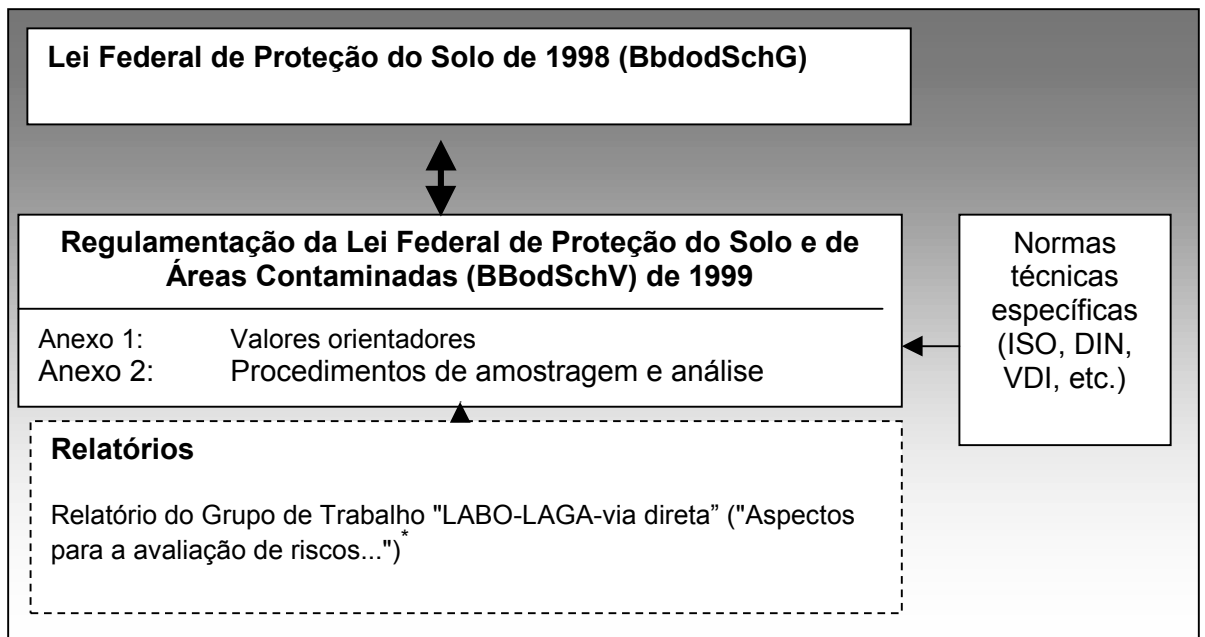


Figura 2200-3: Os diversos níveis de contribuição normativa para a regulamentação da Lei Federal de Proteção do solo na Alemanha.

*Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA-via direta" (Bericht der LABO-LAGA-AG "Direktpfad"): Aspectos para a avaliação de riscos na via de absorção direta solo [área] contaminado[a] – homem (Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigung/Altlasten – Mensch [Direkter Übergang]), 9/96; e.

1.2 Lei de Circuito Econômico e de Resíduos Sólidos (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz)

A nova Lei de Circuito Econômico e de Resíduos Sólidos de 1996 substituiu a Lei de Resíduos Sólidos de 1986. As diretrizes dessa lei também têm importância na remediação de áreas contaminadas. A remediação deve ser realizada conforme essa Lei, definindo o solo removido como resíduo sólido ("Abfall").

1.3 Lei de Construções (Baugesetzbuch) de 1986

A Lei de Construções é a base legal para a área de construções civis e para o planejamento urbano. Ela estabelece os instrumentos mais importantes do planejamento urbano: o *Plano Diretor Municipal (Flächennutzungsplan)* e o *Plano Específico de Uso do Solo (Bebauungsplan)*, ressaltando assim a relevância na interface de AC/planejamento urbano.

A lei exige um planejamento diretor (Bauleitplanung) que garanta o bem-estar público e um meio ambiente equilibrado.

§ 1 (5): Os Planos Diretores e Planos Específicos de Uso do Solo (Bauleitpläne) devem garantir o desenvolvimento urbano ordenado e o uso do solo socialmente justo para o bem-estar público. Devem também promover a proteção e o desenvolvimento do meio ambiente e dos recursos naturais. Na elaboração dos Planos Diretores e dos Planos Específicos, devem ser levados em consideração:

1. as exigências comuns para as condições saudáveis em áreas residenciais e comerciais e a segurança da população (...)

7. a proteção do meio ambiente, proteção da natureza e preservação da paisagem, especificamente dos recursos naturais, da água, do ar e do solo (...)

A obrigatoriedade de demarcar áreas contaminadas nos Planos Diretores e nos Planos Específicos de Uso do Solo é a medida mais concreta em relação ao problema de AC:

§ 5 (Conteúdos de um Plano Diretor) (...)

(3) Devem ser marcados no Plano Diretor: (...)

3. áreas de uso específico planejado, cujos solos são poluídos por substâncias nocivas.

§ 9 (Conteúdos de um Plano Específico de Uso do Solo) (...)

(5) Deve ser marcado no Plano Específico de Uso do Solo: (...)

3. áreas, cujos solos são poluídos por substâncias nocivas.

1.4 Lei de Avaliação de Impacto Ambiental - AIA (Gesetz über die Umweltverträglichkeit - UVPG) de 1990

AIAs são estudos realizados para contribuir para o processo de decisão sobre empreendimentos que são caracterizados por lei (anexo do § 3). Considerando a definição da Lei de Circuito Econômico e de Resíduos Sólidos, o solo contaminado removido durante a remediação é um resíduo sólido. Uma instalação para o tratamento do solo somente pode ser aprovada pelo poder público baseando-se numa AIA, a qual deve ser obrigatoriamente elaborada.

Anexo do § 3: A AIA deve ser realizada para os seguintes empreendimentos: (...)

4. Construção e estabelecimento de instalações de tratamento de resíduos sólidos (...)

Na esfera do planejamento diretor urbano, os municípios aplicam (podem aplicar) o instrumento de AIA na elaboração dos Planos Específicos de Uso do Solo.

1.5 Lei Federal de Recursos Hídricos (Wasserhaushaltsgesetz) de 1986

A aplicação dessa lei para AC é limitada. A relevância surge do fato de que solos contaminados são fontes de risco para a qualidade das águas. A lei estabelece diretrizes para armazenamento e depósito de substâncias perto de águas superficiais e subterrâneas (§ 26 Abs. 2, 34 Abs. 2 WHG), mas não resulta na intervenção administrativa do poder público, aplicando medidas de contenção ou remediação.

2 Nível estadual

Dez estados⁶ estabeleceram seções especiais sobre áreas contaminadas (AC) nas *Leis de Resíduos Sólidos*. O estado da Saxônia criou a *Lei de Circuito Econômico de Resíduos e de Proteção do Solo* e o estado de Hessen estabeleceu a *Lei Estadual de Áreas Contaminadas*.

2.1 Lei Estadual de Áreas Contaminadas de Hessen (Hessisches Altlastengesetz) de 1994 [tradução completa na seção 2210]

Como a Lei Estadual de Áreas Contaminadas de Hessen é a mais detalhada e avançada nesse assunto, serão mencionados seus principais aspectos.

Segundo o § 2, Alíneas 4 e 5, áreas suspeitas de contaminação (AS) e áreas contaminadas (AC) são definidas:

4. *Áreas suspeitas de contaminação (AS):
São áreas nas quais existe o risco efetivo de dano ao bem-estar público, considerando-se o uso atual ou planejado da área, causado por poluição comprovada ou grande probabilidade de sua existência.*
5. *Áreas contaminadas (AC):
Áreas que representam efetivo dano ao bem-estar público, devido à existência de contaminação, considerando o uso do solo existente ou planejado (...)*

As áreas desativadas (Altflächen⁷) são caracterizadas segundo o § 2, Alíneas 2 e 3, como:

2. *Instalações desativadas fechadas de tratamento de resíduos sólidos e áreas fora dessas instalações, onde foram tratados, armazenados ou depositados resíduos sólidos.*

⁶Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Bayern, Rheinland-Pfalz, Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Saarland.

⁷Para a caracterização da AS ou AC como "Altfläche", não há (como em inglês) tradução; o termo "Altfläche" poderia ser traduzido como "área antiga".

3. Áreas de empresas industriais ou comerciais desativadas, onde materiais ambientalmente nocivos foram usados.

Os principais componentes da lei são:

- definição do objetivo da lei e definição da terminologia;
- descrição do processo (reconhecimento de uma área suspeita e abertura do processo, identificação, avaliação, análise e remediação);
- esclarecimento da relação órgão público/proprietário (causador da contaminação);
- pagamento de custos, reembolso, compensação do valor crescente;
- elaboração e administração de um Cadastro de AC;
- declaração de uma área como AC (ato administrativo, registro em cadastros);
- definição da responsabilidade pela remediação;
- esclarecimento das competências dos órgãos públicos;
- multas.

2.2 Lei Estadual de Resíduos Sólidos de NRW

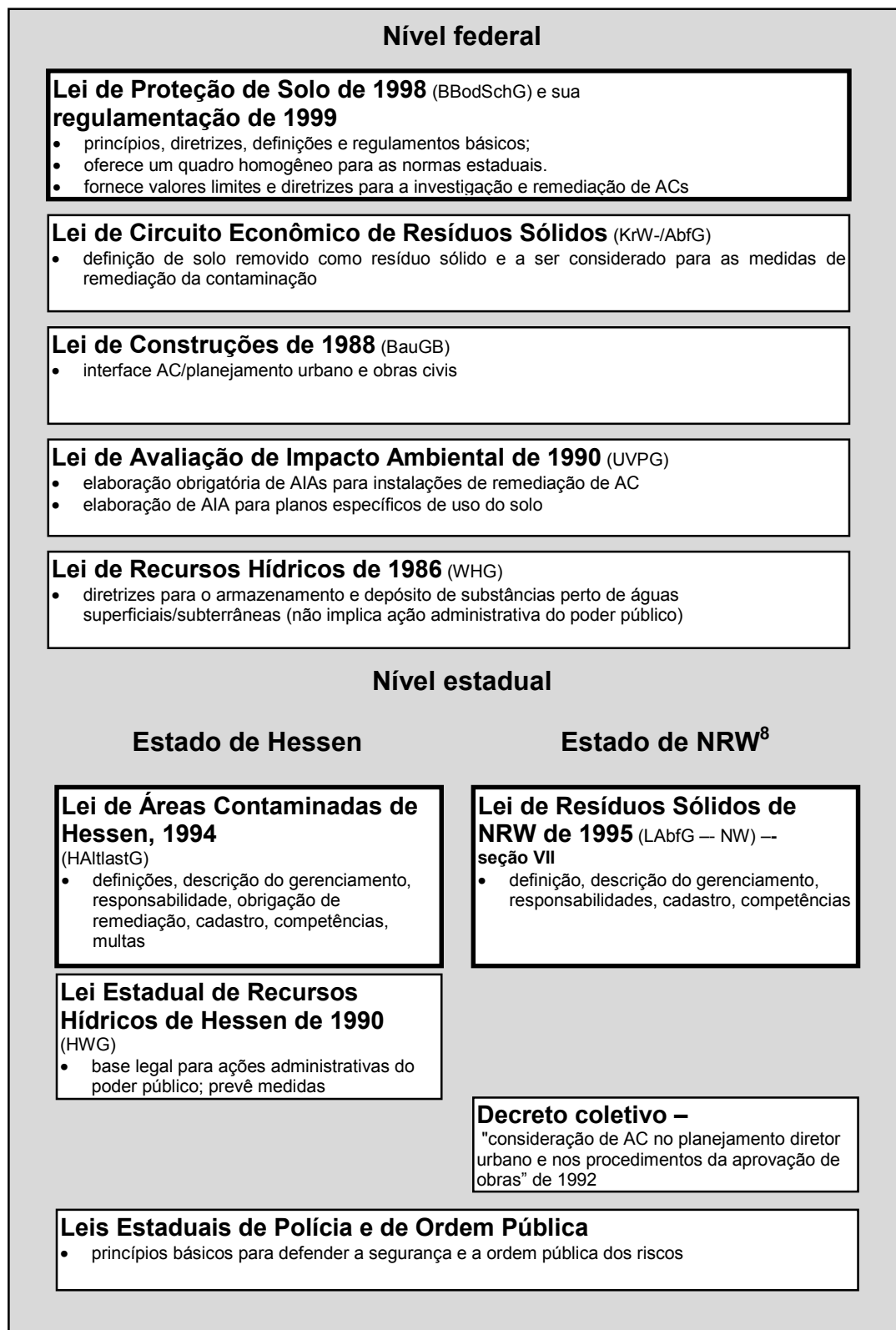
O estado da Renânia do Norte-Vestfália (NRW) estabeleceu uma seção própria sobre AC dentro da Lei Estadual de Resíduos Sólidos (Seção VII, §§ 28 ao 33). As questões centrais são:

- definições,
- os procedimentos de identificação, avaliação, remediação e monitoramento,
- responsabilidades;
- elaboração/administração de um cadastro;
- competências;
- regulamentos para transferência de dados e pesquisas básicas.

2.3 Decreto coletivo do governo de NRW

O decreto coletivo das Secretarias de Desenvolvimento Urbano e Trânsito, de Obras e Habitação, de Meio Ambiente, Ordenação Territorial e Agricultura do estado de Renânia do Norte-Vestfália (NRW) estabelece diretrizes para a “consideração de áreas contaminadas e áreas suspeitas no Plano Diretor urbano e nos procedimentos de aprovação de obras”. Essas diretrizes devem ser observadas na aplicação de instrumentos do planejamento urbano (como o Plano Diretor), cuja elaboração e administração está sob a competência dos órgãos públicos municipais.

Figura 2200-4: A legislação alemã relacionada ao problema de áreas contaminadas.



⁸ NRW = Renânia do Norte-Vestfália, Alemanha.

2210 Lei estadual sobre o reconhecimento, contenção e remediação de áreas contaminadas

(Lei estadual de áreas contaminadas de Hessen)^{1 2} de 1994

Artigo 1

§ 1 Finalidade da lei

(1) A finalidade da lei consiste em identificar, investigar, avaliar e fiscalizar áreas suspeitas de contaminação (AS), bem como remediar áreas contaminadas (AC), a fim de viabilizar o uso seguro do solo bem como o uso planejado de terrenos disponíveis e assim cooperar na proteção dos recursos naturais.

(2) O objetivo é remediar AC de modo que:

1. após a execução da remediação, não existam riscos à vida ou à saúde humana, assim como riscos ao meio ambiente no contexto do uso do solo efetivo ou planejado;
2. durante a execução das medidas remediadoras, sejam evitados danos ao bem-estar público.

§ 2 Definições

(1) - 3. (...) *Obs.: São definidos termos de relevância na Alemanha, mas não aplicados pelo Grupo AC da CETESB*

4. **Áreas suspeitas de contaminação (AS):**
São áreas nas quais existe o risco de efetivo dano ao bem-estar público, causado por poluição comprovada ou grande probabilidade de existência de contaminação, considerando o uso existente ou planejado da área.

5. **Áreas contaminadas (AC):**
Áreas que representam efetivo dano ao bem-estar público, devido à existência de contaminação, considerando o uso do solo existente ou planejado (...)

6. (...) *Obs.: Esta definido dano ao bem-estar público.*

¹Diário Oficial de Leis e Decretos para o Estado de Hessen, Parte I – dezembro de 1994.

²As Leis Estaduais foram substituídas parcialmente pela Lei Federal de Proteção do Solo de 1998 (*Bundes-Bodenschutzgesetz*)

7. Medidas de remediação do solo.
- a) medidas de contenção: medidas de defesa ou prevenção do risco de danos ao bem-estar público, através da diminuição ou interrupção da possibilidade de alastramento das substâncias nocivas existentes;
 - b) remediação parcial: medidas para a remoção de uma cota nociva e suas conseqüências;
 - c) remediação: medidas que, dentro das limitações técnicas e econômicas, sejam executadas de forma que, após sua execução, não surjam da área riscos ao corpo ou à saúde humana, nem riscos ao meio ambiente em relação ao uso do solo existente ou planejado.

§ 3 Restrição ao campo de aplicação

- (1) (...) *Obs.: São estabelecidas regulamentações para a atuação na interface com outras normas legais do Estado.*

§ 4 Abertura do processo de AC

- (2) O órgão público responsável pela remediação de AC, após conhecimento da existência de AS, dá entrada ao processo de AC.

Caso outro órgão público tiver tal conhecimento, dentro de sua área de atuação, informará ao órgão público responsável pela remediação de AC (...)

Ele informará se medidas de prevenção contra a contaminação foram tomadas. Os órgãos públicos responsáveis pela remediação de AC examinarão, nos casos das sentenças 1 e 2, a suspeita e direcionarão medidas necessárias a todos os terrenos sobre os quais há suspeita de contaminação (...)

Enquanto a suspeita de contaminação não for comprovada, o órgão público responsabiliza-se em aplicar medidas dentro de sua competência (...)

A secretaria estadual competente pela remediação de AC é autorizada a ordenar, através de portaria, sob quais pressupostos torna-se válida a suspeita de AC.

- (2) O órgão público responsável pela remediação deve imediatamente decidir se existe a suspeita de contaminação (...)

(3) O órgão competente pela remediação de áreas contaminadas, abrindo o processo, deverá informar imediatamente o órgão público que o delegou, os proprietários e outros envolvidos (...), assim como outros possíveis responsáveis pela remediação, à medida que forem sendo conhecidos. Aliás, estes devem ser averiguados o mais rápido possível.

§ 5 Análise e fiscalização de áreas suspeitas de contaminação (AS)

Os obrigados à remediação, conforme § 12, devem analisar tipo, extensão e dimensão da contaminação provenientes de AS; o órgão público responsável tomará então as decisões necessárias. Medidas necessárias também serão executadas nas áreas ao redor de AS, quando se contar com o alastramento da contaminação sobre elas. Também fazem parte dessas medidas a tomada e análise de amostras de ar, água e solo, assim como a implantação e o funcionamento de postos de controle. O § 14, Alínea 1, terá correspondente aplicação quando um responsável, no sentido do § 12, não pode ser acessível.

§ 6 Deveres de consentimento e direitos de entrada

(1) Proprietários ou outros usuários de AS, AC ou terrenos na área de influência de AS devem consentir as medidas ordenadas nesta lei.

(2) Funcionários e pessoas encarregadas pelo órgão público responsável serão autorizados pelos proprietários ou outros usuários regulamentados para a execução da análise e remediação de

1. AC e AS, assim como edifícios de serviço e instalações ligadas a elas;
2. terrenos em áreas de influência de AC e AS após aviso prévio, em caso de perigo eminente, também sem aviso prévio;

a fim de entrar e ali efetuar testes e medições em amostras de ar, água e solo e instalar postos de monitoramento (...)

(3) Se o usufruto dos proprietários, ou qualquer usuário regulamentado, de áreas não contaminadas ou suspeitas de contaminação for consideravelmente limitado por instalações permanentes de remediação, estes deverão ser indenizados, segundo o § 12, pelos obrigados à remediação. O valor será estimado segundo o uso não realizado.

§ 7 Obrigação de informação

(1) As pessoas, indicadas no § 6, Alínea 2, devem ser informadas sobre o estabelecimento, as instalações, equipamentos e sobre outros objetos existentes sob análise, e devem ser autorizadas a realizar a inspeção de documentos relacionados às AC ou AS pelos:

1. titulares, ex-titulares ou sucessores de instalações estabelecidas nas AS ou AC;
2. proprietários, ex-proprietários, usuários regulamentados, ex-usuários regulamentados de ASs ou ACs;
3. produtores (ou seus sucessores) de substâncias dispostos em AS ou AC.

(2) Os documentos citados na Alínea 1 devem ser conservados a partir do momento da confirmação da suspeita da AC. Os prazos de conservação devem ser estipulados pela secretaria estadual responsável pela AC, através de portaria.

As pessoas obrigadas à transmissão de informações podem recusar-se a dar respostas se (...) correriam o risco de serem processadas pessoalmente por irregularidade.

§ 8 Automonitoramento

O órgão público responsável pode ordenar a realização de medidas de automonitoramento, e pode ordenar que os custos da execução das medidas numa AS ou AC recaiam sobre os citados no § 12.

(...) *Obs.: O governo estadual regula detalhes técnicos do automonitoramento.*

§ 9 Pagamento de custos

Quem assume os custos, segundo os §§ 5 ao 7, é aquele que deu motivo à execução das medidas. Aqui, também incluem-se custos de execução, avaliação e classificação de cada análise técnica, medidas e amostras, assim como os custos da averiguação de responsáveis pela remediação. Causadores da contaminação devem ser citados prioritariamente.

Caso não sejam identificados ou não foi deles obtido nenhuma compensação, então, conforme o § 12, os aí citados incumbidos pela remediação serão os responsáveis pelos custos.

§ 10 Inventário de dados de AS/AC

(1) Os municípios e os órgãos municipais responsáveis pelo gerenciamento/coleta de resíduos (...) são obrigados a informar [à CETESB]³ sobre ACs e ASs que estiverem sob seu conhecimento (...) Os dados disponíveis devem ser imediatamente, até o máximo de três anos após a entrada em vigor desta lei, levantados ou mandados de tal forma à [CETESB] para que possam ser listados no inventário de AC e AS. [A CETESB] deve então passar esses dados atendendo às solicitações dos órgãos públicos responsáveis.

(2) Caso o órgão público responsável constatar-se de uma AS ou uma AC, deverá então informar [à CETESB]. Essa área deverá ser incluída no inventário de AS/AC.

(3) Após caracterizada como uma AS no inventário de AS/AC, proprietários, usuários regulamentados, assim como instituições públicas regionais envolvidas e possíveis responsáveis pela remediação conhecidos, devem ser informados sobre essa inscrição.

Caso não haja a confirmação dessa suspeita, a caracterização no inventário de AS/AC deverá ser imediatamente anulada; nesse sentido, é válida a Alínea 1. Sendo feita a inscrição como AC ou AS, um comprador não poderá alegar desconhecimento do fato.

³Na lei de Hessen, o órgão competente é a companhia estadual de meio ambiente (Hessische Landesanstalt für Umwelt). A CETESB seria o órgão técnica e administrativamente correspondente.

(4) A secretaria responsável pela remediação de AC, em acordo com o Ministério Público, pode decidir através de portaria sobre o conteúdo, utilização, possibilidades de acesso e transferência de dados para terceiros, assim como extensão e prazo da execução das obrigações.

§ 11 Declaração de áreas contaminadas (AC)⁴

(1) O órgão público competente declara, através de um ato administrativo, a existência de uma AC. De posse da declaração, a necessidade de remediação declarada (...) A declaração de AC notificará cada proprietário, assim como todos os possíveis e conhecidos usuários regulamentados. Segundo outras portarias, outros órgãos públicos também devem ser ativados.

(2) AC serão indicadas no Cadastro de Imóveis.

(3) Os responsáveis pela remediação assumirão os custos das medidas segundo a Alíneas 1 e 2.

(4) Em AS e AC que se estendem por vários terrenos ou prejudicam o desenvolvimento urbanístico, as medidas necessárias devem ser, o mais rápido possível, discutidas pelos proprietários, inquilinos, locatários e outros envolvidos.

(5) No caso do § 4, uma comissão pode ser formada, a qual funcionará para reconhecer AS e informar sobre medidas necessárias à remediação de AC (...)

(6) A secretaria estadual competente pela remediação encaminha uma comissão de avaliação, que pode recolher recomendações dos encarregados pela remediação de AC antes da sua determinação (...)

§ 12 Responsabilidade de remediação

(1) Para a execução da remediação, são obrigados:

1. empreendedores ou ex-empreendedores e seus sucessores de instalações em AC, na medida em que essas instalações produziram a contaminação;
2. o depositante, o produtor do lixo e seus sucessores de depósitos contaminados;
3. outros produtores de contaminantes, os quais criaram a necessidade de remediação;
4. pessoas que, devido a outras portarias, responsabilizaram-se pelos contaminantes ou pelo prejuízo do bem-estar público;

⁴Declaração é o ato oficial de reconhecer a contaminação de uma área.

5. proprietários, a não ser que não estavam nem deveriam estar cientes da necessidade de remediação ao adquirir o terreno, proprietários que poderiam partir de uma remediação concluída conforme o § 13, Alínea 4, ou proprietários que tinham conhecimento da anulação da declaração de uma AC;
 6. ex-proprietários, exceto aqueles que durante o período de sua posse, não foram nem deveriam ser informados sobre contaminações existentes ou produzidas.
- (2) O órgão competente recorre às pessoas responsáveis pela remediação (...)
- (3) A responsabilidade de remediação, segundo a Alínea 1, se acaba quando o responsável pela remediação no período da contaminação acreditava que não existiria nenhum impacto sobre o meio ambiente.
- (4) (...)

§ 13 Remediação de áreas contaminadas (AC)

(1) O órgão público responsável ordena aos responsáveis pela remediação, segundo o § 12, as medidas necessárias para a remediação da AC e das águas subterrâneas e áreas vizinhas, de acordo com o objetivo da remediação. Após a determinação de uma AC, sem ordenação ou consenso dos órgãos públicos responsáveis, somente serão lícitas as medidas de afastamento do perigo pelos proprietários ou autorizados. Caso sejam necessárias outras investigações para determinar a extensão da remediação, o órgão público encarregado ordena as investigações complementares da AC e dos terrenos atingidos aos responsáveis pela remediação.

Em áreas extensas com forte contaminação que exigem grandes recursos técnicos no processo de remediação, ou em casos de grande risco para terceiros, os responsáveis pela remediação deverão executar um plano de remediação que deverá conter, em especial, as seguintes informações:

1. o resumo da avaliação do risco;
2. o uso existente ou planejado do terreno, assim como os objetivos da remediação;
3. as exigências às medidas de remediação, de segurança e medidas de limitações;
4. as medidas de remoção de efeitos secundários;
5. informações para a duração das medidas.

Um plano de remediação também pode ser apresentado pelos responsáveis pela remediação ou outros utilitários autorizados do terreno, quando a constatação de AC ainda não sucedeu (conforme o § 11, Alínea 1).

(2) O plano de remediação deve ser apresentado ao órgão público competente. A remediação pode ser efetuada em partes. Uma remediação parcial e medidas de contenção só serão permitidas quando uma remediação total não for possível. Nesse caso, a declaração de AC será adaptada após a execução das medidas conforme a remediação parcial alcançada ou as medidas de contenção. Deverá ser incluído no Cadastro de AS/AC, segundo o § 10, Alínea 2, que tipo de uso do solo será permitido após a remediação.

(3) (...) À medida que um plano de remediação for solicitado, deverá ser convocada uma audiência que terá o prazo de duas semanas para comentar e aprovar as medidas do plano (...)

(4) Sendo o objetivo da remediação alcançado através das medidas necessárias, a AC deverá ser suspensa e anulada no Cadastro de AS/AC e no Cadastro de Imóveis. No Cadastro de AS/AC, o uso possível dessa área após a remediação tem que ser definido. A anulação da declaração como AC será apresentada aos proprietários, aos encarregados da remediação e aos usuários autorizados. Os custos ficam por conta dos encarregados da remediação. Devido a outras portarias, outros órgãos públicos também deverão ser informados. O órgão público competente ordenará controles posteriores, pagos pelos encarregados da remediação, quando for confirmado que a permanência do objetivo da remediação não foi atingida. O prazo ordenado poderá ser prolongado. Até o vencimento do prazo, os órgãos públicos competentes pela remediação ficarão responsáveis pela remediação de outros terrenos e das águas subterrâneas decorrentes da AC.

(5) Uma nova declaração de AC na área em questão pode ser feita, caso haja conhecimento de algum fato novo após a primeira anulação da declaração de AC. Se no caso de monitoramento posterior, segundo o § 4, constar que o objetivo da remediação não tenha sido alcançado, a área novamente pode ser declarada como AC.

(6) (...)

(7) A secretaria estadual competente pela remediação de AC será autorizada, através de portaria, a partir de quando os objetivos da remediação serão tidos como alcançados e como se conduzirá sua comprovação.

§ 14 Administrador da remediação de AC

(1) Nos casos em que os responsáveis pela remediação não possam ser chamados ou alistados a tempo, especialmente se devido à urgência da remediação, não pode sofrer espera; o órgão competente transferirá a um administrador da remediação a execução da análise ou remediação, sem que este se torne responsável. O órgão competente determinará o objetivo da remediação. (...)

(2) (...)

(3) Para os casos do § 1, será apresentado um programa de remediação pelo administrador da remediação de AC. O programa conterá as medidas de remediação esperadas, a seqüência da execução planejada e os respectivos custos esperados (...)

(4) - (9) (...) *Obs.: São esclarecidas as responsabilidades e relações entre o administrador da remediação e os órgãos públicos, a secretaria estadual competente e os proprietários. O administrador da remediação pode ser uma empresa privada.*

(7) A secretaria estadual competente pela remediação determina através de portaria o administrador da remediação de AC (...)

§ 15 Reembolso de custos

(1) Nos casos do § 14, o Estado recebe o direito de reembolso de custos pelos responsáveis da remediação. Esse direito será validado pelos órgãos competentes, através de ato administrativo (...)

(2) Os custos segundo o § 1 e os custos de remediação, que na execução da remediação dependem de compensação, poderão levar a propriedade à hipoteca. Isso só é válido se o proprietário for nomeado responsável pela remediação.

§ 16 Compensação de valor

(1) Em todos os casos em que o Estado assume parcial ou totalmente os custos da remediação, sem ser obrigado a isso segundo o § 12, especialmente nos casos do § 14, ele fica com o direito de compensação por parte dos proprietários do terreno (...)

(2) - (4) (...) *Obs.: São regulamentados os cálculos da compensação de valor do terreno.*

§ 17 Cotização de financiamento de AC

(1) O Estado recebe anualmente uma cota do financiamento de AC das *corporações territoriais*.⁵ As receitas da cota serão usadas na investigação e remediação de AC originadas pelos municípios.

(2) - (4) (...) *Obs.: São regulamentados os cálculos do financiamento.*

§ 18 Processamento de dados

(1) Os órgãos públicos competentes, (...) assim como as corporações territoriais e os administradores da remediação de AC, estão autorizados a fazer o levantamento e processamento de dados das pessoas envolvidas, para os fins citados na Alínea 3.

(2) - (3) (...) *Obs.: São definidos os fins (Alínea 3) que são deduzidos dos procedimentos e instrumentos do desenvolvimento e planejamento urbano na Alemanha. Aliás, é válida a Lei Estadual de Proteção de Dados Pessoais.*

⁵ Corporações territoriais (Gebietskörperschaften) são instituições de direito público que abrangem áreas definidas, administradas pelos seus órgãos, como, p. ex., os municípios.

§ 19 Serviços públicos técnicos

(...) *Obs.: São definidos os órgãos competentes na área de remediação de AC (em Hessen: Secretaria de Administração das Águas – em nível municipal) e as tarefas da Companhia Estadual de Meio Ambiente (em nível administrativo superior).*

§ 20 Peritos técnicos

Pela portaria, a secretaria estadual competente para remediação de AC pode:

1. delegar determinadas tarefas, particularmente medidas de controle e supervisão para peritos técnicos reconhecidos;
2. regulamentar pressupostos para o reconhecimento de peritos técnicos e sua respectiva remuneração;
3. regulamentar que os custos dos peritos técnicos sejam pelos responsáveis para a remediação;
4. regulamentar para que o cumprimento das medidas, conforme o n. 1, seja aprovado pelo reconhecimento de peritos técnicos.

§ 21 Competências

(1) {...} *Obs.: Refere-se à administração estadual alemã, especialmente à competência dos distritos.*

(2) A competência local orienta-se pela localização do terreno ou pela localização da AS e AC. Sendo assim, criada a competência de vários órgãos públicos, o órgão público encarrega-se do ponto principal do assunto. Na dúvida, a secretaria estadual competente pela remediação de AC decide sobre as competências.

(3) (...)

§ 22 Regulamento de multas

(1) Transgressores são aqueles que deliberadamente ou por negligência

1. não cumprirem uma ordenação, conforme o § 5, Alíneas 1 a 3 (...);
2. impedirem a entrada de funcionários autorizados ou órgãos públicos em terrenos ou áreas de influência de AS e AC, conforme o § 6, Alínea 2;
3. não concedem informações ou as concedem incorretas, segundo o § 7, Alínea 1 (...)
4. deixam de cumprir medidas de controle (automonitoramento) estabelecidas através de portaria, segundo o § 8, Alínea 1;

5. transgridem as diretrizes estabelecidas no § 8, Alínea 2, n. 2-4, a ponto de ser iniciada a multa.
- (2) A infração pode ser punida com uma multa fiscal de (...) [até R\$ 30.000].
- (3) (...)

§ 23 Regulamento transitório

- (1) Atos administrativos estabelecidos através de portarias de outros órgãos públicos competentes, exclusivamente no tocante à contaminação de terrenos de AS e AC, terão validade contínua (...)
- (2) O administrador de remediação pode solicitar a determinação de custos, conforme o § 5, Alínea 1, n. 1, custos esses originados pela entrada em vigor da lei, se o processo de remediação na entrada em vigor ainda não estiver encerrado.. Isso também é válido para reivindicações, de acordo com o § 15, Alínea 2.

§ 24 Vigência

(...)

3000 Identificação de áreas potencialmente contaminadas

Após a definição da *região de interesse*, inicia-se a etapa de **identificação de áreas potencialmente contaminadas (APs)**, a partir da qual é estabelecido o conjunto inicial de áreas que constituirão o cadastro de ACs.

Com o objetivo de orientar a execução dessa etapa, deve-se inicialmente definir quais são as atividades potencialmente contaminadoras existentes na região de interesse. Em seguida, a identificação de APs pode ser realizada através do levantamento de dados existentes, de investigações utilizando-se fotografias aéreas e do recebimento e atendimento de denúncias ou reclamações. Esses diferentes procedimentos podem ser utilizados, preferencialmente de forma complementar, em função de sua disponibilidade para a região de interesse.

A Figura 3000-1 mostra esquematicamente os procedimentos da etapa de identificação de APs.

Os dados assim obtidos devem ser tratados e apresentados em base cartográfica com escala apropriada. Esses resultados serão utilizados, posteriormente, como base para a execução da etapa de **avaliação preliminar**, conforme seqüência metodológica descrita na seção 1200.

Deve-se destacar que as informações obtidas nessa etapa possuem caráter regional, em que são obtidos dados referentes à localização de várias APs em uma região ampla. Um levantamento de dados mais específico e com maiores detalhes para cada AP identificada deverá ser realizado na etapa de avaliação preliminar.

Essa etapa deve ser executada pelo órgão ou instituição que coordena as ações de controle e planejamento ambiental dentro da região de interesse. Por exemplo, se a região de interesse selecionada for um estado, a identificação de APs pode ser executada pelo órgão de controle ambiental estadual; se for um município, tal identificação pode ser realizada pela prefeitura municipal; se for uma região industrial, a identificação pode ser efetuada pelas empresas nela instaladas.

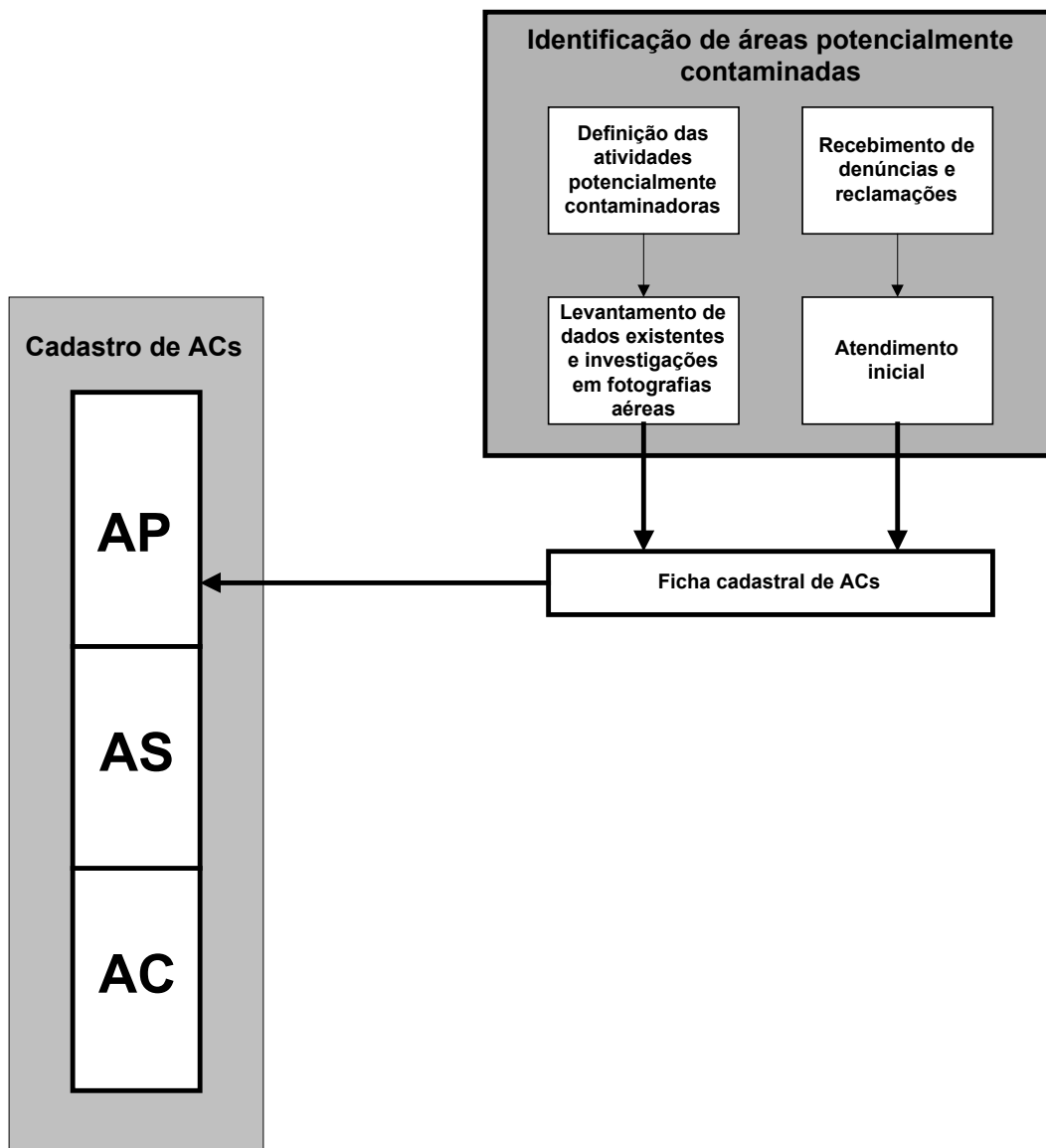


Figura 3000-1: Identificação de áreas potencialmente contaminadas.

1 Definição das atividades potencialmente contaminadoras

A definição sobre quais atividades podem ser classificadas como potencialmente contaminadoras deve se basear, principalmente, na natureza das substâncias que são empregadas na mesma (ver seção 3100).

Dessa forma, nem toda atividade industrial pode ser considerada como potencialmente contaminadora, havendo necessidade de serem identificados os processos produtivos empregados, as matérias-primas utilizadas, assim como os produtos e resíduos gerados, para serem definidos quais ramos industriais podem ser enquadrados como fontes potenciais de contaminação.

As atividades de disposição de resíduos devem ser consideradas como fontes potenciais de contaminação, mesmo aquelas em que tenham sido implantadas medidas que possam proporcionar uma maior segurança à unidade, como camadas impermeabilizantes, drenos, etc. A ocorrência de contaminação de solos e águas subterrâneas tem sido atribuída a muitos dos depósitos existentes no mundo, inclusive naqueles considerados seguros.

Algumas atividades comerciais também devem ser consideradas, especialmente aquelas que manipulam substâncias tóxicas ou inflamáveis, como os derivados de petróleo e determinados produtos químicos.

Os critérios utilizados para a definição de atividades industriais e comerciais como potencialmente contaminadoras do solo e das águas subterrâneas são apresentados na seção 3100, sendo a lista das atividades selecionadas pela aplicação desse critério apresentada na seção 3101.

2 Identificação das APs através do levantamento de dados existentes

A identificação de APs, neste caso, se dá através da obtenção de dados cadastrais e da localização das áreas onde foram ou são desenvolvidas as atividades potencialmente contaminadoras.

As fontes de consulta para obtenção de informações relativas às APs são extremamente variáveis em função das características da região de interesse. Entretanto, entre as principais, devem ser consultadas as entidades de controle ambiental, prefeituras e associações de indústria e comércio, onde podem ser obtidos dados básicos sobre as instalações avaliadas, como razão social, localização, tamanho do empreendimento e tempo de funcionamento.

Na Tabela 3000-1, são apresentados alguns exemplos de fontes de informação e quais os tipos de informação podem ser obtidos, visando à identificação de APs.

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

Tabela 3000-1: Fontes de informação normalmente utilizadas para identificação de AP.

3 Identificação das APs através de investigações em fotografias aéreas

Através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas de uma determinada região de interesse, pode ser realizada a identificação e o posicionamento de APs, como áreas de disposição de resíduos, indústrias, áreas de armazenamento de produtos, antigos depósitos de resíduos e áreas industriais desativadas. No caso específico de áreas desativadas, como antigas indústrias ou antigas áreas de disposição de resíduos, a avaliação desses locais pode ser realizada por meio de fotografias aéreas provenientes de vôos realizados em diferentes períodos. Na

seção 3200, são apresentadas as técnicas de interpretação de fotografias aéreas visando a identificação de APs.

4 Identificação de APs através do recebimento e atendimento de denúncias e/ou reclamações

As denúncias e reclamações recebidas pelo órgão reponsável pelo gerenciamento de ACs podem levar à identificação de APs. Recebida a denúncia, a identificação dar-se-á através de inspeção ao local, quando são colhidas evidências quanto à existência de fontes potenciais de contaminação. São exemplos dessa indicação: acidentes, despejos clandestinos de resíduos, vazamentos de várias espécies e presença de odores.

Essas denúncias partem normalmente da população, imprensa, entidades ambientalistas, companhia telefônica, de fornecimento de energia elétrica, de fornecimento de gás encanado, de águas e esgotos e de outros segmentos da sociedade.

Como a participação da população nesses casos é de fundamental importância, torna-se necessário que os órgãos envolvidos criem ou popularizem canais de comunicação com o público, tais como telefones e balcões para recebimento de denúncias e reclamações.

Campanhas de esclarecimento resultariam, dessa forma, numa maior participação da população. Essas campanhas devem objetivar a conscientização da população a respeito dos riscos associados à presença das áreas contaminadas, bem como dos procedimentos a ser tomados de modo a minimizar esses riscos.

5 Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos na etapa de identificação de APs devem ser apresentados em relatórios contendo uma compilação das informações obtidas e suas fontes, além de ilustrações, como mapas em escalas regionais contendo a localização das APs. As escalas utilizadas para confecção desses mapas dependem do tamanho da região de interesse, podendo, por exemplo, variar de 1:500.000 ou 1:100.000, quando a região de interesse for um estado; 1:50.000, quando for um município; e até no máximo 1:10.000, quando tratar-se de regiões menores, como áreas industriais, bacias hidrográficas de reservatórios ou áreas de bombeamento de águas subterrâneas.

Esses mapas devem conter o posicionamento dos bens a proteger definidos na etapa anterior (definição da região de interesse). A localização das áreas identificadas como potencialmente contaminadas deve ser realizada por meio de base cartográfica apropriada, utilizando-se mapas básicos existentes, como mapas

topográficos e mapas de uso e ocupação do solo. A partir desses mapas, pode-se também levantar subsídios para definir as escalas de trabalho a ser utilizadas durante a realização das demais etapas do gerenciamento de ACs.

Na Figura 3000-2, é apresentado um exemplo hipotético de um mapa de uma região de interesse contendo seus bens a proteger e a representação das informações obtidas na etapa de *identificação de APs*.

Após a identificação de APs, pode existir a necessidade de realizar uma priorização de áreas (priorização 1, ver seções 1200 e 7000), que visa selecionar as APs consideradas mais importantes, para serem estudadas na etapa seguinte de avaliação preliminar.

Dessa forma, a partir da região de interesse apresentada na Figura 3000-2 pode-se considerar, como exemplo hipotético, como região prioritária, a bacia hidrográfica do reservatório utilizado para abastecimento de água (área de proteção dos mananciais).

Dessa forma, na Figura 3000-3 são apresentadas as APs localizadas dentro dessa região que podem ser consideradas como as APs prioritárias a ser investigadas na próxima etapa do gerenciamento.

As Figuras 3000-2 e 3000-3 fazem parte de um conjunto de figuras que exemplificam os resultados a ser obtidos durante a execução do gerenciamento de ACs. Outros exemplos são apresentados nas seções correspondentes às etapas seguintes do gerenciamento.

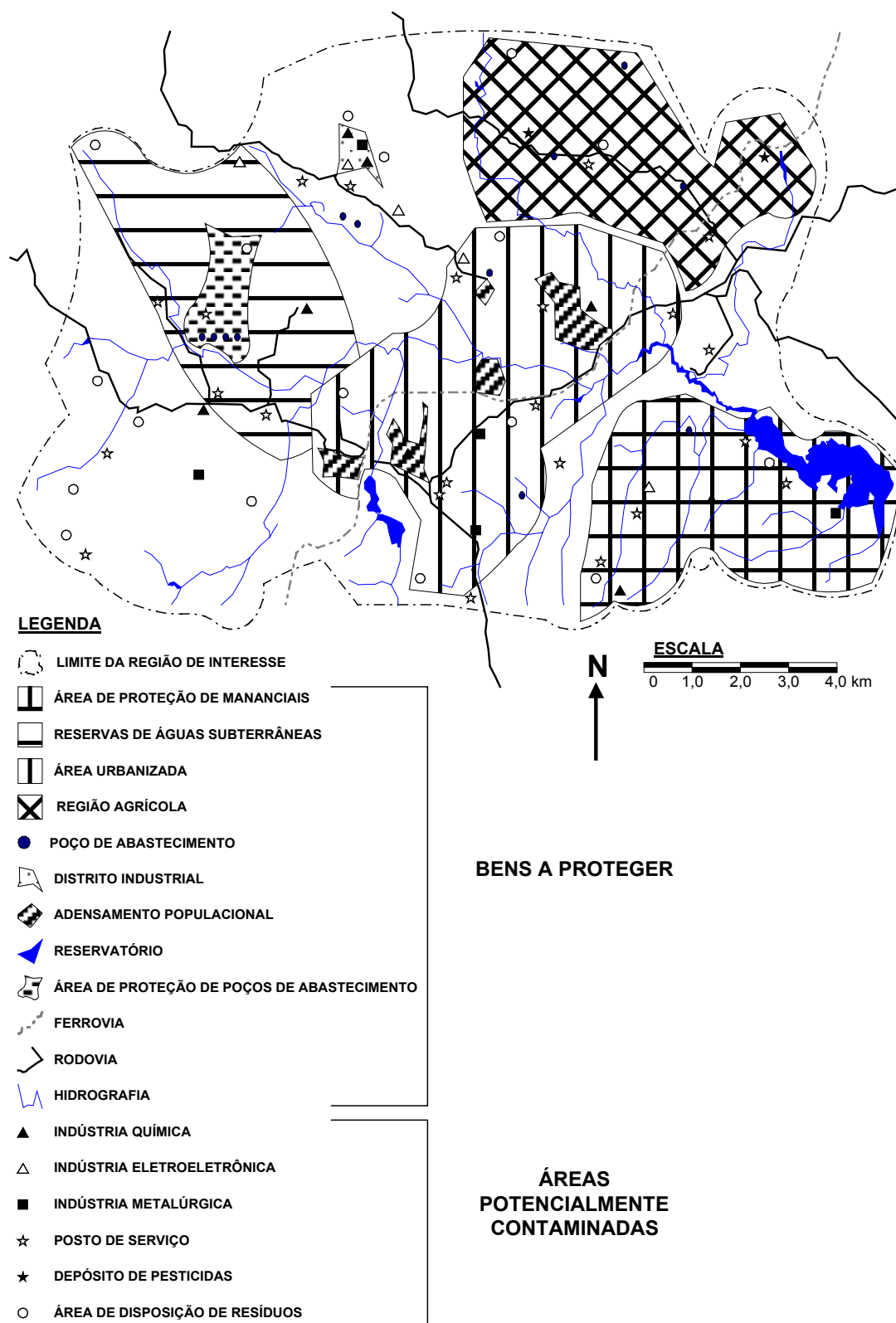


Figura 3000-2: Mapa de uma região de interesse com APs identificadas.

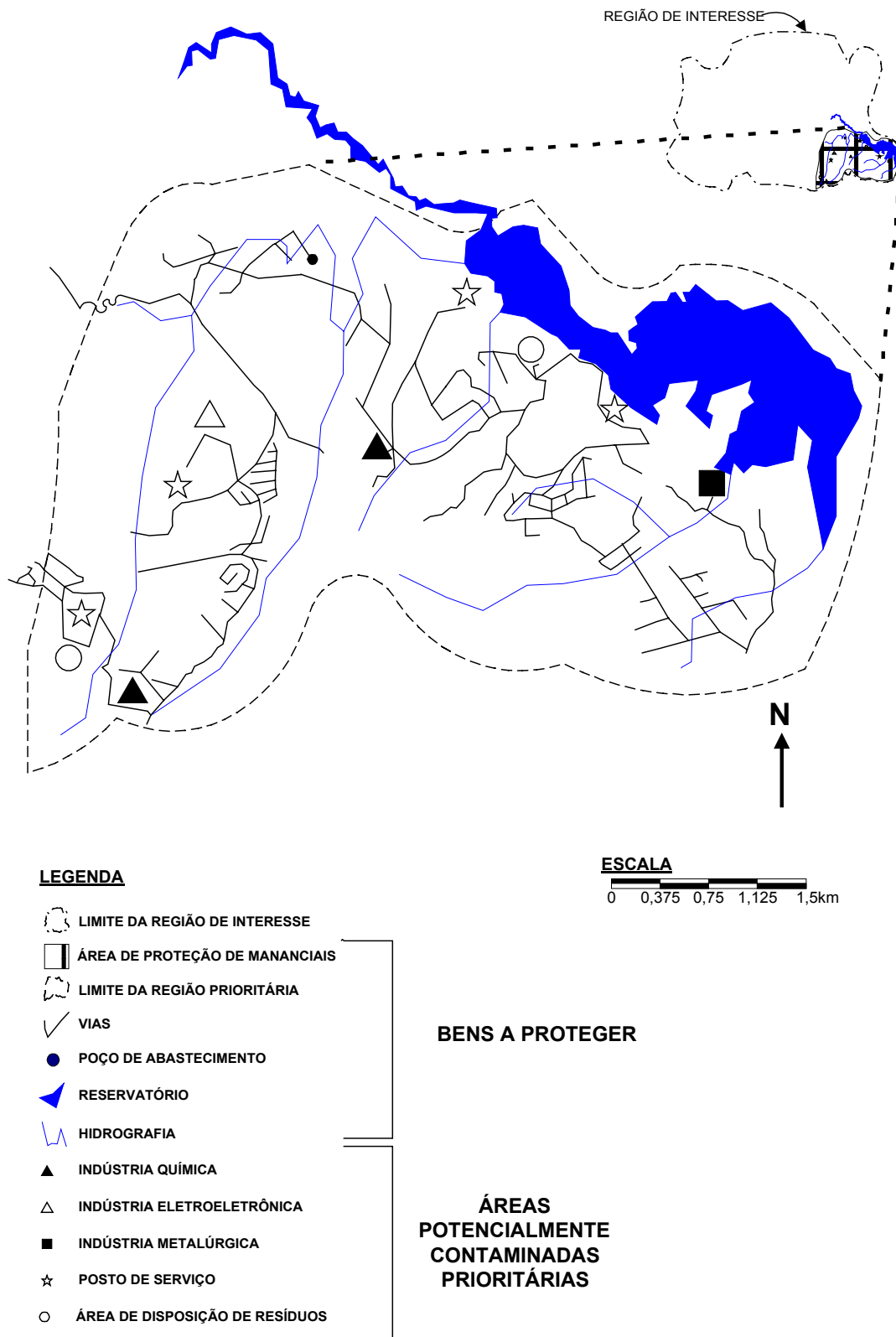


Figura 3000-3: Mapa de uma região considerada prioritária dentro da região de interesse com a localização das APs prioritárias.

3100 Definição das atividades industriais e comerciais potencialmente contaminadoras do solo e das águas subterrâneas

1 Introdução

As atividades potencialmente contaminadoras (APCs) do solo e das águas subterrâneas são aquelas onde ocorrem o manejo de substâncias, cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem ocasionar danos aos bens a proteger.

Dessa forma, nem toda atividade industrial pode ser considerada como atividade potencialmente contaminadora (APC), havendo necessidade de serem identificados os processos produtivos e as matérias-primas utilizadas, assim como os produtos e resíduos gerados, para serem definidos quais ramos industriais podem ser enquadrados como APCs.

Algumas atividades comerciais também devem ser consideradas como APCs, especialmente aquelas que manipulam substâncias tóxicas ou inflamáveis.

Conforme descrito na seção 3000, para identificar áreas potencialmente contaminadas (APs) é necessário definir inicialmente quais entre as atividades industriais e comerciais desenvolvidas na **região de interesse**, podem ser consideradas APCs. Nesse sentido, dentro do Projeto CETESB-GTZ, foi estabelecida uma metodologia para definir as APCs na RMSP, que pode ser considerada um exemplo a ser utilizado em outras regiões que possuam as informações necessárias para seu desenvolvimento.

2 Metodologia

A etapa de **identificação de APs** realizada no Projeto CETESB-GTZ, considerando a RMSP como *região de interesse*, foi iniciada pela indicação de quais entre as atividades industriais e comerciais descritas no sistema de codificação de atividades econômicas do IBGE poderiam ser definidas como APCs, conforme item 3101.

Nesse sistema, cada atividade industrial e comercial recebe um código numérico, sendo este empregado também na base de dados utilizada para identificação de APs na RMSP. Essa base é o Sistema de Licenças e Penalidades (SILP) da CETESB, que é constituído de um cadastro informatizado em que são registradas todas as empresas que entraram com pedidos de licença de instalação e funcionamento ou ampliação e/ou receberam penalidades da CETESB. Nesse cadastro, estão a razão social e o endereço, além da denominação da atividade principal desenvolvida, com respectivo código de atividades industriais e comerciais do IBGE (IBGE, 1984).

Dessa forma, para a identificação das APs foram indicadas as empresas ou entidades registradas nesse cadastro que possuíam códigos de atividades do IBGE correspondentes aos códigos das atividades industriais e comerciais classificadas como APCs.

A escolha das atividades industriais e comerciais, que podem ser definidas como APCs, é feita quando as seguintes particularidades são observadas:

- existência de processos produtivos que possam causar contaminação dos solos e águas subterrâneas;
- presença de substâncias que possuem potencial para causar danos aos bens a proteger via solos e águas subterrâneas;
- a atividade industrial e comercial apresenta histórico indicando manuseio, armazenamento e disposição inadequada de matéria-prima, produtos e resíduos;
- a atividade industrial e comercial apresenta histórico indicando a ocorrência de vazamentos e acidentes;
- a atividade industrial e comercial apresenta histórico na geração de ASs e ACs.

3 Bibliografia

IBGE (1984): Classificação das atividades econômicas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

3101 Lista de atividades industriais/ comerciais IBGE potencialmente contaminadoras do solo e águas subterrâneas

CÓDIGO IBGE	DESCRIÇÃO
0010000 a 0019999	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS
0020000 a 0029999	EXTRAÇÃO DE MINERAIS NÃO METÁLICOS
0030000 a 0032999	EXTRAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS MINERAIS
0050000 a 0059999	PELOTIZAÇÃO DE MINERAIS - INCLUSIVE OUTROS BENEFICIAMENTOS DE MINERAIS, ASSOCIADOS OU NÃO À EXTRAÇÃO
1042000 a 1042999	FABRICAÇÃO DE CANOS, MANILHAS, TUBOS, CONEXÕES, LADRILHOS, MOSAICOS E PASTILHAS CERÂMICAS, E ARTEFATOS DE CRE
1043000 a 1043999	FABRICAÇÃO DE AZULEJOS
1044000 a 1044999	FABRICAÇÃO DE MATERIAL SANITÁRIO, ARTEFATOS DE PORCELANA, FAIANÇA E CERÂMICA ARTÍSTICA - EXCLUSIVE LOUÇA PARA SERVIÇO DE MESA (GRUPO 10.45)
1045000 a 1045999	FABRICAÇÃO DE LOUÇA PARA SERVIÇO DE MESA
1046000 a 1046999	FABRICAÇÃO DE MATERIAL REFRAATÁRIO PARA FINS INDUSTRIAIS (ALUMINOSOS, SILICOSOS, SÍLICO-ALUMINOSOS, GRAFITOSOS, PÓS-EXOTÉRMICOS, "CHAMOTE", ETC.)
1050001 a 1052999	FABRICAÇÃO DE CLINQUER E DE CIMENTO
1063000 a 1063999	FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE FIBROCIMENTO
1065000 a 1065999	FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE AMIANTO OU ASBESTOS - EXCLUSIVE ARTEFATOS DO VESTUÁRIO E PARA SEGURANÇA INDUSTRIAL (GRANDE GRUPO 25.60)
1070000 a 1079999	FABRICAÇÃO E ELABORAÇÃO DE VIDRO E CRISTAL
1081100 a 1081199	BENEFICIAMENTO E PREPARAÇÃO DE GESSO OU GIPSITA - INCLUSIVE GESSO CRE
1081700 a 1081799	BENEFICIAMENTO OU PREPARAÇÃO DE AMIANTO OU ASBESTOS - EXCLUSIVE A FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS (GRUPO 10.65)
1100000 a 1199999	METALÚRGICA
1200000 a 1299999	MECÂNICA
1300000 a 1399999	MATERIAL ELÉTRICO E DE COMUNICAÇÕES
1400000 a 1499999	MATERIAL DE TRANSPORTE
1510000 a 1519999	DESDOBRAMENTO DA MADEIRA
1520000 a 1529999	PRODUÇÃO DE CASAS DE MADEIRA PRÉ-FABRICADAS E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA E ARTIGOS DE CARPINTARIA

3101 Lista de atividades industriais

1530000 a 1539999	FABRICAÇÃO DE CHAPAS E PLACAS DE MADEIRA AGLOMERADA OU Prensada, E MADEIRA COMPENSADA, REVESTIDA OU NÃO COM MATERIAL PLÁSTICO
1580000 a 1589999	PRODUÇÃO DE LENHA E CARVÃO VEGETAL
1610000 a 1619999	FABRICAÇÃO DE MÓVEIS MADEIRA, VIME E JUNCO
1620000 a 1629999	FABRICAÇÃO DE MÓVEIS DE METAL
1630000 a 1639999	FABRICAÇÃO DE MÓVEIS DE MATERIAL PLÁSTICO
1640000 a 1649999	FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE COLCHOARIA
1690000 a 1699999	FABRICAÇÃO, MONTAGEM E ACABAMENTO DE ARTEFATOS DIVERSOS DO MOBILIÁRIO
1710000 a 1719999	FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PASTA MECÂNICA E DE POLPA DE MADEIRA
1720000 a 1729999	FABRICAÇÃO DE PAPEL, PAPELÃO, CARTOLINA E CARTÃO
1800000 a 1899999	BORRACHA
1910000 a 1912999	SECAGEM, SALGA, CURTIMENTO E OUTRAS PREPARAÇÕES DE COUROS E PELES - INCLUSIVE SUBPRODUTOS
2000000 a 2099999	QUÍMICA
2100000 a 2199999	PRODUTOS FARMACÊUTICOS E VETERINÁRIOS
2210000 a 2219999	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE PERFUMARIA
2220000 a 2229999	FABRICAÇÃO DE SABÕES E DETERGENTES
2300000 a 2399999	PRODUTOS DE MATERIAS PLÁSTICAS
2410000 a 2419999	BENEFICIAMENTO DE FIBRAS TÊXTEIS, FABRICAÇÃO DE ESTOPA, DE MATERIAIS PARA ESTOFOS, E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS TÊXTEIS
2420000 a 2429999	FIAÇÃO, FIAÇÃO E TECELAGEM, E TECELAGEM
2460000 a 2469999	ACABAMENTO DE FIOS E TECIDOS
2570000 a 2579999	TINGIMENTO, ESTAMPARIA, E OUTROS ACABAMENTOS EM ROUPAS, PEÇAS DO VESTUÁRIO E ARTEFATOS DIVERSOS DE TECIDOS
2691000 a 2691999	REFINAÇÃO E PREPARAÇÃO DE ÓLEOS E GORDURAS VEGETAIS E PRODUTOS DO BENEFICIAMENTO DO CACAU DESTINADOS À ALIMENTAÇÃO
2698000 a 2698999	FABRICAÇÃO DE RAÇÕES BALANCEADAS, DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMAIS E A FABRICAÇÃO DE FARINHAS DE CARNE, SANGUE, OSSO E PEIXE
2990000 a 2999999	PRODUÇÃO DE MATRIZES PARA IMPRESSÃO
3110000 a 3199999	UTILIDADE PÚBLICA
3121000 a 3121199	SERVIÇOS DE CONTROLE DE QUALIDADE, CORTE DE CHAPAS METÁLICAS, RECUPERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SUCATA METÁLICA - INCLUSIVE A LIMPEZA DE FORNOS SIDERÚRGICOS; LIMPEZA, SELEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE GRÃOS, FIBRAS, ETC.; MOAGEM, EMBALAGEM, ENVASAMENTO, ACONDICIONAMENTO E EMPACOTAMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS, BEBIDAS E CONDIMENTOS; E TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POLUENTES DO MEIO AMBIENTE

3121500 a 3121599	RECUPERAÇÃO DE SUCATA METÁLICA - INCLUSIVE A LIMPEZA DE FORNOS INDUSTRIAIS
3121600 a 3121699	SERVIÇOS DE SELEÇÃO, IMUNIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE SEMENTES PARA PLANTIO
3121755 a 3121755	SERVIÇO DE ENVASAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS (GLP, DESINFETANTES, INSETICIDAS E SIMILARES)
3121950 a 3121959	RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS, ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE POLUENTES (SODA CÁUSTICA, VINHOTO, MERCÚRIO, ETC.)
3140030 a 3140039	INCINERADORES
3210000 a 3210999	CONSTRUÇÃO CIVIL
3215200 a 3215209	DEPÓSITO DA INDÚSTRIA QUÍMICA
3215210 a 3215219	DEPÓSITO DE INDÚSTRIA DE PRODUTOS FARMACÊUTICOS E VETERINÁRIOS
3216314 a 3216314	DEPÓSITO DE UNIDADES AUXILIARES DE APOIO (UTILIDADES) E DE SERVIÇOS DE NATUREZA INDUSTRIAL
3220000 a 3220999	PAVIMENTAÇÃO, TERRAPLENAGEM E CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS
3230000 a 3230999	CONSTRUÇÃO DE VIADUTOS, PONTES, MIRANTES, ETC
4011000 a 4011999	AGRICULTURA, BENEFICIAMENTO DE SEMENTES
4012000 a 4012999	EXTRAÇÃO VEGETAL
4021000 a 4021999	CRIAÇÃO ANIMAL - EXCLUSIVE BOVINOCULTURA
4022000 a 4022999	BOVINOCULTURA
4040000 a 4040999	FLORESTAMENTO E REFLORESTAMENTO
5011000 a 5011999	TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS DE PASSAGEIROS E CARGAS
5012000 a 5012999	TRANSPORTES FERROVIÁRIOS
5030000 a 5039999	TRANSPORTES RODOVIÁRIOS DE PASSAGEIROS E CARGAS
5040000 a 5047999	TRANSPORTES URBANOS DE PASSAGEIROS E CARGAS - INCLUSIVE METROVIÁRIOS
5048000 a 5048999	GARAGENS E PARQUEAMENTOS DE VEÍCULOS
5050000 a 5059999	TRANSPORTES AÉREOS DE PASSAGEIROS E CARGAS
5099000 a 5099999	TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS E OUTROS SERVIÇOS DE TRANSPORTE NÃO ESPECIFICADOS OU NÃO CLASSIFICADOS
5321000 a 5321999	REPARAÇÃO DE VEÍCULOS - EXCLUSIVE EMBARCAÇÕES, AERONAVES E VEÍCULOS FERROVIÁRIOS (14.13.10-4, 14.13.50-3, 14.72.99-2, 14.23.99-1)
5322000 a 5322999	MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DE VEÍCULOS EM GERAL
5410000 a 5419999	SERVIÇOS DE HIGIÊNE - BARBEARIAS, SAUNAS, LAVANDERIAS, ETC
5512000 a 5512999	ARMAZENS GERAIS E TRAPICHES
5539000 a 5539999	SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO, LIMPEZA E SEGURANÇA
6015000 a 6015999	COMÉRCIO ATACADISTA DE PRODUTOS QUÍMICOS E FARMACÊUTICOS
6016000 a 6016999	COMÉRCIO ATACADISTA DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES
6033000 a 6033999	COMÉRCIO ATACADISTA DE ARTIGOS USADOS E SUCATAS
6109000 a 6110999	COMÉRCIO VAREJISTA DE COMBUSTÍVEIS E LUBRIFICANTES E GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO
9999010 a 9999021	QUEIMA AO AR LIVRE E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

3200 Utilização de fotografias aéreas para a detecção de áreas contaminadas¹

1 Introdução

A interpretação de fotografias aéreas para análise de locais de disposição de resíduos pode trazer contribuições para determinar as condições anteriores e atuais da disposição desses resíduos. Com as fotografias aéreas, podem ser obtidas informações quanto à localização e extensão dos depósitos, além de resgatar a ordem cronológica das mudanças ocorridas nesses locais.

A vantagem desses estudos é trazer à tona detalhes do histórico desses locais que não podem mais ser obtidos através de meras entrevistas com pessoas ou que não deixaram registro em documentações das companhias executoras ou órgãos públicos.

Como exemplo, sabe-se que muitos "lixões", com resíduos de natureza diversa, tiveram início há muitos anos e não existem documentações que mostrem como os mesmos surgiram ou como evoluíram ao longo do tempo.

As mudanças temporais que se observam nesses depósitos podem ser classificadas através de épocas ativas ou desativadas. As épocas ativas são caracterizadas por solos expostos decorrentes da remoção da vegetação e da camada superficial do solo além de escavações para disposição de resíduos "in-situ". As épocas desativadas podem mostrar uma recuperação total ou parcial da vegetação, observando-se nesse último caso a existência de clareiras.

A importância de detectar e identificar esses depósitos deve-se à possibilidade desses locais terem uma nova ocupação no futuro, totalmente incompatível com as atividades anteriores de disposição de resíduos, como, por exemplo, ocupação por moradias, em virtude do desconhecimento das substâncias existentes dispostas, mas que não podem ser vistas superficialmente, porém podendo trazer algum dano à saúde.

¹Adaptação do relatório da consultoria de curto prazo no âmbito do Projeto CETESB-GTZ - Cooperação Técnica Brasil-Alemanha: "Métodos de Interpretação de Fotografias Aéreas para Identificação de Áreas Contaminadas", de Emanuel Pereira Barbosa - Geoimagem S/C Ltda; julho de 1994.

Esse desconhecimento deve-se também ao fato de que essas áreas podem estar recobertas por vegetação, ou por não ser possível detectar odores ou outras características que poderiam impedir a instalação de moradias.

A fotointerpretação permite a definição exata dos locais com resíduos e auxilia também na avaliação dos impactos ambientais ocorridos, definindo a rede de drenagem, áreas de captação e mananciais, tipos de vegetação existentes, extensão das remoções, áreas de ocupação humana, etc., que podem estar sendo atingidos por esses depósitos.

2 Definições

2.1 Fotointerpretação

“Ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos, e determinar seus significados”, segundo o “Manual of Photographic Interpretation”.

2.2 Fotografias aéreas

Fotografias do terreno obtidas por câmeras fotográficas instaladas em aeronaves, com filmes variados que podem produzir fotos em branco e preto, coloridas, infravermelho e ultravioleta. Dependendo da posição do eixo da câmera em relação ao solo, podem ser verticais ou oblíquas. As fotografias aéreas convencionais, mais utilizadas e disponíveis, são em branco-e-preto e verticais.

2.3 Estereoscópio

Aparelho óptico binocular para observação de pares de fotografias aéreas superpostas, obtendo-se uma visão estereoscópica (modelo tridimensional).

2.4 Fotoíndice

Mosaico com os levantamentos fotográficos, mostrando os recobrimentos longitudinal e lateral sobrepostos das fotografias aéreas com as respectivas numerações e em alguns casos com as faixas de vôo correspondentes.

2.5 Detectabilidade

Medida de pequenos objetos que podem ser discernidos numa imagem; depende da escala e qualidade das fotos.

2.6 Reconhecibilidade

Habilidade de identificar um objeto numa imagem.

2.7 Sensoriamento remoto

Utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos sem que haja contato direto entre eles. A transferência de dados do objeto para o sensor é feita através de energia ou radiação eletromagnética. Esses sensores podem estar localizados em aeronaves ou espaçonaves. As fotografias aéreas e imagens de satélite são exemplos de registros das informações detectadas por esses sensores.

2.8 Resolução

Habilidade de distinguir objetos proximalmente espaçados numa imagem.

2.9 Alvo

Um objeto no terreno de interesse específico na investigação em sensoriamento remoto.

2.10 Elementos de reconhecimento

Elementos básicos de leitura (fatores-guia) em fotointerpretação, tais como tonalidade, forma, padrão, textura, tamanho, declividade, sombra, posição geográfica e adjacências.

2.10.1 Tonalidade

Cada distinta intensidade de cinza (claro, média e escuro), partindo do branco até o preto

2.10.2 Forma

Geometria dos objetos em fotografias aéreas, devendo ser considerada juntamente com o tamanho.

2.10.3 Padrão (modelo)

União e extensão das formas que podem se repetir regularmente com variações tonais na imagem, podendo ser obras feitas pelo homem ou feições naturais, p. ex. padrões de drenagem, padrão das plantações, de construções, de minerações, etc

2.10.4 Textura

Arranjo dos tons numa área da imagem, podendo ser iguais ou similares e variar em função da escala; para região urbana, melhor utilizar o termo "densidade".

2.10.5 Tamanho

Tamanho do objeto visível na imagem. O tamanho real do objeto é conhecido a partir da escala da foto, e pode apresentar algum erro de aproximação.

2.10.6 Associação (ou convergência de evidências)

Elementos ou objetos que estão comumente associados, nos quais um tende a indicar ou confirmar o outro, ou seja, uma correlação de aspectos associados.

2.10.7 Posição geográfica ou regional

Entendimento e familiarização com a região geográfica fotografada.

3 Tipos de depósitos

Para a detecção de depósitos de resíduos é importante verificar como se encontram as superfícies dos locais com resíduos (no caso específico, lixões) e como podem ser expressos em fotografias aéreas.

Para o estudo é sempre necessário levantar as principais características fotográficas dos tipos de "lixões" conhecidos e de outros locais de disposição inadequada de resíduos industriais, procurando compilar esses dados em quadros e croquis que mostrem as características do terreno e a distribuição dos resíduos em superfície, bem como áreas recobertas, drenagens afetadas, etc.

As áreas conhecidas deverão ser estudadas em fotografias aéreas, procurando-se definir os padrões fotográficos que servirão de base para a procura de áreas semelhantes.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), são conhecidos os seguintes tipos de locais com deposição de resíduos:

Lixões: áreas com disposição de resíduos predominantemente domiciliares, podendo existir também industriais. Em geral, são desenvolvidos e autorizados pelas prefeituras, prevalecendo, no entanto, locais clandestinos sem existir em geral qualquer controle sobre o tipo de material disposto. Ocupam grandes áreas, observando-se movimentação de máquinas para espalhamento do lixo e preenchimento de vales, em alguns casos.

Aterros sanitários: áreas construídas para a disposição de lixos domiciliares ou industriais, sob controle de órgãos públicos. Apresentam formas geométricas visíveis – taludes e bermas, podendo observar-se áreas de remoção de solo e de recuperação da vegetação.

Despejos clandestinos: áreas de lançamentos de lixos variados, sem controle e erráticos, ocupando áreas pequenas nas margens de estradas em locais que podiam ter sido ocupados por extrações minerais (areia, argila e material de empréstimo) ou então como lançamentos na meia encosta.

Áreas com resíduos industriais enterrados ou dispostos na superfície nas proximidades ou dentro de distritos industriais.

4 Fotointerpretação

4.1 Metodologia de fotointerpretação

4.1.1 Escolha de áreas de estudo

A área de estudo deve ser escolhida a partir dos objetivos determinados. Essa área é delimitada em bases cartográficas, que servirão de apoio para a verificação dos levantamentos aéreos disponíveis nos mosaicos e para a escolha das fotografias aéreas.

4.1.2 Levantamento de bases cartográficas

As bases cartográficas deverão ser levantadas junto às empresas ou aos órgãos públicos, em diversas escalas e em períodos atuais ou outros em que possam haver interesse para o estudo.

4.1.3 Levantamento e aquisição de fotografias aéreas

Sobre a área escolhida são lançados os levantamentos aéreos existentes, assinalando as datas dos levantamentos, escalas e órgãos executores. Nos mosaicos são escolhidas as fotografias aéreas, relacionando os números das fotos e faixas correspondentes, levando em conta o recobrimento fotográfico de 60%.

4.1.4 Fotointerpretação

Obtidas as fotografias aéreas, estas devem ser lançadas e identificadas em bases topográficas existentes, obtendo-se assim um mapa-índice das fotografias aéreas.

Escolhida a área de início dos trabalhos, parte-se para a verificação do par estereoscópico que abrange a referida área. Isso é feito com a identificação visual de pontos comuns nas bases topográficas e nas fotos aéreas.

4.1.4.1 Orientação das fotos para observação estereoscópica

Nas fotos aéreas devem ser marcados os pontos principais (centros das fotos) e os transferidos (homólogos). A união desses pontos define a linha de vôo.

Definida a posição adequada com o estereoscópio, as fotos deverão ser fixadas por fita adesiva nos cantos das mesmas.

4.1.4.2 Lançamento de dados

A interpretação não é feita sobre a fotografia aérea, ela é sempre desenvolvida sobre um papel vegetal ou plástico transparente ("overlay"), fixado no lado superior da fotografia já orientada para a visão estereoscópica, permitindo que o "overlay" seja levantado sempre que necessário.

Durante o trabalho, o "overlay" deve ser fixado na parte inferior, com fita adesiva, mas que possa ser retirada, a fim de se observar a foto sem o mesmo.

As marcações básicas que devem ser lançadas no "overlay": centro da foto (em cruz) e identificação da foto (número, faixa, data e escala) e o norte geográfico.

Os traçados de interesse (casas, indústrias, ruas, drenagens, etc.) poderão ser traçados com lápis dermatográficos, grafites coloridos ou não, de várias espessuras, adotando-se convenções para cada objeto de interesse.

4.1.4.3 Transferências de informações

Ao se iniciar o estudo sobre uma determinada região, deve-se levantar todas as informações possíveis, assim como todos os dados levantados e constantes em mapas, croquis e relatórios, devendo ser transportados para o "overlay", com precisão.

4.1.4.4 Estabelecimento de padrões

Para o estabelecimento de padrões é necessário conhecer os tipos de disposição de resíduos domiciliares e industriais existentes numa região e qual a evolução dos mesmos com o passar do tempo.

Numa área considerada padrão, devem ser lançados na foto mais atualizada todos os locais onde se conhecem a existência de resíduos, procurando-se verificar as feições fotográficas que possam caracterizar esses locais, tais como tonalidade, forma, textura, tamanho e posição geográfica.

Devem ser separadas as áreas com solo exposto, com vegetação natural ou recuperada, áreas preparadas para desmatamento, adotando-se a classificação proposta no item 4.1.4.5.

Nas fotos dos levantamentos anteriores é feito o mesmo trabalho, obtendo-se assim vários "overlays" que são em seguida comparados. É recomendável que se preencha a ficha ("Ficha de Identificação de Áreas Suspeitas de Contaminação em Fotos Aéreas" - modelo na seção 3201), em que se possa fazer uma descrição dos locais e suas feições fotográficas observadas, com um croqui correspondente de um determinado ano.

4.1.4.5 Feições identificadoras de áreas de disposição de resíduos

Nas fotografias aéreas, os aterros em geral apresentam as seguintes feições:

- Ausência de vegetação ou pouca vegetação;
- Feição óbvia de relevo não relacionada à geomorfologia da área. A área de trabalho de disposição, remoção e aplainamento apresenta uma forma de leque com limites definidos e uma declividade no sentido contrário na face de trabalho e material de cobertura na crista no final da frente de trabalho;
- Uma associação com antigas extrações de areia, cascalho, pedreiras e locais de extração de material de empréstimo;
- Pilhas de materiais deixados por caminhões-caçamba;
- Estrias decorrentes das marcas de caminhões e tratores, nos vários acessos existentes dentro do aterro;
- Possibilidade de pilhas de materiais separados por catadores;
- Existência de casebres dos catadores nos limites dos lixões que podem mudar-se ou desaparecer ao longo dos anos;
- Nos casos de despejos ao longo das estradas e avenidas: áreas pequenas abertas ao lado de estradas com lançamentos "in-situ" ou em meia-encosta;
- Nos distritos industriais e arredores: áreas abertas (solo exposto ou escavações).

4.1.4.6 Sistema de classificação

Na fotointerpretação deverão ser observadas as mudanças ocorridas na superfície do terreno, as quais são importantes na investigação de áreas de disposição de resíduos. As várias feições poderão ser classificadas adotando-se a seguinte terminologia e são lançadas nas fotografias aéreas:

- P - área perturbada, mas não recuperada, cujo solo pode estar coberto por vegetação ou exposto, mas não recentemente ou então sendo desenvolvido, por exemplo por construções;

- D - Essa área desenvolvida pode apresentar algumas variações: construções removidas (CR) ou abandonadas (CA) e indústrias (CI);
- E - solo exposto;
- R - área recuperada, possivelmente por vegetação; e
- L - lagoas naturais ou artificiais (LA), podendo ser provenientes de atividades de extração mineral ou para lançamentos de efluentes em áreas industriais, devendo neste caso verificar as formas das mesmas.

4.1.5 Detecção e seleção de alvos

Tendo por base as feições identificadoras anteriormente citadas, deverão ser identificadas nas fotografias aéreas todas as áreas ou locais que apresentem semelhanças com os "padrões" levantados.

Essas novas áreas serão denominadas de alvos, serão descritas e interpretadas em todas as fotos disponíveis, cujos dados serão lançados na ficha (modelo na seção 3201).

Se nas fotografias aéreas mais recentes esse alvo se apresentar ocupado por construções, deverá ser feita uma análise sobre a necessidade de avaliação de campo (seleção do alvo). Em caso positivo, todos os dados do alvo selecionado serão lançados na base cartográfica e, em caso contrário, o alvo será descartado.

4.1.6 Transferência dos alvos para as bases cartográficas

Cada alvo selecionado será lançado numa base cartográfica, na maior escala possível (de preferência 1:10.000). Cada contorno do alvo e outros elementos levantados de um determinado ano serão lançados em mapa, adotando-se uma cor para esse ano. Em seguida, são lançados os dados dos anos subseqüentes, adotando-se para cada ano uma cor. As convenções sugeridas, por exemplo, são as seguintes:

Ano	Cor
1968	Azul
1973	Laranja
1974	Amarelo
1977	Vermelho
1980	Violeta
1986	Verde
1994	Marrom

Outras cores e intensidades poderão ser intercaladas em função do número de fotos estudadas.

4.1.7 Averiguação de campo

Os alvos selecionados deverão ser observados em campo, procurando-se determinar a acuracidade do método. Todos os locais levantados em fotos deverão ser visitados, sendo importante reconstituir as áreas do passado, podendo isso ser feito primeiramente com bússola e trena. Nos locais reconstituídos, deverá ser feito um reconhecimento do terreno, mesmos naqueles que se mostrem ocupados por vegetação, procurando observar a existência de odores, resíduos em solo ou em subsuperfície, recomendando-se nesse caso furos de trado.

5 Análise de resultados

Ao final dos trabalhos, será feita uma avaliação dos resultados, procurando-se verificar quais as áreas em que houve correspondência entre a interpretação e a realidade. Dessa forma, será possível verificar a aplicabilidade do método.

Nos casos positivos, os locais determinados dentro dos alvos poderão servir para os estudos de avaliação quantitativa e qualitativa dos resíduos existentes, na medida em que os locais de disposição possam ser visualizados nas fotografias aéreas.

Essas fotos poderão servir no monitoramento da área, através da análise das drenagens principais, secundárias e superficiais.

6 Bibliografia

ANDERSON, P.S., 1982. Fundamentos para fotointerpretação. Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Cartografia.

COLWELL, R.N., 1983. Manual of remote sensing, vol. I e II, American Society of Photogrammetry.

ERB, T.L. et al., 1981. Analysis of landfills with historic airphotos. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 47:9: 1361-1369.

GAROFALO, D., & F. WOBBER, 1974. Solid waste and remote sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 40:1: 45-49.

LYON, J.G., 1987. Use of maps, aerial photographs, and other remote sensor data for practical evaluations of hazardous wastes sites. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 53:5: 515-519.

NOVO, E.M.L.M. 1989. Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações. São Paulo, Editora Edgard Blucher.

PHILIPSON, W.R., 1988. Land-cover monitoring with SPOT for landfill investigations. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54:2: 223-228.

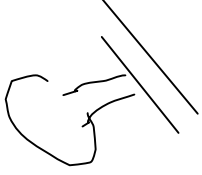

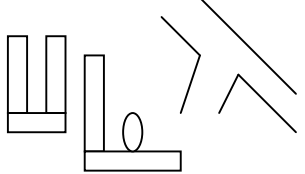
3201 Ficha de identificação de áreas suspeitas de contaminação em fotografias aéreas

Área:

Sobrevôo / Série: **EXEMPLO DE PREENCHIMENTO**

Técnicos:

Data:

Foto / ano	Alvo	Tonalidade	Textura	Forma	Croqui	Observações	Averiguação de Campo
1972	EX-1	CINZA CLARO	LISA	REGULAR		ABERTURA DE CLAREIRA MARGEM DA ESTRADA	
1977	EX-1	CINZA ESCURO	RUGOSA	IRREGULAR		MATERIAL SEPARADO EM PILHAS, COLOCAÇÃO DE RESÍDUOS	
1994	EX-1	CINZA CLARO	LISA	REGULAR		CONSTRUÇÃO DE CONJUNTOS POPULARES	SOLO AINDA APRESENTA VESTÍGIOS DE RESÍDUOS QUÍMICOS

3202 Exemplos de análise de fotografias aéreas

1 Avaliação da metodologia de fotointerpretação

De acordo com os estudos desenvolvidos em três áreas-teste escolhidas (equivalentes a 33 km²), foi permitido avaliar e comprovar a eficácia da metodologia da análise multitemporal de fotografias aéreas para a localização de locais de disposição inadequada de resíduos.

As áreas suspeitas de contaminação (AS) em geral apresentam mudanças tanto no solo como na vegetação, cujo diagnóstico e análise pode ser feito através de fotografias aéreas multitemporais. As principais formas de disposição de resíduos e suas características fotográficas e de campo são a seguir descritas:

a) Resíduos depositados no solo ou em meia-encosta, ao longo de estradas

Esse tipo de depósito constituído de resíduos domiciliares e industriais é o encontrado na Estrada de Sapopemba (São Paulo) e também próximo de áreas industriais, com seus limites restritos às margens da estrada e à meia-encosta. Apresentam tonalidades brancas em fotografias aéreas devido à destruição da vegetação nos locais onde são lançados os resíduos.

Como exemplo, na Fotoimagem 1, de 1973, não são percebidos a existência de resíduos, que irão aparecer apenas no sobrevôo de 1977 (na Fotoimagem 2), onde se pode detectar pelos tons brancos - (A);

Na Fotoimagem 3, de 1986, parte dos resíduos de 1977 já estão encobertos pela vegetação (A) e também são observadas novas deposições em tons claros (B).

b) Depósitos de resíduos em propriedades

Esse tipo ocorre na Estrada de Sapopemba, onde existem locais de reaproveitamento de resíduos domiciliares e industriais dentro das propriedades (Fotoimagem 4).

Em geral, são difíceis de ser detectados, devido ao tamanho dos depósitos e das características fotográficas que se podem confundir com outras feições típicas de ocupação antrópica.

Apresentam-se nas fotos como áreas com tonalidades claras (D), adquirindo a forma de grandes quintais, podendo ser observados em alguns casos (dependendo da escala das fotos) os resíduos no solo.

c) Resíduos dispostos em áreas antigas de extração mineral e material de empréstimo

Esse tipo constitui uma grande parte dos chamados "lixões", ocupando as áreas onde havia extração mineral ou de material de empréstimo; às vezes, podem ser grandes áreas abandonadas, de origem desconhecida.

A detecção desses "lixões" é feita pelo acompanhamento da evolução temporal dessas áreas, verificando se as atividades pré-existentes foram encerradas e como foram ocupadas essas áreas nos anos subseqüentes.

O reconhecimento da presença de resíduos nas fotografias aéreas nesses casos torna-se mais difícil, pois pode haver pouco contraste com outras áreas de solo exposto, sugerindo-se assim procurar outros tipos de resíduos com tonalidades mais escuras em outras fotos (Fotoimagem 5).

d) Aterros industriais

Esse tipo de disposição de resíduos industriais ocorre nas áreas internas ou externas das indústrias, sendo caracterizado como escavações regulares (quadráticas ou retangulares), pouco profundas.

Nos estudos foram observados dois tipos de disposição de resíduos: no primeiro, foram enterrados tambores e, no segundo, foram depositados resíduos líquidos em tanques, que se encontram em parte expostos ao ar livre e parte enterrados, sendo denominados de "borreiros".

O primeiro pode ser visto na Fotoimagem 6, onde pode ser observada o início da escavação na foto de 1977 e o recobrimento por vegetação em 1986 (Fotoimagem 7), sendo portanto difícil de ser detectado sem o auxílio de fotografias aéreas.

O segundo pode ser caracterizado na Fotoimagem 8, pelas formas regulares dos tanques e pela cor escura dos resíduos líquidos (L). Em outro local, pode ser observada uma cava, de forma retangular onde foram dispostos resíduos sólidos (K).

e) Aterros domiciliares/industriais

Esse tipo de aterro é caracterizado por áreas abertas dentro dos distritos industriais para a disposição de resíduos diversos, inclusive industriais, caracterizando-se na realidade como verdadeiros "lixões" (Fotoimagem 9).

Em fotografias aéreas, são detectados inicialmente na cor branca, decorrente da remoção da vegetação e exposição de solo; no decorrer do tempo podem ser vistos os resíduos dispostos e também aplainados, características de aterros. Após a desativação, são recobertos por vegetação.

f) Resíduos Industriais dispostos em terrenos abandonados e estradas nas proximidades de áreas industriais

Esse tipo de depósito é proveniente de despejos de resíduos transportados em caçambas. Os despejos mostram no solo uma disposição regular e de mesmo tamanho dos montes de resíduos, mostrando em fotografias aéreas uma coloração clara e uma textura crenulada (Fotoimagens 10 e 11).

2 Conclusões

Os resultados obtidos com a utilização de fotografias aéreas na detecção de áreas contaminadas foram positivos, pelas seguintes razões:

a) Todas as ASs (áreas suspeitas de contaminação) conhecidas em atividade ou inativas podem ser detectadas, monitoradas e analisadas por fotografias aéreas. Várias ASs desconhecidas foram detectadas nas áreas-testes estudadas. Algumas áreas com resíduos enterrados e encobertos por vegetação, que foram somente descobertos através de denúncias, poderiam ter sido detectados por essa técnica.

b) Todas as ações que levam à formação de ASs, tais como remoção de vegetação e solo superficial, abertura de cavas e a disposição de resíduos a granel ou em tambores, podem ser detectadas em fotografias aéreas através de seus elementos de reconhecimento, tais como cor, tonalidade, textura, forma, tamanho, padrão e associação.

c) A análise multitemporal, com o uso de fotografias aéreas históricas, permite a detecção de ASs através da análise cronológica das mudanças havidas na vegetação e no solo desde o surgimento das áreas. Esse tipo de trabalho é viável na Grande São Paulo, onde há grande disponibilidade de fotografias aéreas em períodos e em escalas apropriados ou em outra localidade que apresente condições semelhantes.

d) Todas essas áreas contaminadas poderão ser inventariadas, caracterizadas e analisadas através de fotografias aéreas.

Os dados obtidos permitem uma avaliação prévia da área contaminada e auxiliam os trabalhos de campo no planejamento das amostragens e monitoramento, pois é possível definir a extensão da área contaminada e dos locais de disposição de resíduos.

e) O emprego de fotografias aéreas permite a localização de ASs no passado, verificando como as mesmas foram ocupadas posteriormente. Com isso, pode-se estabelecer uma prioridade de pesquisa e de ações remediadoras para as áreas contaminadas que foram ocupadas por moradias, plantações ou situadas em mananciais. Além disso, pode auxiliar com ações preventivas em áreas contaminadas que ainda não sofreram nenhum processo de ocupação, como por exemplo, o isolamento dessas áreas.

f) A aplicabilidade demonstrada da metodologia de fotografias aéreas para a detecção de ASs não elimina a necessidade de trabalhos de campo.

Fotoimagens

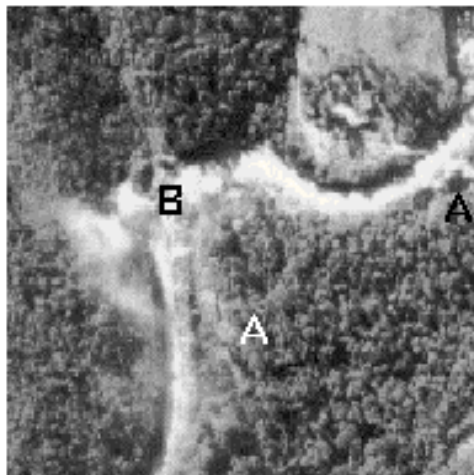
Exemplos de áreas suspeitas de contaminação (AS) em fotografias aéreas:



Fotoimagem 1: Em 1973, Estrada de Sapopemba com ausência de resíduos.



Fotoimagem 2: Em 1977, mesmo local com pequenos depósitos de lixo em meia-encosta e nas margens da estrada, caracterizados pelos tons brancos.



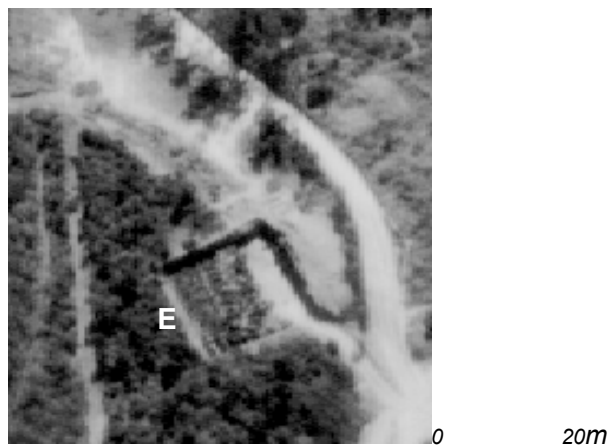
Fotoimagem 3: Em 1986, resíduos de 1977 (A) encobertos pela vegetação (cor escura) e novas deposições (B), na cor branca.



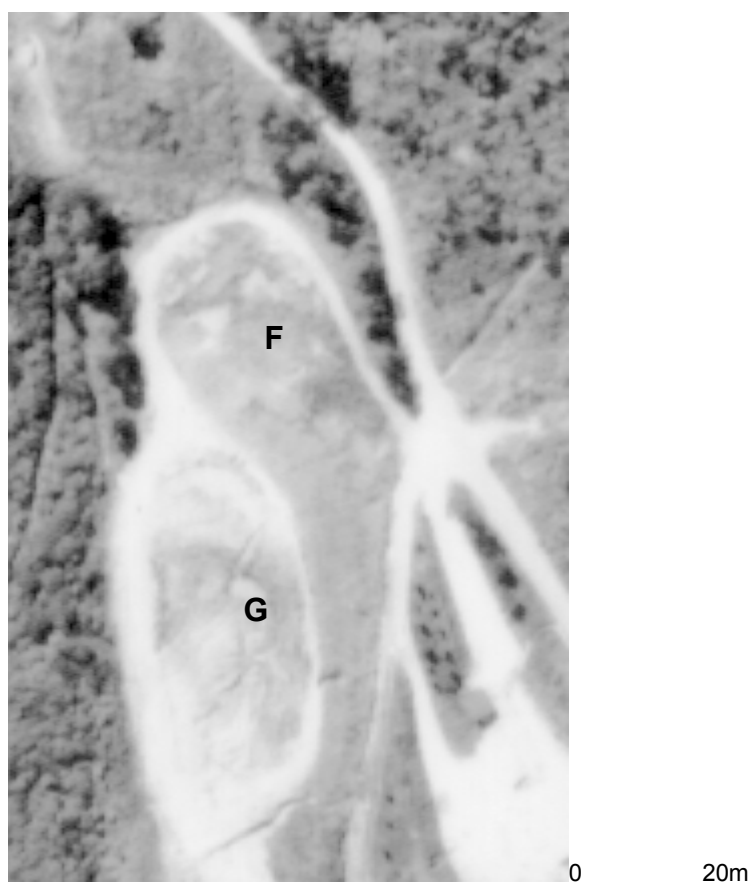
Fotoimagem 4: Em 1986, lixo domiciliares e industriais "recicláveis" localizados dentro de propriedades (D).



Fotoimagem 5: Em 1986, Estrada de Sapopemba, área de extração de material de empréstimo ou aterro abandonado transformado em "lixão", com resíduos industriais e domiciliares (E).



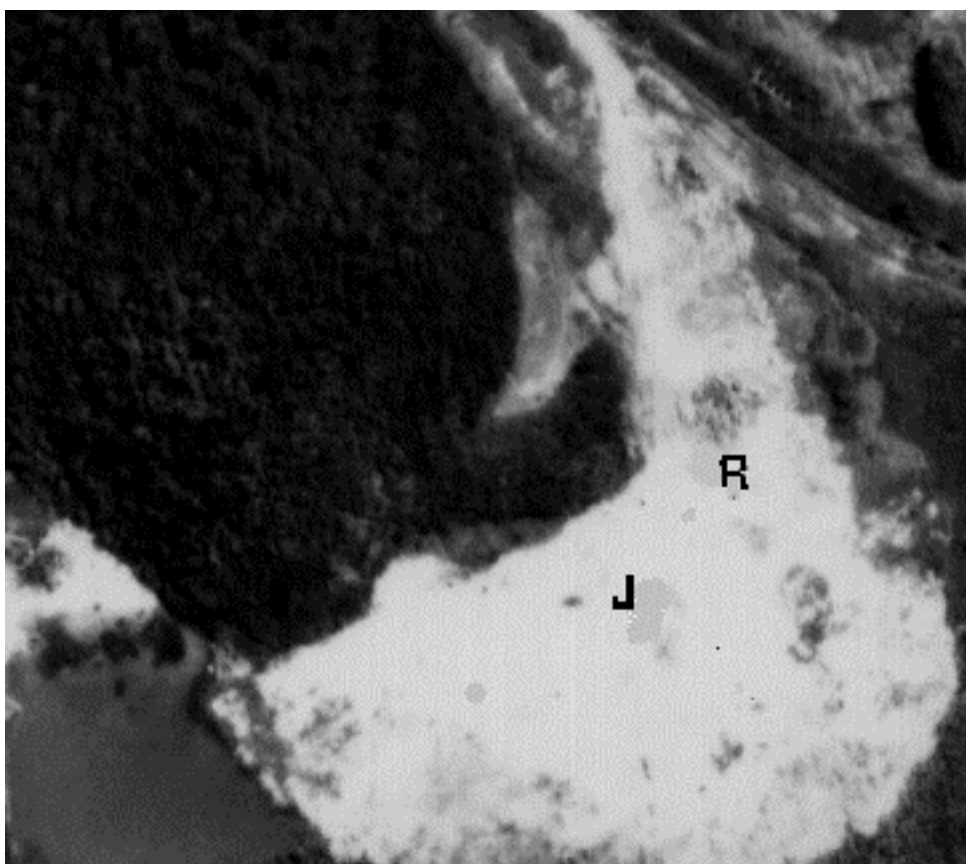
Fotoimagem 6: Em 1977, aterro industrial com a cava quadrática, aberta com disposição de tambores, na cor cinza-escuro dentro da cava (E).



Fotoimagem 7: Em 1986, área do aterro anterior encoberta (F) na cor cinza-claro, observando-se outra área (G) com as mesmas feições fotográficas, considerada também como provável cava aberta no passado.



Fotoimagem 8: Em 1986, área de disposição de resíduos industriais líquidos (L), em tanques abertos nos solos ("borreiros") e resíduos industriais sólidos enterrados (K).



Fotoimagem 9: Em 1973, área de disposição em distrito industrial, caracterizada na cor branca (J), com resíduos diversos na cor cinza (R).



0 _____ 40m

Fotoimagem 10: Em 1973, área de disposição de resíduos industriais (M) descarregados por caçambas e caracterizados pelos tamanhos iguais dos despejos.



Fotoimagem 11: Em 1977, área anterior, com os resíduos antigos recobertos por vegetação, na cor cinza-escuro, e observando-se novas deposições de resíduos (N).

4000 O Cadastro de áreas contaminadas

O Cadastro de Áreas Contaminadas (ACs) constitui-se no instrumento central do gerenciamento de ACs, no qual são registradas todas as informações adquiridas durante a execução das etapas do gerenciamento de ACs referentes às áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) e áreas contaminadas (ACs).

O Cadastro de ACs é um importante instrumento, cuja consulta pode subsidiar a adoção de medidas voltadas à remediação de áreas contaminadas, ao controle ambiental, ao planejamento urbano e ocupação do solo de maneira lógica, prática e economicamente viável.

1 Estrutura básica do Cadastro de ACs

A entrada de dados no cadastro é realizada após a etapa de **identificação de APs** e se baseia, principalmente, na primeira página da Ficha Cadastral de Acs (item 1). As atualizações devem ser feitas após as etapas de **avaliação preliminar, investigação confirmatória e processo de recuperação de ACs**. A Ficha Cadastral de ACs constitui-se na base para a coleta de dados e, conseqüentemente, para alimentação do Cadastro de ACs.

O modelo da Ficha Cadastral de ACs proposto pode ser observado na seção 5101 e o guia para o preenchimento da mesma, na seção 5102.

O Cadastro de ACs é composto por duas partes principais: cadastro físico e cadastro informatizado.

O esquema de entrada de dados no Cadastro de ACs pode ser observado na Figura 4000-1.

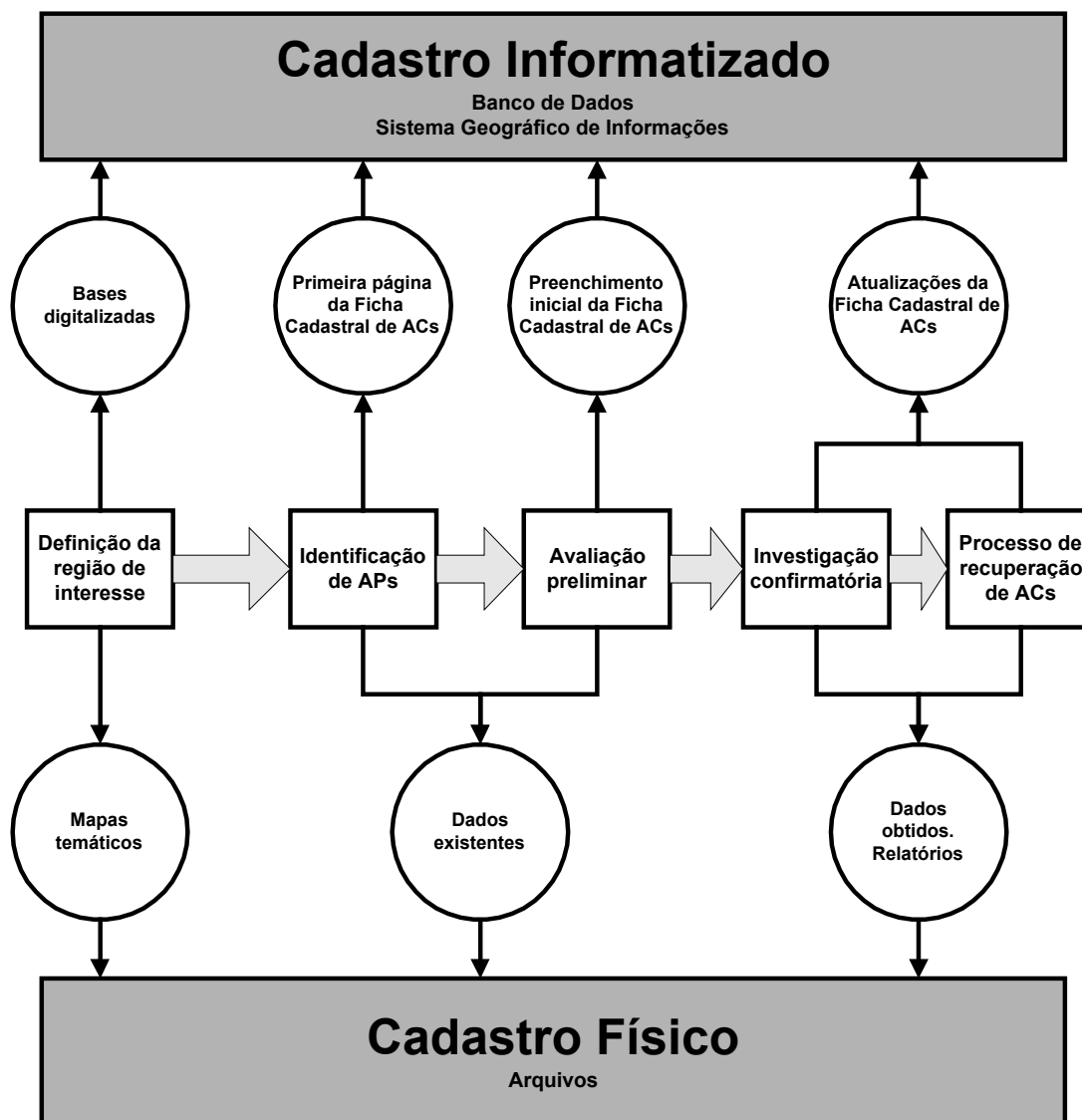


Figura 4000-1: Esquema de entrada de dados no Cadastro de ACs.

1.1 Cadastro físico

No cadastro físico, que é constituído basicamente por arquivos, devem ser armazenadas todas as informações disponíveis sobre o local, desde as fichas cadastrais e de pontuação preenchidas e atualizadas (arquivos para pastas suspensas) até mapas temáticos diversos utilizados como base nas etapas realizadas (mapotecas), como, por exemplo, mapas topográficos usados para localizar as áreas e os bens a proteger, e relatórios emitidos durante o desenvolvimento das etapas do gerenciamento. Também devem ser mantidos no cadastro físico os projetos e os relatórios de acompanhamento da remediação, quando esta for implementada.

1.2 Cadastro informatizado

O cadastro informatizado é constituído por um banco de dados alfanuméricos que pode ou não estar associado a um Sistema Geográfico de Informações (SGI). Essa ligação é muito útil pela própria natureza gráfica do SGI, que permite uma visualização da região em estudo, tanto regionalmente como de forma localizada nas áreas de interesse, facilitando o planejamento das ações a ser adotadas.

Os “softwares” de banco de dados e o SGI devem ser selecionados cuidadosamente pela sua compatibilidade, capacidade de manipulação de todas as informações que se pretende obter e adequação ao equipamento disponível ou a ser adquirido. A relação custo/benefício deve ser avaliada, pois o investimento, tanto em “software” como em “hardware”, pode ser bastante alto.

O programa gerenciador do banco de dados deve controlar a entrada, correção e exclusão das informações, permitir a emissão de relatórios de pesquisas diversas e o cruzamento de informações, podendo ainda realizar o cálculo do sistema de pontuação baseado nos critérios descritos no capítulo VII. A Figura 4000-2 mostra um exemplo de uma janela de entrada dos dados da Ficha Cadastral de ACs.

1 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA

1.1 No. de cadastro: D000001 Número: 1

1.2 Data da primeira inspeção: 04/05/94 Data de atualização: / /

1.3 Inspetores: ELTON - MARA - CELSO

1.4 Denominação atual do local: LIXAO CLANDESTINO BAIRRO DO PACA

1.5 Endereço: ESTRADA JOAO ANTONIO RODRIGUES

Bairro: BAIRRO DO PACA CEP: 06900-000

Município: EMBU-GUACU Regional Cetesb: SANTO AMARO

1.6 Latitude: 7.361.500 Longitude: 313.750 Folha Topográfica: 2225

1.7 Tipo de fonte de contaminação: DISPOSICAO DE RESIDUOS

1.8 Denominação da Fonte: LIXAO CLANDESTINO BAIRRO DO PACA

1.9 Cód. da Atividade IBGE da Fonte: 31.40.01-1

Descrição: LIXAO PARTICULAR

1.10 Situação da Fonte quanto ao funcionamento:

Ativa (o) desde: / /

Desativada(o) funcionamento de: / / até: / /

1.11 Área total da fonte e área afetada: 3.000 /

1.12 Classificação da área

Top Prev Next Bottom Find Add Edit Delete Exit

2. Disposição

3. Área Indus.

4. Outras Fontes

5. Descrição

6. Event. Import.

7. Atividades

8. Fontes de Inf.

Figura 4000-2: Janela principal de entrada de informações no banco de dados.

As informações básicas que compõem o banco de dados alfanuméricos são aquelas constantes da Ficha Cadastral de ACs levantadas nas diferentes etapas que compõem o gerenciamento de ACs. As informações básicas armazenadas no banco de dados sobre as áreas potencialmente contaminadas registradas no cadastro são:

- nome do local;
- localização (coordenadas, endereço);
- atividade desenvolvida ou em desenvolvimento.

Além das informações acima, as seguintes informações específicas sobre áreas suspeitas de contaminação cadastradas também devem ser armazenadas:

- fontes suspeitas de contaminação;
- área/volume aproximado;
- contaminantes prováveis;
- bens a proteger;
- evidências de contaminação;
- vias de transporte dos contaminantes potenciais.

No caso específico de áreas contaminadas, as seguintes informações devem ser registradas:

- forma de comprovação da contaminação;
- contaminantes identificados;
- vias de transporte dos contaminantes;
- bens a proteger atingidos;
- responsáveis pela contaminação;
- ações desenvolvidas ou a ser desenvolvidas na área.

A base cartográfica que compõe o SGI deve compreender os limites da região de interesse, a mancha urbana, as vias de circulação, geologia, hidrografia, áreas de proteção e/ou restrição legal, localização de poços de abastecimento, mapas de profundidade de nível d'água subterrânea, perímetros de proteção de poços, mapas de uso do solo e as localizações das APs, ASs e ACs.

Esses mapas podem ter escalas variadas, que dependem da etapa do gerenciamento de ACs em execução, onde as áreas em questão podem ser representadas como pontos ou polígonos.

Como resultado da etapa de identificação de APs, estas são representadas como pontos em mapas em escalas regionais. Na etapa de avaliação preliminar, as ASs obtidas podem ser representadas por polígonos correspondentes à área da propriedade em mapas com maior detalhe. Na etapa de investigação detalhada, as

ACs determinadas podem ser representadas por polígonos correspondentes à área afetada pela contaminação em mapa ainda mais detalhado.

Os dados cadastrados no SGI, juntamente com o banco de dados alfanuméricos, permitem a realização de pesquisas gráficas, em que o usuário pode indicar um ponto ou uma área do mapa da região de interesse e ter acesso às informações disponíveis, imagens e textos digitalizados relacionados ao local.

Pelo cruzamento de imagens podem ser definidas áreas críticas e/ou prioritárias, como, por exemplo, mapas de suscetibilidade à contaminação das águas subterrâneas baseados nos mapas de profundidade do nível d'água, litologia e Cadastro de ACs.

O processamento de dados pode ser sintetizado pela Figura 4000-3.



Figura 4000-3: Processamento de dados referentes às áreas contaminadas.

5000 Avaliação preliminar

O objetivo da etapa de **avaliação preliminar** é a realização de um diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas (APs), o que será possível realizando-se levantamento de informações disponíveis sobre cada uma das áreas identificadas na etapa anterior e do reconhecimento das mesmas através de inspeções de campo.

Resumidamente, a execução dessa etapa possibilitará:

- levantar informações sobre cada AP de modo a subsidiar o desenvolvimento das próximas etapas do gerenciamento de ACs;
- documentar a existência de evidências ou fatos que levem a suspeitar ou confirmar a contaminação nas áreas em avaliação, possibilitando sua classificação como AS, AP ou exclusão do cadastro;
- estabelecer o modelo conceitual inicial de cada área em avaliação;
- verificar a necessidade da adoção de medidas emergenciais nas áreas.

A Ficha Cadastral de ACs deve ser utilizada como guia para obtenção de informações, tanto na coleta dos dados existentes quanto na realização da inspeção de reconhecimento da área (ver seções 5101 e 5102).

Os dados obtidos na avaliação preliminar permitem estabelecer uma primeira classificação das áreas anteriormente identificadas como APs, além de serem utilizados para atualizar o Cadastro de ACs e indicar a seqüência de etapas que deverão ser executadas dentro do gerenciamento de ACs, visando racionalizar recursos técnicos e econômicos.

Quando a área em questão for classificada como uma AS, os dados coletados serão a base para o planejamento das investigações a ser realizadas durante a etapa de **investigação confirmatória**, como, por exemplo, a definição dos pontos de coleta de amostras e a profundidade de investigação, entre outros.

Caso sejam obtidos dados que comprovem a existência de contaminação de uma área, permitindo a classificação desta como uma AC, cumprindo-se as exigências estabelecidas para tal, ou seja, trabalhos correspondentes aos da etapa de investigação confirmatória (conforme seção 6000), a área poderá ser classificada como AC.

Durante a etapa de avaliação preliminar podem também ser obtidas evidências que indiquem a necessidade de adoção de medidas emergenciais, visando à proteção da saúde da população ou outros bens a proteger.

Os dados coletados devem ser interpretados com o intuito de formular hipóteses sobre as características da fonte de contaminação, as prováveis vias de transporte dos contaminantes (meios por onde podem se propagar),

a distribuição espacial da contaminação e os prováveis receptores ou bens a proteger atingidos. Dessa forma, pode-se estabelecer um modelo conceitual inicial da área (Modelo conceitual 1), que será utilizado como base para o planejamento das etapas posteriores do gerenciamento, o qual deverá ser atualizado na etapa de investigação confirmatória e consolidado durante a execução das etapas do processo de recuperação de ACs.

Na Figura 5000-1, é apresentado um fluxograma mostrando a seqüência dos procedimentos da etapa de avaliação preliminar, os quais são descritos a seguir.

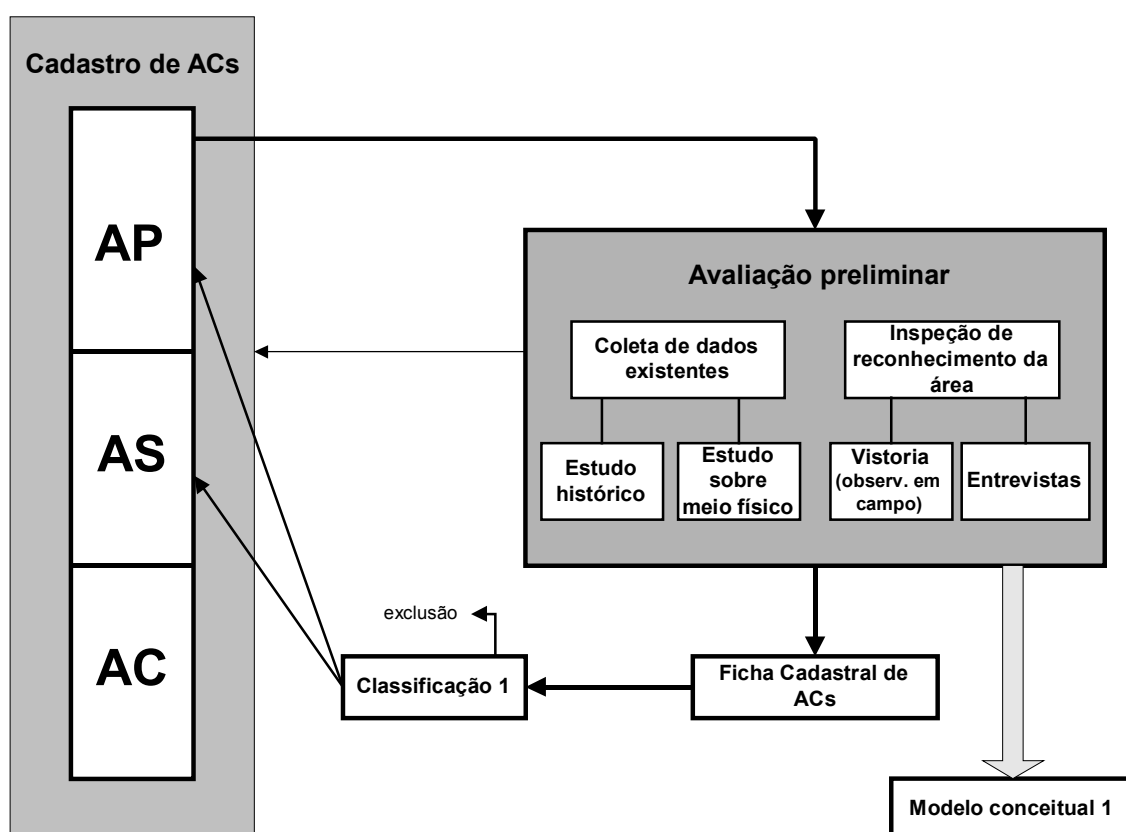


Figura 5000-1: Fluxograma da etapa de avaliação preliminar.

1 Coleta de dados existentes

Muitas vezes as áreas a ser avaliadas nessa etapa já dispõem de informações levantadas por diferentes motivos que podem ser úteis na realização do diagnóstico inicial da área. Tais informações podem auxiliar na identificação das atividades desenvolvidas no passado, assim como na caracterização do meio físico, levando a um melhor conhecimento da área quanto à contaminação e seus possíveis impactos nas áreas vizinhas.

Na Tabela 5000-1, são apresentados exemplos de fontes, tipos de informações e documentos normalmente utilizados na etapa de **avaliação preliminar**.

Fontes de informação	Tipos de informações	Documentos a consultar
Proprietário ou responsável pela área	História operacional e ambiental da área	Registros de produção, armazenamento e disposição de substâncias e resíduos na área, fluxogramas e plantas industriais
Órgão de controle ambiental	Histórico ambiental e operacional da área, dados sobre o meio físico	Processos, relatórios e cadastros
Ministério Público	Informações sobre a situação legal da área	Processos
Prefeitura	Utilização atual/futura da área e vizinhança	Plano diretor, plantas da área
Empresas de planejamento do uso e ocupação do solo	Informações sobre os bens a proteger localizados próximos à área, histórico operacional da área	Mapas, fotografias aéreas e relatórios
Empresas prestadoras de serviços especializados, como perfuradoras de poços, aerofotogrametria, firmas de engenharia civil, empresas de abastecimento de água	Descrição geológica e hidrogeológica da área, história do uso do solo e utilização da área, drenagens, bens a proteger, histórico das operações na área, disposição de substâncias, "layout" da área, informações geotécnicas	Relatórios contendo mapas perfis descritivos de poços e sondagens, fotografias aéreas multitemporais, plantas das edificações, mapas com utilidades
Meios de comunicação	Ocorrências de fatos marcantes relacionados à área	Jornais , revistas e livros
Corpo de Bombeiros	Mapas históricos e plantas de segurança contra incêndio, medidas de segurança tomadas na área	Relatórios, mapas , croquis
Entrevistas com moradores, funcionários, técnicos da agência ambiental e prefeitura, etc.	Histórico geral da área, processos, operação, disposição de substâncias	Registros das entrevistas executadas
Institutos (geológico, agrônômico, química, pedológico, meteorológico, etc.), universidades	Comportamento dos contaminantes, geologia, hidrogeologia, meteorologia da área, etc.	Textos de revistas especializadas, teses, dissertações, livros

Tabela 5000-1: Fontes e tipos de informação específicos sobre cada área levantada durante a etapa de avaliação preliminar.

1.1 Estudo histórico

A realização do estudo histórico possibilita a reconstituição da maneira como foram desenvolvidas as atividades de manejo, produção, armazenamento e disposição de substâncias em uma área, além da evolução do uso e ocupação do solo nas adjacências e o posicionamento dos bens a proteger.

Esse trabalho é de grande importância, sendo indispensável no estudo de fontes de contaminação desativadas, onde, em geral, não existe mais uma administração vigente e os processos administrativos, assim como o histórico da área vão se perdendo com o passar do tempo.

O levantamento histórico requer uma grande disponibilidade de tempo para registrar todos os dados disponíveis sobre as atividades ocorridas na área em estudo e arredores, constituindo-se em uma tarefa interdisciplinar, exigindo conhecimento histórico-social, urbanístico, administrativo, além de conhecimentos sobre processos industriais, substâncias químicas e o meio ambiente em geral.

Como pode ser visualizado na Tabela 5000-1, várias fontes de informação podem ser consultadas para a execução do estudo histórico, como órgãos de controle ambiental, prefeituras e proprietários da área.

Algumas dessas fontes podem, inclusive, fornecer informações contidas em laudos de análises que comprovem a existência de contaminação na área, permitindo sua classificação como AC.

A interpretação de fotografias aéreas multitemporais é uma técnica a ser destacada como uma ferramenta das mais importantes para a realização do estudo histórico, como discutido na seção 3200.

Para facilitar e organizar a execução e apresentação dos resultados do estudo histórico, como sugestão para uma melhor organização e visualização dos trabalhos que foram ou forem sendo realizados, propõe-se a utilização de um formulário em que constem todas as informações obtidas, em ordem cronológica, dos eventos. Esse formulário pode seguir o formato apresentado na Tabela 5000-2, tomando-se como exemplo um levantamento histórico realizado em um complexo industrial.

Unidades de produção	Cloro/soda	Ácido sulfúrico	BHC
Informações			
Início de operação	1946	1946	1946
Encerramento	1982	1986	1986
Condições do edifício	Demolido, escombros no local, paredes em pé	Demolido, alguns escombros no local	Semidemolido, paredes em pé
Matérias-primas/Quantidade	Cloreto de sódio, 130 t/dia Mercúrio, 40 kg/dia	Enxofre, 639 t/mês Cal hidratada, 85 kg/mês Terra infusória, 95 kg/mês Pentóxido de vanádio	Cloro líquido, 312 t/mês Benzeno, 148 t/mês
Produtos/Quantidade	Soda cáustica, 75 t/dia Cloro líquido, 55 t/dia Hipoclorito sódio, 40 t/dia Ácido clorídrico, 60 t/dia Hidrogênio, 20.000 m ³ /dia	Ácido sulfúrico, 1.850 t/mês	BHC 16%, 400 t/mês BHC 40%
Resíduos	-	Borra de enxofre	Isômeros de BHC dispostos em vários locais na área
Efluentes líquidos	Lançados no córrego	Lançados no córrego	Lançados no rio
Fluxograma de processo	Sim (anexo)	Sim (anexo)	Sim (anexo)

Tabela 5000-2: Exemplo de tabela a ser utilizada em estudo histórico em um complexo industrial.

1.2 Estudo sobre o meio físico

O levantamento de dados sobre o meio físico objetiva principalmente determinar as vias potenciais de transporte dos contaminantes e a localização e caracterização de bens a proteger que possam ser atingidos. Desta forma devem ser coletados dados geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, geomorfológicos e meteorológicos, que podem ser obtidos junto aos órgãos de controle e planejamento ambiental, universidades, institutos de pesquisa (geológico e agrônomo, entre outros), empresas de abastecimento de água, empresas perfuradoras de poços etc. (ver tabela 5000-1).

2 Inspeção de reconhecimento da área

Durante a inspeção de reconhecimento, a área deve ser vistoriada detalhadamente, além de serem realizadas entrevistas com pessoas do local, de modo que se possa adquirir informações que não seriam obtidas com base na simples observação, como por exemplo, a natureza das substâncias utilizadas, entre outras contidas na Ficha Cadastral.

Deve-se destacar que os técnicos designados para a execução desta inspeção devem possuir formação adequada para estarem aptos a responder e interpretar tais questões. Recomenda-se desta forma, a constituição de uma equipe multidisciplinar.

Na entrevista realizada com pessoas que possam estar ou terem estado ligadas à área em questão, como funcionários atuais ou antigos do empreendimento e moradores vizinhos, as seguintes informações poderão ser obtidas:

- locais de disposição ou infiltração de resíduos;
- acidentes ocorridos;
- paralisação do funcionamento;
- índice de doenças nos funcionários, moradores, animais;
- manuseio das substâncias;
- reclamações da população;
- problemas com a qualidade do ar, água e solo;
- reformas realizadas na área.

Durante a inspeção deve ser realizada uma verificação sobre a necessidade da tomada de medidas emergenciais, em função da possibilidade de existência de risco de incêndio e explosão, ou de riscos iminentes aos bens a proteger.

3 Classificação 1

Segundo definição, uma área pode ser classificada como AS quando, após a realização da etapa de avaliação preliminar, são observadas indicações que induzem a suspeitar da presença de contaminação.

O registro destas indicações deve ser realizado utilizando-se a Ficha Cadastral de ACs, que constitui-se no elemento central do procedimento de classificação de áreas.

As informações obtidas no preenchimento da Ficha Cadastral de ACs (ver seção 5101), durante a etapa de avaliação preliminar, possibilitam uma nova classificação da área, a qual pode permanecer como AP, ser identificada como AS, ou ser excluída do Cadastro em função das evidências quanto à sua não contaminação.

Para classificar as áreas como suspeitas (ASs), deve-se levar em consideração o projeto, a forma de construção e operação do empreendimento considerado e a ocorrência de eventos que possam indicar a possibilidade de transporte de contaminantes e destes atingirem bens a proteger.

Os responsáveis pela classificação de uma área específica devem ser os técnicos especializados designados para realização da etapa de avaliação preliminar em cada área específica.

Pode-se considerar que áreas onde esteja sendo ou foi realizada disposição de resíduos de maneira inadequada, não atendendo as normas vigentes, podem ser classificadas como suspeitas. Desta forma, devem ser observadas as respostas obtidas nos itens 2.1, 2.6, 2.10, 2.13 e 2.14 da Ficha Cadastral, que dão indicações sobre a adequabilidade da forma de construção e operação da área.

As áreas industriais e comerciais, além dos postos de serviço, podem ser consideradas como áreas suspeitas desde que as atividades desenvolvidas nestas áreas, como por exemplo, produção, armazenamento, tratamento e disposição final de resíduos e efluentes, sejam realizadas de forma inadequada. Desta forma, devem ser observadas as respostas obtidas nos itens 3.6, 3.8, 3.9 e 3.10, que dão indicações sobre as condições das instalações e operação nesses empreendimentos.

No caso de fontes de contaminação desconhecidas ou outras fontes, como acidentes, fontes relacionadas à atividade agrícola, etc., devem ser observados os itens 4.1, 4.2, 4.5 e 4.6.

Em geral, para todos os tipos de fontes de contaminação, os itens 5.10, 5.15 e 5.16 podem ser utilizados para classificar áreas como suspeitas, pois estes indicam se existe a possibilidade de ocorrência de contato entre os contaminantes e os bens a proteger, no caso águas subterrâneas e superficiais.

Os itens 6.1, 6.3, 6.4, 6.5 podem indicar a ocorrência de eventos ou a presença de substâncias em determinados locais, que levem a suspeitar da presença de contaminação na área.

Por outro lado, os itens 5.8, 5.11 e 5.14 subsidiam a classificação das áreas como AC, considerando a constatação da existência de resultados analíticos que atestem a existência de *contaminação*, por ocasião da realização da etapa de *investigação confirmatória*.

4 Estabelecimento do modelo conceitual inicial

O modelo conceitual definido ao final da etapa de avaliação preliminar (Modelo conceitual 1) constitui-se numa síntese das informações obtidas até este momento, devendo representar a situação da área quanto à possível contaminação existente e sua relação com a vizinhança, incluindo os bens a proteger nela existentes. Tal modelo pode ser documentado através de texto explicativo ou representado por uma ilustração em que encontrem-se identificadas as fontes de contaminação, os bens a

proteger e as vias de transporte e contato entre os poluentes provenientes da área e os bens a proteger, devendo ser mantido no cadastro (físico ou informatizado).

Esse modelo se constituirá na base para a definição dos objetivos, dos métodos e das estratégias a ser utilizados durante as etapas posteriores, devendo ser atualizado em função da execução de novas etapas do gerenciamento de ACs.

Dessa forma, durante a etapa de investigação confirmatória o modelo pode ser atualizado (Modelo conceitual 2, ver seção 6000), sendo na etapa de *investigação detalhada* definido um modelo (Modelo conceitual 3) que se constituirá em uma representação mais realista da AC, sendo a base para realização da análise de risco e da definição do projeto de remediação. Durante ou após a execução da remediação da ACs o modelo conceitual também poderá ser atualizado.

Na Ficha Cadastral de Acs, o modelo conceitual deve ser apresentado, ao final de cada atualização desta, no seu item 9 (ver seção 5101), “croqui da área/modelo conceitual”.

Neste item, o modelo conceitual pode ser mostrado através de uma ilustração ou croqui, ou descrito através de uma tabela em que devem ser registradas as fontes de contaminação, os mecanismos de liberação dos contaminantes e as principais vias de transporte dos contaminantes (ver Figura 5000-4).

5 Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos na etapa de avaliação preliminar devem ser apresentados em relatórios e armazenados no cadastro físico, contendo uma compilação das informações obtidas e suas fontes, além de ilustrações, como mapas em escalas adequadas ao tamanho da área avaliada. As escalas utilizadas para confecção desses mapas podem, por exemplo, variar de 1:2.000 a 1:500. Os dados obtidos no preenchimento da Ficha Cadastral de ACs devem ser armazenados no cadastro informatizado, conforme destacado na seção 4000.

Para ilustrar os resultados obtidos na etapa de avaliação preliminar, foi confeccionada a Figura 5000-2, a partir das Figuras 3000-2 e 3000-3 (ver seção 3000), visando mostrar exemplos hipotéticos de apresentação dos resultados das etapas do gerenciamento de ACs. Nessa figura, são mostrados os resultados das observações efetuadas na etapa de avaliação preliminar, definindo-se o uso do solo ao redor da indústria metalúrgica, considerada como AP, na etapa anterior de identificação de APs. Nessa figura, são apresentados o posicionamento dos bens a proteger localizados dentro de um raio aproximado de 1000 m ao redor da área.

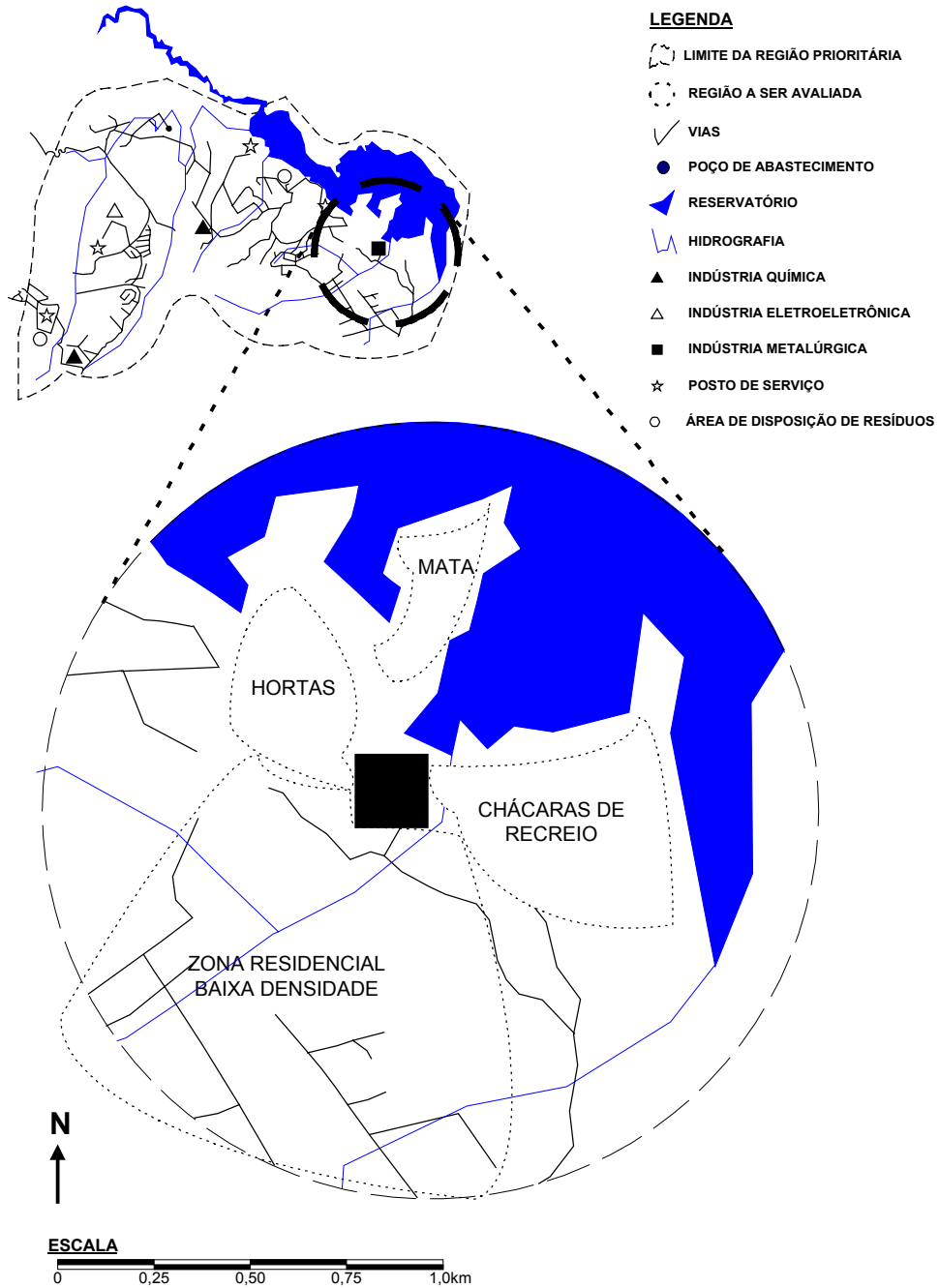


Figura 5000-2: Bens a proteger e uso do solo ao redor da área sob avaliação. Na Figura 5000-3 é apresentado um exemplo de um croqui da indústria metalúrgica hipotética. Nessa figura, são apresentadas as posições das edificações localizadas na área sob avaliação e também algumas edificações localizadas próximas a esta.

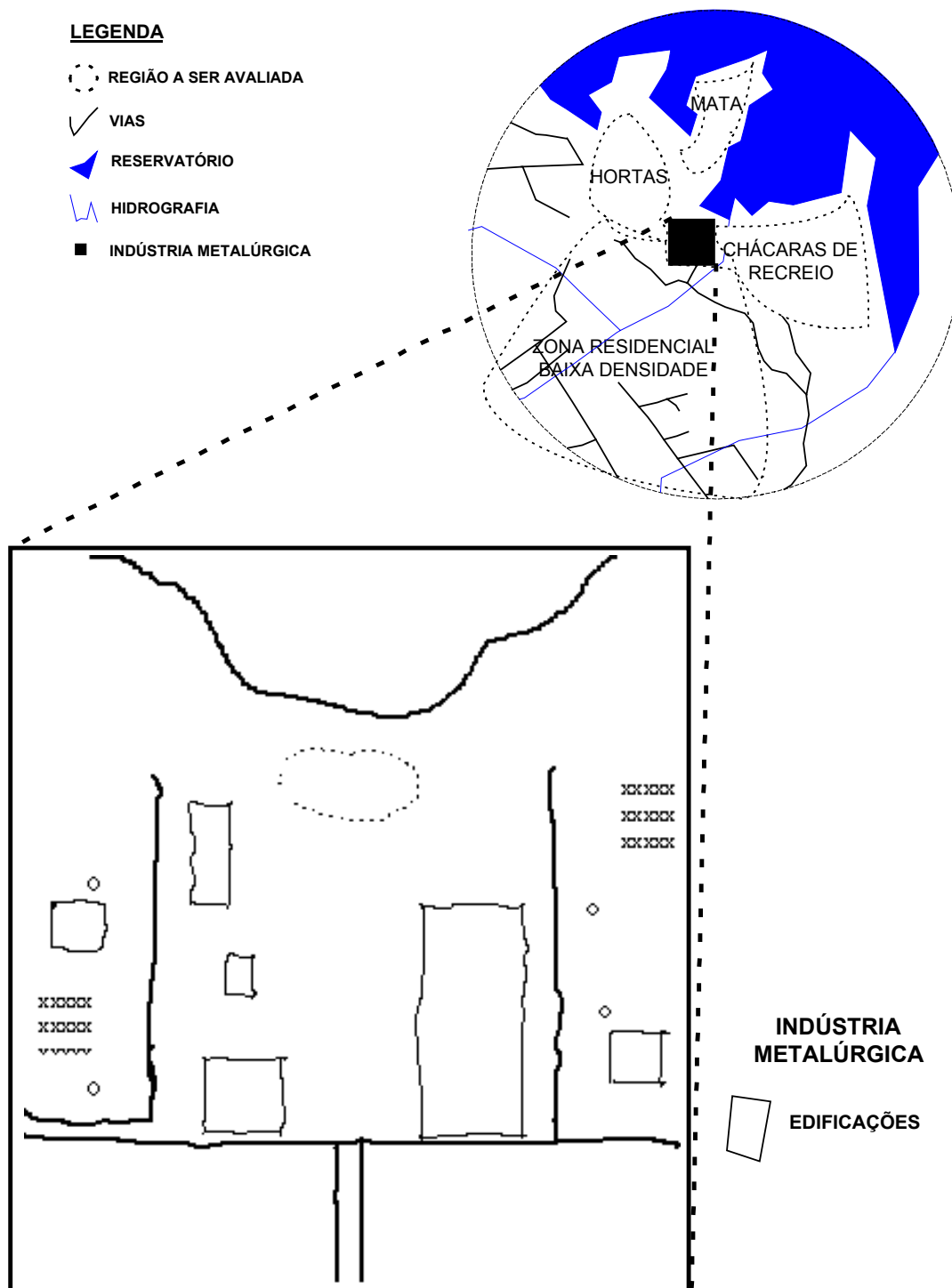
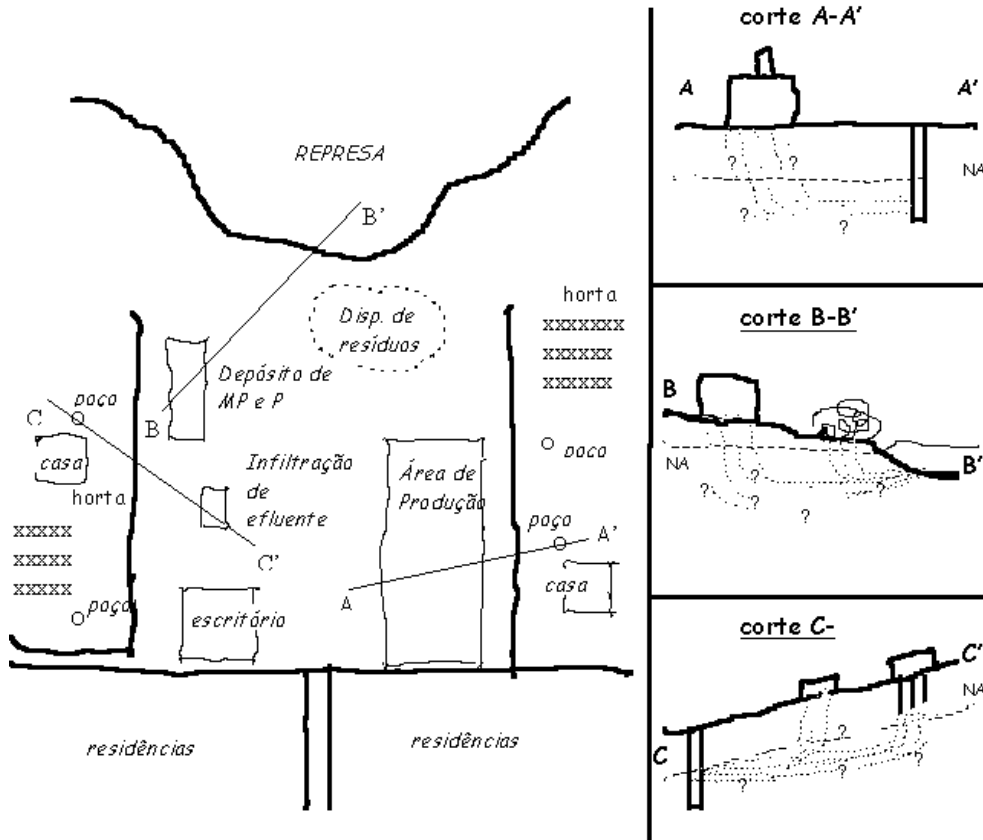


Figura 5000-3: Localização das edificações na área da indústria.

A Figura 5000-4 é um exemplo de como pode ser feita a representação das informações coletadas em função das observações efetuadas durante a inspeção de reconhecimento da área executada na etapa de avaliação preliminar. Essas informações devem ser registradas no item 9 da Ficha Cadastral de ACs, através de um croqui e cortes (seções esquemáticas) e tabelas, que representam o modelo conceitual inicial dessa área (Modelo conceitual 1).

CROQUI DA ÁREA / MODELO CONCEITUAL

Croqui/Seção esquemática



Modelo conceitual [utilizar as siglas P (com potencial), S (com suspeita) e C (confirmado)].

Fontes primárias	Mecanismos primários de liberação	Fontes Secundárias	Mecanismos secundários de liberação	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores
área de produção (s)	infiltração pelo piso (s)	solo contaminado (s)	dispersão (s)	solo e água subterrânea (s)	solo (s) água subterr. (s) poço (s) represa (s) horta (s) moradores (s)
infiltração de efluentes (c)	infiltração em poços (c)	solo contaminado (s)	dispersão (s)	solo e água subterrânea (s)	Idem
disposição de resíduos (s)	infiltração no solo ou escoamento superficial (s)	solo contaminado e poeira (s)	dispersão (s)	solo e água subterrânea ar (s)	idem
depósito de matérias primas e produtos (s)	infiltração no solo (s)	solo contaminado (s)	dispersão (s)	solo e água subterrânea (s)	idem

Figura 5000-4: Representação do modelo conceitual inicial na Ficha Cadastral de ACs.

A Figura 3000-3, obtida na etapa de identificação de APs, deve ser atualizada após a execução da etapa de avaliação preliminar. As áreas avaliadas, conforme mostrado na figura 5000-5, recebem nova classificação. Por exemplo, após esta etapa, a indústria metalúrgica avaliada passou a ser considerada uma área suspeita de contaminação (AS).

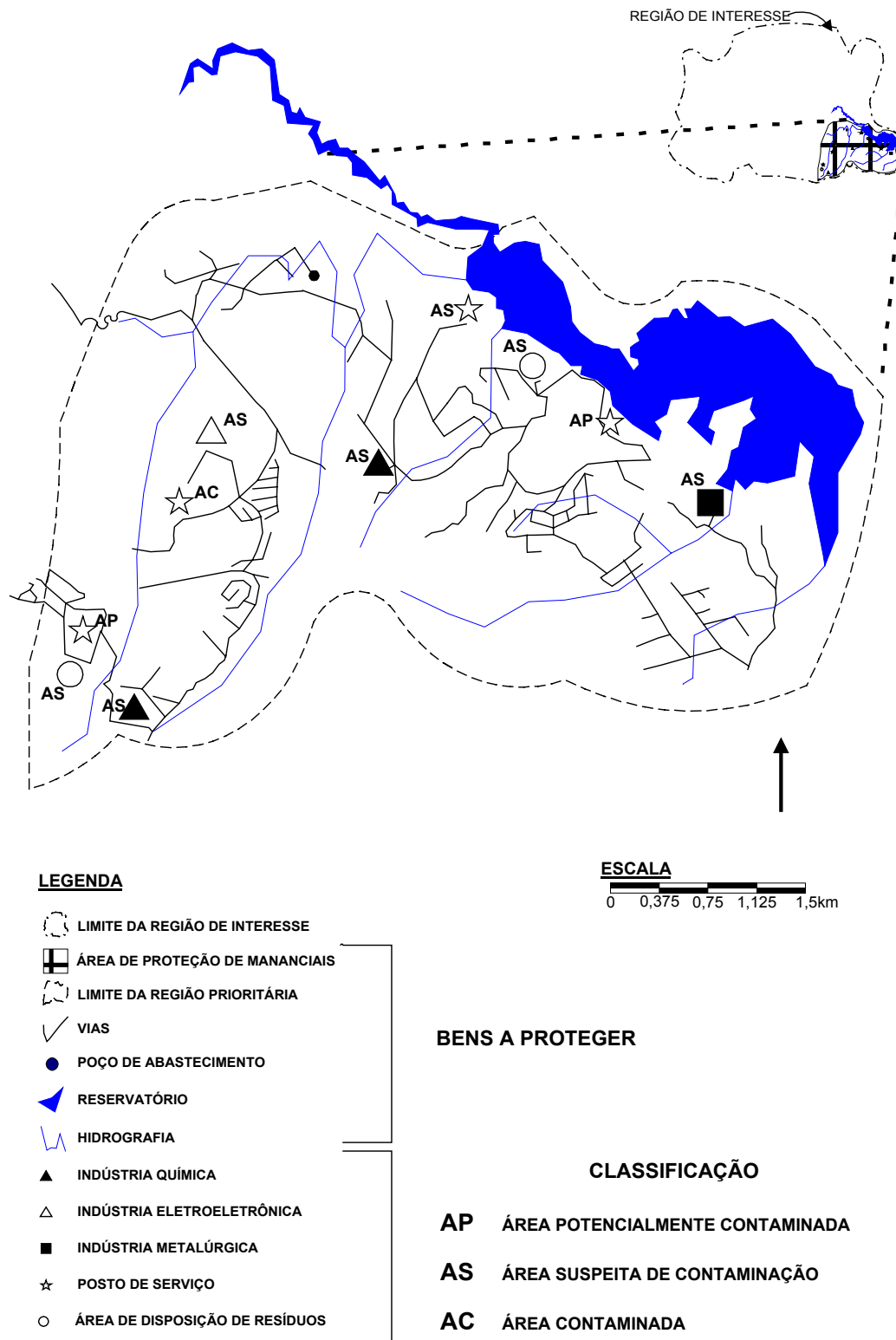


Figura 5000-5: Classificação das áreas após etapa de avaliação preliminar

Ficha cadastral de áreas contaminadas

1. IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA

1.1 Nº de cadastro _____ Nº SIPOL _____

1.2 Data da primeira inspeção _____ Data de atualização _____

1.3 Inspetores: _____

1.4 Denominação atual do local _____

1.5 Endereço _____

Distrito/Bairro _____ CEP _____

Município _____ Agência CETESB _____

Administração regional _____ Zoneamento _____

1.6 Latitude [_____] Longitude [_____] Folha topográfica _____

Datum/MC: _____ Bacia Hidrográfica: _____

1.7 Tipo de fonte de contaminação: []

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| (1) Disposição de Resíduos | (Preencher item 2) |
| (2) Área Industrial | (Preencher item 3) |
| (3) Área Comercial | (Preencher item 3) |
| (4) Posto de Serviço | (Preencher item 3) |
| (5) Outras Fontes | (Preencher item 4) |
| (6) Não conhecida | (Preencher item 4) |

1.8 Denominação da fonte _____

1.9 Código da atividade IBGE da fonte _____

Descrição _____

1.10 Situação da fonte quanto ao funcionamento

[] Ativa(o) desde _____

[] Desativada(o) funcionamento de _____ até _____

1.11 Área total da fonte e área afetada: _____ / _____ (m²) (CP1)

1.12 Classificação da área

- | | | | |
|----------------|----------------------|---------|--------------------------------|
| Classificação: | (1) Área Potencial | Motivo: | (1) Identificação de AP |
| | (2) Área Suspeita | | (2) Avaliação preliminar |
| | (3) Área Contaminada | | (3) Investigação confirmatória |
| | (4) Área Excluída | | (4) Remediação |

Classificação	Data	Motivo
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

2. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

2.1 Tipo de Disposição [] AP () / AS ()

- (1) Aterro sanitário (2) Aterro industrial
(3) Aterro de entulhos (4) Lixão
(5) Bota fora

2.2 Volume estimado de resíduos: _____ m³ (CP1)

2.3 Tipos de resíduos (CP1)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Resíduo industrial | <input type="checkbox"/> Resíduo de serviço de saúde |
| <input type="checkbox"/> Resíduo domiciliar | <input type="checkbox"/> Resíduo inerte |
| <input type="checkbox"/> Resíduo de mineração | <input type="checkbox"/> Varrição |
| <input type="checkbox"/> Entulhos | <input type="checkbox"/> Lodos de dragagem |
| <input type="checkbox"/> Lodos do tratamento de águas residuárias | <input type="checkbox"/> Desconhecido |

2.4 Tipos de resíduos industriais:

Denominação	Quantidade	Unidade
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

2.5 Disposição desenvolvida []

- (1) Acima da superfície do terreno
(2) Abaixo da superfície do terreno
(3) Acima e abaixo da superfície do terreno

Altura:acima: _____ abaixo: _____ metros estimados

2.6 Existência de impermeabilização inferior (PAS) AS ()

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> inexistente | <input type="checkbox"/> Membrana |
| <input type="checkbox"/> argila e membrana | <input type="checkbox"/> Dupla Membrana |
| <input type="checkbox"/> argila | <input type="checkbox"/> Desconhecida |

2.7 Recobrimento operacional []

- (1) Sim (2) Não (3) Desconhecido

2.8 Operação de compactação []

- (1) Sim (2) Não (3) Desconhecida

2.9 Existência de drenagens:

(1) Sim (2) Não (3) Desconhecida

de águas de escoamento superficial de nascentes
 de líquidos percolados de gases

2.10. Destino dos líquidos percolados (PAS)

AS ()

Água superficial
 Infiltração no solo
 Infiltração em poços
 Estação de tratamento de esgotos do Município
 Estação de tratamento própria
 Rede de esgoto/Águas pluviais
 Inexistente
 Desconhecido

2.11 Tipo de sistema de tratamento de líquidos percolados

Inexistente Desconhecido
 Lagoas Recirculação
 Processo físico-químico Sistema anaeróbio
 Sistema aeróbio Outros

Tipo: _____

2.12 Existência de catadores no local

(1) Não
(2) menos de 5
(3) de 5 a 50
(4) mais de 50

2.13 Existência de impermeabilização superior

AS ()

(1) Inexistente
(2) Parcial
(3) Total com fraturas
(4) Total

2.14 Material de impermeabilização superior (PS)

AS ()

(1) Inexistente
(2) Aterro argiloso
(3) Aterro arenoso
(4) Membrana
(5) Dupla membrana
(6) Argila e membrana
(7) Pavimentação com asfalto/cimento
(8) Desconhecido
(9) Paralelepípedo/bloquete

3.9. Impermeabilização da superfície do solo (PS)

AS ()

- Área de produção
- Área de armazenagem de substâncias
- Área de armazenagem de resíduos
- Área de tratamento de resíduos

- | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| (1) Inexistente | (2) Aterro argiloso | (3) Aterro arenoso |
| (4) Membrana | (5) Dupla membrana | (6) Argila e membrana |
| (7) Pavimentação com asfalto/cimento | | (8) Desconhecido |
| (9) Paralelepípedo/bloquete | | |

3.10 Existência de vazamentos/infiltrações

AS ()

- | | |
|--|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tanques de armazenamento | <input type="checkbox"/> Tubulações |
| <input type="checkbox"/> No processo produtivo | <input type="checkbox"/> Na ETE |
| <input type="checkbox"/> No tratamento/armazenamento de resíduos | |
| <input type="checkbox"/> Inexistente | <input type="checkbox"/> Desconhecida |
| <input type="checkbox"/> Outros _____ | |

4. OUTRAS FONTES / FONTES NÃO CONHECIDAS

4.1 Tipo: [] AP ()/AS ()

- (1) Acidentes
- (2) Atividade agrícola
- (3) Cemitérios
- (4) Terminais de carga
- (5) Subestações de energia
- (6) Estações de bombeamento
- (7) Outras _____
- (8) Não conhecida

4.2 Causa [] AS ()

- (1) Colisão/tombamento de veículos
- (2) Corrosão de dutos
- (3) Vazamentos
- (4) Infiltração
- (5) Outras _____
- (6) Não conhecida

4.3 Data da ocorrência: _____

4.4 Material/Resíduo

Denominação	Quantidade estimada	Unidade
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

4.5 Destino das substâncias/materiais envolvidos (PAS) AS ()

- [] Água superficial
- [] Infiltração no solo
- [] Infiltração em poços
- [] Estação de tratamento de esgotos do município
- [] Estação de tratamento própria
- [] Rede de esgoto/águas pluviais
- [] Inexistente
- [] Desconhecido

4.6 Existência de impermeabilização da superfície da área (PS) [] AS ()

- (1) Inexistente
- (2) Aterro argiloso
- (3) Aterro arenoso
- (4) Membrana
- (5) Dupla membrana
- (6) Argila e membrana
- (7) Pavimentação com asfalto/cimento
- (8) Desconhecido
- (9) Paralelepípedo/bloquete

5. DESCRIÇÃO DA ÁREA E SUAS ADJACÊNCIAS (raio de 1000 metros)

5.1 Substâncias presentes na área (CP2) AP ()

Conf.	Est.	
[]	[]	Solventes orgânicos não halogenados
[]	[]	Solventes orgânicos halogenados
[]	[]	Hidrocarbonetos clorados voláteis
[]	[]	Hidrocarbonetos clorados não voláteis (ex: PCB)
[]	[]	Dioxinas e furanos
[]	[]	Comp. org. nitrogenados, fosfatados e sulfurados (não agrotóxicos)
[]	[]	Hidrocarbonetos aromáticos (não PAH)
[]	[]	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH)
[]	[]	Fenóis
[]	[]	Produtos da refinação do petróleo
[]	[]	Alcatrão e similares
[]	[]	Agrotóxicos
[]	[]	Ácidos, bases e anidridos
[]	[]	Metais, ligas e compostos metálicos
[]	[]	Compostos inorgânicos de elevada toxicidade (Cianetos, Fluoretos, Cromatos)
[]	[]	Substâncias utilizadas na indústria bélica
[]	[]	Outros _____
[]	[]	Desconhecido

5.2 Ocupação do solo/áreas com bens a proteger: (CP3)

dentro	fora	
[]	[]	Zona ferroviária
[]	[]	Zona viária
[]	[]	Estacionamento
[]	[]	Aeroporto
[]	[]	Área militar
[]	[]	Área comercial
[]	[]	Área industrial
[]	[]	Área/Bens de interesse público
[]	[]	Mineração
[]	[]	Utilidades (rede de esgoto, telefone,gás, etc)
[]	[]	Residencial com hortas, alta dens.pop. (>=20 casas)
[]	[]	Residencial com hortas, baixa dens.pop (<20 casas)
[]	[]	Residencial sem hortas, alta dens.pop. (>=20 casas)
[]	[]	Residencial sem hortas, baixa dens.pop (<20 casas)
[]	[]	Parque, área verde
[]	[]	Parque infantil/Jardim infantil
[]	[]	Área de lazer e desportos/circulação
[]	[]	Cemitério
[]	[]	Escola/Hospital
[]	[]	Hortas
[]	[]	Área de pecuária
[]	[]	Área agrícola
[]	[]	Mata natural
[]	[]	Área de proteção ambiental
[]	[]	Área de proteção de mananciais
[]	[]	Bacia hidrográfica para abastecimento
[]	[]	Aquíferos importantes
[]	[]	Zona de maior restrição de prot. dos mananciais
[]	[]	Área inundável, várzea
[]	[]	Represa para abastecimento público
[]	[]	Água superficial para abastecimento público
[]	[]	Poço para abastecimento público
[]	[]	Poço para abastecimento domiciliar/industrial

5.10 Nível sazonalmente mais elevado da água subterrânea (PAS)

- (1) Em contato com o resíduo/solo contaminado
- (2) Abaixo do resíduo/solo contaminado
- (3) Desconhecido

5.11 Existência de água subterrânea contaminada por influência da área (confirmada por análise ou presença de produto/substância) (PAS)

Sim Não Desconhecida

AC ()

5.12 Uso da água subterrânea afetada pela contaminação (PAS)

- Abastecimento público Abastecimento domiciliar
- Irrigação/pecuária/piscicultura Recreação
- Industrial Desconhecido
- Inexistente

5.13 Contexto hidrogeológico da área (PAS)

- (1) Quaternário
- (2) Terciário em área de recarga
- (3) Terciário em área de descarga
- (4) Terciário – Formação Tremembé
- (5) Cristalino aflorante
- (6) Cristalino com manto argiloso em área de recarga
- (7) Cristalino com manto argiloso em área de descarga
- (8) Cristalino com manto arenoso em área de recarga
- (9) Cristalino com manto arenoso em área de descarga
- (10) Cárstico
- (11) Bauru
- (12) Serra Geral aflorante
- (13) Serra Geral com manto argiloso em área de recarga
- (14) Serra Geral com manto argiloso em área de descarga
- (15) Botucatu/Pirambóia
- (16) Passa Dois
- (17) Tubarão
- (18) Furnas
- (19) Desconhecido

5.14 Existência de água superficial contaminada por influência da área (confirmada por análise ou presença de produto/substância) (PASP)

- Não
- Sim, utilizada para abastecimento público
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar
- Sim, não utilizada
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura
- Sim, utilizada para pesca
- Sim, utilizada para recreação
- Desconhecida

AC ()

5.15 Possibilidade de influência direta da área sobre as águas superficiais (PASP)

AS ()

- Não
- Sim, utilizada para abastecimento público
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar
- Sim, não utilizada
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura
- Sim, utilizada para pesca
- Sim, utilizada para recreação
- Desconhecida

5.16 Possibilidade de enchente na área e uso da água superficial no local (PASP)

AS ()

- Não
- Sim, utilizada para abastecimento público
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar
- Sim, não utilizada
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura
- Sim, utilizada para pesca
- Sim, utilizada para recreação
- Desconhecida

5.17 Qualidade do ar do solo na área (confirmada por análise) (PA)

- (1) Contaminado
- (2) Não contaminado
- (3) Análise não realizado
- (4) Desconhecida

6. EVENTOS IMPORTANTES / EXISTÊNCIA DE RISCOS

6.1 Ocorrência de acidentes e/ou eventos importantes AS ()

- Recalque (PS)
- Desabamento (PS)
- Erosão (PS)
- Danos à vegetação(PS) (PA)
- Dispersão de poeira contendo contaminantes do local (PS) (PA)
- Danos aos animais (PS) (PA)
- Danos à saúde (PS) (PA)
- Danos materiais (PS) (PA)
- Explosão (PA)
- Incêndio (PA)
- Emissão perceptível de gases/vapores (PA)
- Proliferação de vetores (PS)
- Desconhecida (PS) (PA)
- Inexistente (PS) (PA)
- Outros (PS) (PA) _____

6.2 Erosão existente (tipo predominante) []

- (1) Inexistente
- (2) Laminar
- (3) Sulco
- (4) Vossoroca

6.3 Existência de risco em decorrência da contaminação do solo (PS)

AS ()

- Não, assegurado por análises
- Sim, para saúde de população
- Sim, para animais
- Sim, para vegetação
- Desconhecida

6.4 Indicações perceptíveis na superfície do solo (PS) AS ()

- Presença do contaminante
- Odor
- Coloração
- Inexistente
- Desconhecida
- Outros _____

6.5 Presença de gases/vapores nas edificações vizinhas [] (PA) AS ()

- (1) Sim
- (2) Não
- (3) Desconhecida

10. CROQUI DA ÁREA / MODELO CONCEITUAL

Croqui/Seção Esquemática

Modelo Conceitual [Utilizar as siglas P (com potencial), S (com suspeita) e C (confirmado)]

Fontes primárias	Mecanismos primários de liberação	Fontes Secundárias	Mecanismos secundários de liberação	Vias de transporte dos contaminantes	Receptores

11. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

5102 Guia para o preenchimento da Ficha Cadastral de ACs

A Ficha Cadastral de ACs é utilizada para a organização das informações obtidas e para a orientação da coleta de dados durante a execução das etapas do gerenciamento de ACs. Conseqüentemente, a Ficha Cadastral de ACs constitui-se no instrumento central para a alimentação do Cadastro de ACs.

As questões dessa ficha foram elaboradas para definir basicamente se existe contaminação comprovada na área e/ou se existem fontes suspeitas representativas de contaminação, e também para identificar os bens a proteger e as principais vias de propagação dos contaminantes na área e adjacências.

Dessa forma, a estrutura da Ficha Cadastral de ACs é baseada em itens, que são agrupados de forma a se obter dados e informações referentes aos diferentes aspectos envolvidos na avaliação de uma área, descritos a seguir:

- informações cadastrais;
- dados relativos à natureza e características da fonte de contaminação;
- dados relativos à existência dos bens a proteger localizados na área e adjacências;
- dados indicativos da presença ou não de contaminação na área e adjacências;
- dados indicativos da forma de propagação dos contaminantes;
- dados indicativos da possibilidade dos contaminantes atingirem bens a proteger;
- informações sobre as ações adotadas em relação à avaliação e remediação da área.

A entrada de dados no cadastro é realizada após a etapa de **identificação de APs** e pode se basear, principalmente, nas questões do item 1, apresentado na primeira página da Ficha Cadastral de ACs, relativo à localização da área e definição da fonte potencial de contaminação. As atualizações da Ficha Cadastral de ACs e, conseqüentemente, do Cadastro de ACs devem ser feitas após as etapas de **avaliação preliminar, investigação confirmatória e processo de recuperação de ACs**.

Na etapa de avaliação preliminar, quando se inicia o processo de avaliação e investigação da área, a Ficha Cadastral de ACs deve ser utilizada para orientar quais informações devem ser obtidas, principalmente durante a execução da inspeção de reconhecimento de campo.

Com base nas informações registradas na Ficha Cadastral de ACs, as áreas podem ser classificadas em AP, AS ou AC, dependendo do nível de conhecimento obtido conforme a execução das etapas do gerenciamento. Alguns dos itens da Ficha Cadastral de ACs são utilizados para realizar essa classificação, sendo estes especialmente destacados com uma indicação da classificação ao lado do item.

As informações obtidas através da Ficha Cadastral de ACs são diretamente utilizadas no sistema de pontuação, definido no capítulo 7101, que pode ser utilizado para priorizar APs, ASs e ACs, dentro das etapas de priorização previstas no gerenciamento. Os itens da Ficha Cadastral de ACs, que serão utilizados nessa etapa, recebem siglas que se relacionam com o item correspondente, na Ficha de Pontuação de ACs (ver capítulo 7101). Deve ser dada especial atenção ao preenchimento desses itens em função da sua importância no processo de priorização, evitando deixá-los sem resposta.

As siglas utilizadas e seu significado são:

- CP1 – Critério Principal 1
- CP2 – Critério Principal 2
- CP3 – Critério Principal 3
- PAS – Propagação via águas subterrâneas
- PASP – Propagação via águas superficiais
- PS – Propagação via solo
- PA – Propagação via ar

A Ficha Cadastral de ACs deverá ser preenchida por técnicos treinados, que tenham conhecimento dos procedimentos apresentados neste guia.

Qualquer informação introduzida na Ficha Cadastral de ACs deverá corresponder à situação atual da área em estudo, incluindo as áreas desativadas.

A seguir, serão descritos os procedimentos a ser seguidos para o preenchimento de cada item da Ficha Cadastral de ACs.

1 Identificação da área

Neste item, devem estar contidas as informações necessárias à identificação e localização das áreas sob avaliação, contendo igualmente o resultado da classificação da área em AP, AS ou AC.

Na etapa inicial do gerenciamento de ACs, quando é feita a identificação das APs, o registro dessas áreas é realizado a partir do preenchimento deste item, sendo os demais itens preenchidos e atualizados nas demais etapas.

1.1 Número de cadastro

Esse número será fornecido pelo banco de dados por ocasião da transcrição dos dados contidos na Ficha Cadastral de ACs para o cadastro informatizado, a qual deve ser realizada após a finalização da etapa de avaliação preliminar. Esse número deverá ser marcado também na Ficha de Pontuação de ACs (ver capítulo 7101).

O número de cadastro é composto de 7 dígitos, sendo uma letra para identificar o tipo de fonte de contaminação, definida a partir da resposta ao item 1.7 (D para disposição de resíduos, I para áreas industriais, C para áreas comerciais, P para postos de serviço, O para outras fontes, N para fontes não conhecidas), e um número seqüencial de 6 dígitos. Esse código será único para cada área.

Uma vez atribuído um código de identificação a uma determinada área, este somente será alterado em relação à letra de identificação da fonte em virtude de alterações na identificação da mesma.

Número SIPOL

Informar o número de cadastro da área no SIPOL – Sistema de fontes de poluição.

1.2 Data da primeira inspeção/Data de atualização

Data da primeira inspeção – Citar a data da primeira inspeção de reconhecimento feita na etapa de avaliação preliminar. Essa data, independentemente de novas inspeções, deverá ser mantida para sempre no Cadastro de ACs, por possibilitar a identificação do início do processo de avaliação da área.

A complementação de informações não deve ser entendida como uma atualização, devendo ser mantida a data da primeira inspeção e mantido em branco o campo “data de atualização”.

Data de atualização – Esse campo somente deverá ser preenchido quando for realizada uma revisão completa das informações da ficha. Neste caso, uma nova ficha deverá ser preenchida, mantendo-se a data da primeira inspeção. Os dados dessa nova ficha deverão alimentar o cadastro informatizado e a ficha anterior deverá ser mantida no cadastro físico.

1.3 Inspetores

Informar os nomes dos técnicos do órgão de controle ambiental ou entidade responsável pelo gerenciamento que realizaram a inspeção de reconhecimento realizada na etapa de avaliação preliminar. No caso de ocorrer atualização da Ficha Cadastral de ACs e esta implicar na realização de nova inspeção à área, esse campo deverá ser atualizado com o nome dos responsáveis pela mesma.

1.4 Denominação atual do local

A denominação do local deve identificar a atividade atualmente desenvolvida na área sob avaliação.

As situações relacionadas abaixo podem ser utilizadas como orientação para o preenchimento desse item:

- Áreas industriais ativas – deve ser informada a própria razão social da empresa;
- Áreas industriais desativadas – se a área permanecer sem outro uso, deve ser indicada a razão social da antiga empresa;
- Áreas industriais desativadas onde ocorreu mudança no uso da área – informar a razão social do novo empreendimento ou estabelecer um nome que identifique o local. Exemplo: indústria desativada – Indústrias Caramuru; novo uso da área – Condomínio Residencial Parque dos Jurus. Nesse exemplo, o item 1.4 será preenchido com o nome do condomínio, devendo a antiga razão social da indústria desativada ser informada no **item 5.4**;
- Aterros – deve ser informado o nome pelo qual estes são conhecidos;
- Lixões – informar o nome pelo qual estes são conhecidos ou, no caso de lixões clandestinos sem denominação específica, estabelecer um nome que identifique-os, utilizando dados referenciais, como sua localização;
- Postos de serviço – utilizar o nome fantasia (por exemplo: Auto Posto Niterói, ao invés de Rede Anhangüera de Postos de Serviço);
- Fontes não conhecidas ou outras fontes – utilizar o nome pelo qual a área em questão é conhecida ou um nome que a identifique pela sua localização.

1.5 Endereço/Distrito/Bairro/CEP/Município/ Agência CETESB/Administração regional/Zoneamento

Nesses campos, devem ser indicados o endereço completo da área em questão, a agência do órgão de controle ambiental que atua na região, a administração regional e o zoneamento municipal.

No caso de fonte não conhecida ou outras fontes (ver definição no item 1.7), adotar o endereço onde o problema foi detectado.

Diante da impossibilidade de definir claramente o endereço, o preenchimento deve ser feito com uma indicação do local. Neste caso, a inclusão do croqui de localização da área (item 10) é de fundamental importância.

1.6 Coordenadas geográficas/Folha topográfica/Datum/MC /Bacia hidrográfica

Preencher com o sistema de coordenadas UTM ou geográficas, tomadas a partir do centro aproximado da área. Para tanto, devem ser utilizados mapas-base e/ou medidas de GPS. Deve ser indicado também o número da folha topográfica utilizada como base para o mapeamento, o plano referencial utilizado (Datum) e o meridiano central, bem como a bacia hidrográfica onde a área está localizada.

1.7 Tipo de fonte de contaminação

Este item orienta o preenchimento da Ficha Cadastral de ACs de acordo com a atividade potencialmente contaminadora presente ou que tenha existido na área em questão. As opções são: disposição de resíduos, área industrial, área comercial, posto de serviço, outras fontes e fonte não conhecida.

Outras fontes consideradas são todas aquelas que não se enquadram como área de disposição de resíduos ou área industrial/comercial, como, por exemplo, áreas onde ocorreram acidentes com substâncias tóxicas, contaminações em áreas agrícolas por aplicação de agrotóxicos, contaminações decorrentes do armazenamento e disposição de substâncias e embalagens ou de aplicação de efluentes e lodos no solo, terminais de carga, subestações de energia, estações de bombeamento e outros.

Em algumas situações a identificação da fonte de contaminação torna-se de difícil realização. Nesses casos, deve-se dar prosseguimento ao processo de avaliação da área, quando poder-se-á obter os elementos necessários à identificação da fonte. Enquanto essas informações não forem obtidas, deve-se classificar a fonte como "6-não conhecida".

A fonte de contaminação pode não estar relacionada com a atividade atualmente desenvolvida no local, identificada no item 1.4. Por exemplo, um local onde atualmente funciona um comércio varejista de roupas e no passado funcionou uma indústria química, o tipo de fonte de contaminação a ser anotado será o número 2-área industrial, e não 3-área comercial.

Em outros casos poderá ocorrer a existência de duas ou mais fontes potenciais de contaminação. Nessa situação, deve-se-á optar pela fonte em atividade e, no caso de existirem somente fontes desativadas, a opção deverá recair sobre aquela com maior potencial poluidor. A indicação da outra fonte deverá ser realizada no item 5.4.

1.8 Denominação da fonte

Especificar a denominação da fonte de contaminação identificada no item 1.7. No caso da fonte corresponder à atividade desenvolvida atualmente no local, o nome a ser indicado será o mesmo do item 1.4.

1.9 Código de atividade do IBGE da fonte/Descrição da atividade

Preencher com o código de atividade do IBGE e sua descrição correspondente à fonte de contaminação identificada no item 1.8. Para algumas fontes poderá não existir um código específico, devendo o campo permanecer sem preenchimento.

1.10 Situação da fonte quanto ao funcionamento

Informar se a fonte identificada no item 1.8 encontra-se em atividade ou não. No caso de encontrar-se em atividade, indicar a data de início de seu funcionamento. Para as fontes desativadas, informar seu período de atividade.

No caso de acidentes e fontes não conhecidas, não é necessário preencher este item.

1.11 Área total da fonte e área afetada

A área total, no caso das fontes em atividade (áreas de disposição de resíduos, áreas industriais, comerciais e postos de serviço), corresponderá aos limites da propriedade, sendo a área afetada definida pelos limites da contaminação, obtidos a partir da etapa de investigação detalhada.

No caso de áreas de disposição de resíduos (especialmente no caso de lixões clandestinos), quando não for possível definir a área total da propriedade, poderá ser considerada a área que contém resíduos.

A área total, no caso das fontes desativadas, corresponderá aos limites da propriedade onde esta foi desenvolvida. Esses limites poderão ser obtidos através do estudo histórico realizado na etapa de avaliação preliminar.

No caso de tratar-se de acidentes ou fonte não conhecida, estimar a área afetada.

1.12 Classificação da área

Este item deve ser preenchido sempre ao final de cada etapa do gerenciamento de ACs, quando são obtidas as informações necessárias para executar a classificação. Durante o preenchimento da Ficha Cadastral de ACs, ele deve ser deixado para o final, após serem respondidos todos os demais itens referentes à etapa em execução no momento.

Os itens que podem ser utilizados para auxiliar na classificação das áreas ou para excluí-las do Cadastro de ACs têm ao seu lado os campos AP(), AS(), AC() e AE(), os quais devem ser assinalados dependendo das respostas fornecidas ao item específico. Um único item afirmativo é suficiente para classificar a área, sendo que a classificação AC predomina sobre AS e esta sobre AP.

Uma área só poderá ser excluída do Cadastro de ACs nas seguintes condições:

- a remediação do local foi concluída, sendo removidos os contaminantes e o seu uso atual não tem potencial de contaminação do solo;
- não foi constatada qualquer contaminação na área após a **investigação confirmatória** ou **detalhada** e o seu uso atual não tem potencial de contaminação do solo.

O registro da classificação da área deverá sempre ser acompanhado da data de realização da mesma e do motivo para que essa tenha sido realizada, identificando a etapa do gerenciamento de ACs que possibilitou tal classificação.

2 Disposição de resíduos

2.1 Tipo de disposição

Neste item, deve ser informada a forma de disposição de resíduos no solo, considerando as seguintes definições:

- Aterro sanitário – Deve ter EIA/RIMA aprovado, quando for o caso; possuir um projeto aprovado e licenciado (licença de instalação e funcionamento) pelo órgão competente (exemplo: CETESB, SMA), no qual são dimensionadas todas as obras necessárias para sua construção, possuir recursos que proporcionem o isolamento dos resíduos ali dispostos, ou seja, impermeabilização inferior e superior, drenagens de gases, líquidos percolados, águas superficiais e subterrâneas. Pressupõe também construção de acordo com o projeto aprovado e uma operação adequada, considerando o controle do material depositado, o emprego de técnicas de recobrimento e o tratamento dos líquidos percolados. Deve igualmente possuir sistemas de monitoramento dos recursos ambientais suscetíveis, como as águas superficiais e subterrâneas. Os resíduos dispostos devem ser de natureza domiciliar.
- Aterro industrial – Concebido para receber resíduos industriais, seu projeto e operação devem considerar a natureza dos resíduos a ser dispostos, devendo possuir os elementos citados no aterro sanitário.
- Aterro de entulhos – Constitui-se de um sistema de disposição controlada de resíduos inertes, como, por exemplo, aqueles provenientes da demolição de edificações em geral. Por se tratarem de resíduos com baixo potencial poluidor, as condições de projeto, construção e manejo não possuem, necessariamente, os elementos de projeto considerados para os aterros sanitários e industriais.
- Lixão – É caracterizado pela disposição inadequada de vários tipos de resíduos em uma área, sem a adoção do conjunto de técnicas adequadas de construção e manejo.
- Bota-fora – Constitui-se de local de disposição de sedimentos provenientes de operações de dragagem de rios e reservatórios ou rejeitos de mineração. Como normalmente não são utilizadas técnicas de construção e manejo

adequadas, somente diferencia-se dos lixões pela natureza do material nele depositado.

Este item permite a classificação da área sob avaliação em AP ou AS. No caso de serem assinaladas as respostas (1), (2), (3) e (4), a área deverá permanecer como AP. Sendo assinalada a resposta (5), a área deverá ser classificada como AS.

2.2 Volume estimado de resíduos

Nesse campo, deve ser indicado o volume de resíduos dispostos na área. Essa informação pode ser decorrente do levantamento da área com resíduo (ver item 1.11) e da estimativa da altura média do depósito ou, quando se tratar de áreas controladas, ser identificada utilizando-se dados existentes, como os registros de recebimento de resíduos.

2.3 Tipos de resíduos

A identificação dos tipos de resíduos pode ser realizada através dos registros mantidos pelos responsáveis pela área de disposição e/ou observações de campo.

Em aterros sanitários e aterros industriais, devem ser observados os registros de controle de entradas, pois normalmente a observação em campo é dificultada devido às práticas operacionais de recobrimento; entretanto, as observações em campo não devem ser descartadas. Em lixões, aterros de entulho e bota-foras, devem ser realizadas observações em campo, pois nessas áreas os resíduos normalmente encontram-se expostos e registros contendo indicações da natureza dos materiais depositados são normalmente inexistentes.

2.4 Tipos de resíduos industriais

Especificar os tipos de resíduos industriais, caso estes tenham sido identificados na área e estimar as quantidades dispostas para cada tipo relacionado.

2.5 Disposição desenvolvida

Verificar se a disposição foi realizada acima ou abaixo da superfície original do terreno e estimar a altura do depósito.

2.6 Existência de impermeabilização inferior

Deve ser identificada a existência de um sistema de impermeabilização inferior e o material empregado na mesma. Este item poderá ser respondido através de observações no local, dados de projeto e/ou informações obtidas junto ao operador do sistema.

Em áreas onde a adoção de impermeabilização seja apenas parcial, a resposta a ser indicada deve ser inexistente.

Este item pode ser utilizado para classificar a área como AS, se as respostas assinaladas forem inexistente ou desconhecida.

2.7 Recobrimento operacional

Recobrimento operacional é a cobertura dos resíduos realizada com solo, executada preferencialmente em operações diárias, visando evitar a proliferação de insetos, odores, etc. Neste item, deve-se verificar a existência de recobrimento operacional, identificando a natureza do material utilizado e a frequência de recobrimento. Para ser considerado existente, o recobrimento deve ser realizado com solo predominantemente argiloso, não devendo ser verificada a presença de resíduos sem recobrimento.

2.8 Operação de compactação

Verificar se a operação de compactação dos resíduos e das camadas de recobrimento operacional foi ou está sendo realizada. A operação de compactação dos resíduos e das camadas de recobrimento visa melhorar as condições de estabilidade do depósito e diminuir o volume deste.

2.9 Existência de drenagens

Neste item, deve ser identificada a existência de sistemas de drenagem de águas pluviais, de nascentes, de líquidos percolados e de gases.

2.10 Destino dos líquidos percolados

Indicar o destino dos líquidos percolados provenientes da área de disposição de resíduos, entre as seguintes opções:

- água superficial – quando os líquidos percolados atingem os corpos d'água superficiais em decorrência do escoamento superficial ou subterrâneo dos mesmos;
- infiltração no solo – essa resposta deve ser assinalada para todo local de disposição que não possua sistema de drenagem de líquidos percolados;
- infiltração em poços – quando os líquidos percolados forem coletados e infiltrados em poços de absorção;
- estação de tratamento de esgotos do município – aplica-se a locais onde os líquidos percolados são ou foram enviados para estações de tratamento de esgotos municipais, através do lançamento em rede ou do transporte por veículos;

- estação de tratamento própria – no caso de existir uma estação de tratamento de líquidos percolados no próprio local;
- rede de esgoto/águas pluviais – no caso dos líquidos percolados serem lançados em rede de esgoto e/ou rede de águas pluviais;
- desconhecido – quando não há conhecimento do destino desses.

No caso das respostas assinaladas serem água superficial, infiltração no solo e infiltração em poços, a área deve ser classificada como AS.

2.11 Tipo de sistema de tratamento de líquidos percolados

Neste item, deve ser identificado o sistema de tratamento de líquidos percolados existente no local de disposição ou a sua inexistência. As respostas a ser assinaladas devem ser acompanhadas da especificação do tipo de tratamento empregado, como exemplificado a seguir:

- lagoas – sistema australiano, lagoa anaeróbia, lagoa de estabilização, lagoa aerada;
- recirculação – coleta dos líquidos seguida de sua aspensão e/ou infiltração na massa de lixo;
- processo físico-químico – adição de produtos químicos (para coagulação, floculação e sedimentação), filtração, desinfecção;
- sistema anaeróbio – filtro de fluxo ascendente ou descendente, digestores;
- sistema aeróbio – lodo ativado convencional, de alta taxa, de aeração prolongada, por batelada;
- outros – qualquer sistema ou processo que não se enquadre nos anteriores, devendo esse ser descrito no campo "tipo".

2.12 Existência de catadores no local

Informar a existência e número aproximado de catadores trabalhando ou morando na área.

2.13 Existência de impermeabilização superior

Informar se existe a prática de impermeabilização superior na área. Caso exista, indicar suas características entre as opções:

- inexistente – os resíduos depositados encontram-se expostos, sem qualquer recobrimento seguido de compactação;
- parcial – somente parte dos resíduos encontra-se recoberta;

- total com fraturas – os resíduos encontram-se totalmente recobertos; entretanto, o material de recobrimento/impermeabilização apresenta fraturas ou fissuras que possibilitam a infiltração de água;
- total – a massa de resíduos encontra-se totalmente recoberta e em bom estado de conservação.

Se as respostas assinaladas forem inexistente, parcial ou total com fraturas, o local de disposição deverá ser classificado como AS.

2.14 Material de impermeabilização superior

Neste item, deve ser informado o tipo de material utilizado na confecção da impermeabilização superior, caso esta exista:

- inexistente – quando não existe nenhum material sobre a superfície do solo que possa proporcionar a impermeabilização da mesma;
- aterro argiloso – material de constituição predominantemente argilosa;
- aterro arenoso – material de constituição predominantemente arenosa;
- membrana – material sintético impermeável composto por borracha e/ou plástico (ex.: cloreto de polivinila, polietileno de alta densidade, borracha butílica, etc.);
- dupla membrana – idem anterior, constituída de duas camadas de mantas;
- argila e membrana – quando, além do recobrimento com a membrana sintética, é colocada uma camada de material argiloso;
- pavimentação com asfalto/cimento – quando o acabamento do local de disposição é feito através de pavimentação, utilizando-se asfalto ou cimento;
- desconhecido – quando não se conhece a natureza do material;
- paralelepípedo/bloquete – quando o acabamento é feito com esses materiais.

No caso da resposta assinala ser inexistente, desconhecido ou aterro arenoso, a área deverá ser classificada como AS.

3 Área industrial/comercial

3.1 Tipo de atividade industrial/comercial

Informar o tipo de atividade industrial/comercial, de acordo com a relação indicada na ficha.

Este item permite a classificação da área como uma AP, caso a atividade desenvolvida ou em desenvolvimento na área possa ser considerada como uma atividade potencialmente contaminadora, conforme definições apresentadas nas Seções 3000 e 3100.

3.2 Fonte provável de contaminação

Assinalar entre as opções indicadas aquela(s) que possa(m) ser causadora(s) de uma provável contaminação dentro da área industrial/comercial:

- disposição de resíduos na área – assinalar essa resposta quando a atividade industrial/comercial possuir um local de disposição de resíduos situado dentro dos limites de sua propriedade. Neste caso, as características do local de disposição devem ser anotadas através do preenchimento do **item 2**;
- produção – indica que a provável fonte de contaminação situa-se na área de produção;
- tratamento – deve ser assinalada quando a fonte de contaminação referir-se ao tratamento dos efluentes/resíduos gerados na produção;
- armazenagem – refere-se a todos os locais de estocagem situados no interior da propriedade, compreendendo as matérias-primas, os produtos, os resíduos, assim como os materiais necessários à atividade que não estejam diretamente relacionados com a produção (ex.: combustíveis);
- infiltração – essa resposta identifica as práticas relacionadas à infiltração de efluentes no subsolo, compreendendo o local de infiltração em si, assim como os sistemas de condução do material a ser infiltrado;
- manutenção – são as áreas onde as fontes de contaminação estão associadas às atividades de manutenção de veículos e equipamentos em geral, como por exemplo garagens de ônibus e oficinas mecânicas.

3.3 Número de funcionários

Indicar o número de funcionários que trabalham no local sob avaliação.

3.4 Materiais utilizados/produzidos/armazenados

Especificar os tipos de matérias-primas, produtos e outros materiais não empregados diretamente no processo produtivo, que são utilizados na área industrial ou comercial, indicando a quantidade consumida mensalmente e suas formas de armazenamento, conforme códigos apresentados neste item.

No caso de indústrias ou outras fontes desativadas, essas substâncias devem ser relacionadas independentemente da presença das mesmas atualmente no local.

3.5 Resíduos gerados

Especificar os tipos de resíduos gerados na área industrial ou comercial em questão, a quantidade gerada mensalmente, sua forma de acondicionamento e armazenamento e destinação final, conforme códigos apresentados neste item.

3.6 Destino das águas residuárias

Indicar o destino das águas residuárias provenientes da área industrial ou comercial entre as seguintes opções:

- água superficial – quando as águas residuárias são ou foram lançadas diretamente nos corpos d’água superficiais através de escoamento pela superfície do terreno;
- infiltração no solo – quando os efluentes gerados são ou foram infiltrados diretamente no solo através de diferentes procedimentos, como irrigação, sumidouros, etc.;
- infiltração em poços – quando as águas residuárias são ou foram coletadas e infiltradas em poços de absorção;
- estação de tratamento de esgotos do município – quando as águas residuárias são ou foram enviadas para estações de tratamento de esgotos municipais, através do lançamento em rede ou do transporte por veículos;
- estação de tratamento própria – quando as águas residuárias são ou foram encaminhadas para uma estação de tratamento de efluentes no próprio local.
- rede de esgotos/águas pluviais – quando as águas residuárias são ou foram lançadas em rede de esgotos e/ou rede de águas pluviais;
- desconhecido – quando não há conhecimento do destino desses.

No caso das respostas assinaladas serem água superficial, infiltração no solo e infiltração em poços, a área deve ser classificada como AS.

3.7 Tipo de sistema de tratamento de águas residuárias

Neste item, deve ser identificado o sistema de tratamento das águas residuárias ou a sua inexistência. As respostas a ser assinaladas devem ser acompanhadas da especificação do tipo de tratamento empregado, como exemplificado a seguir:

- lagoas – sistema australiano, lagoa anaeróbia, lagoa de estabilização, lagoa aerada;
- recirculação – aspersão, infiltração;
- processo físico-químico – adição de produtos químicos (para coagulação, floculação e sedimentação), filtração, desinfecção;
- sistema anaeróbio – filtro de fluxo ascendente ou descendente, digestores;

- sistema aeróbio – lodo ativado convencional, de alta taxa, de aeração prolongada, por batelada;
- caixa de retenção de sólidos;
- caixa separadora de água e óleo;
- outros – qualquer sistema ou processo que não se enquadre nos anteriores.

3.8 Condições de impermeabilização na área

Neste item, devem ser indicadas as condições de impermeabilização da superfície do solo na área industrial ou comercial, a qual deve ser verificada nas áreas de produção, nas áreas de armazenagem de substâncias, nas áreas de armazenagem e tratamento de resíduos. As condições devem ser consideradas boas quando a superfície do terreno apresentar-se pavimentada e não forem observadas irregularidades que favoreçam a infiltração de quaisquer líquidos derramados ou vazados na superfície do terreno, como no caso de calçamentos com blocos de concreto ou paralelepípedos, e a ocorrência de fraturas, rachaduras e afundamentos.

Caso a condição de impermeabilização seja considerada ruim para qualquer das áreas avaliadas, a área industrial/comercial deverá ser classificada como AS.

Quando uma ou mais das áreas indicadas como opções de resposta para este item não existir dentro da área industrial ou comercial, deixar em branco o espaço entre colchetes.

3.9 Impermeabilização da superfície do solo

Neste item, devem ser indicados os materiais empregados na impermeabilização da superfície do solo, associando-os com a área correspondente, ou seja, áreas de produção, áreas de armazenagem de substâncias e áreas de armazenagem e tratamento de resíduos.

Quando não existir uma ou mais das áreas indicadas como opção de resposta para este item, deixar em branco o espaço entre colchetes.

- inexistente – quando não existe nenhum material sobre a superfície do solo que possa proporcionar a impermeabilização da mesma;
- aterro argiloso – material de constituição predominantemente argilosa;
- aterro arenoso – material de constituição predominantemente arenosa;
- membrana – material sintético impermeável composto por borracha e/ou plástico (ex.: cloreto de polivinila, polietileno de alta densidade, borracha butílica, etc.);
- dupla membrana – idem anterior, constituída de duas camadas de mantas;

- argila e membrana – quando, além do recobrimento com a membrana sintética, é colocada uma camada de material argiloso;
- pavimentação com asfalto/cimento – quando o acabamento do local de disposição é feito através de pavimentação, utilizando-se asfalto ou cimento;
- paralelepípedo/bloquete;
- desconhecido – quando não há registro das condições de impermeabilização empregadas.

No caso da resposta assinala ser inexistente ou aterro arenoso, a área deverá ser classificada como AS.

3.10 Existência de vazamentos/infiltrações

Verificar a existência de vazamentos de produtos, matérias-primas ou resíduos, indicando os locais onde estes foram observados:

- tanques de armazenamento – devem ser considerados os tanques aéreos e enterrados destinados ao armazenamento de matérias-primas, produtos, combustíveis, efluentes e outros materiais utilizados na área. No caso dos tanques enterrados, a identificação do vazamento pode ser feita através de registros elaborados pelo responsável ou evidências observadas no local, como o afloramento de produto em poços, galerias, canaletas, depressões no terreno, garagens subterrâneas, etc.;
- tubulações – deve ser assinalada se for possível realizar observações a respeito das tubulações, através de informações de ocorrências de vazamentos ou através de constatação de indícios de vazamentos, como no caso de afloramento de produto (p. ex.: em poços, galerias, canaletas, depressões no terreno, garagens subterrâneas, etc.);
- no processo produtivo – verificar a condição de operação durante o processo de produção, observando a ocorrência de vazamentos ou derramamento de materiais em todas as etapas do processo;
- na estação de tratamento de efluentes (ETE) – essa opção só deve ser assinalada se forem observados vazamentos/infiltrações nas áreas tratamento de efluentes, especialmente em virtude da ausência de impermeabilização ou da existência de rachaduras nos componentes do sistema;
- áreas de tratamento e/ou armazenamento de resíduos – deve ser assinalada somente se forem observados vazamentos/infiltrações nas áreas de armazenamento ou tratamento de resíduos;
- inexistente – deve ser assinalada apenas quando em nenhum setor da área industrial/comercial for identificada a ocorrência de vazamento/infiltração;
- desconhecida – quando a identificação de vazamentos/infiltrações não for possível, como nos casos de áreas industriais/comerciais desativadas;
- outros – deve ser assinalada quando for observada a ocorrência de vazamentos e/ou infiltrações em áreas/equipamentos diferentes daqueles

relacionados acima. Neste caso, deve-se especificar o local onde foi constatada a ocorrência.

Se a resposta assinalada for tanques de armazenamento, tubulações, processo produtivo, ETE, tratamento/armazenamento de resíduos e/ou outros, a área deverá ser classificada como AS.

4 Outras fontes/ Fontes não conhecidas

4.1 Tipo

Especificar o tipo de fonte de contaminação presente ou que existiu na área em questão:

- acidentes – compreende acidentes ocorridos fora de áreas industriais/comerciais ou de disposição de resíduos, como aqueles envolvendo o transporte de produtos químicos ou combustíveis através de veículos ou dutos;
- atividade agrícola – abrange as possíveis contaminações decorrentes do armazenamento e aplicação de agrotóxicos, fertilizantes e lodos, assim como as decorrentes do descarte de embalagens;
- cemitérios – compreende as possíveis contaminações geradas nesse tipo de atividade;
- terminais de carga – são as contaminações decorrentes da manipulação/estocagem de carga nos terminais ferroviários, portuários, aeroportuários ou rodoviários;
- subestações de energia – decorrente de possíveis vazamentos dos transformadores usados na sua operação;
- estações de bombeamento – ocorrência de vazamentos devido a falhas na operação;
- outras – inclui todas as fontes potenciais de contaminação que não possam ser enquadradas naquelas citadas anteriormente;
- não conhecida – aplicável à situação em que a fonte causadora da contaminação não seja identificada. Essa resposta deve ser alterada a partir do momento em que a origem da contaminação seja esclarecida, através do preenchimento do item correspondente.

Este item possibilita a classificação da área como AP ou AS. Sempre que sejam identificadas ocorrências de infiltração de substâncias consideradas perigosas (como as descritas no item 5.1) em acidentes, atividades agrícolas, outras fontes e áreas onde a fonte não seja conhecida, a área afetada deve ser classificada como

AS. Não havendo evidências de infiltrações e sejam manipuladas substâncias perigosas, a área deve ser classificada como AP.

4.2 Causa

Especificar a causa da provável contaminação na área em questão:

- colisão/tombamento de veículos – no caso de envolver cargas de substâncias consideradas perigosas;
- corrosão de dutos – no caso de ocorrerem vazamentos em decorrência da corrosão desses;
- vazamentos – decorrentes de armazenamento de substâncias;
- infiltração – intencional ou acidental de substâncias na superfície do solo ou no subsolo através de fossas, sumidouros, poços, etc.;
- outras – no caso das causas prováveis não estarem inseridas entre as anteriores, discriminar a causa;
- não conhecida – no caso de não serem identificadas as fontes.

4.3 Data da ocorrência

Especificar a data da ocorrência ou a data da comunicação da mesma. Quando for o caso, assinalar a data do evento que gerou a fonte de contaminação.

4.4 Material/Resíduo

Indicar os materiais ou resíduos presentes na área estimando as quantidades envolvidas.

4.5 Destino das substâncias/Material envolvido

Indicar, entre as opções abaixo, quais são os destinos finais das substâncias relacionadas ao evento ou à área:

- água superficial – quando as substâncias atingem os corpos d'água superficiais em decorrência do escoamento superficial ou subterrâneo das mesmas;
- infiltração no solo – quando o solo for o destino das substâncias envolvidas, seja pela infiltração intencional ou acidental;
- infiltração em poços – quando as substâncias forem infiltradas em poços de infiltração ou por infiltração acidental em poços de captação de água para abastecimento;

- rede de esgoto/águas pluviais – no caso das águas residuárias serem lançadas em rede de esgoto e/ou rede de águas pluviais.
- outros – relacionar outros destinos que não tenham sido contemplados nas respostas anteriores.

No caso das respostas assinaladas serem água superficial, infiltração no solo e infiltração em poços e as substâncias envolvidas serem consideradas perigosas, a área deve ser classificada como AS.

4.6 Existência de impermeabilização da superfície da área

Especificar o tipo de material existente sobre a superfície do solo que possa proporcionar a impermeabilização da mesma:

- inexistente – quando não existe nenhum material sobre a superfície do solo que possa proporcionar a impermeabilização da mesma;
- aterro argiloso – material de constituição predominantemente argilosa;
- aterro arenoso – material de constituição predominantemente arenosa;
- membrana – material sintético impermeável composto por borracha e/ou plástico (ex.: cloreto de polivinila, polietileno de alta densidade, borracha butílica, etc.);
- dupla membrana – idem anterior, constituída de duas camadas de mantas;
- argila e membrana – quando, além do recobrimento com a membrana sintética, é colocada uma camada de material argiloso;
- pavimentação com asfalto/cimento – quando o acabamento do local de disposição é feito através de pavimentação, utilizando-se asfalto ou cimento;
- paralelepípedo/bloquete;
- desconhecido.

No caso da resposta assinala ser inexistente, desconhecido ou aterro arenoso e as substâncias envolvidas serem consideradas perigosas, a área deverá ser classificada como AS.

5 Descrição da área e suas adjacências

Neste item, devem ser identificados dados que caracterizem a área em estudo e suas adjacências, bem como a possível contaminação presente em um raio aproximado de 200 metros a partir do centro da área.

5.1 Substâncias presentes na área

Relacionar os grupos de substâncias confirmados ou estimados de estar ou que estiveram presentes na área em questão, na forma de matéria-prima ou produto, contidos em resíduos gerados entre os seguintes:

- Solventes orgânicos não halogenados;
- Solventes orgânicos halogenados;
- Hidrocarbonetos clorados voláteis;
- Hidrocarbonetos clorados não voláteis (ex.: PCB);
- Dioxinas e furanos;
- Compostos orgânicos nitrogenados, fosfatados e sulfurados (não incluindo agrotóxicos);
- Hidrocarbonetos aromáticos (não incluindo PAH);
- Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH);
- Fenóis;
- Produtos da refinação do petróleo;
- Alcatrão e similares;
- Agrotóxicos;
- Ácidos, bases e anidridos;
- Metais e compostos metálicos;
- Compostos inorgânicos de elevada toxicidade (Cianetos, Fluoretos, Cromatos);
- Substâncias utilizadas na indústria bélica;
- Outros – uma vez não pertencente a nenhum dos grupos relacionados acima, deve ser indicado o grupo ao qual pertence a(s) substância(s) identificada(s) na área;
- Desconhecido.

A suspeita ou a confirmação da presença de qualquer substância que se inclua nos grupos relacionados acima, possibilita a classificação da área como AP.

5.2 Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger

Especificar a ocupação do solo e os bens a proteger dentro da área em questão e nas suas adjacências (considerando um raio de 200m), entre as opções:

- Zona ferroviária
- Zona viária

- Estacionamento
- Aeroporto
- Área militar
- Área comercial
- Área industrial
- Área/Bens de interesse público
- Mineração
- Utilidades (rede de esgoto, telefone, gás, etc.)
- Residencial com hortas, alta dens. populacional (≥ 20 casas)
- Residencial com hortas, baixa dens. populacional (< 20 casas)
- Residencial sem hortas, alta dens. populacional (≥ 20 casas)
- Residencial sem hortas, baixa dens. populacional (< 20 casas)
- Parque, área verde
- Parque infantil/Jardim infantil
- Área de lazer e de desportos/Circulação
- Cemitério
- Escola/Hospital
- Hortas
- Área de pecuária
- Área agrícola
- Mata natural
- Área de proteção ambiental
- Área de proteção de mananciais
- Bacia hidrográfica para abastecimento
- Aquíferos importantes
- Zona de maior restrição de proteção de mananciais
- Área inundável, várzea
- Represa para abastecimento público
- Água superficial para abastecimento público
- Poço para abastecimento público
- Poço para abastecimento domiciliar/industrial

5.3 Uso atual da área

Informar qual o uso atual da área em questão, entre as opções:

- Edificação industrial desativada;
- Edificação industrial com uso residencial – refere-se a edificações industriais desativadas que sejam atualmente aproveitadas para uso residencial;
- Edificação industrial com uso comercial – refere-se a edificações industriais desativadas que sejam atualmente aproveitadas para uso comercial;
- Edificação industrial com uso cultural – refere-se a edificações industriais desativadas que sejam atualmente aproveitadas para uso cultural;
- Edificação industrial com uso industrial – refere-se a edificações industriais desativadas que sejam atualmente aproveitadas para uso industrial;
- Edificação comercial
- Edificação residencial
- Edificação cultural
- Edificação industrial
- Sem edificações
- Outros

5.4 Existência anterior de outra fonte potencial de contaminação na área

Caso tenha existido no local outra fonte potencial de contaminação, além da discriminada no item 1.8, informar a sua natureza, identificando-a sempre que possível (razões sociais, tipos de atividade).

5.5 Distância até a edificação mais próxima da área

Informar a distância entre o limite da área em questão até a edificação mais próxima, considerando as faixas apresentadas a seguir:

- < 50 m
- 50 – 100 m
- 100 m – 500 m
- > 500 m
- Inexistente

5.6 Posição da área no relevo

Informar a posição da área em relação ao relevo da região, podendo ser selecionada uma ou mais das opções abaixo:

- Várzea
- Fundo de vale
- Encosta
- Topo
- Cava de mineração – neste caso, deve ser especificada a natureza do material extraído da cava;
- Outros – essa resposta deve ser assinalada quando nenhuma das anteriores for aplicável à situação da área investigada, devendo ser discriminada a posição do local (ex.: colina)

Estimar declividade do terreno, conforme opções apresentadas na ficha.

5.7 Textura predominante do solo

Informar a textura predominante do solo com base em observações realizadas durante a avaliação preliminar ou através de registros existentes contendo resultados de análises granulométricas.

5.8 Existência de solo contaminado (confirmado por análise ou presença de produto/substância)

Informar os resultados de análises de amostras de solo coletadas na área sob avaliação, realizadas nas profundidades de 0 a 1 m e maior que 1 m, caso tenham sido realizadas. Esses resultados devem ser comparados aos padrões de qualidade em vigor na região, concluindo-se pela existência ou não de contaminação do solo (ver capítulo VI). Essa conclusão deve ser registrada para cada faixa de profundidade, de acordo com as opções a seguir:

- contaminado – assinalar essa resposta se pelo menos um dos parâmetros analisados apresentar concentrações acima dos valores definidos como limite para classificar a área como contaminada;
- não contaminado – assinalar essa resposta se nenhum dos parâmetros analisados apresentar concentrações acima dos valores definidos como limite para classificar a área como contaminada;
- análise não realizada – assinalar essa resposta quando as informações obtidas junto aos responsáveis pela área indicarem que não foram realizadas análises do solo;

- desconhecida – assinalar essa resposta quando não for possível obter informações precisas quanto à existência ou não de resultados de análises de solo para a área.

Uma vez assinalada a resposta “contaminado”, para qualquer uma das faixas de profundidade, a área deverá ser classificada como AC.

5.9 Variação do nível da água subterrânea na área

Informar a profundidade do nível da água subterrânea no interior da área, medida ou estimada, para os pontos de maior e menor elevação topográfica por ocasião da avaliação preliminar ou a partir de registros obtidos junto ao responsável pela área.

5.10 Nível sazonalmente mais elevado da água subterrânea

Estimar ou utilizar medidas registradas para definir a profundidade do nível d'água sazonalmente mais elevada (mais próxima da superfície do terreno), indicando sua posição em relação ao depósito de resíduos ou solo contaminado, de acordo com as opções a seguir:

- Em contato com o resíduo/solo contaminado – quando ocorrer o contato da água subterrânea com o resíduo disposto no local ou o solo provavelmente contaminado;
- Abaixo do resíduo/solo contaminado – quando o contato da água subterrânea com os resíduos dispostos no local ou com o solo provavelmente contaminado seja pouco provável, em virtude da posição do nível d'água;
- Desconhecido – quando não houver elementos suficientes para realizar tal avaliação, seja pelo desconhecimento da posição dos contaminantes ou da profundidade do nível d'água.

5.11 Existência de água subterrânea contaminada por influência da área (confirmada por análise ou presença de produto/substância)

Neste item, deverá ser verificada a existência de contaminação das águas subterrâneas na área sob avaliação. Essa constatação depende de informações relativas às análises químicas realizadas em amostras coletadas em poços de monitoramento ou poços de captação existentes na área ou nas suas adjacências. Esses resultados devem ser comparados aos padrões de qualidade em vigor na região, concluindo-se pela existência ou não de contaminação das águas subterrâneas (ver capítulo VI). A identificação da presença de produtos ou substâncias provenientes da área na água subterrânea (ex.: presença de chorume, gasolina, óleos, solventes, etc.) em poços servirá igualmente para caracterizar a existência de contaminação.

A resposta afirmativa para este item será utilizada para a classificação da área como AC.

5.12 Uso da água subterrânea afetada pela contaminação

Caso seja comprovada a contaminação das águas subterrâneas na área em questão e/ou adjacências proveniente desta, informar a sua utilização entre as opções:

- Abastecimento público
- Abastecimento domiciliar
- Irrigação/Pecuária/Piscicultura
- Recreação
- Industrial
- Desconhecida
- Inexistente

5.13 Contexto hidrogeológico da área

Indicar o contexto hidrogeológico mais vulnerável presente na área em questão e adjacências, com base em dados existentes e/ou observações em campo, entre as opções apresentadas abaixo, que podem variar de acordo com a geologia da região de interesse. No caso das opções descritas a seguir, foi considerada a geologia do Estado de São Paulo.

- Quaternário – sedimentos recentes originários de deposições fluviais, lacustres e marinhas, determinando relevo normalmente plano;
- Terciário em área de recarga – sedimentos originários de deposições fluviais, lacustres e marinhas, com a área situando-se em altos topográficos;
- Terciário em área de descarga – sedimentos pouco mais antigos também originários de deposições fluviais, lacustres e marítimas, com a área situando-se em baixos topográficos;
- Terciário – Formação Tremembé – sedimentos argilosos e arenosos em forma de lentes, ocorrência de folhelhos pirobetuminosos;
- Cristalino aflorante – presença de rochas pré-cambrianas de diferentes tipos na superfície do terreno sem alteração (ex.: granitos, xistos, filitos, quartzitos, gnaisses, migmatitos, etc.);
- Cristalino com manto argiloso em área de recarga – presença de rochas pré-cambrianas de diferentes tipos (ex.: granitos, xistos, filitos, quartzitos, gnaisses, migmatitos, etc.); recobertas por manto de alteração predominantemente argiloso, com a área situando-se em altos topográficos;
- Cristalino com manto argiloso em área de descarga – presença de rochas pré-cambrianas de diferentes tipos (ex.: granitos, xistos, filitos, quartzitos, gnaisses, migmatitos, etc.); recobertas por manto de alteração predominantemente argiloso, com a área situando-se em baixos topográficos;
- Cristalino com manto arenoso em área de recarga – presença de rochas pré-cambrianas de diferentes tipos (ex.: granitos, xistos, filitos, quartzitos,

- gnaisse, migmatitos, etc.); recobertas por manto de alteração predominantemente arenoso, com a área situando-se em altos topográficos;
- Cristalino com manto arenoso em área de descarga – presença de rochas pré-cambrianas de diferentes tipos (ex.: granitos, xistos, filitos, quartzitos, gnaisse, migmatitos, etc.); recobertas por manto de alteração predominantemente arenoso, com a área situando-se em baixos topográficos;
 - Cárstico – área constituída predominantemente por rochas carbonáticas (ex.: calcários e mármore);
 - Bauru – presença de arenitos, arenitos argilosos e siltitos, com ou sem cimentação carbonática;
 - Serra Geral aflorante – derrames basálticos e intrusões diabásicas; recarga desse aquífero ocorre por fraturas das rochas;
 - Serra Geral com manto argiloso em área de recarga – derrames basálticos e intrusões diabásicas, recobertas por manto de alteração predominantemente argiloso, com a área situando-se em altos topográficos;
 - Serra Geral com manto argiloso em área de descarga – derrames basálticos e intrusões diabásicas, recobertas por manto de alteração predominantemente argiloso, com a área situando-se em baixos topográficos;
 - Botucatu/Pirambóia – O Pirambóia é caracterizado por arenitos argilosos e camadas de siltitos de origem fluviolacustre. O Botucatu é constituído por arenitos de granulação fina e média de origem desértica;
 - Passa Dois – presença de siltitos, argilitos, calcarenitos e folhelhos;
 - Tubarão – presença de arenitos, siltitos, argilitos e diamictitos, de origem fluviolacustre e glacial;
 - Furnas – arenitos de granulação média com níveis conglomeráticos;
 - Desconhecido – assinalar essa resposta diante da inexistência de dados para a área e da impossibilidade de realizar observações em campo.

5.14 Existência de água superficial contaminada por influência da área (confirmada por análise ou presença de produto/substância)

Neste item, deverá ser verificada a existência de contaminação das águas superficiais provenientes da área sob avaliação e identificado o uso dado às mesmas. Essa constatação pode ser realizada por meio de análises químicas realizadas em amostras coletadas em pontos do curso d'água situados a montante e a jusante da área. Esses resultados devem ser comparados aos padrões de qualidade em vigor na região, concluindo-se pela existência ou não de contaminação das águas superficiais (ver capítulo VI).

As opções de respostas são as seguintes:

- Não – resposta a ser assinalada no caso da inexistência de cursos d'água sob influência da área sob avaliação ou inexistência de contaminação decorrente da área sob avaliação;

- Sim, utilizada para abastecimento público – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, sendo as águas utilizadas para abastecimento público;
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, sendo as águas utilizadas para abastecimento domiciliar;
- Sim, não utilizada para abastecimento – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, não sendo as águas utilizadas para quaisquer fins;
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, sendo as águas utilizadas para irrigação de culturas agrícolas ou pastagens, para dessedentação de animais ou para a criação de peixes;
- Sim, utilizada para pesca – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, sendo as águas utilizadas para pesca em geral (esportiva, artesanal e comercial);
- Sim, utilizada para recreação – o recurso hídrico avaliado apresenta-se contaminado por influência da área, sendo as águas utilizadas para recreação, como natação e esportes náuticos;
- Desconhecida – assinalar essa resposta quando não houver dados disponíveis ou possibilidade de constatação da qualidade das águas superficiais.

A resposta afirmativa neste item possibilita a classificação da área como AC, quando a contaminação do curso d'água for provocada por efeito da contaminação existente na área, não devendo ser considerada a contaminação resultante do lançamento direto de efluentes.

5.15 Possibilidade de influência direta da área sobre as águas superficiais

Avaliar se existe possibilidade da fonte de contaminação presente, ou que existiu na área em questão, influenciar ou ter influenciado diretamente a qualidade das águas superficiais localizadas na área e/ou adjacências. Caso exista essa possibilidade, indicar o uso dessas águas entre as opções:

- Não – resposta a ser assinalada no caso da inexistência de cursos d'água sob influência da área sob avaliação ou a impossibilidade de influência da área sobre a qualidade daqueles existentes;
- Sim, utilizada para abastecimento público – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, sendo estas utilizadas para abastecimento público;
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, sendo estas utilizadas para abastecimento domiciliar;

- Sim, não utilizada para abastecimento – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, não sendo estas utilizadas para quaisquer fins;
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, sendo estas utilizadas para irrigação de culturas agrícolas ou pastagens, para dessedentação de animais ou para a criação de peixes;
- Sim, utilizada para pesca – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, sendo estas utilizadas para pesca em geral (esportiva, artesanal e comercial);
- Sim, utilizada para recreação – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência da área, sendo estas utilizadas para recreação, como natação e esportes náuticos;
- Desconhecida – assinalar essa resposta quando não houver dados disponíveis ou possibilidade de constatação da influência da área sobre a qualidade das águas superficiais.

A resposta afirmativa para este item possibilita a classificação da área como AS.

5.16 Possibilidade de enchente na área e uso da água superficial no local

Avaliar se existe possibilidade de ocorrer enchente na área e se as águas provenientes dessa enchente, provavelmente contaminadas após passarem por ela, podem ter influenciado diretamente a qualidade das águas superficiais localizadas nessa área e/ou adjacências. Caso exista essa possibilidade, indicar o uso dessas águas entre as opções:

- Não – resposta a ser assinalada no caso de não haver possibilidade de enchente na área;
- Sim, utilizada para abastecimento público – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, sendo estas utilizadas para abastecimento público;
- Sim, utilizada para abastecimento domiciliar – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, sendo estas utilizadas para abastecimento domiciliar;
- Sim, não utilizada para abastecimento – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, não sendo estas utilizadas para quaisquer fins;
- Sim, utilizada para irrigação/pecuária/piscicultura – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, sendo estas utilizadas para irrigação de culturas agrícolas ou pastagens, para dessedentação de animais ou para a criação de peixes;

- Sim, utilizada para pesca – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, sendo estas utilizadas para pesca em geral (esportiva, artesanal e comercial);
- Sim, utilizada para recreação – existe a possibilidade da qualidade das águas superficiais ser alterada por influência das águas de enchente provenientes da área, sendo estas utilizadas para recreação, como natação e esportes náuticos;
- Desconhecida – assinalar essa resposta quando não houver dados disponíveis ou possibilidade de constatação da possibilidade de ocorrer enchentes e, caso estas possam ocorrer, se não existe a possibilidade de avaliar se as águas da enchente provenientes da área podem influenciar a qualidade das águas superficiais.

A resposta afirmativa para este item possibilita a classificação da área como AS.

5.17 Qualidade do ar do solo na área

Informar os resultados de análises de amostras de ar do solo coletadas na área sob avaliação realizadas em diferentes pontos e profundidades, caso tenham sido realizadas. Esses resultados devem ser comparados aos padrões de qualidade em vigor na região, concluindo-se pela existência ou não de contaminação do solo.

- Contaminado – assinalar essa resposta se pelo menos um dos parâmetros analisados apresentar concentrações acima dos valores definidos como limite para classificar a área como contaminada;
- Não contaminado – assinalar essa resposta se nenhum dos parâmetros analisados apresentar concentrações acima dos valores definidos como limite para classificar a área como contaminada;
- Análise não realizada – assinalar essa resposta quando as informações obtidas junto aos responsáveis pela área indicarem que não foram realizadas análises do solo;
- Desconhecida – assinalar essa resposta quando não for possível obter informações precisas quanto à existência ou não de resultados de análises de solo para a área.

6 Eventos importantes/Existência de riscos

Neste item, são indicados eventos importantes e/ou riscos comprovados que foram observados na área em questão e adjacências. Estes indicam principalmente o potencial ou a comprovação da propagação de contaminantes a partir da área, principalmente via solo e via ar.

6.1 Ocorrência de acidentes e/ou eventos importantes

Indicar a ocorrência de acidentes ou eventos importantes que ocorreram na área ou adjacências, entre as opções:

- Recalque – assinalar essa resposta caso seja observado afundamento ou recalque em áreas de disposição de resíduos ou onde o solo apresente contaminação comprovada ou provável;
- Desabamento – ocorrência de desabamentos da massa de resíduos ou do solo com contaminação provável ou confirmada;
- Erosão – observação da existência de processos erosivos na área, principalmente no local contendo resíduos ou em solo com contaminação provável ou confirmada;
- Danos à vegetação – observação de danos à vegetação que possam ter sido causados por influência da contaminação da área;
- Dispersão de poeira contendo contaminantes do local – observação da ocorrência do processo de dispersão de poeira proveniente do solo contaminado;
- Danos aos animais – observação de danos à saúde de animais que vivam na área ou adjacências que possam estar relacionados à contaminação da área;
- Danos à saúde – observação de danos à saúde das pessoas que vivam na área ou adjacências que possam estar relacionados à área;
- Danos materiais – observação de danos materiais relacionados à área;
- Explosão – ocorrência de explosões na área devido à presença de contaminantes; por exemplo, devido ao acúmulo de gases provenientes de áreas de disposição de resíduos ou áreas de armazenamento de substâncias químicas voláteis;
- Incêndio – ocorrência de incêndio provocado pela presença de contaminantes ou resíduos na área;
- Emissão perceptível de gases/vapores – ocorrência de gases/vapores originados em função das características das substâncias presentes na área;
- Proliferação de vetores – constatação da presença de fauna sinantrópica (moscas, ratos, urubus, entre outros).
- Outros – assinalar essa resposta quando ocorrer algum evento relativo à área que não possa ser enquadrado em nenhuma das opções anteriores;
- Desconhecida – quando não há possibilidade de avaliar a ocorrência de eventos importantes;
- Inexistente – quando não ocorreram eventos importantes.

Caso tenha sido constatado algum dos eventos descritos acima, a área deverá ser classificada como AS.

6.2 Erosão existente (tipo predominante)

Caso ocorra erosão na área em questão, informar o tipo predominante entre as opções:

- Inexistente;
- Laminar – processo erosivo no qual o processo de arraste do solo dá-se através de pequenas camadas em toda a superfície da área afetada;
- Sulco – processo erosivo através do qual resultam sulcos de pequena a média dimensão;
- Vossoroca – processo erosivo através do qual resultam sulcos de grandes dimensões.

6.3 Existência de risco em decorrência da contaminação do solo

Informar a existência de risco à saúde da população, aos animais e às plantas em decorrência da contaminação do solo. As respostas afirmativas a este item deverão estar embasadas em resultados de análises do solo que atestem a existência de contaminação, bem como na possibilidade de correlação entre as concentrações existentes e os possíveis ou reais danos observados nos referidos bens a proteger.

- Não, assegurado por análises – a possibilidade de riscos à saúde da população, animais e plantas deve ser afastada em função dos resultados das análises realizadas em amostras do solo;
- Sim, para saúde da população – a concentração de contaminantes é elevada no solo e são observados sintomas na população exposta ou identificadas vias de exposição da população aos contaminantes;
- Sim, para animais – a concentração de contaminantes é elevada no solo e são observados sintomas nos animais ou identificadas vias de exposição dos mesmos aos contaminantes;
- Sim, para vegetação – a concentração de contaminantes é elevada no solo e são observados sintomas na vegetação que possam ser identificados como resultantes de exposição aos mesmos;
- Desconhecida – em virtude da ausência de resultados de análises do solo que atestem sua contaminação ou diante da impossibilidade de correlacionar os resultados observados e efeitos ao homem, plantas e animais.

Caso a resposta deste item seja afirmativa, a área deve ser classificada como AS.

6.4 Indicações perceptíveis na superfície do solo

Informar se existem indicações perceptíveis de contaminação na superfície do solo e adjacências da área, entre as opções:

- Presença do contaminante – por meio da identificação da presença física de contaminantes na superfície do solo;
- Odor – constatação de odores provenientes do solo que possa induzir à suspeita da presença de contaminantes;
- Coloração – observação de anomalias na superfície do solo quanto a sua cor normal;
- Inexistente;
- Desconhecida – quando não for possível a identificação de anomalias, como em situações de completo recobrimento da superfície do solo.
- Outros – relacionar outros indícios observados no local que não se incluam entre aqueles relacionados anteriormente.

Caso tenha sido detectada alguma indicação, a área deve ser classificada como AS.

6.5 Presença de gases/vapores nas edificações vizinhas (PA)

Informar se existe ou não a presença de gases nas edificações vizinhas que possam ser provenientes da área sob avaliação.

Caso a resposta seja afirmativa, a área deve ser classificada como AS.

7 Atividades desenvolvidas na área

Neste item, devem ser informadas quais as etapas do processo de gerenciamento de ACs foram executadas na área e suas adjacências.

7.1 Investigação confirmatória

Neste item, deve ser informado se a etapa de *investigação confirmatória* foi realizada ou não. Em caso afirmativo, informar o executante (empresa ou pessoa física) e o período de duração dos trabalhos realizados. Um resumo dos resultados obtidos também deve ser indicado, contendo as substâncias detectadas e a faixa de concentração observada para cada meio amostrado. Devem também ser informados os valores referenciais utilizados para efeito de classificação da área.

A partir dos resultados obtidos nessa etapa, uma nova classificação da área pode ser realizada, a qual será classificada como potencial, caso os resultados não ultrapassem os valores referenciais; ou como contaminada, caso os resultados sejam superiores aos mesmos. A área poderá ser excluída do cadastro caso não seja comprovada a existência de contaminação e a atividade desenvolvida na área não seja potencialmente contaminadora.

7.2 Investigação detalhada

Informar o executante e o período da execução dessa etapa, caso esta tenha sido realizada.

7.3 Avaliação de risco

Informar o executante, o período da execução e as conclusões sobre a existência ou não de risco à saúde, caso essa etapa tenha sido realizada.

7.4 Remediação

Informar o(s) executante(s) da remediação da área, o período da execução e uma descrição das técnicas empregadas. Ao final dessa etapa, em função dos resultados obtidos no monitoramento e do uso proposto para a área, esta deverá ser novamente classificada, podendo receber as seguintes classificações:

AP - em função da remediação as concentrações dos contaminantes encontram-se abaixo dos valores referenciais estabelecidos para o uso atual da área, entretanto ainda persistem no local atividades potencialmente contaminadoras;

AC – as concentrações dos contaminantes permanecem acima dos valores referenciais;

AE – uma área que passou por um processo de remediação só poderá ser excluída do cadastro quando a remediação foi concluída satisfatoriamente e o uso atual da área não tem potencial de contaminação do solo.

8 Fontes de informação

Neste item, devem ser indicadas as fontes de informação utilizadas no preenchimento da Ficha Cadastral de ACs, especificando o documento obtido em cada fonte citada. No caso de informações orais, indicar o nome do informante e o tipo de informação fornecida pelo mesmo.

9 Observações gerais

Esse campo é reservado para o registro de informações e anotações de campo pertinentes à área em estudo, onde informações importantes, mas não registradas na ficha, podem ser descritas, como, por exemplo, a descrição de processos industriais e histórico de ocupação da área, entre outros.

10 Croqui da área/ Modelo conceitual

Neste item, deve ser feito um croqui da área, podendo ser incluído seções esquemáticas mostrando as principais feições desta, por exemplo o posicionamento das fontes potenciais de contaminação e dos bens a proteger localizados dentro e fora da área. Esse croqui pode ser utilizado para representar o modelo conceitual da área (ver seção 5000).

O modelo conceitual da área pode ser registrado na tabela apresentada no item 10 da Ficha Cadastral de ACs (ver Figura 5000-4), sendo indicadas nesta os principais componentes do modelo conceitual que são:

- as fontes primárias de contaminação (exemplo: tanques subterrâneos, área de produção);
- as fontes de contaminação secundária (exemplo: solo contaminado);
- os mecanismos primários de liberação dos contaminantes (exemplo: vazamentos, derramamentos);
- os mecanismos secundários de liberação (exemplo: infiltração no solo);
- as vias de transporte dos contaminantes (exemplo: solo, água subterrânea, ar, água superficial);
- os receptores da contaminação (exemplo: existentes ou que tenham existido na área).

O modelo conceitual da área inicial é estabelecido na etapa de *avaliação preliminar* (Modelo conceitual 1) e deverá ser atualizado após a realização das demais etapas do gerenciamento.

11 Mapa de localização da área

Inserir mapa em escala regional (1:10.000) mostrando a localização da área, acessos à mesma, bem como a indicação de bens a proteger existentes.

6000 **Investigação confirmatória**

A etapa de investigação confirmatória encerra o processo de identificação de áreas contaminadas, tendo como objetivo principal confirmar ou não a existência de contaminação e verificar a necessidade da realização de uma investigação detalhada nas áreas suspeitas, identificadas na etapa de avaliação preliminar.

Dessa forma, os resultados obtidos na etapa de investigação confirmatória são importantes para subsidiar as ações do órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental na definição do responsável pela contaminação e dos trabalhos necessários para a solução do problema.

A confirmação da contaminação em uma área dá-se basicamente pela tomada de amostras e análises de solo e/ou água subterrânea, em pontos estrategicamente posicionados. Em seguida, deve ser feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas, pela comparação dos valores de concentração obtidos com os valores de concentração estabelecidos em listas de padrões, definidas pelo órgão responsável pelo gerenciamento de áreas contaminadas.

Assim, caso uma área, após a execução da etapa de investigação confirmatória, seja classificada como área contaminada (AC), haverá a necessidade da execução das etapas do processo de recuperação de áreas contaminadas. Caso contrário, ela permanecerá classificada como área potencialmente contaminada (AP), devendo permanecer registrada (tanto no cadastro como na ficha cadastral) aguardando novas informações ou ainda poderá ser excluída do cadastro, quando não for detectada a contaminação e/ou quando não mais existir atividades potencialmente contaminadoras em funcionamento no local.

A metodologia utilizada para realização da etapa de investigação confirmatória é constituída basicamente pelas seguintes partes: plano de amostragem, coleta de amostras, realização de análises e interpretação dos resultados, conforme ilustrado na Figura 6000-1. Essas partes são descritas a seguir, nesta seção.

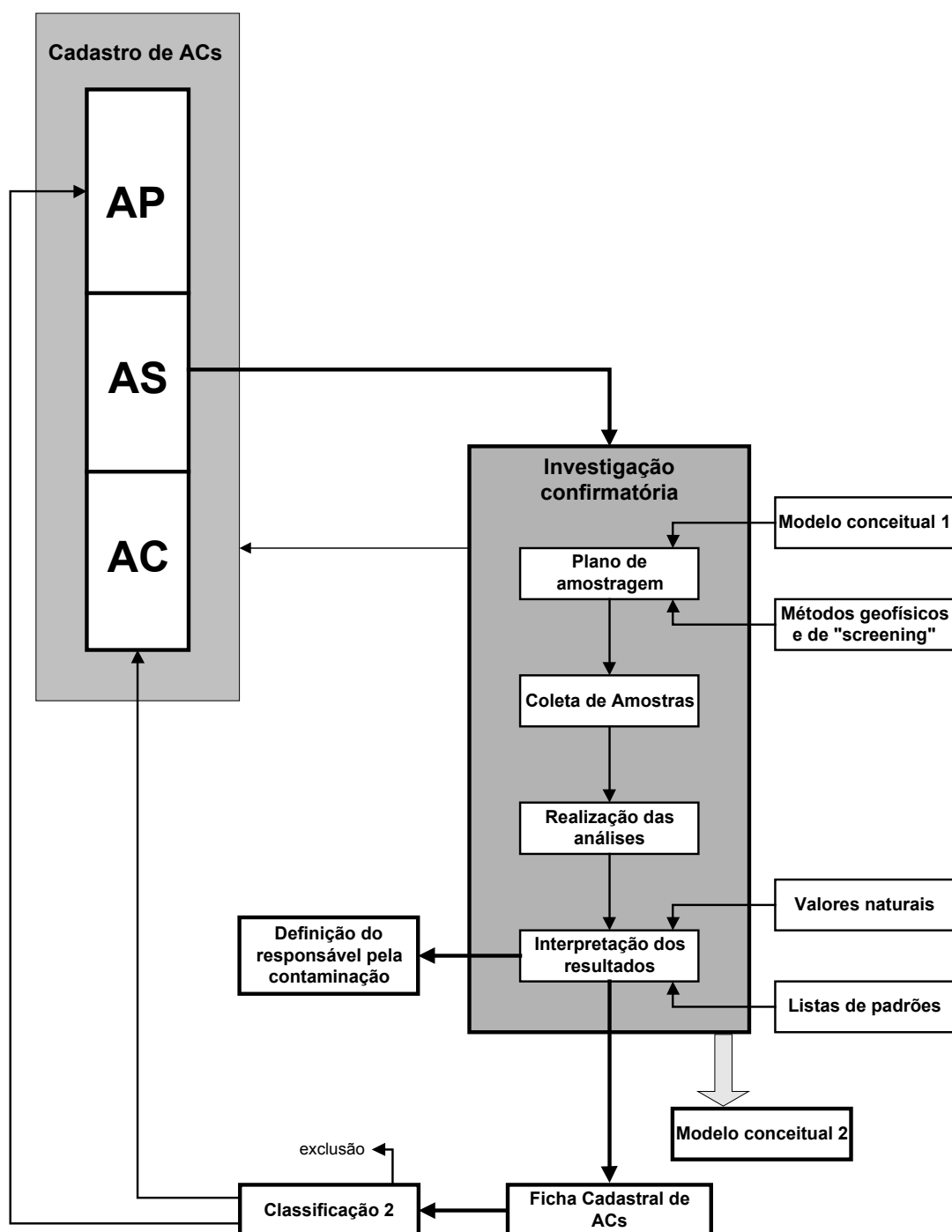


Figura 6000-1: A etapa de investigação confirmatória.

1 Plano de amostragem

Em função da grande variabilidade de tipos de áreas suspeitas de contaminação que necessitam ser investigadas (diferentes tipos de fontes de contaminação, contaminantes, vias de transporte e receptores ou bens a proteger), não pode ser aplicada uma forma única para definição do plano de amostragem. Entretanto, uma seqüência de procedimentos comuns podem ser sugeridos para a sua definição.

Na elaboração de um plano de amostragem na etapa de investigação confirmatória, devem ser definidos basicamente:

- os meios a ser amostrados;
- número, profundidade e localização dos pontos de amostragem;
- os parâmetros a ser analisados;
- as técnicas e protocolos de amostragem, preparação de amostras e análises;
- número de campanhas de amostragem;
- os valores-limite das concentrações dos contaminantes a ser considerados;
- plano de infra-estrutura e segurança dos trabalhadores;
- a equipe de profissionais que participarão da execução dessa etapa.

Destaca-se que a base principal para o planejamento dos trabalhos é o Modelo conceitual 1 (ver capítulo 5000), desenvolvido na etapa de avaliação preliminar. Portanto, o planejamento da investigação confirmatória dependerá basicamente das hipóteses de distribuição dos contaminantes na área, formulada no modelo conceitual que, por sua vez, dependerá diretamente da qualidade das informações prévias levantadas sobre a área investigada.

1.1 Os meios a ser amostrados

Segundo BYRNES (1994), diversos compartimentos ambientais podem ser amostrados na investigação de uma área, podendo ser citados: os solos, os sedimentos, as rochas, aterros, águas subterrâneas, águas superficiais, águas da zona não saturada (solução do solo), gás do solo, ar ambiente (interno e externo). Além destes, podem ser amostrados resíduos, efluentes, partes das edificações (paredes, pisos, tintas), poeira, animais e vegetação.

Uma vez que o objetivo da etapa de investigação confirmatória é apenas a verificação da existência de concentrações de contaminantes maiores que os limites estabelecidos para declarar uma área como contaminada, dificilmente existirá a necessidade de amostrar todos estes meios, concentrando-se a atenção naqueles onde os contaminantes apresentem maior possibilidade de se concentrar e para os quais, preferencialmente, já tenham sido definidos valores-limite.

Na etapa de investigação confirmatória, a escolha do meio a ser amostrado recai, normalmente, sobre os solos, sedimentos, aterros e águas subterrâneas.

Por exemplo, no caso de vazamentos em tanques subterrâneos de armazenamento de combustível em postos de serviço, os hidrocarbonetos tendem a concentrar-se próximo à superfície potenciométrica do aquífero livre, podendo, inclusive, formar fase livre de combustível sobre a franja capilar. Neste caso, para confirmar a presença de contaminação poderão ser retiradas amostras de águas subterrâneas e de solo em profundidades próximas ao nível d'água ou no ponto do perfil do solo onde for detectada a maior concentração de vapores orgânicos..

Considerando-se uma investigação em uma indústria metalúrgica, a suspeita de contaminação recairia sobre os metais, que apresentam a tendência de se concentrarem na superfície do solo devido às suas características físico-químicas, e também à origem da contaminação. Nestes casos, o meio a ser amostrado na investigação confirmatória seria o solo superficial.

1.2 Número, profundidade e a localização dos pontos de amostragem

A localização dos pontos de amostragem é função do conhecimento existente sobre a hipótese de distribuição dos contaminantes na área. De uma forma geral, a partir de fontes de contaminação pontual, existe uma tendência de distribuição dos contaminantes pela área de forma heterogênea, considerando-se o plano horizontal. A partir de fontes de contaminação dispersa (emissão atmosférica, por exemplo), a tendência é que os contaminantes se distribuam de forma homogênea na área, considerando-se o mesmo plano.

Segundo USEPA (1989 citado em BYRNES, 1994), basicamente existem três tipos de esquema de distribuição dos pontos de amostragem dos solos e águas subterrâneas, no plano horizontal, em uma área:

- amostragem direcionada;
- amostragem sistemática;
- amostragem aleatória.

Informações mais detalhadas a respeito dessas estratégias de amostragens são apresentadas na seção 6300.

Além da coleta nos pontos onde ocorre a maior probabilidade de existência de contaminação, devem ser coletadas também amostras onde não ocorra a influência das fontes suspeitas identificadas, ou seja, onde ocorram valores naturais, para comparação. Por exemplo, para a coleta de águas subterrâneas recomenda-se no mínimo três pontos de amostragem nos locais suspeitos de contaminação e um para determinação da qualidade natural dessas, conforme descrito em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1997a).

Na etapa de investigação confirmatória, em áreas suspeitas de contaminação, a distribuição das substâncias contaminantes deve ser investigada tanto no plano horizontal quanto no vertical.

A profundidade de investigação ou de amostragem, da mesma forma como são definidos os pontos de amostragem no sentido horizontal, também variará de acordo com as características das fontes de contaminação, dos contaminantes e do meio físico. Dessa forma, devem ser amostradas preferencialmente as profundidades onde os contaminantes apresentem a maior probabilidade de estarem concentrados.

Durante a realização da amostragem, podem ser utilizados métodos de “screening” e métodos geofísicos (ver seções 6100 e 6200), para encontrar as anomalias indicativas das maiores concentrações dos contaminantes em profundidade. Por exemplo, utilizando-se analisadores de vapores para determinar o ponto do perfil do solo a ser amostrado que apresenta os maiores valores de concentração de contaminantes voláteis.

Quando não existem indicações para orientar a definição da profundidade de amostragem, pode-se estabelecer níveis regulares para esta ou amostrar de acordo com a posição de diferentes camadas hidroestratigráficas.

Na seção 6300, são apresentados alguns exemplos para a definição da profundidade de amostragem.

Considerando as estratégias estabelecidas em USEPA (1996b), SOCIEDAD PÚBLICA GESTIÓN AMBIENTAL - IHOBE (1995), e na regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas da Alemanha, são propostas, neste manual, as seguintes estratégias para a elaboração de planos de amostragem de solo e águas subterrâneas na etapa de investigação confirmatória, apresentadas na Figura 6000-2 e descritas no Quadro 6000-1. Essas estratégias consideram a qualidade das informações obtidas na etapa de avaliação preliminar e a hipótese de distribuição espacial dos contaminantes esperada, estabelecendo diferentes formas para a locação dos pontos e profundidade de amostragem, em função das características específicas de cada área suspeita de contaminação:

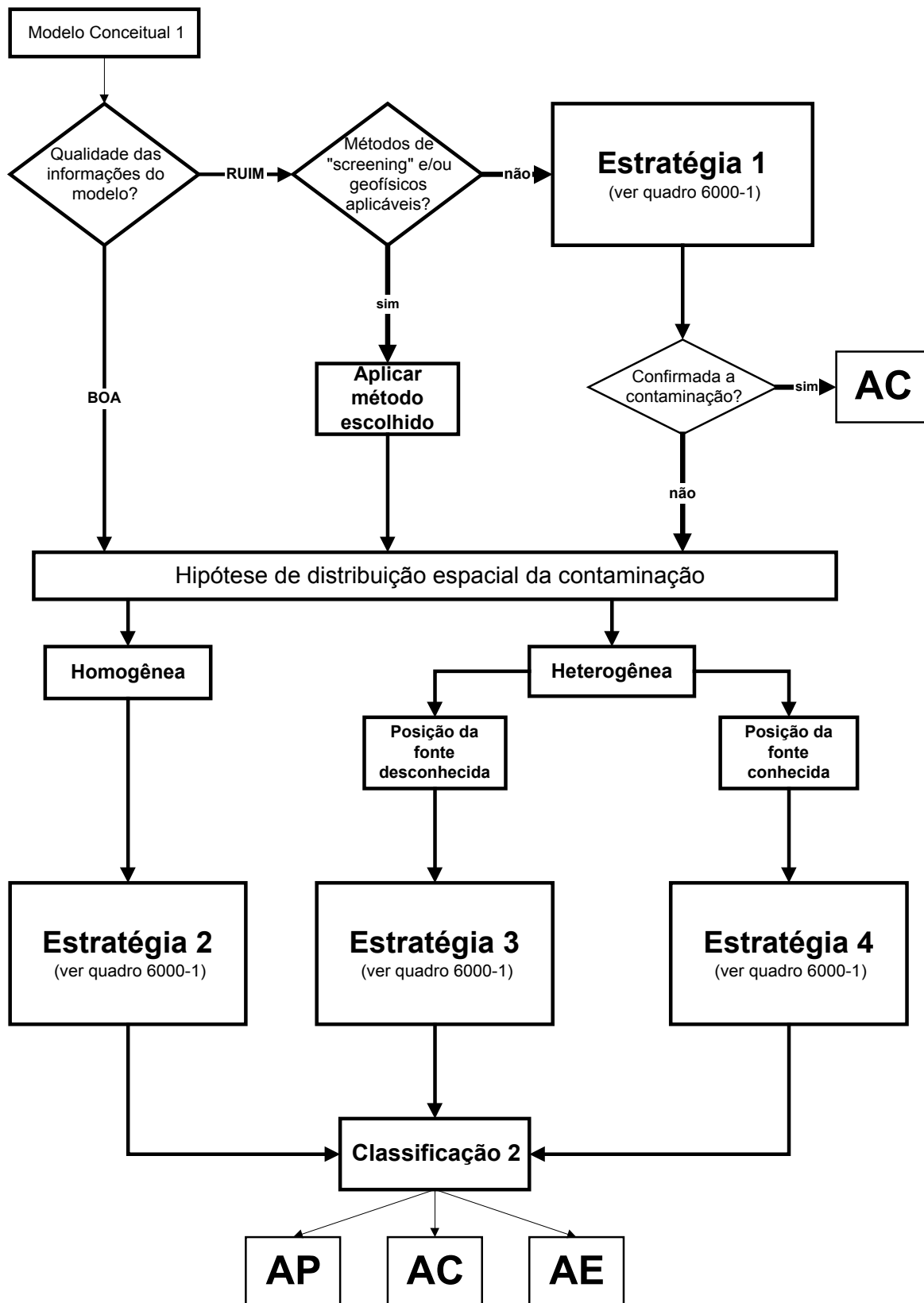


Figura 6000- 2: Estratégias de amostragem de solos e de águas subterrâneas na etapa de investigação confirmatória.

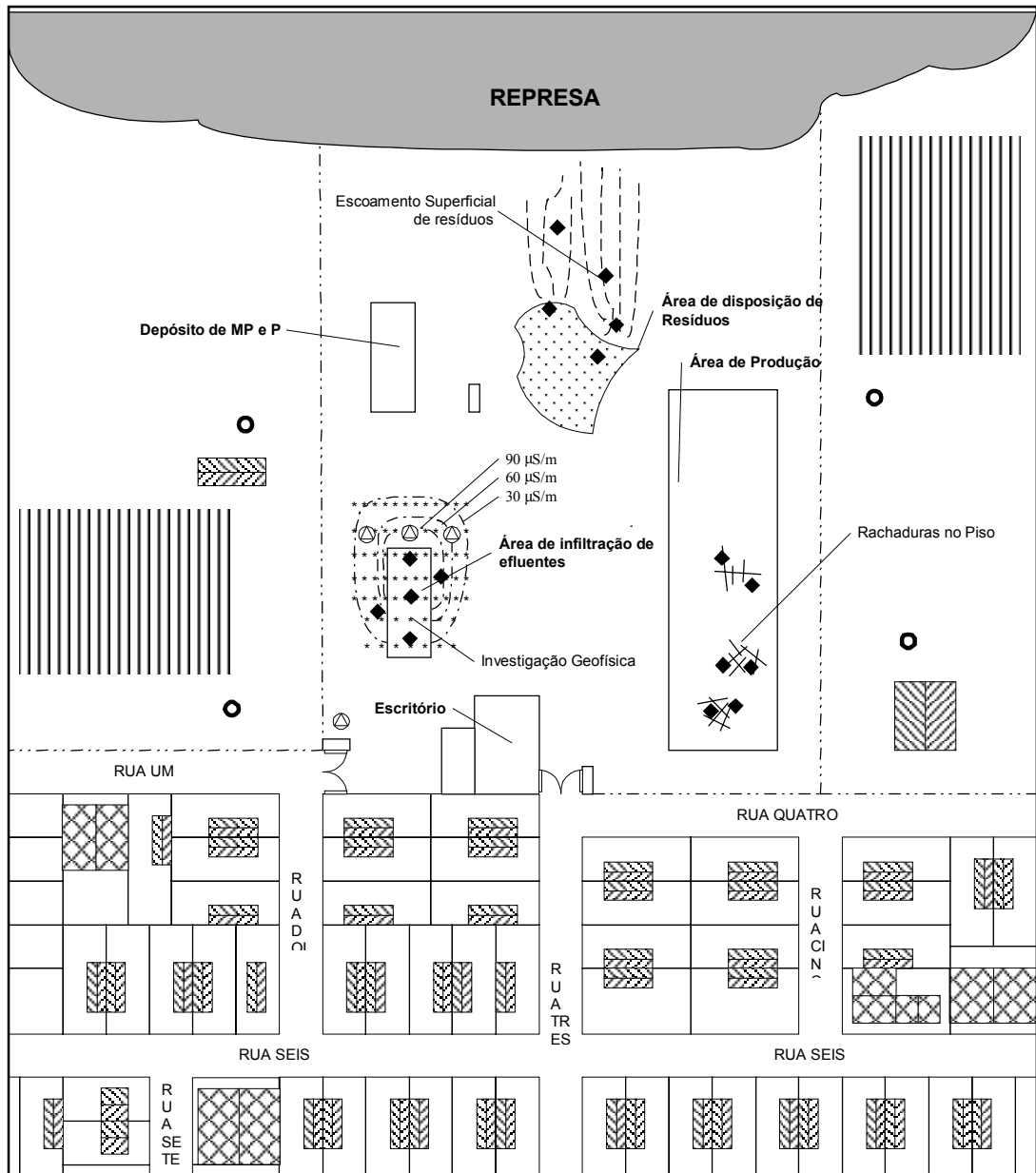
Estratégias de amostragem de solo e/ou água subterrânea na investigação confirmatória
<p>Estratégia 1</p> <p>Distribuição dos pontos de amostragem em planta. Dividir a área suspeita em lotes de no máximo 500 m². Número de pontos de amostragem: 15 por lote. Número de amostras: 1 amostra composta por lote. Profundidade de amostragem: de acordo com o bem a proteger e as características do contaminante.</p>
<p>Estratégia 2</p> <p>Situação A: A área possui boa qualidade de informações levantadas na avaliação preliminar.</p> <p>Distribuição dos pontos de amostragem em planta. Dividir a área suspeita em 2 subáreas, de acordo com a hipótese de distribuição da contaminação, em: Setor I – subárea com pequena probabilidade de estar contaminada. Setor II – subárea com grande probabilidade de estar contaminada.</p> <p>Dividir o Setor II em lotes de no máximo 500 m². Número de pontos de amostragem: 6 por lote. Número de amostras: 1 amostra composta por lote. Profundidade de amostragem: de acordo com o bem a proteger e as características do contaminante.</p> <p>Situação B: Hipótese de distribuição definida pela aplicação de métodos geofísicos e/ou de <i>screening</i> ou pelos resultados obtidos nas análises de amostras coletadas, utilizando-se a estratégia 1.</p> <p>Distribuição dos pontos de amostragem em planta. Dividir a área suspeita em 2 subáreas, de acordo com a hipótese de distribuição da contaminação, em: Setor I – subárea onde não foram detectadas anomalias ou concentrações elevadas. Setor II – subárea onde foram detectadas anomalias ou concentrações elevadas. Dividir o Setor II em lotes de no máximo 500 m². Número de pontos de amostragem: 6 por lote. Número de amostras: 1 amostra composta por lote. Profundidade de amostragem: de acordo com o bem a proteger e as características do contaminante.</p>
<p>Estratégia 3</p> <p>Hipótese de distribuição definida pela aplicação de métodos geofísicos e/ou de <i>screening</i> ou pelos resultados obtidos nas análises de amostras coletadas, utilizando-se a estratégia 1.</p> <p>Distribuição dos pontos de amostragem em planta. Nos lotes até 500 m², onde foram detectadas concentrações elevadas ou onde foram detectadas anomalias. Número de pontos de amostragem: 6 por provável fonte identificada. Número de amostras: 6 amostras por provável fonte identificada. Profundidade de amostragem: deve ser amostrada toda a zona não saturada ou até o ponto em que não seja mais verificado indícios de contaminação. A amostra será coletada no ponto do perfil onde foi verificada a maior concentração do contaminante.</p>
<p>Estratégia 4</p> <p>A área possui boa qualidade de informações levantadas na avaliação preliminar.</p> <p>Distribuição dos pontos de amostragem em planta. Número de pontos de amostragem: 4 por fonte de contaminação identificada. Número de amostras: 4 amostras simples. Profundidade de amostragem: deve ser amostrada toda a zona não saturada ou até o ponto em que não seja mais verificado indícios de contaminação. A amostra será coletada no ponto do perfil onde foi verificada a maior concentração do contaminante.</p>

Quadro 6000-1: Estratégias de amostragem de solos e de águas subterrâneas na etapa de investigação confirmatória.





Na Figura 6000-3, é apresentado um exemplo hipotético, mostrando a localização dos pontos de amostragem de solo e águas subterrâneas em uma área suspeita de contaminação (indústria metalúrgica desativada).



Nessa figura, observa-se que os pontos de amostragem do solo e da água subterrânea foram locados utilizando-se um esquema direcionado.

Esses pontos de amostragem foram locados em função de anomalias detectadas no solo por métodos geofísicos, na área de infiltração de efluentes, constatação de evidências como pontos, na área de produção, que apresentavam rachaduras no piso, e escoamento superficial de líquidos percolados na área de disposição de resíduos. Esses fatores levaram a suspeitar da presença de contaminação nas áreas em questão.



LEGENDA

-  Residência
-  Comércio
-  Hortas
-  Poço de abastecimento

- **** Pontos de investigação geofísica
-  Poço de monitoramento
-  Ponto de amostragem de solo superficial

ESCALA

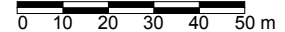


Figura 6000-3: Exemplo de localização dos pontos de amostragem de solo e de água subterrânea em área suspeita de contaminação na etapa de investigação confirmatória.

1.3 Os parâmetros a serem analisados

Os parâmetros a ser analisados devem ser escolhidos a partir das informações relativas aos contaminantes que podem ocorrer ou que ocorrem na área, definidos no estudo histórico da etapa de avaliação preliminar.

Dentre os contaminantes com maior probabilidade de ocorrerem na área, devem ser selecionados preferencialmente aqueles que possuam maior toxicidade ou maior potencial para causar danos aos bens a proteger.

Preferencialmente, devem ser selecionados os parâmetros que possuam valores limites definidos, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados.

1.4 As técnicas, os protocolos de amostragem, de preparação de amostras e análises

As técnicas e os protocolos de amostragem, de preparação de amostras e análises serão descritos nas seções 6300 e 6400.

1.5 Número de campanhas de amostragem

Na etapa de investigação confirmatória, normalmente uma única campanha de amostragem é realizada. Eventualmente, outras campanhas podem ser necessárias para confirmação dos resultados ou para complementar a campanha anterior.

1.6 Os valores-limite das concentrações a ser considerados

A partir da identificação dos parâmetros a ser analisados, devem ser definidos os **valores-limite** a ser considerados na avaliação da área acima, dos quais ela poderá ser considerada contaminada.

Essa escolha pode se basear na comparação com **valores naturais** ("background") ou adotadas listas referenciais elaboradas com base em estudos de avaliação de risco à saúde humana.

Preferencialmente, deve-se optar por listas de valores estabelecidas por lei em vigor na região de interesse.

Caso não existam listas ou não sejam disponíveis valores para determinados contaminantes, pode-se optar por listas de outras regiões ou padrões internacionais. A seleção de determinada lista de valores referenciais deve necessariamente considerar os cenários adotados para a sua elaboração. Esse assunto é abordado mais detalhadamente na seção 6500.

1.7 Plano de infra-estrutura e segurança dos trabalhadores

Deve-se destacar a importância da elaboração de um plano de infra-estrutura e segurança dos trabalhadores, conforme descrito na seção 6300.

1.8 A equipe de profissionais que participarão da execução dessa etapa

Conforme descrito na seção 6300, deverão ser definidos os profissionais responsáveis pela execução dessa etapa.

2 Coleta de amostragem

A coleta de amostras é feita utilizando-se os métodos de amostragem mais adequados, selecionados em função das características específicas do meio físico e dos contaminantes em cada área.

Vários são os métodos existentes para coleta de amostras de solos e de águas subterrâneas. As amostras de solos, sedimentos, rochas e outros materiais como aterros podem ser coletadas utilizando-se diferentes métodos de perfuração existentes. As amostras podem ser retiradas em diferentes profundidades ou em intervalos definidos no plano de amostragem, utilizando-se diferentes tipos de amostradores. Por exemplo, para a coleta de solos superficiais os equipamentos de amostragem mais comuns são:

- pás;
- trados de caneco manuais ou mecânicos;
- trado de rosca;
- trado holandês;
- amostradores tubulares (barrilete - "tubo aberto", meia-cana, tubo fechado e tubo de parede fina).

Para coleta das águas da zona não saturada e zona saturada, devem ser instalados equipamentos para amostragem como poços de monitoramento, lisímetros de sucção e amostradores de drenagem livre.

Nas seções 6300 e 6400, são apresentadas informações mais detalhadas sobre esse assunto.

3 Realização de análise

As amostras coletadas deverão ser analisadas em campo e/ou em laboratórios capacitados, que utilizem metodologias analíticas compatíveis com as características das amostras e possuam equipamentos adequados para atender aos limites de detecção requeridos, além de realizar um controle de qualidade aceitável (ver seções 6300 e 6400).

4 Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos na etapa de investigação confirmatória devem ser utilizados para atualizar e complementar o Modelo conceitual 1, gerando uma nova versão deste, denominada Modelo conceitual 2, que será a base para o planejamento e realização da etapa seguinte de investigação detalhada.

Deverão ser confeccionados mapas em detalhe, mostrando a localização dos pontos de amostragem, além da representação dos resultados analíticos, que podem ser apresentados em tabelas e mapas de linhas de isoconcentração dos contaminantes, por exemplo.

Caso os resultados das análises realizadas indiquem valores superiores aos estabelecidos como limites para a área, pelo menos em um local indicado como suspeito esta poderá ser classificada como uma área contaminada (ver seção 6500).

5 Definição do responsável pela contaminação

Os dados obtidos na etapa de avaliação preliminar e investigação confirmatória, na maioria dos casos, serão suficientes para realização de pesquisa, visando identificar o responsável pela contaminação e, conseqüentemente, pela realização das próximas etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.

As partes que normalmente podem ser indicadas como responsáveis pela contaminação são o proprietário da área, o locador ou usuário da mesma, agentes financiadores, entidades que utilizaram a área para dispor resíduos/materiais ou outros. Caso não seja identificado o responsável pela contaminação ou este não possua condições para arcar com os custos para a execução das etapas seguintes do gerenciamento, o órgão ambiental deverá assumir as responsabilidades pela implementação das etapas seguintes do processo ou endereçar o problema para a iniciativa privada, pela criação de incentivos para a sua recuperação e reúso.

5.1 CLASSIFICAÇÃO 2

A concentração dos contaminantes identificados nos meios amostrados devem ser comparados aos valores-limite estabelecidos. Caso os valores obtidos estejam acima destes, a área em questão poderá ser classificada como uma área contaminada (AC). Se estiverem abaixo, a área poderá ser classificada como potencialmente contaminada ou ser excluída do cadastro de áreas contaminadas.

Os resultados da etapa de investigação confirmatória devem ser utilizados para atualizar as informações armazenadas no cadastro de áreas contaminadas.

Na Ficha Cadastral de Áreas Contaminadas (ver seções 5101 e 5102), os itens 5.8 ("existência de solo contaminado"), 5.11 ("existência de água subterrânea contaminada") e 5.14 ("existência de água superficial contaminada") estão associados a classificação das áreas como contaminadas.

As áreas classificadas como áreas contaminadas (ACs) devem passar a ser avaliadas nas etapas seguintes do gerenciamento, sendo enquadradas no processo de recuperação das áreas contaminadas.

6 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma para construção de poços de monitoramento e amostragem - NBR 13895. Rio de Janeiro, 1997a.

BYRNES, M.E. Field sampling methods for remedial investigations. Boca Raton, Lewis Publishers, 1994.

SOCIEDAD PÚBLICA GESTIÓN AMBIENTAL (IHOBE). Manual práctico para la investigación del solo. Gobierno Vasco. 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. EPA/540/R-95/128. Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996b.

6100 Métodos de “screening”

1 Métodos de “screening” – instrumentos para investigação confirmatória do local

Os métodos de *screening* (rastreamento, reconhecimento, varredura) são levantamentos expeditos que têm como função confirmar ou não a suspeita de contaminação numa determinada área de interesse, através de técnicas que economizem tempo e investimentos.

Para essa análise, realizada na etapa de avaliação confirmatória, são utilizados métodos de campo rápidos e de baixo custo, geralmente de modo semiquantitativo que tem como objetivo definir algumas questões, como:

- confirmar a existência de contaminantes qualitativamente (orgânicos e inorgânicos);
- delimitar a extensão dessa contaminação (se possível);
- estabelecer a faixa de concentração (magnitude) em que essa contaminação se encontra (quantitativamente ou semiquantitativamente).

Além dessas informações, que são as bases do primeiro modelo conceitual do cenário de contaminação, existe uma segunda aquisição de dados, importante para a definição da estratégia de continuidade de caracterização da área afetada, a saber:

- mapeamento de pontos de maiores concentrações (*hot spots*);
- definição da localização de futuras sondagens e poços de monitoramento;
- conhecimento de questões relativas à segurança e higiene ocupacional dos trabalhadores que executam os levantamentos de campo, principalmente quando da existência de emissão de gases e vapores.

Portanto, uma das metas do “screening” é a obtenção de dados analíticos para definição *a posteriori* de uma caracterização detalhada do local afetado e também orientar futuros planos de monitoramento e recuperação.

Como se pode perceber, é na fase de “screening” que é definida a continuidade do processo, direcionando-se novas tomadas de amostras e posterior investigação detalhada.

Essas ações só serão desencadeadas se os valores encontrados nas análises das amostras a partir do “screening” ultrapassarem sobremaneira os valores-limite para determinados contaminantes de interesse. Na falta destes, surge a necessidade de comparação dos valores obtidos com os valores naturais de referência do local (*background*).

Os trabalhos de “screening” requerem rapidez nas respostas e baixo custo na execução dos testes; assim, é importante prever quais os contaminantes apresentam uma probabilidade maior de serem encontrados, em função do local contaminado e da atividade estabelecida, ou seja, tentar relacionar produtos e compostos que são inerentes à atividade desenvolvida na área investigada. Certamente, algumas dessas informações podem ser adquiridas na fase anterior de investigação preliminar.

Para ilustrar o direcionamento da investigação a ser executada, cita-se como exemplo que os contaminantes mais prováveis de serem detectados num posto de gasolina são hidrocarbonetos e, num depósito de transformadores antigos, óleos contendo PCB.

A tabela a seguir relaciona alguns compostos-guia a determinadas atividades industriais. Esses dados são úteis, como já foi observado, na orientação das investigações da fase de “screening”, norteando o emprego da metodologia mais adequada para maior confiabilidade dos resultados.

Maiores informações a respeito da tabela a ser apresentada podem ser obtidas no capítulo III deste manual, que trata da identificação de áreas potencialmente poluidoras. Deve-se levar em conta que essas tabelas são apenas um indicativo dos contaminantes mais prováveis, não excluindo a possibilidade de que outros contaminantes possam existir ou que não devam ser também especificamente avaliados.

Tabela 6100-1: Setor industrial, tipo de setores e prováveis contaminantes do solo.¹

Indústria	Exemplos de setores	Prováveis contaminantes
Química	Setores de fabricação de ácidos e bases, de pigmentos, de fertilizantes, de pesticidas, de produtos farmacêuticos e de tintas. Tratamento de madeiras.	Ácidos; bases; metais; solventes (ex.: tolueno, benzeno); fenóis, compostos orgânicos específicos.
Petroquímica	Refinarias de petróleo. Pátios de tanques. Depósitos de armazenamento de combustíveis. Destilarias de alcatrão.	Hidrocarbonetos; fenóis; ácidos; bases e asbestos.
Produção e transformação de metais	Primeira produção de ferro. Fabricação de aço. Fundições. Anodizados e galvanizados. Construção e lançamento de barcos. Ferros-Velhos.	Metais; especialmente Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd e Pb; asbestos, hidrocarbonetos, PCBs, cianetos.
Transporte	Garagens, fábricas de veículos e oficinas de manutenção. Garagens de trens.	Combustíveis; hidrocarbonetos; asbestos.
Energia	Fábricas de gás. Produção de energia.	Combustíveis (ex.: carvão e pó de coque); fenóis, cianuretos; compostos de enxofre; asbestos.
Extração de minerais. Recuperação de solo (incluindo vertedouros)	Minas. Zonas de aterros.	Metais (ex.: Cu, Zn, Pb); gases (ex.: metano); cianuretos; fenóis; etc.
Diversas	Portos, cais e embarcadouros. Curtumes. Fábricas de pneus. Instalações militares.	Metais; compostos orgânicos; metano; substâncias tóxicas, inflamáveis ou explosivas.

Nota: Podem ser considerados como contaminantes “residentes” os hidrocarbonetos, policlorobifenilas (PCBs), asbestos, sulfatos e alguns metais usados em pigmentos e acabamentos. Estes podem estar presentes na maior parte das atividades

¹Fonte: “Code of Practice for the Identification of Potentially Contaminated Land and its Investigation”. Draft for Development. DD 175/1988.

Ao se executar os trabalhos de “screening”, deve-se ter em mente duas premissas importantes, suficientes para poder garantir o sucesso na investigação:

- 1) **ter bem claro os objetivos do estudo;**
- 2) **utilizar as ferramentas ou métodos mais apropriados para alcançar tal objetivo.**

O primeiro item pode ser ilustrado baseando-se no que foi dito acima, ou seja, ter bem claro a que se destina o “screening”:

Objetivos do screening (dentro da investigação confirmatória)

- confirmar a existência de contaminantes;
- confirmar a hipótese de distribuição espacial da contaminação;
- definir a lista de contaminantes suspeitos, obtendo para cada um deles valores aproximados de concentração média (semi-quantitativo) e de heterogeneidade de distribuição espacial (*hot spots*).

Para uma dada região de estudo, deve-se portanto ter já uma indicação de quais contaminantes confirmar, indicação essa que é proveniente da fase anterior – investigação preliminar, histórico industrial, fotos aéreas, etc.

De posse dos objetivos já definidos, deve-se então partir para a escolha do instrumental ou do método que viabilize o sucesso de tais objetivos.

Na etapa de campo do “screening”, são produzidos dados para vários níveis de análises, dependendo da qualidade que é requerida. Dessa forma, são introduzidos os conceitos de garantia de qualidade (GQ) e **controle de qualidade** (CQ) dos dados adquiridos.

A garantia de qualidade (GQ) pode ser aplicada diretamente nos procedimentos de campo, tornando-se usual, como descrito a seguir:

- ⇒ analisar “brancos” freqüentemente; ou seja, analisar amostras livres de contaminação para serem usadas como referência;
- ⇒ tempo de retenção no monitor ou resposta do detector para identificar ou compensar desvios do aparelho, ou seja, integrar as amostragens em determinado tempo;
- ⇒ considerar o sistema e as características específicas do local contaminado juntamente com a experiência dos profissionais envolvidos, no momento de especificar os objetivos do estudo;
- ⇒ incorporar amostras com concentração conhecida dentro da seqüência analítica para manutenção da precisão, acuidade e compatibilidade de padrões e amostras;
- ⇒ enviar uma parte das amostras avaliadas no campo para um laboratório para uma verificação, independentemente de resultados.

A Tabela 6100-2C, a seguir, mostra os vários níveis analíticos relativos à qualidade dos dados.

Nível analítico	Qualidade dos dados
Nível I	<ul style="list-style-type: none"> • Se os dados estão calibrados e são interpretados corretamente, pode haver uma indicação de contaminação.
Nível II	<ul style="list-style-type: none"> • Depende do passo de GQ/CQ empregado. • Dados tipicamente reportados em faixas de concentração.
Nível III	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de detecção inerentes ao do método empregado. • GQ/CQ menos rigoroso.
Nível IV	<ul style="list-style-type: none"> • A meta são dados de qualidade conhecida • GQ/CQ rigoroso.
Nível V	<ul style="list-style-type: none"> • Método específico.

Fonte: COMPTON, H. (1992)

Como se pode observar, dependendo do nível analítico que se necessite, basta uma calibração e interpretação adequada (nível I) até a utilização de um método específico para a comprovação de uma contaminação.

2 Técnicas de campo e instrumentação

As técnicas de campo empregadas nos trabalhos de “screening” são basicamente de dois tipos: métodos químicos e métodos geofísicos.

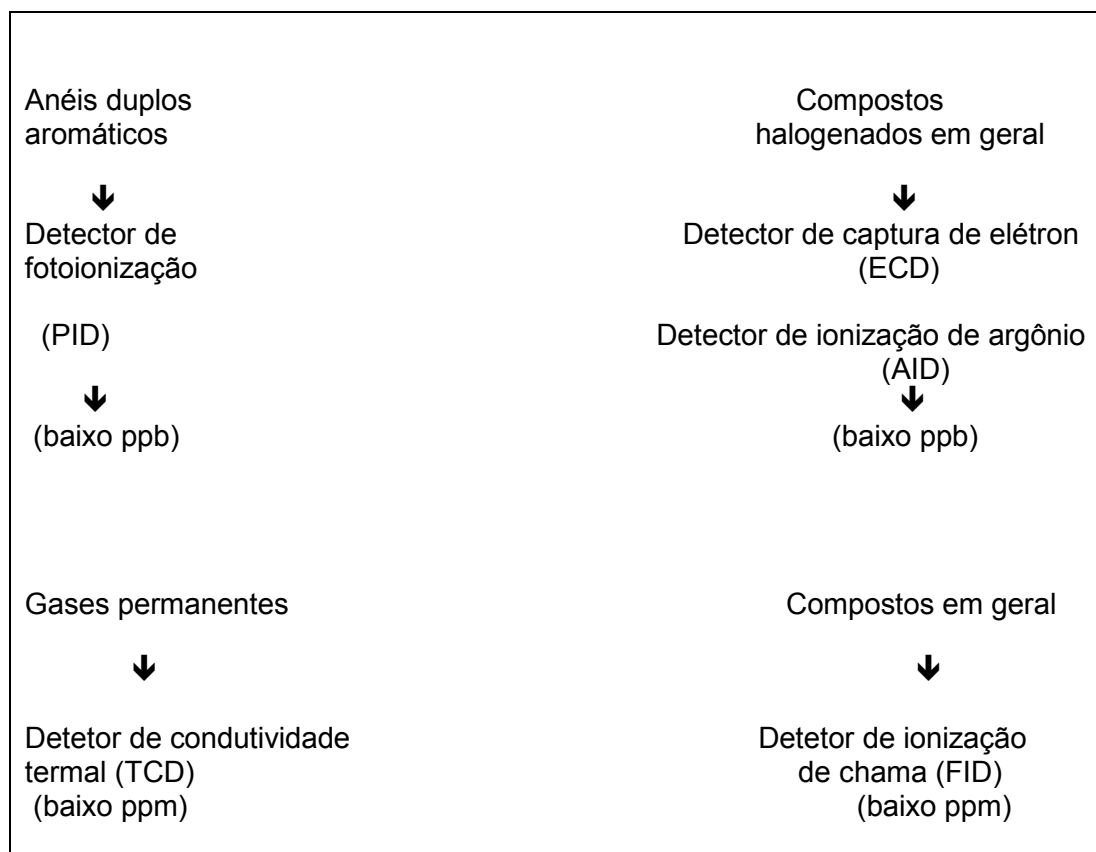
Neste capítulo, serão abordados os métodos químicos (ou geoquímicos), posto que o capítulo 6200 tratará em detalhe os métodos geofísicos, porque estes, devido a sua grande versatilidade, podem ser empregados em diversos passos do gerenciamento, tais como nas etapas de avaliação confirmatória, avaliação detalhada e nas fases de recuperação e monitoramento.

Os métodos químicos/geoquímicos são métodos usuais ou de metodologia já consagrada em laboratório que recebem adaptações para o uso no campo, tais como miniaturizações e simplificações analíticas.

As principais metodologias utilizadas são:

- cromatografia a gás;
- cromatografia/espectrometria de massa;
- sistemas de sensores químicos;
- espectrometria de fluorescência;
- amostragem e análise de ar e “soil gas”;
- métodos de *imunoassay*.

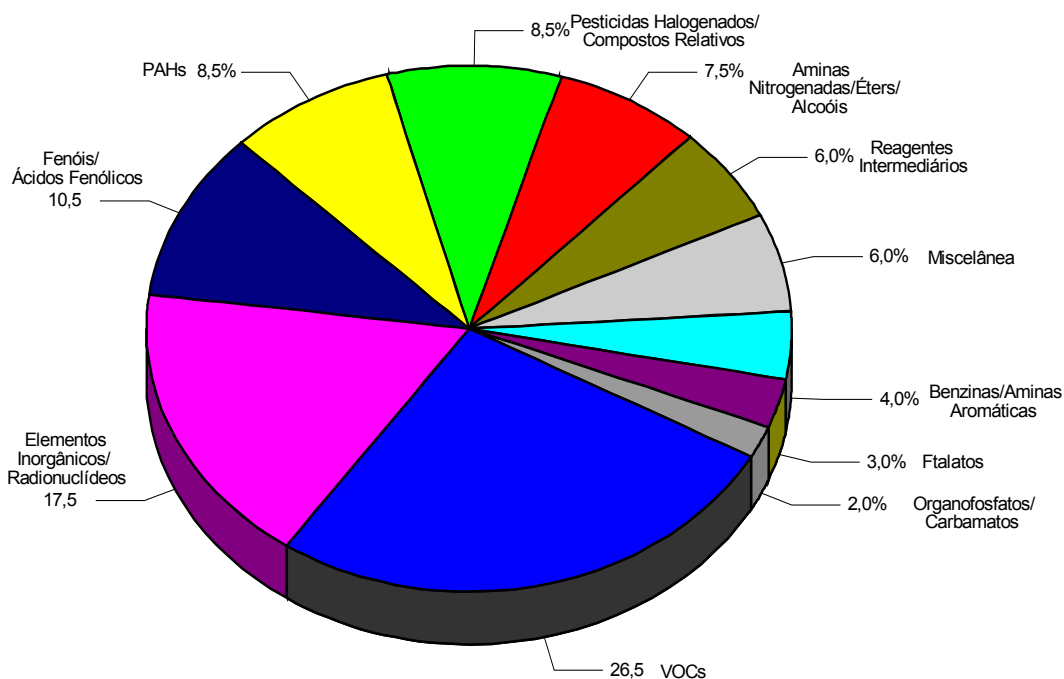
Tabela 6100-3: Seleção de cromatógrafos de gás portáteis em função dos componentes alvos.



Fonte: COMPTON, H. (1992)

A figura seguinte mostra as classes químicas de 200 substâncias tóxicas ou perigosas mais comuns que podem ser detectadas através de métodos de “screening”.

Figura 6100-1: Classes químicas de 200 substâncias tóxicas.



Cada um dos principais métodos citados anteriormente, que são os mais utilizados nos trabalhos de investigação em áreas contaminadas, será abordado a seguir de acordo com suas características funcionais e eficiência.

2.1 Cromatografia a gás (CG)

Os cromatógrafos a gás portáteis são úteis no campo para analisar as concentrações de determinados contaminantes no solo e na água, sendo empregados também para mapear a extensão da contaminação.

Os CGs possuem suprimentos de gás internos, detectores e sistema de integração das medições de concentração dos poluentes.

Em geral, os CGs podem detectar limites muito baixos de concentração, porém possuem um leque reduzido de compostos detectáveis.

Fundamentalmente, existem 2 tipos de cromatógrafos a gás:

- Purge and Trap
- Headspace

Purge and Trap – São utilizados para analisar compostos orgânicos voláteis (VOC) em solo e água, que possuam baixas constantes da Lei de Henry.

Dois exemplos desse tipo de cromatógrafo são o detector de ionização do argônio (AID) e o detector de condutividade termal (TCD).

O primeiro exemplo (AID) possui um detector de captura de elétron (ECD) e é comumente utilizado para compostos halogênicos, como tricloroetileno, e, especialmente, para alcanos clorados que não podem ser detectados pelo sistema de fotoionização (PID). O AID pode ainda detectar hidrocarbonetos voláteis, tais como benzeno, tolueno, xileno, etc., nos meios solo e água.

Headspace – Possuem um limite de detecção mais alto do que os Purge and Trap e, portanto, são utilizados na faixa onde as constantes da Lei de Henry são maiores para determinados compostos.

O método baseia-se num PID (detector de fotoionização) sensível a compostos aromáticos e poliinsaturados, como benzeno e estireno.

PIDs, no entanto, não detectam metanos ou alcanos. O princípio do método é detectar somente substâncias que são ionizáveis abaixo ou à intensidade da lâmpada usada no aparelho para a ionização dos compostos.

Dessa maneira, não há em determinados aparelhos a definição de qual composto está sendo detectado, mas sim todos aqueles que se encontram numa determinada faixa de fotoionização.

Por isso, quando se usa os métodos de CG, é útil determinar o composto-alvo primeiro, para selecionar de maneira apropriada os métodos analíticos e conseqüentemente as ferramentas apropriadas.

A tabela seguinte mostra as vantagens e desvantagens para cada método.

Tabela 6100-4: Sumário de três aparelhos de cromatografia gasosa.

VANTAGENS		DESVANTAGENS
Purge and Trap AID	<ul style="list-style-type: none"> • Arquivo de dados via PC. • Resposta a aromáticos, alcanos clorados e alcanos. • Facilmente descontaminado. • Adsorção interna permite uma pré-concentração da amostra para aumentar a sensibilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faixa linear limitada (10^2 a 10^3). • Capacidade da coluna capilar limitada.
TCD	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez na resposta. • Detecta um largo leque de compostos. • Melhor detector para gases permanente (O_2, N_2, CO, CO_2 e CH_4). • Grande biblioteca de compostos. • Coluna dual para identificação/cominação de compostos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidade baixa (> 1ppm). • Requer um sistema de dados externo sofisticado. • Concentrador externo para níveis de ppb.
Headspace PID	<ul style="list-style-type: none"> • Alta sensibilidade (baixa faixa de ppb). • Pré-coluna com retrolavagem • Capacidade de capilaridade da coluna. • Uso geral, métodos bem desenvolvidos. • Ideal para aromáticos (Btx) e PCE, TCE, DCE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle da temperatura das colunas limitada. • Interferência em altas temperaturas ambientes.

Fonte: COMPTON, H. (1992)

- **tipo de detector** => relativo à sensibilidade requerida e classe do composto;
- **sistema de injeção** => matrizes da amostra;
- **tipo de coluna** => compostos da amostra;
- **temperatura de queima** => compostos da amostra;
- **sistema de dados** => GQ/CQ e requerimentos de arquivo.

2.2 Cromatografia a gás/espectrometria de massa (GCMS)

O GCMS é particularmente útil pela sua capacidade de medir concentrações de uma larga variedade de contaminantes.

Esse equipamento pode ser miniaturizado, embora seu uso tradicional seja para trabalhos em laboratório.

De qualquer forma, são os métodos mais sofisticados e caros, voltados para análises finas de TOC (carbono orgânico total), POX/AOX/EOX (halogenados orgânicos purgáveis, adsorvidos ou extraídos) e ainda para análises por infravermelho.

2.3 Sistemas de sensores químicos

Sistemas de sensores químicos são uma tecnologia nova e emergente que pode oferecer muito na identificação e quantificação de compostos.

Contudo, sua aplicação no campo ambiental ainda é relativamente pouco utilizada.

Os métodos mais aplicados são espectrometria infravermelho e ultravioleta.

2.4 Espectrometria de fluorescência de raios X (XRF)

A espectrometria de raios X baseia-se no efeito fotoelétrico, ativando átomos de materiais em solo seco e contabilizando os RX que são produzidos.

Esse método permite detectar 23 tipos de compostos metálicos e pode ser utilizado para medir a extensão da contaminação, selecionando amostras para análises em laboratório e determinando os pontos de maiores teores (*hot spots*), etc. Apesar da existência de modelos portáteis, ainda é um sistema caro e em fase experimental.

2.5 Analisador de vapor orgânico (SNIFER)

Utilizado de modo semelhante ao anterior, mede metano e gás sulfídrico. Ideal também como equipamento de segurança em locais onde podem ser encontrados esses gases, como minas, fábricas abandonadas, etc.

Metodologicamente, baseia-se em um PID, com diferentes formas de amostragem, podendo ser realizada, por exemplo, em *head space*.

São os métodos mais difundidos no mundo e também no Brasil, e abrangem uma variedade grande de aparelhos e especificidades, dependendo dos compostos que se queira amostrar.

Podem ser citadas determinadas técnicas, associadas a equipamentos específicos, tais como:

- Medidor PID
- Tubos DRÄGER
- PETREX

2.6 Tubos colorimétricos

São indicadores químicos de resposta rápida, específicos para cada composto, utilizados, principalmente, para medições de vapores orgânicos em solo e ar.

Produzidos em forma de kits para compostos específicos, sua técnica baseia-se na cravação de pequenos tubos de vidro com uma abertura numa das pontas. Com a passagem dos vapores que emanam do solo, ocorre uma reação química interna no tubo, cuja resposta colorimétrica indicará a natureza do contaminante ou sua concentração.

Obviamente para obter-se melhores resultados, o método depende de condições geológicas, como o teor de argilas ou o grau de compactação do solo, que podem limitar a capacidade de volatilização de algum composto.

2.7 Explosivímetro

Detecta a concentração de oxigênio, bem como os limites inferiores de explosividade para gases combustíveis, sendo a leitura feita em ppm. Ideal para detectar vapores de benzeno, tolueno e xileno (BTX) no solo, em poços e no ar. Empregado, também, como equipamento de segurança, antes de se adentrar em locais com risco de explosão.

2.8 Analisador de vapor de mercúrio

Indicado para medições de concentração (ppm) de vapores de mercúrio metálico e metilmercúrio. Utilizado para a determinação dos pontos de maior de concentração (*hot spots*) de mercúrio metálico volátil.

O método baseia-se na diferença de condutividade através de uma amálgama com ouro (Au), obtendo-se a resposta de concentração em ppm/m³ de ar analisado.

Apesar de ser um aparelho bastante útil na identificação de “hot spots” de mercúrio, é bastante sensível ao manuseio (choques, batidas, quedas, etc.), demandando muita manutenção e que por vezes pode inviabilizar campanhas de *screening*, atrasando os trabalhos e aumentando os custos.

Para uma maior eficiência do aparelho é preferível utilizá-lo em dias ensolarados e nas horas de maior calor, pois esses fatores proporcionam uma maior volatilização

do mercúrio, da mesma forma que, para os tubos colorimétricos, as condições geológicas locais também influenciam numa maior ou menor volatilização.

2.9 Imunoassay

São kits de fácil manuseio no campo e de resposta rápida, baseado em mecanismos de anticorpos. Detectam concentrações de até 2 ppm no solo, embora sejam semi-quantitativos.

O método se baseia na utilização de anticorpos (moléculas biológicas) com capacidade de unir especificamente somente os compostos alvo, formando uma amostra de matriz complexa. Através da ligação de anticorpos seletivos com o sistema indicador colorido, mínimas concentrações (em ppm) do composto alvo pode ser determinadas. Nesse método, por exemplo, os anticorpos reconhecem todos os PCBs como constituintes de única classe.

São utilizados também para a identificação de hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH) e hidrocarbonetos totais, sendo comumente empregados, também, para pentaclorofenol, pesticidas, nitroaromáticos e metais em solo e água.

2.10 Teste “Beilstein”

O teste de Beilstein é o mais simples e mais rápido de execução no campo. Utilizado para detecção de cloro associado a moléculas orgânicas, baseia-se na queima de uma amostra suspeita sobre um fio de cobre. Caso a chama se torne verde, é identificada a presença desse tipo de cloro

Apesar de ser um teste simples e praticamente sem nenhum custo, pode, por exemplo, acusar a presença de cloro decorrente da existência de pesticidas, tais como o HCH.

Sua aplicação é apenas qualitativa, devendo as amostras serem encaminhadas para laboratório.

3 Referências bibliográficas

COMPTON, H. – Field screening methods. In: RCRA Corretive Action Stabilization Technologies, proceedings, USEPA, p. 21-28. EPA/625/R-92/014, 1992.

IHOBE – Sociedad Pública de Gestión Ambiental – Investigación de la Contaminación del Suelo – Manual Práctico – Plan Director para la Protección del Suelo, draft 1996.

6200 Métodos geofísicos

1 Geofísica aplicada à detecção da contaminação do solo e das águas subterrâneas

Os **métodos geofísicos** são técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se, portanto, como **métodos não invasivos** ou não destrutivos.

Essa metodologia permite avaliar as condições geológicas locais através dos contrastes das propriedades físicas dos materiais de subsuperfície, por exemplo condutividade ou resistividade elétrica, permissividade dielétrica, magnetismo, densidade, etc., que podem ter como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades naturais ou não.

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície, como, por exemplo, as sondagens, é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor. Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea.

No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a realização de levantamentos geofísicos tem por objetivo básico a identificação da presença da contaminação subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados.

As características do meio geológico, além da natureza da contaminação, podem determinar o comportamento dos contaminantes em subsuperfície. Nesse contexto, a interpretação dos dados geofísicos pode contribuir para a obtenção de informações sobre a litologia, estratigrafia, profundidade do nível d'água, profundidade do embasamento, presença de falhas ou fraturas, existência de aquíferos importantes, caminhos preferenciais de propagação subterrânea e outras feições geológicas de interesse.

Na avaliação da presença da contaminação em profundidade, o emprego dos métodos geofísicos está voltado, especificamente, à localização de valas contendo resíduos, investigação da contaminação disseminada no solo e nas águas subterrâneas, detecção de tanques e tanques enterrados e determinação de vazamentos em tanques ou dutos.

A aplicação de dois ou mais métodos geofísicos distintos aumenta a precisão das interpretações, sendo que a natureza dos contaminantes e a geologia local são os fatores decisivos na seleção das técnicas geofísicas a ser utilizadas.

Os desvios significativos do padrão normal das medidas geofísicas, que são as anomalias, podem, do ponto de vista ambiental, apontar a presença de contaminantes em subsuperfície. A interpretação das anomalias é fundamental, pois pode indicar a intensidade da contaminação presente, proporcionando, assim, dados importantes para as atividades de diagnóstico, monitoramento da propagação dos contaminantes e acompanhamento da recuperação de uma área contaminada.

Dessa forma, as informações derivadas dos levantamentos geofísicos são úteis para a locação dos poços de monitoramento, como também podem fornecer estimativas de área e volume para as atividades de remoção e remediação de solos contaminados. Além disso, podem ser aplicadas para reduzir o risco de perfuração de tanques e tambores enterrados contendo resíduos, ou de dutos e galerias subterrâneas.

A realização dos levantamentos geofísicos pode ser efetuada nas diferentes etapas de atividades estabelecidas para o gerenciamento de áreas contaminadas:

- Na etapa de investigação confirmatória, as técnicas geofísicas são utilizadas para localizar os pontos de amostragem mais adequados, através da determinação de anomalias que representam os locais com maiores concentrações de contaminantes (hot spots);
- Quando da investigação detalhada e investigação para remediação, os métodos geofísicos podem ser empregados para o mapeamento e monitoramento da propagação da contaminação;
- Na fase de remediação de áreas contaminadas, estes métodos podem ser aplicados na avaliação da eficiência dos trabalhos de recuperação pela confirmação das reduções das concentrações dos contaminantes.

2 Principais métodos geofísicos para investigações ambientais

Existe uma variedade de métodos geofísicos que podem ser utilizados nos estudos ambientais, porém os principais e mais adequados métodos, que comumente são aplicados à investigação da contaminação do solo e da água subterrânea, são o geo-radar (GPR), o eletromagnético indutivo (EM), a eletrorresistividade (ER) e a magnetometria.

A vantagem desses métodos em relação a outros métodos geofísicos consiste basicamente na capacidade de detecção direta da contaminação subterrânea e não apenas na identificação das feições geológicas das áreas em estudo.

2.1 Geo-radar (Ground Penetrating Radar – GPR)

- propriedade física: permissividade dielétrica;
- princípio: onda eletromagnética refratada e refletida;
- aplicação: caracterização geológica e hidrogeológica, localização de resíduos enterrados, localização de dutos e galerias subterrâneas, cubagem em aterros e lixões e detecção de contaminação orgânica ou inorgânica.

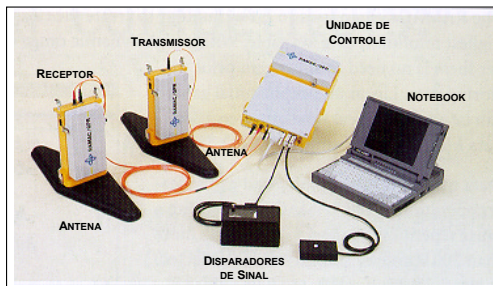


Figura 6200-1: Equipamento de geo-radar



Figura 6200-2: Modo de operação

2.2 Eletromagnético indutivo (EM)

- propriedade física: condutividade elétrica;
- princípio: indução de campo eletromagnético no subsolo;
- aplicação: definição das condições hidrogeológicas naturais, localização de resíduos, tambores e tanques enterrados, galerias subterrâneas e delimitação de plumas de contaminação inorgânica.



Figura 6200-3: Condutivímetro EM31 (prof. de investigação: 3 e 6m).

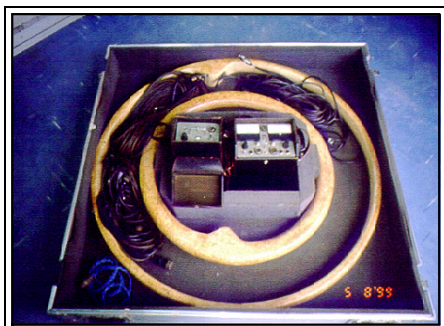


Figura 6200-4: Conduvímetro EM34 (prof. de investigação: 7.5, 15, 30 e 60m).



Figura 6200-5: Modo de operação.

2.3 Eletorresistividade (ER)

- **propriedade física:** resistividade elétrica;
- **princípio:** injeção de corrente no solo;
- **aplicação:** caracterização hidrogeológica, determinação dos estratos geológicos, localização de resíduos enterrados e mapeamento de plumas de contaminantes inorgânicos.



Figura 6200-6: Resistívmetro de campo

2.4 Magnetometria (método magnético)

- propriedade física: suscetibilidade magnética;
- princípio: determinação de anomalias de materiais ferromagnéticos;
- aplicação: localização de tanques, tambores e de resíduos metálicos ferrosos enterrados.



Figura 6200-7: Utilização do magnetômetro.

3 Potencialidades de aplicação dos métodos geofísicos

A seguir, são relacionadas as potencialidades dos métodos geofísicos de geo-radar, eletromagnético indutivo, eletrorresistividade e magnetometria para fins ambientais:

3.1 Geo-radar (GPR)

- Realização de perfis ao longo de linhas, produzindo seções contínuas e instantâneas (Figura 6200-8);
- A faixa de velocidade varia de 0,5 a 2,0 km/h para perfis detalhados e velocidades superiores a 8,0 km/h em perfis de reconhecimento;
- Os registros gráficos podem ser, freqüentemente, interpretados no campo;
- Boa definição para corpos de poucos centímetros a 1 metro, dependendo da antena a ser utilizada;

- Adequação do equipamento às condições locais através da mudança de antenas (frequência): altas frequências obtêm melhor definição; baixas frequências fornecem maior profundidade de investigação;
- Profundidades aproximadas e relativas são facilmente estabelecidas, assumindo-se simples condições e técnicas de interpretação;
- Possibilidade de detecção de contaminação por compostos orgânicos;
- Utilização do método em áreas urbanas;
- Aplicabilidade sobre a água, concreto, asfalto ou qualquer outro tipo de superfície (exceção feita às superfícies metálicas e à água do mar);
- Uma ampla variedade de técnicas de processamento pode ser aplicada aos dados de radar, para aperfeiçoar a interpretação e apresentação;
- Capacidade de detecção de dutos ou galerias subterrâneas de qualquer tipo de material;
- Possibilidade de identificação de vazamentos em tubulações.

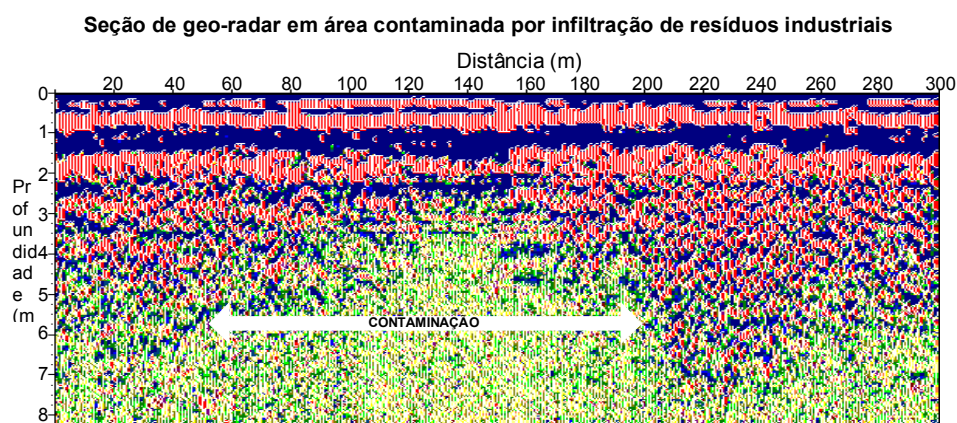


Figura 6200-8: Seção de geo-radar indicando os limites da contaminação (atenuação do sinal) provocada pela infiltração de resíduos industriais.

3.2 Eletromagnético indutivo (EM)

- Rápida aquisição de dados, resultando em levantamentos de alta densidade e definição;
- Instrumentos de registros contínuos podem aumentar a velocidade, densidade e definição dos levantamentos, permitindo a cobertura total do local investigado;
- Os limites da pluma de condutividade do solo ou das águas subterrâneas podem ser detectados e medidos (Figura 6200-9);
- A faixa de profundidade de aquisição de dados varia de 0,75 a 60 metros, aproximadamente, dependendo do equipamento utilizado;
- As leituras são realizadas diretamente em unidades de condutividade elétrica (miliSiemens/m), possibilitando o uso direto dos dados de campo, e

correlacionando-os à condutividade de amostras do solo e da água subterrânea;

- Capacidade de mapear variações das diferentes porções hidrogeológicas;
- A direção de fluxo da pluma de contaminação pode ser determinada através dos mapas e seções de isocondutividade;
- Medidas levantadas em épocas diferentes podem fornecer taxas da migração dos contaminantes no solo e na água subterrânea, contribuindo para o monitoramento local;
- Possibilidade de mapear minerações abandonadas, estimar seus volumes e detectar resíduos enterrados;
- Detecção e mapeamento de dutos metálicos enterrados.

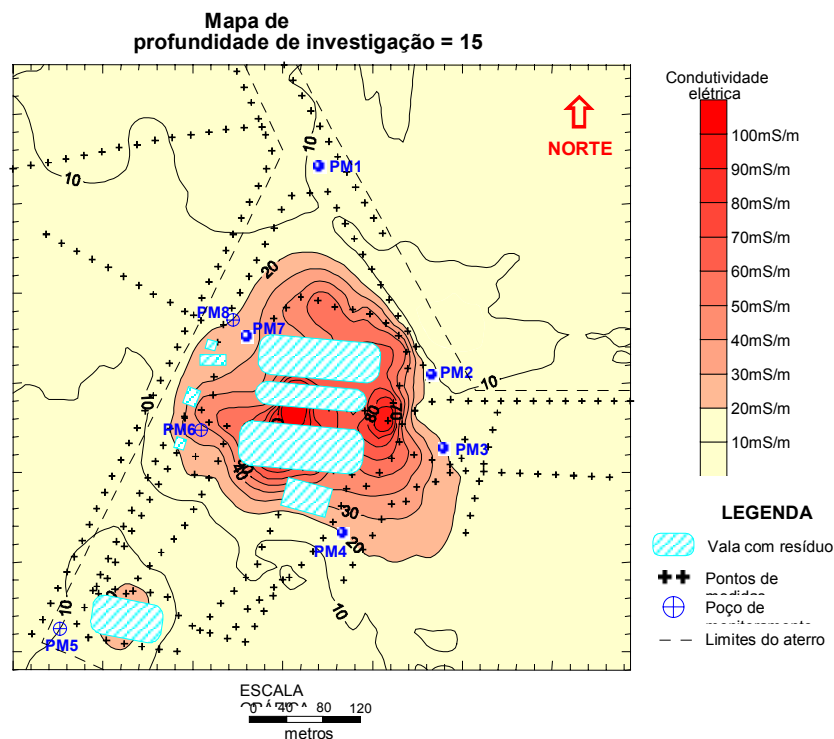


Figura 6200-9: Mapa de isocondutividade apresentando os limites da pluma de contaminação proveniente de aterro industrial desativado.

3.3 Eletrorresistividade (ER)

- A técnica de caminhamento pode ser empregada para detectar e mapear as plumas de contaminação, e também as variações na hidrogeologia local;
- Através da técnica de sondagem elétrica vertical (SEV) é possível estimar a profundidade, espessura e resistividade das camadas em subsuperfície, além da profundidade aproximada do nível d'água (Figuras 6200-10 e 6200-11);
- Os dados de caminhamento ou sondagem elétrica podem ser avaliados qualitativamente ou semiquantitativamente no campo;

- Os dados de resistividade podem fornecer a provável composição geológica de uma camada ou estimar a condutividade específica da pluma;
- A profundidade de aterros ou de locais de descarte de resíduos pode, muitas vezes, ser estimada;
- Dos métodos apresentados é aquele que atinge maior profundidade de investigação (superior a 100m), dependendo fundamentalmente da abertura dos eletrodos de corrente, da geologia local e da corrente elétrica injetada no solo.

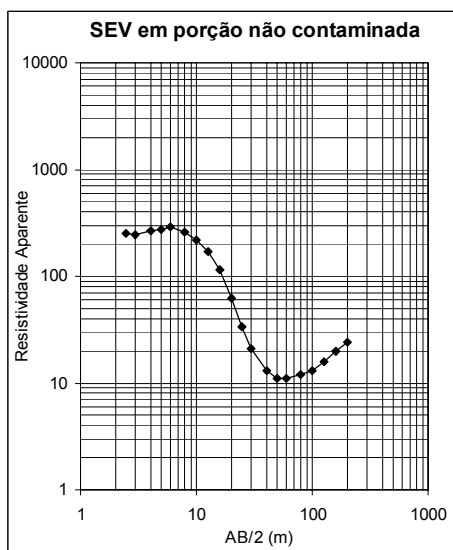


Figura 6200-10: Sondagem elétrica vertical externa à área de indústria suspeita de contaminação.

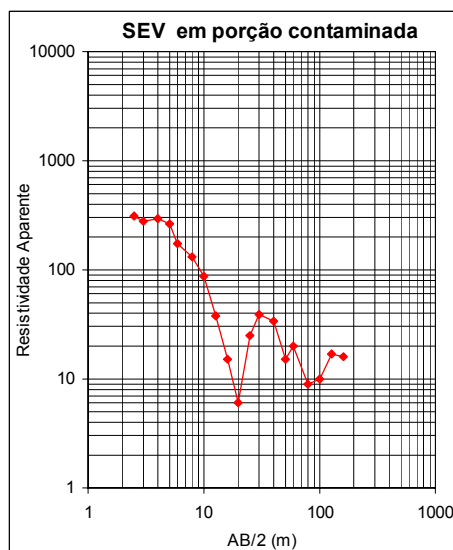


Figura 6200-11: Sondagem elétrica vertical realizada em local de infiltração de resíduos industriais.

3.4 Magnetometria (método magnético)

- Os magnetômetros respondem aos metais ferrosos (aço e ferro);
- Tambores individuais podem ser detectados a profundidade de até 6 metros;
- Um conjunto de tambores ou grandes tanques podem ser identificados de 6 a 20 metros de profundidade;
- Os magnetômetros atingem maiores profundidades que os detectores de metal;
- A interpretação dos dados é empregada para estimar o número e a profundidade de tambores enterrados;
- Obtêm-se respostas contínuas ao longo das linhas de investigação;
- Os levantamentos podem ser executados acoplado o equipamento a veículos para cobertura de grandes locais.

4 Seleção do método geofísico

Para a seleção de um método geofísico a ser empregado, o ideal é ter conhecimento da geologia local, das características físico-químicas das águas subterrâneas e do contaminante, do tipo de descarte efetuado e invólucro utilizado e da proximidade de edificações e instalações.

Dentre os aspectos mencionados, dois deles são preponderantes e decisivos na escolha do método o geofísico a ser empregado, que são:

- o tipo de contaminação;
- o ambiente geológico onde está disposto o contaminante.

4.1 Tipo de contaminação

A seguir, são efetuadas algumas considerações que relacionam os melhores métodos geofísicos a serem utilizados, de acordo com o tipo de contaminação a ser investigada.

Resíduos metálicos

A propriedade principal dos resíduos metálicos é a sua alta condutividade elétrica; além disso, se esses forem ferrosos também serão altamente magnéticos. Dessa forma, os dois métodos geofísicos mais apropriados são: o eletromagnético indutivo (EM) e o magnetométrico. Em áreas de interferências elétricas intensas, o magnetômetro será mais adequado; em contrapartida, se o resíduo estiver disseminado no solo, o método eletromagnético fornecerá melhores resultados.

Além desses métodos, o geo-radar tem se mostrado eficiente para a detecção desse tipo de material, com a vantagem de apresentar alta definição dos dados e menor suscetibilidade às interferências urbanas graças à blindagem das antenas.

Resíduos inorgânicos

Os resíduos inorgânicos, geralmente, produzem anomalias de alta condutividade (baixa resistividade), em relação ao meio onde está localizado. Assim, para a detecção desses resíduos é mais viável o emprego de métodos eletromagnéticos indutivos (EM) e do geo-radar. Além destes, a eletrorresistividade também pode ser utilizada como método alternativo. Dentre os métodos aqui apontados, o geo-radar leva vantagem, devido à continuidade dos seus perfis e da alta resolução obtida. Exemplos: a definição dos limites de valas com resíduos ou de lixões.

Pluma inorgânica na água subterrânea (íons e sais dissolvidos)

Os contaminantes inorgânicos em contato com a água subterrânea aumentam a concentração de íons livres, elevando a condutividade elétrica do meio. Para a determinação desses contrastes de condutividade, o método eletromagnético indutivo é mais indicado que a eletrorresistividade, principalmente pela rapidez de execução do levantamento e pela precisão na determinação de variações laterais.

O geo-radar pode ser empregado para este tipo de investigação como alternativa, uma vez que os limites da pluma inorgânica podem ser determinados pela atenuação das ondas eletromagnéticas.

Exemplos: mapeamento das plumas de contaminação a partir de aterros mal-controlados ou devido à infiltração de resíduos industriais.

Resíduos orgânicos e plumas orgânicas

Os compostos orgânicos possuem baixa condutividade elétrica e pequeno coeficiente dielétrico, apresentando, assim, pequeno contraste com as propriedades elétricas do meio geológico onde estão dispostos, dificultando, portanto, sua detecção. O geo-radar é, dentre os métodos geofísicos, o que tem apresentado os melhores resultados para identificação de contaminação por organoclorados, e, principalmente, por hidrocarbonetos (combustíveis).

Em condições muito especiais, podem ser empregados os métodos de eletrorresistividade e eletromagnético, a fim de se mapear as anomalias resistivas (baixa condutividade elétrica).

Rejeitos de mineração

Os rejeitos de mineração proporcionam anomalias condutivas, tanto no solo como nas águas subterrâneas. Assim, o método mais indicado para identificar essa contaminação é o eletromagnético indutivo, tendo como vantagem, em relação à eletrorresistividade, a agilidade do levantamento e a maior capacidade de detecção dos contaminantes disseminados no solo e na água subterrânea.

De forma alternativa, o geo-radar pode ser empregado para a detecção desse tipo de contaminação, graças a atenuação do sinal provocada pela alta condutividade dos rejeitos.

4.2 Influência do meio geológico na detecção da contaminação

O material geológico, no qual está localizado o resíduo ou o contaminante, atua, sobremaneira, na aplicabilidade e na eficiência dos métodos geofísicos que se baseiam na condutividade ou resistividade elétrica. Na seqüência, são relacionados os tipos dos materiais geológicos que podem influenciar na detecção da contaminação através do emprego desses métodos.

Argilas

Devido à alta condutividade elétrica apresentada pelas argilas, o contraste entre o valor da condutividade natural do meio (*background*) e a condutividade dos contaminantes inorgânicos pode ser pequeno, podendo mascarar a detecção da contaminação. Em contrapartida, com a presença de compostos orgânicos, os contrastes de condutividade poderão ser salientados.

Além disso, a presença de argila atenua a propagação dos campos e ondas eletromagnéticas, reduzindo a profundidade de investigação dos métodos eletromagnéticos indutivos (EM) e do geo-radar.

Rochas arenosas

Quanto maior é a resistividade desse tipo de material, maior será a profundidade de penetração dos campos e ondas eletromagnéticas no terreno. Assim, nesse tipo de ambiente, os métodos eletromagnéticos indutivos e o geo-radar detectarão de forma marcante os contrastes nas propriedades físicas provocadas pelos contaminantes inorgânicos ou metálicos.

Como método alternativo, também poderá ser utilizado o método de eletrorresistividade, lembrando-se que, quanto maior a resistividade do meio geológico, maior será a dificuldade de propagação das correntes elétricas.

Sedimentos não consolidados e material intemperizado

Os sedimentos superficiais não consolidados, representados pelas areias, cascalhos, seixos, e os materiais intemperizados, freqüentemente, apresentam maior resistividade e menor teor de argila em relação aos materiais mais compactados. Assim, esse tipo de meio favorece a aplicação dos métodos de eletrorresistividade, eletromagnético indutivo e o geo-radar na investigação de contaminantes de alta condutividade.

Rochas fraturadas

A contaminação orgânica e inorgânica presente em meios fraturados é de difícil identificação por métodos geofísicos de superfície. Nestes casos, os métodos geofísicos têm se mostrado eficientes na detecção das fraturas como caminhos preferenciais para os contaminantes.

Para a investigação da contaminação em si, os melhores resultados têm sido determinados por perfilagens eletromagnéticas e de resistividade, pois essas técnicas possibilitam a detecção de forma direta do contaminante localizado nas fraturas.

Áreas cársticas

Em áreas cársticas, existe grande variação das propriedades físicas do meio, o que dificulta a detecção da contaminação. Nesses locais, a aplicação dos métodos geofísicos deverá ser utilizada para caracterizar o meio geológico no qual os contaminantes possam se propagar.

Dentre os métodos abordados, o geo-radar é aquele que tem se mostrado mais eficiente para a detecção de cavidades, decorrente da alta definição e continuidade das seções obtidas.

5 Tabela resumo das principais aplicações dos métodos geofísicos em áreas contaminadas

	<i>Geo-radar</i>	<i>Eletromagnético</i>	<i>Eletrorresistividade</i>	<i>Magnetométrico</i>
<i>Caracterização geológica e hidrogeológica de locais</i>	1. Adequado	2. Alternativo	1. Adequado	3. Não se utiliza
<i>Mapeamento de pluma de contaminação inorgânica</i>	2. Alternativo	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza
<i>Localização de valas de resíduos e determinação dos limites de aterros e lixões</i>	1. Adequado	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza (só se houver presença de materiais metálicos)
<i>Investigação de resíduos orgânicos e pluma orgânica</i>	1. Adequado	2. Alternativo (em condições especiais)	2. Alternativo (em condições especiais)	3. Não se utiliza
<i>Deteção de objetos metálicos enterrados</i>	1. Adequado	2. Alternativo	3. Não se utiliza	1. Adequado

6 Tabela resumo das características principais dos métodos geofísicos

	Geo-radar	Eletromagnético	Eletrorresistividade	Magnetométrico
<i>Profundidade de investigação</i>	Até 30 metros Depende de: <ul style="list-style-type: none"> • Antenas utilizadas • Geologia local 	Até 60 metros, depende de: <ul style="list-style-type: none"> • Equipamento • Geologia local 	100 metros ou mais, depende de: <ul style="list-style-type: none"> • Abertura dos eletrodos • Corrente injetada no solo • Geologia local 	Até 20 metros, Depende de: <ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de material ferroso enterrado
<i>Suscetibilidade às interferências</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rede elétrica • Objetos metálicos próximos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rede elétrica • Objetos metálicos próximos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mau contato dos eletrodos com o solo • Outras correntes elétricas no solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Linhas de alta tensão • Qualquer objeto metálico próximo
<i>Características mais destacadas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Método de maior definição • Detecção de qualquer tipo de material enterrado 	<ul style="list-style-type: none"> • Detecção de contaminantes disseminados no solo • Determinação rápida de variações laterais 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da resistividade em profundidade • Grande profundidade de investigação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detecção e quantificação de objetos metálicos

7 Fontes de consulta

Greenhouse, J.P. "Aplicações de Metodologias Geofísicas em Estudos Ambientais e Geotécnicos". CEA/UNESP Rio Claro, 1996, 111pp.

Gretsky, P.; Barbour, R. & Asimenios, G.S. "Geophysics, Pit Surveys Reduce Uncertainty". Pollution Engineering (june), 1990, 102-108pp.

Nobes, D.C. 1996 "Troubled Waters: Environmental Applications of Electrical e Eletromagnetic Methods". Surveys in Geophysics (17). 393-454 pp.

Olhoeft, G. "Geophysics Advisor Expert System (version 2.0)" EPA/600/R-92/200. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1992.

6300 Amostragem do solo

Introdução

Quando um volume de solo precisa ser caracterizado, normalmente não existe a possibilidade de que todo ele seja examinado, sendo necessário que amostras do mesmo sejam coletadas. Essas amostras devem ser o mais representativas possíveis do material original ou área a ser caracterizada.

Antes de iniciar-se qualquer programa de amostragem de solo, os seus objetivos devem ser definidos (investigação confirmatória, detalhada e para remediação), pois são os fatores determinantes no planejamento do programa a ser executado (definição da densidade, da posição dos pontos de amostragem, dos procedimentos de campo, dos métodos de conservação das amostras e das necessidades analíticas). De acordo com os objetivos estabelecidos, serão determinados o grau de detalhe e a precisão a ser adotados no programa de amostragem estabelecido para a área.

Na definição desses objetivos, é importante levar-se em conta toda informação pré-existente do local ou mesmo aquelas existentes em locais similares ao estudado, em algumas situações; onde essas informações são escassas, pode ser necessária a realização de estudos iniciais, como a aplicação de métodos geofísicos e de "screening", antes que sejam definidos os objetivos finais da amostragem.

Portanto, deve ser enfatizado que a execução com sucesso dos objetivos delineados depende diretamente da qualidade do programa de amostragem planejado e da sua perfeita execução.

Dessa forma, segundo BYRNES (1994), na organização de um programa de amostragem para uma área específica devem ser definidos:

- Objetivos da amostragem de solo
- Necessidade e utilização dos dados
- Programa de amostragem

Esses tópicos são detalhados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1989), sendo apresentados a seguir.

1 Definição dos objetivos da amostragem de solo

Os dois aspectos mais importantes nessa etapa são o levantamento histórico de informações existentes da área e o desenvolvimento de um modelo conceitual para a mesma. Nessa etapa, serão definidos os objetivos e as ações a ser realizadas durante o processo de investigação/amostragem, resultando na identificação das deficiências de informações já existentes, justificando assim o levantamento de novos dados.

Nessa etapa, as seguintes ações podem ser efetuadas:

1.1 Identificar e envolver o grupo de pessoas que farão parte do programa de amostragem ou que utilizarão os dados levantados

No desenvolvimento de um programa de amostragem de solo, além do principal interessado, que em última instância será o responsável pelas decisões a ser tomadas, uma série de profissionais deve ser envolvida com a finalidade de complementar e detalhar o programa delineado. Esse grupo de pessoas normalmente envolve os seguintes profissionais:

- Responsáveis pela área investigada
- Coordenadores do projeto de caracterização/remediação
- Representantes do órgão de controle ambiental
- Representantes dos laboratórios responsáveis pelas análises
- Outras partes interessadas

Os coordenadores do projeto de caracterização/remediação da área estudada serão os principais responsáveis pela definição das necessidades de informações a ser levantadas no estudo de determinada área. Dessa forma, devem compor uma equipe multidisciplinar para atingir esse objetivo, formada por profissionais de diferentes áreas como agrônomos, geólogos, químicos, estatísticos, toxicologistas, etc.

Químicos e estatísticos devem fazer parte da elaboração de qualquer plano de amostragem de solo. Os químicos têm papel importante na determinação dos tipos de análises a ser realizadas e no estabelecimento dos níveis de detecção necessários para atingir-se os objetivos do estudo. Profissionais especializados em solo, como os agrônomos e geólogos, podem auxiliar na avaliação das interações dos compostos químicos com o solo. Os estatísticos ou outros profissionais com especialização em geoestatística são igualmente importantes na determinação da malha de amostragem que melhor avalie a distribuição espacial da contaminação existente.

Durante o processo de elaboração do plano de amostragem ou após seu início, verificada a necessidade de um refinamento do processo de coleta de dados, novos

técnicos de diferentes áreas podem se juntar à equipe montada para promover uma reavaliação dos dados levantados.

1.2 Avaliação preliminar

Uma avaliação preliminar deve ser efetuada previamente à elaboração do programa de amostragem. A avaliação preliminar é abordada de forma abrangente no capítulo 5000 deste manual, sendo comentados aqui apenas os aspectos mais específicos relativos a amostragem de solo.

Conforme já detalhado no capítulo citado acima, uma avaliação preliminar deve sempre compreender:

- Levantamento de dados existentes
- Visita de reconhecimento

Os principais objetivos da avaliação preliminar relativos à amostragem de solo são:

Melhorar o conhecimento acerca das condições atuais da área a ser investigada, pelo levantamento das atividades realizadas no passado, tanto na área como em sua vizinhança, permitindo que:

- programa de amostragem seja desenvolvido de forma eficiente e com custos mínimos.
- identificar as medidas necessárias para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores durante a investigação;
- identificar as medidas necessárias para proteger o meio ambiente durante a execução do programa de amostragem.

Outras informações relevantes na condução do programa de amostragem também podem ser reunidas, como, por exemplo, o meio de acesso dos equipamentos à área, serviços disponíveis nas imediações (laboratórios, lojas, descontaminação do equipamentos), disponibilidade de energia elétrica.

1.2.1 Levantamento e avaliação de informações já existentes do local

O levantamento de informações já existentes do local como resultado de um estudo preliminar ou exploratório constitui uma excelente fonte de informações na elaboração do plano de amostragem. As principais fontes de informação para realização do levantamento de informações históricas são comentados no capítulo 5000.

Áreas com situações similares a investigada, com estudos já realizados, também podem constituir-se em uma valiosa fonte de informações a ser aproveitadas.

Normalmente, as informações levantadas inicialmente mostram-se fragmentadas, desatualizadas e incompletas, auxiliando na investigação a ser realizada, mas insuficientes para dar suporte às decisões a ser tomadas.

Dessa forma, os dados de caracterização da área, levantados nessa etapa, devem ser examinados quanto a sua exatidão e validade atuais. Por outro lado, vale ressaltar que mesmo as informações julgadas inadequadas para os padrões de qualidade estabelecidos *a priori* ou devido a sua desatualização, podem ser de grande valia no estabelecimento de hipóteses sobre como os poluentes se comportaram ao longo do tempo, no local estudado, auxiliando na elaboração do modelo conceitual para a área em questão.

Nessa avaliação, os seguintes fatores devem ser considerados:

- Época de execução e a possibilidade de comparação;
- Precisão e exatidão dos dados;
- Pontos de coleta das amostras avaliadas;
- Plano de amostragem adotado na coleta das amostras (distribuição dos pontos de amostragem, métodos de coleta, preservação, frascos, transporte);
- Métodos analíticos utilizados;
- Limites de detecção;
- Métodos de controle de qualidade das amostras em laboratório e em campo.

Por exemplo, na caracterização de solo para orgânicos voláteis mais antigos, os métodos analíticos e, conseqüentemente, de coleta de amostras eram realizados de forma muito diferente da atual. Para esses parâmetros as amostras eram coletadas em frascos grandes, mantendo-se um espaço vazio (*headspace*); atualmente nesse procedimento utiliza-se um frasco de vidro de 125 ml com boca larga, preenchido completamente com a amostra, sem *headspace*.

1.2.2 Visita de reconhecimento

Uma visita de reconhecimento pode ser realizada durante o processo de avaliação preliminar, preferencialmente em conjunto com o trabalho de levantamento de dados, podendo ser realizado, se for o caso, de forma independente. Dependendo da variabilidade encontrada no local e das dificuldades técnicas no planejamento da investigação, um profissional experiente deve ser encarregado desse trabalho. No capítulo 5000 deste manual é apresentado um procedimento detalhado para realização da visita de reconhecimento.

1.3 Desenvolvimento de um modelo conceitual para a área

Conforme apresentado no capítulo 5000, o modelo conceitual constitui-se numa síntese das informações obtidas no levantamento de dados e na visita de reconhecimento.

O modelo conceitual para elaboração de um plano de amostragem de solo deve ser detalhado o suficiente para identificar claramente as fontes potenciais ou suspeitas da contaminação, tipos e concentrações esperadas dos contaminantes, meio afetado, caminhos de migração e receptores (Byrnes 1994).

As hipóteses de distribuição dos contaminantes contidas no modelo conceitual elaborado para a área orientaram o *design* do plano de amostragem. Ao final da amostragem e caracterização do solo, as informações levantadas retroalimentarão o estudo realizado e servirão para testar e corrigir, caso necessário, as hipóteses elaboradas para o modelo.

USEPA (1989) resume os componentes principais do compartimento solo a ser considerados no modelo conceitual:

- Cobertura do solo
- Relevo
- Matriz do solo
- Granulometria
- Solução do solo
- Vapor do solo
- Entulhos associados a contaminação

2 Definir a necessidade e utilização dos dados

Nessa etapa, devem ser especificados a utilização e os tipos de dados necessários para atingir-se os objetivos propostos. Com tal finalidade, devem ser estipulados os critérios que determinarão a adequação dos dados levantados.

2.1 Usos e tipos de dados necessários

Os dados necessários podem ser diferenciados em categorias, de acordo com o objetivo da investigação realizada. A USEPA (1987), citada por BYRNES (1994), apresenta as seguintes divisões para utilização dos dados:

- Identificação da fonte/responsável
- Caracterização do local
- Segurança e saúde do trabalhador
- Avaliação do risco a saúde
- Investigação para remediação
- Projeto de remediação
- Monitoramento da remediação

A mesma USEPA (1987), citada em USEPA (1989), exemplifica os tipos de dados necessários (análises), de acordo com as categorias definidas pelo objetivo da investigação, apresentadas acima. Um resumo desses tipos de dados são apresentado no Quadro 6300-1.

Quadro 6300-1: Análises de solo necessárias de acordo com o objetivo definido para a amostragem.

Tipo de análises	Análises necessárias para				
	Saúde e Segurança	Caracterização do local	Avaliação do risco	Investigação para remediação	Projeto de remediação
Químicas					
Metais	X	X	X	X	X
Orgânicos voláteis	X	X	X	X	X
Semi-voláteis	X	X	X	X	X
Outras	X	X		X	X
Físicas					
Densidade				X	X
Granulometria				X	X
Composição do material	X		X	X	X
Microbiológicas				X	X
Vapores	X	X	X		

Fonte: USEPA (1989).

2.2 Qualidade dos dados levantados

Após a definição dos tipos de dados a ser levantados, deve ser definida a qualidade que os mesmos devem possuir para que os objetivos delineados sejam alcançados. Nesse contexto, o termo "qualidade" refere-se principalmente à precisão e exatidão das análises realizadas dos dados levantados.

De uma forma geral, muito raramente todos os dados levantados sobre a área necessitam o mesmo nível de qualidade. Por exemplo, as medições efetuadas em campo utilizando métodos de *screening*, seja para orientar os pontos de amostragem ou com a finalidade caracterizar os riscos para a equipe de campo,

exigem uma qualidade de dados inferior àquela realizada para caracterização da área.

A USEPA (1987), citada por Byrnes (1994), apresenta a seguinte classificação quanto à qualidade dos dados levantados:

- Nível I: as análises são realizadas em campo pela utilização de instrumentos de *screening*, como os analisadores de vapores orgânicos, explosímetro, etc. As análises nesse nível normalmente não são realizadas para compostos específicos, entretanto apresentam resultados em tempo real.
- Nível II: as análises são realizadas em campo utilizando-se equipamentos analíticos de campo mais sofisticados, como cromatógrafos de gás portátil. A qualidade dos dados gerados nesse nível depende dos padrões de calibração disponíveis, dos materiais de referência e do equipamento de preparação das amostras. Nesse nível, a disponibilidade dos dados ocorre em um curto período de tempo ou mesmo imediatamente.
- Nível III: as análises são realizadas em laboratório, não sendo necessário que sejam seguidas recomendações especificadas pelo órgão regulador, como, por exemplo, documentos de validação da amostragem e metodologias padronizadas.
- Nível IV: as análises são realizadas em laboratório, devendo ser seguidas as recomendações especificadas pelo órgão regulador. Esse nível tem como característica principal os rigorosos procedimentos de controle de qualidade das amostras e a documentação exigida.
- Nível V: as análises serão realizadas em laboratório utilizando-se metodologias não padronizadas, desenvolvidas ou modificadas para que os limites de detecção especificados sejam atingidos.

Dessa forma, no estabelecimento da qualidade dos dados, devem ser especificados os níveis requeridos para a precisão, exatidão, representatividade e limite de detecção. Esses parâmetros são indicadores da qualidade dos dados levantados, e a definição das metas a ser atingidas para cada um deles determinará as técnicas amostrais e analíticas mais indicadas para serem empregadas (Byrnes 1994).

A USEPA (1989) apresenta as seguintes definições para esses parâmetros indicadores de qualidade:

Limite de detecção

Os limites de detecção devem ser selecionados de acordo com os objetivos definidos no programa de amostragem. Por exemplo, em uma amostragem cuja finalidade é a de identificar a presença de determinado contaminante em um local (*hot spots*) ou mesmo identificar a profundidade de uma pluma de contaminação no perfil do solo, são utilizadas as técnicas de investigação descritas nos níveis I e II apresentados acima. Nesses casos, os limites de detecção dos instrumentos utilizados são muito superiores aos conseguidos em laboratório, entretanto são suficientes para os propósitos dessa fase dos trabalhos, em que apenas procura-se identificar as áreas com elevada concentração dos poluentes.

O limite de detecção pode estar associado com as concentrações de determinado poluente no meio, que represente um risco à população exposta. O limite de detecção não pode ser escolhido *a priori*, com base no método de análise disponível, mas sim definido de acordo com as necessidades das decisões a ser tomadas. Normalmente, recomenda-se que seja usado, sempre que possível, um limite de detecção com uma ordem de grandeza menor do que a menor concentração esperada.

Precisão

A precisão é uma estimativa da variabilidade de um grupo de medidas em relação a sua média. A precisão é normalmente representada em termos de desvio de padrão, entretanto outras estimativas podem ser utilizadas, tais como o coeficiente de variação e a amplitude de variação. A precisão requerida em determinada situação dependerá da diferença existente entre as concentrações de *background* e de intervenção. Substâncias químicas que possuem um valor de intervenção muito baixo (ppb) para sua concentração no solo podem requerer uma precisão muito maior quando comparadas a substâncias em que esse nível situa-se na faixa de partes por milhão (ppm). O nível de manipulação ao qual uma amostra é submetida antes de ser analisada também pode interferir na precisão do processo de medição. Por exemplo, uma amostra que será analisada para metais será seca, peneirada e homogeneizada e então cuidadosamente subamostrada. Essa subamostra apresentará uma precisão maior do que aquela que não foi submetida a esse processo de preparação. Por outro lado, amostras contaminadas com compostos voláteis ou semivoláteis não deverão passar por esse tipo de preparo. Convém que seja lembrado que a precisão de um processo de análise também pode ser afetada pelos procedimentos de amostragem adotados no campo.

Para avaliar a precisão do processo de análise, recomenda-se a utilização de amostras de controle de qualidade em replicata. Essas amostras podem ser coletadas no mesmo local ou serem formadas pela subdivisão da amostra a ser enviada para a rotina de análise. Outra forma seria a coleta de uma amostra de “auditoria de campo”. Esses tipos de amostras são apresentados e descritos no Quadro 6300-9.

Exatidão

A exatidão refere-se à medida dos erros do processo analítico. Padrões, amostras alteradas, amostras de referência e amostras de auditoria de campo podem ser utilizadas para medir a exatidão do processo de análise, assim como a comparabilidade dos resultados.

Representatividade

Representatividade mede o grau no qual as amostras coletadas refletem as condições de uma área em particular. Por exemplo, uma amostra de solo coletada no ponto de maior contaminação de uma determinada área (*hot spot*) não representa as condições de toda a área, mas apenas fornece uma limitada indicação da magnitude do problema. A distribuição e localização dos pontos de amostragem devem ser adequadas para fornecer a representatividade planejada.

Integralidade

É a medida da quantidade de dados validados obtidos de um determinado esquema de amostragem. Isso é calculado pela divisão do número de dados validados pelo total de amostras coletadas. A perda de amostras pela sua invalidação pode prejudicar a análise final dos dados (análise estatística). Dessa forma, o Departamento de Energia dos Estados Unidos estabeleceu um valor aceitável de 90% para a integralidade das amostras.

Comparabilidade

Parâmetro qualitativo que expressa o nível de confiança com o qual um dado pode ser comparado com outro. Os dados de amostragem podem ser comparados com outros levantados em condições similares (amostragem e condições de amostragens); isto possibilita uma base de comparação para as tendências esperadas para o programa.

3 Programa de amostragem

3.1 Equipe de amostragem

De acordo com a norma ISO/DIS 10381-1, dois pontos devem ser considerados em relação à equipe responsável pela amostragem:

3.1.1 Experiência da equipe

É recomendável que a equipe responsável pela amostragem ou pelo menos uma parte dela possua conhecimentos aprofundados de ciência do solo. Em locais em que o solo apresenta horizontes muito pouco diferenciados, com características muito semelhantes, a amostragem pode ser efetuada por pessoas com pouco ou nenhum conhecimento sobre solos, determinando-se previamente as profundidades a ser amostradas. Por outro lado, onde o perfil do solo é formado por horizontes distintos ou quando profundas diferenças ocorrem entre horizontes contíguos, pode existir a necessidade de a profundidade de amostragem ser determinada pela posição desses horizontes, ficando difícil e em alguns casos impossível que esse serviço seja executado por pessoas sem conhecimento de pedologia e em menor grau de geologia, hidrogeologia e geomorfologia.

A equipe de amostragem também deverá possuir conhecimento das técnicas e equipamentos de amostragem comumente utilizados, suas vantagens e desvantagens. As pessoas que irão realizar a amostragem serão responsáveis pelo correto uso dos equipamentos e pelos procedimentos de descontaminação a ser realizados entre um ponto amostragem e outro, visando impedir a ocorrência de contaminação cruzada. Os amostradores devem ser consultados à respeito do tipo de equipamento a ser utilizado em campo, bem como devem estar devidamente instruídos a respeito das precauções de segurança a ser tomadas tanto em relação

aos equipamentos que irá operar quanto aos possíveis contaminantes que podem estar presentes na área. Esse treinamento torna-se ainda mais importante quando o trabalho for executado em empreendimentos industriais desativados.

3.1.2 Equipe de amostragem e a elaboração do programa de amostragem

Uma vez que a amostragem depende da equipe de trabalho, as responsabilidades devem estar bem claras em todas as etapas da campanha de amostragem, tanto no escritório como no campo. O amostrador nunca deverá proceder a amostragem sem ter idéia clara dos objetivos deste procedimento.

É recomendável, quando possível, que a equipe de amostragem seja convidada a participar dos estágios preparatórios da campanha de amostragem. Essa atividade deve ser uma prática comum para todas as estratégias desenvolvidas para áreas contaminadas ou suspeitas de estarem contaminadas.

A menos que estejam disponíveis um laboratório móvel, os responsáveis pela análise das amostras raramente estarão presentes no local. Em algumas situações isso pode acarretar problemas, uma vez que entre a coleta da amostra e o envio da mesma ao laboratório pode ocorrer a sua descaracterização. Devido a acontecimentos inesperados em que decisões a esse respeito devam ser tomadas, pessoas que irão participar da caracterização das amostras devem fazer parte da equipe que elaborará o plano de amostragem.

3.2 Procedimentos de segurança e proteção à saúde

A atividade de investigação em áreas contaminadas expõe a equipe de campo a uma série de riscos, pela possibilidade da existência de substâncias e compostos químicos perigosos, microrganismos patogênicos (bactérias e viroses), o que requer um planejamento dos procedimentos de segurança e proteção à saúde que devam ser adotados para cada situação específica. Para obtenção de informações mais detalhadas sobre esse assunto, sugerimos a consulta de normas específicas, como a ISSO/TC 190/SC 2 – Soil quality – Sampling – Parte 3: Guidance on safety

3.3 Plano de amostragem

O objetivo da amostragem do solo é assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição na área investigada de determinadas substâncias, de acordo com o objetivo da fase de investigação para a qual foi desenvolvida.

Dessa forma, os seguintes fatores devem ser considerados na elaboração de um plano de amostragem do solo:

- Distribuição dos pontos de amostragem
- Número de pontos de amostragem
- Profundidade de amostragem

- Quantidade de amostra necessária – tamanho da amostra
- Amostras simples e compostas
- Protocolo de amostragem e preparação de amostras de solo
- Técnicas de amostragem

3.3.1 Distribuição dos pontos de amostragem

O objetivo primário ao estabelecer-se um esquema de distribuição dos pontos de amostragem é promover um levantamento de dados representativo da área avaliada, considerando-se um custo de investigação já fixado ou que deva ser minimizado. O segundo objetivo é a adoção de um esquema de amostragem simples, que facilite a análise dos dados e a sua implantação em campo.

A adoção de um esquema de amostragem é baseada na estimativa da distribuição dos contaminantes presentes no solo na área investigada e no tipo de substância presente. Basicamente as seguintes situações podem ser verificadas, ou mesmo uma associação entre elas:

- A distribuição da contaminação na área é desconhecida
- A distribuição da contaminação na área é difusa e gradiente.
- A distribuição da contaminação na área esta concentrada em determinados pontos – “hot spots”

A escolha da malha de amostragem mais apropriada estará associada a essa distribuição dos contaminantes e a sua forma deve ser adaptada às condições locais.

Áreas contaminadas que possuem sérios impactos econômicos ou à saúde da população exposta requerem a seleção e aplicação de malhas de amostragem mais detalhadas e precisas. A escolha do esquema de amostragem estará condicionado às informações conseguidas durante a investigação preliminar.

3.3.1.1 Esquema com distribuição direcionada dos pontos de amostragem

De acordo com a norma ISO/DIS 10381-1, na amostragem direcionada a locação dos pontos de amostragem é realizada de acordo com o conhecimento já existente a respeito das fontes e vias de disseminação da contaminação, evidências visuais de contaminação do solo ou aplicação de métodos de **screening** na área.

Por outro lado, deve ser considerado que um esquema de amostragem com essa conformação pode ser afetado por um grande número de fatores, os quais podem falsificar os resultados. Por exemplo, a execução da amostragem em pontos de acesso facilitado ou em locais em que o solo foi aparentemente removido e a amostragem realizada por pessoas que conhecem bem a área, mas com pouca experiência, tendem a selecionar pontos em que as concentrações esperadas são muito elevadas ou muito baixas. Nessas situações exemplificadas, teremos uma

amostragem pouco significativa da área, identificando-se apenas situações específicas.

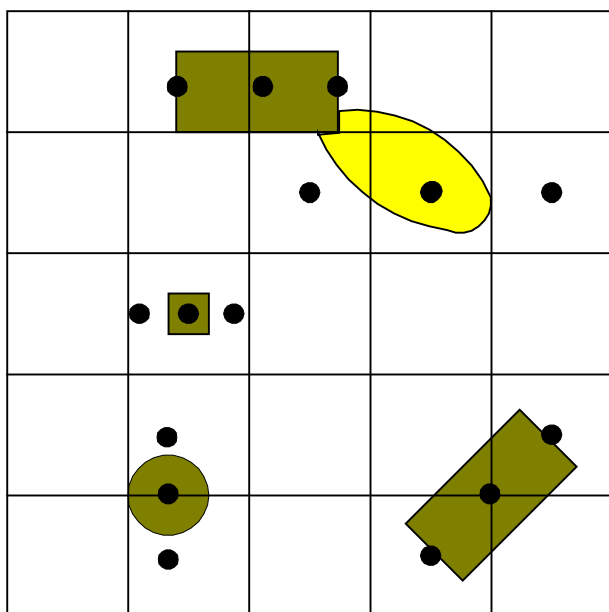


Figura 6300-1: Esquema de distribuição direcionada dos pontos de amostragem.

3.3.1.2 Esquema com distribuição aleatória

Algumas investigações são realizadas sem que nenhum esquema de amostragem seja planejado. Isso não pode ser confundido com uma distribuição dos pontos de forma aleatória, pois a adoção desse procedimento também requer um planejamento prévio, ou seja, deve ser assegurado que todo ponto deve ser locado na área sem que seja levado em conta a posição de qualquer outro.

Esquema de distribuição aleatória simples

Um esquema aleatório é a forma mais comum de distribuição dos pontos de amostragem. Essa forma de investigação simplifica a análise estatística, entretanto, é tipicamente muito dispendioso com os recursos utilizados e muito difícil de ser justificado. USEPA (1989).

Pode ser aplicado em casos em que pouca informação prévia da área está disponível e presume-se uma distribuição irregular das zonas contaminadas.

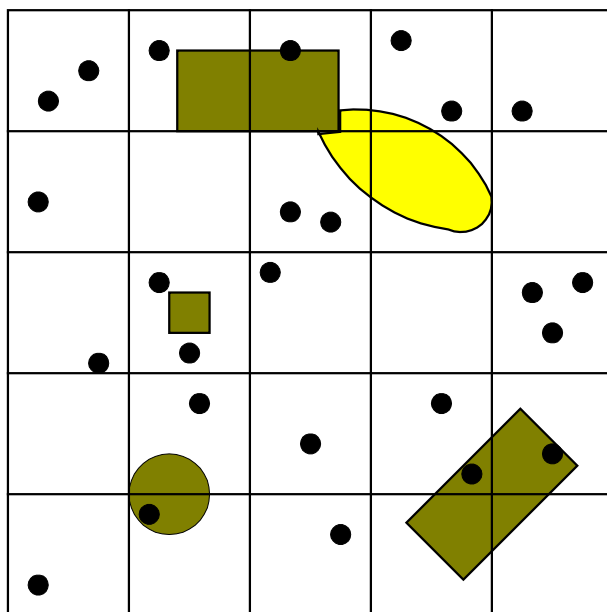


Figura 6300-2: Esquema de distribuição aleatória dos pontos de amostragem.

Esquema com distribuição aleatória estratificado

Uma outra forma muito comum de distribuição aleatória dos pontos de amostragem é o estratificado (ISO/DIS 10381-1), em que procede-se uma divisão regular da área, distribuindo-se os pontos de forma aleatória em cada uma delas. Com esse esquema de amostragem, assegura-se que todas as subáreas que compõe o local investigado serão amostradas, o que pode não ocorrer em um esquema aleatório simples.

A subdivisão implantada na área pode levar em conta informações prévias (históricas ou científicas) de que as concentrações dos poluentes são completamente diferentes em determinados segmentos que compõe a área a ser amostrada. A distância em relação à fonte de emissão do poluente é um exemplo de critério a ser utilizado nessa estratificação.

Nas duas formas de amostragem aleatórias, com ou sem estratificação, não levam em conta a continuidade e correlação espacial entre as propriedades do solo. Dessa forma, ao assegurar-se uma distribuição aleatória dos pontos de amostragem, dois pontos podem ser localizados muito próximos gerando informação redundante e desperdiçando os recursos empregados (ISO/DIS 10381-1).

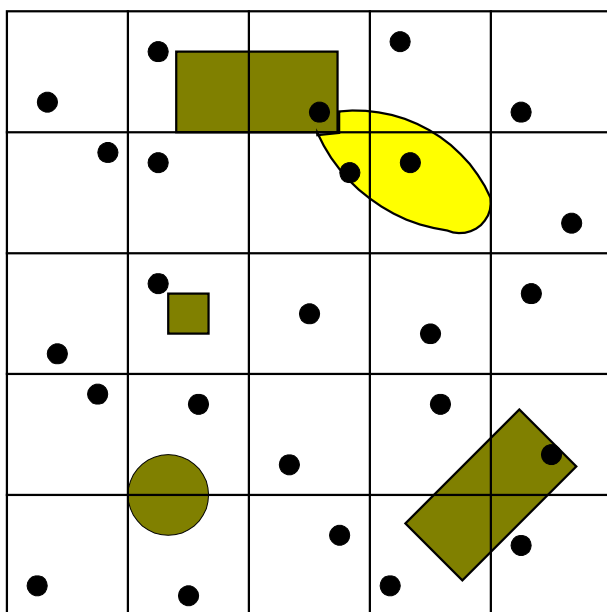


Figura 6300-3: Esquema de amostragem com distribuição aleatória estratificada.

3.3.1.3 Esquema com distribuição sistemática

Uma forma de contornar os problemas da amostragem aleatória estratificada é o emprego de um esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem (malha de amostragem) que, além de evitar a coleta de amostras em pontos muito próximos, apresenta as mesmas vantagens da subdivisão da área.

Segundo a USEPA (1989), a experiência e as considerações teóricas mostram que na maioria dos casos a aplicação de uma malha regular com distribuição sistemática dos pontos de amostragem mais práticos gera um retrato detalhado da variação das propriedades do solo existentes no local. Tem como vantagem a facilidade de implantação no campo e a possibilidade de adensamento do número de pontos em que for necessário, por meio de uma amostragem direcionada.

Na prática, entretanto, ao planejar-se uma malha regular nem sempre é possível efetuar o ponto de amostragem no local predeterminado, devido à presença de obstruções, como estradas, construções, rochas, árvores, entulhos e utilidades (galerias, tubulações, etc.) Outro problema seria a constatação da ocorrência de aterros ou cortes recentes no ponto a ser amostrado. Nessas situações, a equipe de amostragem deve ser orientada a locar o ponto de amostragem o mais próximo possível do originalmente demarcado, respeitando um direcionamento previamente definido e assegurando-se de que a distância entre os dois pontos (original e remarcação) seja menor que a metade do espaçamento utilizado para a malha. USEPA (1989).

Seguindo a agência ambiental americana, uma distribuição sistemática dos pontos, a forma de malha de amostragem mais eficiente é a triangular, que proporciona uma hipótese mais segura da distribuição espacial dos poluentes; entretanto, uma malha quadrada ou retangular é facilmente aplicável na prática e a diferença de eficiência não é muito grande.

Uma malha circular (radial) apresenta-se vantajosa na investigação da distribuição dos poluentes próximos ao foco de contaminação (por exemplo, uma área de tanques de armazenagem de produtos). Esse tipo de malha de amostragem fornece informações detalhadas a respeito da concentração máxima das substâncias no ponto de emissão dos contaminantes (centro da malha), da distribuição da contaminação e da forma da pluma de contaminação. Por outro lado, a irregularidade na densidade dos pontos de amostragem (diminui do centro para a periferia) nem sempre é adequada, e a distribuição dos pontos de amostragem é realizada em todas as direções sem levar em conta os mecanismos de disseminação dos contaminantes a partir da fonte principal. Esse tipo de malha de amostragem não permite a composição de amostras (ISO/DIS 10381-1).

As dimensões adotadas para a malha estão relacionadas ao nível de detalhe pretendido, que variará de acordo com o objetivo da amostragem (determinar a concentração média de determinada substância na área, localizar pontos isolados de contaminação ou delimitar a pluma de contaminação). A malha de pontos de amostragem pode ser orientada na direção do fluxo de dispersão dos poluentes, os quais, via de regra, seguem a topografia do local ou a direção predominante dos ventos. Estando determinados os parâmetros acima (orientação, densidade e forma da malha de amostragem), a seleção de um único ponto de amostragem servirá de base para a locação dos demais.

Em áreas industriais ativas ou desativadas, o levantamento de informações sobre a área permite, com freqüência, que a maior parte dos focos de contaminação seja identificada e localizada. Esses focos devem nortear a malha de amostragem a ser adotada no local. Nesses casos, a configuração mais apropriada é a combinação de uma malha regular com uma direcionada aos pontos suspeitos de contaminação.

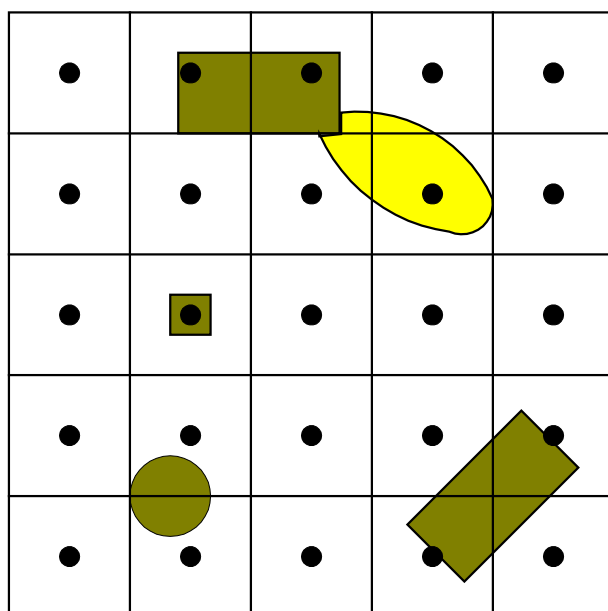


Figura 6300-4: Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem utilizando-se uma malha quadrada. As áreas demarcadas são aquelas consideradas suspeitas de serem contaminadas.

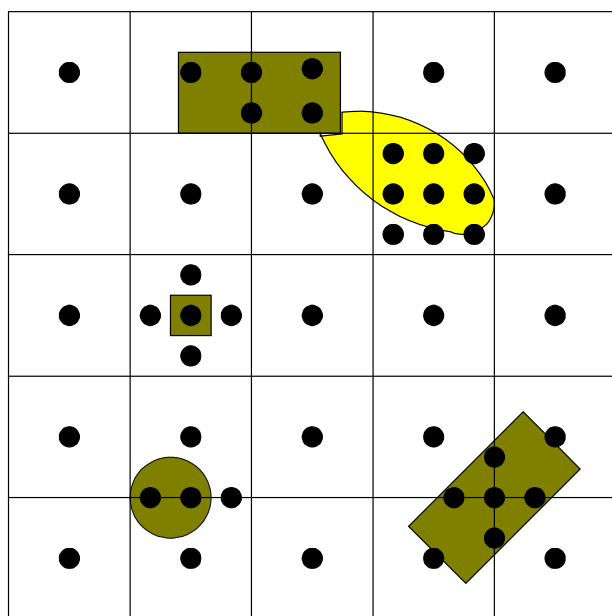


Figura 6300-5: Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem e adensamentos nos pontos previamente identificados como áreas suspeitas de contaminação (áreas sombreadas).

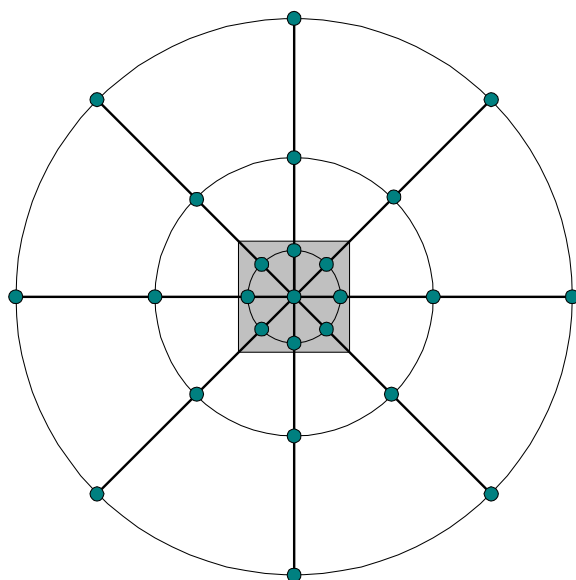


Figura 6300-6: Esquema de amostragem com malha de amostragem circular (a área sombreada refere-se à fonte suspeita de contaminação).

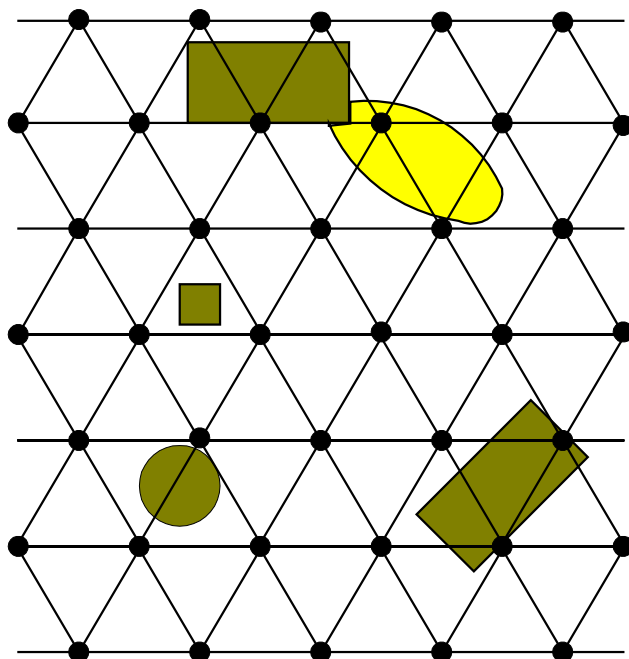


Figura 6300-7: Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem utilizando-se uma malha triangular. As áreas demarcadas são aquelas consideradas suspeitas de serem contaminadas.

3.3.2 Número de pontos de amostragem

De uma forma geral, a definição do número de pontos a ser amostrados dependerá dos seguintes fatores, que são abordados de forma diferenciada de acordo com a metodologia adotada:

- Tamanho da área investigada
- Qualidade das informações prévias disponíveis
- Hipótese de distribuição espacial da contaminação
- Grau de confiança requerido

A definição do número de pontos de amostragem baseada em um conceito probabilístico é a técnica que melhor ajusta a investigação ao objetivo predefinido. Pesquisas originárias dos Estados Unidos estimam a probabilidade de detecção de focos esféricos de substâncias poluentes (*hot spots*), de acordo com a forma e espaçamento da malha de amostragem.

Por exemplo, o espaçamento da malha de amostragem para a detecção de um foco de contaminação com 10 m de diâmetro, assumindo-se uma probabilidade de 50 ou 75%, é apresentada no Quadro 6300-2.

Quadro 6300-2: Probabilidade de detecção de um foco de contaminação, de acordo com a forma e espaçamento da malha de amostragem.

Forma da malha de amostragem	Espaçamento da malha de amostragem	
	Probabilidade de detecção	
	50%	75%
Quadrada	25,0 m	20,9 m
Triangular	26,6 m	22,2 m

Da mesma forma, pode ser fixado um espaçamento da malha de amostragem e determinar-se o diâmetro do foco de poluentes para ser detectado com determinada probabilidade. Um exemplo para uma malha com 100 metros de espaçamento é apresentado no Quadro 6300-3.

Quadro 6300-3: Diâmetro mínimo de um foco de poluentes para ser detectado com 50% e 90% de probabilidade, de acordo com a forma da malha de amostragem selecionada.

Forma da malha de amostragem	Diâmetro do foco de poluentes	
	Probabilidade de detecção	
	50%	90%
Quadrada	40,0 m	56,0 m
Triangular	37,5 m	50,0 m

Gilbert (1982), citado por Byrnes (1994), calcula as probabilidades de um foco de contaminação de forma circular ser detectado, utilizando-se diferentes espaçamentos de pontos de amostragem e utilizando-se uma malha regular quadrada. Os resultados são apresentados no Quadro 6300-4, considerando-se uma relação entre o diâmetro do foco (*hot spot*) e o espaçamento da malha.

Quadro 6300-4 : Probabilidade de detecção de um foco de contaminação de acordo com a relação entre o espaçamento da malha e o diâmetro do foco de contaminação, assumindo-se uma malha quadrada regular.

Probabilidade	Espaçamento da malha/diâmetro do foco de contaminação
0,8	1,13
0,9	1,01
0,95	0,94
0,99	0,86

Fonte: GILBERT (1982), citado por BYRNES (1994).

3.3.3 Profundidade de amostragem

Em áreas suspeitas de contaminação ou contaminadas, distribuição das substâncias contaminadoras deve ser investigada tanto no sentido horizontal (superfície do solo) quanto no vertical (perfil do solo). Entretanto, a profundidade de amostragem do solo variará de acordo com alguns fatores que influenciam a distribuição dos contaminantes nesse meio, tais como:

- natureza da contaminação (substância)
- tipo de solo
- condições do local (uso atual e passado)

Além do potencial de distribuição do contaminante ao longo do perfil do solo, devem ser considerados, também, as vias de exposição consideradas no modelo conceitual elaborado para a área.

Por exemplo, quando investiga-se a contaminação do solo superficial e considera-se como vias de exposição principal a ingestão de solo e a inalação de vapores voláteis, a USEPA (1996) considera os 2 cm superiores como a camada de solo a ser amostrada.

O Quadro 6300-5 apresenta a recomendação da norma ISO/DIS 10381-1 para a profundidade de amostragem, de acordo com o uso do solo e as vias de exposição:

Quadro 6300-5: Profundidade de amostragem do solo, de acordo com o seu uso, população exposta e vias de exposição.

Utilização	População exposta	Vias de exposição	Profundidade de interesse
Áreas agrícolas	População rural Gado População urbana	Consumo de alimentos, ingestão, inalação, contato dermal	Zona radicular e solo de superfície (0 - 0,3 m)
Água subterrânea	População	Depende do local, uso e tipo do solo, etc.	Aquífero freático
Presença permanente da população			
Hortas residenciais e coletivas	Todos os residentes	Consumo de alimentos, ingestão, inalação e contato dermal	0 a 0,6 m Recomendado 0,75 m
Presença esporádica da população			
Parque infantil	Crianças	Ingestão de solo e inalação	0 a 0,35 m
Parques, áreas verdes, quintais	Uso esporádico por público diverso	Baseado no período médio de uso com exposição pouco significativa aos contaminantes	0 a 0,15 m Recomendado-0,30 m
Áreas recreacionais e esportivas	Uso esporádico por crianças e adultos	Aumento da exposição de partículas de solo em pontos não cobertos com grama	0 a 0,15 m Recomendado 0,15 m

Fonte : ISO/DIS 10381-1.

O Quadro 6300-6 apresenta as profundidades de solo recomendadas na *regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de AC da Alemanha*.

Quadro 6300-6: Profundidades de amostragem do solo recomendadas na regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de AC da Alemanha, de acordo com o uso do solo e vias de absorção dos contaminantes.

Via de absorção	Uso do solo	Profundidades dos pontos de extração de amostras
Solo/homem (via direta)	Playground e área residencial	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm* • 10-35 cm**
	Parque, área de lazer	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm
	área industrial/comercial	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm
Solo/planta	agricultura, horticultura, horta caseira	<ul style="list-style-type: none"> • 0-30 cm*** • 30 - 60 cm
	Pastagem	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10cm**** • 10-30cm
<p>* 0 – 10 cm: profundidade relevante para a absorção via ingestão e via contato direto (absorção dermal), adicionalmente, para absorção via inalação: 0-2 cm.</p> <p>** 0 – 35 cm: profundidade (zona) média de camadas de solo antropogêneas; profundidade máxima alcançável por criança.</p> <p>*** Horizonte de cultivo/tratamento.</p> <p>**** Zona radicular</p>		

3.3.4 Quantidade de amostra necessária – tamanho da amostra

O volume de amostra coletado deve ser suficiente para ser considerado representativo do local onde foi amostrado, sem impedir uma homogeneização satisfatória das subamostras que o compõe e possuir material suficiente para execução das análises necessárias e replicatas se necessário.

De uma forma geral, considera-se que 500 g de amostra de solo fino (peneira 2 mm) são o suficiente para realizar-se a sua caracterização química. Dessa forma, o ideal seria coletar-se em torno de 2.000 g de solo, possibilitando, assim, além dos aspectos abordados anteriormente, a criação de um banco de amostras de solo e material de referência.

A quantidade de solo necessária para a sua caracterização microbiológica dependerá do objetivo pretendido. Da mesma forma, na caracterização das propriedades físicas do solo a quantidade de solo amostrada é específica para o método adotado e parâmetro analisado.

3.3.5 Amostras simples e compostas

De acordo com a USEPA (1989), amostras compostas são utilizadas quando o objetivo da caracterização do solo é determinar a concentração média de uma substância específica na área investigada. A composição possibilita a coleta de um menor número de amostras a ser enviadas ao laboratório, diminuindo os custos de análise.

Segundo a agência ambiental americana, as amostras compostas proporcionam somente uma estimativa da média da população formada pelas "n" subamostras que a compõe. Nenhuma estimativa da variância da média e, conseqüentemente, da precisão com a qual a média foi estimada pode ser obtida de uma amostra composta.

A análise de duas ou mais subamostras que formarão a amostra composta possibilitará a estimativa da variação dentro dessa população, mas não a variação espacial das amostras no campo. Similarmente, se a amostra composta é formada de amostras coletadas em diferentes partes da população, a variabilidade entre as partes, mas não a variabilidade dentro de cada uma, pode ser estimada. Se uma estimativa da variabilidade entre as unidades amostrais dentro da população é requerida, duas ou mais amostras devem ser coletadas aleatoriamente dentro da população e ser analisadas separadamente.

Outro aspecto importante a ser considerado na composição das amostras é o poluente investigado. Quando o objetivo é a detecção de substâncias voláteis presentes no solo, amostras compostas não são recomendadas em hipótese alguma.

3.3.6 Técnicas e equipamentos de amostragem

Segundo Byrnes (1994), a seleção do equipamento mais apropriado para efetuar-se a amostragem dependerá basicamente de:

- profundidade a ser amostrada
- substâncias a serem analisadas
- tipo de amostra a ser coletada (indeformada ou não)

A seguir, serão apresentados alguns dos equipamentos mais utilizados na amostragem de solos em áreas contaminadas e os respectivos procedimentos básicos de amostragem, conforme apresentados pelo mesmo autor citado anteriormente.

3.3.6.1 Amostragem de solos superficiais

São considerados solos superficiais aqueles localizados até uma profundidade de 1,50 m. Os equipamentos de amostragem mais comuns na sua coleta são:

- Pás e picaretas
- Trados de caneco, manuais ou mecânicos
- Trado de rosca
- Trado holandês
- Amostradores tubulares (barrilete – "tubo aberto", meia-cana, tubo fechado e tubo de parede fina)

3.3.6.1.1. Amostragem com pás

O mais simples e direto método de coleta de amostras de solo é aquele realizado pelo emprego de pás. Basicamente deve ser removida a camada superior do solo utilizando-se uma enxada ou instrumento similar, até a profundidade desejada, quando então coleta-se o solo com uma pequena pá de aço inoxidável.

Esse método pode ser utilizado para a maioria dos tipos de solos existentes, sendo viável apenas para amostragens superficiais. Amostragem com pás em profundidades superiores a 50 cm são muito trabalhosas para a grande maioria dos tipos de solos, pois requer que sejam abertas trincheiras no ponto de amostragem ou que a mesma seja realizada em perfis de solo expostos (cortes de terreno). Amostras relativamente não deformadas podem ser conseguidas utilizando-se uma colher de pedreiro pontiaguda para cortar-se um bloco de solo. Essa forma de amostragem permite que sejam obtidas amostras precisas e representativas, de acordo com os cuidados adotados pelo amostrador, devendo-se evitar instrumentos cromados. É um método de amostragem recomendado na coleta de solos contaminados com compostos semivoláteis, metais, pesticidas PCBs, TPH, Radionuclídeos, podendo também, apesar de não ser o método ideal, ser utilizado na coleta de amostras contendo compostos orgânicos voláteis (USEPA, 1989, e Byrnes, 1994).

Procedimento de amostragem

(USEPA, 1989 e 1991, e Byrnes, 1994)

Limpar a área a ser amostrada de qualquer fragmento presente em superfície. Pode ser apropriado que sejam removidos os primeiros 8 a 15 cm da superfície do solo de uma área de aproximadamente 30 cm de diâmetro ao redor do local.

- i. Deve ser removido cuidadosamente a camada superficial de solo até a profundidade que deseja-se amostrar, utilizando-se uma pá limpa previamente.
- ii. Utilizando-se uma espátula ou colher de pedreiro de aço inoxidável, limpa previamente, remover e descartar uma fina camada de solo que teve contato com a pá durante a escavação.
- iii. Colocar sobre o ponto de amostragem uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado, evitando assim qualquer alteração da amostra e o seu espalhamento na área.
- iv. Coletar e manusear as amostras de acordo com o tipo de substância a ser investigada (voláteis, semivoláteis ou metais) e tipo de amostra pretendida.

- v. Ao coletar-se amostras simples, transfere-se o solo diretamente para o frasco de coleta. Para amostras compostas, o solo é transferido para balde de aço inoxidável, onde será feita a homogeneização, após o que deve-se transferir a amostra quarteada para um frasco apropriado.
- vi. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem

Recomenda-se a participação de quatro pessoas nesse procedimento de amostragem, duas são necessárias na coleta das amostras e descrição litológica, identificação e documentação; a terceira seria encarregada dos procedimentos de segurança e de saúde ocupacional e controle de qualidade da amostragem; e a quarta pessoa seria a responsável por tarefas como descontaminação do equipamento e manejo dos resíduos gerados (Byrnes, 1994).

3.3.6.1.2 Amostragem com trados

Os trados mecânicos e manuais são equipamentos freqüentemente utilizados na coleta de amostras de solo (USEPA, 1991, e Byrnes, 1994). Vários tipos de trados podem ser utilizados nesta operação, que variam principalmente com o tipo de solo a ser amostrado. De uma forma geral, podemos identificar os seguintes tipos de trados manuais normalmente utilizados na amostragem de solo:

- Trado de caneco *standard* – utilizável em quase todos os tipos de solo, com exceção de solos secos muito soltos ou granulares.
- Trado de caneco para solos argilosos – possui uma ponteira e caçamba desenvolvidas para facilitar a penetração e retirada da amostras de solo muito coesos e úmidos; conseqüentemente, não é apropriado para amostragem de materiais pouco coesos.
- Trado de caneco para solos arenosos – possui uma ponteira desenvolvida para reter materiais poucos coesos (secos, soltos ou granulares), como areia e cascalho, tendo seu uso muito dificultado em materiais muito argilosos ou coesos.
- Trado de rosca – possibilita a amostragem em solos coesos, variando de macios a muito duros, não retendo materiais secos, soltos ou granulares.
- Trado holandês – desenvolvido especificamente para solos de várzeas com presença considerável de materiais fibrosos e raízes.
- Trado plano – utilizado normalmente em conjunto com o trado de caneco e amostradores tubulares, com a finalidade de limpar e nivelar o fundo de furos já realizados.
- Trado de caneco com Liner – semelhante ao trado de caneco *standard*, diferenciando-se deste por possuir em seu interior invólucros de amostragem reutilizáveis ou não (LINER), que reduzem a contaminação por desmoronamento das paredes laterais e minimizam o contato do solo com o ar. Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares.

Os trados são mais indicados à coleta de amostras compostas em locais que não contenham substâncias orgânicas voláteis, uma vez que o movimento de rotação

realizado em sua operação automaticamente homogeneiza as amostras, permitindo a perda de substâncias voláteis.

Recomenda-se a participação de quatro pessoas neste procedimento de amostragem. Duas são necessárias na coleta das amostras e descrição litológica, identificação e documentação; a terceira seria encarregada dos procedimentos de segurança e de saúde ocupacional e controle de qualidade da amostragem; e a quarta pessoa seria a responsável por tarefas como descontaminação do equipamento e manejo dos resíduos gerados (Byrnes, 1994).

Procedimento de amostragem

- i. Montar o trado.
- ii. Limpar a área a ser amostrada de qualquer fragmento presente em superfície. Pode ser apropriado, em determinadas situações, que sejam removidos os primeiros 8 a 15 cm da superfície do solo de uma área de aproximadamente 30 cm de diâmetro ao redor do ponto a ser amostrado.
- iii. Colocar uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado, evitando assim qualquer alteração da amostra ou o seu espalhamento na área.
- iv. Iniciar a tradagem, removendo periodicamente o solo acumulado nas bordas do furo. Isso previne que o material desbarrancado durante a remoção do trado retorne para o interior do furo.
- v. Quando o trado estiver cheio ou após atingir-se a profundidade desejada, remover lentamente e com cuidado o trado do interior da sondagem. Quando a amostragem for realizada diretamente do trado, esse procedimento deve ser realizado com o trado fora do furo realizado. A porção superior da amostra retirada deve ser descartada. Para amostras compostas, transferir o solo para a bandeja ou balde de aço inoxidável, onde será efetuada a sua homogeneização.
- vi. Coletar e manusear as amostras de acordo com o tipo de substância a ser investigada (voláteis, semivoláteis ou metais).
- vii. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem.
- viii. Todo o solo coletado e não utilizado deve ser acondicionado em recipiente apropriado, identificado e destinado a local adequado.
- ix. Adaptado de Byrnes (1994) e Boulding (1994).
- x. Tradados manuais e amostradores tubulares podem ser utilizados separadamente ou em conjunto, quando não exista nenhuma limitação para que isso ocorra (presença de cascalhos e fragmentos de rocha). Neste caso, utiliza-se o trado para remover as camadas de solo até a profundidade de amostragem definida seguido do tubo de amostragem, que permite a obtenção de uma amostra mais precisa. Profundidades de até 2 metros podem ser

facilmente amostradas e, na presença de condições favoráveis, profundidades de até 6 metros podem ser atingidas.

3.3.6.1.3 Amostradores tubulares

São instrumentos versáteis na amostragem de solo, tanto de superfície quanto em profundidades maiores. Permitem coletar amostras pouco alteradas, mantendo suas características físicas e químicas originais. Podem ser manuais ou mecanizados, utilizando-se de percussão (elétrico, combustível ou manual) ou pressão (hidráulico) para promover a amostragem.

Amostradores tubulares convencionais

Conforme descrito por BYRNES (1994), o amostrador tubular é um instrumento utilizado na obtenção de amostras de solo, por percussão ou pressão, mecanizada ou manual. O equipamento manual é constituído de um tubo, com um dos lados abertos, com uma ponteira cônica fixa, conectado a hastes providas de apoio para as mãos ou pés, que facilitam a ação de compressão do amostrador no solo.

Uma variação do equipamento manual é o amostrador tubular com martelo deslizante, que possui a mesma conformação do amostrador tubular convencional, exceto por possuir em sua haste um sistema de pesos deslizantes com curso limitado, que quando acionados funcionam de forma semelhante a um bate-estacas, cravando o amostrador no solo. Os equipamentos manuais podem ser utilizados em solos macios até ligeiramente duros, atingindo uma profundidade máxima de amostragem de 1 m.

No aparelho mecanizado, os tubos de amostragem (barriletes) também são abertos em um dos lados e são conectados por meio de adaptadores a um martelo de percussão ou hidráulico, movido a energia elétrica, gasolina ou diesel. Esse equipamento pode ser utilizado em uma grande variabilidade de solos, entretanto não é recomendado para solos com grandes quantidades de cascalho. A profundidade de amostragem é bem superior ao equipamento manual, podendo chegar a até 30 m.

Ambos os equipamentos possibilitam a utilização de Liners para coleta de amostras, minimizando a possibilidade de contaminação e perda de substâncias voláteis.

São equipamentos indicados na descrição litológica do solo e que requerem cuidados específicos na coleta de amostras para determinação das características químicas, devido à possibilidade de contaminação durante a amostragem (abertura lateral).

Permitem a coleta de solos contaminados com compostos semivoláteis, metais, pesticidas PCBs, TPH, Radionuclídeos e compostos orgânicos voláteis. Recomenda-se a participação de quatro pessoas no procedimento de amostragem com o equipamento mecanizado; duas são necessárias na coleta das amostras e descrição litológica, identificação e documentação; a terceira seria encarregada dos procedimentos de segurança e de saúde ocupacional e controle de qualidade da amostragem; e a quarta pessoa seria a responsável por tarefas como descontaminação do equipamento e manejo dos resíduos gerados. Para o

equipamento manual, esse número pode ser reduzido para três, destinando-se apenas uma pessoa para a primeira tarefa.

Procedimento de amostragem

- i. Montar o amostrador a ser utilizado.
- ii. Limpar a área a ser amostrada de qualquer fragmento presente em superfície. Pode ser apropriado que sejam removidos os primeiros 8 a 15 cm da superfície do solo de uma área de aproximadamente 30 cm de diâmetro ao redor do local a ser amostrado.
- iii. Colocar sobre o ponto de amostragem uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado.
- iv. Posicionar o amostrador tubular sob o ponto de coleta e proceder a amostragem.
- v. No aprofundamento da coleta, descer com cuidado o amostrador tubular para o interior do furo realizado, evitando ao máximo que o mesmo raspe nas paredes laterais da sondagem e contamine a amostra.
- vi. Remover o amostrador cuidadosamente, puxando-o pelo apoio da barra (equipamento manual) ou por meio de extrator apropriado (equipamento mecanizado).
- vii. Remover a amostra (em alguns casos pode ser necessária a retirada da ponteira do amostrador). Descartar a parte superior e inferior da amostra (aproximadamente 2,5 cm), para eliminar solo que possa ter desprendido-se de horizontes superiores ou adicionado durante o reposicionamento do amostrador no furo. Também deve ser descartada toda a porção superior do solo localizada na extremidade aberta do amostrador, utilizando-se um canivete de aço inoxidável para raspar a amostra.
- viii. Para coletar uma amostra simples, retirar Liner sobre uma folha de papel alumínio e tampar as suas extremidades com tampas de Teflon. Caso não se esteja utilizando Liners, a amostra deve ser transferida diretamente do tubo para os frascos de amostragem, utilizando-se uma pá ou colher de aço inoxidável. Na obtenção de amostras compostas, a utilização de Liners é dispensada, transferindo-se a amostra de solo para um balde ou bandeja de aço inoxidável, para homogeneização e composição das subamostras.
- ix. Coletar e manusear as amostras de acordo com o tipo de substância a ser investigada (voláteis, semivoláteis ou metais).
- x. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem.
- xi. Todo o solo coletado e não utilizado deve ser acondicionado em recipiente apropriado, identificado e destinado a local adequado.

Adaptado de Byrnes (1994) e Boulding (1994).

Amostrador tubular fechado meia-cana ou sólido

Esses tipos de amostradores são muito semelhantes ao amostrador tubular com martelo deslizante, diferenciando-se desse último, basicamente, por necessitar de um equipamento adicional (martelo mecânico de percussão) para cravar o amostrador no solo. Diferenciam-se do amostrador tubular convencional, por não possuir abertura lateral como a verificada nos tubos de amostragem (barriletes), sendo por isso mais apropriados para coleta de amostras de solo com a finalidade de caracterização química, mesmo quando não são utilizados Liners, que são recomendados apenas quando a substâncias de interesse são compostos orgânicos voláteis. O tubo meia-cana também pode ser utilizado com sucesso na descrição litológica do perfil amostrado, uma vez que permite uma visualização da amostra e a recuperação de uma amostra pouco deformada.

Recomenda-se a participação de quatro pessoas no procedimento de amostragem. Duas são necessárias na coleta das amostras e descrição litológica, identificação e documentação; a terceira seria encarregada dos procedimentos de segurança e de saúde ocupacional e controle de qualidade da amostragem; e a quarta pessoa seria a responsável por tarefas como descontaminação do equipamento e manejo dos resíduos gerados.

Procedimento de amostragem

- i. Montar o amostrador tubular a ser utilizado, meia-cana ou sólido, no martelo mecânico.
- ii. Limpar a área a ser amostrada de qualquer fragmento presente em superfície. Pode ser apropriado que sejam removidos os primeiros 8 a 15 cm da superfície do solo de uma área de aproximadamente 30 cm de diâmetro ao redor do local a ser amostrado.
- iii. Colocar sobre o ponto de amostragem uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado.
- iv. Posicionar o amostrador tubular sob o ponto de coleta e proceder a amostragem.
- v. No aprofundamento da coleta, descer com cuidado o amostrador tubular para o interior do furo realizado, evitando ao máximo que o mesmo raspe nas paredes laterais da sondagem e contamine a amostra.
- vi. Remover o amostrador cuidadosamente por meio de extrator apropriado.
- vii. Para coletar uma amostra simples, abrir o amostrador meia-cana e retirar o Liner sobre uma folha de papel alumínio; no caso deles serem segmentados, separá-los com um canivete de aço inoxidável. Evitando que as amostras sofram qualquer tipo de contaminação, tampar as extremidades do Liner com as tampas de Teflon. Caso não sejam utilizados Liners, a amostra deve ser transferida diretamente do amostrador para os frascos de amostragem, utilizando-se uma pá ou colher de aço inoxidável. Com o amostrador tubular fechado sólido, retirar os invólucros por uma das extremidades e proceder da mesma forma como descrito acima.

- viii. Na obtenção de amostras compostas, a utilização do invólucro de revestimento interno é dispensada, despejando-se a amostra de solo diretamente dentro de um balde ou bandeja de aço inoxidável, para homogeneização e composição das subamostras.
 - ix. Coletar e manusear as amostras de acordo com o tipo de substância a ser investigada (voláteis, semivoláteis ou metais).
 - x. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem.
 - xi. Todo o solo coletado e não utilizado deve ser acondicionado em recipiente apropriado, identificado e destinado a local adequado.
- Adaptado de Byrnes (1994) e Boulding (1994).

Amostrador tubular fechado de parede fina

Segundo Byrnes (1994), o amostrador tubular de parede fina é ao amostrador tubular fechado, com a diferença de possuir as paredes de menor espessura e não possuir a ponteira cônica de aço; entretanto, a principal diferença está relacionada ao fato dele requerer ser aprofundado no solo de forma contínua, por meio de um dispositivo hidráulico, sendo descartada a percussão. A finalidade desse processo é evitar a compactação da amostra e possibilitar a coleta de amostras indeformadas para caracterização física do solo (densidade, porosidade, condutividade hidráulica, etc.) Amostras coletadas com a finalidade de caracterização química do solo também podem ser realizadas, devendo-se neste caso utilizar amostrador de aço inoxidável, fato não necessário quando o objetivo é apenas a caracterização física.

No procedimento de amostragem utilizando-se esse equipamento, recomenda-se a participação de no mínimo três pessoas. Uma cuidará da coleta das amostras e descrição litológica, identificação e documentação; a segunda seria encarregada dos procedimentos de segurança e de saúde ocupacional e controle de qualidade da amostragem; e a terceira pessoa seria a responsável por tarefas como descontaminação do equipamento e manejo dos resíduos gerados.

Procedimento de amostragem

- i. Limpar a área a ser amostrada de qualquer fragmento presente em superfície. Pode ser apropriado que sejam removidos os primeiros 8 a 15 cm da superfície do solo de uma área de aproximadamente 30 cm de diâmetro ao redor do local a ser amostrado.
- ii. Colocar sobre o ponto de amostragem uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado.
- iii. Montar o amostrador no equipamento hidráulico.
- iv. Posicionar o amostrador tubular sob o ponto de coleta e proceder a amostragem, empurrando o amostrador até a profundidade desejada.

- v. No aprofundamento da sondagem, descer com cuidado o amostrador tubular para o interior do furo realizado, evitando ao máximo que o mesmo raspe nas paredes laterais da sondagem e contamine a amostra.
- vi. Remover o amostrador cuidadosamente do furo e desatarraxá-lo do equipamento hidráulico. Eliminar aproximadamente 1,0 cm de solo de cada extremidade do tubo e preencher o espaço resultante com parafina para tampar as extremidades. A parafina é utilizada com a finalidade de prevenir alguma alteração na amostra durante o período de trânsito. As amostras devem ser transportadas na posição vertical.
- vii. Todo o solo coletado e não utilizado deve ser acondicionado em recipiente apropriado, identificado e destinado a local adequado.

3.3.6.2 Amostragem de solo de subsuperfície

São considerados solos de subsuperfície aqueles localizados a uma profundidade superior a 1,50 m. Os equipamentos de amostragem mais comuns na coleta de solos subsuperficiais são:

- Trados de caneco manuais ou mecânicos
- Amostradores tubulares
 - Amostrador tubular fechado de parede fina
 - Amostrador tubular convencional
 - Amostrador tubular fechado meia-cana ou sólido

Os procedimentos de amostragem de solo de subsuperfície com esses equipamentos são idênticos aos descritos anteriormente. Entretanto, nesse caso normalmente opta-se por equipamentos mecanizados, sendo muitas vezes necessário, também, a utilização de tripés para manuseio das hastes (muito longas).

Quadro 6300-7: Características dos equipamentos utilizados na amostragem do solo.

Equipamento de amostragem	Aplicações	Limitações
Equipamentos manuais Trados* Pás de jardinagem	Amostras de superfície ou em trincheiras e perfis expostos	Profundidade de amostragem limitada
Pás e picaretas	Permite a amostragem em uma grande variedade de solos	Profundidade de amostragem limitada
Trado de rosca	Possibilidade de amostragem em solos coesos macios a muito duros	Não retém materiais secos, soltos ou granulares
Trado de caneco <i>standard</i>	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado de caneco para materiais pouco coesos	Ponteira desenvolvida para reter materiais secos, soltos ou granulares (silte, areia e cascalho)	Difícil de aprofundar a sondagem em materiais muito argilosos ou coesos
Trado de caneco para materiais coesos	Ponteira e caçamba desenvolvidas para solos de textura argilosa ou resíduos úmidos	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado holandês	Desenvolvido especificamente para solos de várzeas com presença considerável de materiais fibrosos e raízes	
Trado plano Trado de caneco com amostrador	Limpa e nivela o fundo de furos já realizados Coleta o solo em tubos de amostragem reutilizáveis com tampa, reduzindo a contaminação por desmoronamento das paredes laterais. Minimiza o contato do solo com o ar	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado para solos pedregosos	Solos pedregosos e asfalto	

Continuação do Quadro 6300-7

Equipamento de amostragem	Aplicações	Limitações
Amostradores tubulares**		
Amostrador tubular	Utilizado em solos ou resíduos macios até ligeiramente duros	Profundidade de amostragem limitada (máximo 1m)
Amostrador tubular com Liner	Similar à sonda para solo, recuperando a amostra dentro de tubos de amostragem reutilizáveis com tampa, reduzindo a contaminação por desmoronamento das paredes laterais. Minimiza o contato do solo com o ar	Dificuldade em ser utilizado em materiais muito densos ou duros. Pode não reter materiais soltos ou granulares. Quando utilizado em profundidades maiores, pode requerer equipamento extrator
Equipamentos mecanizados *		
Trado mecânico	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Amostrador tubular de percussão ou hidráulico	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Amostrador tubular de percussão ou hidráulico, com Liner	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo. Minimiza o contato da amostra com o ar	Pode não reter materiais soltos ou granulares.

* Utilizáveis em solos com pequena presença de material grosseiro (cascalhos, fragmentos de rocha e entulhos).

** Inadequados para o solos com a presença de material grosseiro (cascalhos, fragmentos de rocha e entulhos).

Fonte : USEPA (1991) e norma ISO/TC 190/SC 2.

3.3.7 Procedimentos para coleta e preparação de amostras de solo

Os procedimentos aqui descritos foram apresentados por USEPA (1991).

- *Procedimento para amostragem de solo contaminado com substâncias voláteis*
 1. A utilização de sondas tubulares com Liners são recomendáveis quando pretende-se amostrar solos contaminados com substâncias voláteis. Trados podem ser utilizados somente quando as condições de campo impedirem a coleta de amostras indeformadas. Sondas ou trados que possuem Liners, reutilizáveis ou não, minimizam o contato das amostras com a atmosfera evitando a perda dos compostos voláteis.
 2. Colocar a primeira amostra representativa rapidamente em um frasco de 40 ml com septo ou um frasco de vidro com boca larga, fornecido pelo laboratório que executará a análise. O frasco deve ser fechado com tampas revestidas com Teflon. As amostras devem ser simples, mantidas no estado indeformado o máximo possível, não podendo ser peneiradas.
 3. Assegurar que os frascos foram completamente preenchidos com solo para minimizar a perda das substâncias voláteis. As tampas dos frascos devem estar firmemente fechadas.
 4. O furo resultante da coleta de amostra deve ter a concentração de vapores orgânicos medida após cada retirada de material; essa medida também poderá ser realizada diretamente no Liner com a amostra coletada.
 5. Etiquetar e identificar cada frasco de amostra recolhida e anotar devidamente os dados do local amostrado (localização, profundidade de amostragem, concentração de VOCs, etc.)
 6. Colocar os frascos com as amostras coletadas dentro de sacos plásticos, caso seja necessário, e acondicioná-los em contêiner de refrigeração. As amostras devem ser resfriadas a 4°C o mais rápido possível.
 7. Enviar as amostras o mais rapidamente possível para o laboratório responsável pelas análises.
 8. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem.

Procedimento para amostragem de solo contaminado com substâncias semivoláteis e metais.

1. Coletar as amostras com os equipamentos recomendados.
2. Caso planejado, proceder a composição das subamostras rapidamente.

3. Se possível, peneirar o solo no campo utilizando peneira predescontaminada com malha de 10 mm de aço inoxidável para as substâncias semivoláteis ou de Teflon para metais (alguns metais presentes no aço inoxidável podem contaminar a amostra).
4. Misturar as amostras em contêiner de aço inoxidável, alumínio (não recomendado quando o alumínio é um dos metais a ser investigado) ou vidro, utilizando-se ferramentas apropriadas (espátula de aço inoxidável ou porcelana).
5. Após completar a mistura, colocar a amostra no meio de um recipiente de 1 m² de plástico, lona ou borracha.
6. Rolar a amostra de solo para a frente e para trás ao longo do recipiente, alternado os seus lados opostos.
7. Após completar a mistura, espalhar o solo no recipiente, aplainando-o com uma espátula ou canivete.
8. Dividir as amostras em quatro partes iguais, coletando amostras de cada uma das partes em seqüência até que recolha-se o volume de amostra necessário.
9. Fechar firmemente a tampa, checando se a mesma é revestida com Teflon, caso isso seja necessário (observar as recomendações de acondicionamento e preservação de amostras). A preservação química das amostras não é recomendada.
10. Etiquetar e identificar cada frasco de amostra recolhida e anotar devidamente os dados do local amostrado (localização, profundidade de amostragem, etc.)
11. Colocar os frascos com as amostras coletadas dentro de sacos plásticos, caso seja necessário, e acondicioná-los em contêiner de refrigeração. As amostras devem ser resfriadas a 4°C o mais rápido possível.
12. Enviar as amostras o mais rapidamente possível para o laboratório responsável pelas análises.
13. Proceder a descontaminação dos equipamentos antes da próxima amostragem.

3.3.8 Procedimento para descontaminação do equipamento de amostragem

O texto sobre descontaminação de equipamentos de amostragem apresentado a seguir é uma tradução, com algumas mudanças, do texto escrito por Byrnes (1994). Após a amostragem do solo, o equipamento utilizado necessita ser devidamente descontaminado para que nova coleta seja efetuada, devendo ser salientado que somente a utilização de equipamentos descartáveis ou exclusivos para cada ponto de amostragem eliminará o risco de ocorrência de contaminação cruzada.

Dessa forma, testes de campo devem ser realizados com a finalidade de avaliar a eficiência dos procedimentos de descontaminação dos equipamentos de amostragem. Com essa finalidade, são realizadas as coletas de amostras em campo, denominadas de “branco de lavagem dos equipamentos em campo” (item

3.6.5 – Quadro 6300-9). Esse procedimento deve ser realizado para cada equipamento diariamente, antes de iniciar-se a campanha de amostragem.

Por exemplo, em um procedimento de amostragem com trado de caneco manual, após a descontaminação do trado, da pá e do balde utilizados na coleta, despeja-se água deionizada no trado, coletando-a no balde, estando a pá em seu interior; em seguida, transferir o efluente para o frasco de amostragem.

A descontaminação dos equipamentos de amostragem deve ser efetuada, preferencialmente, no próprio local investigado ou o mais próximo possível dele, agilizando a campanha de amostragem e evitando a saída de material contaminado da área.

A descontaminação dos equipamentos pode ser realizada pela remoção física, neutralização/remoção química dos contaminantes ou ainda desinfecção/esterilização dos equipamentos, sendo realizado na prática uma combinação de duas ou mais dessas ações.

Nem todas as peças que compõem o equipamento necessitam do mesmo grau de descontaminação. Assim, normalmente as peças que entram em contato direto com a amostra a ser analisada deverão ser submetidas a procedimentos mais eficientes e específicos para as substâncias de interesse, enquanto as demais partes, como hastes, extratores, etc., podem sofrer uma lavagem mais branda. Dessa forma, os procedimentos de descontaminação podem ser divididos em:

3.3.8.1 Procedimentos de descontaminação de equipamentos auxiliares

Equipamentos que auxiliam a amostragem e podem ter contato com o solo contaminado, mas não com a amostra coletada (hastes, extratores, equipamentos motores, etc.)

- Procedimento de descontaminação
 - a) Remover o solo aderido por meio de espátula ou escova (aço, piaçava).
 - b) Utilizando lavador de alta pressão, limpar os equipamento com água potável e detergente alcalino para laboratório, isento de fósforo.
 - c) Secar os equipamentos ao ar e acondicioná-los em plástico ou papel alumínio (hastes) para permanecerem descontaminados até o próximo uso.

Os resíduos sólidos gerados (solo contaminado) na primeira etapa (item a) devem ser acondicionados adequadamente no próprio ponto de amostragem e serem destinados a local apropriado para recebê-los. A lavagem dos equipamentos deve ser realizada em local apropriado que possua coleta dos efluentes gerados, ou ser instalado no mesmo local de amostragem tanque de contenção portátil. Em ambas as situações, os efluentes gerados devem ser enviados à estação de tratamento apropriada.

3.3.8.2 Procedimentos de descontaminação do equipamento de amostragem

Equipamentos diretamente envolvidos na coleta das amostras, tais como a ponteira dos trados (caneco, holandês e helicoidal), amostradores tubulares, pás, canivetes, espátulas, baldes e bandejas, etc.

De acordo com a substância a ser analisada nas amostras, os seguintes procedimentos de contaminação devem ser seguidos:

Procedimento de descontaminação de equipamentos para análise de substâncias inorgânicas

- a) Remover o solo aderido no equipamento de amostragem por meio de espátula ou escova.
- b) Lavar o amostrador com água potável, utilizando detergente alcalino para laboratório, isento de fosfato.
- c) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água potável.
- d) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água deionizada.
- e) Enxaguar o amostrador com uma solução de ácido clorídrico 5%.
- f) Enxaguar novamente com água deionizada.
- g) Colocar o equipamento em recipiente limpo e deixá-lo secar ao ar e embalar.

Procedimento de descontaminação de equipamentos para análise de substâncias orgânicas

- a) Remover o solo aderido no equipamento de amostragem por meio de espátula ou escova.
- b) Lavar o amostrador com água potável, utilizando detergente alcalino para laboratório, isento de fosfato.
- c) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água potável.
- d) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água deionizada.
- e) Enxaguar o amostrador com acetona grau-pesticida (ou metanol).
- f) Enxaguar o amostrador com hexano grau-pesticida.
- g) Colocar o equipamento em recipiente limpo e deixá-lo secar ao ar e embalar.

Procedimento de descontaminação de equipamentos para análise de substâncias inorgânicas e orgânicas

- a) Remover o solo aderido no equipamento de amostragem por meio de espátula ou escova.
- b) Lavar o amostrador com água potável, utilizando detergente alcalino para laboratório, isento de fosfato.
- c) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água potável.
- d) Enxaguar cuidadosamente o amostrador com água deionizada.
- e) Enxaguar o amostrador com uma solução de ácido clorídrico 5%.
- f) Enxaguar novamente com água deionizada.
- g) Enxaguar o amostrador com acetona grau-pesticida (ou metanol).
- h) Enxaguar o amostrador com hexano grau-pesticida.
- i) Colocar o equipamento em recipiente limpo e deixá-lo secar ao ar e embalar.

No manuseio da solução de ácido, da acetona, do hexano e da água destilada, devem ser utilizadas pissetes de Teflon, uma vez que outros materiais têm potencial para liberar substâncias contaminantes para as soluções de limpeza. O efluente gerado durante o manuseio dessas soluções deve ser recolhido em um balde e neutralizado com soda (solução ácida) ou deixado evaporar (acetona e hexano). O local de descontaminação deve, preferencialmente, estar localizado a jusante da área a ser investigada quanto à direção do vento.

3.3.9 Preparação das amostras

Segundo a USEPA (1989), a preparação das amostras envolve todas as atividades de manuseio das mesmas após a sua coleta, até a entrada no laboratório. As seguintes etapas são listadas pelo órgão ambiental americano, referentes a essa etapa do processo de amostragem do solo:

- Transferência da amostra do equipamento de coleta
- Composição/Peneiramento da amostra
- Métodos de secagem da amostra
- Frascos de coleta da amostra
- Preservação da amostra
- Armazenamento da amostra
- Transporte e envio ao laboratório

A etapa de preparação das amostras de solo possui importância significativa na manutenção da qualidade do solo coletado. Por exemplo, amostras que serão analisadas para substâncias voláteis não devem sofrer composição, ser secas ou peneiradas, mesmo para substâncias inorgânicas; determinados procedimentos podem alterar a qualidade das amostras, como no caso do cromo hexavalente, cuja presença no solo será alterada com a secagem do mesmo.

A responsabilidade da equipe de amostragem não limita-se a conseguir amostras representativas, mas assegurar que as mesmas cheguem ao laboratório sem alteração de suas características.

Conforme comentado pela USEPA (1989), é muito comum a coleta de amostras de solo que contenham materiais que não são considerados componentes naturais do solo (rochas, material não mineral). Esses componentes podem ter um importante papel na interpretação dos dados analíticos, podendo mesmo ser a própria fonte de contaminação da matriz do solo.

Portanto, o potencial de erros de serem introduzidos durante os procedimentos de composição e peneiramento das amostras é alto, especialmente se esse tipo de componente (material não mineral) for descartado durante o peneiramento, assim como se for perdido ou alterado quimicamente durante as operações de moagem ou secagem. Assim, decisões a respeito do destino dessa fração que compõe a amostra, mas não é considerada solo, devem ser realizadas pela equipe responsável pelo programa de amostragem, com base no levantamento preliminar de informações da área e nas observações de campo efetuadas durante a amostragem.

Uma estimativa do grau de alteração da amostra pode ser realizada pelo descarte proposital dos componentes citados anteriormente e a sua análise em separado. Feita a caracterização, multiplica-se a concentração encontrada pela quantidade total descartada. Assumindo-se que esse material estaria uniformemente distribuído pelo solo, pode-se calcular qual seria a concentração que a amostra de solo teria, sem o descarte. Se a variação for considerada excessiva, novo procedimento de preparo das amostras deve ser considerado, no qual descarte-se a menor quantidade possível do material não considerado solo. Essa alternativa também possui um inconveniente sério, uma vez que análises comparativas da eficiência do método analítico (extração) não poderiam ser realizadas por não estar disponível material de referência com características semelhantes (USEPA, 1989).

Amostras de solo raramente são preservadas quimicamente, sendo apenas mantidas refrigeradas; a tabela a seguir apresenta as exigências da USEPA, conforme apresentado em USEPA (1989), quanto a preservação, frascos e tempo de espera para análise de amostras de solo, de acordo com o contaminante a ser analisado.

Quadro 6300-8 : Frascos, métodos de preservação e tempo de espera para amostras de solo, de acordo com o contaminante a ser avaliado.

Contaminante	Frasco	Preservação	Tempo de espera
Acidez	P,V	Resfriamento 4°C	14 dias
Alcalinidade	P,V	Resfriamento 4°C	14 dias
Amônia	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Sulfato Sulfeto	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Sulfito	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Nitrato	P,V	Resfriamento 4°C	48 horas
Nitrato-nitrito	P,V	Resfriamento 4°C	48 horas
Nitrito	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Óleos e graxas	V	Resfriamento 4°C	48 horas
Carbono orgânico	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Metais			
Cr (VI)	P,V	Resfriamento 4°C	48 horas
Mercúrio	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Cianeto	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Demais metais	P,V	Resfriamento 4°C	6 meses
Compostos orgânicos			
Ftalatos	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Nitrosaminas	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Pesticidas organoclorados	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	7 dias até a extração
PCBs	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Nitroaromáticos	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Isofurano	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	30 dias após a extração
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Éteres halogenados	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Hidrocarbonetos clorados	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Dioxina	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	
Hidrocarbonetos halogenados	V, septo de Teflon	Resfriamento 4°C	14 dias
Hidrocarbonetos aromáticos	V, septo de Teflon	Resfriamento 4°C	14 dias
Acroleína	V, septo de Teflon	Resfriamento 4°C	3 dias

Continuação do Quadro 6300-8

Contaminante	Frasco	Preservação	Tempo de espera
Ortofosfato	P,V	Resfriamento 4°C	48 horas
Fenóis	V	Resfriamento 4°C	28 dias
Fósforo	V	Resfriamento 4°C	48 horas
Fósforo total	P,V	Resfriamento 4°C	28 dias
Compostos orgânicos clorados	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	7 dias até a extração
Pesticidas	V, tampa de Teflon	Resfriamento 4°C	30 dias após a extração

P - Polietileno
V - Vidro

Fonte: USEPA (1989).

Após a coleta e acondicionamento/preservação, as amostras de solo devem ser identificadas. O principal objetivo da identificação das amostras é criar uma conexão entre a amostra recolhida e a sua origem, indicando ao laboratório as condições em que a amostragem foi realizada e as análises a ser efetuadas. A identificação é efetuada de duas formas, por meio de uma etiqueta e uma ficha de coleta. A primeira identificará cada frasco de amostragem com um número de identificação próprio e algumas informações básicas, como o cliente, data de amostragem, etc. Essas informações serão complementadas na ficha de coleta de amostras, onde, entre outras, constarão: número da amostra, nome do cliente, nome da pessoa responsável pela a coleta, data de coleta, local de coleta, descrição da amostra, condições de amostragem (temperatura, ocorrências de chuva), tipo de amostra (simples ou composta), análises laboratoriais a ser efetuadas, método de preservação utilizado, outras observações importantes.

Byrnes (1994) propõe a adoção de um sistema específico para identificação das amostras, facilitando a sua identificação. Esse número conteria seis dígitos e poderia ser exemplificado da seguinte forma para nossas condições, assumindo-se uma indústria desativada fictícia X:

Primeiro dígito: Número do local de amostragem (1, 2, 3...)

- 1 = área de armazenamento de combustível
- 2 = área de produção de cloro/soda
- 3 = área de produção de BHC
- 4 = área de disposição de resíduos
- 5 = fundição

Segundo dígito: Meio amostrado

- 1 = solo de superfície
- 2 = solo de subsuperfície
- 3 = água de superfície
- 4 = água subterrânea
- 5 = vapores do solo
- 6 = amostragem de ar

Terceiro dígito: Intervalo de amostragem

- 1 = primeiro intervalo de amostragem
- 2 = segundo intervalo de amostragem
- 3 = terceiro intervalo de amostragem
- 4 = quarto intervalo de amostragem
- 5 = quinto intervalo de amostragem
- 6 = sexto intervalo de amostragem

Quarto, quinto sexto e sétimo dígitos: ponto de amostragem

- PT5 = ponto de amostragem do solo (1, 2, 3, 4, 5, 23...)
- PM5 = poço de monitoramento (1, 2, 3, 4, 5, 23...)
- DG5 = sondagem (1, 2, 3, 4, 5, 23...)
- AG5 = ponto de amostragem de água superficial (1, 2, 3, 4, 5, 23...)
- AR5 = ponto de amostragem de ar (1, 2, 3, 4, 5, 23...)

Dessa forma, a amostra número 324DG16 indica que a amostra é proveniente da área de produção de BHC, refere-se a solo de subsuperfície, do terceiro intervalo de amostragem, e foi coletada na sondagem número 16. Na elaboração da legenda é importante evitar-se as letras S, I e O, ainda que sejam as mais apropriadas, para não criar confusão com os números 5, 1 e 0. Números mais complexos podem ser elaborados, com identificação do site investigado, IX (indústria X), APB (área de produção de BHC), SB (solo de subsuperfície), etc. Entretanto, é conveniente lembrar que o número de identificação da amostra deve sempre ser combinado com o laboratório responsável pela análise das amostras.

3.3.10 Controle da qualidade

A qualidade das amostras pode ser comprometida ao longo de todas as etapas que compõem o processo de amostragem, seja na tomada das amostras (seleção de método de amostragem inadequado para a substância de interesse, equipamentos contaminados) ou no seu manuseio (composição das amostras, método de preservação, frascos de coleta, secagem, etc.), assuntos já abordados em itens anteriores. Outras falhas poderiam ocorrer no traslado das amostras até a sua análise. Uma série de procedimentos com a finalidade de controlar a qualidade do processo de amostragem e de análise das mesmas é adotada pela USEPA; alguns desses procedimentos são apresentados a seguir (USEPA, 1989).

Outro importante instrumento de controle de qualidade das amostras, ainda pouco utilizado em nosso país, vem a ser a Cadeia de Custódia das Amostras. Esse documento é obrigatório nos Estados Unidos, principalmente em casos relacionados com processos litigiosos.

A cadeia de custódia registra o caminho da amostra desde a coleta até o momento da análise, indicando os responsáveis neste trâmite. Após a coleta e transferência do solo para o frasco, um selo de custódia é colocada na tampa para assegurar a sua integridade. Dessa forma, controla-se a possibilidade de manipulação não programada das amostras coletadas. O selo de custódia será assinado e datado no momento da coleta pelo responsável por essa operação. Ao ser enviada para análise, a troca de custódia da amostra será registrada em um formulário específico, que também pode funcionar como a Ficha de Coleta de Amostra. Nessa ficha, deverá existir um campo específico onde será registrada a mudança de custódia, com as seguintes informações mínimas: assinatura do novo e do antigo responsável pela custódia das amostras, companhia, data e hora.

Quadro 6300-9: Procedimentos de controle de qualidade de amostras de solo.

Procedimento	Descrição
1. Branco de campo	Frasco de amostragem preenchido com água deionizada, exposta durante a amostragem e então analisada para detectar contaminação acidental ou incidental.
2. Branco da lavagem dos equipamentos	Amostra da água deionizada (último enxágüe), passada sobre o equipamento de amostragem, após a sua preparação para a campanha de amostragem, para checar a existência de contaminação residual.
3. Branco de lavagem dos equipamentos em campo	Amostra da água deionizada (último enxágüe), passada sobre o equipamento de amostragem, após a sua limpeza, para checar a existência de contaminação residual.
4. Análise da água deionizada (Branco de Reagente)	Amostra da água deionizada, analisada para checar a sua contaminação por reagentes utilizados na preservação das amostras.
5. Padrão para checagem de equipamento	Material-padrão para checagem da calibração dos equipamentos de análise.
6. Extrato alterado	Alíquota do extrato ao qual foi adicionada quantidade conhecida de determinado elemento ou substância de interesse, para checar os efeitos da matriz do extrato analisado na recuperação do elemento/subst. adicionado.
7. Amostra alterada	Alíquota da amostra de solo, ao qual foi adicionado material de referência para checagem do efeito da matriz do solo e do extrato, na eficiência de recuperação.
8. Recuperação total	Uma segunda alíquota da amostra analisada por um método mais rigoroso para checar a eficiência do método utilizado.
9. Padrão de laboratório	Amostra de solo-padrão submetida ao mesmo método analítico para determinar a capacidade de extração do método.
10. Reextração	Reextração do resíduo da primeira extração para determinar-se a eficiência de extração.
11. Reanálise	Alíquota adicional do extrato a qual é analisada para checar a reprodutibilidade dos instrumentos e da injeção da amostra.
12. Controle de qualidade do laboratório	A amostra preparada é dividida em três partes. Duas a ser analisadas pelo laboratório contratado e a terceira destinada a um laboratório de referência para checar a precisão do primeiro.

Fonte: USEPA, 1989.

4 Referências bibliográficas

BOULDING, J.R. In: Description and Sampling of Contaminated Soils – A field guide. Boca Raton – Florida: CRC Press, Inc., 1994.

BYRNES, M.E. In: Field sampling methods for remedial investigations. Boca Raton – Florida: CRC Press, Inc., 1994.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. Soil Sampling Quality Assurance User's Guide – EPA 600/8-89/046. Las Vegas, NV, DC, Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1989.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. Description and Sampling of Contaminated Soils – A field pocket guide – EPA 625/12-91/002. Cincinnati, OH, Center for Environmental Research Information, 1991.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. Soil Screening Guidance: Technical Background Document – EPA 540/R-95/128. Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996.

6310 Preservação de amostras do solo

Os seguintes problemas podem ocorrer depois da coleta de amostra de barriletes, trados ou coleta superficial e sua transferência para recipientes:

- Contaminação externa por meio de:
 - frascos e recipientes sujos
 - mobilização de contaminantes pelo material do recipiente
 - contaminação pelas ferramentas de amostragem (por ex.: tinta de pás ou amostradores, óleo etc.),
 - absorção de contaminantes do ar (por ex.: de escapamentos de sondas, carros ou outros materiais contaminantes).
- Perda de substâncias por:
 - volatilização em recipientes que não vedam totalmente (organoclorados, Hg),
 - difusão de substâncias nas paredes do recipiente (por ex.: pesticidas e policíclicos aromáticos).
 - sorbção de substâncias nas paredes de mangueiras e recipientes (metais pesados em amostras de água).
- Modificação por reações químicas ou biológicas
 - substâncias oxidantes, como cloro, ou redutores, como nitrito, modificam as concentrações de organohalogenados, fenóis, poliaromáticos cíclicos.
 - precipitações
 - modificações resultantes da ação bacteriana (por ex.: teores de oxigênio, dióxido de carbono, nitrato e fosfato são influenciados pela ação bacteriana).
- Métodos de preservação
 - Preservação por resfriamento em temperaturas de 2 a 5°C em recipientes com vidro escuro representa o método mais adequado para substâncias orgânicas e inorgânicas. Recomenda-se armazenar as amostras numa caixa de isopor com gelo ou numa geladeira, logo depois da coleta. Os procedimentos e observações para a preservação de amostras do solo correspondem às observações da tabela 6320-1 na Seção 6320.
 - A preservação por adição de reagentes químicos pode levar a uma estabilização de certos parâmetros. Aqui deve-se seguir as normas laboratoriais.

6400 Amostragem de águas subterrâneas

A água subterrânea representa um dos bens a proteger mais sensíveis e, ao mesmo tempo, é muito importante como meio de propagação de plumas de contaminações de áreas contaminadas que podem afetar outros bens a proteger, principalmente a saúde humana.

A mobilidade dos contaminantes a partir da fonte de contaminação e a propagação da pluma de contaminantes está sujeita a mecanismos físico-químicos e hidrogeológicos, bastante complexos.

Muitos países estabeleceram suas próprias estratégias e procedimentos de investigação e amostragem de águas subterrâneas e de percolados, visando à investigação de áreas contaminadas. As diretrizes internacionais sobre a amostragem de águas subterrâneas, como, por exemplo, LWA (1989) e USEPA (1992), propõem um procedimento seqüencial contemplando a malha de amostragem na investigação orientativa e detalhada, a sua freqüência, as normas para implantação de poços de monitoramento, a preservação das amostras e os métodos analíticos.

Como, no Brasil, ainda não existem diretrizes específicas que abrangem esse assunto satisfatoriamente, esta seção contém, por enquanto, somente a norma da CETESB: 06010 ABR/88 sobre a "Construção de poços de monitoramento de aquífero freático".

1 Referências bibliográficas

LWA: Leitfaden zu Grundwasseruntersuchung bei Altablagerungen und altstandorten, LWA Landesamt für Wasser und Abfall, Nordrhein Westfallen, Düsseldorf, 1989.

USEPA: RCRA Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance, PB93-139350, 1992.

6410 Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas – Norma CETESB, 1988

CETESB	Construção de poços de monitoramento de aquífero freático Procedimento	06.010 ABR/88
--------	--	------------------

Introdução

O sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea. As amostragens são efetuadas num conjunto de poços distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área de disposição do resíduo (oferecendo subsídios para o diagnóstico da situação). A localização estratégica e a construção racional dos poços de monitoramento, aliadas a métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise de amostras, permitem resultados bastante precisos sobre a influência do método de disposição dos resíduos, na qualidade da água subterrânea.

Essa norma foi adaptada pela ABNT como norma NBR 13 895 “Construção de poços de monitoramento e amostragem”, junho de 1997.

1 Objetivo

Essa norma fixa as condições exigíveis para construção de poços de monitoramento de aquífero freático e dados mínimos para apresentação de projeto de redes de monitoramento.

2 Definições

Para os efeitos dessa norma, são adotadas as definições do item 2.1 ao 2.8.

2.1 Aqüífero freático

Formação aquífera com superfície livre à pressão atmosférica.

2.2 Branco de campo

Quantidade de água destilada colocada em um frasco de coleta, transportada até o local do poço de monitoramento, manuseada como se fosse uma amostra e retornada ao laboratório para análise.

2.3 Branco de equipamento

Quantidade de água previamente destilada que, depois de contida em um equipamento de amostragem ou de bombeada através do mesmo, é transferida para frascos de coleta e retornada ao laboratório para análise, a fim de que se verifique se esse equipamento foi efetivamente limpo no laboratório ou no campo.

2.4 Datum

Nível de referência.

2.5 Datum oficial

Datum referido ao nível do mar.

2.6 Diâmetro nominal (DN)

Número adimensional, que indica o tamanho de um elemento de tubulação e corresponde aproximadamente ao diâmetro interno da tubulação expresso em milímetros; é expresso pela sigla DN seguida de um número.

2.7 Poços de jusante

Conjunto de poços colocados a jusante da área de disposição/tratamento de resíduos, em relação ao fluxo preferencial das águas subterrâneas, de forma a interceptar o fluxo de poluentes provenientes da área.

2.8 Poço de montante

Poço situado a montante da área de disposição/tratamento de resíduos, em relação ao fluxo preferencial das águas subterrâneas. As amostras coletadas nesse poço deverão servir como indicação da qualidade das águas subterrâneas do local sem a interferência do sistema de disposição de resíduos a ser avaliado.

3 Condições gerais

3.1 Distribuição dos poços

3.1.1 Poço de montante

Geralmente um único poço de montante, bem posicionado, é suficiente para o fim destinado, contanto que não haja nenhuma possibilidade de exposição ao fluxo da possibilidade de exposição ao fluxo da possível pluma gerada pelo método de disposição do resíduo.

3.1.2 Poços de jusante

3.1.2.1 Quanto maior for a certeza do real comportamento do sentido de fluxo subterrâneo, menor o número de elementos que deverão compor o conjunto de poços de jusante. De qualquer forma, recomendam-se no mínimo três poços de jusante no sistema de monitoramento.

3.1.2.2 Os poços de jusante são posicionados transversalmente ao fluxo subterrâneo, distribuindo-se ao longo da largura da possível pluma.

Nota: Para a locação dos poços é absolutamente imprescindível a determinação do sentido do fluxo das águas subterrâneas

3.2 Localização dos poços em relação à área de disposição

A Figura 1 apresenta a localização dos poços de monitoramento.

3.2.1 O poço de montante deve ser locado próximo à área de disposição, mas a uma distância segura da influência do efluente.

3.2.2 Os Poços de jusante devem ser distribuídos próximo à área de disposição para que a pluma possa ser identificada o mais breve possível, no caso do lixiviado atingir o lençol. Entretanto, a localização exageradamente próxima dos poços aumenta o risco de contaminação direta dos mesmos.

3.3 Apresentação de projeto de poços de monitoramento

Para apresentação do projeto, devem ser fornecidos à CETESB os seguintes elementos:

- a) mapa piezométrico;
- b) descrição da geologia local;
- c) estimativa da espessura do aquífero freático;
- d) localização dos poços de monitoramento em coordenadas cartesianas e planta topográfica, indicando a localização da rede e da instalação a ser monitorada;
- e) memorial descritivo nos termos dessa norma;
- f) parâmetros a ser analisados na água.

3.4 Perfuração

Na perfuração de poços de monitoramento, são levados em consideração outros fatores, além dos observados na construção de poços para captação de água. Nos poços para monitoramento, a profundidade e o diâmetro de perfuração normalmente são menores. O método utilizado para a perfuração não deve utilizar fluidos de perfuração que possam influir na composição química da água de amostragem. Durante a perfuração é importante acompanhar as variações do nível de água e manter o controle das amostras do solo escavado. A boa descrição do solo e a correlação deste com a respectiva profundidade são importantes na avaliação da profundidade ideal e da melhor forma de acabamento do poço.

3.4.1 Supervisão

A perfuração de poços deve ser supervisionada por profissional habilitado.

3.4.2 Equipamentos

O princípio básico dos processos de perfuração está na desagregação da rocha ou solo por instrumento cortante, triturador ou abrasivo (trado, trépano, coroa diamantada, coroa de vídia), aliado a movimentos de rotação ou percussão.

3.4.2.1 Trado manual

É o equipamento mais utilizado para a escavação de poços de monitoramento. É de simples manuseio; o equipamento, a operação e a manutenção são de baixo custo; o método não exige a utilização de fluidos de perfuração. Porém, a perfuração a trado atinge uma profundidade restrita, opera com deficiência na zona saturada e

tem como fatores limitantes a presença de crosta dura e de pedregulhos. O fato da amostra de solo ser recuperada na forma desagregada não prejudica de forma acentuada a identificação da seqüência litológica do local. O equipamento consiste em um trado (escavador) e em uma haste composta por seções de 1 m de comprimento, que são rosqueados à medida que a perfuração prossegue. O avanço da perfuração ocorre pela rotação da alavanca, executada manualmente por 1 a 3 homens. Esgotada a capacidade de retenção de solo, o trado é recolhido para a retirada do solo correspondente ao intervalo de perfuração e uma porção da amostra é coletada, acondicionada e etiquetada com os dados de descrição e do intervalo de perfuração.

3.4.2.2 Trado mecanizado

O funcionamento é semelhante ao do trado manual; a diferença está no motor, que transmite o movimento de rotação à haste.

3.4.2.3 Percussão com jato de água

É basicamente uma sonda a percussão destinada à perfuração em depósitos aluvionares e mantos de intemperismo. Uma torre sustenta o trépano, componente responsável pela desagregação do solo. Um motor imprime ao trépano movimentos de descida e subida. Na sua descida, em queda livre, haverá impacto com o solo, resultando na perfuração. À medida que a escavação prossegue, são encaixadas seções de tubos de revestimento para proteção da parede. Para carrear o material triturado é injetada água sob pressão pelo interior da haste que sustenta o trépano. Terminada a perfuração, faz-se a injeção de pré-filtro, se necessário, concomitantemente à retirada do revestimento provisório. Nos casos em que as condições de estabilidade da formação o permitam, pode-se colocar o pré-filtro e o filtro com o revestimento definitivo, após a retirada do revestimento provisório. O fato da descrição do solo escavado ser feita pela análise da lama resultante da perfuração, a correlação desta com a respectiva profundidade é prejudicada.

3.4.2.4 Rotativa diamantada

É um equipamento indicado para terrenos que apresentam limitação à penetração dos equipamentos relacionados anteriormente. O custo desse processo é mais elevado do que nos processos anteriormente vistos. A perfuração se faz pelo processo de abrasão, pela ação da coroa diamantada em movimentos rotativos. Nesse processo é utilizado um fluido de perfuração, que tem por objetivo: a lubrificação e o esfriamento da coroa; o carreamento dos detritos resultantes da perfuração para a superfície; estabilização da parede de perfuração. O fluido mais comumente utilizado é a lama de perfuração (bentonita), mas no caso de poços de monitoramento é recomendável a utilização de água, o que depende das condições de estabilidade e resistência do solo. A amostra de rocha resultante do processo de perfuração é obtida na forma de testemunho, o que permite uma boa avaliação das variações litológicas.

3.5 Preparação do poço de monitoramento

Após o término da construção, o poço deve ser esgotado tantas vezes quantas necessárias, até que se obtenha água com turbidez menor ou igual a 5 N.T.U. Caso seja possível, proceder a uma análise das características dos sólidos em suspensão.

3.6 Apresentação do relatório da construção dos poços de monitoramento

Após o término da construção, deverá ser apresentado um relatório da construção contendo os seguintes elementos para cada poço:

- g) data de conclusão construção;
- h) método de perfuração utilizado e tipo de fluido de perfuração, se utilizado;
- i) localização real dos poços, em planta topográfica e coordenadas cartesianas;
- j) cota do solo, no ponto do poço;
- k) diâmetro da perfuração e diâmetro interno do revestimento;
- l) profundidade total do poço;
- m) descrição do perfil geológico;
- n) materiais utilizados no revestimento, filtro, pré-filtro, junções, selo e preenchimento;
- o) dimensões e distribuição das ranhuras ou furos;
- p) no caso de se usar tela, especificar o tipo de material e abertura da malha;
- q) volume do pré-filtro utilizado;
- r) volume do selo utilizado;
- s) método de colocação do selo; e
- t) procedimento utilizado para o desenvolvimento do poço.

4 Condições específicas

4.1 Componentes dos poços de monitoramento

Os poços de monitoramento, conforme mostra a Figura 2, são constituídos basicamente dos seguintes elementos:

- a) revestimento interno;
- b) filtro;
- c) pré-filtro;
- d) proteção sanitária;
- e) tampão;
- f) sistema de proteção;
- g) selo;
- h) preenchimento; e
- i) guias centralizadoras.

4.1.1 Revestimento interno

São tubos de aço inoxidável, ferro fundido ou plástico, encaixados no interior da perfuração, com a função de revestir a parede da mesma ao longo do segmento correspondente à zona não saturada, para evitar desmoronamentos e servir como proteção sanitária.

Nota: A escolha do material deverá ser feita em função das características do poluente a ser amostrado. Nos poços de monitoramento, são utilizados com mais frequência revestimentos de tubo de PVC rígido marrom (JS Classe 12), devido a sua praticidade, baixo custo, resistência e baixa reatividade. O diâmetro pode ser pequeno (DN 50, DN 75, DN 100), suficiente para a introdução do amostrador e para a medição do nível da água.

4.1.2 Filtro

Tem a propriedade de permitir a entrada da água e de impedir a penetração de algumas impurezas clásticas do poço.

Nota: Caso utilizem-se tubos de pequeno diâmetro (DN 50 ou DN 75), o filtro deve penetrar no aquífero pelo menos 2 m. Se a formação aquífera for argilosa ou de baixa transmissividade; nunca empregar tubos com diâmetros nominais inferiores a DN 100.

4.1.2.1 Há vários tipos de filtro; o mais comum e eficiente é o do tipo ranhurado. Consiste em tubo com ranhuras vazadas, distribuídas como mostra a Figura 3. A largura da ranhura poderá ser de 2 a 3 mm. Recomenda-se a execução de ranhuras com comprimento um pouco menor do que a metade da circunferência da seção transversal. A distância entre as ranhuras pode ser de aproximadamente 1 cm.

4.1.2.2 O filtro é normalmente construído de PVC; entretanto, dependendo das substâncias existentes nas águas subterrâneas, poderá ser substituído por outro material.

4.1.2.3 Dependendo do tipo de solo local, o filtro pode ter uma melhor eficiência quando envolvido por uma manta geotêxtil ou por uma tela de "nylon", a fim de evitar o entupimento das ranhuras.

4.1.2.4 Os filtros dos poços podem ocupar a extensão da zona saturada, tanto nos poços de jusante como nos de montante. O comprimento do filtro depende de vários fatores, basicamente:

- a) espessura saturada;
- b) geologia;
- c) gradiente hidráulico;
- d) propriedades físico-químicas e concentração do poluente.

4.1.3 Pré-filtro

Ocupa o espaço anular, entre o filtro e a parede de perfuração. É constituído de areia lavada de grãos quartzosos ou pedrisco de quartzo (inertes e resistentes).

4.1.3.1 Deve ser cuidadosamente disposto, com os grãos bem assentados e minimizando a formação de espaços vazios.

4.1.3.2 A granulometria adequada para pré-filtro deve ser correspondente a diâmetro maior do que a abertura do filtro.

Nota: Em formações aquíferas arenosas, poderá ser dispensado o pré-filtro.

4.1.4 Proteção sanitária

Tem a função de evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular. É o conjunto formado pelo selo sanitário e pela laje de proteção. O selo sanitário é o cimento da extremidade superior do espaço anular (~ 30 cm de altura). A laje de proteção é o piso de cimento, construído com pequeno declive ao redor da boca do poço.

4.1.5 Tampão

A extremidade superior do tubo (boca do poço) deve ser protegida contra a penetração de substâncias indesejáveis, que podem comprometer os resultados de análise. É necessário instalar tampão removível. Na extremidade inferior do tubo, um tampão fixo (de preferência roscado) tem a função de evitar o carreamento do material constituinte do pré-filtro.

Nota: A variação do nível de água poderá causar uma variação de pressão dentro do tubo de revestimento, dificultando a retirada do tampão. Um pequeno orifício (respiro) no tampão ou no tubo de revestimento (próximo à boca) é uma forma de eliminar esse problema.

4.1.6 Sistema de proteção do tubo

O tubo de revestimento sobressai ao nível do terreno (~ 0,2 m) para evitar a penetração de água superficial e de elementos estranhos no poço. O sistema de proteção – de alvenaria ou tubo de aço – deve ter dimensões apenas suficientes para envolver a parte saliente do tubo de revestimento (ver Figura 2 – b e c). Uma tampa na parte superior permite o acesso ao poço. Essa tampa deve manter-se fechada a chave para melhor proteção do poço.

Nota: O poço deve ser identificado de forma indelével, permanente e de fácil visualização em sua tampa ou laje de proteção sanitária.

4.1.7 Selo

É um obturador com a função de vedar o espaço anular em torno do tubo de revestimento, acima do limite máximo de variação do nível do lençol, evitando a contaminação do poço por líquidos percolados pelo espaço anular. Serve também para delimitar camada de interesse dentro da zona saturada. O material vedante

(bentonita, cimento) deve obstruir uma pequena parte do espaço anular, o suficiente para impedir a passagem de água de um nível para outro.

4.1.8 Preenchimento

O espaço anular entre a parede da perfuração e a superfície externa do tubo de revestimento deve ser preenchido por material impermeável (argila, solo da perfuração), em toda a extensão não saturada (acima do nível da água), a fim de firmar o tubo de revestimento e dificultar a penetração de líquidos provenientes da superfície.

4.1.9 Guias centralizadoras

Dispositivos salientes, distribuídos ao longo do tubo de revestimento, fixados por seu lado externo (ver Figura 2 – a). Têm a função de mantê-lo centrado em relação ao eixo do poço.

4.2 Extensão dos filtros

4.2.1 Filtro longo

4.2.1.1 A instalação de filtros longos (mais de 3 m de comprimento) só são aconselháveis quando a litologia é relativamente simples, a pluma possui uma distribuição vertical homogênea ou a vazão do aquífero é baixa.

4.2.1.2 O filtro longo, durante a amostragem, pode contribuir para a diluição da concentração da pluma. Os resultados das análises sempre representarão a concentração média da seção. No entanto, esse poço pode ser utilizado para amostragem a diferentes profundidades pelo emprego de amostradores específicos e, nesse caso, o resultado das análises indicará a concentração na profundidade amostrada. Em situações em que a vazão do aquífero é extremamente pequena, o filtro longo permite agilizar a recuperação do nível de água após o esvaziamento para a coleta de amostras.

4.2.2 Filtro curto

4.2.2.1 É indicado em casos de se deparar com:

- a) geologia complexa;
- b) necessidade de caracterização mais precisa da pluma; e
- c) poluente que ocupe nível preferencial dentro da zona saturada.

4.2.2.2 Uma bateria de poços (ver Figura 4 – a) é utilizada para monitoramento puntiforme nos locais de zona saturada espessa. A bateria de poços constitui-se de um grupo de poços localizados bem próximos uns aos outros com profundidades variáveis e com filtros curtos (1 a 3 m), dispostos em profundidades distintas. Esses poços são dimensionados para, em conjunto, interceptarem o fluxo subterrâneo em toda a extensão ou em segmentos apropriados do aquífero freático.

4.2.2.3 Um multinível (ver Figura 4 – b) consiste em tubos de comprimentos variáveis, munidos de filtros curtos, introduzidos numa perfuração (ex.: três tubos de DN 50 instalados em perfuração de 152 mm), completados com pré-filtro e selo, delimitando o campo de ação de cada filtro. Esse método tem como objetivo possibilitar a amostragem em vários níveis, dentro da zona saturada.

Nota: Os sistemas tratados em 4.2.2.2 e 4.2.2.3 permitem a avaliação do componente vertical de fluxo.

Anexo A - Orientação para coleta de amostras¹

A-1 Amostragem de água subterrânea

A-1.1 Um plano para amostragem de água subterrânea deve levar em conta múltiplos aspectos, tais como:

- a) técnicas de coleta;
- b) técnicas de preservação e acondicionamento de amostras;
- c) métodos de análise; e
- d) procedimentos de encaminhamento de amostras.

A-1.2 Os problemas mais comuns nas amostragens são os seguintes:

- e) o responsável não prepara um plano ou simplesmente não tem plano definido;
- f) o plano contém poucas informações ou contém informações pouco relevantes para orientar o técnico que irá executar as coletas de amostras;
- g) as instruções do plano não são seguidas ou simplesmente se desconhece a existência de um plano;
- h) empregam-se técnicas inadequadas de esgotamento do poço;
- i) adotam-se equipamentos de coleta inadequados, que podem comprometer a qualidade da água do poço ou acarretar perda de compostos voláteis;
- j) nos laboratórios, não se utiliza branco de campo, reagente padronizado ou diluição padrão para identificar alterações nas amostras, após a coleta;

Nota: Recomenda-se a utilização de um branco de campo por amostragem para cada tipo de frasco.

- k) não se faz a limpeza apropriada do equipamento de amostragem;
- l) os equipamentos de amostragem (corda, balde e tubos) são colocados no solo, podendo contaminar-se antes do uso;

¹ Adaptado e R.C.R.A. Ground-Water Monitoring Technical Enforcement Guidance Document, EPA, set. de 1986.

- m) os dados de campo não são registrados devidamente (p. ex.: nível de água temperatura);
- n) o procedimento para encaminhamento de amostras ao laboratório não é seguido devidamente;
- o) pouca atenção é dispensada quando se anotam erros e anomalias;
- p) adotam-se protocolos de garantia de qualidade ou de controle de qualidade inadequados (campo e/ou laboratório).

A-2 Elementos do plano de amostragem

O plano de amostragem deve incluir as seguintes informações básicas:

- a) coleta de amostra;
- b) preservação e coleta de amostras;
- c) procedimento de encaminhamento das amostras;
- d) procedimento analítico;
- e) controle de qualidade no campo e no laboratório.

A-2.1 Coleta da amostra

A-2.1.1 Medida do nível estático

O plano de amostragem deve prever a medição do nível estático de cada poço antes de cada operação de esgotamento.

A-2.1.1.1 Os dados do nível de água coletados de forma sistemática são importantes para determinar se os fluxos horizontal e vertical sofrerão alteração desde a caracterização inicial do poço de monitoramento.

A-2.1.1.2 O plano deve especificar o tipo de instrumento e a metodologia para medição de nível.

A-2.1.1.3 O técnico de campo deve medir a profundidade da água no poço para calcular o volume de água estagnada e verificar as condições do filtro do poço (identificar problemas de turvação). A medida deve ser tomada com erro menor que 0,3 cm.

A-2.1.1.4 Cada poço deve ter um Datum facilmente identificável com referência ao Datum oficial mais próximo.

A-2.1.1.5 Em áreas remotas, pode-se estabelecer um piquete provisório para facilitar a reamostragem.

A-2.1.1.6 O equipamento utilizado para medição de nível deverá ser suficientemente sensível, podendo ser uma trena de aço. Contudo, recomenda-se um equipamento eletrônico.

Notas:

- a) Deve-se tomar cuidado para que o equipamento não contamine a amostra de água.
- b) O equipamento de medição de nível deverá ser construído de material inerte para facilitar a limpeza.

A-2.1.2 Detecção de camadas imiscíveis

O plano de amostragem deve prever um esquema para determinar contaminantes imiscíveis (sobrenadantes e depositantes). Os compostos sobrenadantes normalmente são líquidos orgânicos insolúveis, menos densos do que a água, e os compostos depositantes são líquidos insolúveis, mais densos do que a água.

A-2.1.2.1 A determinação das camadas imiscíveis deve ser feita com equipamentos especializados antes do poço ser esgotado para amostragem convencional.

A-2.1.2.2 O plano deve especificar o tipo de equipamento para se detectar a fase mais leve e a fase mais densa.

A-2.1.2.3 O procedimento para detecção de camadas imiscíveis deve compreender as seguintes etapas:

- a) remover a tampa do poço de monitoramento;
- b) amostrar o ar do poço para verificar a existência de voláteis;
- c) determinar o nível estático da camada de cima, empregando um manômetro (outro tipo de equipamento poderá ser utilizado);
- d) colocar um sensor no poço para detectar a existência de camadas imiscíveis.

A-2.1.2.4 O monitoramento do ar acima da superfície livre da camada mais leve é importante para julgar se existe risco de explosão ou fogo.

A-2.1.2.5 Um manômetro, sonda acústica ou apito (para poços muito rasos), pode fornecer um registro preciso da profundidade da superfície do líquido no poço, mas nada é capaz de diferenciar a superfície potenciométrica da superfície da camada imiscível. Contudo, é usual determinar a profundidade da superfície livre para auxiliar a colocação do sensor de interface.

A-2.1.2.6 O sensor de interface tem suas finalidades:

- a) quando é lançado no poço, permite determinar a existência de líquido orgânico;
- b) permite verificar a existência de camadas imiscíveis.

Nota: A existência de sobrenadantes torna impossível o uso exclusivo de sonda ou apito para determinação do nível estático da água. O medidor de interface consiste em flutuadores de diferentes densidades, os quais acionam um dispositivo elétrico quando atravessam diferentes camadas.

A-2.1.2.7 Determina-se a fase densa de líquidos imiscíveis baixando o equipamento até o fundo do poço, onde o detector de interface registra a presença de líquido orgânico.

A-2.1.2.8 O procedimento para coletar a fase leve imiscível depende de sua profundidade e espessura. A fase imiscível deve ser coletada antes de qualquer atividade de limpeza.

A-2.1.2.9 Se a espessura da fase leve for de 60 cm ou mais, poder-se-á utilizar um coletor de caneca (caçamba de dardo) – ver Figura 5.

A-2.1.2.10 Se a espessura da camada flutuante for menor que 60 cm e a profundidade da superfície for menor que a altura de sucção, poder-se-á empregar uma bomba peristáltica.

A-2.1.2.11 Se a espessura da camada flutuante for menor que 60 cm e a profundidade de sua superfície for maior que a altura de sucção da bomba, dever-se-á modificar um coletor para permitir a entrada do líquido pela parte de cima. A válvula de baixo deverá ser travada. A bola da válvula de cima deverá ser removida para permitir a entrada da amostra por cima. A flutuação que ocorre quando o coletor recebe o líquido sobrenadante pode ser evitada, colocando-se um pedaço de tubo de aço inoxidável na linha de retorno, acima do coletor.

A-2.1.2.12 O equipamento deve ser baixado cuidadosamente, medindo-se a altura da superfície da camada flutuante. O coletor deve ser baixado até a metade da camada sobrenadante. Essa técnica é a técnica mais eficiente para amostrar a fase flutuante quando sua espessura mede poucos centímetros.

A-2.1.2.13 O melhor método para coletar a fase densa imiscível consiste no emprego de um coletor com duas válvulas de retenção (ver Figura 5 – b). Para efetuar uma boa coleta é necessário movimentar lentamente o coletor durante toda a operação. A fase densa deve ser coletada antes de qualquer atividade de esgotamento.

A-2.1.3 Esgotamento do poço

A água parada no poço pode não ser representativa da qualidade da água do local. Portanto, o técnico deve remover a água estagnada no poço e no pré-filtro, de tal forma que a água da formação substitua a água estagnada.

A-2.1.3.1 O plano de amostragem deve pormenorizar a operação de esvaziamento dos poços e indicar o tipo de equipamento a ser utilizado pelo operador.

A-2.1.3.2 O procedimento de esgotamento deve assegurar que toda a água estagnada seja substituída por água de formação. A operação deve permitir o rebaixamento do nível de água acima do topo do filtro para assegurar que a água se mova ascendentemente no mesmo.

A-2.1.3.3 O procedimento do operador depende das características do poço. Ao esvaziar poços de baixa produtividade (aqueles que são incapazes de produzir 3 volumes do poço), o operador deve esgotá-lo completamente. Assim que o poço se recuperar suficientemente, a primeira amostra deverá ser utilizada para medição de pH, temperatura e condutividade. As amostras devem ser acondicionadas na ordem de crescente da susceptibilidade à volatilização. O poço deve ser retestado quanto ao pH, temperatura e condutividade depois da amostragem para avaliação da eficiência do esgotamento e verificação da estabilidade das amostras de água. Quando o tempo de recuperação do poço exceder 2 horas, o operador deverá coletar as amostras assim que for possível obter um volume suficiente para cada parâmetro.

A-2.1.3.4 De forma alguma o operador deverá esvaziar completamente o poço se a recarga for muito forte e provocar a formação de quedas d'água, acelerando a perda de voláteis. O operador poderá evitar esse inconveniente, retirando 3 volumes do poço, a uma velocidade que não cause recarga excessiva, antes da amostragem.

A-2.1.3.5 Alguns tipos de bomba (peristáltica, de ar comprimido e venturi) provocam volatilização e produzem elevada pressão diferencial, o que acarreta variação nas medidas de pH e condutividade, bem como nos resultados das análises para determinação dos teores de metais e de orgânicos voláteis. Essas bombas são aceitáveis para limpeza, desde que se deixe a água estabilizar antes da amostragem.

A-2.1.3.6 Quando o equipamento de bombeamento tem que ser reutilizado, há necessidade de descontaminá-lo, procedendo de forma idêntica à adotada com relação ao equipamento de amostragem. O uso de luvas limpas é obrigatório.

A-2.1.3.7 Deve-se tomar precauções para que o solo não entre em contato com equipamentos de esgotamento e linhas de bombeamento, a fim de que não ocorra a introdução de contaminantes no poço de monitoramento.

A-2.1.3.8 Se a água proveniente da limpeza estiver contaminada, haverá necessidade de acondicioná-la em tambores, para sua disposição fora da área.

A-2.1.4 Retirada de amostras

A técnica utilizada para coleta de amostras deve levar em conta os parâmetros a serem determinados.

A-2.1.4.1 Para garantia de que a amostra de água seja representativa da formação, deve-se reduzir ao mínimo as alterações químicas e físicas durante o processo de retirada de amostras.

A-2.1.4.2 A fim de reduzir as possibilidades de contaminação da amostra, o operador deve atender aos seguintes requisitos:

- a) utilizar equipamentos de Teflon ou de aço inoxidável;
- b) empregar amostrador específico para cada poço.

Notas: a) Se não houver um amostrador para cada poço, o operador deverá limpar o equipamento antes de cada amostragem, coletar branco do equipamento e mandar analisá-lo para verificar se não há contaminação.

b) Recomenda-se a utilização de, no mínimo, um branco de equipamento por dia de amostragem.

A-2.1.4.3 O plano de amostragem deve especificar a ordem em que as amostras devem ser coletadas, prevendo o início das coletas nos locais menos contaminados. Além disso, em cada poço, as amostras devem ser coletadas e acondicionadas de acordo com a ordem decrescente de sua susceptibilidade à volatilização, a saber:

- a) voláteis (ver Anexo C).
- b) compostos semivoláteis (ver Anexo C);
- c) pesticidas/PCBs (ver Anexo C);
- d) metais totais (ver Anexo C);
- e) metais solúveis (ver Anexo C);
- f) carbono orgânico total (TOC);
- g) halogêneos orgânicos totais (TOX);
- h) fenóis (ver Anexo C);
- i) cianeto;
- j) nitrato de amônia;
- k) sulfato e cloreto;
- l) radionuclídeos.

A-2.1.4.4 Os procedimentos para limpeza dos equipamentos devem ser relacionados no plano.

A-2.1.4.5 Os seguintes equipamentos são aceitáveis, quando empregados adequadamente:

- m) bomba de bexiga, com corpo de Teflon ou aço inoxidável, acionada a gás (ver Figura 6);
- n) coletor de Teflon ou aço inoxidável, com duas válvulas de retenção e dispositivo de esvaziamento na parte de baixo (ver Figura 5 – a);
- o) seringa (de aço inoxidável ou Teflon);
- p) coletor de Teflon ou aço inoxidável, com uma válvula de retenção (ver Figura 5 – b).

A-2.1.4.6 Os equipamentos de amostragem devem ser feitos de material inerte. Os equipamentos revestidos com neoprene, coletores de PVC, tubo de "tygon", bexiga de borracha de silicone, êmbolos de neoprene, polietileno e "viton" não são aceitáveis por interferirem nos parâmetros a ser analisados.

A-2.1.4.7 Se o operador estiver utilizando um coletor, o cabo deste deverá ser de material inerte.

A-2.1.4.8 No campo, o supervisor deve verificar se o operador está satisfazendo as seguintes condições:

- a) a bomba de bexiga, se utilizada, deve ser operada continuamente, de tal forma que não ocorra pulsação, acartando assim aeração na amostra;
- b) as válvulas de retenção dos equipamentos devem ser projetadas e inspecionadas para evitar problemas de entupimento ou de aeração na amostra;
- c) o equipamento de amostragem não deve ser lançado no poço para evitar turbulência, pois isso provoca desgaseificação da água no impacto;
- d) a transferência de uma amostra do amostrador para o frasco de coleta deve ser feita lentamente para evitar aeração;
- e) o equipamento de amostragem, quando limpo, não deve ser colocado diretamente no solo ou sobre outra superfície contaminada, antes de ser introduzido no poço.

A-2.1.4.9 Quando se utiliza equipamento específico para cada poço, é necessário seguir o procedimento para desmontar e limpar o equipamento antes de cada amostragem. A primeira lavagem poderá ser feita com ácido nítrico ou clorídrico 0,1 N; a segunda, com água de torneira; e a última, com água destilada. O ácido clorídrico é geralmente preferível ao ácido nítrico, principalmente quando o equipamento de amostragem é de aço inoxidável.

A-2.1.4.10 Quando a amostragem se refere a orgânicos, há necessidade de lavar o equipamento com detergente sem fosfato e depois enxaguar com água de torneira, água destilada, acetona e hexano do grau pesticida. O operador deve amostrar primeiro os poços de montante e depois os de jusante.

Nota: As instruções de A-2.1.4.9 e A-2.1.4.10 são imprescindíveis quando se quer avaliar baixas concentrações próximas do limite de detecção do parâmetro a ser analisado.

A-2.1.4.11 Quando se coletam orgânicos voláteis através de bomba de bexiga, a taxa de bombeamento não pode ser superior a 100 ml/minuto. Taxas mais elevadas podem provocar perda de compostos voláteis e variação do pH. Após a coleta específica para voláteis, o operador poderá aumentar a taxa de bombeamento. A vazão de amostragem não deve exceder a utilizada para esgotamento do poço.

A-2.1.5 Análises "in-situ" ou de campo

Vários constituintes instáveis devem ser testados no poço ("in-situ") ou logo após a coleta na boca do poço. Como exemplos de elementos ou propriedades instáveis, incluem-se: pH, potencial, redox, cloro, sulfeto, oxigênio dissolvido, alcalinidade e temperatura. Apesar da condutividade específica ser relativamente estável, é aconselhável determiná-la em campo.

A-2.1.5.1 A maioria dos instrumentos de condutividade requer compensação de temperatura; portanto, há necessidade de medir a temperatura quando se determina a condutividade.

A-2.1.5.2 Se o operador utilizar sensores (eletrodo para pH, eletrodos de íon específico, termístores) para medir qualquer das propriedades relacionadas, é importante que essa seja a última operação, de tal forma que a contaminação potencial pelo eletrodo seja a menor possível.

A-2.1.5.3 Os sensores de monitoramento não devem ser colocados nos frascos de coleta de amostra de água.

A-2.1.5.4 O operador deve providenciar a calibração dos equipamentos de monitoramento ou sensores e "kits" de campo, antes de qualquer medição, em conformidade com as instruções do fabricante e com os métodos de avaliação de resíduos sólidos.²

A-3 Preservação e manuseio de amostras

A-3.1 Generalidades

Muitos dos constituintes químicos e parâmetros físico-químicos que devem ser medidos ou avaliados em programas de monitoramento não são quimicamente estáveis, daí a necessidade de preservação. Em complementação, o Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água (ver D-10) especifica frascos de amostras que o operador deve utilizar para cada constituinte ou conjunto de parâmetros (ver tabela).

A-3.1.1 O método de preservação e o tipo de frasco de coleta devem ser identificados no plano de amostragem.

A-3.1.2 Todos os procedimentos para transferência de amostras no campo e fora do laboratório devem ser detalhados no plano de amostragem. O manuseio impróprio de amostras poderá alterar os resultados analítico das mesmas. As amostras no campo devem ser retiradas diretamente do equipamento de amostragem para o frasco de coleta. Não é prática aceitável fazer amostras compostas em um mesmo frasco de boca larga e depois transferi-las para frascos menores.

² Physical/Chemical Methods (SW-846), 2ª edição, 1982.

A-3.1.3 O plano de amostragem deve especificar as técnicas para transferir as amostras com voláteis, do equipamento de amostragem para o frasco de coleta, a fim de que as perdas por agitação e volatilização sejam reduzidas ao mínimo.

A-3.2 Frascos de coleta

O plano de amostragem deve identificar o tipo de frasco de coleta a ser usado, assim como o procedimento para garantir que os frascos estejam isentos de contaminantes antes de serem usados.

A-3.2.1 Quando os metais constituírem o elemento de interesse, dever-se-á utilizar frascos de Teflon ou polietileno com tampa de polipropileno. Quando os orgânicos forem compostos de interesse, dever-se-á utilizar frascos de vidro com tampa revestida de Teflon.

A-3.2.2 Os frascos devem ser limpos conforme o parâmetro de interesse.

A-3.2.3 Quando as amostras tiverem de ser analisadas para identificação de metais, tanto os frascos de coleta quanto à vidraria de laboratório deverão ser muito bem lavados com detergente não fosfatado e água de torneira, enxaguados com ácido nítrico e água de torneira (1:1) e, finalmente, com água destilada, nessa ordem.

A-3.2.4 Para análise de orgânicos, deve ser removido todo e qualquer material residual do frasco de coleta; em seguida, este deve ser lavado com detergente não fosfatado, em água quente. Depois deve ser enxaguado com água de torneira, água destilada, acetona e finalmente com hexano de grau pesticida.

A-3.2.5 A vidraria suja ou contaminada não forma uma película muito fina de água em sua superfície e pode exigir tratamento com ácido crômico e/ou secagem em uma mufla a 400°C, durante 15 a 30 minutos, para garantir que o vidro está limpo.

A-4.2.6 O ácido crômico pode ser útil na remoção de depósitos orgânicos da vidraria; entretanto, o analista deve assegurar-se de que a vidraria precisa ser perfeitamente enxaguada para eliminação dos últimos traços de cromo. O emprego de ácido crômico pode causar problemas de contaminação e deverá ser evitado, se o cromo for o elemento de interesse.

A-3.2.7 A vidraria deve ser selada e armazenada em local limpo, imediatamente após a secagem e resfriamento, a fim de impedir o acúmulo de poeira ou outros contaminantes; deve ser armazenada com a boca tampada com folha de alumínio e em posição invertida.

A-3.3 Preservação de amostras

A-3.3.1 O plano de amostragem deve indicar os métodos de preservação de amostras que serão utilizados.

Nota: Os métodos de preservação de amostras são relativamente limitados e têm geralmente por objetivo:

- a) retardar a ação biológica;
- b) retardar a hidrólise;
- c) reduzir os efeitos de sorção.

A-3.3.2 Os métodos de preservação limitam-se geralmente a controle de pH, adição química, refrigeração e proteção contra a luz.

A-3.3.3 A cada constituinte da amostra corresponde um método de preservação específico (ver tabela).

A-3.4 Considerações especiais sobre manuseio

A-3.4.1 As amostras utilizadas para determinação de orgânicos não devem ser filtradas. As amostras não devem ser transferidas de um frasco para outro, pois isso ocasiona a perda de material orgânico na parede do frasco ou pode ocorrer aeração. As amostras para halogênios orgânicos totais (TOX) e carbono orgânico total (TOC) devem ser manipuladas e analisadas como materiais que contêm orgânicos voláteis.

A-3.4.2 Não deve existir espaço vazio no frasco da amostra para reduzir ao mínimo a possibilidade de volatilização dos orgânicos. Os diários de campo e os relatórios de análise de laboratório devem registrar o espaço vazio nos frascos de amostra na hora da recepção no laboratório, bem como a hora em que a amostra foi transferida pela primeira vez para o frasco na boca do poço.

A-3.4.3 As amostras de água subterrânea, destinadas a análises para determinação de metais, devem ser divididas em duas porções: uma deve ser filtrada em membrana de 0,45 µm, transferida para um frasco, preservada com ácido nítrico (pH < 2) e analisada para determinação de metais, dissolvidos; a porção restante deve ser transferida para um frasco, preservada com ácido nítrico e analisada para determinação de metais totais. As partículas de lama, presentes no poço mesmo após o esgotamento deste, podem absorver ou adsorver diversos tipos de íon e baixar significativamente o teor de metal dissolvido na água do poço. Qualquer diferença de concentração entre as frações total e dissolvida poderá ser atribuída ao teor de íon metálico original das partículas e qualquer sorção de íons para as partículas.

Tabela 6410-1: Procedimentos de amostragem e preservação para monitoramento³

Parâmetro	Frasco recomendado ⁴	Método de preservação	Tempo máximo de armazenagem	Volume mínimo necessário para análise
-----------	---------------------------------	-----------------------	-----------------------------	---------------------------------------

Indicadores de contaminação da água subterrânea⁵

pH	T, P, V	Determinado no campo	Nenhum	200 l
Condutividade	T, P, V	Determinado no campo	Nenhum	100 ml
TOC	V, âmbar, tampa ⁶ revestida com Teflon	Refrigerar a 4°C ⁷ , HCl até pH < 2	28 dias	100 ml
TOX	V, âmbar, septos ou tampas revestidos com Teflon	Refrigerar a 4°C, adicionar 1 ml de sulfito de sódio 1,1 M	7 dias	100 ml

Características de qualidade da água subterrânea

Cloreto	T, P, V	4°C	28 dias	200 ml
Ferro Manganês Sódio	T, P	Acidificado no campo com HNO ₃ até pH < 2	6 meses	300 ml
Fenóis	V	4°C / H ₂ SO ₄ até < 2	28 dias	1000 ml
Sulfato	T, P, V	Refrigerar, 4°C	28 dias	200 ml

Características provisórias de potabilidade da água, de acordo com a EPA

Cromo-hexa	T, P	Refrigerar, 4°C	24 horas	250 ml
Arsênico Bário Cádmio Cromo Chumbo Selênio Prata	T, P	<u>Metais totais</u> Acidificado no campo com HNO ₃ até pH < 2 <u>Metais dissolvidos</u> 1. Filtração no campo (0,45µm) 2. Acidificação com HNO ₃ até pH < 2	6 meses 6 meses	1000 ml 1000 ml
Mercúrio	Frasco escuro	1. Filtração no campo (0,45µm) 2. Adicionar 15 ml da solução preservante ⁸	10 dias	250 ml
Fluoreto	T, P	Refrigerar, 4°C	28 dias	100 ml
Nitrato/Nitrito	T, P, V	4°C / H ₂ SO ₄ até < 2	14 dias	200 ml
Endrin Lindano Metoxicloro Toxafeno 2,4 O 2,4,5 TP Silvex	T, V	Refrigerar, 4°C	7 dias	2000 ml
Rádio Alfa total Beta total	P, V	Acidificado no campo com HNO ₃ até pH < 2	6 meses	3785 ml
Bactérias coliformas	PP, V (esterilizado)	Refrigerar, 4°C	6 horas	200 ml

Outras características de interesse das águas subterrâneas

Cianeto	P, V	Refrigerar, 4°C, NaOH até pH > 12, 0,6 g de ácido ascórbico ⁹	14 dias ¹⁰	500 ml
Óleo e graxa	V (somente)	Refrigerar, 4°C, H ₂ SO ₄ até pH < 2	28 dias	1000 ml
Orgânicos semivoláteis e voláteis	T, V	Refrigerar, 4°C	14 dias	1000 ml
Voláteis	V, revestido com Teflon	Refrigerar, 4°C	14 dias	250 ml

³ Referências: Test Methods for Evaluating Solid Waste - Physical/Chemical Methods, SW- 846, 2ª edição (1982) - Methods for Chemical Analysis Water and Wastes, EPA-600/4-79-020

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16ª edição (1985).

⁴ Tipos de frasco:

P - Plástico (polietileno) .

V = Vidro

T = Resinas fluorcarbonadas (PTFE, Teflon, fEP, PFA, etc.)

PP - Polipropileno

⁵ De acordo com os requisitos para monitoramento, deve-se coletar um volume de água subterrânea suficiente para efetuar a análise quatro vezes separadamente.

⁶ Não deixar qualquer espaço vazio.

⁷ As caixas de transporte (com gelo, solto ou em pacotes) devem poder estar à temperatura de 4°C no momento de receber as amostras. A preservação de amostra exige que a temperatura seja ajustada para 4°C imediatamente após a coleta. As caixas de transporte deverão estar a 4°C e manter-se a 4°C, no instante do recebimento e durante o transporte. Termômetros de máxima e mínima deverão ser colocados dentro da caixa de transporte para registrar a variação de temperatura.

⁸ Solução preservante: 10 g de $K_2Cr_2O_7$ p.a. + 200 ml de água destilada + 1000 ml de HNO_3 concentrado p.a., destilado). Todos os reagentes com baixo teor de mercúrio.

⁹ Empregar ácido ascórbico somente em presença de agentes oxidantes.

¹⁰ O máximo tempo de armazenagem é de 24 horas quando há presença de sulfeto. Opcionalmente, todas as amostras podem ser ensaiadas com papel de acetato de chumbo antes da ajustagem do pH, a fim de verificar se há presença de sulfeto. Se houver presença de sulfeto, este poderá ser removido pela adição de pó de nitrato de prata até que o ensaio de mancha dê resultado negativo. Filtrando-se a amostra e adicionando-se NaOH até pH 12.

Anexo B

ANEXO B - FIGURAS

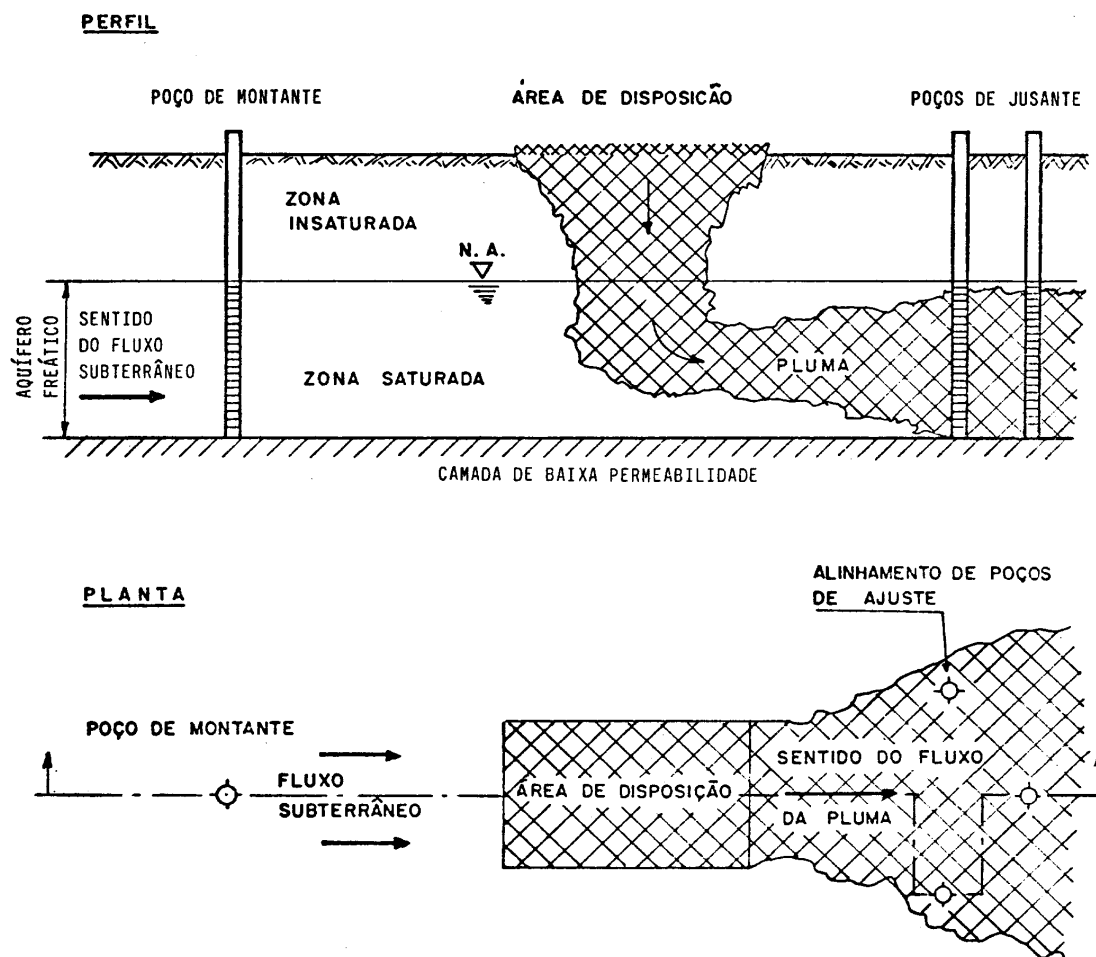


FIGURA 1 - Disposição dos poços de monitoramento

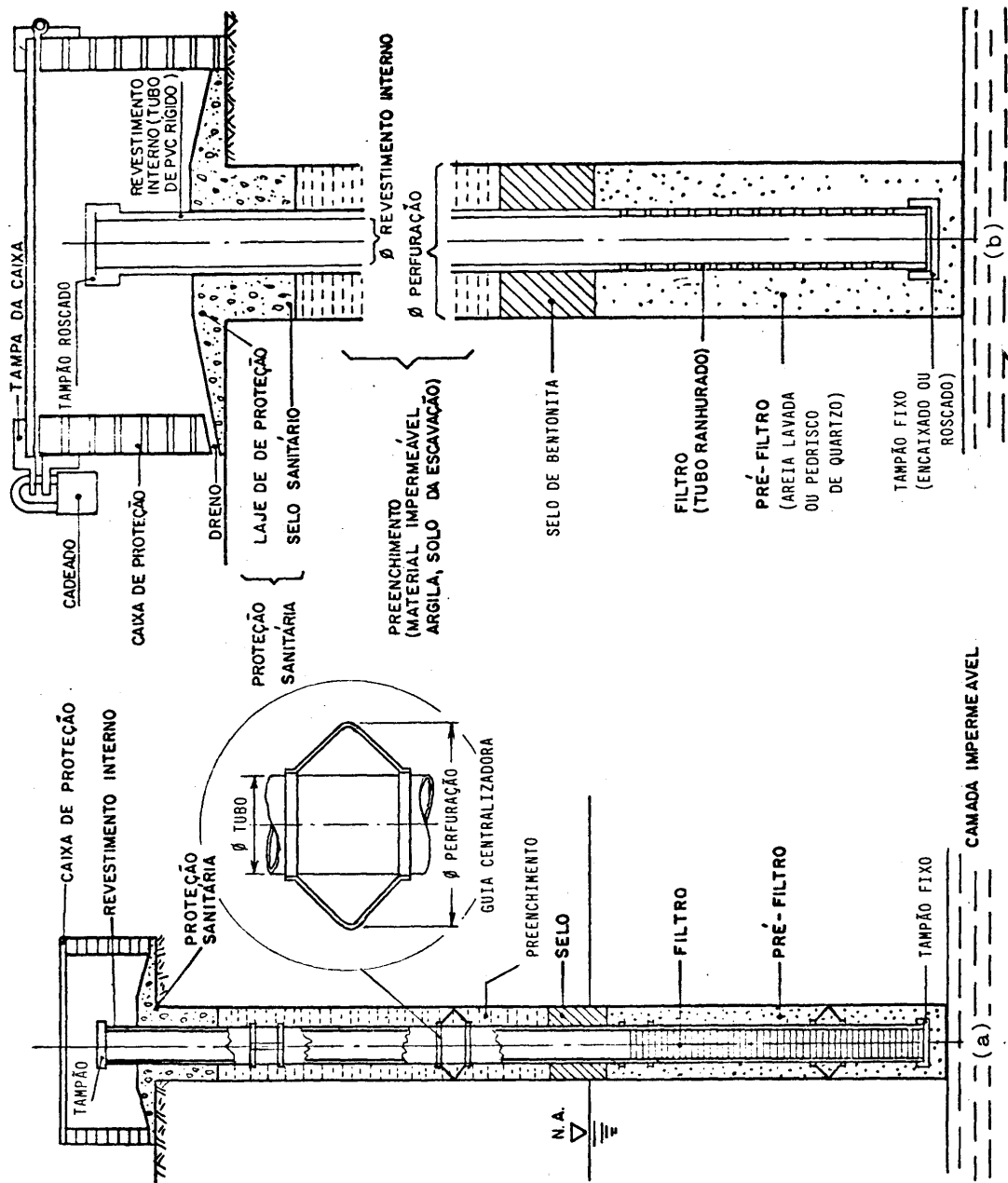


FIGURA 2 - (a) e (b) - Perfil esquemático de poço de monitoramento

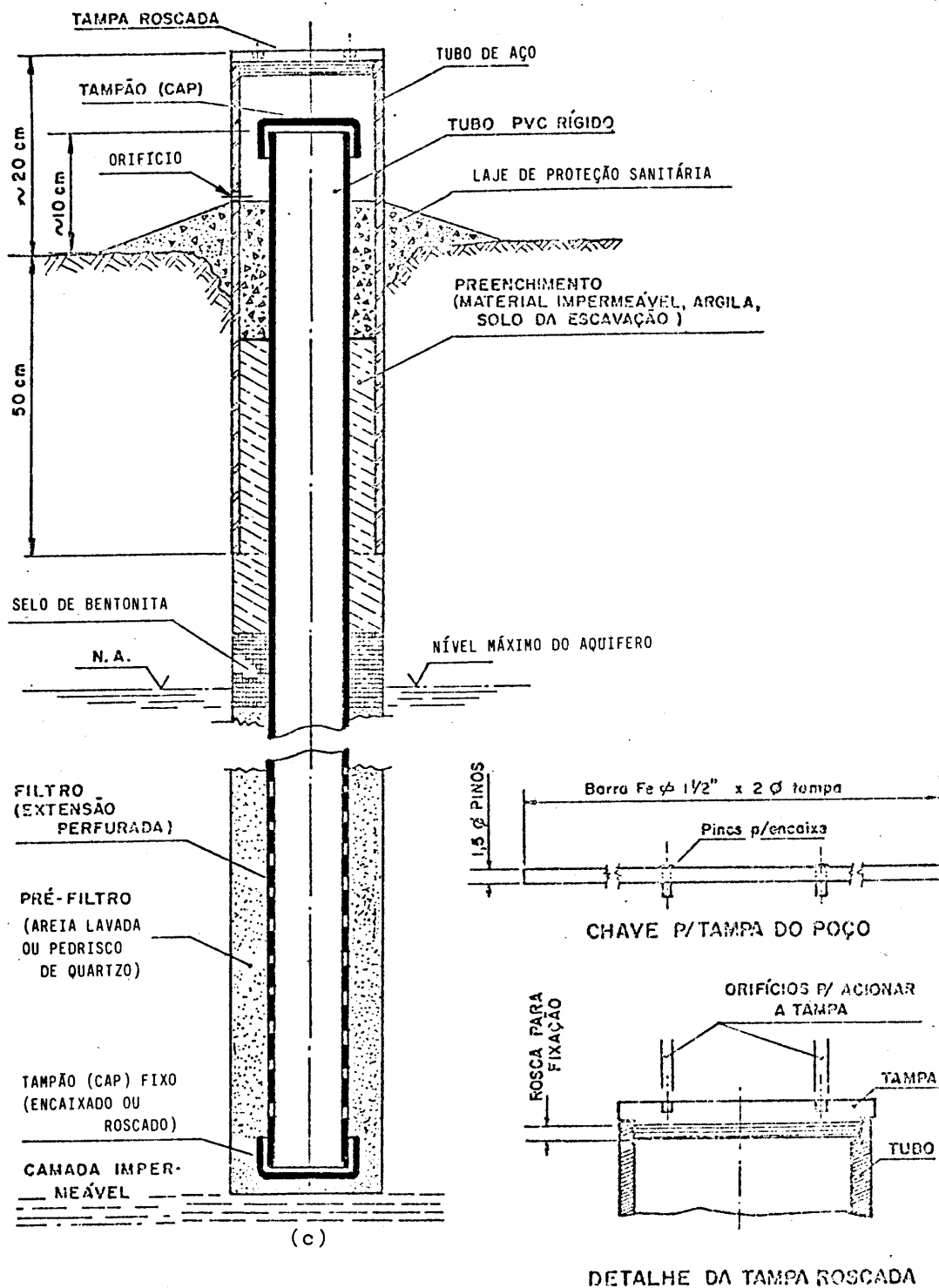


FIGURA 2 - (c) - Perfil esquemático de poço de monitoramento

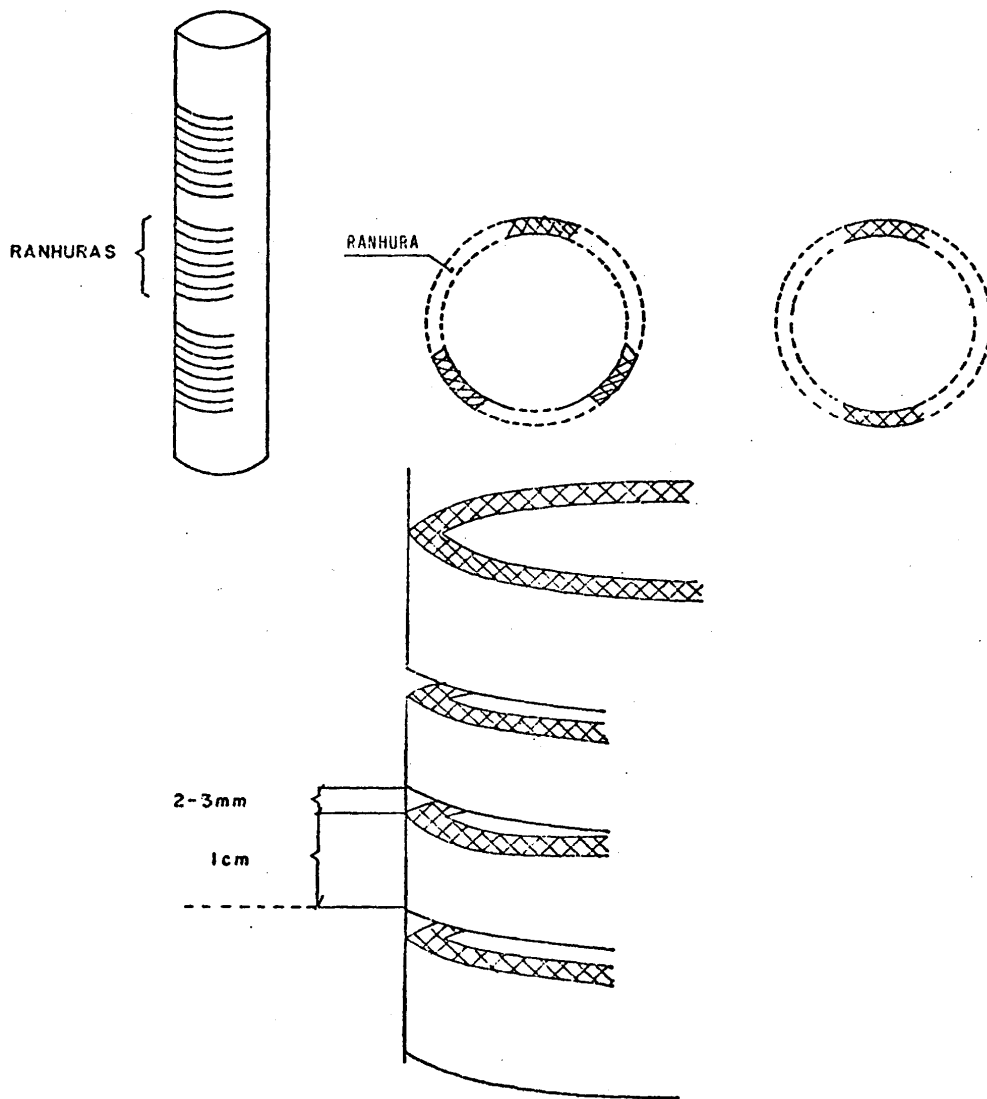


FIGURA 3 - Filtros para tubos de PVC tipo ranhurado

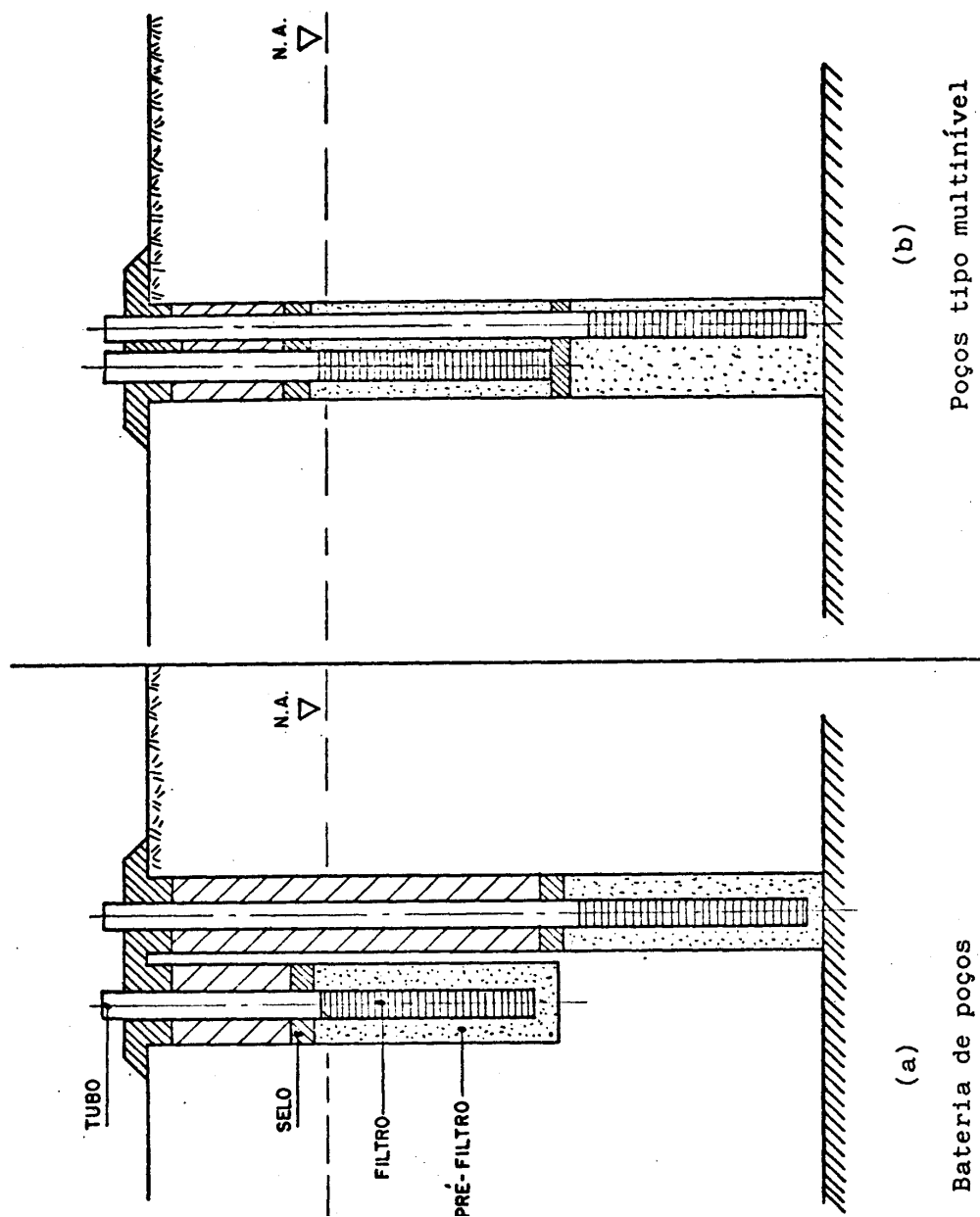


FIGURA 4 - Tipos de poços para monitoramento em níveis distintos

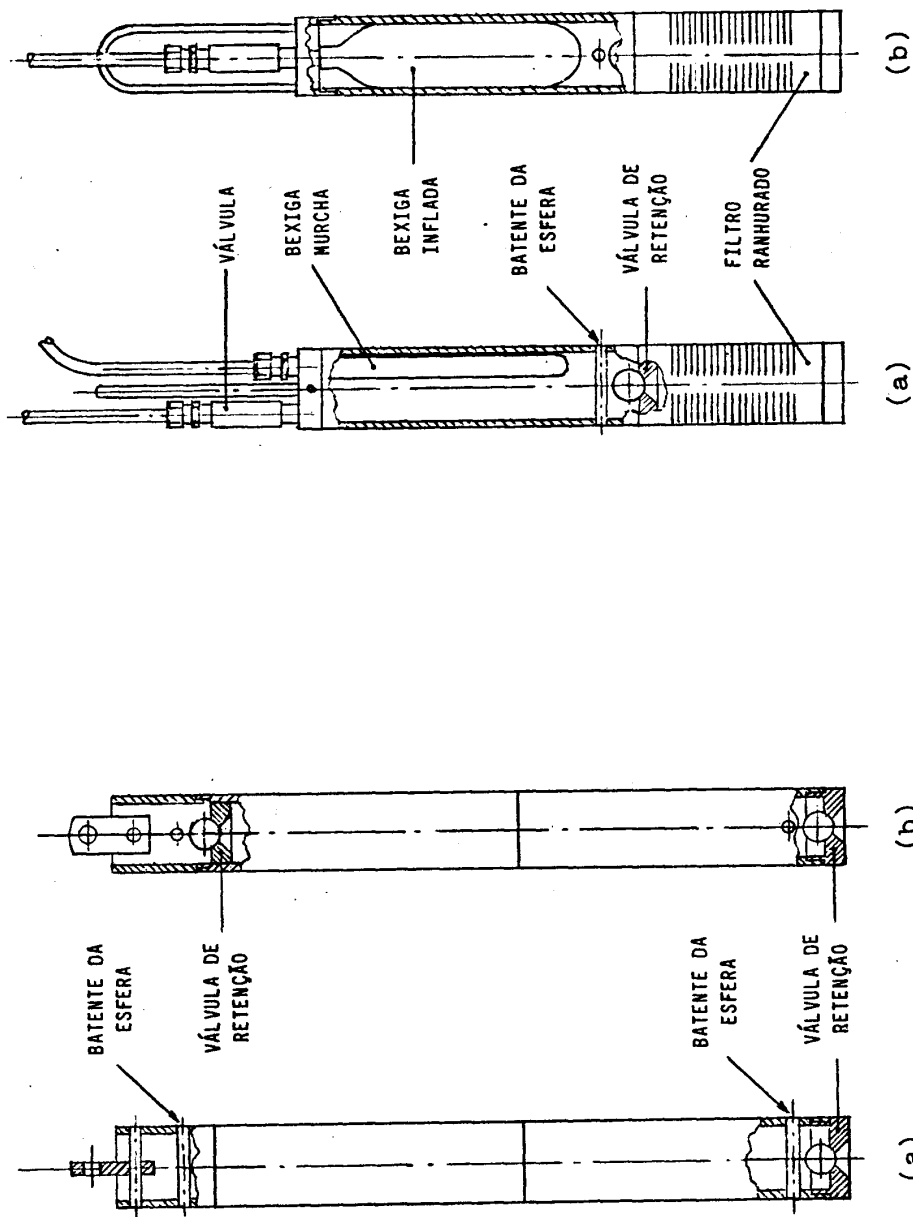


FIGURA 6 - Bomba de bexiga

FIGURA 5 - Coletor de caneca

Anexo C – Exemplos de substâncias, separadas em grupos e dispostas por ordem de coleta

C-1 VOLÁTEIS

C-1.1 Clorometano.

C-1.2 Bromometano.

C-1.3 Cloreto de vinila.

C-1.4 Cloroetano.

C-1.5 Cloreto de metileno.

C-1.6 Acetona.

C-1.7 Bissulfeto de carbono.

C-1.8 I,I-dicloroetano.

C-1.9 I,I-dicloroetano.

C-1.10 Trans-1,2-dicloroetano.

C-1.11 Clorofórmio.

C-1.12 1,2-dicloroetano.

C-1.13 2-butanona.

C-1.14 I,I,I-tricloroetano.

C-1.15 Tetracloroeto de carbono.

C-1.16 Acetato de vinila.

C-1.17 Bromodiclorometano.

C-1.18 1,1,2,2-tetracloroetano.

C-1.19 1,2-dicloropropano.

C-1.20 Trans-1,3-dicloropropeno.

C-1.21 Tricloroetano.

C-1.22 Dibromoclorometano.

C-1.23 1,1,2-tricloroetano.

C-1.24 Benzeno.

C-1.25 Cis-1,3-dicloropropeno.

C-1.26 2-cloroetilviniléter.

C-1.27 Bromofórmio.

C-1.28 2-hexanona.

C-1.29 4-metil-2-pentanona.

C-1.30 Tetracloroetano.

C-1.31 Tolueno.

C-1.32 Clorobenzeno.

C-1.33 Etilbenzeno.

C-1.34 Estireno.

C-2 COMPOSTOS SEMIVOLÁTEIS

- C-2.1 Acenafteno.
- C-2.2 2,4-dinitrofenol.
- C-2.3 Bis(2-cloroetil)éter.
- C-2.4 2-clorofenol.
- C-2.5 1,3-diclorobenzeno.
- C-2.6 1,4-diclorobenzeno.
- C-2.7 Álcool benzílico.
- C-2.8 1,2-diclorobenzeno.
- C-2.9 Bis(2-cloroisopropil)éter.
- C-2.10 n-nitroso-di-n-propilamina.
- C-2.11 Hexacloroetano.
- C-2.12 Nitrobenzeno.
- C-2.13 Isoforona.
- C-2.14 2-nitrofenol.
- C-2.15 Ácido benzóico.
- C-2.16 Bis(2-cloroetóxi) metano.
- C-2.17 2,4-diclorofenol.
- C-2.18 1,2,4-triclorobenzeno.
- C-2.19 Naftaleno.
- C-2.20 4-cloroanilina.
- C-2.21 Hexaclorobutadieno.
- C-2.22 4-cloro-3-metilfenol.
- C-2.23 2-metilnaftaleno.
- C-2.24 Hexaclorociclopentadieno.
- C-2.25 2,4,6-triclorofenol.
- C-2.26 2,4,5-triclorofenol.
- C-2.27 2-cloronaftaleno.
- C-2.28 2-nitroanilina.
- C-2.29 Dimetilftalato.
- C-2.30 Acenaftaleno.
- C-2.31 4-nitrofenol.
- C-2.32 Dibenzofurano.
- C-2.33 2,4-dinitrotolueno.
- C-2.34 2,6-dinitrotolueno.
- C-2.35 Dietilftalato.
- C-2.36 4-clorofenilfeniléter.
- C-2.37 Fluoreno.
- C-2.38 4-nitroanilina.
- C-2.39 4,6-dinitro-2-metilfenol.
- C-2.40 n-nitrosodifenilamina.
- C-2.41 4-bromofenilfeniléter.
- C-2.42 Hexaclorobenzeno.
- C-2.43 Pentaclorofenol.
- C-2.44 Fenantreno.
- C-2.45 Antraceno.
- C-2.46 Di-n-butilftalato.
- C-2.47 Fluoranteno.
- C-2.48 Benzidina.
- C-2.49 Pireno.
- C-2.50 Butilbenzilftalato.
- C-2.51 3,3-diclorobenzidina.
- C-2.52 Benzo(a)antraceno.
- C-2.53 Bis(2-etil-hexil)ftalato.

- C-2.54 Criseno.
- C-2.55 Di-n-octilftalato.
- C-2.56 Benzo(b)fluoranteno.
- C-2.57 Benzo(k)fluoranteno.
- C-2.58 Benzo(a)pireno.
- C-2.59 Indeno(1,2,3-c,d)pireno.
- C-2.60 Dibenzo(a,h)antraceno.
- C-2.61 Benzo(g,h,t)perileno.
- C-2.62 3-nitroanilina.

C-3 PESTICIDAS/PCBs

- C-3.1 Aldrin.
- C-3.2 Aroclor-1216.
- C-3.3 Aroclor-1221.
- C-3.4 Aroclor-1232.
- C-3.5 Aroclor-1242.
- C-3.6 Aroclor-1248.
- C-3.7 Aroclor-1254.
- C-3.8 Aroclor-1260.
- C-3.9 α -BHC.
- C-3.10 β -BHC.
- C-3.11 γ -BHC(lindano).
- C-3.12 δ -BHC.
- C-3.13 Clordano.
- C-3.14 4,4' -DDD.
- C-3.15 4,4' -DDE.
- C-3.16 4,4' -DDT.
- C-3.17 Dieldrin.
- C-3.18 Endrin.
- C-3.19 Aldeído de endrin.
- C-3.20 Cetona de endrin.
- C-3.21 Endossulfan I.
- C-3.22 Endossulfan II.
- C-3.23 Sulfato de endossulfan.
- C-3.24 Heptacloro.
- C-3.25 Heptacloro epóxido.
- C-3.26 Metoxicloro.
- C-3.27 Toxafeno.

C-4 METAIS E OUTROS

C-4.1 Alumínio.

C-4.2 Antimônio.

C-4.3 Arsênico.

C-4.4 Bário.

C-4.5 Berílio.

C-4.6 Cádmio.

C-4.7 Cálcio.

C-4.8 Cromo.

C-4.9 Cobalto.

C-4.10 Cobre.

C-4.11 Ferro.

C-4.12 Chumbo.

C-4.13 Magnésio.

C-4.14 Manganês.

C-4.15 Mercúrio.

C-4.16 Níquel.

C-4.17 Potássio.

C-4.18 Selênio.

C-4.19 Prata.

C-4.20 Sódio.

C-4.21 Tálcio.

C-4.22 Estanho.

C-4.23 Vanádio.

C-4.24 Zinco.

C-5 FENÓIS

C-5.1 Fenol.

C-5.2 2-metilfenol.

C-5.3 4-metilfenol.

C-5.4 2,4-dimetilfenol.

C-6 CIANETOS

Anexo D - Referências bibliográficas

D-1 AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater , 16ª edição, 1985.

D-2 CLEARY, R.W. Fundamental Concepts in Groundwater Pollution and Hydrology, 1986.

D-3 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, RCRA. Groundwater Monitoring Technical Enforcement Guidance Document, setembro de 1986.

D-4 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. EPA-600/4-79/020, 1983.

D-5 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Test methods for Evaluating Solid Waste - Physical/Chemical Methods, 2ª edição (revista), 1984.

D-6 FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. Groundwater, Prentice-Hall, 1979.

D-7 GILLHAM, R.W. et alii. Groundwater Monitoring and Sample Bias. API Publication, 1983.

D-8 SILVA, L.M. Piezômetros para Monitoramento do Aterro Sanitário de Mogi das Cruzes-SP. São Paulo, CETESB, Parecer Técnico, 1986.

D-9 SISK, S.W. Neic Manual for Groundwater/Subsurface Investigations at Hazardous Waste Sites, Denver, Colorado, 1981.

D-10 SOUZA, H.B. & DERÍSIO, J.C. Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água. São Paulo, CETESB, 1977.

D-11 WOOD, E.F. et alii. Groundwater Contamination from Hazardous Wastes, New Jersey, Princeton University, 1984.

6420 Preservação e manuseio de amostras de água e chorume relacionados aos parâmetros de análise

segundo ISO 5667/3 e Norma DIN/DEV

(I = análise preliminar a jusante, II = análise preliminar a jusante e montante, III = análise detalhada)

				P= Polietileno	Amostra Volume	CONSERVAÇÃO					
	PARÂMETRO	Nível investigação	Tipo de Amostra	G= Vidro BG = Borosilicato	PP/Í anla. EM ml	no Campo	durante transporte	labor	Medição	Tempo de conservação	OBSERVAÇÕES
1	COLORAÇÃO	I,II, III	Original	G					CAMPO		1. Armazenar em lugar frio e escuro
2	ODOR	I,II, III	Original	G					CAMPO		2. Em caso de alta concentração de sólidos na água, filtrar(membrana) uma amostra adicional no campo e acidificá-la.
3	TURBIDEZ	I,II, III	Original	G					CAMPO		
4	PH	I,II, III	Original	CÉLULA G					CAMPO		
5	CONDUTIVIDADE	I,II, III	Original	CÉLULA G					CAMPO		
6	OXIGÊNIO	I,II, III	Original	CÉLULA G					CAMPO		3. Isso também pode ser feito no laboratório, pelo menos 8 horas antes da análise
7	REDOX (E _r)	I,II, III	Original	CÉLULA G					CAMPO		
8	Temperatura	I,II, III	Original	CÉLULA G					CAMPO		4. Em caso de alta concentração de sólidos na água, separar uma amostra adicional e centrifugar no laboratório
9	Cloreto CL	I,II, III	Original	P, G	250				LABOR	Uns meses	
10	Sulfato SO ₄ ²⁻	I,II, III	Original	P, G	1000	1	1	1 (-18°C)	LABOR	1 semana 1 mes	
11	Amônio NH ₄	I,II, III	Original	G	500	1	1	1	LABOR	24 horas	
12	FE, CU, Ni, Cr ³⁺ , Zn, B (ICP-OES-Screening)	I,II, III	Original	P	1000	Acidificar até pH < 1,5 ²			LABOR	1 mes	
13	DOC Carbono Orgânico Dissolvido	I,II, III	AMOST. FILTRADA	G	500	1	1	1 Gelar até (-18°C)	LABOR	24h	
14	AOX POX	I,II,III (I), (II), (III)	Original	G	300	Com HNO ₃ até H = 2	1	1	LABOR	24h	

6420 Preservação e manuseio de amostras de água e chorume

				P= Polietileno	Amostra Volume	CONSERVAÇÃO					
15	BIOENSAIO TESTE DE DAFNIA? ALGAE, BATERIA FLUORES C.	I,II,III	Original	G	500	1	1	1	LABOR	24h	
16	GC-FID – Screening	I,II,III	Original	G	1000	1,4	1	1	LABOR	48h	
17	(Headspace) GC-FID/ECD	(I), (II), (III)	Original	G	5	1,4	1	1	LABOR	48h	
18	GC-MS- Screening	(I), (II), III	Original	G	1000-5000	1,4	1	1	LABOR	48h	
19	GC-EDC- Screening	III	Original	G	1000	1,4	1	1	LABOR	48h	
20	HIDROCARBONETOS	(I),(II), III	Original	G	500	1,4	1	1	LABOR	24h	
	PARÂMETRO	Nível investigação	Tipo de Amos-tra	G= Vidro BG = Borossilicato	PP/I anla. EM ml	no Campo	durante trans-porte	Labor	Medição	Tempo de conservação	OBSERVAÇÕES
21	ALCALINIDADE/ ACIDEZ	III	Original	G	1000	1	1	1	LABOR	24h	
22	NITROGÊNIO DE NITRATO	III	Original	P, G	500	1	1	1 gelar (-18°C)	LABOR	24h 8 dias	
23	Phosphat-Phosphor FOSFORO DE FOSFATO	III	Original	P, G	500-1000	1	1	1 acidi-ficar com H ₂ SO ₄ até pH<1	LABOR	24h uns meses	
24	NA, K	III	Original	P	100	Acidificar até pH < 1,5			LABOR	1 MES e MAIS	
25	CA, MG	III	Original	P, BG	500	Acidificar até pH < 1,5 ²			LABOR	1 MES	
26	PB, CD, AS	III	Original	P	Junto com Parâmetro 12:1000	Acidificar até pH < 1,5 ²			LABOR	1 MES	
27	CIANETO TOTAL CIANETO FACILMENTE LIIERADO	III	Original	P	1000	C/ NaOH	1	1	LABOR	3 DIAS	DEPENDE: VEJA MÉTODO ANALÍTICO
28	SULFETO	III	Amostra filtrada	P, G	1000	SOLUÇ. ASCORBAT (pH=10) ¹ AMOST. LIVRE DE O ₂ SOLUÇ. de NaOH ATÉ pH ≥12 ¹	1	1	LABOR	24 h	

Continuação: Preservação e manuseio de amostras de água e chorume relacionados aos parâmetros de análise, segundo ISO 5667/3 e Norma DIN/DEV

(I = análise preliminar a jusante, II = análise preliminar a jusante e montante, III = análise detalhada)

				P= Polietileno	Amostra Volume	CONSERVAÇÃO					
29	FENÓIS	III	Original	BG, MARROM	1000	1 Cu- SULFATO E ACIDIFIC. C/ AC. FOSFÓRI- CO ATÉ pH ≤ 4 ¹	1	1	LABOR	4 h 24 h	
30	PAH Hidrocarbo- netos Poliaromáti- cos	III	Original	G	1000	1,4	1	1	LABOR	24 h	
31	D Q O			P, G		1 escuro acidificar	1 escuro	1 anal. imediate	LABOR	ANAL. IMEDIATA	
32	D B O			P, G		1 escuro			LABOR		
33	ÓLEOS - GRAXAS			G		1 Acidificar até pH < 2 EXTRAÇ.			LABOR	24 h	
34	T O C										

6500 Parâmetros de qualidade do solo e de água subterrânea para investigação confirmatória

Conforme descrito no capítulo 6000, a confirmação da contaminação em uma área dá-se basicamente pela tomada de amostras e análises de solo e/ou água subterrânea, em pontos estrategicamente posicionados, com base no conhecimento adquirido sobre a área na etapa anterior (avaliação preliminar), onde foi definido o primeiro modelo conceitual da área (Modelo conceitual 1).

Em seguida, deve ser feita a interpretação dos resultados das análises realizadas nas amostras coletadas, pela comparação dos valores de concentração obtidos com os valores de concentração estabelecidos em listas de padrões, definidas pelo órgão responsável pelo gerenciamento de áreas contaminadas.

O uso generalizado das listas de valores limite para avaliação de contaminações do solo e da água subterrânea começou nos países industrializados, há cerca de 20 anos, quando o problema de poluição foi se tornando, gradualmente, conhecido. Essas listas foram desenvolvidas em face da necessidade de se ter parâmetros comparativos, possibilitando definir o grau de poluição e quais os procedimentos a ser tomados.

Essas listas são elaboradas a partir de avaliações de risco genéricas, em que normalmente são utilizados cenários e parâmetros mais restritivos. A utilização dessas listas não fornecem uma resposta definitiva quanto a existência de risco decorrente da poluição do solo ou da água subterrânea, em uma área específica, entretanto é um instrumento importantíssimo na deflagração de um processo de caracterização mais detalhada da área avaliada.

As vantagens e desvantagens de utilização dessas listas, conforme apresentado por SIEGRIST (1990) são.¹

Vantagens:

- Rapidez e facilidade na implementação;
- Áreas similares seriam tratadas em procedimentos similares;
- Útil para avaliação inicial da gravidade de uma contaminação;
- Informações *a priori* facilitam planejamento e ação;
- Estimula empreendedores a realizar remediação, dando segurança para os investimentos.

¹ Fonte: Siegrist, R.L. Development and implentation of soil quality and clean-up criteria for contaminated sites; in: Contaminated Soil '90 (F. Arendt et al, ed.); Kluwer; Dordecht.

- Facilita auditorias ecológicas de áreas industriais;
- Facilita monitoramento/permissão de operação de áreas industriais;
- Inclui qualidades não negociáveis e reduz a influência da política local;
- Inclui a proteção de solos na política de controle de poluição, através de padrões ambientais;
- Facilita a avaliação da eficiência da remediação.

Desvantagens:

- Algumas características específicas do local podem ficar fora de consideração;
- Não foram definidas normas, orientações e critérios para muitas substâncias de interesse; muitos valores orientadores definidos para outros programas (p. ex. água potável, água subterrânea) não são, necessariamente, apropriados para AC;
- Lacuna de critérios toxicológicos para muitas substâncias;
- Valores genéricos exigem um certo nível de compreensão, conhecimento e confiança que podem faltar;
- Os valores uma vez estabelecidos podem dificultar uma flexibilidade específica para a avaliação de uma área em questão.

Na Europa, não existe uma estratégia comum para a aplicação de valores-limite. Considerando as diferenças geográficas/geológicas e culturais/sociais, uma harmonização a curto prazo não parece necessária nem desejada. Por outro lado, todos os países europeus (aqui: UE c/ Noruega e Suíça), excluindo a Irlanda, aplicam valores orientadores na investigação confirmatória realizada em áreas suspeitas de estarem contaminadas (N.N., 1998)

Cada país estabeleceu ou está elaborando listas de valores-limite próprias, sendo estabelecidos dois valores-limite básicos:

- *Valores de intervenção* (guideline values, Massnahmenwerte) e
- *Valores de investigação* (screening values, Prüfwerte).

Os **valores de intervenção** são usados para induzir medidas de remediação imediatas.

Os **valores de investigação** são uma ferramenta de investigação simplificada (*screening-tool*) que indicam a necessidade de uma investigação mais detalhada na área avaliada. A aplicação desses valores refletem a insegurança existente ao se caracterizar a situação de um local pelo uso de valores não específicos de quantificação do risco. Por outro lado, a visão "conservativa" (rigorosa) utilizada na dedução desses valores permite a eliminação da suspeita pendente sobre a área com segurança.

A determinação desses valores-limite são de muita importância dentro do sistema de gerenciamento de áreas contaminadas, uma vez que irão decidir o encaminhamento futuro a ser dado às áreas avaliadas.

A confirmação da área como contaminada, pela presença de uma concentração de determinado poluente com potencial de risco para a saúde humana, implica em responsabilidades jurídicas e financeiras para o causador/responsável. Como essas responsabilidades podem ser de longo alcance, os valores de investigação e intervenção têm que ser cientificamente bem baseados e adaptados às realidades socioeconômicas e jurídicas do país.

Na metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas apresentada neste manual, considera-se a necessidade de utilização apenas dos valores de investigação, uma vez que, quando confirmada a contaminação, inicia-se um processo de investigação detalhada e uma avaliação de risco específica para o local, quando então será definida a necessidade de sua remediação ou não.

A adoção de um valor de intervenção também leva necessariamente a uma investigação detalhada anterior ao processo de remediação, evitando apenas a avaliação de risco. Esse procedimento seria aceitável apenas nos casos em que houvesse semelhança dos cenários e parâmetros considerados na dedução dos valores de intervenção, com aqueles verificados na área avaliada; caso contrário, corre-se o risco de gastar recursos em áreas onde não seria necessária a execução de um processo de remediação.

A CETESB está desenvolvendo padrões próprios para qualidade do solo e da água subterrânea, baseado na metodologia empregada na Holanda para essa finalidade. Esse trabalho encontra-se em fase final de discussão e avaliação dos resultados, estando em breve disponível para aplicação no gerenciamento de áreas contaminadas.

Neste capítulo, apresentaremos uma compilação de algumas listas de valores-limite utilizadas em alguns países, como Estados Unidos e Holanda, dando-se especial destaque à regulamentação da Lei Federal Alemã de Proteção do Solo (RLFPS) recentemente promulgada.

Quanto às demais listas apresentadas, maiores detalhes quanto as suas características particulares podem ser encontrados no relatório CETESB – Estabelecimento de Padrões de Referência de Qualidade e Valores de Intervenção para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (1997).

Cabe ressaltar que algumas listas estão sendo citadas neste manual devido a sua importância mundial, e como forma de comparação entre as diferenças particulares apresentadas por cada uma.

1 Referências bibliográficas

N.N.: Risk assessment for contaminated sites in Europe, vol. 1; Scientific basees. LQM Press Nottingham, 1998.

Siegrist, R.L. Development and implentation of soil quality and clean-up criteria for contaminated sites; in: Contaminated Soil '90 (F. Arendt et al, ed.); Kluwer; Dordecht, 1990.

6510 Regulamentação da Lei Federal Alemã de Proteção do Solo e de AC (RLFPS)

1 Introdução

A lei federal alemã de proteção de solos de áreas contaminadas e sua regulamentação representam o instrumento normativo mais moderno e recente na questão de ACs. A aplicação de valores limites na avaliação de AC é um auxílio importante para os órgãos competentes alemães a nível estadual e municipal. A normatização destes valores para a federação inteira foi realizada recentemente e oferece agora uma base amplamente aceita. Faz parte de um sistema normativo de proteção do solo que seria apresentado em seguida.

As destaques da RLFPS são:

- Sintonia com outras normas internacionais e nacionais: na elaboração da RLFPS (especialmente da lista de valores) as metodologias e dados toxicológicos mais recentes e internacionalmente aceitos foram considerados; assim como os valores limites existentes no âmbito internacional e nacional.
- os valores limites são baseados no conceito de "risco"
- Critério "*via de absorção*": enfocando determinados bens a proteger em perigo, foram elaboradas técnicas e critérios diferenciados considerando diferentes vias de absorção;

A RLFPS baseia-se nos seguintes conceitos:

- Procedimento sequencial, partindo do conceito de "Indícios da existência de uma contaminação danosa" como p.ex. o manuseio e/ou a disposição inadequada de substâncias perigosas, atividade industrial, irregularidades no funcionamento
- Existência de **Valores de Investigação** que legalmente determinam a necessidade de uma Investigação Detalhada e **Valores de Intervenção** que determinam a necessidade de uma medida de remediação/contenção/defesa ao perigo uma vez ultrapassados

- Ordenamento da "*Investigação Orientativa*" para o responsável no caso existem "*indícios da existência de uma contaminação*" ou autoexecução da *Investigação Orientativa* pelo órgão competente para confirmar a contaminação danosa e da *Investigação Detalhada* caso a contaminação danosa for confirmada na *Investigação Orientativa* e na base dos *Valores de Investigação* (veja Anexo 6510-1, Parágrafo 3.4 da RLFPS)

Para melhor explicar o entrosamento no seu quadro legal, os textos básicos referente à Lei Federal e à RLFPS são apresentados no Anexo 6510-1.

2 Valores de investigação (e intervenção)

Os valores de investigação(e intervenção) são definidos para:

As diferentes vias de absorção:

- via solo-homem (via direta);
- via solo-planta de cultivo;
- via solo-águas subterrâneas.

Os diferentes usos do solo:

- playground
- áreas residenciais
- áreas de lazer/parques
- áreas industriais/comerciais

A viabilização e aplicação dos valores de investigação e intervenção consiste na comparação dos dados analíticos de amostras de solos/aguas subterrâneas com os valores legalmente estabelecidos por via de absorção. A obtenção das amostras e sua análise segue as normas estabelecidas e descritas no **Anexo 6510-5**.

Uma vez definido o uso do solo para a área/área parcial, o respectivo valor de investigação/intervenção para este uso vale como valor legal ou em outras palavras: o valor obtido pela análise pode determinar o uso do solo que está compatível com a sua qualidade.

2.1 Os valores de investigação e intervenção na RLFPS (Anexo 2 da Regulamentação)

Os parágrafos 3 e 4 da 2a. parte da Regulamentação determinam a aplicação de valores referenciais, os chamados Valores de investigação (Prüfwerte) e de intervenção (Massnahmenwerte). Uma concentração de uma dada substância perigosa acima de um Valor de investigação confirma a suspeita de contaminação (para aquela substância) e indica que deve ser, obrigatoriamente, realizada uma investigação mais detalhada. Uma concentração abaixo do Valor de investigação

elimina a suspeita sobre a área para o uso do solo determinado. Uma concentração acima dos Valores de intervenção confirma a contaminação, e indica que deve ser, obrigatoriamente, adotadas medidas para a remediação.

Desta forma, os valores apresentados em seguida são o instrumento central na investigação e avaliação de ASs. A importância dos valores é evidente por dois motivos: (1) uma vez baseado no conceito de "risco", eles oferecem uma ferramenta "objetiva" na avaliação de uma área, para todos os participantes do processo (órgão gerenciador, responsável/proprietário do terreno). levando em consideração seu uso (atual/planejado), diferenciando as vias de absorção.

(2) o impacto (jurídico, econômico, etc) causado pela confirmação de uma área como sendo suspeita/contaminada é muito grande. Desta forma o estabelecimento destes valores envolveu uma gama variada de especialistas em amplas discussões, razão fundamental para o longo e detalhado processo da elaboração da lista dos valores.

Anexo 6510-2 apresenta os fundamentos e pressupostos em quais se baseia a elaboração dos valores tais como:

- cenários de exposição assumidos
- bases toxicologicos adotados

Anexo 6510-3 apresenta os resultados dos calculos sob criterios toxicologicos e de exposição para a obtenção dos valores de investigação (e intervenção) para as seguintes substancias:

- Aldrin
- Arsenico
- Benzo(a)pireno
- Chumbo
- Cadmio
- Cromo
- DDT
- HCB
- HCH
- Niquel
- PCB
- Mercúrio
- Dioxinas/furanos (valores de intervenção)

Anexo 6510-4 apresenta as equações para o cálculo matemático e os dados básicos toxicologicos

3 As listas

Segundo a RLFPS os valores a serem definidos, são:

- Valores de investigação (Prüfwerte): valores que quando ultrapassados indicam a necessidade de realização de uma investigação complementar da área, com o objetivo de confirmar ou não a contaminação, considerando o uso do solo.
- Valores de intervenção (Massnahmenwerte): valores que quando ultrapassados confirmam uma contaminação, considerando o uso do solo e indicam as medidas mitigadoras a serem utilizadas.

O texto *em itálico* representa a tradução do texto original do Anexo 2 da RLFPS.

3.1 Via de absorção solo-homem (contato direto)

3.1.1 Definição dos usos do solo

a) Playground

b) Áreas residenciais

c) Parques e áreas de lazer

d) Áreas industriais/comerciais

(Aqui são definidos os diferentes usos do solo a partir do planejamento urbano alemão, considerando as diferenças de vulnerabilidade, diante da contaminação do solo.)

3.1.2 Os valores de intervenção

Os valores de intervenção definidos no parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, N^o 2 da Lei Federal de Proteção do Solo para a absorção direta de dioxinas/furanos em playgrounds, áreas residenciais, parques/áreas de lazer e áreas industriais/comerciais (em ng/kg base seca, solo fino).

Substância	Valores de intervenção (ngET/kg base seca)*			
	playground	área residencial	parque / área de lazer	Área industrial / comercial
Dioxinas/ Furanos	100	1.000	1.000	10.000

Figura 6510-1: Valores de intervenção (via direta solo-homem)

ET=Equivalente de Toxicidade

* Soma das 2,3,7,8-TCDD Equivalentes de Toxicidade

3.1.3 Os valores de investigação

Os valores de investigação definidos no parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, N^o 1 da Lei Federal de Proteção do Solo, para a absorção direta de substâncias perigosas em playgrounds, áreas residenciais, parques/áreas de lazer e áreas industriais/comerciais (em mg/kg base seca, solo fino).

Substância	Valores de investigação (mg/kg base seca)			
	Playground	Área residencial	Parque / Área de lazer	Área industrial / comercial
Arsênico	25	50	125	140
Chumbo	200	400	1.000	2.000
Cádmio	10 ⁽¹⁾	20 ⁽²⁾	50	60
Cianetos	50	50	50	100
Cromo	200	400	1.000	1.000
Níquel	70	140	350	900
Mercúrio	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	-
benzo(a)pireno	2	4	10	12
DDT	40	80	200	-
hexaclor- benzeno HCB	4	8	20	200
Hexaclorciclo- hexano HCH	5	10	25	400
Pentacloro- fenol	50	100	250	250
Bifenilas policloradas (PCB ₆) ⁽³⁾	0,4	0,8	2	40

(1) e (2) Em jardins e quintais usados como área utilizada por crianças ou no cultivo de plantas, seria aplicado o valor de 2,0 mg/kg como valor de investigação para cádmio.

(3) Em caso de análise de valores totais de PCB, os valores obtidos seriam divididos pelo fator 5.

Figura 6510-2: Valores de investigação (via direta solo-homem)

3.2 Via de absorção solo-planta de cultivo

3.2.1 Definição dos usos do solo

a) *Agricultura: áreas de cultivo comercial e maior escala de plantas alimentícias*

b) *Horticultura: áreas menores utilizadas para o cultivo de plantas alimentícias, como jardins e hortas.*

c) *Pastagem: áreas verdes, grama, capim, pastos*

3.2.2 Os valores de investigação

Os valores de investigação e de intervenção definidos pelo parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, N^{os} 1 e 2 da Lei Federal de Proteção do Solo para a via de absorção solo-planta de cultivo em áreas de agricultura e hortas, considerando a qualidade da planta cultivada (em mg/kg base seca, solo fino)

	Agricultura – Horticultura		
Substância	Método ⁽⁴⁾	Valor de investigação (mg/kg base seca)	valor de intervenção (mg/kg base seca)
Arsênico	KW	200 ⁽⁵⁾	-
Cádmio	NA	-	0,04 / 0,1 ⁽⁶⁾
Chumbo	NA	0,1	-
Mercúrio	KW	5	-
Tálio	NA	0,1	-
Benzo(a)pireno	-	1	-

(4) Métodos de extração para arsênico e metais pesados: Na=Amônio-Nitrato, KW=extração em água régia.

(5) Em solos temporariamente em condições redutoras: valor de investigação é de 50 mg/kg.

(6) Em áreas de cultura de trigo ou legumes/verduras com facilidade de absorção de cádmio: valor de intervenção de 0,04 mg/kg; em outras áreas: 0,1 mg/kg.

Figura 6510-3: Valores de investigação e intervenção (via solo-planta em áreas de cultura em relação à qualidade da planta)

3.2.3 Os valores de intervenção em áreas de pastagem

Os valores de intervenção definidos no parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, N^o 2 da Lei Federal de Proteção do Solo, para a via de absorção solo-planta em áreas de pastagem, considerando a qualidade da planta (em mg/kg base seca, solo fino, arsênico e metais pesados analisado por extração em água régia).

Substância	Valor de intervenção (mg/kg base seca)
Arsênico	50
Chumbo	1200
Cádmio	20
Cobre	1300 ⁽⁷⁾
Níquel	1900
Mercúrio	2
Tálio	15
PCB ₆	0,2

(7) Nas pastagens para ovelhas:
valor de intervenção de 200 mg/kg

Figura 6510-4: Valores de intervenção (via solo-planta em áreas de pastagem em relação à qualidade da planta)

3.2.4 Os valores de investigação considerando efeitos fitotóxicos

Os valores de investigação definidos no parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, N^o 1 da Lei Federal de Proteção do Solo, para a via de absorção solo-planta em áreas de cultivo, considerando efeitos fitotóxicos (em mg/kg base seca, solo fino, método de extração Amônio-nitrato).

	Agricultura
Substância	Valor de investigação (mg/kg base seca)
Arsênio	0,4
Cobre	1
Níquel	1,5
Zinco	2

Figura 6510-5: Valores de investigação (via solo-planta em áreas de cultivo/fitotoxicidade)

3.2.5 Aplicação dos valores de investigação e intervenção

Os valores de investigação e intervenção referem-se à avaliação de concentrações de substâncias perigosas, na profundidade de 0 a 30 cm em áreas de agricultura e horticultura e na profundidade de 0 a 10 cm em áreas de pastagem. Para as profundidades maiores, estes valores devem ser multiplicados pelo fator 1,5.

3.3 Via de absorção solo-águas subterrâneas

3.3.1 Os valores de investigação

Os valores de investigação para a avaliação da via de absorção solo-águas subterrâneas definidos no parágrafo 8, Inciso 1, Frase 2, Nº 1 da Lei Federal de Proteção do Solo (em µg/l,)

Substâncias inorgânicas	Valor de investigação (em µg/l)
Antimônio	10
Arsênico	10
Chumbo	25
Cádmio	5
Cromo total	50
Cromo VI	8
Cobalto	50
Cobre	50
Molibdênio	50
Níquel	50
Mercúrio	1
Selênio	10
Zinco	500
Estanho	40
Cianeto total	50
Cianeto facilmente extraível	10
Fluoreto	750

Continuação da Figura 6510-6

Substâncias orgânicas	Valor de investigação (em µg/l)
Hidrocarbonetos derivados de petróleo	200
BTEX ⁽⁸⁾	20
Solventes orgânicos halogenados	10
Aldrin	0,1
DDT	0,1
Fenóis	20
PCB total (Bifenilas policloradas)	0,05
PAH total (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos)	0,20

(8) Hidrocarbonetos aromáticos voláteis

Figura 6510-6: Valores de investigação (via solo-águas subterrâneas)

3.3.2 Aplicação dos valores de investigação –

a) Os valores de investigação valem para a zona de transição entre a zona não-saturada e a zona saturada (local da avaliação=franja capilar). O local da amostragem do solo não é necessariamente idêntico com o local da avaliação das águas subterrâneas.

b) Quando o objetivo da investigação são os líquidos percolados no local da avaliação, seriam consideradas as alterações das concentrações das substâncias perigosas na passagem pela zona não-saturada, bem como os níveis piezométricos das águas subterrâneas e suas oscilações.

c) Em áreas de depósitos de resíduos (aterros, lixões e armazenagem), a amostragem do material para a avaliação dos líquidos percolados não seria indicada, devido a provável heterogeneidade do material do depósito (lixo, entulho etc.). O mesmo vale para ASs com uma distribuição de contaminação irregular. (...)

d) Na possibilidade da medição da concentração de substâncias perigosas nos líquidos percolados, a amostragem seria realizada no mesmo local da avaliação das águas subterrâneas.

e) (...) ACs localizadas na zona saturada seriam avaliadas pela regulamentações da legislação específica para proteção da qualidade das águas, considerando o perigo para as águas subterrâneas.

f) A hidrogeologia da região, deve ser levada em consideração na aplicação dos valores de investigação.

Anexo 6510-1

1 Os aspectos legais na questão da investigação e avaliação das ACs

O primeiro motivo para o estabelecimento da Lei de Proteção do Solo e da sua regulamentação é a uniformização das diversas normas existentes em nível estadual sobre o assunto.

Nos parágrafos 8 e 9 da Lei Federal de Proteção do Solo está previsto o estabelecimento de regulamentação enfocando as questões da investigação e avaliação de áreas suspeitas (AS) e o estabelecimento de valores referenciais. A tradução do texto original encontra-se em *itálico*.

Lei Federal de Proteção do Solo de 1998

Parágrafo 8 - Valores e exigências –

(1) O governo federal está autorizado (...) decretar regulamentos sobre o cumprimento das responsabilidades a respeito da qualidade do solo e de sua contaminação e sobre a investigação e avaliação de (...) ASs e ACs (...).

Os valores a ser definidos são:

- 1. Valores de investigação (Prüfwerte): valores que quando ultrapassados indicam a necessidade de realização de uma investigação complementar da área, com o objetivo de confirmar ou não a contaminação, considerando o uso do solo.*
- 2. Valores de intervenção (Massnahmenwerte): valores que quando ultrapassados confirmam uma contaminação, considerando o uso do solo, e indicam as medidas mitigadoras a ser utilizadas (...).*

Parágrafo 9 – Avaliação de risco e ordenação da investigação –

(1) Na suspeita de uma contaminação, o órgão público competente deve estabelecer as medidas necessárias para o esclarecimento da situação. Na ultrapassagem dos valores de investigação determinados pela regulamentação e apresentados no parágrafo 8, inciso 1.1, o órgão competente deve confirmar (...) uma contaminação. Na investigação e avaliação seriam considerados, principalmente, os tipos e as concentrações das substâncias perigosas presentes, e as suas vias de exposição para os indivíduos expostos (homem, animal ou planta), bem como o uso do solo da área em questão (...).

O proprietário da área (se for conhecido) e também o usuário real da mesma seriam notificados sobre a classificação, e os resultados desta avaliação devem ser requeridos por escrito.

(2) No caso de uma suspeita de contaminação baseada em indícios concretos, o órgão competente pode ordenar a realização de uma investigação e da avaliação de risco, a ser realizada pelos responsáveis pela área (...). As outras obrigações imputadas aos responsáveis (...) seriam determinadas pelas legislações estaduais.

A regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de AC esclarece detalhadamente as exigências da investigação (parágrafo 3) e avaliação (parágrafo 4) de ASs e fornece uma lista de valores de investigação e intervenção no seu Anexo 2 e as exigências para amostragem, análise e preservação de qualidade na investigação (Anexo 1).

Regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e ACs de 1999

Parte 2 – Exigências para a investigação e avaliação de ASs

Parágrafo 3 – Investigação -

(1) São indícios da existência de uma contaminação em áreas desativadas:

O manuseio de substâncias perigosas por um período determinado e em quantidades relevantes;

O tipo de atividade ou a ocorrência de acidentes indiquem um possível lançamento, considerável, dessas substâncias no solo.

(2) Menciona como indícios de alterações danosas do solo a existência comprovada de poluentes no solo, nas plantas e na água, seja antropogênica ou natural.

(3) Na existência dos indícios apresentados no Inciso 1 (...), seria realizada, numa primeira etapa, uma investigação orientativa na AS visando à confirmação ou não da suspeita.

(...)

(4) Quando há dados concretos, que levam à suspeita de uma contaminação (descritos no parágrafo 9 , inciso 2 da Lei Federal de Proteção do Solo), e o resultado analítico estiver acima dos valores de investigação (...) deve ser realizada uma investigação detalhada.

(5) Na investigação detalhada, a área investigada deve, se possível, ser dividida em subáreas contaminadas e não contaminadas (...), verificando se os focos de contaminação devem ser tratados individualmente no que se refere ao risco. Se os riscos oriundos das alterações danosas do solo podem ser eliminados através de medidas simples, pode-se descartar a investigação detalhada.

- (6) *Em caso de indícios de propagação de contaminantes voláteis, devem se realizar análise do ar interno de edificações.*
- (7) *As repetições das investigações podem ser ordenadas.*
- (8) *As exigências para se investigar o solo e outros materiais, o ar do solo, os gases gerados em aterros e os líquidos percolados estão definidas no Anexo 1.*

Parágrafo 4 – Avaliação –

(1) *Os resultados da investigação orientativa serão avaliados, utilizando-se os valores de investigação do Anexo 2, para confirmar ou não a existência de uma contaminação, considerando as situações de cada caso (...)*

(2) *Se a concentrações de uma determinada substância perigosa estiver abaixo dos valores de investigação, apresentados no Anexo 2, a suspeita (...) de contaminação por esta substância será desconsiderada. Quando a concentração ultrapassa esses valores, no local da amostragem, pode ser necessária a amostragem, também, no percolado (...)*

(3) *Na avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas, causado por uma área suspeita de contaminação, deve ser prevista, por meio de modelagem matemática, a possibilidade de contaminação deste bem a proteger ocorrer no local.*

(...)

(6) *Na existência de um uso do solo mais sensível (playground), numa parte da área, com um uso geral determinado (residencial), seriam aplicados critérios diferenciados para cada uma das subáreas.*

(...)

Anexo 6510-2

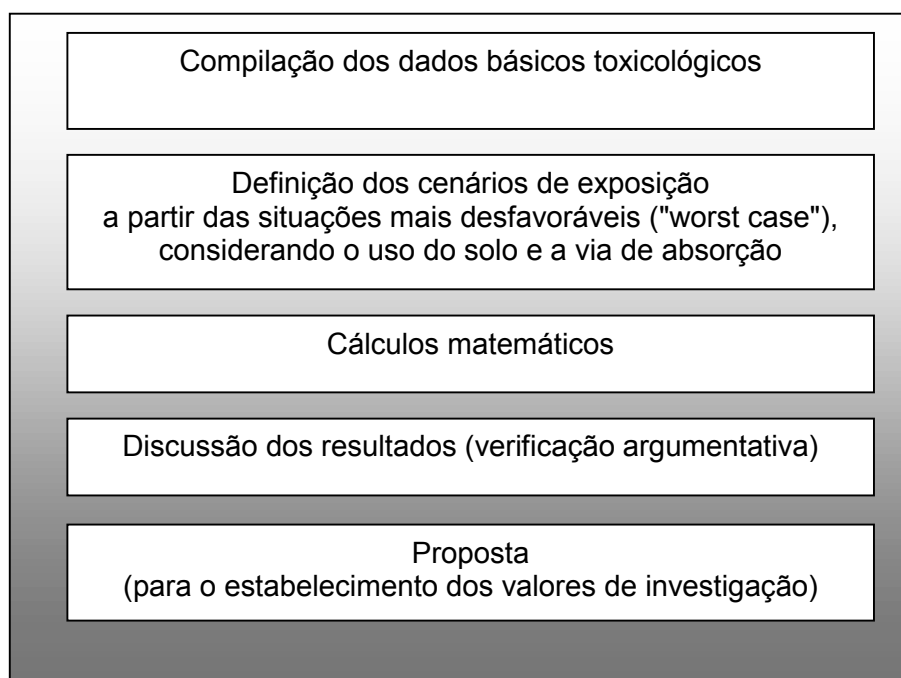
1 A elaboração dos valores de investigação para a via direta¹

As listas de valores apresentadas no Anexo 2 da regulamentação ainda não estão completas. São o resultado de diferentes procedimentos de elaboração. Enquanto os valores de investigação para a via solo/águas subterrâneas foram derivados de uma lista² já existente, estabelecida pela legislação alemã específica para proteção da qualidade das águas, a dedução dos valores para a via direta era um assunto novo.

¹ Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta" (Bericht de LABO-LAGA-AG "Direktpfad"): Aspectos para a avaliação de riscos na via de absorção direta solo/homem ("Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigung/Altlasten - Mensch [Direkter Übergang]"); 9/96; e Bachmann, G., Bertges, W.D., König, W.: Ableitung bundeseinheitlicher Prüfwerte zur Gefahrenbeurteilung; artigo na revista "altlastenspektrum", 2/97.

² Valores para a avaliação de poluição das águas subterrâneas do Grupo de Trabalho inter-estadual "água" ("LAWA").

A lista dos *valores de investigação* (seção 6510) foi elaborada seguindo-se as seguintes etapas:



Figura/Anexo 6510-2-1: As etapas da elaboração da lista de valores de investigação para a via direta.

A base de informações deste capítulo foi o relatório do grupo interestadual de trabalho "LABO-LAGA – via direta" de 1996.

1.1 Considerações básicas a respeito dos dados toxicológicos adotados

- Para a dedução dos valores de investigação, foram aplicados os dados científicos mais atuais. Com essa finalidade, foi constituído um grupo de peritos para avaliar e atualizar os dados.
- Os valores foram determinados considerando-se os efeitos de uma única substância. Não existem ainda conceitos apropriados para a consideração de possíveis efeitos a partir de combinações de substâncias.
- Para o cálculo das substâncias cancerígenas, foi aceito um fator de risco adicional para desenvolvimento de câncer de 10^{-5} , para cada uma das substâncias avaliadas. Essa recomendação está em concordância com a Organização Mundial da Saúde (OMS).³ Essa recomendação não elimina a necessidade de uma discussão política e pública.

³ M. Younes, WHO, simpósio internacional "Exposure and Risk Assessment wit Respect to Contaminated Soil", Munique, 2/96.

- Se estavam disponíveis os dados sobre o efeito cancerígeno e toxicológico (não cancerígeno) de uma determinada substância, foram calculados os valores de investigação para ambos os efeitos, sendo adotado o valor mais baixo.
- Um dos dois fatores principais utilizados no cálculo dos valores de investigação são as Doses Corporais Intermediárias (DC).⁴ A Lei Federal de Proteção do Solo indica o estabelecimento de uma relação entre uma substância e o perigo para a saúde humana. Com uma certa probabilidade, é possível definir a dose máxima de uma substância, que ainda não apresenta um perigo para a saúde humana, denominada NOAEL (No Observed Adverse Effect Level). Para muitas substâncias, existem valores derivados de experimentos realizados com cobaias e de dados epidemiológicos, em que pode ser identificado um primeiro efeito adverso para o homem. Esses valores são chamados LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level). Entretanto, não é possível definir com certeza uma dose que cause comprovadamente um efeito danoso. Por outro lado, valores acima do NOAEL, apesar de não significarem automaticamente um risco para a saúde humana, podem representar um risco, quando o excedem significativamente por um período prolongado.
A partir dessas considerações, foram procuradas as Doses Corporais (DC) que ficassem entre o NOAEL e o LOAEL. (No caso da adoção do LOAEL como DC, o objetivo seria o de procurar um valor de intervenção ao invés do de investigação!)
- Também foram consideradas nesses cálculos a absorção de cada substância, oriunda de outras fontes, tais como a absorção pela alimentação ou pela poeira oriunda do solo contaminado que é dificilmente quantificável. Essa carga de substâncias foi contemplada considerando-se uma porcentagem de 80% do NOAEL. Essa suposição foi confirmada a partir de cálculos para arsênico, chumbo e cádmio.

2 Os cenários de exposição

A segunda base para a dedução dos valores (ao lado dos dados básicos toxicológicos) é a definição dos cenários de exposição. Aqui, o critério principal é o uso do solo, que determina a via relevante de absorção para a população exposta. Para a via direta (solo/homem) foi contemplada a absorção por ingestão e inalação, diferenciadas pelo uso do solo:

- playground
 - área residencial
 - parque/área de lazer
 - área comercial, industrial
- } → via ingestão e inalação
- via inalação

⁴ Gefahrenbezogene Körperdosen.

A absorção dermal (contato direto) foi considerada irrelevante para as substâncias aqui contempladas. Em casos isolados, a absorção dermal (contato direto) poderia ser considerada excepcionalmente.

2.1 Ingestão

As doses diárias de ingestão de solo, aplicadas na dedução dos valores de investigação, ainda necessitam de uma rigorosa verificação científica. As doses basearam-se em dados empíricos ou em convenções.

Para a dedução de valores a partir da absorção via *ingestão* de solo, a adoção dos seguintes valores foi recomendada:

- criança de 1 a 3 anos: 10 quilos de peso do corpo (PC)
- ingestão diária de solo: 0,5 gr⁵
- exposição anual: 240 dias no playground

Esse cenário "criança no playground" foi utilizado como cenário básico, interpretado em analogia para os outros tipos de uso do solo, como área residencial e parque/área de lazer, considerando-se uma exposição decrescente, devido ao acesso cada vez menor ao material (contaminado) do solo. Dessa forma, nos cálculos matemáticos realizados foi aplicado o fator 2, para adequar-se à absorção menor nas áreas residenciais em relação ao playground e 2,5 para os parques/áreas de lazer em relação às áreas residenciais, pelo mesmo motivo.

O cenário básico estabelecido, "criança no playground", resultou nas seguintes *taxa de imissão de solo (TIS)*:⁶

- *Playground*: 33 mg/kg PC x d⁷
- *Áreas residenciais*: 16,5 mg/kg PC x d
(foi aplicado o fator 2 para considerar uma absorção menor [metade] em relação ao playground)
- *Parques /áreas de lazer*: 6,6 mg/kg PC x d
(foi aplicado o fator 2,5 em comparação às áreas residenciais para considerar uma absorção menor nestas áreas)

Essas TIS foram usadas no cálculo dos valores de investigação, para a absorção via ingestão.

⁵ Esse número baseia-se em estudos feitos nos E.U.A. (EPA) e Holanda. O estudo da EPA indica uma quantidade básica de 0,2 gr/dia, mas levanta a possibilidade desses valores serem maiores, da ordem de até 1,5 gr/dia; dessa forma, resolveu-se adotar um valor de 0,5 gr/dia.

⁶ = Bodenaufnahmerate; ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.2.

⁷ kg PC = quilogramas de peso do corpo; d = dia.

2.2 Inalação

Para os tipos de uso do solo: *playground*, *área residencial e parque/lazer*, também foi avaliada a possibilidade de ocorrência de absorção de partículas finas de solo via inalação, especialmente em casos de substâncias com efeitos mais graves a saúde (tóxicos), nessa via de absorção. No cenário de exposição "criança no playground", adotado como básico, foram definidos os seguintes valores:

- criança: peso de 10 kg
- volume respiratório (atividade normal): 15 m³ /d (= 0,625 m³/h)
- horas na área: 2 h/d
- concentração de poeira: 1 mg/m³ *

A partir desse cenário básico, foi deduzida a *taxa de imissão de solo (TIS)* de 0,082 mg/kg PC x d para o uso de solo – *playground*.

* O valor de 1 mg/m³ resulta de um experimento de simulação.⁸ Nesse experimento, foram medidas 6 mg/m³ de poeira, durante um trabalho de jardinagem ao lado de uma criança brincando, em condições de tempo seco.

Para a dedução dos valores de investigação a partir de um uso do solo *industrial/comercial*, foi aplicado um modelo simplificado de absorção via inalação, considerando-se os seguintes fatores:

- concentração média da poeira (E): 0,325 mg/m³ (para 8 h/d)*
- duração de exposição (D): 600 h/a **
- fator adicional de concentração (A): 5 p/ substâncias inorgânicas,
10 p/substâncias orgânicas***

* O valor de concentração média de poeira (E) é orientado pelas seguintes convenções:

- EPA, E.U.A. (1994):
0,1 mg/m³ como concentração baixa, 2 mg/m³ como concentração alta;
- RIVM, Holanda:
0,165 mg/m³ como concentração média;
- 0,382 mg/m³ como concentração alta em áreas industriais.

** Para a duração de exposição (D), foram considerados os seguintes dados:

- Tempo de trabalho: 8 horas por dia (h/d), 5 dia por semana (d/s), 45 semanas por ano (s/a);
- Fator de redução da exposição devido à umidade do solo e a outros fatores: 1/3 do ano.

⁸ Relatório do Grupo de Trabalho "Risikoabschätzung und –bewertung in der Umwelthygiene" des Ausschusses für Umwelthygiene (AUH) der AGLMB.

A duração de exposição (D) foi deduzida da seguinte forma: $D = 45 \text{ s/a} \times 5 \text{ d/s} \times 8 \text{ h/d} : 3 = \underline{600 \text{ h/a}}$

(A partir disso, chegou-se a um fator Z, a ser aplicado nos cálculos matemáticos [ver anexo] de: $Z = 365 \text{ d/a} \times 24 \text{ h/d} : 600 \text{ h/a} = \underline{14,6}$)

*** Considerando uma concentração maior de substâncias perigosas no material fino do solo em relação ao material grosso, convencionou-se utilizar o fator adicional de concentração $A=5$, para substâncias inorgânicas, e $A=10$, para substâncias orgânicas.

Anexo 6510-3

1 Apresentação dos resultados dos cálculos e conclusões e recomendações do grupo de trabalho para os valores de investigação.

1.1 Aldrin

Os valores calculados foram mais baixos na absorção via ingestão em comparação a via de inalação. O resultado para o efeito cancerígeno foi o mais restritivo, 0,78 mg/kg. Para o efeito não cancerígeno, esse valor foi de 22,3 mg/kg.

Mesmo sendo suspeito de ser cancerígeno, não existem muitas informações sobre aldrin. Em experimentos com cobaia, foi detectado o valor de 0,33 mg/kg x d, como dose mínima para aparecimento de um efeito cancerígeno (assumindo-se o dieldrin como o metabólito reativo do aldrin). Considerando-se um risco de 10% como "seguro" em experimentos com cobaia, e um risco para o homem de 10^{-5} como aceitável, o potencial cancerígeno do aldrin é significativo (33 ng/kg x d, para um risco de 10^{-5}).

Considerando este raciocínio, somente seria utilizado 1/10 do valor D (ver Anexo 6510-4) para a determinação do efeito não cancerígeno. O resultado deve ser avaliado e atualizado.

Dessa forma, foram recomendados os seguintes valores de investigação para concentração deste elemento no solo:

- Playground: 2 mg/kg;
- Área residencial: 4 mg/kg;
- Parque/área de lazer: 10 mg/kg.

Para áreas industriais/comerciais não foi recomendado um valor, pois os valores calculados somente podem ser atingidos em contaminações pontuais com concentrações elevadas, causadas por acidentes na fabricação de produtos contendo aldrin. Para esses casos, devem ser observadas outras regulamentações das respectivas áreas legais.

1.2 Arsênico

Para o arsênico, os cálculos efetuados indicaram uma relevância maior da absorção via ingestão. Os valores calculados para os efeitos cancerígenos e não cancerígenos são quase iguais (efeito cancerígeno: 7,42 mg/kg, não cancerígeno: 8,20 mg/kg). Os resultados calculados para os cenários estipulados para playground e área residencial estão dentro dos valores encontrados em solos urbanos na Alemanha ("background").

Considerando-se os valores elevados encontrados em solos e subsolos naturais na Alemanha e o potencial cancerígeno desse elemento, os valores de investigação não devem ultrapassar os valores de background. O limite médio de carga de arsênico em solos alemães é de 15 a 20 mg/kg.

Dessa forma, foram recomendados os seguintes valores de investigação, para concentração no solo:

- Playground: 20 mg/kg;
- Área residencial: 20 mg/kg;
- Parque/área de lazer: 40 mg/kg;
- Para áreas industriais/comerciais foi calculado (inalação) o valor de 140 mg/kg.

1.3 Benzo(a)pireno

O efeito cancerígeno foi o de maior relevância para a substância em questão. No cálculo matemático (ver Anexo 6510-4), chegou-se a um valor para concentração no solo de 1,86 mg/kg, para a absorção via ingestão, e 2,12 mg/kg, via inalação.

A partir disso, foram indicados os valores de investigação, para concentração de benzo(a)pireno no solo:

- Playground: 2 mg/kg;
- Área residencial: 4 mg/kg;
- Parque/área de lazer: 10 mg/kg.

Para áreas industriais/comerciais, considerando a absorção via inalação, foi calculado um valor de 6 mg/kg para a concentração no solo. Entretanto, considerando-se um período de exposição de 20 anos, foi recomendado o valor de 12 mg/kg solo, de forma a existir uma gradação decrescente para os diferentes cenários de exposição.

1.4 Chumbo

Efetuada a partir das doses corporais (DC), os resultados dos cálculos matemáticos para o efeito não cancerígeno ficaram na faixa de concentração encontrada em solos urbanos da Alemanha. Para a dedução dos valores de investigação, foi aplicado o seguinte raciocínio:

A concentração média de chumbo no sangue da população da Alemanha (criança e adultos, excluindo atividades com exposição maior ao chumbo) é de 40 a 50 µg/l. Em 95% das crianças e adultos, a concentração fica abaixo de 80 µg/l, sendo muito raro encontrar-se concentrações de 100µg/l.

Em relação ao chumbo, as crianças são o grupo mais suscetível ao risco. Efeitos danosos já podem ser detectados a partir de uma concentração de 100 a 150 µg/l. Dessa forma, a concentração tolerável deve ficar significativamente abaixo desses valores para crianças bem como para mulheres (grávidas).

Concentrações elevadas no solo ou na poeira, absorvidas via ingestão, elevam significativamente a concentração de chumbo no sangue das crianças. O aumento da concentração no solo por 100 mg/kg solo é relacionada a um aumento de 1 a 10 µg/l no sangue.¹ (Esse valor foi detectado em áreas residenciais.) Foi considerada a hipótese de que a ingestão de um solo, nas taxas diárias consideradas neste estudo, contendo uma concentração de 100 mg/kg de chumbo, levará a um aumento na concentração de Pb no sangue de 5 µg/l. Dessa forma, um solo com uma concentração desse elemento no solo, de 400 mg/kg, levaria a um aumento de 20 µg/l. Alterações acima desse valor não seriam toleráveis, pois levariam a uma concentração sanguínea da ordem de 100 a 150 µg/l, quando já podem ser detectados efeitos negativos.

Dessa forma, fixou-se para o valor de investigação uma concentração no solo de 400 mg/kg, ao ser considerado um uso em áreas residenciais, a partir do qual foram extrapolados os seguintes valores:

- Playground: 200 mg/kg solo;
- Área residencial: 400 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 1.000 mg/kg solo;
- Área industrial/comercial: 2.000 mg/kg solo (via inalação).

1.5 Cádmi

Para o cádmio, os resultados dos cálculos para a absorção via ingestão ficaram significativamente abaixo dos resultados para a absorção via inalação. O valor calculado para a concentração do metal no solo foi de 9,1 mg/kg, considerando-se como uso do solo os playgrounds. Esse valor está dentro da faixa de concentração encontrada em áreas residenciais na Alemanha em alguns casos isolados.

¹ Dolgner et al.: Das öffentliche Gesundheitswesen 50; 1988.

Foram recomendados os seguintes valores de investigação, para a concentração de metal no solo:

- Playground: 10 mg/kg solo;
- Área residencial: 20 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 50 mg/kg solo;
- Para áreas industriais/comerciais (via inalação): 60 mg/kg.

1.6 Cromo

Os cálculos realizados, considerando a absorção via ingestão de solo, resultaram em concentrações de Cr-total no solo elevadas, dificilmente encontradas mesmo em áreas altamente contaminadas, devido à dose corporal (DC) relativamente alta definida para esse elemento. O Cr(VI) é a forma mais tóxica desse elemento. Para esse estado de oxidação, a absorção via inalação foi considerada a de maior relevância, resultando em um valor de investigação de 245 mg/kg. Para o Cr(III) e outros compostos de Cr, não há dados básicos toxicológicos definidos.

A partir disso, foram recomendados os seguintes valores de investigação para concentração de Cr-total no solo:

- Playground: 200 mg/kg solo;
- Área residencial: 400 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 1000 mg/kg solo.
- Para a área industrial/comercial foi recomendado um valor de investigação de 1000 mg/kg solo (como em parque/área de lazer).

Na investigação mais detalhada, indicada pela ultrapassagem desse valor, seria investigada especialmente a presença de Cr (VI) em relação ao Cr(total). A aplicação do mesmo valor para parques/áreas de lazer foi realizada devido à necessidade de avaliação da porcentagem de Cr(VI) no Cr(total). O procedimento analítico que discrimina esses estados de oxidação do metal é ainda difícil. Dessa forma, a suplantação do valor de investigação calculado leva a uma investigação detalhada que visa, principalmente, à avaliação da exposição real ao Cr(VI).

1.7 DDT

Os cálculos mostram a importância do efeito cancerígeno para essa substância. O valor calculado para a concentração no solo, considerando-se a absorção via ingestão e um efeito cancerígeno, foi de 43,75 mg/kg. Por outro lado, o valor calculado para a absorção via inalação, considerando-se os efeitos não cancerígenos, foi significativamente maior.

A partir de experimentos realizados com ratos, chegou-se a uma dose de ingestão diária de 0,26 mg/kg x d (LOAEL) e, considerando-se um fator de segurança de 10% a ser aplicado para resultados conseguidos em experimentos com cobaias e um risco adicional de desenvolvimento de câncer de 10^{-5} , chegou-se a um valor de ingestão diária da substância para o homem de 26 ng/kg x d.

Dessa forma, os seguintes valores de investigação para a concentração de DDT no solo foram recomendados:

- Playground: 40 mg/kg solo;
- Área residencial: 80 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 200 mg/kg solo.

Para áreas industriais/comerciais, não foi recomendado um valor de investigação. O valor obtido pelos cálculos (4168 mg/kg) foi demasiado alto para ser considerado.

1.8 HCB

Os cálculos mostraram uma relevância maior da absorção via ingestão. Para o efeito não cancerígeno, os valores calculados indicaram uma concentração no solo de 4,27 mg/kg, enquanto para um efeito cancerígeno esse valor foi de 7,95 mg/kg.

Foram recomendados os seguintes valores de investigação para a concentração de HCB no solo:

- Playground: 4 mg/kg solo;
- Área residencial: 8 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 20 mg/kg solo.

No cálculo para áreas industriais/comerciais (via inalação), foram obtidos valores muito altos, considerados fora da realidade. Foi determinado, então, um valor menor, seguindo uma tendência crescente, de acordo com os outros tipos de uso do solo:

- Área industrial/comercial: 200 mg/kg solo.

1.9 HCH

Foi considerado o efeito aditivo para o homem, causado pela mistura de isômeros de HCH normalmente encontrada em solos contaminados. O cálculo foi baseado na utilização das doses corporais (DC) para a mistura de isômeros. O valor de DC utilizado corresponde ao mais baixo de um dos isômeros encontrados na mistura, β -HCH. O β -HCH apresenta o efeito mais tóxico para o fígado (5 vezes do que o α -HCH, 16,5 vezes mais tóxico do que o γ -HCH).

Nos cálculos efetuados para a mistura de HCH, o valor mais baixo encontrado (5,58 mg/kg) foi para a absorção via ingestão, considerando-se um efeito não cancerígeno.

A partir desses cálculos, foram recomendados os seguintes valores de investigação:

- Playground: 5 mg/kg solo;
- Área residencial: 10 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 25 mg/kg solo.

No cálculo realizado para áreas industriais/comerciais (via inalação), foi obtido um valor muito alto, considerados fora da realidade. Dessa forma, foi assumido como valor de investigação um que representou a metade do valor calculado para uma exposição de 40 anos, evitando-se, assim, um valor pouco realístico quando comparado aos valores de background:

- Área industrial/comercial: 400 mg/kg solo.

1.10 Níquel

Nos cálculos realizados, foram obtidos valores bem altos para a absorção via ingestão, devido serem altos os valores de doses corporais (DC) definidos para esse elemento, por apresentar um potencial tóxico relativamente baixo na ingestão. O cálculo efetuado para a absorção via inalação foi de maior relevância para o estabelecimento dos valores de investigação. O resultado do cálculo indicou um valor de 70 mg/kg, para a concentração desse metal no solo, considerando-se um uso para playground.

Dessa forma, foram estabelecidos os seguintes valores de investigação:

- Playground: 70 mg/kg solo;*
- Área residencial: 140 mg/kg solo;*
- Parque/área de lazer: 350 mg/kg solo;
- Área industrial/comercial: 900 mg/kg solo.**

* Em regiões com uma concentração natural acima dos valores estabelecidos (p. ex., solos de basalto), esses valores devem ser alterados.

** Esse valor foi indicado a partir do efeito tóxico pela respiração de compostos de níquel. Não seria indicada a distinção da duração da exposição.

1.11 PCB

Os valores toxicológicos básicos para o PCB foram definidos a partir de um estudo realizado com a mistura "Aroclor 1254". Os efeitos tóxicos das diferentes misturas de PCB podem variar bastante, dependendo do alvo (órgão afetado).

Hoje em dia não existem dados suficientes para diferenciar claramente a toxicidade de cada uma das misturas de PCB.

O valor para a dose corporal (DC) [ver Anexo 6510-4, Tabela 1] de PCB₆ foi considerado suficientemente conservativo. Os cálculos efetuados com a utilização dessa DC mostraram uma importância maior da absorção via ingestão. Os valores calculados foram: para o efeito não cancerígeno – 2,14 mg/kg solo e para o efeito cancerígeno – 1,72 mg/kg solo.

Assim, os seguintes valores de investigação para o solo foram recomendados para o PCB₆:

- Playground: 2 mg/kg solo;
- Área residencial: 4 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 10 mg/kg solo.

No cálculo para áreas industriais/comerciais (via inalação), foram obtidos valores muito altos, considerados fora da realidade. Dessa forma, foi assumido como valor de investigação um que representou a metade do valor calculado para uma exposição de 40 anos, evitando-se, assim, um valor pouco realístico quando comparado aos valores de background:

- Área industrial/comercial: 200 mg/kg solo.

1.12 Mercúrio

O mercúrio pode estar presente em solos e áreas contaminadas em várias formas (compostos de mercúrio e mercúrio elementar). Os compostos orgânicos e inorgânicos apresentam características tóxicas bem diferenciadas. O mercúrio orgânico (metilo de mercúrio) é considerado a forma mais tóxica. Dessa maneira, a presença do mercúrio orgânico foi considerada na dedução dos valores de investigação.

A absorção via ingestão foi considerada a mais importante, apresentando os seguintes valores calculados para as diferentes formas do metal: 24 mg/kg para mercúrio inorgânico e 4,7 mg/kg para mercúrio orgânico.

Os valores de investigação foram definidos considerando-se os valores totais. Dessa forma, uma avaliação mais detalhada para cada caso, considerando as condições específicas do local, deve ser realizada numa etapa seguinte, investigando os compostos de fato presentes.

Foram recomendados os seguintes valores de investigação para o solo:

- Playground: 10 mg/kg solo;
- Área residencial: 20 mg/kg solo;
- Parque/área de lazer: 50 mg/kg solo.

Foi considerado que a recomendação realizada foi suficientemente conservativa, uma vez que julgou-se ser pouco representativa da realidade a simples adoção do valor mais baixo (mercúrio orgânico).

Para a absorção via inalação não existem dados seguros para a o estabelecimento de doses corporais (DC). Dessa forma, o cálculo para essa via de absorção não pode ser realizado. Foi recomendado um valor de investigação baseado nos valores para os outros usos do solo, considerando-se a gradação crescente observada:

- Área industrial/comercial: 80 mg/kg solo.

1.13 Dioxinas/ furanos

Na absorção via ingestão, o cálculo efetuado ao considerar-se o efeito cancerígeno foi baseado no modelo "unit risk", chamado de "linearized multistage model", que é considerado pouco seguro pela Companhia Federal de Meio Ambiente da Alemanha (Umweltbundesamt). O valor de concentração dessa substância no solo, resultante desse cálculo, foi de 89 ng/kg. O cálculo para o efeito não cancerígeno deu um valor pouco menor – 73 ng/kg solo. Em princípio, esses resultados confirmam as recomendações de um grupo de trabalho interestadual/federal para "dioxinas" no solo em áreas de playgrounds. Dessa forma, as recomendações desse grupo de trabalho foram assumidas sem alteração para os *valores de intervenção*:

- Playground: 100 ng/kg solo;
- Área residencial: 1.000 ng/kg solo;
- Parque/área de lazer: 1.000 ng/kg solo;
- Área industrial/comercial: 10.000 ng/kg solo.

Anexo 6510-4

Equações para o cálculo matemático e os dados básicos toxicológicos.

Utilizados na dedução dos valores de investigação, conforme estabelecido no Anexo 2 da regulamentação da Lei Federal Alemã de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas

Índice

- 1. O cálculo da absorção de solo em playground, área residencial e parque/área de lazer**
 - 1.1 Considerações**
 - 1.2 As equações para o cálculo dos valores de investigação**
 - 1.3 Um exemplo: Benzo(a)pireno**

- 2 O cálculo da absorção de solo em áreas industriais/comerciais**
 - 2.1 Considerações**
 - 2.2 As equações para o cálculo dos valores de investigação (somente em áreas industriais/comerciais – via inalação)**

- 3 Os dados básicos toxicológicos dos DCs (Tabela 1)**

- 4 A lista das abreviações (fatores usados nas equações)**

1 O cálculo da absorção de contaminantes pela ingestão/inalação de solo em playground, área residencial e parque/área de lazer

1.1 Considerações

Em geral, o valor de investigação (Prüfwert) [mg/kg] é avaliado por:

$$\frac{\text{Dose Corporal (DC)}}{\text{Taxa de Imissão de Solo (TIS)}}$$

DC/Substâncias tóxicas e não cancerígenas

A dose corporal (DC)¹ foi deduzida do valor toxicológico básico (D)² [ng/kg PC x d] alterado (multiplicado) pelo Fator de Perigo (F_{perigo})³. O F_{perigo} , por sua vez, deve ser multiplicado por 0,8 quando estuda-se a absorção via ingestão, de forma a que seja considerada uma absorção da substância oriunda de outras fontes (carga do fundo), como, por exemplo, alimentos (ver Anexo 6510-2). Dessa maneira, a DC é deduzida pelas seguintes equações:

via ingestão: $DC = \text{ValorD}^* \times (F_{\text{perigo}}^{**} \times 0,8)$

via inalação: $DC = \text{ValorD} \times F_{\text{perigo}}$

* O valor D é um valor toxicológico básico em ng/kg PC (Peso corpóreo) x d. O valor D, para cada substância, é apresentado na Tabela 9 (ver item 3)

** O F_{perigo} é um fator de insegurança, utilizado devido à baixa confiabilidade existente na transferência de dados, obtidos em experimentos com cobaias, para o homem. Quanto maior a insegurança (ausência de dados) na transferência dos resultados levantados nesses experimentos, menor deverá ser o fator de insegurança. Na determinação de valores de investigação não devem ser atingidos valores (LOAEL) a partir dos quais já existe um perigo ao bem a proteger mais importante (homem).

¹ = GD = Gefahrenbezogene Körperdosis; ver: Relatório do Grupo de Trabalho LABO-LAGA- "via direta", capítulo 5.2.

² = D-Wert (=Dosis) = toxicologischer Basiswert; ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.2.

³ = FGef = gefahrenverknüpfender Faktor; ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.2.

Por convenção, a determinação do F_{perigo} foi definida pela média geométrica (raízes quadradas) de um fator de segurança que garante sempre uma distância entre o valor de investigação em busca e o conhecido LOAEL, para assegurar que o valor estabelecido nunca seja igual ou maior que o LOAEL. Os F_{perigo} são apresentados na Tabela 9 (ver *item 3*).

DC/Substâncias cancerígenas

Para os elementos e substâncias comprovadamente cancerígenas, foi assumindo um Fator de Risco Carcinogênico de 1×10^{-5} . Nos cálculos, também foi considerado um período de exposição de 8 anos (crianças). O valor para a dose diária (“unit risk”) refere-se à estimativa média de vida (70 anos).

Dessa maneira, a dose calculada por dia é $70 : 8 = 8,75$. Esse valor é aplicado no cálculo da DC para substâncias cancerígenas, resultando na seguinte fórmula (ingestão e inalação):

$$DC = \text{ValorD} \times F_{\text{perigo}} \text{ onde o } F_{\text{perigo}} = 5 \times 8,75$$

TIS – via ingestão

O cálculo da taxa de imissão de solo (TIS)⁴ baseou-se no seguinte cenário, *playground*:

- criança de 10kg, peso do corpo (PC);
- ingestão por dia 0,5gr/d em 240 dias/ano.

Dessa maneira, resultou para o uso do solo com *playground* um valor de imissão diária de solo de 33 mg/kg PC x d. $TIS = [(0,5 \times 240 / 365) : 10]$.

Para *áreas residenciais*, foi aplicado o fator 2 para ser considerada uma quantidade menor nessas áreas, ou seja, 16,5 mg/kg PC x d.

Para *parques/áreas de lazer* foi aplicado o fator 2,5, pelo mesmo motivo, em relação às áreas residenciais, chegando-se ao valor de 6,6 mg/kg PC x d (ver Anexo 6510-2).

Essas TIS foram aplicadas no cálculo dos valores de investigação para a via de ingestão.

TIS – via de inalação

Na via de absorção por inalação, as TIS foram elaboradas baseadas no seguinte cenário:

- *playground*, volume de respiração: $15 \text{ m}^3/\text{d}$ ($=0,625 \text{ m}^3/\text{h}$), tempo: 2 h/d, 240 dias/ano e concentração estimada de poeira no ar: $1 \text{ mg}/\text{m}^3$.

⁴ = Bodenaufnahmerate; ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.2.

Dessa maneira, teremos $TIS = [0,625 \times 1 \times 2 \times (240 : 365)]$, chegando-se a um valor de $TIS=0,082$ mg/kg/dia em áreas utilizadas para *playground*.

Assumindo-se os mesmos procedimentos anteriores, teremos:

- *Áreas residenciais*: $TIS = 0,041$ mg/kg x d.
- *Parques/áreas de lazer*: $TIS = 0,0205$ mg/kg x d

As TIS foram alteradas, ainda, por um fator adicional de concentração (A) (ver Anexo 6510-2).

1.2 Equações para o cálculo dos valores de investigação

– *substâncias não cancerígenas – via ingestão*:

$$\frac{\text{Valor D} \times (F_{\text{perigo}} \times 0,8)}{TIS}$$

– *substâncias cancerígenas – via ingestão*:

$$\frac{\text{Valor D} \times F_{\text{perigo}} (=5 \times 8,75)}{TIS}$$

– *substâncias não cancerígenas – via inalação*:

$$\frac{\text{Valor D} \times F_{\text{perigo}}}{TIS \times \text{fator adicional de concentração (A)}}$$

– *substâncias cancerígenas – via inalação*:

$$\frac{\text{Valor D} \times F_{\text{perigo}} (=5 \times 8,75)}{TIS \times \text{fator adicional de concentração (A)}}$$

Após o cálculo os valores de investigação, foram verificados quanto a sua viabilidade prática e corrigidos quando necessário.

1.3 Um exemplo: Benzo(a)pireno

considerando o efeito cancerígeno e a absorção via ingestão:

$\frac{\text{ValorD} \times F_{\text{perigo}} (=5 \times 8,75)}{\quad}$	$\frac{1,4 \times (5 \times 8,75)}{33}$	$= 1,8 \text{ mg/kg solo}$
---	---	----------------------------

Com base nesse cálculo e após a avaliação da viabilidade prática pelo GT "LABO-LAGA", os seguintes valores de investigação foram estabelecidos para a concentração de Benzo(a)pireno:

- Playground: 2 mg/kg ;
- Área residencial: 4 mg/kg ;
- Parque/área de lazer: 10 mg/kg.

Dependendo da avaliação da viabilidade prática dos valores calculados (discussão toxicológica, comparação com outras listas, valores de background, etc.), eles podem ser (bem) diferentes dos resultados obtidos pelas equações. Por essa razão, todas as substâncias avaliadas passaram por esse processo (ver Anexo 6510-3).

2 **Cálculo da absorção de solo em áreas industriais/comerciais**

2.1 Considerações

Nas áreas industriais/comerciais, foi calculada somente a absorção por inalação em áreas não pavimentadas. A via de absorção via ingestão foi considerada irrelevante nesse tipo de uso de solo.

Cenário de exposição

Ao contrário do cálculo realizado para a absorção via oral (ingestão) pela inalação, devem ser considerados vários fatores que dependem da exposição, tais como (cenário simplificado):

- concentração estimada de poeira no ar (mg/m^3); trabalho pesado permanentemente, foi excluído; frequência de exposição (h, d); fator aditivo (porcentagem das partículas finas na poeira / concentração de contaminantes no solo);

As equações elaboradas para o cálculo da absorção via inalação, em áreas industriais/comerciais, para elaboração dos valores de investigação, contemplaram os seguintes fatores:

substâncias não cancerígenas

valor *D* (ver acima);

Duração da exposição (*D*)⁵: 600 h/a (\rightarrow fator *Z* = 14,6) *

Concentração média estimada da poeira (*E*)⁶: 0,325 mg/m^3 (para 8 h/d)

fator adicional de concentração (*A*)⁷: 5 [substâncias inorgânicas], 10 (subst. orgânicas)

* O fator *Z* representa uma exposição média por dia e é aplicado nos cálculos matemáticos:

$$Z = \frac{365 \text{dias.ano}^{-1} \times 24 \text{horas.dias}^{-1}}{600 \text{horas.dias}^{-1}} = 14,6$$

substâncias cancerígenas

Para substâncias cancerígenas, foram aplicados os mesmos fatores, sendo adicionalmente utilizado um fator 5 para se ajustar a extrapolação direta da dose corporal (CD) para o valor "unit risk". O fator *Z* foi aumentado (em comparação com as substâncias não cancerígenas) para considerar uma exposição cumulativa no trabalho durante 20 ou 40 anos:

Z = 51,6 (20 anos de trabalho) 25,8 (40 anos).

⁵ = Expositionsdauer (*D*); ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.4.3.

⁶ = Angenommene Staubkonzentration (*E*); ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.4.3.

⁷ = Anreicherungsfaktor (*A*); ver: Relatório do Grupo de Trabalho "LABO-LAGA – via direta", capítulo 5.4.3.

2.2 Equações para o cálculo dos valores de investigação (somente em áreas industriais/comerciais – via inalação)

– substâncias não cancerígenas – via inalação:

$$\frac{\text{Valor D} \times F_{\text{perigo}} \times Z}{E \times A}$$

=

$$\frac{\text{Valor D [ng/m}^3\text{]} \times F_{\text{perigo}} \times 14,6}{0,325 \text{ mg/ m}^3 \times 5 (10)}$$

– substâncias cancerígenas – via inalação:

$$\frac{\text{Valor D} \times 5 \times Z}{E \times A}$$

=

$$\frac{\text{Valor D [ng/m}^3\text{]} \times 5 \times 51,6 (25,8)}{0,325 \text{ mg/m}^3 \times 5 (10)}$$

3 Dados básicos toxicológicos

Tabela/Anexo 6510-4-1: Valor D e F_{perigo} para efeitos não cancerígenos e cancerígenos.

substância	Ingestão				inalação			
	Valor D - ng/kg x d		F_{perigo}		Valor D - ng/m ²		F_{perigo}	
	Não-canc.	canc.	não-canc.	canc.	não-canc.	canc.	não-canc.	canc.
aldrin	80	0,59	10	5	700	3,5	3,2	5
arsênio	300	5,60	1,7	5	100	1,8	10	5
benzo(a)pyren	-	1,40	-	5	-	0,14	-	5
chumbo	2.000	-	2	-	-	-	-	-
cádmio	500	-	1,4	-	35	0,8	10	5
cromo (total)	5.000	-	10	-	50	0,8	3,2	5
DDT	1.000	33	10	5	-	105	-	5
HCB	30	6	5,5	5	-	22	-	5
HCH	20	6	10	5	17,5	20	10	5
níquel	1.333	-	10	-	10	40	10	5
PCB	15	1,30	5,5	5	-	8,3	-	5
Hg (inorg.)	214	-	4,5	-	131,25	-	7,1	-
Hg (org.)	50	-	3,9	-	-	-	-	-
PCDD/F	1×10^{-3}	$6,7 \times 10^{-5}$	3,2	5	-	$1,4 \times 10^{-3}$	-	5

4 Lista de abreviações

(fatores usados nas equações)

A	Fator adicional de concentração
D	Duração da exposição
DC	Dose corporal com respeito ao perigo
E	Concentração média estimada de poeira
F _{perigo}	Fator que representa uma insegurança na transferência de dados obtidos por experimentos com cobaia, para homem. Os F _{perigo} s são apresentados na Tabela 9
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
PC	Peso por corpo
TIS	Taxa de imissão (ingresso) de solo (diária)
Valor D	Valor toxicológico básico em ng/kg PC x d; o valor D para cada substância é apresentado na Tabela 9
Z	O fator Z representa uma exposição média diária

Anexo 6510-5

1 Exigências para amostragem, análise e controle de qualidade na investigação (Anexo 1 da regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de Áreas Contaminadas)

No Anexo 1 da regulamentação estão apresentadas as *exigências para amostragem, análise e controle de qualidade*. Essas exigências seriam aplicadas na investigação de ASs. A regulamentação exige a aplicação das tecnologias mais modernas consagradas. Para manter essas exigências atualizadas, a Secretaria Federal de Meio Ambiente convoca periodicamente um grupo de peritos federais, estaduais e autônomos.

Anexo 1

As exigências para amostragem, análise e controle de qualidade

1 – Abrangência da investigação: as amostragens são direcionadas pelas informações obtidas nas fases anteriores, como, por exemplo, a análise histórica-industrial, que dá informações sobre o tipo e os pontos de contaminações, as vias de contaminação e uso do solo. Na investigação da via "solo/homem", devem ser consideradas utilizações como: playground, área residencial, parque/lazer, área industrial, no caso da via "solo/planta". os usos: agricultura e pastagem são considerados. Na investigação da via "solo-água subterrânea", o uso não é considerado.

1.1 – A Investigação Orientativa (Orientierende Untersuchung) de áreas suspeitas tem como objetivo a confirmação e avaliação da abrangência de locais e subáreas (locais) contaminadas, inclusive a propagação da contaminação via aérea (substâncias voláteis, emissões gasosas de lixões) e via subterrânea

2 – Amostragem –

O procedimento da amostragem é determinado pelas vias de absorção relevantes (na área em questão), pelo tamanho da área, pela suposta (...) difusão vertical e horizontal das substâncias perigosas e pelo uso do solo atual e anterior.

(...)

Para fins de amostragem, as áreas de investigação seriam subdivididas em partes. A subdivisão seria realizada baseada na qualidade dos dados existentes sobre o local. Como, por exemplo, suspeita de periculosidade

diferenciada, diferentes tipos de uso do solo, morfologia (estrutura) do solo, indícios como o desenvolvimento diferenciado da vegetação ou outras observações realizadas na investigação preliminar.

2.1 – Amostragem para a investigação do solo – definição dos pontos e da profundidade da amostragem –

Objetivando o esclarecimento da distribuição espacial das substâncias perigosas, a área ou uma parte dela seria investigada de uma maneira representativa com auxílio de uma malha de amostragem. Se for possível elaborar uma hipótese, baseada nos dados disponíveis (...), sobre a distribuição espacial das substâncias perigosas, que seria considerada na definição dos pontos e malha de amostragem. Para a definição da distribuição dos pontos de amostragem, também poderão ser aplicados métodos apropriados de screening, no local.

"Hot Spots" (pontos de forte contaminação) identificados devem ser investigados separadamente. A respeito do número e localização dos pontos de amostragem, esta seria realizada visando ao esclarecimento da "suspeita de perigo", à avaliação do potencial da contaminação e à demarcação da sua distribuição espacial.

Na análise de substâncias inorgânicas e orgânicas não voláteis, as profundidades das amostras seriam determinadas baseadas nas vias de absorção solo/homem e solo/planta de cultivo, de acordo com a Tabela/ Anexo 6510-5-1.

Tabela/Anexo 6510-5-1: Profundidade da amostragem considerando o uso do solo e as vias de de absorção solo/homem e solo/planta de cultivo

Via de absorção	Uso do solo	Profundidades dos pontos de extração de amostras
solo/homem (via direta)	playground e área residencial	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm* • 10-35 cm**
	parque, área de lazer	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm
	área industrial/comercial	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10 cm
solo/planta de cultivo	agricultura, horticultura, horta	<ul style="list-style-type: none"> • 0-30 cm*** • 30 - 60 cm
	pastagem	<ul style="list-style-type: none"> • 0-10cm**** • 10-30cm
<p>* 0 – 10 cm: profundidade relevante para a potencial absorção via ingestão e via contato direto (absorção dermal), adicionalmente na relevância do via de absorção inalativa: -2 cm</p> <p>** 0 – 35 cm: profundidade (zona) média de folhas de solo antropogêneas; profundidade máxima alcançável por criança</p> <p>*** horizonte de cultivo/tratamento</p> <p>**** zona radicular</p>		

A respeito das vias de absorção, deve ser observado:

2.1.1 – via solo/homem –

Na definição dos pontos e das profundidades de amostragem, também devem ser observadas as condições da exposição no caso, tais como:

- o uso real do solo (tipo, frequência, duração);*
- o acesso à área;*
- a impermeabilização da área e a vegetação;*
- possibilidade de inalação de partículas do solo;*
- a relevância de outras vias de absorção.*

Na avaliação de riscos a partir da inalação de material particulado do solo, os primeiros dois centímetros do solo são da maior relevância. Seriam coletadas amostras em duplicata, separando a fração até 63 μm para eventuais futuras análises (relevante para a avaliação da poeira inalativa).

Na hipótese de distribuição regular de substâncias perigosas, em áreas até 10.000m², seria coletada uma amostra composta para cada 1000 m², no mínimo de três subáreas. As amostras seriam compostas por 15 a 25 subamostras individuais de uma mesma profundidade. Áreas com menos de 500 m², bem como jardins e quintais, não seriam subdivididos. Em áreas acima de 10.000 m², seriam realizadas amostragens no mínimo em 10 subáreas.

2.1.2 – Via solo/planta de cultivo/alimentação –

Em áreas agrícolas com até 10 ha, que apresentam homogeneidade na distribuição dos solos e substâncias perigosas, seria coletada uma amostra de solo composta para cada 1 ha, no mínimo de três subáreas, da mesma profundidade. Áreas com menos de 5000 m² não seriam subdivididas. Em áreas acima de 10 ha, seriam realizadas amostragens no mínimo em 10 subáreas. (...) As amostras seriam compostas por 15 a 25 subamostras individuais.

(...)

2.1.3 – via solo/águas subterrâneas –

Para a identificação da propagação vertical de contaminantes na zona não saturada, deve ser realizada uma sondagem até uma profundidade imediatamente abaixo do ponto do perfil do solo supostamente contaminado ou de um corpo suspeito identificado como fonte de contaminação. A amostragem seria realizada especificando os horizontes do solo. As amostras em subsuperfície podem ser coletadas considerando-se um intervalo de amostragem de até 1 m. Estruturas suspeitas seriam avaliadas e investigadas separadamente, se for necessário. A profundidade da sondagem deve ser controlada e reduzida na possibilidade de perfuração de uma camada impermeável, com a finalidade de evitar a propagação da contaminação para as águas subterrâneas.(...).

(...)

Obs.: A avaliação da via solo/água consiste na aplicação dos *valores de investigação* (seção 6510, item 3.3.1.) no "percolado" (Sickerwasser) da zona de transição entre a zona não saturada e saturada (veja seção 6510, 3.3.2). Essa análise ou segue procedimentos laboratoriais de lixiviação com água (Método DIN 38414-1:10:84) ou pode ser recalculada, baseando-se nas concentrações da água subterrânea, fator de mobilização, migração e especificação dos contaminantes. Para esse método não foi estipulado uma metodologia consagrada, assim favorecendo o método através de lixiviação laboratorial.

Fica evidente que os valores de investigação via solo/águas subterrâneas não são valores da água subterrânea, mas do percolado no solo amostrado na zona de transição/zona saturada/não saturada e analisado no extrato de lixiviação com água.

2.4 – Coleta das amostras –

2.4.1 – Solos (...) e outros materiais –

A quantidade necessária da amostra é determinada através da norma DIN 18123: 11.96 e deve ser suficiente para garantir a análise no laboratório e eventualmente a preparação de amostras em duplicata após um pré-tratamento apropriado da amostra (...)

*No caso de solos de granulometria heterogênea, será feita uma separação da fração >2 mm. A fração < 2 mm será pesada, homogenizada e analisada. O material grosso (> 2 mm) e os materiais suspeitos de contaminação seriam separados da amostra e analisados separadamente.
(...)*

3. – Procedimentos de análise –

3.1 – Procedimentos para solos (...) e outros materiais –

3.1.1 – Seleção das amostras e pré-tratamento –

*A ordem de análise das amostras retiradas no campo deve ser definida caso por caso. Também seria avaliada a possibilidade de analisar amostras compostas. A decisão e as razões que levaram a adoção destes procedimentos devem ser documentadas.
(...)*

Se for necessária a separação do material grosseiro (considerando especialmente escória e entulho), deve ser usada uma peneira com malha de 2 mm (...) Agregados pouco estáveis (p. ex., concreções de carbonato ou ferro, pedra-pomes) não seriam partidos. As duas frações devem ser pesadas, descritas e documentadas. A massa seca deve ser calculada. O material fino deve ser homogeneizado e analisado. Na suspeita de uma quantidade maior de contaminantes na fração ≥ 2 mm, essa fração deve ser extraída e analisada após uma pré-moagem e homogeneização. Materiais suspeitos encontrados nas amostras devem ser analisados separadamente e considerados na avaliação, se for necessário.

Partes representativas das amostras retiradas no campo devem ser armazenadas. Tipo e volume devem ser determinados seguindo as necessidades de cada caso.

(...)

4. – Controle de qualidade –

4.1 – Coleta e armazenagem (das amostras) –

A definição dos pontos e profundidades de amostragem bem como a coleta das amostras devem ser realizadas por pessoal qualificado.

Na coleta, transporte e armazenagem das amostras, devem ser evitadas alterações da qualidade química, física e biológica do material, pelo procedimento da amostragem, pelo material empregado (instrumentos) ou pelas condições da armazenagem.

A coleta das amostras deve ser documentada. A documentação deve conter todas as informações relevantes para a avaliação dos resultados, especialmente os seguintes dados:

- data da coleta;*
- responsável pela coleta;*
- identificação do local da área investigada e dos pontos de amostragem;*
- denominação da área;*
- profundidade da amostragem;*
- horizontes do solo (...);*
- método da coleta;*
- uso do solo anterior (histórico) e atual, informações disponíveis sobre contaminações.*

(...)

[Regulamentação da Lei Federal de Proteção do Solo e de AC, Anexo 1]

No item 6 do Anexo 1, são apresentadas todas as normas específicas para a realização dos procedimentos técnicos requeridos pela regulamentação. É um grande número de normas a ser empregadas nas várias etapas que compõem a investigação, como a coleta de amostras (p. ex., a amostragem do ar do solo), a conservação, o transporte e armazenagem de amostras, bem como os vários procedimentos de análise. Dessa maneira, o Anexo 1 somente estabelece os princípios qualitativos dos procedimentos e reúne um grande número de normas existentes, visando especialmente à realização correta da investigação de uma AS a partir do atual estágio da técnica alemã/internacional.

6520 Níveis de avaliação para solo – “Soil Screening Levels” – aplicados pela USEPA

Os valores-limite apresentados a seguir fazem parte do Soil Screening Guidance, ferramenta utilizada pela USEPA para normatizar e acelerar o processo de avaliação e remediação de áreas suspeitas de estarem contaminadas, que fazem parte da Lista Nacional de Prioridades (NPL). Nesse sentido, foram desenvolvidos valores-limite para uma série de poluentes do solo, pelo emprego de metodologia de avaliação de risco, em que foi assumido um cenário futuro de uso residencial para essas áreas.

Esses valores-limite foram denominados de Soil Screening Levels (SSLs), e a sua ultrapassagem no solo não classifica a área como contaminada, apenas indica a necessidade de uma investigação detalhada ser implementada no local. Por outro lado, áreas onde os valores dos poluentes considerados estiverem abaixo dos valores de SSLs não levam a nenhuma ação legal ou necessidade de investigação adicional. Os contaminantes considerados na tabela a seguir compreendem aqueles mais comumente encontrados nas áreas que fazem parte da NPL.

As vias de exposição assumidas, para o cenário residencial considerado, foram:

- Ingestão de solo
- Inalação de voláteis
- Migração para a água subterrânea

Para a última via de exposição foram considerados fatores de atenuação 1 e 20.

Dentro desse processo elaborado pela EPA, a utilização dos valores genéricos de SSLs pode ser substituída pelo cálculo de SSLs específicos para o local a ser avaliado, desde que existam dados disponíveis ou caso o cenário básico estabelecido não seja aplicável nessa situação específica.

É importante que seja comentado que a utilização desses valores de SSLs está associada a uma metodologia específica de coleta (distribuição dos pontos de amostragem) e análise estatística dos dados, conforme apresentado por USEPA (1996a).

Conforme apresentado pela USEPA (1996b), os valores genéricos de SSLs estabelecidos para 110 elementos ou substâncias químicas foram calculados utilizando-se valores de default genéricos conservadores quanto à proteção da saúde humana, para a maioria das condições encontradas no território Estados Unidos.

Entretanto, esses valores não consideram todas as vias de exposição conhecidas, podendo ser elevados para algumas delas quanto à proteção da saúde humana ou à preservação dos ecossistemas. Dessa forma, antes de serem utilizados valores genéricos de SSLs em determinada área, considera-se de extrema importância que compare-se o modelo conceitual desenvolvido para o local com aquele adotado na elaboração da lista de valores genéricos de SSLs. Se nessa comparação concluir-se que o cenário existente na área avaliada é mais complexo do que o adotado no cálculo dos SSLs, ou que possui vias de exposição significativas não abordadas nesses cálculos, os valores genéricos de SSLs não serão suficientes para uma perfeita avaliação da área, necessitando-se um estudo de avaliação de risco mais específico.

Os valores genéricos de SSLs são apresentados para as principais vias de exposição assumidas dentro de um cenário de uso residencial do solo, quando considerada a contaminação do solo superficial ou subsuperficial.

A primeira coluna da tabela apresenta as substâncias consideradas na elaboração dos valores de SSLs. Na segunda coluna, os valores máximos de concentração no solo dessas substâncias, considerando-se a ingestão direta do solo contaminado. Na terceira coluna, os valores de concentração, considerando-se a via de exposição por inalação de substâncias voláteis para as substâncias orgânicas mais o mercúrio. Para as substâncias inorgânicas nessa coluna é considerada a inalação de partículas fugitivas.

Pode ser notado que para a via de exposição por inalação de substâncias voláteis, na determinação dos valores de SSLs foi considerada uma concentração da substância relativa a saturação do solo (C_{sat}), a qual foi utilizada para determinar a presença de fase líquida não aquosa (NAPLs). Concentrações acima desses valores, para substâncias que encontram-se líquidas a temperatura ambiente, indicam a presença de fase livre de produto, existindo, então, a necessidade de partir-se diretamente para uma investigação detalhada da área nesses casos.

Nas duas últimas colunas, são apresentadas as concentrações máximas dos contaminantes no solo, quando considera-se a via de exposição consumo de água subterrânea. Na primeira delas, utilizou-se como default um coeficiente de atenuação (DAF) de 20, ou seja, leva-se em conta um processo natural de atenuação e diluição dos contaminantes, que reduzirá a quantidade deste que irá atingir o aquífero.

Na coluna seguinte, assume-se um DAF de 1, ou seja, não considera-se nenhum fator de atenuação ou diluição, entre a fonte e o poço receptor da contaminação. Esses valores de SSLs deverão ser considerados em situações em que uma pequena ou nenhuma atenuação do lixiviado do solo é esperada, como, por exemplo, em locais onde o aquífero é muito raso, o meio é muito fraturado, terrenos são cársticos ou uma fonte de contaminação é maior do que 120 m² (30 acres).

Normalmente, na investigação de uma área suspeita, se um valor de SSLs não é ultrapassado para determinada via de exposição, ela pode ser desconsiderada. Se o valor de SSLs for ultrapassado para mais de uma via de exposição, será considerado o valor mais baixo.

Tabela 6520-1: Valores genéricos de SSLs

Substância	Vias de exposição			
	Ingestão (mg/kg)	Inalação de voláteis (mg/kg)	Migração para a água subterrânea	
			DAF – 20 (mg/kg)	DAF – 1 (mg/kg)
Acenafteno	4.700 ^b	- ^c	570 ^b	29 ^b
Acetona	7.800 ^b	1.0E+05	16 ^b	0,8 ^b
Aldrin	0,04 ^e	3 ^e	0,5 ^e	0,02 ^e
Antraceno	23.000 ^b	- ^c	12.000 ^b	590 ^b
Benzo(a)antraceno	0,9 ^e	- ^c	2 ^e	0,08 ^{e,f}
Benzeno	22 ^e	0,8 ^e	0,03	0,002 ^f
Benzo(b)fluoreteno	0,9 ^e	- ^c	5 ^e	0,2 ^{e,f}
Benzo(k)fluoranteno	9 ^e	- ^c	49 ^e	2 ^e
Ácido benzóico	3,1E+05 ^b	- ^c	400 ^{b,i}	20 ^{b,i}
Benzo(a)pireno	0,09 ^{e,f}	- ^c	8	0,4
Bis(2-cloroetil)éter	0,6 ^e	0,2 ^{e,f}	0,0004 ^{e,f}	2E-05 ^{e,f}
Bis(2-etilexil)ftalato	46	31.000 ^d	3.600	180
Bromodiclorometano	10 ^e	3.000 ^d	0,6	0,03
Bromofórmio	81 ^e	53 ^e	0,8	0,04
Butanol	7.800 ^b	10.000 ^d	17 ^b	0,9 ^b
Butil benzil ftalato	16.000 ^b	930 ^d	930 ^d	810 ^b
Carbazol	32 ^e	- ^c	0,6 ^e	0,03 ^{e,f}
Disulfito de carbono	7.800 ^b	720 ^d	32 ^b	2 ^b
Tetracloroeto de carbono	5 ^e	0,3 ^e	0,07	0,003 ^f
Cloroetano	0,5 ^e	20 ^e	10	0,5
p-Cloroanilina	310 ^b	- ^c	0,7 ^b	0,03 ^{b,f}
Clorobenzeno	1.600 ^b	130 ^b	1	0,07
Clorodibromometano	8 ^e	1.300 ^d	0,4	0,02
Clorofórmio	100 ^e	0,3 ^e	0,6	0,03
2-Clorofenol	390 ^b	53.000 ^d	4 ^{b,i}	0,2 ^{b,f,i}
Criseno	88 ^e	- ^c	160 ^e	8 ^e
DDD	3 ^e	- ^c	16 ^e	0,8 ^e
DDE	2 ^e	- ^c	54 ^e	3 ^e
DDT	2 ^e	- ^g	32 ^e	2 ^e
Dibenzo(a,h)antraceno	0,09 ^{e,f}	- ^c	2 ^e	0,08 ^{e,f}
Di-n-butil ftalato	7.800 ^b	2.300 ^d	2.300 ^d	270 ^b

Fonte: USEPA (1996b).

Continuação da Tabela 6520-1

Substância	Vias de exposição			
	Ingestão	Inalação de voláteis	Migração para a água subterrânea	
			DAF – 20	DAF – 1
1,2-Diclorobenzeno	7.000 ^b	560 ^d	17	0,9
1,4-Diclorobenzeno	27 ^e	- ^g	2	0,1 ^f
3,3-Diclorobenzedine	1 ^e	- ^c	0,007 ^{e,f}	0,0003 ^{e,f}
1,1-Dicloroetano	7.800 ^b	1.300 ^b	23 ^b	1 ^b
1,2-Dicloroetano	7 ^e	0,4 ^e	0,02	0,001 ^f
1,1-Dicloroetileno	1 ^e	0,07 ^e	0,06	0,003 ^f
cis-1,2-Dicloroetileno	780 ^b	1.200 ^d	0,4	0,02
trans-1,2-Dicloroetileno	1.600 ^b	3.100 ^d	0,7	0,03
2,4-Diclorofenol	230 ^b	- ^c	1 ^{b,i}	0,05 ^{b,f,i}
1,2-Dicloropropano	9 ^e	15 ^b	0,03	0,001
1,3-Dicloropropeno	4 ^e	0,1 ^e	0,004 ^e	0,0002 ^e
Dieldrin	0,04 ^e	1 ^e	0,004 ^e	0,0002 ^{e,f}
Diethyltalato	63.000 ^b	2.000 ^d	470 ^b	23 ^b
2,4-Dimetilfenol	1.600 ^b	- ^c	9 ^b	0,4 ^b
2,4-Dinitrofenol	160 ^b	- ^c	0,3 ^{b,f,i}	0,01 ^{b,f,i}
2,4-Dinitrotolueno	0,9 ^e	- ^c	0,0008 ^{e,f}	4E-05 ^{e,f}
2,6-Dinitrotolueno	0,9 ^e	- ^c	0,0007 ^{e,f}	3E-05 ^{e,f}
Di-n-octil ftalato	1.600 ^b	10.000 ^d	10.000 ^d	10.000 ^d
Endossulfam	470 ^b	- ^c	18 ^b	0,9 ^b
Endrin	23 ^b	- ^c	1	0,05
Etilbenzeno	7.800 ^b	400 ^d	13	0,7
Fluoranteno	3.100 ^b	- ^c	4.300 ^b	210 ^b
Fluoreno	3.100 ^b	- ^c	560 ^b	28 ^b
Heptacloro	0,1 ^e	0,1 ^e	23	1
Heptacloro epóxido	0,07 ^e	5 ^e	0,7	0,03
Hexaclorobenzeno	0,4 ^e	1 ^e	2	0,1 ^f
Hexacloro-1,3-butadieno	8 ^e	8 ^e	2	0,1 ^f
α-HCH (α-BHC)	0,1 ^e	0,8 ^e	0,0005 ^{e,f}	3E-05 ^{e,f}
β-HCH (β-BHC)	0,4 ^e	- ^g	0,003 ^e	0,0001 ^{e,f}
γ-HCH (Lindano)	0,5 ^e	- ^c	0,009	0,0005 ^f
Hexaclorociclopentadieno	550 ^b	10 ^b	400	20
Hexacloroetano	46 ^e	55 ^e	0,5 ^e	0,02 ^{e,f}
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,9 ^e	- ^c	14 ^e	0,7 ^e
Isoforeno	670 ^e	4.600 ^d	0,5 ^e	0,03 ^{e,f}
Mercúrio	23 ^{b,i}	10 ^{b,i}	2 ⁱ	0,1 ⁱ
Metoxicloro	390 ^b	- ^c	160	8
Metilbromato	110 ^b	10 ^b	0,2 ^b	0,01 ^{b,f}
Metilenoclorado	85 ^e	13 ^e	0,02 ^e	0,001 ^{e,f}
2-Metilfenol	3.900 ^b	- ^c	15 ^b	0,8 ^b
Naftaleno	3.100 ^b	- ^c	84 ^b	4 ^b
Nitrobenzeno	39 ^b	92 ^b	0,1 ^{b,f}	0,007 ^{b,f}
N-Nitrosodifenilamina	130 ^e	- ^c	1 ^e	0,06 ^{e,f}
N-Nitrosodi-n-propilamina	0,09 ^{e,f}	- ^c	5E-05 ^{e,f}	2E-06 ^{e,f}

Fonte: USEPA (1996b).

Continuação da Tabela 6520-1

Substância	Vias de exposição			
	Ingestão (mg/kg)	Inalação de voláteis (mg/kg)	Migração para a água subterrânea	
			DAF – 20 (mg/kg)	DAF – 1 (mg/kg)
PCBs	1 ^h	- ^h	- ^h	- ^h
Pentaclorofenol	3 ^{e,j}	- ^c	0,03 ^{f,i}	0,001 ^{f,i}
Fenol	47.000 ^b	- ^c	100 ^b	5 ^b
Pireno	2.300 ^b	- ^c	4.200 ^b	210 ^b
Estireno	16.000 ^b	1.500 ^d	4	0,2
1,1,2,2-Tetracloroetano	3 ^e	0,6 ^e	0,003 ^{e,f}	0,0002 ^{e,f}
Tetracloroetileno	12 ^e	11 ^e	0,06	0,003 ^f
Tolueno	16.000 ^b	650 ^d	12	0,6
Toxafeno	0,6 ^e	89 ^e	31	2
1,2,4-Triclorobenzeno	780 ^b	3.200 ^d	5	0,3 ^f
1,1,1-Tricloroetano	- ^c	1.200 ^d	2	0,1
1,1,2-Tricloroetano	11 ^e	1 ^e	0,02	0,0009 ^f
Tricloroetileno	58 ^e	5 ^e	0,06	0,003 ^f
2,4,5-Triclorofenol	7.800 ^b	- ^c	270 ^{b,i}	14 ^{b,i}
2,4,6-Triclorofenol	58 ^e	200 ^e	0,2 ^{e,f,i}	0,008 ^{e,f,i}
Vinil acetato	78.000 ^b	1.000 ^b	170 ^b	8 ^b
Vinil clorado	0,3 ^e	0,03 ^e	0,01 ^f	0,0007 ^f
m-Xileno	1,6E+05 ^b	420 ^d	210	10
o-Xileno	1,6E+05 ^b	410 ^d	190	9
p-Xileno	1,6E+05 ^b	460 ^d	200	10

Substância	Vias de exposição			
	Ingestão (mg/kg)	Inalação de partículas (mg/kg)	Migração para a água subterrânea	
			DAF – 20 (mg/kg)	DAF – 1 (mg/kg)
Antimônio	31 ^b	- ^c	5	0,3
Arsênico	0,4 ^e	750 ^e	29 ⁱ	1 ⁱ
Bário	5.500 ^b	6,9E+05 ^b	1.600 ⁱ	82 ⁱ
Berílio	0,1 ^e	1.300 ^e	63 ⁱ	3 ⁱ
Cádmio	78 ^{b,m}	1.800 ^e	8 ⁱ	0,4 ⁱ
Cromo Total	390 ^b	270 ^e	38 ⁱ	2 ⁱ
Cromo (III)	78.000 ^b	- ^c	- ^g	- ^g
Cromo (VI)	390 ^b	270 ^e	38 ⁱ	2 ⁱ
Cianeto (tratável)	1.600 ^b	- ^c	40	2
Chumbo	400 ^k	- ^k	- ^k	- ^k
Níquel	1.600 ^b	13.000 ^e	130 ⁱ	7 ⁱ
Selênio	390 ^b	- ^c	5 ⁱ	0,3 ⁱ
Prata	390 ^b	- ^c	34 ^{b,i}	2 ^{b,i}
Tálio	- ^c	- ^c	0,7 ⁱ	0,04 ⁱ
Vanádio	550 ^b	- ^c	6.000 ^b	300 ^b
Zinco	23.000 ^b	- ^c	12.000 ^{b,i}	620 ^{b,i}

Fonte: USEPA (1996b).

DAF – Fator de diluição e atenuação.

- ^a Screening levels baseados somente em critérios de proteção à saúde humana.
- ^b Valores calculados referentes a um coeficiente de perigo=1 para efeitos não cancerígenos.
- ^c Critérios de toxicidade não disponíveis para a via de exposição avaliada.
- ^d Concentração de saturação do solo (C_{sat}).
- ^e Valores calculados são correspondentes a um nível de risco de câncer de 1 em 10⁶.
- ^f Valor abaixo do limite de detecção.
- ^g Via de exposição não considerada devido às propriedades químicas da substância.
- ^h Meta de remediação estabelecida em 1 mg/kg foi estabelecida para o PCB baseada no documento “Guidance on Remedial Actions for Superfund Sites with PCB Contamination (USEPA, 1990) e no gerenciamento promovido pela EPA para áreas contaminadas por PCB.
- ⁱ SSL para um pH de 6,8.
- ^j SSL para via de exposição por ingestão ajustado por um fator de 0,5 para considerar a exposição dermal.
- ^k Um valor de SSL de 400 mg/kg foi estipulado para o chumbo baseado no “Revised Interim Lead Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities (USEPA, 1994).
- ^l SSL baseado na Dose Referencial (RfD) para cloreto de mercúrio.
- ^m SSL baseado em uma Dose Referencial na dieta.

1 Referências bibliográficas

United States Environmental Protection Agency – USEPA. Soil Screening Guidance: User’s Guide – EPA 540/R-96/018. Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996a.

United States Environmental Protection Agency – USEPA. Soil Screening Guidance: Technical Background Document – EPA 540/R-95/128. Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996b.

6530 Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI

A partir do conceito de multifuncionalidade do solo estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) pelo governo federal holandês, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM), em atendimento a essa lei, publicou em 1994 a nova proposta de valores de qualidade do solo e da água subterrânea.

A característica principal dessa proposta é a criação de três valores distintos (STI) de qualidade para os compartimentos ambientais citados, ou seja:

Valor de referência (S): indica um nível de qualidade do solo e da água subterrânea que permite considerá-los “limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade.

Valor de intervenção (I): indica um nível de qualidade do solo acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. A ultrapassagem desse valor (média) em um volume de solo de 25 m³ ou em 100 m³ de água subterrânea, indica a necessidade de implementação na área avaliada de ações voltadas para a sua remediação.

Valor de alerta (T): é um valor médio entre os dois primeiros S e I. Ele indica que já ocorreu uma certa alteração que diminuiu, ainda que pouco, as propriedades funcionais do solo, sendo necessária uma investigação detalhada na área para quantificação dessa alteração.

Valor de referência (S)

Para o valor de referência para as substâncias naturalmente presentes no solo, utilizou-se os valores de background (valores naturais ou devido à contaminação difusa pela atmosfera) como ponto de partida. Para esse propósito, os maiores valores naturais encontrados para os metais foram adotados. Para outras substâncias, o valor S foi calculado tomando-se por base um risco desprezível para a saúde humana e para o ambiente. Segundo THEELEN & NIJHOF (1996) citados em CETESB (1997), os valores de referência para substâncias antropogênicas adotados são os limites de detecção dos métodos analíticos adotados, considerando-se a melhor tecnologia disponível.

Para algumas substâncias o valor de referência depende do tipo de solo, tendo sido encontrada correlação significativa com o conteúdo de argila e de matéria orgânica. A partir dessa correlação foram estabelecidas fórmulas, por meio de equações de regressão para estabelecimento dos valores S, de acordo com os teores dos parâmetros acima citados.

A possibilidade de fazer-se o uso de valores específicos para cada tipo de solo está baseada em:

- No fato de que o conteúdo natural de metais nos solos argilosos ser superior ao encontrado nos solos arenosos.
- A elevação do conteúdo de matéria orgânica no solo diminuir a sua densidade, elevando a concentração de metais por volume de solo.
- No fato de que a maior parte das substâncias contaminadoras do solo estar ligada à fração argila e orgânica do solo.

Valor de intervenção (I)

O valor de intervenção, conforme já comentado, indica o nível de qualidade do solo, acima do qual os riscos para o ser humano e meio ambiente são considerados inaceitáveis. Esses valores foram determinados pela quantificação dos riscos toxicológicos e ecotoxicológicos advindos da contaminação do solo.

Os riscos para a saúde humana foram quantificados pelo uso de um modelo denominado Csoil, considerando-se nesses cálculos as propriedades físicas e químicas dos solos, características dos contaminantes, dados de seu efeitos tóxicos ou carcinogênicos e estimativas de ingresso desses contaminantes pelas vias de exposição relevantes.

Os riscos para o ambiente foram calculados de maneira indireta, e indicam a concentração no solo de determinado contaminante, acima da qual 50% das espécies do ecossistema avaliado foram afetadas de alguma forma.

As tabelas a seguir apresentam, como exemplo, os valores de qualidade para um solo contendo de 0 a 10% de matéria orgânica e de 0 a 25% de argila.

Tabela 6530-1 : Valores referenciais para solo, considerando-se um teor de argila e de matéria orgânica de 0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
<i>Inorgânicos</i>			
Arsênio	15	21,7	28,4
Bário	39	80	121
Cádmio	0,4	3,3	6,1
Cromo	50	120	190
Cobre	15	47	79
Chumbo	50	181	312
Mercúrio	0,2	3,5	6,6
Cobalto	4	29	53
Molibidênio	10	105	200
Níquel	10	35	60
Zinco	50	154	257
<i>Compostos inorgânicos</i>			
Cianetos (livre)	1	11	20
Cianetos-complexados (pH<5)	5	328	650
Cianetos-complexados (pH= ou >5)	5	28	50
Tiocianetos (soma)	-	10	20
<i>Compostos aromáticos</i>			
Benzeno	0,01	0,11	0,20
Tolueno	0,01	13,0	26,0
Etilbenzeno	0,01	5,0	10,0
Xileno (soma) ¹	0,01	2,5	5,0
Fenol	0,01	4,0	8,0
Creosol ²	-	0,5	1,0
Catenol	-	2,0	4,0
Resorcinol	-	1,0	2,0
Hidroquinona	-	1,0	2,0
<i>Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos</i>			
Naftaleno	-	-	-
Fenantreno	-	-	-
Antraceno	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-
Criseno	-	-	-
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-
Benzo(a)pireno	-	-	-
Benzo(ghi)perilene	-	-	-
Indenol(1,2,3cd)pireno	-	-	-
PAH (soma 10) ³	0,2	4,1	8,0

Continuação da Tabela 6530-1

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
Hidrocarbonetos Clorados			
Diclorometano	D	2,0	4,0
Triclorometano	0,0002	1,0	2,0
Tetraclorometano	0,0002	0,1	0,2
1,1-dicloroetano ⁴	-	25	50
1,2-dicloroetano	-	0,4	0,8
1,1,1-tricloroetano ⁴	-	25	50
1,1,2-tricloroetano ⁴	-	25	50
Vinilclorado	-	0,010	0,020
Cis 1,2-dicloroetano ⁴	-	25	50
Tricloroetano	0,0002	6,0	12,0
Tetracloroetano	0,002	0,4	0,8
Hidrocarbonetos clorados remanescentes	-	2,5	50
Clorobenzeno (soma) ⁵	-	3,0	6
Monoclorobenzeno	D	-	-
Diclorobenzeno (soma)	0,002	-	-
Triclorobenzeno (soma)	0,002	-	-
Tetraclorobenzeno (soma)	0,002	-	-
Pentaclorobenzeno	0,0005	-	-
Hexaclorobenzeno	0,0005	-	-
Clorofenol (soma) ⁶	-	1,0	2,0
Monoclorofenol (soma)	0,0005	-	-
Diclorofenol (soma)	0,0006	-	-
Triclorofenol (soma)	0,0002	-	-
Tetraclorofenol	0,0002	-	-
Pentaclorofenol	0,0004	0,5	1,0
Cloronaftaleno	-	1,0	2,0
PCB (soma) ⁷	0,004	0,1	0,2

Continuação da Tabela 6530-1

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
Pesticidas			
DDD, DDE, DDT (soma) ⁸	0,0005	0,4	0,8
Drins (soma) ⁹	-	0,4	0,8
Aldrin	0,0005	-	-
Dieldrin	0,0001	-	-
Endrin	0,0002	-	-
HCH – compostos (soma) ¹⁰	-	0,2	0,4
Alfa – HCH	0,0005	-	-
Beta – HCH	0,0002	-	-
Gama – HCH (lindano)	0,00001	-	-
Clorados remanescentes	-	2,5	5
Carbaril	-	0,5	1,0
Carbofuran	-	0,2	0,40
Maneb	-	3,5	7,0
Atrazina	-	3,5	7,0
Não-clorados remanescentes	-	5,0	10,0
Compostos remanescentes			
Ciclohexano	0,02	27,0	54,0
Ftalatos (soma) ¹¹	0,02	6,0	12,0
Hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH)	10	505	1000
Piridina	0,02	0,11	0,2
Estireno	0,02	10,0	20,0
Tetrahydrofuram	0,02	0,05	0,08
Tetrahidrotiofeno	0,02	9,0	18,0
EOX ¹²	-	-	-
Índice-Fenol ¹³	-	-	-

Tabela 6530-2: Valores referenciais para solo, considerando-se um teor de argila de 25,0% e de matéria orgânica de 10,0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	29,0	42,0	55,0
Bário	200,0	413,0	625,0
Cádmio	0,8	6,4	12,0
Cromo	100	240	380
Cobalto	20	130	240
Cobre	36	113	190
Mercurio	0,3	5,2	10,0
Chumbo	85	308	530
Molibidênio	10	105	200
Níquel	35	123	210
Zinco	140	430	720
Compostos inorgânicos			
Cianetos (livre)	1	11	20
Cianetos-complexados (pH<5)	5	328	650
Cianetos-complexados (pH= ou >5)	5	28	50
Tiocianetos (soma)	-	10	20
Compostos aromáticos			
Benzeno	0,05	0,53	1,00
Tolueno	0,05	65,0	130,0
Etilbenzeno	0,05	25,0	50,0
Xileno (soma) ¹	0,05	12,5	25,0
Fenol	0,05	20,0	40,0
Creosol ²	-	2,5	5,0
Catenol	-	10,0	20,0
Resorcinol	-	5,0	10,0
Hidroquinona	-	5,0	10,0
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos			
Naftaleno	-	-	-
Fenantreno	-	-	-
Antraceno	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-
Benzo(a)antraceno	-	-	-
Criseno	-	-	-
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-
Benzo(a)pireno	-	-	-
Benzo(ghi)perilene	-	-	-
Indenol(1,2,3cd)pireno	-	-	-
PAH (soma 10) ³	1,0	20,5	40,0

Continuação da Tabela 6530-2

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
<i>Hidrocarbonetos Clorados</i>			
Diclorometano	D	10,0	20,0
Triclorometano	0,0010	5,0	10,0
Tetraclorometano	0,0010	0,5	1,0
1,1-dicloroetano ⁴	-	25	50
1,2-dicloroetano	-	2,0	4,0
1,1,1-tricloroetano ⁴	-	25	50
1,1,2-tricloroetano ⁴	-	25	50
Vinilclorado	-	0,050	0,10
Cis 1,2-dicloroetano ⁴	-	25	50
Tricloroetano	0,0010	30,0	60,0
Tetracloroetano	0,010	2,0	4,0
Hidrocarbonetos clorados remanescentes	-	25	50
Clorobenzeno (soma) ⁵	-	15,0	30
Monoclorobenzeno	D	-	-
Diclorobenzeno (soma)	0,010	-	-
Triclorobenzeno (soma)	0,010	-	-
Tetraclorobenzeno (soma)	0,0025	-	-
Pentaclorobenzeno	0,0025	-	-
Hexaclorobenzeno	0,0025	-	-
Clorofenol (soma) ⁶	-	5,0	10
Monoclorofenol (soma)	0,0025	-	-
Diclorofenol (soma)	0,0030	-	-
Triclorofenol (soma)	0,0010	-	-
Tetraclorofenol	0,0010	-	-
Pentaclorofenol	0,0020	2,5	5,0
Cloronaftaleno	-	5,0	10,0
PCB (soma) ⁷	0,020	0,5	1,0

Continuação da Tabela 6530-2

Parâmetro	Concentração em peso seco (mg.kg ⁻¹)		
	S	T	I
Pesticidas			
DDD, DDE, DDT (soma) ⁸	0,0025	2,0	4,0
Drins (soma) ⁹	-	2,0	4,0
Aldrin	0,0025	-	-
Dieldrin	0,0005	-	-
Endrin	0,0010	-	-
HCH – compostos (soma) ¹⁰	-	1,0	2,0
Alfa – HCH	0,0025	-	-
Beta – HCH	0,0010	-	-
Gama – HCH (lindano)	0,00005	-	-
Clorados remanescentes	-	2,50	5,0
Carbaril	-	2,50	-
Carbofuran	-	1,0	2,0
Maneb	-	17,50	35,0
Atrazina	0,00005	3,0	6,0
Não-clorados remanescentes	-	5,0	10,0
Compostos remanescentes			
Ciclohexano	0,10	135,1	270,0
Ftalatos (soma) ¹¹	0,10	30,1	60,0
Hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH)	50,0	2525,0	5.000,0
Piridina	0,10	0,55	1,0
Estireno	0,10	50,1	100,0
Tetrahidrofuran	0,10	0,25	0,40
Tetrahidrotiofeno	0,10	45,1	90,0
EOX ¹²	-	-	-
Índice-Fenol ¹³	-	-	-

- Os valores de referência (S) são dependentes das concentrações de background encontradas nos solos da Holanda. Dessa forma, a sua utilização em contextos geológicas diferentes não é recomendada.
- Os valores de alerta (T) e de Intervenção (I) constam da circular “Intervention values soil remediation”. Netherlands Government Gazette 95, de 24 de maio de 1994.
- Com relação ao teor de argila, com exceção feita para os metais pesados, os limites mínimos de 5 e 2% respectivamente foram impostos. Os limites superiores foram de 50 e 30% respectivamente.
- Para os elementos que possuem apenas o valor de intervenção, o valor de alerta (T) poderia ser calculado pela seguinte fórmula $T = 0,5 \cdot I$.

D – O valor de referência é menor do que o limite de detecção;

1 - Xileno (soma): somatório das formas meta-, ortho- e paraxileno;

2 – Creosol (soma): somatório das formas meta-, ortho- e paracreosol;

3 – PAH (soma): hidrocarbonetos poliaromáticos totais;

- 4 – Os valores de intervenção foram calculados com base na circular “Intervention values soil remediation”. Netherlands Government Gazette 95, de 24 de maio de 1994 e no RIVM report 725201007;
- 5 – Clorobenzeno (soma): soma do mono-, di-, tri-, tetra-, penta- e hexaclorobenzeno;
- 6 – Clorofenol (soma): soma de mono-, di-, tri-, tetra-, e pentaclorofenol;
- 7 – Bifenilas policloradas (totais): para o valor de intervenção, considerou-se as formas PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, e 180. Para os valores de referência a mesma soma foi utilizada excluindo-se o PCB 118;
- 8 – DDD, DDE, DDT (soma): soma de DDD, DDE e DDT;
- 9 – Drins (soma): soma de Aldrin, Dieldrin e Endrin;
- 10 – HCH-compostos (soma): soma de alfa-, beta-, gama e delta-HCH;
- 11 – Ftalatos (soma): soma de ftalatos;
- 12 – EOX: a sua determinação funcionou com gatilho para os compostos organohalogenados;
- 13 – Índice de fenol: sua análise funcionou como um gatilho para os Clorofenóis e Creosol.

Tabela 6530-3: Valores referenciais para água subterrânea, considerando-se um solo com teor de argila e de matéria orgânica de 0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	10	35	60
Bário	50	338	625
Cádmio	0,4	3,2	6,0
Cromo	1	16	30
Cobalto	20	60	100
Cobre	15	45	75
Mercúrio	0,05	0,18	0,30
Chumbo	15	45	75
Molibidênio	5	153	300
Níquel	15	45	75
Zinco	65	433	800
Compostos inorgânicos			
Cianetos (livre)	5	753	1.500
Cianetos-complexados (pH<5)	10	755	1.500
Cianetos-complexados (pH= ou >5)	10	755	1.500
Tiocianetos (soma)	-	755	1.500
Compostos aromáticos			
Benzeno	0,2	15	30
Tolueno	0,2	500	1.000
Etilbenzeno	0,2	75	150
Xileno (soma) ¹	0,2	35	70
Fenol	0,2	1.000	2.000
Creosol ²	D	100	200
Catenol	D	625	1.250
Resorcinol	-	300	600
Hidroquinona	-	400	800
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos			
Naftaleno	0,1	35	70
Fenantreno	0,02	2,5	5,0
Antraceno	0,02	2,5	5,0
Fluoranteno	0,005	0,5	1,0
Benzo(a)antraceno	0,002	0,25	0,5
Criseno	0,002	0,026	0,05
Benzo(k)fluoranteno	0,001	0,026	0,05
Benzo(a)pireno	0,001	0,026	0,05
Benzo(ghi)perilene	0,0002	0,025	0,05
Indenol(1,2,3cd)pireno	0,0004	0,025	0,05
PAH (soma 10) ³	-	-	-

Continuação da Tabela 6530-3

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
<i>Hidrocarbonetos Clorados</i>			
Diclorometano	0,01	500	1.000
Triclorometano	0,01	200	400
Tetraclorometano	0,01	5	10
1,1-dicloroetano ⁴	-	1.300	2.600
1,2-dicloroetano	0,01	200	400
1,1,1-tricloroetano ⁴	-	275	550
1,1,2-tricloroetano ⁴	-	750	1.500
Vinilclorado	-	0,35	0,70
Cis 1,2-dicloroetano ⁴	-	650	1.300
Tricloroetano	0,01	250	500
Tetracloroetano	0,01	20	40
Hidrocarbonetos clorados remanescentes	-	-	-
Clorobenzeno (soma) ⁵	-	-	-
Monoclorobenzeno	0,01	90	180
Diclorobenzeno (soma)	0,01	25	50
Triclorobenzeno (soma)	0,01	5	10
Tetraclorobenzeno (soma)	0,01	1,26	2,5
Pentaclorobenzeno	0,01	0,5	1
Hexaclorobenzeno	0,01	0,26	0,5
Clorofenol (soma) ⁶	-	-	-
Monoclorofenol (soma)	0,25	50	100
Diclorofenol (soma)	0,08	15	30
Triclorofenol (soma)	0,025	5	10
Tetraclorofenol	0,01	5	10
Pentaclorofenol	0,02	1,5	3
Cloronaftaleno	-	3	6
PCB (soma) ⁷	0,01	0,01	0,01

Continuação da Tabela 6530-3

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
Pesticidas			
DDD, DDE, DDT (soma) ⁸	D	0,005	0,01
Drins (soma) ⁹	-	0,05	0,1
Aldrin	D	-	-
Dieldrin	0,00002	-	-
Endrin	D	-	-
HCH – compostos (soma) ¹⁰	-	0,5	1,0
Alfa – HCH	D	-	-
Beta – HCH	D	-	-
Gama – HCH (lindano)	0,0002	-	-
Clorados remanescentes	-	-	-
Carbaril	0,01	0,06	0,1
Carbofuran	0,01	0,06	0,1
Maneb	D	0,05	0,1
Atrazina	D	0,05	0,1
Não-clorados remanescentes	-	-	-
Compostos remanescentes			
Ciclohexano	0,5	7.500	15.000
Ftalatos (soma) ¹¹	0,5	2,75	5
Hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH)	50	325	600
Piridina	0,5	1,75	3
Estireno	0,5	150	300
Tetrahydrofuran	0,5	0,75	1
Tetrahydrotiofeno	0,5	15	30
EOX ¹²	-	-	-
Índice-Fenol ¹³	-	-	-

Tabela 6530-4: Valores referenciais para água subterrânea, considerando-se um solo com teor de argila de 25,0% e de matéria orgânica de 10,0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	10	35	60
Bário	50	338	625
Cádmio	0,4	3,2	6,0
Cromo	1	16	30
Cobalto	20	60	100
Cobre	15	45	75
Mercúrio	0,05	0,18	0,30
Chumbo	15	45	75
Molibidênio	5	153	300
Níquel	15	45	75
Zinco	65	433	800
Compostos inorgânicos			
Cianetos (livre)	5	753	1.500
Cianetos-complexados (pH<5)	10	755	1.500
Cianetos-complexados (pH= ou >5)	10	755	1.500
Tiocianetos (soma)	-	750	1.500
Compostos aromáticos			
Benzeno	0,2	15	30
Tolueno	0,2	500	1.000
Etilbenzeno	0,2	75	150
Xileno (soma) ¹	0,2	35	70
Fenol	0,2	1.000	2.000
Creosol ²	D	100	200
Catenol	D	625	1.250
Resorcinol	-	300	600
Hidroquinona	-	400	800
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos			
Naftaleno	0,1	35	70
Fenantreno	0,02	2,5	5
Antraceno	0,02	2,5	5
Fluoranteno	0,005	0,5	1
Benzo(a)antraceno	0,002	0,25	0,5
Criseno	0,002	0,026	0,05
Benzo(k)fluoranteno	0,001	0,026	0,05
Benzo(a)pireno	0,001	0,026	0,05
Benzo(ghi)perilene	0,0002	0,025	0,05
Indenol(1,2,3cd)pireno	0,0004	0,025	0,05
PAH (soma 10) ³	-	-	-

Continuação da Tabela 6530-4

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
Hidrocarbonetos Clorados			
Diclorometano	0,01	500	1.000
Triclorometano	0,01	200	400
Tetraclorometano	0,01	5	10
1,1-dicloroetano ⁴	-	1.300	2.600
1,2-dicloroetano	0,01	200	400
1,1,1-tricloroetano ⁴	-	275	550
1,1,2-tricloroetano ⁴	-	750	1.500
Vinilclorado	-	0,35	0,7
Cis 1,2-dicloroetano ⁴	-	650	1.300
Tricloroetano	0,01	250	500
Tetracloroetano	0,01	20	40
Hidrocarbonetos clorados remanescentes	-	-	-
Clorobenzeno (soma) ⁵	-	-	-
Monoclorobenzeno	0,01	90	180
Diclorobenzeno (soma)	0,01	25	50
Triclorobenzeno (soma)	0,01	5	10
Tetraclorobenzeno (soma)	0,01	1,26	2,5
Pentaclorobenzeno	0,01	0,5	1
Hexaclorobenzeno	0,01	0,26	0,5
Clorofenol (soma) ⁶	-	-	-
Monoclorofenol (soma)	0,25	50	100
Diclorofenol (soma)	0,08	15	30
Triclorofenol (soma)	0,025	5	10
Tetraclorofenol	0,01	5	10
Pentaclorofenol	0,02	1,5	3
Cloronaftaleno	-	3	6
PCB (soma) ⁷	0,01	0,01	0,01

Continuação da Tabela 6530-4

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		
	S	T	I
Pesticidas			
DDD, DDE, DDT (soma) ⁸	D	0,005	0,01
Drins (soma) ⁹	-	0,05	0,1
Aldrin	D	-	-
Dieldrin	0,00002	-	-
Endrin	D	-	-
HCH – compostos (soma) ¹⁰	-	0,5	1
Alfa – HCH	D	-	-
Beta – HCH	D	-	-
Gama – HCH (lindano)	0,0002	-	-
Clorados remanescentes	-	-	-
Carbaril	0,01	0,06	0,1
Carbofuran	0,01	0,06	0,1
Maneb	D	0,05	0,1
Atrazina	0,0075	75	150
Não-clorados remanescentes	-	-	-
Compostos remanescentes			
Ciclohexano	0,5	7.500	15.000
Ftalatos (soma) ¹¹	0,5	2,75	5
Hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH)	50	325	600
Piridina	0,5	1,75	3
Estireno	0,5	150	300
Tetrahidrofuram	0,5	0,75	1
Tetrahidrotiofeno	0,5	15	30
EOX ¹²	-	-	-
Índice-Fenol ¹³	-	-	-

- Os valores de referência (S) são dependentes das concentrações de background encontradas nos solos da Holanda. Dessa forma, a sua utilização em contextos geológicas diferentes não é recomendada.
- Os valores de alerta (T) e de Intervenção (I) constam da circular “Intervention values soil remediation”. Netherlands Government Gazette 95, de 24 de maio de 1994.
- Com relação ao teor de argila, com exceção feita para os metais pesados, os limites mínimos de 5 e 2%, respectivamente, foram impostos. Os limites superiores foram de 50 e 30%, respectivamente.
- Para os elementos que possuem apenas o valor de intervenção, o valor de alerta (T) poderia ser calculado pela seguinte fórmula $T = 0,5 \cdot I$.

D – O valor de referência é menor do que o limite de detecção;

1 - Xileno (soma): somatório das formas meta-, ortho- e paraxileno;

2 – Creosol (soma): somatório das formas meta-, ortho- e paracreosol;

3 – PAH (soma): hidrocarbonetos poliaromáticos totais;

4 – Os valores de intervenção foram calculados com base na circular “Intervention values soil remediation”. Netherlands Government Gazette 95, de 24 de maio de 1994 e no RIVM report 725201007;

5 – Clorobenzeno (soma): soma do mono-, di-, tri-, tetra-, penta- e hexaclorobenzeno;

6 – Clorofenol (soma): soma de mono-, di-, tri-, tetra-, e pentaclorofenol;

7 – Bifenilas policloradas (totais): para o valor de intervenção, considerou-se as formas PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, e 180. Para os valores de referência, a mesma soma foi utilizada excluindo-se o PCB 118;

8 – DDD, DDE, DDT (soma): soma de DDD, DDE e DDT;

9 – Drins (soma): soma de Aldrin, Dieldrin e Endrin;

10 – HCH-compostos (soma): soma de alfa-, beta-, gama e delta-HCH;

11 – Ftalatos (soma): soma de ftalatos;

12 – EOX: a sua determinação funcionou com gatilho para os compostos organohalogenados;

13 – Índice de fenol: sua análise funcionou como um gatilho para os Clorofenóis e Creosol.

1 Referência bibliográfica

MINISTRY OF HOUSING, PHYSICAL PLANNING AND ENVIRONMENT, The Netherlands, 1987, Soil Protection Act.

LOWER HOUSE OF THE STATES-GENERAL, The Netherlands, 1989-1990, Soil clean-up, Ten year Planning Scenario with Specific Reference to Industrial Sites.

VISSER, W., Contaminated land policies in some industrialized countries, Technical soil protection committee, 1993.

7000 Priorização

Durante o desenvolvimento do gerenciamento de áreas contaminadas (AC) em uma região de interesse pode ser necessária a execução de priorizações, visando à utilização racional dos recursos destinados à execução das diversas etapas, em função do elevado número de áreas normalmente envolvidas nesse processo. Dessa forma, deverá ser feita uma priorização de áreas, quando os recursos técnicos e econômicos para a realização de uma etapa do gerenciamento de ACs não for suficiente para realizar o trabalho em todas as áreas indicadas para tal, sendo escolhidas, dessa forma, as mais importantes ou prioritárias, baseando-se em critérios previamente definidos pelo órgão gerenciador.

Basicamente, os critérios a ser utilizados nessas etapas, para selecionar as áreas prioritárias, são relacionados à importância dos bens a proteger presentes na área ou arredores, à natureza das substâncias encontradas na área, ao potencial contaminador da atividade desenvolvida na área e às vias de propagação dos contaminantes potenciais ou existentes na área, além de interesses específicos do órgão gerenciador.

A metodologia desenvolvida para o gerenciamento de ACs (ver seção 1200) prevê a execução de três etapas de priorização: Priorização 1, Priorização 2, Priorização 3 realizadas, respectivamente, antes de se iniciar as etapas de **avaliação preliminar**, **investigação confirmatória** e **investigação detalhada**.

Essas etapas de priorização são diferenciadas pelo nível de conhecimento sobre as áreas. Com o desenvolvimento das etapas do gerenciamento de ACs, mais dados vão sendo gradualmente coletados, propiciando a realização da priorização de forma mais criteriosa.

A seguir, são descritas as etapas de priorização que podem ser executadas dentro do gerenciamento de ACs.

1 Priorização 1

Após a etapa de **identificação de áreas potencialmente contaminadas (AP)**, a Priorização 1 visa selecionar as APs consideradas prioritárias, para serem estudadas na etapa de avaliação preliminar.

As informações obtidas na etapa de identificação de APs são, basicamente, a localização das APs, a descrição da atividade potencialmente contaminadora (APC), desenvolvidas nessas áreas, e a localização dos bens a proteger, normalmente em escala regional, dentro da região de interesse.

Dessa forma, a seleção das APs prioritárias deve ser realizada de maneira simples, estabelecendo-se critérios claros e objetivos.

Por exemplo, pode-se escolher áreas localizadas em regiões com bens a proteger importantes, como áreas de proteção dos mananciais ou áreas densamente populosas ou, caso seja estabelecido que o objetivo principal do gerenciamento de ACs, em uma determinada região de interesse, seja proteger a qualidade das águas superficiais utilizadas para abastecimento, as APs a ser priorizadas serão aquelas localizadas dentro das bacias hidrográficas dos reservatórios utilizados para abastecimento de água da região de interesse.

Outro exemplo, caso seja estabelecido pelo órgão gerenciador, que uma determinada atividade industrial seja a principal causadora de problemas ambientais na região de interesse, as APs a ser priorizadas serão aquelas onde essa atividade é ou foi desenvolvida.

Os resultados dessa etapa devem ser apresentados em relatório contendo os critérios utilizados, sua interpretação e mapas contendo a localização das áreas priorizadas na região de interesse.

2 Priorização 2

Na Priorização 2, devem ser selecionadas as áreas suspeitas de contaminação (AS), dentre as indicadas após a etapa de **avaliação preliminar**, que serão consideradas prioritárias para serem estudadas na etapa de **investigação confirmatória**.

Na etapa de avaliação preliminar (ver seção 5000), são levantadas informações mais detalhadas a respeito das áreas em estudo, referentes ao dimensionamento da fonte de contaminação, à determinação dos contaminantes potenciais ou existentes na área de estudo e sobre as características das vias de transporte dos contaminantes. Esses dados, que são registrados na **Ficha Cadastral de ACs**, propiciam a realização da priorização de forma mais criteriosa.

As respostas das questões da Ficha Cadastral de ACs são utilizadas para preencher a **ficha de pontuação de ACs**, que atribui a cada área avaliada uma pontuação relativa ao risco de serem atingidos os bens a proteger presentes na área ou arredores, levando em consideração as características da fonte de contaminação e as vias de transporte destes. Dessa forma, a ficha de pontuação de ACs, apresentada na seção 7101 e explicada com maiores detalhes na seção 7100, é o instrumento central a ser utilizado para priorização das áreas nessa etapa.

Os resultados do preenchimento dessa ficha de pontuação de ACs podem ser considerados uma forma de aplicação de critérios técnicos, pela utilização de um sistema de pontuação, para indicar os bens a proteger mais importantes atingidos ou com a possibilidade de serem atingidos pela contaminação. As pontuações obtidas em diferentes áreas podem ser comparadas entre si, visando à priorização destas, de acordo com critérios previamente estabelecidos pelo órgão gerenciador. Por exemplo, podem ser priorizadas as áreas que obtiveram as maiores pontuações para o *bem a proteger* "Saúde e vida da população".

A ficha de pontuação de ACs foi criada baseando-se no sistema de pontuação do estado de Nordrhein – Westfalen, denominado ISAL, que é utilizado nesse estado da Alemanha para avaliação de risco de áreas suspeitas e contaminadas, visando à seleção de áreas prioritárias para remediação.

3 Priorização 3

Dando continuidade a metodologia do gerenciamento de ACs, as áreas selecionadas após a realização da etapa de investigação confirmatória devem ser incluídas no **processo de recuperação de ACs**, cuja etapa inicial é a investigação detalhada (ver seção 1200).

Em princípio, todas as ACs identificadas deveriam ser investigadas detalhadamente, visando levantar subsídios para realização de uma **avaliação de risco e projeto de remediação**. Há, entretanto, casos em que se torna difícil a identificação do responsável pela contaminação ou, quando identificados, esses não possuem condições financeiras para arcar com as despesas relativas à investigação detalhada. Nessas situações, havendo um risco de comprometimento dos bens a proteger, determinado pela existência da AC, o órgão de controle ambiental poderá executar essas etapas e arcar com os custos de execução das mesmas, custos que deverão ser repassados posteriormente ao responsável pela contaminação.

Diante desse quadro, nova priorização deverá ser implementada. Os critérios a ser empregados nesta deverão estar baseados em critérios técnicos, havendo também a necessidade de serem considerados os interesses públicos e da sociedade. A ficha de pontuação de ACs poderá ser utilizada, também nessa etapa, para orientação do processo de priorização.

7100 A estrutura básica da ficha de pontuação de ACs

A **ficha de pontuação de ACs** é o principal instrumento utilizado para a realização das etapas de priorização de áreas suspeitas (ASs) e de áreas contaminadas (ACs) do gerenciamento de ACs.

Os itens da ficha de pontuação de ACs, apresentada na seção 7101, são respondidos a partir das informações contidas na **Ficha Cadastral de ACs**, apresentada na seção 5101. Esse procedimento pode ser realizado manualmente ou por meio de um sistema informatizado. Para iniciar o preenchimento da ficha de pontuação de ACs são inseridos, nos espaços reservados para tal, o número da área no Cadastro de ACs, a data da última atualização desta e a denominação do local.

As pontuações obtidas para as diferentes áreas podem ser utilizadas para realização das etapas de Priorização 2 e Priorização 3 (ver seção 7000), conforme as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória forem sendo realizadas.

A utilização da ficha de pontuação de ACs propicia a realização de avaliações comparativas entre as áreas a ser priorizadas, considerando as características da fonte de contaminação, das substâncias, das vias de propagação da contaminação e dos bens a proteger potenciais ou existentes.

1 Os critérios e subcritérios da ficha de pontuação de ACs

A ficha de pontuação de ACs, apresentada na seção 7101, é composta basicamente por quatro partes, sendo cada uma dessas consideradas como critérios de priorização, que são denominados:

- Critério Principal 1: Informações gerais sobre a área;
- Critério Principal 2: Resíduos/Substâncias;
- Critério Principal 3: Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger;
- Critério Principal 4: Propagação.

A seguir, é apresentado uma descrição desses critérios e suas partes.

1.1 Critério Principal 1: Informações gerais sobre a área

O Critério Principal 1 (CP1) é constituído por dois itens ou subcritérios. Quando a fonte de contaminação principal tratar-se de uma área de disposição de resíduos, devem ser utilizados os subcritérios denominados “Disposição: Tipos de Resíduos” (C1_a) e “Volume de Disposição de Resíduos” (C1_b), quando a fonte tratar-se de uma área industrial/comercial. Outras fontes, devem ser utilizados os subcritérios “Tipo de atividade industrial/comercial” (C1_a) e “Dimensões da área industrial/comercial” (C1_b).

Dessa forma, a pontuação obtida para o CP1 é utilizada para quantificar a influência relativa do tipo de resíduo ou tipo de fonte de contaminação existente na área e suas dimensões, sobre a pontuação final.

1.2 Critério Principal 2: Resíduos/Substâncias

O Critério Principal 2 (CP2) é constituído por apenas 1 subcritério, denominado “Substâncias presentes na área”.

A pontuação obtida para o Critério Principal 2 possibilita avaliar a influência das características das substâncias presentes ou potencialmente presentes na área sobre a pontuação total do risco aos bens a proteger. A somatória das pontuações obtidas para os critérios 1 e 2 avalia a influência das características da fonte de contaminação potencial ou presente.

1.3 Critério Principal 3: Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger

O Critério Principal 3 é constituído por 2 subcritérios denominados “Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger – dentro da área” (C3_a) e “Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger – fora da área” (C3_b).

Esse critério avalia a importância do uso do solo e dos bens a proteger localizados dentro e nas vizinhanças da área.

1.4 Critério Principal 4: Propagação

O Critério Principal 4 é constituído por 4 subcritérios:

- Propagação via solo (C4a);
- Propagação via água superficial (C4b);
- Propagação via água subterrânea (C4c);
- Propagação via ar (C4d).

A propagação via solo é subdividida nas seguintes questões: “Resultado de análise do solo – prof. 0 a 1m”, “Resultado de análise do solo – abaixo de 1m”, “Eventos importantes”, “Existência de risco comprovado a respeito de contaminação de solo”, “Material de impermeabilização da superfície da área” e “Indicações perceptíveis na superfície do solo”.

A propagação via água superficial é subdividida nas seguintes questões: “Qualidade da água superficial”, “Possibilidade de influência direta da área sobre as águas superficiais”, “Possibilidade de enchente na área e uso da água superficial”.

A propagação via águas subterrâneas é subdividida nas seguintes questões: “Contaminação das águas subterrâneas”, “Uso da água subterrânea afetada pela contaminação”, “Textura predominante do solo”, “Impermeabilização inferior”, “Destino final de líquidos percolados, efluentes, substâncias e materiais”, “Nível sazonalmente mais elevado d’água subterrânea” e “Contexto hidrogeológico”.

A propagação via ar é subdividida nas seguintes questões: “Qualidade do ar do solo”, “Eventos importantes”, “Presença de vapores/gases nas edificações vizinhas”, “Distância até a edificação mais próxima”.

Dessa forma, o Critério Principal 4 avalia a eficiência e importância das vias de transporte dos contaminantes existentes ou potenciais presentes na área.

2 O sistema de pontuação

Para facilitar o preenchimento da ficha de pontuação de ACs, utiliza-se números e siglas, que correlacionam as questões da Ficha Cadastral de ACs com as correspondentes na ficha de pontuação. Estes encontram-se localizados entre parênteses ao lado de cada item em ambas as fichas (ver seções 5101 e 7101). Dessa forma, nos itens da Ficha Cadastral de ACs são indicadas as siglas:

- CP1: Critério Principal 1;
- CP2: Critério Principal 2;
- CP3: Critério Principal 3;
- PAS: Propagação via água subterrânea;
- PASP: Propagação via água superficial;
- PS: Propagação via solo;
- PA: Propagação via ar.

Nos itens da ficha de pontuação de ACs, são indicados os números dos itens correspondentes da Ficha Cadastral entre parênteses.

Na ficha de pontuação de ACs, cada critério principal é constituído por diferentes *subcritérios*, descritos no item 1 desta seção. Cada subcritério apresenta uma configuração básica, conforme apresentado na Figura 7100-1.

(FC)	R	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6							
Resp. 1	3													
Resp.2	2													
Resp.3	1													
Resp.4	0													
Resp.n														
Val. máx.		Rmx 1	Rmx 2	Rmx 3	Rmx 4	Rmx 5	Rmx 6	M	C1	C2	C3	C4	C5	C6

Figura 7100-1: Esquema para preenchimento de um subcritério.

Na primeira coluna de cada item, são relacionadas a questão (FC) e todas as respostas possíveis a esta (Resp.), transferidas da Ficha Cadastral de ACs. Na segunda coluna, é indicado o grau de influência sobre o risco (R) atribuído a cada resposta, que indica a contribuição que cada uma das respostas pode fornecer à totalização do risco. Esse grau de influência pode receber os valores 1 (quando o grau é considerado baixo), 2 (médio), 3 (alto) e 0 (quando a resposta não influencia na avaliação do risco).

Nas colunas 3 a 8, são transferidos os valores de R em função da resposta obtida a partir da Ficha Cadastral de ACs para cada bem a proteger (BP), sendo transferidos os valores máximos de R obtidos (Rmx) para a última linha do quadro. Na nona coluna, é apresentado o valor que indica o peso ou multiplicador relativo que o item possui na avaliação total do risco (M).

A multiplicação do maior grau de influência (Rmax – 1 a 6) obtido no item, pelo valor do peso do item (M), fornece um valor parcial (C – 1 a 6) que indica a parcela do risco obtido pela influência de cada item. Esses valores são transportados para as 6 colunas seguintes, indicando a pontuação parcial do risco para cada bem a proteger. As colunas escuras indicam que não há nenhuma influência do item sobre o bem a proteger, não devendo ser considerada. Essa pontuação parcial é dada pela seguinte equação:

- $C = R \times M$

A seguir, são relacionados os bens a proteger considerados na pontuação:

- BP1 – Vida e saúde da população (impacto direto);
- BP2 – Abastecimento de água potável;
- BP3 – Uso do solo residencial com hortas;
- BP4 – Recursos hídricos (subterrâneos e superficiais);
- BP5 – Uso do solo agrícola ou pecuária;
- BP6 – Outros bens a proteger (patrimônio público, ecológico, entre outros).

Os valores de R e M, apresentados na ficha de pontuação de ACs, foram estabelecidos a partir da experiência alemã na avaliação de áreas contaminadas, sendo feitas algumas pequenas modificações.

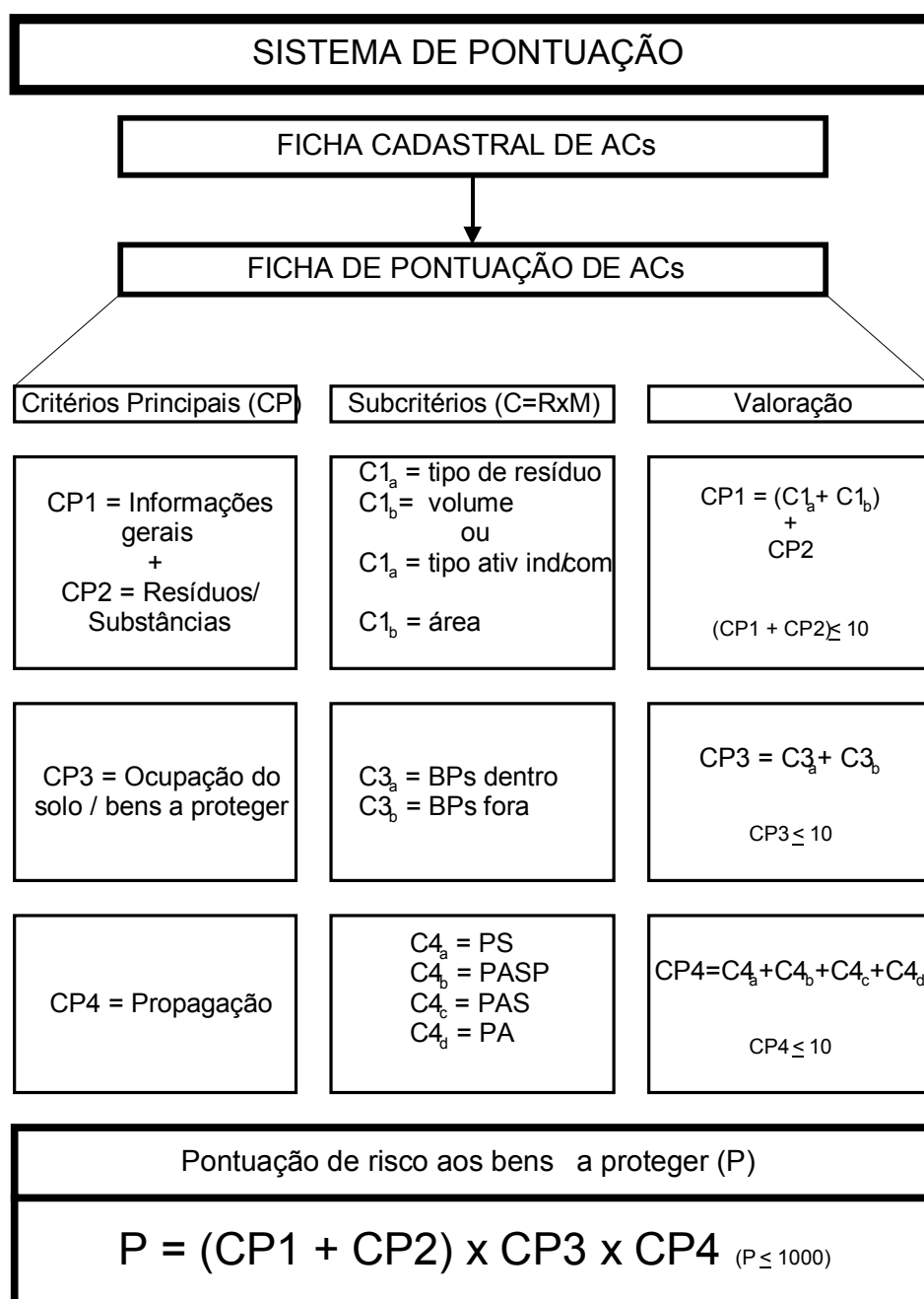
A pontuação obtida para cada critério principal (CP) é resultante da soma da pontuação dos subcritérios que o constituem (observar significado das siglas no item 1 desta seção), segundo as equações:

- $CP1 = C1_a + C1_b$
- $CP2 = C2$
- $CP3 = C3_a + C3_b$
- $CP4 = C4_a + C4_b + C4_c + C4_d$

A pontuação total indicativa do risco a cada bem a proteger (P) ("Risco provável aos bens a proteger) é o resultado da soma das pontuações dos Critérios Principais 1 e 2 multiplicada pela pontuação do Critério Principal 3, que, por sua vez, é multiplicada pela pontuação do Critério Principal 4, de acordo com a seguinte equação:

- $P = (CP1 + CP2) \times CP3 \times CP4$

Os valores máximos para a soma dos Critérios Principais 1 e 2 e para os Critérios Principais 3 e 4 devem ser menores ou iguais a 10. Dessa forma, a pontuação final de risco aos bens a proteger deve ser menor ou igual a 1000. Na Figura 7100-2, o sistema de pontuação é apresentado de forma resumida.



PS = análise do solo (0-1m)+análise do solo (>1m)+eventos importantes+riscos impermeabilização de superfície+indicações

PASP = qualidade da água superficial+influência sobre água superficial+possibilidade de

PAS = contaminação das águas subterrâneas+uso da água subterrânea afetada pela textura predominante do solo+impermeabilização inferior+destino final de líquidos substâncias e materiais+nível sazonalmente mais elevado da água subterrânea+contexto

PA = qualidade do ar do solo+eventos importantes+presença de vapores/gases nas edificações +distância até a edificação mais

Figura 7100-2: O sistema de pontuação.

Ficha de pontuação de áreas contaminadas

Nº de cadastro _____ Data _____

Denominação do local _____

CRITÉRIO PRINCIPAL 1 :Informações gerais sobre a área

Disposição de resíduos

Disposição: Tipos de resíduos (2.3)		BP 1-6 (preencher somente para disposição)							
Resíduo industrial	3								
Resíduo de serviço de saúde	3								
Resíduo domiciliar	2								
Resíduo inerte	1								
Resíduo de mineração	1								
Varrição	1								
Entulho	1								
Lodo de dragagem	2								
Lodo de tratamento de águas residuárias	3								
Desconhecido	3								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>			1,90						

Volume de disposição de resíduos (2.2)		BP 1-6 (preencher somente para disposição)							
> 1.000.000 m3	3								
100.000 - 1.000.000 m3	2								
< 100.000 m3	1								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>			0,48						

Área industrial/comercial – Outras fontes

Tipo de atividade industrial/comercial (3.1)		BP 1-6 (preencher somente para área ind./com)							
Mineração, energia	2								
Produtos químicos, farmacêuticos	3								
Equipamentos eletro-eletrônicos	3								
Produção e transformação de metais	3								
Recuperação de resíduos	3								
Borracha, têxtil	1								
Armazenamento de produtos químicos e combustível	3								
Papel, couro, madeira	2								
Outras atividades	1								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>			1,90						

Outras fontes		BP 1-6 (preencher somente para área ind./com)							
Outras fontes (4.1)	1								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>			1,90						

Dimensões da área industrial/comercial (1.11)		BP 1-6 (preencher somente para área ind./com)							
>50.000 m2	3								
3.000-50.000 m2	2								
< 3.000 m2	1								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>			0,48						

Soma do critério principal 1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CRITÉRIO PRINCIPAL 2: Resíduos / Substâncias

Substâncias presentes na área (5.1)	confirmado	estimado	BP 1-6							
Solventes orgânicos não halogenados	3	2								
Solventes orgânicos halogenados	3	2								
Hidrocarbonetos clorados voláteis	3	2								
Hidrocarbonetos clorados não voláteis (ex: PCB)	3	2								
Dioxinas e furanos	3	2								
Compostos orgânicos nitrogenados, fosfatados e	3	2								
Hidrocarbonetos aromáticos (não PAH)	3	2								
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH)	3	2								
Fenóis	3	2								
Derivados de petróleo	2	1								
Alcatrão e similares	2	1								
Agrotóxicos	3	2								
Ácidos, bases e anidridos	3	2								
Metais, ligas e compostos metálicos	3	2								
Compostos inorgânicos de elevada toxicidade (cianetos,	3	2								
Substâncias utilizadas na indústria bélica	3	2								
Outros(as)	2	1								
Desconhecido(a)	1	1								
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>				0,95						

Soma do critério principal 2

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CRITÉRIO PRINCIPAL 3: Ocupação do solo/áreas com bens a proteger

Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger - dentro da área (5.2)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6							
Zona ferroviária	1													
Zona viária	1													
Estacionamento	1													
Aeroporto	1													
Área militar	1													
Área comercial	1													
Área industrial	1													
Área/Bens de interesse público	1													
Mineração	1													
Utilidades	2													
Residencial com hortas (alta dens. pop.)	3													
Residencial com hortas (baixa dens. pop.)	3													
Residencial sem hortas (alta dens. pop.)	3													
Residencial sem hortas (baixa dens. pop.)	3													
Parque, área verde	2													
Parque infantil/Jardim infantil	3													
Área de lazer e desportos/circulação	2													
Cemitério	1													
Escola/Hospital	2													
Hortas	3													
Área de pecuária	1													
Área agrícola	3													
Mata natural	1													
Área de proteção ambiental	2													
Área de proteção de mananciais	2													
Bacia hidrográfica para abastecimento	3													
Aqüíferos importantes	2													
Zona de maior restrição de proteção de mananciais	3													
Área inundável, várzea	2													
Represa para abastecimento público	3													
Água superficial para abastecimento público	3													
Poço para abastecimento público	3													
Poço para abastecimento domiciliar/industrial	3													
Valoração máxima em cada coluna								2,22						

(Somar estes valores com os da página seguinte)

CRITÉRIO PRINCIPAL 3: Ocupação do solo/áreas com bens a proteger

Ocupação do solo/Áreas com bens a proteger - fora da área (5.2)		BP 1	BP 2	BP3	BP 4	BP 5	BP 6							
Zona ferroviária	1													
Zona viária	1													
Estacionamento	1													
Aeroporto	1													
Área militar	1													
Área comercial	1													
Área industrial	1													
Área/Bens de interesse público	1													
Mineração	1													
Utilidades	2													
Residencial com hortas (alta dens. pop.)	3													
Residencial com hortas (baixa dens. pop.)	3													
Residencial sem hortas (alta dens. pop.)	3													
Residencial sem hortas (baixa dens. pop.)	3													
Parque, área verde	2													
Parque infantil/Jardim infantil	3													
Área de lazer e desportos/circulação	2													
Cemitério	1													
Escola/Hospital	2													
Hortas	3													
Área de pecuária	1													
Área agrícola	3													
Mata natural	1													
Área de proteção ambiental	2													
Área de proteção de mananciais	2													
Bacia hidrográfica para abastecimento	3													
Aqüíferos importantes	2													
Zona de maior restrição de proteção de mananciais	3													
Área inundável, várzea	2													
Represa para abastecimento público	3													
Água superficial para abastecimento público	3													
Poço para abastecimento público	3													
Poço para abastecimento domiciliar/industrial	3													
Valoração máxima em cada coluna								1,11						

Soma do critério principal 3

--	--	--	--	--	--	--	--

CRITERIO PRINCIPAL 4: Propagação

4.1 Propagação via solo

Resultado de análise do solo - prof. 0 a 1m (5.8)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Contaminado	3							
Não contaminado	0							
Análise não realizada	2							
Desconhecido	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,5

Resultado de análise do solo - abaixo de 1m (5.8)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Contaminado	3							
Não contaminado	0							
Análise não realizada	2							
Desconhecido	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,5

Eventos importantes (6.1)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Recalque, desabamento, erosão	2							
Danos a vegetação	2							
Dispersão de poeira	1							
Danos aos animais	2							
Danos a saúde	3							
Danos materiais	2							
Proliferação de vetores	1							
Outros, desconhecida	1							
Inexistente	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Existência de risco comprovado a respeito de contaminação de solo (6.3)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Não, assegurado por análises	0							
Sim, para saúde de população	3							
Sim, para animais	2							
Sim, para vegetação	2							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,6

Material de impermeabilização da superfície da área (2.14)(3.9)(4.6)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Membrana, dupla membrana, membrana e solo	0							
Pavimentação com asfalto ou cimento	1							
Aterro argiloso	2							
Aterro arenoso/paralelepípedo/bloquete	3							
Inexistente, desconhecido	3							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,6

Indicações perceptíveis na superf. do solo (6.4)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Odor, presença de contaminante	3							
Coloração	3							
Inexistente	0							
Outros ou desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Soma da propagação via solo

--	--	--	--	--	--	--	--	--

CRITÉRIO PRINCIPAL 4: Propagação

4.2 Propagação via água superficial

Qualidade da água superficial (5.14)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Não	0							
Sim, utilizada para abastecimento público	3							
Sim, utilizada para abastecimento domiciliar	3							
Sim, não utilizada	1							
Sim, utilizada para irrigação, pecuária, piscicultura	2							
Sim, utilizada para recreação, pesca	3							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,6

Possibilidade de influência direta da área sobre as águas superficiais (5.15)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Não	0							
Sim, utilizada para abastecimento público	3							
Sim, utilizada para abastecimento domiciliar	3							
Sim, não utilizada	1							
Sim, utilizada para irrigação, pecuária, piscicultura	2							
Sim, utilizada para recreação, pesca	3							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Possibilidade de enchente na área e uso da água superficial (5.16)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Não	0							
Sim, utilizada para abastecimento público	3							
Sim, utilizada para abastecimento domiciliar	3							
Sim, não utilizada	1							
Sim, utilizada para irrigação, pecuária, piscicultura	2							
Sim, utilizada para recreação, pesca	3							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,3

Soma da propagação via água superficial

--	--	--	--	--	--	--	--

CRITÉRIO PRINCIPAL 4: Propagação

4.3 Propagação via água subterrânea

Contaminação das águas subterrâneas (5.11)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Sim	3							
Não	0							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,5

Uso da água subterrânea afetada pela contaminação (5.12)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Abastecimento público	3							
Abastecimento domiciliar	3							
Recreação	3							
Irrigação, pecuária	2							
Uso industrial	1							
Desconhecido	2							
Inexistente	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Textura predominante do solo (5.7)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Arenosa, siltosa	3							
Argilosa	0							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,1

Impermeabilização inferior		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Área ind./com. e outras fontes (direto)	3							
Inexistente, desconhecida (2.6)	3							
Argila ou membrana (2.6)	1							
Argila e membrana, dupla membrana (2.6)	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,2

Destino final de líquidos percolados, efluentes, substâncias e materiais (2.10)(3.6)(4.5)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Água superficial, infiltração no solo ou poços	3							
Desconhecido	1							
Estação de tratamento, inexistente	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,2

Nível sazonalmente mais elevado d'água subterrânea (5.10)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Em contato com resíduo/solo contaminado	3							
Abaixo dos resíduos/solo contaminado,	0							
Desconhecido	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,1

Contexto hidrogeológico (5.13)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
01, 02, 05, 08, 10, 11, 12, 15, 18	3							
03, 06, 09, 13, 14	2							
04, 07, 16, 17	1							
Desconhecido	3							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Soma da propagação via água subterrânea

--	--	--	--	--	--	--	--

CRITERIO PRINCIPAL 4: Propagação

4.4 Propagação via ar

Qualidade do ar do solo (5.17)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Análise não realizada	2							
Contaminada	3							
Não contaminada	0							
Desconhecida	2							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,3

Eventos importantes (6.1)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Explosão, incêndios, danos à saúde	3							
Emanação perceptível de gases/vapores, Dispersão de poeira contaminada	2							
Danos materiais, outros, desconhecido	2							
Danos à vegetação	2							
Inexistente	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Presença de vapores/gases nas edificações vizinhas (6.5)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
Não	0							
Sim	3							
Desconhecido	1							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,5

Distância até a edificação mais próxima (5.5)		BP 1	BP 2	BP 3	BP 4	BP 5	BP 6	
< 50 m	3							
50 - 100 m	2							
> 100m	1							
Edificações inexistentes	0							
<i>Valoração máxima em cada coluna</i>								0,4

Soma da propagação via ar



Soma total do critério principal 4: Propagação

Soma da propagação via solo		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma da propagação via água superficial	+	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma da propagação via água subterrânea	+	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma da propagação via ar	+	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma da propagação	=	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	:	1.89	1.56	1.23	1.56	1.62	1.86
Propagação Soma total do critério principal 4:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Risco provável aos bens a proteger

Soma do critério principal 1		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma do critério principal 2	+	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma 1+2	=	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma do critério principal 3	X	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soma do critério principal 4	X	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Risco provável aos bens a proteger	=	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

9000 Avaliação de Risco à Saúde Humana

O objetivo principal da etapa de avaliação de risco é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens a proteger expostos, na avaliação de risco em uma área contaminada.

Dependendo da situação, outros bens devem ser considerados, tais como os ecossistemas, a produção agrícola, as edificações e instalações de infraestrutura urbana.

As metodologias de avaliação de risco são baseadas em princípios de toxicologia humana e no conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos contaminantes.

A identificação e quantificação dos riscos, em uma determinada área contaminada, subsidiará a definição dos objetivos a serem atingidos na remediação e das medidas corretivas a serem adotadas.

A base inicial de dados para execução da avaliação de risco é constituída pelas informações coletadas na etapa de investigação detalhada e etapas anteriores, acrescidas de outras informações sobre a toxicologia dos contaminantes envolvidos, os cenários de uso e ocupação do solo e as variáveis de exposição configuradas na área.

As metodologias existentes de avaliação de risco a saúde humana em áreas contaminadas, seguem, em geral, a desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana, a "United States Environmental Protection Agency - USEPA, em 1989. De acordo com esta metodologia, os seguintes trabalhos devem ser realizados, para quantificar os riscos :

- coleta e avaliação dos dados;
- avaliação de toxicidade;
- avaliação da exposição;

- caracterização e quantificação dos riscos;
- gerenciamento dos riscos.

A avaliação de risco levando-se em consideração outros bens a proteger, como o risco a ecossistemas aquáticos ou à fauna e flora segue, basicamente, os mesmos princípios utilizados para a avaliação dos riscos à saúde humana.

A coleta e avaliação de dados se inicia na avaliação preliminar e se estende na investigação confirmatória e na investigação detalhada, devendo propiciar a aquisição das informações relevantes sobre a área, para a execução da etapa de avaliação de risco. A identificação dos contaminantes presentes, sua distribuição espacial, concentrações e dinâmica no meio físico serão indicadores no processo de avaliação de risco.

A avaliação de toxicidade define a toxicidade específica para cada composto químico de interesse, considerando-se os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto produzir câncer no indivíduo ao longo da exposição.

Nesta etapa, os bancos de dados toxicológicos servem como fonte de informações sobre a toxicologia dos compostos de interesse e os efeitos adversos à saúde. Esta etapa pode ser dividida em duas atividades principais:

- Identificação dos efeitos adversos - determinação do tipo e magnitude do efeito adverso à saúde que é causado pela exposição a um agente tóxico específico;
- Determinação da dose-resposta - processo de avaliação quantitativa da toxicidade, relacionando-se a dose do contaminante que foi recebida com a incidência de efeitos adversos à saúde em uma dada população exposta.

A avaliação de exposição é a determinação da intensidade, frequência, duração e caminhos da exposição humana, atual ou futura, a determinado contaminante. Esta estimativa pode ser fundamentada nos dados de monitoramento ambiental e

resultados da previsão da movimentação e atenuação dos contaminantes por meio de modelagem matemática.

A avaliação é desenvolvida observando-se os usos atuais e prevendo-se os usos futuros da área em estudo e seu entorno, sendo necessário :

- entender os mecanismos de liberação e transporte do contaminante no meio físico;
- identificar as populações expostas;
- identificar todas as vias potenciais de exposição;
- estimar as concentrações nos pontos de exposição, para cada via específica.

A avaliação das informações obtidas permite a elaboração dos cenários de exposição, onde são identificadas as várias possibilidades para que um contaminante, a partir da origem da contaminação, atinja as populações potencialmente receptoras. Os resultados da avaliação da exposição são os valores de ingresso dos compostos indicadores para cada via de exposição específica (atual ou futura).

A caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores, tendo como objetivo quantificar o risco. Neste momento, as concentrações do contaminante medidas nos pontos de exposição e as concentrações teóricas estimadas por meio de modelos de transporte de massa, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse. Esta comparação serve para determinar se os níveis de contaminação atuais ou futuros da área podem produzir algum efeito adverso à saúde humana, segundo os índices toxicológicos utilizados.

A metodologia de avaliação de risco em áreas contaminadas constitui um procedimento tecnicamente defensável e conceitualmente sustentável para determinação das chances de ocorrência de efeitos adversos à saúde humana, decorrentes da exposição à áreas contaminadas por substâncias perigosas. A necessidade de sua realização, para uma área contaminada, está associada fundamentalmente aos seguintes aspectos:

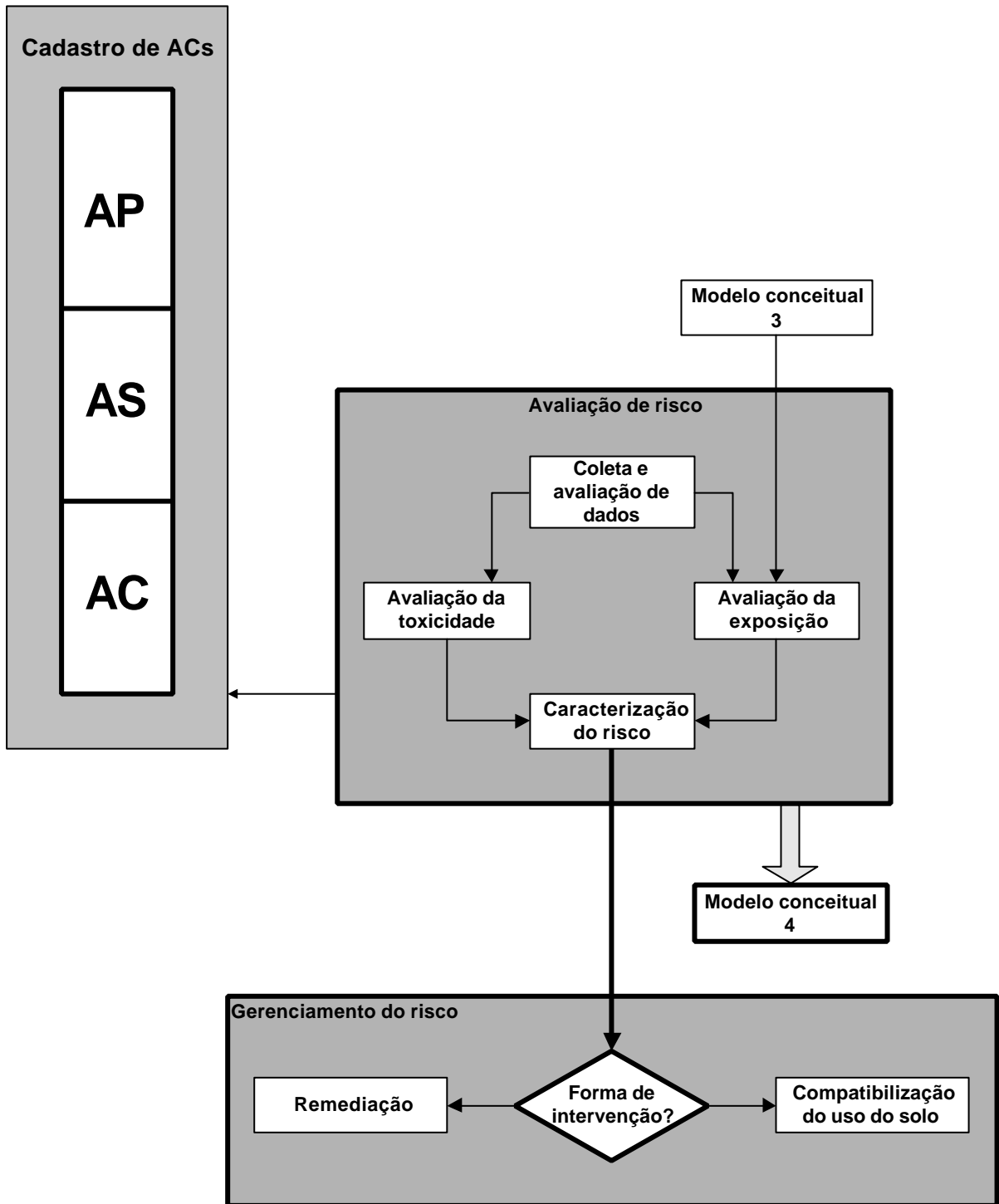
- Proteção a saúde humana;

9000 Avaliação de Risco Toxicológico a Saúde Humana

- Determinação do nível de remediação ambiental necessário;
- Estabelecimento de metas de remediação;
- Avaliação da viabilidade técnica da remediação;
- Determinação dos benefícios associados ao processo de remediação;
- Priorização de áreas contaminadas;
- Priorização de alocação de recursos;
- Gerenciamento ambiental integrado.
-

Esta metodologia é esquematicamente ilustrada pela figura 9000-1.

Figura 9000-1 Avaliação de Risco



Para melhor entendimento deste capítulo serão definidos a seguir alguns termos complementares aqueles constantes do capítulo 0200.

Fonte Primária de Contaminação

Área ou ponto onde ocorreu ou está ocorrendo o evento de contaminação ambiental (vazamentos em tanques ou tubulações, derrames propositais ou acidentais, descarte de resíduos, infiltração de despejos ou emissões atmosféricas

Fonte Secundária de Contaminação

Parte do meio físico contaminado que atua como fonte secundária de contaminação para outra parte do meio físico, considerada no estudo de avaliação de risco. Como exemplos temos : solo contaminado por chumbo que é lixiviado para as águas subterrâneas; águas subterrâneas contaminadas que geram vapores de substâncias voláteis para a zona não saturada.

Composto Químico de Interesse (EPA,1989)

Composto ou substância química detectada no meio físico, que está relacionada à fonte primária ou secundária de contaminação, por exemplo a matéria-prima ou produto final do processo produtivo ou de suporte operacional na área de estudo. Deve possuir perfil toxicológico e físico-químico suficientes para ser utilizado na quantificação do risco toxicológico e no estabelecimento de metas de remediação. Como exemplos temos : chumbo no solo, benzeno ou cloreto de vinila nas águas subterrâneas, estireno no ar atmosférico.

Receptor (EPA, 1989)

Organismo, comunidade, habitat sensível ou ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação ambiental. No caso do risco toxicológico, o receptor será o indivíduo humano ou comunidade/grupo de indivíduos.

Exposição (EPA, 1989)

Contato de um organismo receptor com um agente físico ou químico (contaminante). A exposição é quantificada como o montante do contaminante na interface de contato com o organismo (pele, pulmões, intestino) e disponível para absorção.

Evento de Exposição (EPA, 1989)

Incidente ou ocorrência de exposição de um receptor a um agente químico ou físico. Um evento de exposição pode ser definido por tempo (horas, dias, anos) ou como um evento isolado (comer peixe contaminado por metal pesado).

Evento Direto de Exposição (EPA, 1991a)

Quando o receptor está diretamente em contato com o meio contaminada ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da ingestão de água contaminada.

Evento Indireto de Exposição (EPA, 1991a)

Quando o receptor não está diretamente em contato com o meio contaminada ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da inalação de vapores provenientes da água subterrânea contaminada.

Caminho de Exposição (EPA, 1989)

Percurso do composto químico, da fonte ao receptor. Uma via de exposição descreve um único mecanismo pelo qual um indivíduo ou população está exposta a um agente químico. Cada caminho inclui uma fonte de contaminação, uma rota de exposição e um ponto de exposição. Se o ponto de exposição difere do ponto de localização da fonte, o meio físico de transporte do contaminante também é incluído.

Ponto de Exposição (EPA, 1989)

Localização do ponto de contato entre o receptor (organismo ou população exposta) e o composto químico.

Via de Exposição ou Via de Ingresso (EPA, 1989)

Modo como um composto químico entra em contato com o organismo exposto (ingestão, contato dérmico, inalação).

Ingresso (EPA, 1991a)

Medida da exposição expressa como a massa de uma substância em contato com a interface do organismo exposto por unidade peso corporal por unidade de tempo (exemplo : mg de naftaleno/kg-dia).

9100 Planejamento

Para o desenvolvimento adequado de um trabalho de avaliação de risco é necessário que inicialmente seja estabelecido um planejamento para coleta de dados pertinentes e necessários para quantificação e avaliação do perigo à saúde humana causado por uma exposição a um contaminante presente em uma área contaminada.

Para o planejamento das atividades associadas ao processo de avaliação de risco, devem ser considerados alguns pontos relevantes como :

- particularidades da fonte primária de contaminação;
- complexidade do meio físico;
- diversidade dos contaminantes;
- variações do nível de contaminação da área e
- caminhos potenciais de exposição a serem considerados.

O foco principal do planejamento para o desenvolvimento de um projeto de Avaliação de Risco deverá ser reunir procedimentos, técnicas e ferramentas operacionais e interpretativas com os seguintes objetivos:

- caracterizar a distribuição da contaminação e suas concentrações nos meios físicos de interesse;
 - identificar e quantificar os parâmetros do meio físico que são fundamentais para o cálculo do risco;
- qualificar a toxicidade dos compostos químicos contaminantes, que serão de interesse para o projeto;
- identificar os caminhos e quantificar a exposição que ocorre associada aos contaminantes de interesse para a avaliação risco;
- Identificar as populações potencialmente expostas.

Muitas vezes o planejamento da Avaliação de Risco tem como base estudos ambientais desenvolvidos em etapas anteriores do gerenciamento da área contaminada como Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada. Nestes estudos são geradas informações passíveis de serem utilizadas na Avaliação de Risco. Entretanto, no planejamento deve ser levantado o grau de detalhamento que cada dado ou grupo de

informações deve ter para que o processo de Avaliação de Risco seja cumprido de forma satisfatória.

Muitas vezes em estudos preliminares são levantadas informações relevantes para a Avaliação de Risco, mas estas não estão disponibilizadas com o enfoque de quantificação do risco à saúde associado a um evento exposição. Neste caso, cabe ao consultor identificar previamente os dados em questão e tratá-los com foco na quantificação do risco à saúde humana.

O desenvolvimento de um planejamento para Avaliação de Risco usualmente começa logo após a etapa de Investigação Detalhada. No entanto, algumas vantagens podem ser obtidas, com um melhor direcionamento dos trabalhos, quando o planejamento da avaliação de risco é realizado concomitantemente com o planejamento da Investigação Detalhada, sendo esta conduzida em associação a etapa de Avaliação de Risco.

Alguns itens devem ser obrigatoriamente considerados na fase de planejamento, a saber:

- Compilação de dados e consolidação do histórico ambiental sobre a área;
- Identificação das fontes primárias e secundárias de contaminação;
- Identificação dos contaminantes de interesse;
- Identificação dos meios físicos contaminados e dos prováveis caminhos de exposição
- Identificação dos grupos de indivíduos e populações potencialmente expostas
- Identificação dos pontos de exposição
- Definição preliminar dos fatores de exposição
- Análise dos potenciais cenários de exposição
- Descrição da metodologia a ser empregada para o cálculo do transporte e atenuação de contaminantes no meio físico
- Descrição preliminar da metodologia a ser empregada para a Avaliação da Exposição e Caracterização do Risco.

Esta etapa, quando bem conduzida, pode reduzir a alocação de recurso e o tempo de investigação e levantamento de dados.

O produto final desta etapa é a definição de uma estratégia técnica para o levantamento e interpretação dos dados pertinentes para quantificação da exposição, bem como para a caracterização do risco e definição de metas de remediação.

Antes do início da etapa de Aquisição e Avaliação de Dados, a estratégia técnica, suposições e simplificações definidas e consideradas na etapa de planejamento, deverão ser formalmente submetidas ao corpo técnicos do órgão ambiental, para avaliação e adequação, caso necessário.

9200 Coleta e Avaliação de Dados

Nesta seção serão discutidos procedimentos de coleta e avaliação de dados sobre o meio físico, compostos químicos de interesse e processo de exposição, que sejam representativos para a Avaliação de Risco à Saúde Humana em Áreas Contaminadas.

1. Coleta de Dados

Os principais tópicos a serem abordados na etapa de Coleta de Dados são os seguintes:

- Revisão dos dados e informações ambientais existentes;
- Considerações sobre os parâmetros necessários para o modelamento matemático;
- Definição sobre a quantidade, distribuição e meios (solo superficial, solo subsuperficial, água subterrânea, água superficial e ar) a serem amostrados;
- Desenvolvimento da estratégia de amostragem;
- Definição dos critérios de segurança e controle de qualidade (QA/QC);
- Avaliação da necessidade de procedimentos analíticos especiais;
- Definição das atividades a serem desenvolvidas durante a coleta de dados.

Em geral, os tipos de dados a serem obtidos nesta etapa, necessários para o desenvolvimento de um trabalho de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Áreas Contaminadas são os seguintes:

- Comportamento dos contaminantes no meio físico;
- Perfil físico-químico dos contaminantes;
- Concentrações dos contaminantes nas fontes de contaminação e nos meios de interesse;

- Características das fontes como dimensão, distribuição espacial e informações relacionadas ao evento que gerou a contaminação;
- Características sobre o meio físico que podem afetar o transporte, atenuação natural e persistência dos contaminantes.

Uma parte dos dados citados acima podem ter sido obtidos nas etapas anteriores do gerenciamento da área contaminada. Por esse motivo é fundamental a análise criteriosa dos dados disponíveis sobre a área, visando verificar a coerência das informações e as necessidades de complementação.

1.1 Revisão de Dados Disponíveis

A revisão e compilação de dados disponíveis sobre a área deve ser conduzida com os objetivos de identificar os caminhos e pontos de exposição e auxiliar na determinação de quais dados serão necessários para o desenvolvimento da avaliação de risco, incluindo dados para o modelamento matemático.

Algumas fontes de informações são descritas abaixo:

- Relatório da Avaliação Preliminar;
- Relatório da Investigação Confirmatória;
- Relatório da Investigação Detalhada;
- Relatórios de auditorias para identificação de não conformidades ambientais;
- Fichas de segurança dos produtos e matérias primas manipulados na área;
- Descrição dos processos produtivos e operacionais desenvolvidos na área de interesse;
- Histórico fotográfico e antigas plantas da área de interesse;
- Registros sobre ampliações e modificações do processo operacional e produtivo;
- Informações sobre o processo de geração, disposição e gerenciamento dos resíduos gerados no processo produtivo.

Nesta etapa, deve atualizado o modelo conceitual da área, que enfoque todas as fontes potenciais de contaminação, tipos e concentrações de contaminantes previamente detectados na área, meios potencialmente contaminados, e potenciais caminhos de exposição, incluindo receptores e pontos de exposição.

O modelo conceitual é fundamental para determinação dos dados necessários para Avaliação de Risco, bem como o estabelecimento da quantidade, distribuição e extensão da investigação.

1.2 Valoração dos Parâmetros Necessários para Modelamento

Alguns parâmetros necessários para o desenvolvimento, calibração e validação de modelos matemáticos de fluxo e transporte de contaminantes no meio físico, devem ser obtidos na etapa de Coleta de Dados.

A Tabela 9200-1 apresenta os principais parâmetros que devem ser obtidos em campanhas de levantamento de campo, agrupados por meio.

Alguns parâmetros necessários para o modelamento matemático podem ser encontrados em bibliografias disponíveis para consulta. Entretanto deve-se dar preferência para a aquisição de valores específicos da área de interesse.

Caso o modelo a ser utilizado não seja sensível a um parâmetro em particular e existe um valor conhecido disponível na literatura para este parâmetro, então este pode ser utilizado. A determinação dos parâmetros a serem obtidos especificamente para a área será função do tipo de modelo matemático a ser utilizado, ou seja, os parâmetros sensíveis ao modelamento deverão ser específicos da área.

TABELA 9200-1: Parâmetros Necessários para Modelamento

MODELO	PARÂMETROS NECESSÁRIOS
Características da Fonte	Geometria, dimensões, condições físico-químicas, taxas de emissão, intensidade de emissão, localização.
Solo - zona insaturada	Granulometria, pH, potencial redox, fração de carbono orgânico, conteúdo de argila, densidade do solo, umidade, porosidade total e efetiva.
Águas Subterrâneas- Zona saturada	Cargas hidráulicas, condutividade hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico, fração de carbono orgânico, pH, potencial redox.
Ar	Direção preferencial do vento, velocidade do vento, topografia, profundidade da contaminação, concentrações retidas e no ar intersticial do solo.
Água Superficial	Dureza, pH, potencial redox, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, sólidos totais em suspensão, taxa de fluxo, profundidade do rio, maré.
Contaminante	Coeficientes de partição entre meios.
Sedimento	Distribuição do tamanho de partículas, conteúdo orgânico, pH, condições de oxigenação e conteúdo de água.

1.3 Identificação da Exposição Humana

Visando quantificar a exposição humana, a partir de uma área contaminada, devem ser levantados dados que possibilitem a identificação e descrição dos seguintes elementos :

- áreas de interesse (localização e extensão total);
- meios afetados (distribuição dos meios a serem amostrados);
- compostos químicos de interesse;
- caminhos potenciais de transporte dos contaminantes no meio físico.

Em projetos de avaliação de risco à saúde humana, em áreas contaminadas, deve-se considerar :

- todo meio contaminado, pelo qual um contaminante pode ser transportado até a um ponto de exposição e um indivíduo ou população pode ser exposto (solo, água subterrânea, água superficial e ar);

- todo meio não contaminado que pode vir a ser contaminado e servir como meio de transporte de contaminantes.

A coleta de amostras para quantificação das concentrações dos contaminantes deve ser conduzida de forma a mapear todos os meios de interesse. Logo, se amostras de solo superficial não forem coletadas, a quantificação da exposição associada a esse meio não poderá ser realizada. O modelo conceitual da área, elaborado com base no conhecimento que já se tem sobre ela, deve orientar a coleta de amostras por meio de interesse. Esta coleta será melhor detalhada no item avaliação de exposição.

Os pontos de interesse para coleta de amostras, determinados em função do modelo conceitual da área podem estar localizados :

- dentro dos limites da área contaminada, junto as fontes de contaminação;
- dentro dos limites da área contaminada, em locais situados entre as fontes e os receptores;
- fora dos limites da área contaminada, nos pontos de exposição;
- fora da área contaminada, em locais situados entre a fonte e os pontos de exposição.

Os pontos de interesse são locados com o propósito de detalhamento da investigação sobre a ocorrência de contaminação nos vários meios. A escolha dos pontos de interesse pode ser orientada a partir dos seguintes critérios:

- localização das fontes de contaminação atuais e existentes no passado;
- ocorrência dos diferentes contaminantes;
- mapeamento espacial e temporal da contaminação nos meios de interesse.

Os compostos químicos de interesse são aqueles associados as matérias primas, produtos e e resíduos relacionadas ao processo operacional e produtivo da área de estudo, que potencialmente possam ocorrer como contaminantes nos meios afetados.

Devem ser considerados, também, os compostos resultantes da decomposição ou degradação biológica dos contaminantes originais.

O caminho de transporte dos contaminantes entre a fontes de contaminação e o ponto de exposição, pode ocorrer de duas formas distintas:

- Intra meios: quando o transporte ocorre em um único meio;
- Inter meios: quando o transporte ocorre em meios distintos (por exemplo solo e águas subterrâneas ou solo e ar).

Em ambos os casos, o caminho de transporte deve ser mapeado por meio de coleta e análises químicas de amostras em cada meio de interesse, considerando sempre a fonte de contaminação, o ponto de exposição e pontos intermediários.

No caso do transporte inter meios, deve-se coletar e analisar amostras do meio onde está localizada a fonte secundária de contaminação e do ponto de exposição. As concentrações finais no ponto de exposição podem ser estimadas utilizando-se modelamento matemático (como exemplo temos a estimativa das concentrações de benzeno no ar do interior de uma casa, originado a partir de concentrações dissolvidas na água subterrânea).

No caso de transporte intra meio, os resultados das análises químicas de amostras coletadas entre a fonte e o receptor potencial, podem auxiliar na previsão de concentrações futuras do contaminante no ponto de exposição.

1.4 Considerações Sobre a Investigação do Solo

O solo representa um meio de contato direto em situações de exposição. Neste meio estão, freqüentemente, localizadas as fontes de contaminação (primárias e secundárias). Logo, o número, distribuição, localização e tipo de amostras de solo podem influenciar significativamente os resultados da Avaliação de Risco.

A heterogeneidade natural do solo representa um complicador no estabelecimento de um plano de amostragem que gere dados representativos para a Avaliação de Risco. Entretanto, um número adequado de amostras de solo pode ser definido com auxílio do modelo conceitual da área de estudo. Neste caso deve-se prever todas as possibilidades para o cálculo de concentrações dos contaminantes em pontos de exposição, em função das heterogeneidades do solo.

Os trabalhos de Avaliação de Risco devem prever a coleta de dados de concentrações de contaminantes em cada fonte ou local previamente identificado com alta concentração de contaminante no solo. O mapeamento quantitativo destas áreas de interesse deverá ser realizado de forma a gerar um entendimento da distribuição espacial das concentrações, bem como identificar os limites e a extensão do impacto. Caso estes objetivos não tenham sido atingidos na etapa de investigação detalhada, deverão ser complementados nesta etapa.

O estabelecimento da profundidade de coleta das amostras de solo é fundamental para o cálculo das concentrações de exposição. Deve-se coletar amostras do solo superficial e/ou subsuperficial, considerando os cenários de exposição estabelecidos no modelo conceitual.

O plano de amostragem deve contemplar parâmetros físicos do solo que irão influenciar diretamente o modelamento matemático de transporte de contaminantes.

As técnicas utilizadas para a realização da amostragem, preservação e análises químicas de solo devem ser descritas no relatório final de Avaliação de Risco.

1.5 Considerações Sobre a Investigação da Água Subterrânea

Os principais objetivos da coleta de dados hidrogeológicos é a caracterização hidráulica e hidrodinâmica dos aquíferos e o mapeamento e quantificação de concentrações dos contaminantes na água subterrânea.

Neste caso, usualmente as informações são geradas a partir da instalação de poços de monitoramento, os quais devem ser instalados considerando o modelo conceitual da área de estudo. Tanto o perfil construtivo dos poços de monitoramento, quanto sua quantidade e distribuição nas áreas de interesse, devem ser definidos em função dos seguintes objetivos:

- Mapeamento total das fontes de contaminação;
- Mapeamento total espacial das plumas de contaminação dissolvida nas águas subterrâneas;
- Quantificação das concentrações nos pontos de exposição;
- Estabelecimento de pontos de controle e monitoramento da contaminação entre a fonte e o receptor;

- Estabelecimento de pontos de monitoramento para auxiliar na calibração e validação dos modelos de transporte de contaminantes.

Propriedades hidrogeológicas dos aquíferos como condutividade hidráulica, porosidade, densidade de grãos, fração de carbono orgânico, podem influenciar diretamente nos resultados da Avaliação de Risco.

Propriedades hidrogeológicas são freqüentemente utilizadas em estudos de Avaliação de Risco para quantificação de concentrações dos contaminantes em pontos de exposição (atuais e futuras), por meio da utilização de modelos matemáticos de transporte.

A distribuição da malha de poços de monitoramento deve ser dimensionada visando o mapeamento total em extensão horizontal e vertical da contaminação nas águas subterrâneas.

As técnicas utilizadas para a realização da amostragem de água subterrânea devem ser descritas no relatório final de Avaliação de Risco.

2. Avaliação de Dados

Após a etapa de Coleta de Dados, estes devem ser analisados, interpretados e organizados, visando confirmar as suposições e considerações estabelecidas no modelo conceitual preliminar da área de estudo. Os seguintes passos devem ser observados na etapa de avaliação de dados :

- Agrupar todas as informações geradas por meio investigado;
- Avaliar os métodos analíticos utilizados;
- Avaliar a qualidade dos dados e os limites de quantificação;
- Avaliar a qualidade dos dados com relação aos qualificadores analíticos;
- Avaliar a qualidade dos dados com relação aos brancos de laboratório;
- Avaliar as tentativas de identificar os compostos de interesse;
- Comparar as concentrações de contaminantes com os valores de "background";
- Elaborar um conjunto de informações a serem utilizadas na avaliação de risco.

O primeiro passo para organização sistemática dos dados de concentrações de contaminantes é o agrupamento dos mesmos por meio afetado, considerando cada área de interesse. A Tabela 9200-2 apresenta um formato para agrupamento de dados por meio, considerando uma determinada área.

TABELA 9200-2: Agrupamento de Dados por Meio de Interesse

ÁREA DE INTERESSE						
OFICINA DE MANUTENÇÃO DE PEÇAS (RECEPTOR II)						
	Solo			Solo		
IDENTIFICAÇÃO	ST-01			ST-02		
PROFUNDIDADE (metros)	0,5			1,0		
DATA DE AMOSTRAGEM	12/dez/2002			12/dez/2002		
UNIDADE	ug/kg			ug/kg		
BRANCO/ DUPLICATA	-			Duplicata		
COMPOSTO	L	CONCENTRAÇÃO	QUALIFICADOR	LQ	CONCENTRAÇÃO	QUALIFICADOR
Benzeno	5	15	J	5	30	J
Tolueno	5	28	J	5	45	J
Etilbenzeno	5	14	J	5	10	R
Xilenos	5	-	ND	5	-	ND
Naftaleno	10	210	J	10	-	ND

Após o agrupamento de dados por meio e área de interesse, deve ser realizada uma análise crítica dos dados procurando abordar os seguintes aspectos:

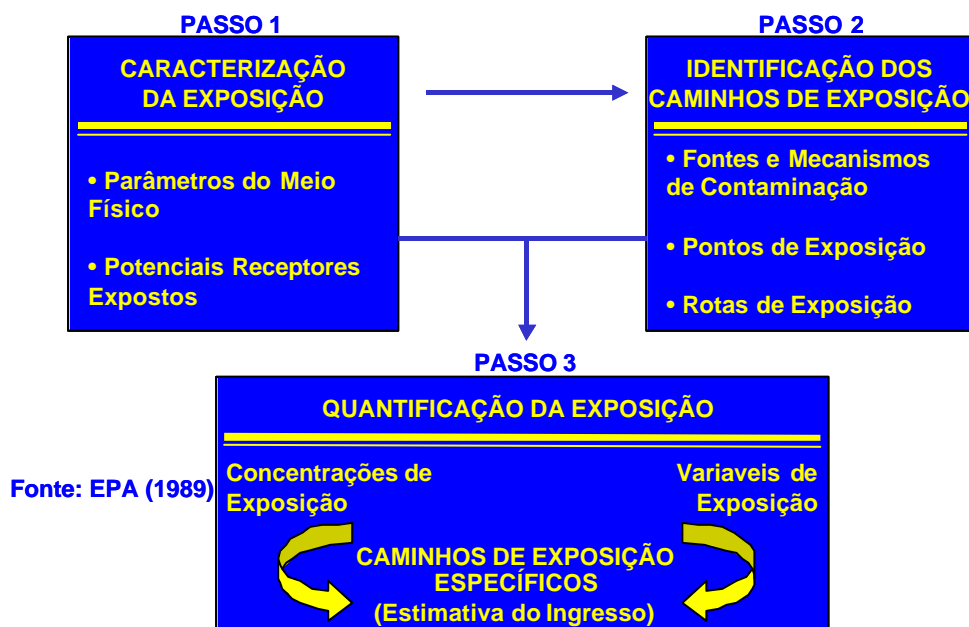
- Analisar se as concentrações dos compostos químicos de interesse, estão coerentes com o modelo conceitual preliminar;
- Analisar se as concentrações dos compostos químicos de interesse são distribuídas de maneira a caracterizar devidamente a contaminação e são representativas do ponto de exposição;
- Identificar e justificar as concentrações a serem utilizadas para quantificação da exposição;
- Identificar e justificar as concentrações a serem utilizadas para o modelamento matemático de transporte de contaminantes, quando for o caso.

9300 Avaliação da Exposição

O principal objetivo da Avaliação da Exposição é estimar o tipo e magnitude da exposição humana à compostos químicos de interesse, que estão presentes no meio físico (EPA, 1989). Os resultados quantitativos da Avaliação da Exposição são as doses de ingresso de um composto químico de interesse, calculadas para um determinado evento de exposição de um receptor.

A etapa de Avaliação da Exposição pode ser dividida em três passos distintos, a saber (Figura 9300-1) :

- Caracterização da Exposição;
- Identificação dos Caminhos de Exposição;
- Quantificação da Exposição.



Fonte: EPA (1989)

FIGURA 9300-1: Estágios da avaliação de exposição (modificado de EPA, 1989)

1. Caracterização da Exposição

O primeiro passo da Avaliação da Exposição é a Caracterização da Exposição que consiste na análise de dados sobre o meio físico e das populações potencialmente expostas dentro e fora da área de interesse, visando definir em detalhe as características associadas ao processo de exposição toxicológica.

O resultado deste passo é uma análise qualitativa das populações localizadas na área de estudo e em suas proximidades, considerando as características que irão influenciar sua potencial ou real exposição.

As características básicas sobre o meio físico a serem avaliadas são o clima, vegetação, hidrogeologia, geologia, e hidrologia. O primeiro passo é a realização de um levantamento regional, considerando como área de interesse aquela que apresenta um raio adicional em torno de 300 metros, a partir da área contaminada. Quando as dimensões da área forem muito grandes ou a contaminação for muito intensa, este raio adicional deverá ser aumentado. O mesmo se aplica para os casos em que a propagação da contaminação se deu via ar atmosférico, podendo-se chegar até raios adicionais de 1.000 metros.

Em geral, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Presença, características e utilização de cursos d'água superficiais;
- Presença, características e utilização do sistema aquífero regional;
- Presença, características e utilização de poços de abastecimento público;
- Presença, características e utilização de poços particulares;
- Identificação, descrição e caracterização dos tipos de solo e tipos litológicos predominantes associados a geologia da região;
- Descrição e análise das condições climáticas e sua variação segundo o ciclo hidrológico;
- Direções predominantes de ventos.

As populações potencialmente expostas (dentro e fora da área de estudo) devem ser identificadas e descritas no que se refere as características que influenciam direta ou indiretamente o processo de exposição. Os seguintes aspectos devem ser considerados para caracterização das populações potencialmente expostas:

- Uso e ocupação do solo (agrícola, residencial, comercial, recreacional, ou industrial);
- Posição dos receptores em relação as fontes e plumas de contaminação;
- Atividades desenvolvidas;
- Densidade e freqüência de ocupação;
- Presença de sub-populações sensíveis (creches, hospitais, escolas, etc.);
- Presença de estruturas subterrâneas de utilidades pública (galerias de gás, telefone, esgoto, etc).

Neste passo é fundamental que se determine os seguintes aspectos exposicionais:

- Período no qual a(s) população(ões) exposta(s) permanece(m) nos pontos de exposição;
- Tipo de ambientes em que ocorre a exposição (ambientes fechados e/ou espaços abertos);
- Forma e freqüência da exposição;
- Acesso ou isolamento das populações expostas às fontes e plumas de contaminação;
- Características específicas das populações que podem influenciar diretamente na exposição.

A análise e compilação das informações descritas acima, darão origem a um grupo de dados chamados Parâmetros de Exposição.

A valoração dos Parâmetros de Exposição será apresentada e discutida por caminho de exposição no item de Quantificação da Exposição.

Este passo deve considerar características atuais sobre as populações, bem como potenciais variações que poderão ocasionar no futuro uma exposição toxicológica.

2. Identificação dos Caminhos de Exposição

Nesta etapa são definidos todos os caminhos pelos quais cada população identificada no item anterior pode ser exposta. Cada caminho de exposição deverá descrever um único mecanismo pelo qual cada população pode ser exposta aos compostos químicos de interesse, considerando o ponto de exposição dentro ou fora da área de estudo.

Um caminho de exposição deve descrever o curso de um composto químico ou contaminante partindo da fonte até chegar ao ponto de exposição para uma determinada via de ingresso.

Os caminhos de exposição são identificados com base em considerações sobre os seguintes itens:

- Fontes e mecanismos de contaminação;
- Meio onde está retida e/ou é transportada a contaminação;
- Tipo e localização do compostos químicos de interesse na área de estudo;
- Comportamento dos compostos químicos de interesse no meio físico (persistência, particionamento, transporte, atenuação e transferência entre meios);
- Pontos de Exposição;
- Vias de Ingresso.

Para cada caminho de exposição devem ser identificados os pontos de exposição e vias de ingresso (ingestão, inalação e contato dérmico).

2.1 Identificação das fontes de contaminação

A identificação de fontes e mecanismos de contaminação deve ser realizada a partir da compilação e revisão de informações sobre o processo operacional e produtivo da área de interesse.

Normalmente estas informações podem ser obtidas a partir de relatórios das etapas anteriores do gerenciamento de áreas contaminadas, como a Avaliação Preliminar e a Investigação Confirmatória. Uma fonte adicional de informações são os relatórios de auditorias para identificação de não conformidades ambientais.

As seguintes informações devem ser obtidas na fase de identificação das fontes de contaminação :

- Localização dos pontos de contaminação;
- Tipos de contaminantes;
- Meios diretamente contaminados;
- Meios que podem ser contaminados secundariamente;
- Tempo e montante da contaminação.

Estas informações devem ser compiladas e distribuídas em plantas contendo a locação e características básicas das fontes de contaminação. Adicionalmente deve ser realizado um levantamento fotográfico de campo.

2.2 Transporte e atenuação natural

Para definir o transporte dos contaminantes pode ser utilizada como ferramenta a modelagem matemática.

Para definição da estratégia de modelagem, inicialmente deve ser realizada a avaliação das características das fontes de contaminação e das características dos compostos químicos de interesse que podem afetar o transporte e atenuação natural no meio físico.

Os seguintes aspectos devem ser avaliados para definição da estratégia de modelamento matemático:

- Transporte do contaminante no meio físico;
- Particionamento do contaminante no meio físico;
- Transformações químicas do contaminante no meio físico;
- Transformações biológicas do contaminante no meio físico;
- Retenção e Retardação do contaminante no meio físico.

Nesta etapa devem ser compilados os dados físico-químicos e propriedades relativas ao comportamento dos contaminantes no meio físico.

As principais características e parâmetros a serem levantados sobre os contaminantes de interesse são as seguintes:

- Coeficiente de Partição entre o Carbono Orgânico e Água (K_{oc});
- Coeficiente de Partição entre o Solo/Sedimento e Água (K_d);
- Coeficiente de Partição entre Octanol e Água (K_{ow});
- Solubilidade do Contaminante na Água (S);
- Constante da Lei de Henry (H);
- Pressão de Vapor (Pv);
- Coeficiente de Difusão na Água (Dw);
- Coeficiente de Difusão no Ar (Da);
- Fator de Bioconcentração (BCF);
- Meia Vida do Contaminante no Meio Ambiente.

Os dados coletados nesta fase serão utilizados na etapa de quantificação das concentrações de exposição (item 3.3.1).

2.3 Identificação de Pontos de Exposição e Vias de Ingresso

Após a identificação dos meios contaminados ou potencialmente contaminados, devem ser identificados os pontos de exposição para que seja determinado se as populações potencialmente expostas entram em contato com os meios de interesse.

O estabelecimento da relação entre a fonte de contaminação e os pontos de exposição é fundamental, ou seja, devem ser identificados quais pontos de exposição estejam associados a uma determinada fonte de contaminação. Adicionalmente, devem ser estimadas as distâncias entre os pontos de exposição e as fontes de contaminação, bem como quais os contaminantes envolvidos no evento de exposição e quais meios potencialmente contaminados nos pontos de exposição.

Nesta etapa devem ser estabelecidas as vias de ingresso pelas quais os contaminantes podem ingressar nos organismos potencialmente expostos.

De maneira geral, as vias de ingresso que são consideradas em estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana em áreas Contaminadas são as seguintes:

- Inalação;
- Ingestão;
- Contato Dérmico.

2.4 Integração e Sumarização dos Resultados

O resultado da integração e sumarização dos dados levantados nas etapas anteriores é a definição dos Caminhos de Exposição que podem ocorrer em uma área de estudo.

Um caminho de exposição é considerado completo quando são identificados os seguintes aspectos:

- fonte ou mecanismo de contaminação;
- ponto de exposição;
- Meio físico potencialmente contaminado pelo qual o contamineado pode ser transportado;
- via de ingresso.

9400 Quantificação da Exposição

Nesta etapa, são quantificadas a magnitude, a frequência e a duração da exposição, para cada caminho de exposição identificado na etapa anterior. A quantificação da exposição pode ser dividida em dois estágios: estimativa das concentrações de exposição e cálculo do ingresso.

A estimativa das concentrações de exposição corresponde a quantificação das concentrações dos compostos químicos de interesse que estarão em contato com o receptor durante o período de exposição. As concentrações de exposição são estimadas usando dados de monitoramento ambiental (ver coleta de dados) e/ou modelos matemáticos de transporte de contaminantes. O modelamento matemático pode ser utilizado para estimar futuras concentrações em pontos de exposição, que já tenham contaminação; em pontos ainda não contaminados ou em pontos onde não existem dados de monitoramento.

A exposição é definida como o contato de um organismo com um composto químico ou contaminante. Se a exposição ocorre ao longo do tempo, a exposição total pode ser dividida por um período de tempo de interesse, para ser obtida uma taxa de exposição média por unidade de tempo. A taxa de exposição média também pode ser expressa em função da massa corporal.

O cálculo do ingresso corresponde a quantificação das concentrações dos compostos químicos de interesse que potencialmente ingressaram no organismo exposto por uma determinada via de ingresso, considerando cada caminho de exposição identificado.

As doses de ingresso são expressas em termos da quantidade do composto que está em contato com o organismo humano por unidade de tempo por kilo de peso corporal(exemplo : mg/kg.dia de cloreto de vinila).

As doses de ingresso também podem ser encontradas na literatura expressas pelos seguintes termos:

- Taxa de Exposição Normalizada;
- Dose Administrada;

- Dose Aplicada;
- Dose Absorvida.

O ingresso deve ser estimado por população potencialmente exposta. Nesta etapa devem ser avaliadas e sumarizadas as fontes de incerteza como: variação dos dados analíticos, resultado dos modelos e pressuposições assumidas.

O resultado da avaliação das incertezas associadas ao cálculo do ingresso deverá ser utilizado no processo de tomada de decisão com base no risco.

O cálculo do ingresso é baseado no conceito de Exposição Máxima Razoável, que se espera ocorrer para cenários de uso atual e futuro da área de estudo. A Exposição Máxima Razoável pode ser definida como o máximo valor de exposição que pode ser aceito em uma determinada área.

No Quadro 9400-1 é apresentada a equação genérica para o cálculo do ingresso de um composto químico, segundo alguns parâmetros de exposição. Três categorias de parâmetros de exposição são utilizados para o cálculo do ingresso:

- Parâmetros relacionados ao composto químico;
- Parâmetros que descrevem a exposição das populações;
- Parâmetros relacionados ao período de exposição.

QUADRO 9400-1: Equação Genérica para o Cálculo do Ingresso

$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$		
<i>I</i>	mg/kg-dia	Ingresso ou quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um Caminho de Exposição
<i>C</i>	mg/L ou mg/kg	Concentração do contaminante no meio focado
<i>IR</i>	L/dia ou kg/dia	Taxa de contato com o meio focado
<i>EF</i>	dias/ano	Frequência de Exposição
<i>ED</i>	Ano	Duração da Exposição
<i>BW</i>	kg	Peso Corporal
<i>AT</i>	Dias	Período de Exposição

1. Estimativa das concentrações nos Pontos de Exposição

As concentrações dos compostos químicos de interesse para a avaliação de risco podem ser estimadas das seguintes formas :

- Usando somente dados de monitoramento;
- Usando dados de monitoramento associados a resultados de modelos matemáticos de transporte de contaminantes.

1.1- Utilização de Dados de Monitoramento

O uso direto de dados de monitoramento para estimar a concentração de compostos químicos de interesse em pontos de exposição é normalmente utilizada quando a exposição envolve o contato direto com o meio monitorado (ex. contato direto com o solo superficial contaminado), ou quando o monitoramento ocorre diretamente no ponto de exposição (ex. monitoramento no poço cacimba de água para consumo humano localizado em uma residência). Para os casos citados acima, é sugerido que sejam utilizados dados de monitoramento para quantificação das doses de ingresso.

Os dados de monitoramento deverão ser compilados considerando sempre as características da área de interesse e os caminhos de exposição a serem avaliados. Para tanto os dados sobre os compostos químicos deverão ser divididos por meio de interesse, considerando subgrupos por localização dos pontos de amostragem e caminhos de exposição.

Caso o ponto de amostragem seja coincidente com o ponto de exposição, este dado deve ser tratado separadamente para quantificação da Dose de Ingresso associada ao cenário de exposição específico. Não entendi.

Uma outra abordagem é considerar a maior concentração obtida do composto químico de interesse para um determinado meio, como a concentração no ponto de exposição para os caminhos de exposição associados a este meio. Neste caso a Dose de Ingresso a ser quantificada refletirá um cenário de máxima exposição possível para um tempo médio de avaliação, logo, mais conservadora.

1.2 Utilização de Modelamento Matemático

Na maior parte dos projetos de avaliação de risco, dados de monitoramento não são suficientes para estimar as concentrações nos pontos de exposição. Nestes casos é necessária a utilização de modelos matemáticos de transporte de contaminantes.

A utilização de modelos matemáticos para quantificação de concentrações em pontos de exposição é necessária quando:

- Os pontos de exposição estão espacialmente separados dos pontos de monitoramento. Em alguns casos é necessária a simulação de concentrações em pontos de exposição onde não existem pontos de monitoramento.
- Quando não existe distribuição temporal dos dados de monitoramento. Muitas vezes quando o projeto de Avaliação de Risco foi desenvolvido em período de monitoramento restrito;
- Quando é difícil ou não representativa a medição realizada em um determinado meio, como por exemplo a concentração de compostos voláteis no ar, quando então se opta por calcular este valor utilizando-se modelos a partir de resultado de monitoramento do solo ou água subterrânea.

O modelamento matemático de transporte e atenuação natural de contaminantes poderá simular uma concentração em um ponto de exposição, a partir de uma fonte secundária de contaminação. A fonte secundária de contaminação pode ser a fase dissolvida do contaminante na água subterrânea ou na água intersticial do solo, ou ainda a fases retida e vapor localizadas no solo. Os modelos matemáticos a serem utilizados podem ser de dois tipos, a saber:

- **MODELOS INTERMEIOS:** Modelos de partição e equilíbrio de massa para determinar o fluxo ou as concentrações de transferência de um meio para outro (a exemplo da volatilização do cloreto de vinila a partir da água subterrânea para a zona de respiração em ambientes abertos);
- **MODELOS INTRAMEIOS:** Modelos de Atenuação e Transporte de Contaminantes ao longo de um único meio (a exemplo do transporte de PCE na zona saturada).

A Tabela 9400-1 apresenta alguns modelos matemáticos utilizados para simulação de concentrações de compostos químicos de interesse em pontos de exposição.

TABELA 9400-1: Modelos Matemáticos de Transporte e Atenuação

INTER-MEIOS		INTRA-MEIOS	
ANALITICOS	NUMERICOS	ANALITICOS	NUMERICOS
Johnson & Etinger	TSDf®	DOMENICO	MODFLOW®
EMSOFT®	ISC-ST®	PRINCE®	MT3D®
JURY	VIP®	BIOSCREEN®	RT3D®
EL-JURY	MULTIMED®	BIOCHLOR®	BIOPLUME®
BAN-JURY	SESOIL®	MYGRT®	HYDRUS®
FMD®	VLEACH®	AIR BOX	PRZM-2
RITZ	SUTRA	AQUIFER BOX	MOC
SUMMERS®	HST3D	CMLS®	

A escolha do modelo matemático a ser utilizado será função do tipo e quantidade de dados disponíveis, bem como do nível de detalhamento esperado no projeto de Avaliação de Risco. Em geral, a estimativa de concentrações em pontos de exposição envolvem a análise de dados de monitoramento, associada a aplicação de modelos analíticos simples.

2 Cálculo do Ingresso por Caminho de Exposição

O Ingresso é expresso como a quantidade do composto químico que está na interface de contato com o organismo exposto (pele, pulmões, intestino) e disponível para absorção.

Nesta etapa é estimado o Ingresso para todos os caminhos de exposição possíveis para uma determinada área de estudo.

2.1 Ingresso Pela Água Subterrânea ou Água Superficial Contaminada

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente na água subterrânea e na água superficial pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão de água subterrânea ou água superficial usada para consumo;
- Ingestão de água superficial durante a natação/recreação;
- Contato dérmico com água subterrânea ou água superficial.

A exposição humana associada a volatilização de compostos químicos a partir da água subterrânea e superficial será discutida na seção 2.3.

Nos casos de exposição por ingestão e contato dérmico, considerando como meio contaminado a água (subterrânea ou superficial), devem ser considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor encontra-se em contato com o meio contaminado.

O Quadro 9400-2 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da ingestão de água contaminada**.

QUADRO 9400-2: Ingresso a partir da Ingestão de Água Contaminada

$I = C_w \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por Ingestão de Água Contaminada
C_w	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
IR	L/dia	Taxa de Ingestão de Água
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

É importante ressaltar que, nas avaliações de risco, devem ser utilizados, como parâmetros, para quantificação das variáveis da população e do tempo de permanência na área de risco, dados realísticos, que representem efetivamente as condições brasileiras.

Para estabelecimento dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, a CETESB realizou um levantamento bibliográfico, para quantificação destas variáveis, utilizando como fontes de informação estudos de avaliação de risco realizados para as condições do Brasil, bem como de outros países. A quantificação das variáveis da população e do tempo de permanência na área contaminada está consubstanciada no "Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo", editado pela CETESB em 2001 (CETESB, 2001)

Na Tabela 9400-2 são apresentados os Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Contaminada.

Tabela 9400-2 Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Contaminada

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	1	0,5	1	1	2	1
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-3 apresenta a equação utilizada para o cálculo do Ingresso a partir da ingestão de água superficial contaminada durante a natação/recreação.

QUADRO 9400-3: Ingresso para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

$I = C_w \times \frac{CR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por Ingestão de Água Contaminada
Cw	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
CR	L/hora	Taxa de Contato
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Freqüência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

Na Tabela 9400-3 são indicados os parâmetros de exposição sugeridos para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

Tabela 9400-3 Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
CR	EPA, 1997	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

Para aplicação das equações devem ser conceituados cenários de exposição específicos para cada caminho de exposição, sendo que **C_w** é a concentração do composto químico de interesse na água no ponto de exposição, a qual pode ser obtida por análise química a partir de amostras significativas ou modelada por meio da utilização de modelos de transporte e atenuação de contaminantes no meio físico.

O Quadro 9400-4 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir do contato dérmico com água contaminada**.

QUADRO 9400-4: Ingresso para Contato Dérmico com Água Contaminada

$I = C_w \times \frac{SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por contato dérmico com Água Contaminada
C _w	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
SA	cm ²	Superfície da pele Disponível para Contato
PC	cm/hora	Constante de Permeabilidade Dérmica
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	1l/1000 cm ³	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A tabela 9400-4 apresenta os parâmetros de exposição para contato dérmico com água contaminada.

Tabela 9400-4 Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Água Contaminada

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
SA	CETESB, 2001	0,2	0,14	0,86	0,32	0,86	0,32
PC	CETESB, 2001	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

2.2 Ingresso a partir do Solo, Sedimento ou Poeira Contaminada

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente no solo, sedimento ou poeira pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão;
- Contato Dérmico.

As Doses de Ingresso associadas a inalação de compostos químicos a partir do solo superficial serão discutidas na seção 2.3.

Nos casos de exposição por ingestão e contato dérmico considerando como meio contaminado o solo superficial, devem ser considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor encontra-se em contato com o meio contaminado.

O Quadro 9400-5 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da ingestão de solo contaminado**.

QUADRO 9400-5: Ingresso para Ingestão de Solo Contaminado

$I = C_s \times \frac{IR \times FI \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso pela Ingestão de solo Contaminado
Cs	mg/kg	Concentração do Contaminante no Solo
IR	mg/dia	Taxa de Ingestão de Solo
FI	-	Fração Ingerida da Fonte
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	10 ⁻⁶ kg/mg	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-5 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para ingestão de solo contaminado.

Tabela 9400-5 Parâmetros de Exposição para Ingestão de Solo Contaminado

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	50	100	100	200	150	300
FI	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-6 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir do contato dérmico com solo contaminado**.

QUADRO 9400-6 Ingresso a partir do Contato Dérmico com Solo Contaminado

$I = C_s \times \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso Ingestão de Água Contaminada
Cs	mg/L	Concentração do Composto Químico no Solo
SA	cm ²	Superfície da pele Disponível para Contato
AF	mg/cm ³	Fator de Aderência do Solo na Pele
ABS	-	Fator de Absorção
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	10 ⁻⁶ mg/kg	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-6 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Solo Contaminado.

Tabela 9400-6 Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Solo

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
SA	CETESB, 2001	0,2	0,14	0,86	0,32	0,86	0,32
AF	EPA, 1997	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
ABS	-	Específico para o composto químico					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

Para aplicação das equações devem ser definidos cenários de exposição específicos para cada caminho de exposição, sendo que **Cs** é a concentração do composto químico de interesse no solo superficial no ponto de exposição, a qual deve ser obtida por análise química a partir de amostras significativas do meio investigado.

No caso do cálculo da Dose de Ingresso para contato dérmico com solo, esta será uma estimativa da Dose Absorvida por esta via de exposição e não do montante do composto químico que está em contato com a pele.

2.3 Ingresso a partir do Ar Contaminado

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente no ar pelas seguintes vias de ingresso:

- Inalação de vapores;
- Inalação de partículas.

O ingresso via absorção dérmica de compostos químicos na fase vapor é considerado muito menor que o ingresso via inalação. Por isso esta via de exposição normalmente não é computada para efeito de cálculo.

Nos casos de exposição por inalação de vapores presentes no ar atmosférico, provenientes de solos ou águas contaminadas, devem ser considerados cenários de exposição indireta, ou seja, o receptor não encontra-se em contato direto com o meio contaminado. Neste contexto, deve ser calculada, utilizando-se modelos, a concentração do contaminante no ar, a partir da concentração do contaminante no solo ou nas águas.

No caso da exposição via inalação de partículas, deve ser considerado como meio contaminado o solo superficial.

O Quadro 9400-7 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da Inalação de Vapores presentes no ar**.

QUADRO 9400-7 Ingresso para Inalação de Vapores Presentes no Ar

$I = C_A \times \frac{IR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso a partir da inalação de vapores presentes no ar
C _A	mg/m ³	Concentração do Composto Químico no ar
IR	m ³ /hora	Taxa de Inalação de Ar
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-7 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Inalação de Vapores Presentes no Ar.

Tabela 9400-7 Parâmetros de Exposição para Inalação de Vapores Presentes no Ar

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	22	15	22	15	22	15
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-8 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da Inalação de Partículas presentes no ar.**

QUADRO 9400-8 Ingresso para Inalação de Partículas Presentes no Ar

$I = C_s \times \frac{IP \times FR \times FA \times ET \times ER \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso a partir da inalação de vapores presentes no ar
C _s	mg/kg	Concentração do contaminante no solo
IP	Kg/hora	Taxa de Inalação de Partículas
FR	-	Fator de retenção de partículas no pulmão
FA	-	Fator de absorção relativa
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-8 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Inalação de partículas presentes no ar.

Tabela 9400-8 Parâmetros de Exposição para Inalação de Partículas Presentes no Ar

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IP		Específico para o cenário de exposição avaliado					
FR	CETESB, 2001	0,75					
FA	CETESB, 2001	1					
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

2.4 Combinação de Doses de Ingresso por Caminho de Exposição

Ao final do cálculo das doses de ingresso individuais, deve ser considerado que um determinado grupo de indivíduos podem estar potencialmente expostos à um composto químico de interesse a partir de varias vias de ingresso. Por exemplo, moradores de residências podem estar expostos a concentrações de um compostos químico dissolvido na água subterrânea, considerando a ingestão e inalação de vapores, simultaneamente.

Para uma estimativa razoável da exposição, para vários caminhos, devem ser combinadas a doses de ingresso considerando típicas exposições que potencialmente podem ocorrer associadas, segundo o modelo conceitual definido para a área de estudo.

Nesta etapa da Avaliação de Risco as Doses de Ingresso não são calculadas para múltiplos ingressos. O risco associado a exposição por múltiplos ingressos é quantificado na etapa de Quantificação do Risco. Entretanto, neste momento as Doses de Ingresso calculadas individualmente deverão ser agrupadas, considerando os caminhos de exposição e cenários que levem a múltiplos ingressos definidos no modelo conceitual de exposição.

9500 Análise de Toxicidade

O propósito da Análise de Toxicidade é a compilação e interpretação das evidências de ocorrência de efeitos adversos à saúde humana, associadas a exposição de um receptor a um composto químico, segundo um evento de exposição, bem como estimar a relação entre a extensão da exposição e o incremento da probabilidade de efeitos adversos à saúde.

A análise de toxicidade deve ser desenvolvida em duas etapas: Identificação do Perigo Toxicológico e Avaliação de Dose-Resposta.

O primeiro passo, **Identificação do Perigo Toxicológico**, é o processo de avaliação se a exposição a um composto químico pode causar um incremento na incidência de um determinado efeito adverso a saúde (câncer, náuseas, etc.) e se o efeito adverso pode ocorrer em humanos.

A **Identificação do Perigo Toxicológico** envolve a caracterização da natureza e intensidade do efeito, com base em evidências científicas sobre o potencial de uma substância química causar efeitos adversos a saúde (carcinogênicos e não carcinogênicos) em humanos. A fonte de informações são os estudos epidemiológicos, estudos clínicos, e estudo de experimentos em animais.

O segundo passo, **Avaliação de Dose-Resposta**, é o processo de avaliação quantitativa das informações toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência do efeito adverso a saúde em eventos de exposição. A partir desta avaliação quantitativa, valores toxicológicos são quantificados, os quais podem ser utilizados para estimar a incidência ou potencial de efeitos adversos em função da exposição humana à um composto químico.

1. Estudos de Dose-Resposta

Em vista da população estar exposta a diferentes tipos de substâncias químicas, os efeitos produzidos podem ser relacionados com substâncias não carcinogênicas ou carcinogênicas.

Para as substâncias carcinogênicas não há, teoricamente, um nível de exposição que seja isento de risco. Entretanto, para as substâncias não carcinogênicas a exposição tem que ocorrer acima de um determinado valor, denominado dose limiar, antes que os riscos para os humanos se tornem uma preocupação.

Devido a estas diferenças, o avaliador de risco deve relatar de forma diferente os efeitos carcinogênicos e os não carcinogênicos. Quando se estima o risco de câncer, procura-se prever um nível de risco para a vida toda, para um indivíduo exposto e qual o número adicional de casos de câncer que podem ocorrer numa população de pessoas expostas. Estes casos de câncer podem ou não ocorrer mas, se ocorrerem, estariam somados aos casos de câncer por outras causas, como por exemplo a fumaça do tabaco.

Para a toxicidade dos não carcinogênicos, estima-se um nível de exposição diária que representa uma dose segura para não ocorrer efeitos deletérios à saúde humana.

2 Análise Toxicológica para Efeitos não Carcinogênicos

A Dose de Referência (RfD), é um parâmetro toxicológico usado freqüentemente para avaliar efeitos não carcinogênicos resultantes de um evento de exposição. Vários tipos de RfD podem ser utilizadas em projetos de Avaliação de Risco, dependendo da via de ingresso (inalação, ingestão, contato dérmico), de efeitos críticos e extensão da exposição (crônica, subcrônica ou eventos simples).

A **RfD Crônica** é definida como a estimativa (com incerteza de uma ordem de magnitude ou mais) de um nível de exposição diária de uma população humana, incluindo subpopulações sensíveis, que possa ocorrer sem que exista o risco de efeitos adversos a saúde durante o tempo de vida. **RfD Crônicas** são desenvolvidas especificamente para avaliação de exposição de longa duração. Os períodos de exposição avaliados com **RfD Crônicas** variam entre sete anos e o Tempo de Vida Máximo.

A **RfD SubCrônica** é utilizada para caracterizar efeitos não carcinogênicos potenciais associados a eventos de exposição de curta duração e exposições simples.

2.1 Determinação das Doses de Referência

A Dose de Referência deve ser determinada para as vias de ingresso a serem avaliadas no estudo de Avaliação de Risco, como se segue:

- Dose de Referência para Inalação (**RfDo**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a **Inalação**;
- Dose de Referência para Ingestão (**RfDi**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a **Ingestão**;
- Dose de Referência para Contato Dérmico (**RfDd**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é o **Contato Dérmico**.

Para determinação das Doses de Referências, inicialmente deve-se realizar um estudo de doses críticas, seguido da determinação dos efeitos tóxicos associados às doses selecionadas e da identificação de níveis de exposição experimentais que representaram a mais alta concentração para não ocorrência de efeitos adversos, ou seja, a Dose de Referência.

O primeiro passo, estudo de doses críticas, é a determinação do **Menor Nível Efeito Adverso Observado (MNEO)**. O MNEO é determinado em curvas de Dose-Resposta e demonstra o ponto da curva onde ocorre o primeiro efeito adverso a saúde. A partir do MNEO é determinado o **Maior Nível Efeito Adverso não Observado (MNEN)**.

A **RfD** é determinada a partir do MNEO ou MNEN para efeitos tóxicos críticos considerando a aplicação de **Fatores de Incerteza (FI)** e **Fatores de Modificação (FM)**. Os FI geralmente consistem em valores múltiplos de 10. A base para aplicação dos diferentes FI são descritas a seguir:

- Um FI de 10 é utilizado para quantificar as variações nas populações a serem avaliadas no Estudo de Avaliação de Risco, visando a proteção de subpopulações mais sensíveis;
- Um FI de 10 é utilizado quando os valores do estudo de Dose-Resposta foi realizado em animais e está sendo extrapolado para humanos;
- Um FI de 10 é utilizado quando o MNEN foi determinado para condições de exposição sub crônica e é utilizado para determinação de RfD crônicas;

- Um Fi de 10 é utilizado quando um MNEO é utilizado no lugar de um MNEN.

Adicionalmente aos Fi listados acima, um FM deve ser aplicado, como se segue:

- Um FM variando de >0 a 10 pode ser incluindo para refletir uma análise qualitativa do consultor que pode julgar, segundo uma abordagem tecnicamente defensável, que alguma incerteza associada a quantificação da RfD não foi previsto ou é específica para o composto químico de interesse.

Para calcular as RfD pode ser utilizada a equação apresentada no quadro 9500-1.

QUADRO 9500-1 Cálculo da Dose de Referência para Efeitos não Carcinogênicos

$RfD = \frac{MNEN}{(FI_1 \times FI_2 \times FI_n \times FM)} \therefore RfD = \frac{MNEO}{(FI_1 \times FI_2 \times FI_n \times FM)}$		
RfD	mg/kg-dia	Dose de Ingresso Ingestão de Água Contaminada
MNEN	mg/kg-dia	Maior Nível Efeito Adverso não Observado
MNEO	mg/kg-dia	Menor Nível Efeito Adverso Observado
UFI	-	Fator de Incerteza
FM	-	Fator de Modificação

3. Análise Toxicológica para Efeitos Carcinogênicos

A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF) acompanhado do peso da evidência de câncer.

O primeiro passo da análise para efeitos carcinogênicos é a determinação do peso da evidência de ocorrência de câncer, a qual pode ser determinada em estudos em animais e humanos. A evidência de câncer pode ser classificada a partir do seguinte sistema:

- Grupo A: Reconhecidamente Carcinogênicos;
- Grupos B1: Carcinogenicidade apontada com base em estudos limitados para humanos;
- Grupos B2: Carcinogenicidade apontada com base em evidências suficientes para animais, e insuficientes para humanos;

- Grupo C: Possibilidade de causar câncer em humanos;
- Grupo D: Não classificável como causador de câncer em humanos;
- Grupo E: Evidência de não ser carcinogênico para humanos.

O segundo passo para efeitos carcinogênicos, com base na avaliação que o composto químico é conhecidamente ou provavelmente gerador de câncer em humanos, um valor de toxicidade que defina quantitativamente a relação entre a dose e a resposta carcinogênica, ou seja, o Fator de Carcinogenicidade (SF).

O SF é utilizado, em estudos de Avaliação de Risco, para estimar a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de cancer, em uma determinada população, decorrente de um evento de exposição a contaminantes carcinogênicos.

Valores toxicológicos para efeitos carcinogênicos podem ser expressos em termos de risco por unidade de concentração do composto presente em um meio, quando o contato com o ser humano ocorre. Esta medida é chamada de unidade de risco e é calculadas pela divisão do SF pelo peso corpóreo, multiplicado pela taxa de inalação ou pela taxa de ingestão de água, respectivamente para riscos associados a concentrações no ar ou na água.

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

4. Fontes de Dados Toxicológicos

As seguintes fontes de dados podem ser utilizadas para obtenção de dados toxicológicos não carcinogênicos e carcinogênicos:

- Integrated Risk Information System (IRIS);
- Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST);
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR);
- EPA's Environmental Criteria and Assessment Office (ACAO).

9600 Caracterização do Risco

Na etapa **Caracterização do Risco** as etapas de **Avaliação de Exposição** e **Análise de Toxicidade** são sumarizadas e integradas em expressões quantitativas, visando a determinação do risco a saúde humana.

A caracterização do potencial de efeitos não carcinogênicos é realizada a partir da comparação entre as Doses de Ingresso calculadas na Avaliação de Exposição e os valores toxicológicos identificados na Análise de Toxicidade.

A caracterização do potencial de efeitos carcinogênicos é realizada a partir da determinação da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer durante o tempo de vida segundo um evento de exposição, a qual é calculada com base em doses de ingresso calculadas na Avaliação de Exposição e os valores toxicológicos identificados na Análise de Toxicidade.

A etapa de caracterização do risco marca o início da geração de informações quantitativas que poderão ser utilizadas no processo de **Gerenciamento do Risco**, quando as partes envolvidas no processo de **Gerenciamento da Área Contaminada**, deverão decidir a respeito das etapas posteriores a serem cumpridas, visando a eliminação ou minimização do risco a saúde humana.

Nesta etapa deverão ser calculados o risco carcinogênico e não carcinogênico. Um projeto de **Avaliação de Risco** só poderá ser considerado completo quanto as quantificações dos riscos são realizadas, sendo que estas devem ser acompanhadas da interpretação e da análise de sensibilidade.

1. Quantificação do Risco

A quantificação do risco deve ser realizada inicialmente individualmente para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos, considerando cada contaminante e cada caminho de exposição identificado no **Modelo Conceitual de Exposição** da área de estudo.

Os seguintes passos devem ser cumpridos:

- Quantificação do Risco associado a exposições individuais para cada composto químico de interesse;
- Quantificação do Risco associado a exposições simultâneas para múltiplos compostos químicos de interesse.

1.1 Risco para Efeitos Carcinogênicos

Para compostos químicos que gerem efeitos carcinogênicos, o risco é estimado a partir do fator de carcinogenicidade (SF), como um incremento da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer ao longo do tempo de sua vida, como resultado de um evento de exposição a um composto químico de interesse que potencialmente gere câncer.

Por estarmos tratando, em geral, com baixas doses de ingresso de contaminantes, pode-se assumir o SF na porção linear da curva de Dose-Resposta, ou seja, porção da curva onde é possível assumir uma relação linear para quantificação do Risco Carcinogênico, como apresentado no Quadro 9600-1.

QUADRO 9600-1 - Equação Linear para Quantificação do Risco Carcinogênico

$Risco = I_n \times SF$		
Risco	-	Risco Carcinogênico
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição "n"
SF	(1/ mg/kg-dia)	Fator de Carcinogenicidade

A equação do QUADRO 9600-1 é utilizada para quantificação do Risco Carcinogênico associado a um cenário de exposição específico para um determinado composto químico de interesse.

1.2 Risco Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

A equação apresentada no Quadro 9600-2 é utilizada para estimar o incremento de ocorrência de câncer ao longo do tempo de vida, a partir de exposições simultâneas à múltiplos compostos químicos carcinogênicos. Representa uma aproximação para determinação do **Risco** a partir da somatória de probabilidades de um mesmo indivíduo desenvolver câncer como consequência da exposição a dois ou mais compostos químicos carcinogênicos.

QUADRO 9600-2: Equação Para Quantificação do Risco Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

$Risco_T = \sum Risco_i$		
RiscoT	-	Risco Carcinogênico Total
Riscai	-	Risco Carcinogênico estimado para o Composto "i"

Para aplicação da equação apresentada no QUADRO 9600-2 deve ser assumido que:

- Pequenas Doses de Ingresso diário para cada composto químico avaliado;
- Independência de ação toxicológica entre os compostos químicos avaliados;
- Todos os compostos químicos avaliados produzem o mesmo efeito, ou seja, câncer.

O **Risco Carcinogênico Total** deve ser calculado para cada caminho de exposição descrito no modelo conceitual da área, considerando todos os compostos químicos carcinogênicos que potencialmente possam ocorrer no evento de exposição.

O Risco Carcinogênico Total ao qual um determinado indivíduo pode estar exposto, deve ser calculado pela somatória de todos os riscos carcinogênicos totais estimados para cada caminho de exposição. Logo, o Risco Cumulativo Total da Área é a somatória do **Risco** para cada composto químico, dentro de cada caminho de exposição, e para todos os meios que ocorrem dentro dos mesmos cenários de exposição, simultaneamente.

1.3 Risco para Efeitos não Carcinogênicos

A medida usada para descrever o potencial de ocorrência de efeitos não carcinogênicos associado a um evento de exposição em áreas contaminadas não é expresso como uma probabilidade de ocorrência de efeitos adversos a saúde. Os efeitos não carcinogênicos são avaliados por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (Dose de Ingresso) com uma Dose de Referência para um período de exposição similar. Esta comparação é representada pelo Quociente de Perigo não Carcinogênico (HQ), conforme apresentado no QUADRO 9600-3.

QUADRO 9600-3: Equação para Quantificação do Quociente de Perigo não Carcinogênico

$HQ = \frac{I_n}{RfD_i}$		
RfD	-	Quociente de Perigo não Carcinogênico
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição "n"
RfD	mg/kg-dia	Dose de Referência para a Via de Ingresso "i"

O HQ assume que existe um nível de exposição (RfD) abaixo do qual provavelmente não ocorrem efeitos adversos a saúde de populações ou indivíduos expostos a uma concentração de um composto químico de interesse para a **Avaliação de Risco**. Se o nível de exposição quantificado para um cenário de exposição (Dose de Ingresso) excede a RfD, ou seja, a relação do QUADRO 9600-3 é maior que 1, existe um perigo de ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde humana.

Para quantificação de efeitos não carcinogênicos, devem ser considerados três períodos de tempo para avaliação:

- Crônico – Duração da exposição variando de sete anos ao tempo de vida;
- Subcrônico – Duração da exposição variando de duas semanas a sete anos;
- Curta Duração – Duração da exposição menor que duas semanas.

Para determinação de Quocientes de Perigo não Carcinogênico apropriados, a Dose de Ingresso, deve ser quantificada na etapa de Avaliação da Exposição para um tempo de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração) compatível com a RfD e o modelo conceitual de exposição definido para a área.

A equação apresentada no QUADRO 9600-4 é utilizada para estimar o potencial de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde a partir de exposições simultâneas à múltiplos compostos químicos não carcinogênicos. O **Índice de Perigo** é igual a somatória dos **Quocientes de Perigo**, onde a **Dose de Ingresso** e a **Dose de Referência** devem ser compatíveis para o mesmo tempo de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração).

QUADRO 9600-4: Equação Para Quantificação do Índice de Perigo não Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

$HI = \sum \frac{I_n}{RfD_i}$		
HI	-	Índice de Perigo
I _n	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n”
RfD _i	mg/kg-dia	Dose de Referência para a Via de Ingresso “i”

A equação do QUADRO 9600-4 assume que:

- Exposições simultâneas à vários compostos químicos podem potencialmente resultar em efeitos adversos a saúde;
- A magnitude do efeito adverso é proporcional a somatória aos níveis de exposição aceitáveis calculados (Quociente de Perigo).

Quando o **Índice de Perigo** excede a unidade, existe um potencial para ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde. O Índice de perigo deve ser calculado para cada caminho de exposição do modelo conceitual, considerando-se sempre os tempos de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração).

O Índice de Perigo pode ser segregado por efeito e/ou mecanismo de ação tóxica no organismo exposto, quando todos os efeitos adversos significativos por órgão (pulmão, fígado, etc.) para cada composto químico e então classificar/agrupar os **Quocientes de Perigo** em função dos órgãos expostos e mecanismos de ação. Esta análise pode ser complexa e demorada por isso deve ser realizada por um toxicologista.

1.4 Identificação do Risco pela Combinação de Caminhos de Exposição

Existem dois passos para determinar qual o Risco total e o Índice de Perigo ??para dois ou mais caminhos de exposição que podem ser combinados para avaliação de um evento de exposição de um indivíduo ou grupo de indivíduos. O primeiro passo é a identificação de uma combinação razoável entre os caminhos de exposição a serem avaliados. O segundo passo é a análise da probabilidade dos mesmos indivíduos irão estar submetidos Doses de Ingresso consistentes do ponto de vista dos valores adotados para os parâmetros de exposição.

A identificação de múltiplos caminhos de exposição que potencialmente signifiquem uma exposição final para um determinado indivíduo ou grupo de indivíduos deve ser realizada a partir da identificação de área de interesse de máxima exposição para cada caminho, considerando o uso atual e futuro destas áreas.

Para cada caminho de exposição deve ser calculado o Risco Total e o Índice de Perigo, considerando os pontos de exposição e os períodos de exposição, conforme descrito nos itens anteriores. Se dois caminhos de exposição não afetam o mesmo receptor (indivíduo ou grupo de indivíduos), o Risco Total e o Índice de Perigo associados a estes caminhos não devem ser combinados.

Neste contexto, somente caminhos de exposição que descrevam a exposição de mesmos indivíduos ou grupo de indivíduos devem ser combinados, tanto para o Risco Carcinogênico Total, como para o Índice de Perigo não Carcinogênico.

Uma combinação razoável de caminhos de exposição deve ser validada pela análise da consistência entre as diferentes Doses de Exposição que o indivíduo ou grupo de indivíduos pode estar exposto. Ou seja, parâmetros de exposição como taxa de contato, tempo de exposição, frequência de exposição, etc, devem ser compatíveis para os diferentes caminhos de exposição a serem combinados.

QUADRO 9600-5: Equação Para Quantificação do Risco Carcinogênico para Múltiplos Caminhos de Exposição

$Risco_{ET} = \sum Risco_{CaminhoExposi\tilde{c}a(i)}$		
RiscoET	-	Risco Carcinogênico para Exposição Total
Risco(caminhoi)	-	Risco Carcinogênico estimado para cada Caminho de Exposição
		“i”

QUADRO 9600-6: Equação Quantificação do Risco não Carcinogênico para Múltiplos Caminhos de Exposição

$HI_{ET} = \sum HI_{CaminhoExposi\tilde{c}a\tilde{a}(i)}$		
HIET	-	Índice de Perigo não Carcinogênico para Exposição Total
HI(caminhoi)	-	Índice de Perigo não Carcinogênico para cada Caminho de Exposição "i"

2 Incertezas

Deverá ser apresentada no relatório de Avaliação de Risco uma análise descritiva das incertezas identificadas durante o tratamento e interpretação dos dados.

A incerteza é parte de todo projeto de Avaliação de Risco, haja visto que na maioria dos casos não estão disponíveis todas as informações suficientes sobre a exposição e a forma como as substâncias químicas podem prejudicar os indivíduos. A incerteza pode vir de muitas fontes, como as seguintes:

- Dados de amostragem inadequados ou insuficientes;
- Informações incompletas relativas à forma como as pessoas podem entrar em contato com o local contendo substâncias químicas;
- Falta de informações relativas à forma como as substâncias químicas podem prejudicar as pessoas;
- Necessidade do uso de estudos com animais de experimentação para estimar os riscos em humanos.

A avaliação das incertezas deverá ser realizada para as seguintes etapas do processo de Avaliação de Risco:

- Amostragem e aquisição de dados;
- Modelamento Matemático de Transporte e Atenuação natural de Contaminantes;
- Estimativas dos Fatores de Exposição e Quantificação das Doses de Ingresso;
- Toxicidade do Contaminantes e seus efeitos adversos.

A incerteza está diretamente associada a falta de conhecimento suficiente sobre alguma etapa da Avaliação de Risco, logo esta será inversamente proporcional ao grau de conhecimento sobre a área a ser estudada. Deve-se avaliar a aquisição de dados adicionais quando as incertezas forem muito grandes.

Visando minimizar os efeitos das incertezas no processo de avaliação de risco, deve-se adotar uma abordagem conservadora, considerando margens de segurança na avaliação a exposição, na análise de toxicidade, e na caracterização de risco.

9700 Metas de Remediação com Base no Risco

No processo de Avaliação de Risco a Saúde Humana, pode-se estimar quais seriam as máximas concentrações dos compostos químicos de interesse no meio físico que não causem risco a saúde humana, caso ocorra uma situação de exposição de um indivíduo ou uma população. Estas concentrações aceitáveis são chamadas **Metas de Remediação com Base no Risco (MRBR)**.

As Metas de Remediação com Base no Risco devem ser estabelecidas a partir do modelo conceitual desenvolvido para a Avaliação de Risco, considerando as seguintes premissas:

- Toda MRBR deve ter como base um estudo de Avaliação de Risco;
- Toda MRBR deve ser quantificada a partir de um Risco Aceitável

A MRBR deve ser calculada considerando a etapa de avaliação de exposição e o modelamento matemático de transporte a atenuação natural de contaminantes. Para o cálculo da MRBR devem ser consideradas as seguintes hipóteses:

- Cálculo da MRBR para um determinado composto químico de interesse, considerando somente um caminho de exposição;
- Cálculo da MRBR para um determinado composto químico de interesse, considerando todos os caminhos de exposição válidos para um determinado receptor ou grupo de receptores, ou seja, exposições simultâneas.

A MRBR é calculada a partir da fixação de uma Meta de Risco Aceitável (MR) ou da Meta de Quociente de Perigo (MHQ), logo esta pode ser expressa a partir associação das equações utilizadas para o cálculo do ingresso e para o cálculo do risco.

A Dose de Ingresso é calculada pela multiplicação da concentração do compostos no ponto de exposição (C_{POE}) por um fator de ingresso (IF) que será compostos pelos parâmetros de exposição associados a um cenário de exposição. Logo, a partir da equação da Tabela 9000-4, temos que:

$$I = C_{POE} \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{ou ainda,} \quad I = C_{POE} \times IF$$

No caso de compostos carcinogênicos, podemos substituir a equação acima na equação da Tabela 9000-12, como se segue:

$$Risco = C_{POE} \times IF \times SF$$

Se na equação acima, fixarmos o *Risco* com um valor que represente uma Meta de Risco Aceitável (ex. 10^{-6}) e isolarmos a concentração “ C_{POE} ”, teremos que:

$$MRBR = \frac{MR}{IF \times SF}$$

onde: MRBR – Meta de Remediação com Base no Risco para Compostos Carcinogênicos; MR – Meta de Risco Aceitável; IF – Fator de Ingresso; SF – Fator de Carcinogenicidade.

De maneira análoga, para compostos não carcinogênicos, substituindo a equação para cálculo da Dose de Ingresso na equação da Tabela 9000-14, temos que:

$$MRBR = \frac{MHQ \times RfD_i}{IF}$$

onde: MRBR – Meta de Remediação com Base no Risco para Compostos não Carcinogênicos; MR – Meta de Risco Aceitável; IF – Fator de Ingresso; SF – Fator de Carcinogenicidade.

A MRBR para compostos químicos carcinogênicos considerando exposições simultâneas pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$MRBR = \frac{MR}{(IF_{cam1} \times SF_{cam1}) + (IF_{cam2} \times SF_{cam2}) + \dots + (IF_{camN} \times SF_{camN})}$$

A MRBR para compostos químicos não carcinogênicos considerando exposições simultâneas pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$MRBR = \frac{THI}{\left(\frac{IF_{cam1}}{RfD_{cam1}}\right) + \left(\frac{IF_{cam2}}{RfD_{cam2}}\right) + \dots + \left(\frac{IF_{camN}}{RfD_{camN}}\right)}$$

Fator de Atenuação Natural (NAF)

O Fator de Atenuação Natural (NAF) descreve o decaimento das concentrações do composto químico de interesse entre a fonte de contaminação secundária e o ponto de exposição, ou seja:

$$C_{POE} = NAF \times C_I \quad \text{ou ainda,} \quad NAF = \frac{C_{POE}}{C_I}$$

onde: NAF – Fator de Atenuação Natural; C_{POE} – Concentração no Ponto de Exposição; C_I – Concentração Inicial.

O NAF pode ser calculado a partir de modelos matemáticos de transporte e atenuação natural de contaminantes que relacionem uma concentração inicial a uma concentração final, considerando as características do meio físico e do composto químico de interesse. Alguns exemplos de modelos matemáticos são apresentados na Tabela 9000-5.

Para o cálculo da MRBR utilizado o NAF teremos as seguintes equações:

- **Compostos Carcinogênicos**

$$MRBR = \frac{MR}{IF \times SF \times NAF}$$

- **Compostos não Carcinogênicos**

$$MRBR = \frac{MHQ \times RfD_i}{IF \times NAF}$$

O NAF representa nas equações acima as variáveis do meio físico e o comportamento do contaminante na área de estudo. Logo, os modelos de transporte utilizados para o cálculo do NAF, deverão ser alimentados com dados específicos da área de estudo.

9800 Escopo Mínimo de Projetos de Avaliação de Risco

Neste item será apresentado o escopo mínimo necessário para um estudo de Avaliação de Risco a Saúde Humana em Áreas Contaminadas.

I – RESUMO

Deverá ser descrita de forma sucinta as características gerais da área, a metodologia e modelos utilizados, os resultados quando ao risco e as metas de remediação. Também deverão constar do resumo as conclusões e recomendações mais importantes.

II – INTRODUÇÃO

Deverão ser descritos os seguintes itens:

- Identificação das partes envolvidas, como empresa contratante, empresa consultora, órgãos ambientais e legais;
- Motivação inicial do estudo;
- Datas de início e finalização do projeto considerando as principais etapas envolvidas na avaliação;
- Localização da área e identificação de aspectos fisiográficos gerais.

II.1 – OBJETIVOS

Deverão ser descritos de forma direta e clara os principais objetivos do Projeto de Avaliação de Risco, bem como a identificação do objeto de cada etapa e produto gerado no estudo.

II.2 – HISTÓRICO AMBIENTAL

Deverão ser abordados os seguintes aspectos:

- Histórico do Processo Industrial e Operacional da Área de Estudo;
- Eventos que geraram impactos ambientais;
- Acidentes e Incidentes ambientais;
- Relatórios ambientais anteriores;

- Intervenções e acompanhamentos pelo órgão ambiental ou gerenciador;

As conclusões e recomendações de todos os relatórios ambientais e acompanhamentos do órgão ambiental deverão constar resumidamente neste e deverão ser comentadas visando o estabelecimento da base de entendimento histórico, fundamental para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentadas as plantas históricas da área que evidenciem as ampliações e os diferentes processos historicamente operados na área de estudo.

II.3 – ABORDAGEM

Deverão ser descritas as etapas desenvolvidas para aquisição de dados de campo, bem como para obtenção e tratamento de dados em escritório.

Deverá ser apresentada a equipe técnica que desenvolveu o projeto de Avaliação de Risco, bem como os profissionais que acompanharam os trabalhos por parte da empresa contratante e pelo órgão ambiental.

II.4 – MODELO CONCEITUAL PRELIMINAR

Neste item, deverá ser apresentado o modelo conceitual para a área, com base no histórico ambiental descrito.

Este modelo deverá refletir o entendimento inicial sobre a área, tomando como base os dados preliminares (segundo a seqüência do Gerenciamento, seria utilizado o modelo conceitual desenvolvido após a investigação detalhada), o qual foi utilizado como orientador para o desenvolvimento do projeto.

O Modelo conceitual, deverá ser o apresentado e discutido com os técnicos do órgão ambiental ou gerenciador, e deverá refletir o entendimento técnico entre as partes envolvidas no projeto.

III – METODOLOGIAS UTILIZADAS

Neste item, deverão ser apresentadas e descritas as metodologias utilizadas para aquisição e tratamento de dados, bem como para o cálculo do transporte de contaminantes, para quantificação da exposição e para a quantificação do risco e metas de remediação.

Deverão ser apresentados, discutidos e justificados os seguintes aspectos:

- Equações matemáticas utilizadas para os diferentes cálculos envolvidos no projeto;
- Metodologia para aquisição de dados e locação dos pontos de amostragem, segundo o modelo conceitual previamente definido;
- Valores utilizados nos parâmetros das equações de modelamento matemático, cálculo das exposições e quantificação do risco e metas de remediação;
- Conceitos, suposições e simplificações adotadas para o desenvolvimento da avaliação de risco;
- Incertezas associadas as equações e valores utilizados no projeto de avaliação de risco;
- Pontos sensíveis do modelo conceitual da área.

O presente item deverá ser organizado com os seguintes sub itens:

- III.1 – AQUISIÇÃO DE DADOS
- III.2 – MODELAMENTO MATEMÁTICO
- III.3 – AVALIAÇÃO DE RISCO
- III.4 – METAS DE REMEDIAÇÃO

IV – CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados os resultados da etapa de caracterização ambiental da área de estudo (obtidos na etapa de investigação detalhada), conforme descrito na seção "**Aquisição e Avaliação de Dados**".

IV.1 – PROCESSO OPERACIONAL

Deverão ser identificados e descritos os processos produtivos e operacionais desenvolvidos na área de estudo.(estes dados podem ter sido coletados na etapa de avaliação preliminar).

Deverão ser identificados e descritos os processos de armazenamento, bem como todos os processos operacionais secundários ou de apoio aos processos industriais principais.

Deverão ser identificados as matérias primas e produtos acabados envolvidas nos diferentes processos produtivos.

Neste item, o modelo conceitual da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando os aspectos associados às fontes primárias e secundárias de contaminação.

IV.2 – MEIO FÍSICO

Deverão ser apresentados os resultados das investigações de campo desenvolvidas visando a caracterização dos meio físico, considerando cada meio de interesse para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentados e discutidos os dados e características sobre a hidrogeologia, hidrologia, geologia e climatologia da área, que possam eventualmente influenciar no comportamento das fontes de contaminação e dos compostos químicos de interesse no meio físico.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando os aspectos associados aos meio de interesse para a avaliação de risco.

IV.3 – USO E OCUPAÇÃO

Deverão ser apresentados e discutidos os resultados relativos aos levantamentos de campo e escritório, conduzidos visando a qualificação dos aspectos relativos ao uso e ocupação do entorno da área de estudo.

Deverão ser apresentadas as variações quanto ao tipo, densidade e frequência de ocupação, bem como destacados as particularidades que potencialmente possam influenciar no projeto de Avaliação de Risco.

Neste item deverão ser apresentados os pontos de exposição potenciais associados ao mapeamento do uso e ocupação.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando o tipo de exposição e a localização dos pontos de exposição.

IV.4 – CONTAMINAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados e discutidos os resultados da investigação de campo conduzida visando a caracterização da contaminação nos meios de interesse para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentadas as concentrações obtidas em laboratório para cada meio e composto químico de interesse, considerando o modelo conceitual de exposição.

Deverão ser apresentadas e discutidos os resultados e critérios para cubagem, detalhamento e delimitação dos compostos químicos de interesse nos diferentes compartimentos do meio físico.

Deverão ser apresentados os seguintes resultados:

- Cubagem e dimensionamento das fontes de contaminação;
- Dimensionamento da extensão da contaminação no solo e água subterrânea;
- Relação entre as fontes de contaminação primária e fontes de contaminação secundárias.

Deverão ser identificadas as concentrações dos compostos químicos de interesse em cada meio que sejam significativas para cada receptor dentro e fora da área de estudo.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando a distribuição quantitativa dos contaminantes nos diferentes compartimentos do meio físico.

V – MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO

Deverá ser apresentado e discutido o modelo conceitual revisado considerando os levantamentos de campo e escritórios desenvolvidos visando a caracterização ambiental a ser utilizada como base para cálculo do risco à saúde humana e das metas de remediação.

VI – AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados, discutidos e interpretados os resultados da quantificação da exposição para cada caminho de exposição identificado.

Deverão ser apresentados, discutidos e justificados tecnicamente todos os valores utilizados nos cálculos das concentrações nos pontos de exposição e das doses de ingresso.

VI.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE EXPOSIÇÃO

Neste item deverão ser apresentados as equações e os parâmetros utilizados para o desenvolvimento do modelamento matemático de transporte e atenuação de contaminantes entre as fontes secundárias de contaminação e os pontos de exposição.

Deverão ser discutidas as limitações e simplificações adotadas na etapa de modelamento, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Deverão ser apresentadas as concentrações obtidas analiticamente e matematicamente para cada para cada ponto de exposição, bem como a justificativa técnica de cada concentração a ser adotada na etapa de Quantificação das Doses de Ingresso.

VI.2 – QUANTIFICAÇÃO DAS DOSES DE INGRESSO

Neste item, deverão ser apresentadas as equações e os parâmetros utilizados para quantificação das doses de ingresso nos pontos de exposição.

Deverão ser discutidas as limitações e simplificações adotadas na etapa de quantificação das doses de ingresso, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Deverão ser apresentadas os parâmetros de exposição utilizados, as fontes de dados e premissas assumidas.

Deverão ser apresentadas as doses de ingresso para cada ponto de exposição e composto químico de interesse, considerando o modelo conceitual previamente definido.

VII – ANÁLISE DE TOXICIDADE

Neste item deverão ser apresentados os dados toxicológicos a serem utilizados para quantificação do risco.

Deverá ser apresentada o perfil toxicológico de cada composto químico de interesse, por meio da compilação e interpretação das evidências de ocorrências de efeitos adversos à saúde humana para estes compostos.

Deverá ser apresentada a caracterização da natureza toxicológica e intensidade da evidência deste efeito para cada composto químico de interesse.

Deverão ser apresentadas as fontes bibliográficas dos dados toxicológicos escolhidos para quantificação do risco.

As informações toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência do efeito adverso a saúde em eventos de exposição deverão ser discutidos e interpretados, considerando as particularidades do modelo conceitual desenvolvido para a área de estudo..

VIII – CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

Deverão ser apresentados os critérios e equações utilizadas para o cálculo do risco carcinogênico e não carcinogênico, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Os riscos carcinogênico e não carcinogênico deverão ser discutidos separadamente, sendo que os resultados deverão ser apresentados na forma de tabelas de sumário de risco, que estabelecerão a relação entre cada cenário de exposição válido para o modelo conceitual da área e o risco calculado.

Os resultados deverão ser discutidos para cada cenário de exposição, considerando o risco para exposições isoladas e para múltiplas exposições, conforme apresentado na seção **‘5 Caracterização do Risco’**.

Em função do risco quantificado, deverão ser avaliados os cenários de exposição para os quais deverão ser desenvolvidas metas de remediação com base no risco.

IX – METAS DE REMEDIAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados os resultados dos cálculos das metas de remediação com base no risco.

Deverão ser apresentadas as equações e os parâmetros utilizados para o cálculos das metas de remediação, bem como as limitações e simplificações da metodologia utilizada.

As incertezas associadas ao cálculo das metas de remediação deverão ser discutidas e interpretadas para cada cenários de exposição e composto químico de interesse válidos no modelo conceitual desenvolvido para a área de estudo.

Deverá ser desenvolvida uma análise de sensibilidade, associada à variação espaço-temporal, dos parâmetros do meio físico utilizados para o cálculo. Desta forma, para cada variável associada aos meios de interesse, será estabelecida sua faixa de variação específica para a área de estudo e, a partir desta, a influência desta variação no valor final das metas de remediação.

As metas de remediação deverão ser avaliadas e validadas a partir da análise comparativa com padrões ambientais disponíveis na literatura. As metas de remediação também deverão ser validadas quanto a sua aplicabilidade durante o processo de remediação ambiental.

XI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Deverá ser descrita de forma sucinta as conclusões sobre o estudo desenvolvido, considerando os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos quantificados, bem como as metas de remediação calculadas.

Deverá ser apresentada uma avaliação sucinta da aplicabilidade das metodologias utilizadas, considerando as particularidades da área de interesse.

9900 Bibliografia

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*; CETESB;2001.

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

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1996). *Soil screening guidance: Technical background document*. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA/540/R-95/128. Washington, D.C. May.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1988) *Must for USTs – A summary of the new regulations for underground storage tank systems*. Washington. 38 p.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1995) *Conducting risk-base corrective action for federally regulated ust petroleum releases*. Washington. 15 p.

8000 Investigação Detalhada

A partir da confirmação de que uma área é contaminada, é necessário definir, a critério do órgão ambiental, que medidas deverão ser adotadas, para resguardar de imediato os possíveis receptores de risco identificados no entorno da área.

Estas medidas são estabelecidas a partir de uma avaliação prévia da provável extensão da contaminação; da natureza dos contaminantes, sua toxicidade e carcinogenicidade; bem como dos efeitos possíveis a pessoas, meio ambiente e outros bens a proteger, identificados no entorno da área; podendo incluir :

- . isolamento da área;
- . restrição de uso do solo;
- . restrição de consumo de águas superficiais ou subterrâneas;
- . remoção imediata de resíduos, solos contaminados ou gases do subsolo;
- . monitoramento ambiental;
- . monitoramento de explosividade.

Sempre que existir população direta ou indiretamente exposta, as autoridades e o responsável pela área devem considerar a necessidade de adoção de medidas imediatas visando tornar o local minimamente seguro, até que sejam implantadas as medidas de remediação propriamente ditas; uma vez que esta população poderá estar exposta a um risco ainda não quantificado, que pode ser significativo. Não parece ser razoável, nessas circunstâncias, que se assumam a responsabilidade de postergação de ações efetivas, ou de uma inação, baseando-se apenas na presunção de que o risco é, ou virá a ser, eventualmente, aceitável.

Alem das medidas imediatas, destinadas a resguardar os receptores de risco, até que se tenha um conhecimento mais preciso da situação, será exigida uma investigação detalhada da contaminação, como subsídio a avaliação de risco a ser realizada para avaliar os riscos efetivos decorrentes da contaminação e definição da remediação, constituída por um conjunto de medidas consideradas adequadas, visando eliminar todas as vias de exposição ao risco, em função da situação do local, dos bens a proteger, do uso do solo previsto ou permitido pela lei e demais condicionantes.

A etapa de investigação detalhada é, portanto, a primeira do processo de recuperação de áreas contaminadas, sendo de fundamental importância para subsidiar a execução das etapas seguintes, de avaliação de risco e definição da remediação.

A metodologia utilizada para execução da etapa de investigação detalhada é semelhante à utilizada para a execução da etapa de investigação confirmatória. Entretanto, os objetivos são diferentes.

Enquanto que na etapa de investigação confirmatória o objetivo principal é confirmar a presença de contaminação na área suspeita, na etapa de investigação detalhada o objetivo é quantificar a contaminação, isto é, avaliar detalhadamente as características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando-se as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações. Da mesma forma devem ser definidas as características das plumas de contaminação, como seus limites e sua taxa de propagação.

A investigação detalhada deve buscar a compreensão dos seguintes aspectos :

- . a geologia e a hidrogeologia regional e local;
- . a natureza e a extensão da contaminação;
- . a evolução da contaminação no tempo e no espaço e
- . as rotas de migração de contaminantes, vias de exposição e receptores de risco.

A finalidade da investigação detalhada é, por conseguinte, subsidiar a avaliação de risco e a concepção de um projeto tecnicamente adequado, legalmente cabível e viável, para cada caso de contaminação, visando prevenir danos presentes e futuros à saúde e segurança pública, ao meio ambiente e outros bens a proteger.

A investigação detalhada serve ainda à autoridade competente e à pessoa responsável, ou agente executor da remediação, como base para a tomada de decisão sobre qual dos possíveis cenários de remediação será aplicado a uma determinada área contaminada.

A área contemplada nesta investigação deve abranger, além da área objeto propriamente dita, ou seja, aquela de propriedade ou de domínio da empresa que causou ou onde se deu a contaminação; todo o seu entorno de interesse, para possibilitar :

- . a delimitação total das fontes de contaminação, como por exemplo a extensão dos depósitos de resíduos, das valas de infiltração de despejos, dos focos de solos contaminados por vazamentos ou outros episódios;

- . a delimitação tridimensional total das plumas de contaminação das águas subterrâneas;

- . a identificação de todos os receptores de risco e usuários dos recursos impactados no entorno.

A localização das sondagens a serem executadas para amostragem e análise de solos deverá ser orientada com base em dados históricos relativos a :

- . manipulação, estocagem e armazenamento de matérias primas, substâncias químicas auxiliares de processo, produtos, resíduos e efluentes;

- . episódios históricos de vazamentos, derramamentos, descarte inadequado de resíduos e infiltração de substâncias químicas;

demais investigações realizadas no local, sobre atividades potencialmente poluidoras, de maneira a contemplar todos os pontos suspeitos de contaminação;

.dados obtidos na investigação confirmatória;

. dados de investigações realizadas por métodos diretos ou indiretos de detecção de contaminação, como geofísica e pesquisa de gases no solo.

Portanto, estas sondagens deverão ser localizadas de maneira a contemplar todos os pontos suspeitos, de tal forma e em tal quantidade que possibilitem a determinação da distribuição espacial tridimensional e a quantificação total de solos contaminados.

As sondagens para amostragem de solos devem ser realizadas em toda a zona insaturada do subsolo, até o lençol freático, com retirada e análise de amostras pontuais, no geral de metro em metro, ou em pontos onde são observados indícios de contaminação, tais como leituras elevadas de concentração de compostos orgânicos voláteis, alterações anômalas de cor, exalação de odores característicos ou presença reconhecida de poluentes.

A rede de poços de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas deverá se basear na hidrogeologia e dinâmica de escoamento das águas subterrâneas no local e propiciar a delimitação total tridimensional de todas as plumas de contaminação de águas subterrâneas, relacionadas aos contaminantes presentes no local e seu entorno.

A investigação detalhada subsidiará :

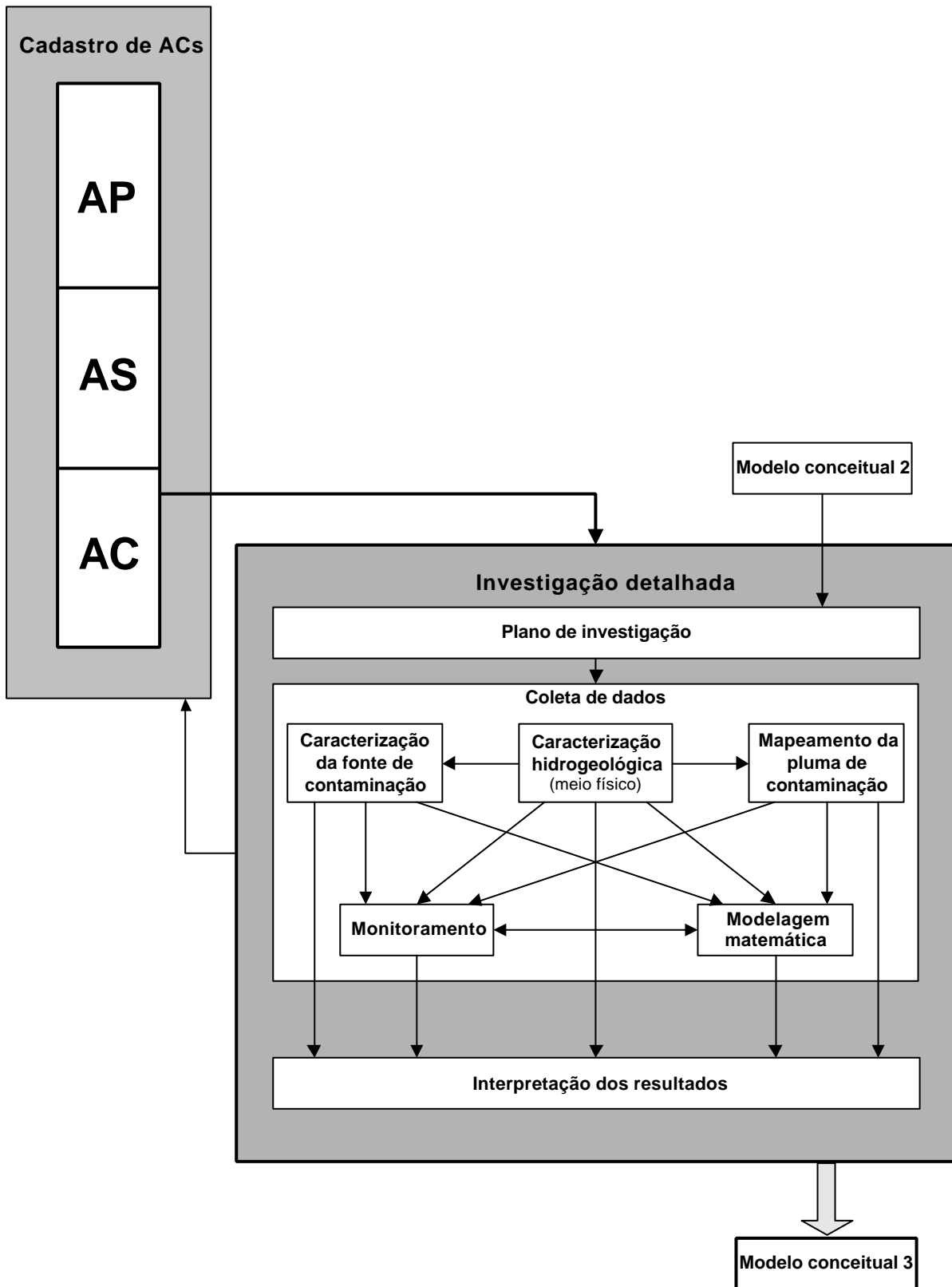
.a avaliação de risco, que será realizada com base nas concentrações de contaminantes observadas no local e na utilização de um modelo de exposição que reflita todas as vias de contaminação, as variáveis reais, condições de contorno condizentes com a problemática, receptores potenciais, taxas de emissão e fatores de atenuação pertinentes e padrões aceitáveis, sob os pontos de vista ambiental e de saúde pública, em função do uso pretendido para a área.

. a tomada de decisão sobre técnicas e cenários de remediação, que deverão restabelecer a qualidade ambiental ou evitar a propagação e absorção de contaminantes por via direta, ou indireta, através da percolação de águas pluviais, através das águas subterrâneas, emissão de vapores e poeiras impregnadas de poluentes e absorção de contaminantes por plantas e outros tipos de alimentos, que podem provocar danos efetivos ou riscos à saúde da população e meio ambiente.

As técnicas de remediação a serem empregadas deverão ser previamente discutidas e aprovadas pelo órgão ambiental, considerando as metas de remediação estabelecidas e prazos para execução.

A metodologia utilizada para realização da etapa de investigação detalhada é constituída basicamente pelas seguintes partes: plano de investigação, coleta de dados na área contaminada e interpretação dos resultados (figura 8000-1).

Figura 8000-1: Etapas da Investigação Detalhada



8100 Plano de Investigação

A partir do modelo conceitual 2, obtido após a execução da etapa de investigação confirmatória, onde são reunidas e interpretadas as informações existentes sobre a área contaminada, são planejados os trabalhos a serem executados na etapa de investigação detalhada.

Nesta etapa deverão ser coletadas novas informações até que se atinja um grau de conhecimento suficiente sobre a extensão e dinâmica da contaminação, no espaço e no tempo.

O plano de investigação pode ser dividido em duas partes principais:

- plano de infraestrutura;
- plano para coleta de dados na área contaminada.

O plano de infraestrutura tem como objetivo principal viabilizar a execução da etapa de investigação detalhada e é semelhante ao descrito no plano de amostragem da etapa de investigação confirmatória. Este plano poderá conter:

- cronograma de atividades de curta, média e longa duração;
- previsão para cumprimento dos requerimentos legais junto ao órgão ambiental ou gerenciador;
- previsão de utilização do orçamento;
- definição do coordenador dos trabalhos e dos profissionais a serem envolvidos;
- plano para a saúde e segurança dos trabalhadores e população e
- plano para ações emergenciais.

Para a elaboração de um plano para coleta de dados devem ser definidos basicamente:

- 1 a área de abrangência a ser considerada nos estudos;
- 2 os meios a serem amostrados;

- 3 as informações e parâmetros a serem levantados;
- 4 o número, a profundidade e a localização dos pontos de amostragem;
- 5 os procedimentos de amostragem, ensaios, preparação de amostras e análises;
- 6 o número de campanhas de amostragem.

Na seqüência são enfocados resumidamente cada um dos itens necessários ao planejamento da etapa de investigação detalhada.

1 Definição da Área de Abrangência dos Estudos

A partir das informações levantadas nas etapas anteriores, inclusive, relativas à avaliação preliminar dos limites físicos da contaminação, características dos contaminantes e do uso do solo no entorno da área objeto de estudo deve ser definida a área que será enfocada na investigação detalhada.

Caso durante a etapa de investigação detalhada novas informações demonstrem que a área contaminada possui dimensões maiores que aquelas apontadas nas fases de investigação precedentes, a área de abrangência dos estudos deverá ser ampliada.

Deverão ser fornecidas informações básicas que caracterizem um diagnóstico ambiental da área de abrangência. Esse diagnóstico deverá contemplar inclusive aspectos legais relevantes à área de interesse que podem determinar algumas peculiaridades aos bens a proteger. Por exemplo, a existência de um curso d'água classe 1.

As escalas de trabalho deverão ser adequadas e todas as plantas utilizadas deverão estar de acordo com as convenções cartográficas vigentes.

2 Definição dos Meios a Serem Amostrados

Na etapa de investigação detalhada todos os meios onde os contaminantes possam se acumular ou serem transportados devem ser amostrados. Desta forma, nesta etapa pode ser necessária a realização de amostragens em vários meios, como por exemplo

os solos, os sedimentos, as rochas, aterros, águas subterrâneas, águas superficiais, águas da zona não saturada (solução do solo), gás do solo, ar atmosférico (em ambientes internos e externos), resíduos, partes de edificações (paredes, pisos), poeiras, animais, vegetação e alimentos de origem animal ou vegetal.

De acordo com as características da área e do contaminante presente, alguns meios podem ser considerados mais importantes. Em geral, na maioria dos casos o solo e as águas subterrâneas são prioritários. Existem, no entanto, casos em que a biota também pode ser relevante.

3 Definição das Informações e Parâmetros a Serem Levantados

Devem ser coletados dados na área contaminada, visando determinar:

- as propriedades do meio físico que governam o transporte dos contaminantes;
- os limites das fontes de contaminação, os tipos e as concentrações dos contaminantes liberados para o meio e presentes nestas fontes;
- a delimitação da contaminação e da distribuição das concentrações dos contaminantes nos meios atingidos.

Para a determinação das propriedades ou parâmetros hidrodinâmicos dos solos e águas subterrâneas, que governam o transporte dos contaminantes, deve ser realizado um estudo geológico e hidrogeológico na área contaminada.

Para determinação destes parâmetros, inicialmente devem ser definidas as unidades hidroestratigráfica presentes.

Posteriormente, de forma tridimensional, devem ser determinados os valores dos parâmetros físicos e hidrodinâmicos para cada uma das unidades identificadas. Os parâmetros a serem levantados são:

- potenciometria (sentidos de fluxo);
- porosidade total;
- porosidade efetiva;

- umidade;
- densidade;
- granulometria;
- permeabilidade;
- condutividade hidráulica;
- curva de retenção de água e
- fração de carbono orgânico.

Deverão ser coletadas amostras de solos e águas subterrâneas e de outros meios considerados importantes para análises químicas, para ser definida a extensão da contaminação.

Devem ser levantados dados a respeito das propriedades dos contaminantes, como os coeficientes de partição entre os vários meios onde os contaminantes podem se concentrar, a sua solubilidade, volatilização, taxa de degradação e reatividade entre outros. Os valores de concentração dos contaminantes deverão ser avaliados conjuntamente com os parâmetros hidrodinâmicos para obter-se a taxa de propagação da contaminação.

Ao contrário da etapa de investigação confirmatória, na etapa de investigação detalhada devem ser selecionados para análises químicas todos os contaminantes que existem ou que possam existir na área, para embasar a realização do estudo de avaliação de risco. Os contaminantes a serem analisados devem ser selecionados a partir do estudo histórico realizado na etapa de avaliação preliminar e nos dados levantados na etapa de investigação confirmatória ou por meio de uma varredura (análise química qualitativa) nos meios amostrados, para os contaminantes mais importantes ou prováveis de serem encontrados.

Para a confecção do plano para coleta de dados na área contaminada é conveniente que se tenha conhecimento dos modelos de transporte de contaminantes e de avaliação de risco que poderão ser utilizados. Este procedimento poderá auxiliar na definição dos parâmetros que devem ser obtidos durante a realização da etapa de investigação detalhada, com vistas a uma futura avaliação de risco.

Na prática, as etapas de investigação detalhada e avaliação de risco podem ser realizadas em conjunto, com a finalidade de economizar recursos e agilizar as etapas do gerenciamento.

4 Definição do Número, Profundidade e Localização dos Pontos de Amostragem

Inicialmente devem ser realizadas sondagens na área e arredores, com a finalidade de descrever as características dos materiais presentes na zona não saturada e saturada, ou seja, definir as unidades hidroestratigráficas da área. Para isto, são realizadas amostragens de solos e instalação de piezômetros ou poços de monitoramento, para realização de ensaios granulométricos e mineralógicos, além da determinação de outros parâmetros hidrodinâmicos e químicos.

A distribuição dos pontos de amostragem, no sentido horizontal, para a caracterização hidrogeológica da área, pode obedecer a esquemas de distribuição direcionado, sistemático ou aleatório.

Para planejar a distribuição dos pontos de amostragem de solos e águas subterrâneas de forma direcionada, os métodos indiretos de investigação, como os métodos geofísicos, podem ser utilizados, inicialmente, para localizar os pontos mais prováveis de estarem contaminados e auxiliar na definição das características geológicas e hidrogeológicas da área.

Em alguns casos pode-se optar por uma distribuição sistemática, estabelecendo-se uma malha de pontos de amostragem. O espaçamento da malha de amostragem para caracterização hidrogeológica depende das características do meio.

Caso a área seja relativamente homogênea, poucas medidas podem ser requeridas para definir as unidades hidroestratigráficas e para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos.

Onde as unidades parecem mudar suas características um número significativamente maior de informações deverá ser levantado, diminuindo-se o espaçamento da malha de amostragem.

Na realização de amostragens em profundidade, se o conhecimento sobre a estratigrafia local é pequeno, deve-se inicialmente retirar amostras contínuas. Após a avaliação das amostras coletadas, pode-se definir os intervalos de amostragem ou as profundidades específicas para as sondagens subsequentes.

Para a delimitação das fontes de contaminação e definição da distribuição dos contaminantes em subsuperfície na área contaminada devem ser realizadas amostragens, que poderão obedecer esquemas de distribuição direcionado ou sistemático. De uma forma geral, como o objetivo principal da etapa de investigação detalhada é definir os limites e intensidades da contaminação, pode-se estabelecer uma estratégia de amostragem onde o posicionamento dos pontos é definido em função do resultado obtido no ponto anterior, partindo-se da região onde foram encontradas altas concentrações dos contaminantes (fontes) para as regiões com baixa concentração ou ausência destes.

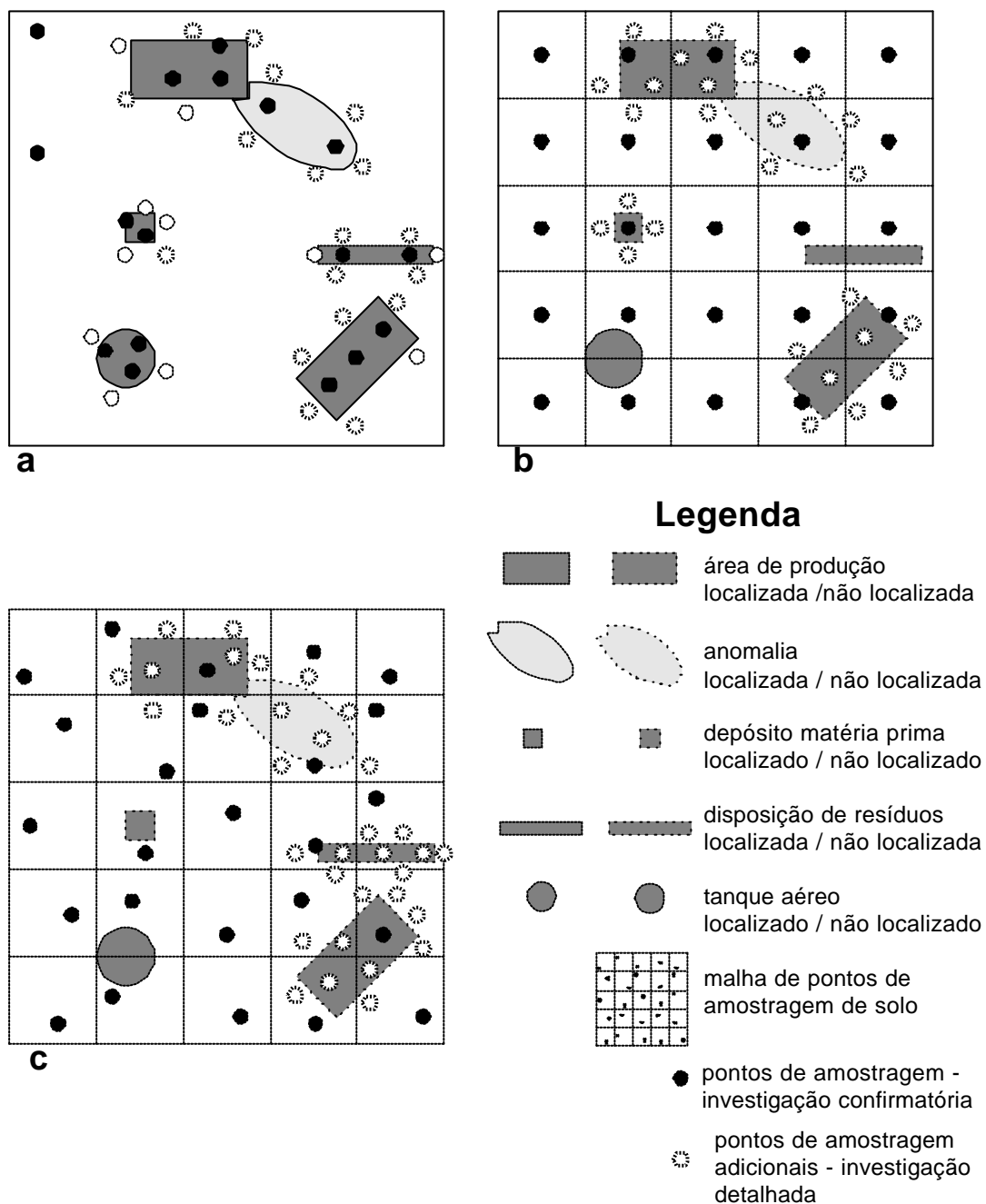
Os métodos indiretos de investigação, especialmente os métodos geofísicos, podem ser muito importantes para auxiliar nesta tarefa, nos casos onde possam ser aplicados.

A aplicação de modelos matemáticos de fluxo e transporte dos contaminantes também podem ser utilizados para a localização de pontos de amostragem, tanto para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, quanto para a delimitação da fonte e distribuição dos contaminantes.

Na figura 8.100-1 é apresentado um exemplo de como definir os pontos de amostragem adicionais na etapa de investigação detalhada, a partir daqueles contemplados na investigação confirmatória. Nota-se a possibilidade de redução do número de pontos a serem amostrados na investigação detalhada, mediante adoção de um esquema direcionado (a partir das informações pré-existentes sobre a área, obtidas

na etapa de investigação confirmatória, desde que em quantidade e qualidade suficientes).

Algumas fontes de contaminação podem não ter sido detectadas, na etapa de investigação confirmatória, necessitando-se, desta forma, da realização de novas investigações para uma caracterização completa da área contaminada na etapa de investigação detalhada. Poderia ser proposta a aplicação de métodos indiretos de investigação nas áreas onde não foram encontradas altas concentrações de contaminantes na etapa de investigação confirmatória, visando detectar os focos de contaminação não identificados anteriormente. Caso sejam encontradas anomalias significativas, novos pontos de amostragem de solo devem ser posicionados.



- **Esquemas de distribuição dos pontos de amostragem**

a: direcionado

b: sistematizado

c: aleatório estratificado

Figura 8.100-1 : Esquemas de distribuição de pontos de amostragem do solo na etapa de investigação detalhada

5 Procedimentos de amostragem, preparação de amostras, e análises

Para determinar as características do fluxo das águas em subsuperfície, isto é, determinar a velocidade e a vazão de fluxo das águas nas zonas não saturada e saturada é necessário quantificar as várias propriedades hidrodinâmicas características dos materiais presentes, realizando-se ensaios nas amostras coletadas durante um programa de amostragem ou ensaios ou medidas feitas em diferentes tipos de equipamentos.

Amostras indeformadas devem ser retiradas para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos em laboratório, por meio de vários tipos de ensaios, como por exemplo a determinação da condutividade hidráulica e permeabilidade em permeâmetros, ensaios para determinação da densidade, curva de retenção de água, porosidade total e efetiva e outros.

Em adição às medidas dos parâmetros em laboratório, várias técnicas “in situ” ou de campo, podem ser utilizadas para estimar alguns parâmetros físicos, como por exemplo, testes de bombeamento e “slug tests” para determinação da condutividade hidráulica e a realização de medidas de potencial hidráulico em poços de monitoramento, visando a confecção de mapas ou seções potenciométricas, necessários para a definição do sentido de fluxo das águas e contaminantes na zona saturada. Tensiômetros podem ser utilizados para determinação deste fluxo na zona não saturada.

Devem ser definidas, também, as formas de coleta, preservação e custódia das amostras coletadas para caracterização química dos meios amostrados, incluindo os métodos analíticos a serem praticados e seus respectivos limites de detecção. Considerando-se que os resultados obtidos para as amostras analisadas devem ser representativos da situação de contaminação efetivamente existente no local, estes aspectos são de fundamental importância.

Orientações a respeito dos procedimentos de investigação, coleta, preservação e análise de amostra de solo e água podem ser obtidas nos capítulos 6100 a 6500 do "Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas", bem como nos "Procedimentos Para Estudo de Passivo Ambiental em Postos de Combustíveis" constante do site WWW.CETESB.SP.GOV.BR no campo "Licenciamento de Postos de Combustíveis".

6 Definição do número de campanhas de amostragem

Na etapa de investigação detalhada várias campanhas de amostragem podem ser necessárias para acompanhamento da propagação dos contaminantes nos meios considerados. Desta forma, deve ser planejado o monitoramento da área, prevendo-se as campanhas de amostragem, cuja frequência dependerá da velocidade de propagação dos contaminantes estimada.

Para o planejamento do monitoramento e estimativa da propagação, podem ser utilizados modelos matemáticos de fluxo e transporte dos contaminantes.

8200 Coleta de Dados

Para a retirada das amostras de solos e águas subterrâneas diferentes métodos de perfuração e amostradores podem ser utilizados, cuja seleção depende dos tipos de materiais presentes em subsuperfície, do tipo de amostra requerida e da utilização posterior do furo da sondagem (instalação de equipamento para amostragem). Além disso, fatores como o acesso ao local e disponibilidade do equipamento devem ser considerados.

As técnicas empregadas foram descritas com detalhes no capítulo 6000 Investigação Confirmatória.

Na etapa de investigação detalhada, vários métodos de perfuração manuais ou mecânicos podem ser utilizados. Em geral, estes métodos podem ser classificados como rotativos ou a percussão. Em alguns casos, para a coleta de amostras indeformadas na zona não saturada pode ser necessária a execução de trincheiras.

Vários tipos de amostradores de solos podem ser utilizados como pás e trados (vários tipos), para retirada de amostras deformadas, e amostradores tubulares de parede fina para a retirada de amostras indeformadas.

Com o intuito de mapear a distribuição dos contaminantes em subsuperfície, devem ser instalados equipamentos de monitoramento, de onde são coletadas amostras para análises físico-químicas das águas.

Os equipamentos devem estar posicionados estrategicamente, visando determinar a qualidade natural das águas (equipamentos de montante) e a influência da fonte de contaminação sobre a qualidade das águas (equipamentos de jusante).

Por exemplo, para avaliar o fluxo de água e contaminantes nas águas subterrâneas, vários tipos de poços de monitoramento podem ser utilizados. Para avaliar as

concentrações de contaminantes na zona não saturada podem ser utilizados lísimetros de sucção e amostradores de drenagem livre.

Para a coleta de amostras de água nas zonas não saturada e saturada devem ser utilizados equipamentos de amostragem, preferencialmente, instalados em diferentes níveis do aquífero (poços de monitoramento tipo “multiníveis”), para obter-se uma quantificação tridimensional do fluxo e qualidade das águas das zona saturada, principalmente em áreas de descarga e recarga.

Para posicionar e definir os tipos de equipamentos de monitoramento ou o tipo de material a ser utilizado para sua construção, devem ser consideradas as características dos contaminantes e a forma como este se encontra em subsuperfície.

Basicamente, os contaminantes podem estar presentes em fase livre, fase dissolvida, fase adsorvida e/ou fase gasosa. Para caracterizar cada uma destas fases, diferentes configurações de equipamentos podem ser utilizados.

8300 Interpretação dos resultados

Os resultados obtidos e os métodos utilizados para atingir-se os objetivos propostos durante a etapa de investigação detalhada, devem ser apresentados em relatório.

Para auxiliar a interpretação dos resultados obtidos durante a execução do monitoramento da área na etapa de investigação detalhada, podem ser utilizados modelos matemáticos de fluxo e transporte dos contaminantes, com o a finalidade de prever a propagação dos contaminantes e, conseqüentemente, futuros riscos ou danos aos bens a proteger.

Como resultado da etapa de investigação detalhada deverá ser obtido um modelo conceitual que será uma representação mais realista da área contaminada investigada, com a representação das características das fontes de contaminação, extensão e taxa de avanço da contaminação e o posicionamento dos bens a proteger.

Estes resultados podem ser representados, por exemplo, em mapas ou blocos tridimensionais de isoconcentração.

Em resumo, o relatório final da etapa de investigação detalhada realizada em uma área contaminada deve incluir no mínimo:

- mapas geológicos regionais e locais;
- locação das fontes de contaminação
- seções e/ou perfis geológicos;
- importância dos aquíferos locais;
- utilização das águas subterrâneas;
- métodos de amostragem;
- métodos de perfuração;
- descrição do material amostrado;
- intervalos de amostragem;

- mapas e seções estratigráficas;
- seções e mapas potenciométricos;
- tabela com os resultados de dados de nível d'água e parâmetros físicos;
- métodos utilizados durante a coleta de dados;
- protocolo de manejo e armazenamento das amostras coletadas;
- localização, descrição e instalação de rede de equipamentos de monitoramento;
- delimitação do volume da fase livre;
- delimitação do volume da fase dissolvida (resultados de análises químicas de água);
- delimitação da fase retida determinada pela amostragem de solo;
- delimitação do volume contendo gases presentes no solo;
- avaliação do avanço da contaminação (monitoramento e modelagem matemática);
- laudos das análises e ensaios realizados;
- concentrações dos contaminantes nos solos abaixo de edificações em geral;
- concentrações dos contaminantes em áreas agrícolas, pecuária e hortas;
- concentrações dos contaminantes em poços para abastecimento, aquíferos importantes, águas superficiais, ar, além de outros meios.

Orientações adicionais sobre a interpretação de resultados pode ser obtida no site WWW.CETESB.SP.GOV.BR no campo "Licenciamento de Postos de Combustíveis".

Na figura 8.300-1 é apresentado um exemplo hipotético, onde são localizados os pontos de amostragem dos solos e águas subterrâneas, que foram utilizados para delimitar as três plumas de contaminação na área contaminada (indústria metalúrgica desativada). Nesta figura é apresentado um mapa potenciométrico, onde o sentido de fluxo das águas subterrâneas é perpendicular as linhas de isopotencial.

A partir da definição da distribuição e taxa de propagação dos contaminantes nas zonas não saturada e saturada e outros meios, pode-se iniciar a etapa seguinte do gerenciamento de áreas contaminadas, ou seja a etapa de avaliação de riscos.

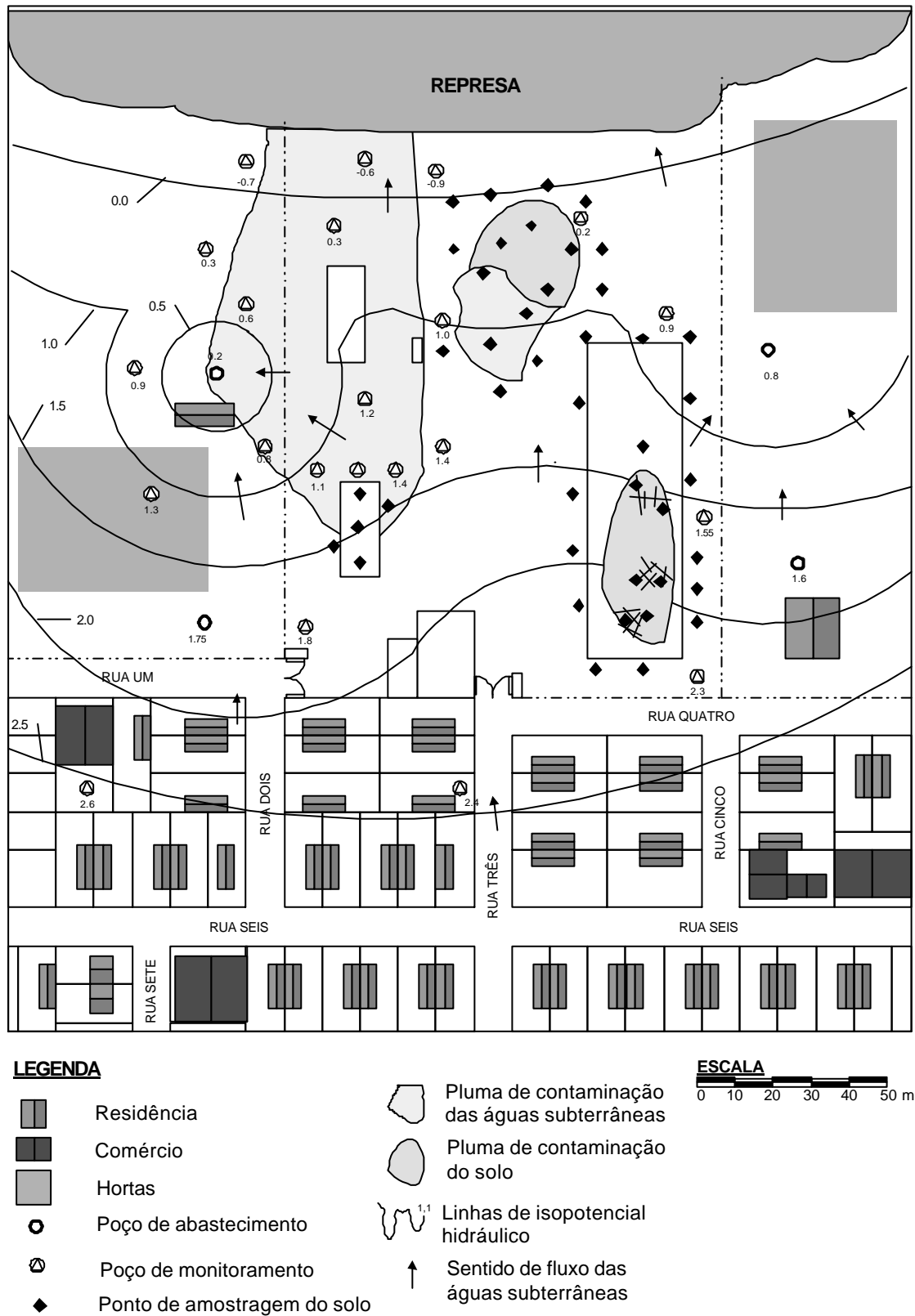


Figura 8.300-1 : Localização dos pontos de amostragem de solo e água subterrânea

8400 Modelagem Matemática do Transporte de Poluentes nas Águas Subterrâneas

1 Introdução

Para se quantificar o fluxo e o transporte de poluentes no solo e nas águas subterrâneas, pode-se utilizar medidas de campo, modelagem física, modelagem elétrica analógica ou modelagem matemática.

A abordagem através de medidas de campo é mais direta e, em geral, mais acurada, porém pouco utilizada com exclusividade, dados os altos custos e longos prazos envolvidos .

Os modelos físicos ou elétricos analógicos foram muito utilizados até a década de 70, através de simulações realizadas em laboratórios de hidráulica.

Com o advento e disseminação do uso de computadores, os modelos matemáticos, os quais utilizam uma equação ou uma série de equações, resolvidas por aproximações numéricas, para simular e prever respostas físico-químicas de um meio poroso sujeito a perturbações, tais como poços de extração ou injeção e migração de contaminantes, passaram a ser desenvolvidos e utilizados em maior escala .

Os modelos matemáticos de fluxo e transporte apresentam muitas aplicações, a saber:

- compreensão e previsão de fenômenos de fluxo e transporte de poluentes em sistemas aquíferos;
- delineamento de áreas de proteção de poços;
- definição de pontos para coleta de dados de campo e avaliação de dados existentes;
- seleção e avaliação de alternativas de remediação em um local contaminado .

Cabe ressaltar que os modelos matemáticos ampliam nossa base de informações, mas não produzem respostas definitivas, uma vez que fornecem uma versão simplificada de um fenômeno que freqüentemente 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 .

A simulação do transporte de poluentes envolve três etapas, sendo que para cada uma delas foram desenvolvidos vários modelos, a maioria deles com estrutura determinística, ou seja, relacionando causa e efeito de maneira exata, com base em parâmetros determinísticos:

- determinação da distribuição da carga hidráulica;
- determinação do fluxo e
- determinação do transporte de poluentes .

Qualquer que seja o caso, os modelos matemáticos existentes apresentam, cada um, o seu campo de aplicação e de validade, sendo que a sua utilização implica nos seguintes passos :

- definição do problema;
- coleta de dados;
- seleção de um modelo matemático adequado;
- construção do modelo com base nos dados coletados;
- calibração e validação;
- análise de sensibilidade;
- previsão e
- visualização .

Atualmente estão disponíveis no mercado os chamados “software de modelagem visual”, que possuem interfaces gráficas integradas, as quais possibilitam a utilização integrada dos modelos em linguagem amigável e acessível, com fácil entrada e modificação de dados, calibração integrada e possibilidade de visualização gráfica dos resultados .

As propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, incluindo os mecanismos de transporte de poluentes, são determinadas pelo processo geológico de formação e dependem fortemente dos tipos de minerais constituintes, de sua forma, granulometria e estrutura; do teor de umidade; dos processos eólicos; do regime pluviométrico; da radiação solar; bem como das atividades antropogênicas. Em um mesmo local de formação, um mesmo tipo de solo pode apresentar grandes variações, mesmo considerando pequenas distâncias. O processo de deposição ou formação das camadas constituintes do subsolo também influi no transporte de poluentes.

No momento em que um contaminante atinge a superfície do solo; ele pode ser transportado, pela ação do vento ou das águas do escoamento superficial; ou lixiviado, pelas águas de infiltração, sendo adsorvido, alterado quimicamente, ou degradado pela ação de microorganismos, passando para as camadas inferiores do subsolo e atingindo as águas subterrâneas.

Na zona insaturada do subsolo, os contaminantes estão particionados em: fase própria, denominada fase líquida não aquosa; fase gasosa, resultante da volatilização; fase adsorvida nos grãos do solo e fase dissolvida na água intersticial, denominada fase líquida aquosa . Nesta zona, podem ocorrer os processos de volatilização, advecção, dispersão, adsorção ou decaimento.

A volatilização representa o particionamento do contaminante entre as fases líquida e gasosa, sendo função da pressão de vapor deste contaminante e de sua solubilidade em água.

A advecção representa o escoamento ou percolação do contaminante através do solo. O escoamento é multifásico, envolvendo as fases líquidas aquosa e não aquosa.

A dispersão corresponde a soma dos efeitos de dispersão mecânica e de difusão molecular. A dispersão mecânica ocorre em função da não uniformidade do campo de velocidades através dos poros, que causa o espalhamento com intensidades distintas, em todas as direções. A difusão ocorre nas fases gasosa, líquida aquosa e líquida não aquosa. A difusão das fases líquidas, aquosa e não aquosa, ocorre com a mesma

ordem de magnitude, cerca de dez mil vezes menor que a ordem de magnitude da difusão da fase gasosa.

A adsorção representa o particionamento do contaminante entre as fases dissolvidas na água intersticial e adsorvidas nos grãos do solo, que ocorre através de mecanismos ainda não totalmente compreendidos. Este particionamento é matematicamente descrito por expressões denominadas isotermas de sorção, as quais podem ser obtidas experimentalmente.

O decaimento representa a redução de concentração de contaminante ao longo do tempo, devido a reações de decomposição química ou degradação biológica.

Dependendo das propriedades dos contaminantes, incluindo sua densidade, pressão de vapor, solubilidade em água, coeficiente de partição de carbono orgânico e meia-vida no solo, estes podem, a partir da zona insaturada, retornar à atmosfera, através da volatilização; ficarem retidos nesta zona, por adsorção, ou passarem para as águas subterrâneas, na zona saturada.

Uma vez atingindo a zona saturada, os contaminantes estarão sujeitos aos processos de advecção, dispersão hidrodinâmica, adsorção e decaimento, sendo, então, transportados para outras regiões, através dos fluxos advectivo e difusivo.

2 Equações que Regem o Escoamento na Zona Saturada e o Transporte de Massa

2.1 Equação do Escoamento das Águas Subterrâneas na Zona Saturada

A equação diferencial, transiente e tridimensional, para a obtenção da distribuição de cargas na zona saturada, em um aquífero heterogêneo e anisotrópico, obtida a partir da aplicação do Princípio da Conservação de Massa e da Lei de Darcy, é a seguinte:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) +$$

$$W(x,y,z,t) = S_s \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

onde :

x, y e z - direções principais do escoamento;

H - carga total (L);

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} - componentes principais do tensor de condutividade hidráulica ($L.T^{-1}$);

t - tempo (T);

S_s - coeficiente de armazenamento específico (L^{-1});

$W(x,y,z,t)$ - fontes ou sumidouros de água ($L^3 \cdot T^{-1} \cdot L^{-3}$).

A equação (1) pressupõe que os eixos do sistema de coordenadas retangulares coincidem com as direções principais do tensor de condutividade hidráulica.

Para que possa ser resolvida, faz-se necessária a definição das condições de contorno e de uma condição inicial, ou seja, para o instante $t=0$, caso contrário, o problema ficará indeterminado.

As condições de contorno utilizadas nos problemas de fluxo de águas subterrâneas podem ser :

- do primeiro tipo ou de Dirichlet, onde a carga é especificada no contorno (constante ou função do espaço e/ou do tempo);
- do segundo tipo ou de Neumann, onde o fluxo é especificado no contorno;
- do terceiro tipo ou de Cauchy, uma combinação das duas anteriores.

2.2 Equação do Transporte de Massa

A equação diferencial, parcial, transiente e tridimensional que descreve o transporte de um constituinte dissolvido na água subterrânea, em um meio heterogêneo e anisotrópico, num sistema de coordenadas cartesianas, pode ser expressa como :

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (V_x C) + \frac{\partial}{\partial y} (V_y C) + \frac{\partial}{\partial z} (V_z C) = \\ \frac{\partial}{\partial x} (D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \\ \frac{\partial}{\partial x} (D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{yx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x} (D_{xz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \\ \frac{\partial}{\partial z} (D_{zx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{yz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{zy} \frac{\partial C}{\partial y}) + \\ \sum_{k=1}^M \frac{q_{sk}}{n_{ef}} C_{sk} + \sum_{k=1}^N R_k \end{aligned} \quad (2)$$

onde:

C - concentração do constituinte dissolvido na água subterrânea ($M.L^{-3}$);

t - tempo (T);

V_x, V_y, V_z - velocidades de percolação nas direções dos respectivos eixos de coordenadas cartesianas ($L.T^{-1}$);

D_{ij} - componentes do tensor de dispersão hidrodinâmica ($L^2.T^{-1}$);

q_{sk} - fluxo volumétrico de água por unidade de volume do aquífero representando fontes(positivo) e extrações(negativo) (T^{-1});

C_{sk} - Concentração do constituinte em fontes e extrações ($M.L^{-3}$);

n_{ef} - porosidade efetiva do solo;

$\sum_{k=1}^N R_k$ - termo adicional devido à reações ($M.T^{-1}.L^{-3}$).

Os termos em V_x, V_y e V_z representam o fluxo advectivo, ou seja, o transporte devido ao escoamento das águas subterrâneas, sendo as velocidades de percolação determinadas a partir da distribuição de cargas hidráulicas fornecida pela equação (1).

Os termos em D_{ij} representam a dispersão hidrodinâmica, a qual corresponde a soma dos efeitos de dispersão mecânica e de difusão molecular.

Na equação (2), a dispersão hidrodinâmica é descrita por nove componentes, uma vez que, em geral, as direções principais para o tensor de dispersão hidrodinâmica não coincidem com as direções principais do escoamento.

Se escolhermos, entretanto, um sistema de coordenadas de modo que um dos eixos (o eixo x , por exemplo) coincida com a direção da velocidade média V , para esta posição, os nove componentes do tensor de dispersão hidrodinâmica D_{ij} reduzem-se somente aos três valores principais D_{xx}, D_{yy} e D_{zz} , os quais podem ser expressos pelas seguintes equações:

$$D_{xx} = \alpha_L \cdot V + D_m \cdot \tau \quad (3)$$

$$D_{yy} = \alpha_{TH} \cdot V + D_m \cdot \tau \quad (4)$$

$$D_{zz} = \alpha_{TV} \cdot V + D_m \cdot \tau \quad (5)$$

onde :

α_L – dispersividade longitudinal (L);

α_{TH} – dispersividade transversal na direção de y (L);

α_{TV} – dispersividade transversal na direção de z (L);

D_m - coeficiente de difusão molecular ($L^2.T^{-1}$) e

τ - tortuosidade do meio.

Admitindo-se, ainda, que as únicas reações envolvidas são a sorção (linear ou não linear) e o decaimento de primeira ordem, a equação (II) pode ser rescrita da seguinte maneira:

$$\left(1 + \frac{\rho_b}{n_{ef}} \frac{\partial S}{\partial C} \right) \frac{\partial C}{\partial t} = \sum_{k=1}^M \frac{q_{sk}}{n_{ef}} C_{sk} - I \left(C + \frac{\rho_b S}{n_{ef}} \right) -$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (V_x C) - \frac{\partial}{\partial y} (V_y C) - \frac{\partial}{\partial z} (V_z C) +$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z}) \quad (6)$$

onde:

S - concentração de constituinte adsorvido ($M.M^{-1}$);

ρ_b - densidade aparente do solo ($M.L^{-3}$);

I - constante de decaimento de primeira ordem (T^{-1}).

Os componentes do tensor de dispersão hidrodinâmica D_{xx} , D_{yy} e D_{zz} podem ser expressos pelas equações (3), (4) e (5).

As relações entre S e C são descritas pelas isotermas de sorção, sendo que as mais utilizadas, em problemas de contaminação de águas subterrâneas, são as isotermas de Langmuir, de Freundlich e Linear.

A isoterma de Langmuir é expressa como :

$$S = \frac{\alpha\beta C}{1 + \alpha C} \quad (7)$$

onde :

α - Constante de Langmuir ($L^3.M^{-1}$)

β - máxima concentração de constituinte adsorvido, correspondente ao ponto de saturação ($M.M^{-1}$).

A isoterma de Freundlich é expressa como:

$$S = K. C^n \quad (8)$$

onde :

K - coeficiente de partição não linear ($L^3.M^{-1}$)ⁿ;

n – expoente que pode ser inferior ou superior a 1.

A isoterma de sorção linear é expressa como :

$$\frac{\partial S}{\partial C} = K_d \quad (9)$$

onde :

K_d - coeficiente de partição de primeira ordem ($L^3.M^{-1}$).

Para valores baixos de concentração, a isoterma de sorção linear constitui uma boa aproximação.

O coeficiente de partição de primeira ordem pode ser obtido através de experimentos de laboratório, de experimentos de campo ou através da seguinte relação empírica:

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc} \quad (10)$$

onde:

K_{oc} - Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico ($L^3.M^{-1}$) e

f_{oc} - fração de carbono orgânico do solo.

O decaimento depende das propriedades do contaminante. Na prática, observa-se, entretanto, que muitas reações abióticas e de biodegradação ocorrem de acordo com uma cinética de primeira ordem.

Os valores das constantes de decaimento de primeira ordem das fases dissolvida e adsorvida são distintos. Entretanto, na prática, por simplicidade ou por falta de dados, considera-se que estas constantes são iguais, ou que a constante de decaimento de

primeira ordem da fase adsorvida é uma fração da constante de decaimento de primeira ordem da fase.

A constante de decaimento de primeira ordem pode ser estimada com base na relação (WATERLOO HYDROGEOLOGIC DO BRASIL, 1998):

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad (11)$$

onde

$T_{1/2}$ – meia vida do contaminante (T).

O transporte de contaminantes no solo e nas águas subterrâneas constitui uma área de pesquisa ativa, sendo que novas formas de resolução do problema surgem regularmente na literatura. Mesmo assim ainda existem algumas questões, cujas respostas ainda não são consideradas totalmente satisfatórias, sobretudo no que se refere às teorias relativas às reações químicas e de dispersão, o que confere um grau de incerteza nas soluções obtidas na prática.

3. Solução das Equações do Escoamento na Zona Saturada e do Transporte de Massa

As equações diferenciais apresentadas nos itens anteriores só podem ser resolvidas analiticamente para casos simplificados, envolvendo condições de contorno específicas e hipóteses de homogeneidade.

Em muitos casos, na prática, são empregadas soluções numéricas, por meio de modelos numéricos, constituídos por uma série de equações algébricas, geradas por aproximação da equação diferencial.

Os modelos numéricos existentes utilizam métodos de diferenças finitas ou métodos de elementos finitos.

Com o advento e disseminação dos computadores pessoais, muitos modelos computacionais foram desenvolvidos, para manejo da enorme variedade de tipos de aquíferos e combinações físico-químicas encontradas no campo e muitos livros e artigos já foram escritos sobre a questão. Hoje, modelos avançados e pacotes gráficos estão disponíveis. Estes modelos apresentam uma estrutura determinística, relacionando causa e efeito de maneira biunívoca e atribuindo características determinísticas aos parâmetros físico-químicos dos aquíferos.

4 Modelos Computacionais para Simulação do Escoamento na Zona Saturada e Transporte de Massa

Dentre os modelos computacionais disponíveis, para simulação do escoamento e transporte de constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas, na zona saturada,

destacam-se os seguintes, por serem mais amplamente documentados e largamente utilizados com computadores pessoais: Aquifem; 3DFEMFAT; Femwater; Flownet/Trans; GMS; Micro-Fem; MOC; MOCDense; Modflow; Modpath; MT3D; RT3D ; Visual Moddflow.

Aquifem é um modelo bidimensional de elementos finitos, desenvolvido por Townley e Wilson em 1980, para simulação do escoamento das águas subterrâneas em regimes estacionário e transitório. Utiliza um sistema de elementos triangulares, para representar a geometria do aquífero, que possibilita a construção de modelos conceituais com uma boa representação de condições singulares, tais como as zonas de captação de poços. Apresenta uma estrutura flexível para entrada de dados, incluindo a distribuição espacial das propriedades do aquífero e condições de contorno. Possui uma característica inerente aos modelos de elementos finitos, que é a estabilidade numérica.

3DFEMFAT é um modelo tridimensional de elementos finitos, para simulação do escoamento e transporte de massa nas zonas saturada e insaturada, incluindo escoamentos dependentes da densidade. Trata-se de um dos mais completos e flexíveis modelos de fluxo e transporte, pois é aplicável a uma grande variedade de situações e problemas apresenta a estabilidade numérica inerente aos modelos de elementos finitos, mas requer o emprego do modelo Femwater, para pré-processamento de dados (geração da malha de discretização constituinte do modelo conceitual do aquífero) e pós-processamento de dados (visualização de resultados).

Femwater é um modelo tridimensional de elementos finitos, para simulação do escoamento e transporte de massa nas zonas insaturada e saturada, incluindo os casos de regimes dependentes da densidade. Apresenta uma interface gráfica, para entrada de dados e visualização de resultados, que facilita o seu emprego.

Flownet/Trans é um modelo bidimensional de elementos finitos, para simulação do escoamento e transporte de massa em regime. Foi desenvolvido para determinação de seções transversais do escoamento e transporte de massa, em situações tais como o escoamento através de barragens de terra e em zonas de captura de trincheiras drenantes. Também apresenta uma interface gráfica para entrada de dados e visualização de resultados.

O modelo Groundwater Modeling System – GMS, do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, é o mais sofisticado e completo dentre os modelos atuais de fluxo e transporte. Trata-se de um integralizador de modelos bidimensionais e tridimensionais de escoamento e transporte, de elementos finitos e de diferenças finitas, incluindo os modelos Modflow, Modpath, MT3D, RT3D, Femwater e GMS - Geostatistics, o qual possibilita a simulação do escoamento e transporte de massa nas zonas insaturada e saturada, incluindo os regimes dependentes da densidade. Possibilita, ainda, a realização de análises geoestatísticas, pois o GMS-Geostatistics é um modelo de interpolação, para simulação da distribuição espacial de dados em duas ou três dimensões, com um grande número de métodos de interpolação, possibilitando a obtenção de bons resultados, independentemente da situação que se deseja representar.

Micro-Fem é um modelo tridimensional de elementos finitos, para simulação do escoamento das águas subterrâneas, em regime estacionário e transitório. Pode ser aplicado na simulação do escoamento de múltiplos aquíferos, até um número máximo de 16, incluindo aquíferos confinados, semi-confinados ou aquíferos freáticos. Trata-se de um dos modelos de elementos finitos mais utilizados pelas agências ambientais, universidades e empresas de consultoria, por sua capacidade, flexibilidade e facilidade de utilização.

MOC é um modelo bidimensional de diferenças finitas, para simulação do fluxo e transporte de massa em regimes estacionário e transitório. Considera os fenômenos de advecção, dispersão hidrodinâmica, sorção e reações químicas com cinética de ordem zero e primeira ordem. Admite que o fluxo não é afetado por variações de densidade, viscosidade ou temperatura.

MOCdense é um modelo bidimensional de diferenças finitas para simulação do fluxo e transporte de massa em regimes estacionário e transitório dependentes da densidade do fluido. Também considera os fenômenos de advecção, dispersão hidrodinâmica, sorção e reações químicas com cinética de ordem zero e primeira.

Modflow é um modelo tridimensional de diferenças finitas, para simulação do escoamento em regimes estacionário e transitório, desenvolvido por Mc Donald e Harbaugh em 1988, para o United States Geological Survey-USGS. Apresenta uma estrutura modular, com um programa principal e várias sub-rotinas independentes, o que favorece o seu aprimoramento, uma vez que novos módulos podem ser adicionados sem a necessidade de alteração daqueles existentes. Devido a sua habilidade para simular uma grande variedade de sistemas aquíferos, facilidade de integração com modelos de transporte, freqüente atualização pela United States Geological Survey-USGS e extensiva publicidade e documentação, é o mais amplamente utilizado dentre os modelos de diferenças finitas. É reconhecido e aceito por cortes de justiça, agências ambientais, universidades, empresas de consultoria e indústrias.

Modpath é um modelo tridimensional, desenvolvido por Pollock em 1989, para determinação das trajetórias de partículas imaginárias de água, se movendo através de um sistema aquífero, a partir da simulação do escoamento em regime estacionário ou transitório realizada pelo modelo Modflow. Através da definição cuidadosa do local e tempo de início da trajetória a ser determinada, é possível a realização de vários tipos de análise do fluxo simulado, como por exemplo delinear áreas de captura de poços ou áreas de recarga. Como entradas para o Modpath incluem-se dados de saída do Modflow, porosidades do sistema aquífero, pontos e tempos de partida das partículas.

MT3D é um modelo tridimensional para simulação da advecção, dispersão, sorção e reações químicas de um constituinte dissolvido nas águas subterrâneas. Foi originalmente desenvolvido por C. Zheng e S.S. Papadopoulos, para ser utilizado em conjunto com modelos de diferenças finitas de fluxo, tal como o Modflow. Admite, como reações químicas, a sorção linear ou não linear e o decaimento de primeira ordem para as fases adsorvida e dissolvida. Devido à sua extensiva documentação e constante atualização, é bastante utilizado, sendo reconhecido e aceito por cortes de justiça, agências ambientais, universidades, empresas de consultoria e indústrias.

RT3D é uma evolução do modelo MT3D, para simulação da advecção, dispersão, sorção e reações químicas de multi-espécies dissolvidas nas águas subterrâneas. Apresenta um número bem maior de possibilidades quanto às hipóteses adotadas para os regimes de sorção e demais reações químicas.

Visual Modflow é um modelo computacional que integra as versões mais atualizadas dos modelos Modflow, Modpath, MT3D e RT3D. A última versão do Visual Modflow inclui, também, o programa WinPEST, para calibração automática. Por sua praticidade de aplicação e ampla divulgação, é bastante utilizado, para aplicação de modelos de diferenças finitas, sendo aceito por agências ambientais, universidades, empresas de consultoria e indústrias.

5 Etapas Envolvidas na Simulação do Escoamento e Transporte de Massa

O escoamento e o transporte de massa nas águas subterrâneas, na zona saturada, são matematicamente simulados, no caso de um aquífero específico, por meio de uma malha de discretização espacial, constituída de células, organizadas horizontalmente em linhas e colunas e verticalmente em camadas, a qual constitui o chamado modelo conceitual do aquífero. Este modelo procura representar as condições verificadas em campo, quanto à geologia, hidrogeologia, topografia, hidrografia e condições de contorno. Na prática, é, em geral, de pequena escala, fazendo-se necessário o estabelecimento de condições locais, a partir de condições regionais, obtidas em uma escala maior.

Para a simulação do escoamento e transporte de massa, por meio de modelos computacionais, fazem-se necessários:

- formulação do modelo conceitual do aquífero, com base nas informações obtidas para a área de estudo (geografia, topografia, geologia, hidrogeologia e histórico de utilização); na série de dados obtidos através de campanhas de amostragem e análise de solos e águas subterrâneas; na estimativa inicial dos parâmetros característicos do subsolo e dos contaminante e na definição das condições de contorno e das condições iniciais;
- solução da equação de escoamento, para determinação da distribuição de cargas hidráulicas e velocidades, mediante calibração do modelo de escoamento;
- definição temporal de fontes de contaminação e
- determinação do transporte advectivo e difusivo de massa, a partir da distribuição de velocidades previamente calculada e com base nas características do aquífero, fontes de contaminação e propriedades dos contaminantes; mediante calibração do modelo de transporte.

6 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo compreende :

- Caracterização Geográfica

- localização das instalações e dos principais elementos de referência geográfica;
- limites da área de investigação;
- curvas de nível do terreno;
- linhas equipotenciais do lençol freático, obtidas por medições de nível;
- cursos d'água e outros elementos que possam servir como condições de contorno para o modelo conceitual.

- Caracterização Hidrometeorológica

A partir dos dados da estação hidrometeorológica mais próxima da área de estudo obter os valores médios mensais de precipitação e evaporação potencial

- Caracterização do Subsolo

- Caracterização geológica regional e local;
- Caracterização hidrogeológica regional e local;
- Sondagens de reconhecimento para determinação das diferentes camadas constituintes do subsolo;
- Realização de ensaios para determinação das propriedades que influem no transporte de poluentes

- Caracterização da Fonte de Contaminação

- Localização geográfica de instalações;
- Contaminantes envolvidos;
- Histórico das ocorrências;
- Descrição do tipo da fonte (descarte de resíduos, infiltração de contaminantes, vazamento de tanques, etc.)

- Caracterização da Contaminação

Realização de investigação para :

- caracterização hidrogeológica da área;

- execução de sondagens a trado, para amostragem de solos;
- construção de poços de monitoramento das águas subterrâneas;
- amostragem de solos e águas subterrâneas para análise dos contaminantes envolvidos;
- delimitação tridimensional total das plumas de contaminação do solo e das águas subterrâneas, em pelo menos dois períodos diferentes, para possibilitar a calibração do modelo.

7.Etapas da Modelagem

- Seleção de Modelos Computacionais

Os modelos matemáticos e computacionais utilizados devem ser selecionados dentre aqueles disponíveis, com aplicação para a simulação do transporte de contaminantes dissolvidos nas águas subterrâneas.

- Formulação do Modelo Conceitual do Aquífero

A partir das informações obtidas sobre a área de estudo, incluindo a geografia, a geologia, a hidrogeologia, a topografia e a hidrografia, deve ser realizada a formulação do modelo conceitual do aquífero.

Os dados disponíveis devem ser preparados de acordo com as formas de entrada requeridas pelos modelos computacionais, em arquivos eletrônicos contendo informações sobre :

- topografia do terreno;
- localização dos elementos de referência geográfica, incluindo aqueles que constituem as condições de contorno adotadas no modelo conceitual (corpos de água, divisores de fluxo das águas subterrâneas, etc.);
- localização dos poços de monitoramento do aquífero freático e
- linhas equipotenciais do lençol freático, obtidas a partir das medições de nível d'água.
- cotas das bases das camadas litoestratigráficas representadas no modelo conceitual;

A malha de discretização que representa o modelo conceitual do aquífero deve ser constituída com base nas orientações fornecidas pelo manual do usuário do *software*, para o número e dimensões iniciais de células.

- Calibração do Modelo de Escoamento

A calibração do modelo de escoamento deve ser realizada a partir da reprodução aproximada da situação conhecida de distribuição de cargas hidráulicas, obtida em medições de nível de água realizadas em diferentes períodos nos poços de monitoramento instalados no local.

- Calibração do Modelo de Transporte

Concluída a calibração do modelo de escoamento, deve-se proceder a calibração do modelo de transporte de contaminantes mediante reprodução de pelo menos duas situações conhecidas de distribuição de contaminantes em períodos distintos.

8. BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, M. P. ; WOESSNER, W. **Applied Groundwater Modeling** - Simulation of Flow and Advective Transport. San Diego, Academic Press, 1992. 381p.

BEAR, J. **Dynamics of Flow in Porous Media**. s.l. Elsevier, 1972. n. p.

BERG, P. Long-term Simulation of Water Movement in Soils Using Mass-conserving Procedures. Advances in Water Resources, vol. 22 , n. 5, January, 1999.

BITTON, G. ; GERBA, C. P. **Groundwater Pollution Microbiology**. New York. John Wiley & Sons Inc, 1984, 377p.

BOULDING, J. R. **Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and Groundwater Contamination** - Assessment, Prevention and Remediation. Boston. Lewis Publishers, 1995. 948p.

BOUWER, H . **Groundwater Hydrology**. Tókyo, Mc Graw Hill, 1978; 480 p. (Mc Graw Hill Séries in Water Resources and Environmental Engineering).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Legislação Estadual de Controle da Poluição**. São Paulo, CETESB, 1995a. n.p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Legislação Federal de Controle da Poluição**. São Paulo, CETESB, 1995b. n.p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade e de Intervenção para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo** - Relatório Final. São Paulo, CETESB, 2000. n.p.

- CLEMENT, T. P. et al. Modeling Multispecies Reactive Transport in Groundwater. **Groundwater Monitoring and Remediation**. Spring, 1998.
- EIGER, S. **Hidrodinâmica do Escoamento em Meios Porosos**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-EPUSP, 1996a. (Apostila do Curso de Pós-graduação ministrado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária).
- EIGER, S. **Transporte de Poluentes em Meios Porosos**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-EPUSP, 1996b. (Apostila do Curso de Pós-graduação ministrado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária).
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-EPA. Robert S. Kerr Environmental Research Center. **MT3D, a Modular Three Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems**. Oklahoma, EPA, 1990. n.p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- EPA. Office of Solid Waste and Emergency Response. **“Soil Screening Guidance : Technical Background Document”**. Washington DC, EPA, 1996. 355p. (EPA/540/R-95/128. PB96-963502).
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-EPA. Robert S. Kerr Environmental Research Center-Center for Subsurface Modeling Support. **Groundwater and Vadose Zone Models**. s.l. , EPA, 1999. [On line]. <<http://www.epa.gov/ahaazvuc/models.html>>. [10 de março de 2000].
- FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. New Jersey, Prentice Hall, 1994. 691p.
- FETTER, C. W. **Contaminant Hydrogeology** . New Jersey, Prentice Hall, 1999. 500p.
- FREEZE, R. ; CHERRY, J. **Groundwater**. s.l., Prentice-Hall,1994. n.p.
- GELHAR, L. W. ; WELTY, C. ; REHFELDT, K. R. A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers. **Water Research**, vol.28, n.7, july 1992, p. 1955-1974.
- GRIBB, M. Solution of Groundwater Flow Problems with General Purpose and Special Purpose Computer Codes. **Groundwater : Journal of Association of Groundwater Scientists & Engineers**, vol.36, n.2, march-april, 1998. n.p.
- HANED, M. ; BEDIANT, P. ; DAWSON, C. **Probabilistic Modeling of Aquifer Heterogeneity Using Reliability Methods**. *Advances in Water Resources*, vol. 19 , n. 5, October, 1996, n.p.
- HARBAUGH, A. W. ; MC DONALD, M. G. User’s Documentation for Modflow 96 - **Update to the U. S. Geological Survey Modular Finite-Diference Groundwater**

- Flow Model. U. S. Geological Survey, Reston, 1998. n.p. (U. S. Geological Survey Open Fate Report).**
- LANDMEYER, J. E. et al. **Assesment of Natural Attenuation of Aromatic Hydrocarbons in Groundwater near a Former Manufactured Gas Plant, South Caroline, USA.** Environmental Geology : **International Journal of Geosciences**, vol. 34, n. 4, June, 1998. n.p.
- LEAKE, S. A. et al. Assigment of Boundary Conditions in Embedded Ground Water Flow Models. **Groundwater** : Journal of Association of Groundwater Scientists & Engineers, Vol.36, n.4, july-august, 1998. n.p.
- MICROMEDEX, Tomes plus. 1999, u.39.(CD-1-800-525-9083). [17 de março de 2000].
- MILLER, C. T. et al. **Multiphase Flow and Transport Modeling in Heterogeneous Porous Media, Challenges and Aproaches.** Advances in Water Resources, vol. 21, n. 2, March, 1998. n. p.
- MOORE, J. W. et al. Organic Chemicals in Natural Waters. **New York, Springer-Verlag, 1984. 289 p.**
- OSNES, H. ; LANGTANGEN, H. P. **An Efficient Probabilistic Finite Element Method for Stochastic Groundwater Flow.** Advances in Water Resources, vol. 22, n. 2, October, 1998. n. p.
- PALMER, C. M. **Principles of Contaminant Hydrogeology.** New York. Lewis Publishers, 1996. 235 p.
- PIGGOT, A. R. **Publicly Accessible Software for Groundwater Modeling and Analysis.** Computer & Geosciences : **International Journal of the International Association for Mathematical Geology**, vol. 25, N. 4, May, 1999;
- ROCCA, ALFREDO C. C; "**Simulação Matemática do Escoamento e Transporte de Poluentes no Aquífero Freático em Uma Área Industrial Contaminada**"; Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2000.
- SCIENTIFIC SOFTWARE GROUP.** Groundwater Software. s.l. , **Scientific Software Group, 1999.** [on line]. <[Http://www.scisoftware.com](http://www.scisoftware.com)> . [17 de março de 2000].
- SUTHERSAN, S. S.** Remediation Engineering-Design Concepts. New York., Lewis, 1996. 364 p. (Geraghty & Miller Environmental Science and Engineering Séries).
- VERSCHUEREN, K. **Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals.** New York, Van Nostrand-Reinhold,1983. 1310 p.

WATERLOO HYDROGEOLOGIC DO BRASIL. Modelagem Matemática de Fluxo e Transporte de Poluentes em Águas Subterrâneas. **São Paulo, Waterloo Hydrogeologic do Brasil, 1998. (Material didático de curso realizado em São Paulo, em 1998).**

WORD HEALTH ORGANIZATION-WHO. Guidelines for Drinking Water. s.l., WHO, 1984. n.p.

WINGLE, W. L. et al. UNCERT- Geostatistic Uncertainty Analysis and Visualization Software Applied to Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling. Computer & Geosciences : International Journal of the International Association for Mathematical Geology, vol. 25, n. 4, May, 1999. n. p.

WINSTON, R. Modflow : Related Freeware and Shareware Resources on the Internet. Computer & Geosciences : International Journal of the International Association for Mathematical Geology, vol. 25, n. 4, May, 1999. n.p.

10000 **Investigação para Remediação**

1. Introdução

A constatação, pelo órgão ambiental competente, de que uma determinada área contaminada representa um risco para a saúde humana e segurança pública, a partir dos resultados de um estudo de investigação detalhada e avaliação de risco, constitui o ponto de partida para a definição da concepção da remediação, com vistas ao uso pretendido para a área.

É essencial estabelecer uma solução de remediação para cada situação de contaminação que represente risco, constatada em uma área.

O plano de remediação a ser definido para uma área deve contemplar o objetivo e o escopo da remediação, em função do bem a proteger, do uso previsto ou permitido pela lei, da situação no local e demais condicionantes.

O responsável pela área, ou seus representantes legais, propõem um plano de remediação, descrevendo as ações remediadoras que consideram adequadas (plano proposto) e o órgão ambiental competente avalia, revê (caso necessário) e aprova o plano (plano harmonizado).

Para a elaboração e detalhamento do plano de remediação faz-se necessária uma investigação complementar que passaremos a chamar de investigação para remediação.

A finalidade da investigação para remediação é, por conseguinte, oferecer subsídios para a concepção e detalhamento de um projeto de remediação, que seja tecnicamente adequado, legalmente cabível e economicamente viável, para cada situação de contaminação, visando prevenir danos presentes ou futuros ao meio ambiente, à saúde humana e segurança pública.

As informações necessárias incluem a complementação e o refinamento das características geológicas e hidrogeológicas, geoquímicas e hidroquímicas da área de interesse. A caracterização da geologia regional e local deve possibilitar a descrição geológica da área de interesse, contemplando os aspectos geomorfológicos, litológicos, estratigráficos, pedológicos, estruturais e geotécnicos, através da elaboração de mapa geológico em escala apropriada e seções geológicas elucidativas. É realizada mediante consulta de mapas geológicos, imagens de satélite e fotografias aéreas; realização de inspeções de campo e sondagens mecânicas convenientemente localizadas e conduzidas de acordo com as normas técnicas vigentes e aplicação de métodos geofísicos (resistividade elétrica, potencial espontâneo ou eletromagnetismo).

A caracterização da hidrogeologia regional e local deve possibilitar a delimitação das unidades aquíferas presentes, determinação da superfície potenciométrica e do regime de fluxo das águas subterrâneas, bem como o levantamento cadastral de fontes, surgências e captações existentes no entorno de interesse.

É de fundamental importância a identificação dos poluentes presentes, em termos de sua origem, tipos, propriedades físicas, químicas e biológicas (peso molecular, toxicidade, solubilidade em água, pressão de vapor, etc.) e processos de transporte e imobilização ambiental (degradabilidade, persistência, bioacumulação, mobilidade). Estas informações, associadas à caracterização hidrogeológica, possibilitarão uma previsão inicial da pluma de contaminação de solos e águas subterrâneas, como subsídio a uma caracterização hidrogeoquímica mais detalhada.

A caracterização geoquímica é realizada mediante uma campanha de amostragem de solos, contemplando todas as camadas do subsolo, na zona insaturada e toda a área afetada por poluentes, definida com base na caracterização geológica e hidrogeológica, bem como nas propriedades dos poluentes e histórico da contaminação.

Para caracterização da distribuição de contaminantes nas águas subterrâneas, faz-se necessária a implantação de uma rede de poços de monitoramento. Estes poços devem ser estrategicamente localizados, com base na caracterização hidrogeológica da área e implantados de acordo com as normas técnicas, de forma a possibilitar o delineamento total da pluma de contaminação das águas subterrâneas.

Em geral um sítio contaminado não representa uma situação linear ou homogênea em todos os seus aspectos.

Normalmente predominam variações nos aspectos do meio físico, tais como heterogeneidades de solos, diferentes litologias e condições hidrogeológicas específicas locais. Além disso, existe a possibilidade de ocorrência de uma grande quantidade de contaminantes secundários, além daqueles considerados como contaminantes principais.

As áreas contaminadas apresentam um quadro muito variável também no que se refere as concentrações e distribuição dos contaminantes na matriz do solo. Pode-se considerar a possibilidade de ocorrência de contaminantes nas seguintes fases :

- . livre, quando existem altas concentrações do contaminante, ou ainda quando existe produto puro no subsolo;
- . gasosa ou vapor, quando o contaminante se apresenta como um gás, nas condições normais do meio ambiente, ou se encontra volatilizado;
- . adsorvida – quando os contaminantes estão retidos nas partículas do solo por processos de adsorção, sobretudo em solos com alto teor de argila ou de matéria orgânica;
- . dissolvida, quando o contaminante se encontrar dissolvido em meio aquoso.

Levando esses fatos em consideração, é de se supor que um quadro de contaminação possa requerer mais de uma forma de tratamento.

Além desses aspectos que são válidos para quaisquer situações, deve-se também investigar possíveis interferências causadas por fundações, tanques enterrados, linhas de matérias-primas e produtos, galerias de águas pluviais e efluentes, poços sumidouros, poços rasos e profundos, principalmente naquelas áreas antigas ou

profundamente transformadas. Qualquer uma dessas interferências poderá impedir, reduzir a eficácia ou inviabilizar uma proposta de remediação, mesmo que muito bem estudada.

A investigação serve ao consultor, projetista, responsável ou executor da remediação e ainda à autoridade competente, como base para a tomada de decisão sobre qual das possíveis tecnologias de remediação, ou combinação delas, serão aplicadas em uma determinada área contaminada. Mesmo que nessa fase de planejamento ainda não se tenha elementos suficientes para a definição final de qual tecnologia, ou combinação de tecnologias, será aplicada para remediação da área, todos os parâmetros de campo necessários para a tomada de decisão devem ser adquiridos nessa etapa de investigação. Assim, é fundamental que o responsável identifique quais elementos são decisórios nesses projetos e os inclua no rol de parâmetros a serem investigados em campo. O item seguinte mostrará quais as principais tecnologias de remediação são aplicáveis e quais parâmetros intervenientes devem ser investigados.

As etapas operacionais de investigação a serem discriminadas neste capítulo abrangem os principais elementos dos serviços de consultoria, perícia e engenharia, incluindo laudos técnicos, planejamento, detalhamento, coordenação, execução, monitoramento e acompanhamento de serviços terceirizados.

Recomenda-se, para obras de maior vulto financeiro, a realização de estudos de viabilidade econômica e análises de custo/benefício, em atendimento aos princípios de eficiência e economicidade.

O objetivo da análise de custo/benefício é correlacionar, para cada situação individual de contaminação, o benefício de cada alternativa de remediação com as despesas envolvidas, de modo a possibilitar a escolha de soluções que sejam tanto adequadas como econômicas.

Sempre que não há diretivas específicas para um caso, a comparação entre diferentes alternativas de remediação tende a se restringir, na prática, a uma mera discussão sobre as vantagens e desvantagens técnicas de cada uma, associada a um confronto de custos.

Muitas vezes as alternativas remediadoras são comparadas sem avaliação e contemplação do benefício de cada uma delas.

Além disso, muitas vezes são comparados unicamente os custos iniciais, sendo desconsiderados os custos correntes e futuros, decorrentes da operação, manutenção e monitoramento pós-tratamento.

Diante disso, no presente roteiro de trabalho serão descritos métodos disponíveis e aplicáveis à tomada de decisão sobre remediação de áreas contaminadas (análise da eficiência/eficácia e análise de custo/benefício), exemplificados quanto à sua aplicabilidade prática.

2. Principais Técnicas de Remediação

Durante os últimos anos, misturas complexas de contaminantes tem sido acumuladas no ambiente, incluindo metais e compostos químicos sintéticos e derivados de petróleo. Técnicas convencionais como a escavação dos solos contaminados, seguida de tratamento ou disposição em aterros, tem sido utilizadas para efetuar a remediação de locais contaminados, apesar de apresentarem, muitas vezes, elevados custos, bem como possibilitarem impactos adicionais ao ambiente. Por outro lado essas técnicas são efetivamente eficientes, requerem prazos curtos de operação e propiciam um descomissionamento mais rápido da área. Além das técnicas de remoção e redistribuição de solos, outras técnicas tem sido aprimoradas, testadas e avaliadas em relação a sua eficiência/eficácia e custo, incluindo a contenção, biorremediação, desorção térmica, oxidação química, extração de vapores, bombeamento e tratamento de águas subterrâneas.

Atualmente, dados os altos custos envolvidos na remediação de áreas contaminadas, a atenuação natural com monitoramento tem sido adotada como uma possibilidade de intervenção, em locais contaminados por substâncias orgânicas biodegradáveis, nas condições naturais do meio. Esta alternativa é baseada na capacidade de atenuação natural de contaminantes, no solo e nas águas subterrâneas, a qual, em geral, ocorre durante um longo período de tempo, durante o qual não devem ocorrer riscos para a saúde pública, para o ambiente e para os demais bens a proteger. Sua adoção deve ser precedida de um estudo criterioso, que inclua uma previsão da evolução das plumas de contaminação, uma metodologia de avaliação de risco e o monitoramento durante todo o período necessário para que se atinjam as metas de remediação desejáveis. Ressalta-se que, nos casos de adoção da técnica da atenuação natural, os custos envolvidos na fase de estudos costumam ser bastante elevados, face à grande quantidade de informações necessárias para subsidiar a tomada de decisão.

Uma outra possibilidade de intervenção seria a alteração do uso e ocupação do solo. Esta alternativa de intervenção é análoga à atenuação natural com monitoramento, envolvendo os mesmos princípios, com a diferença de que, para garantir a ausência de riscos à saúde pública, ao ambiente e aos demais bens a proteger, faz-se necessária uma redefinição ou restrição do uso do solo na área afetada. Esta restrição deve permanecer válida por prazo indeterminado, durante o qual um programa de monitoramento constante deve ser mantido.

As várias técnicas de remediação praticadas atualmente podem ser distinguidas em dois "status" de aplicação, ditos tecnologias consagradas e tecnologias inovadoras ou emergentes.

Técnicas consagradas são aquelas sobre as quais já se possui suficiente conhecimento técnico para prever resultados ou, em função disto, que não requerem mais testes de laboratório ou testes piloto, podendo ser aplicadas diretamente no campo, em larga escala.

Tecnologias emergentes ou inovadoras são tecnologias em desenvolvimento, como opções alternativas de tratamento de locais contaminados àquelas tradicionalmente empregadas. O princípio empregado no desenvolvimento dessas técnicas é o de

diminuir a periculosidade ou nível de toxicidade dos contaminantes presentes numa determinada área, por meio da degradação biológica ou da modificação química, utilizando-se reações que neutralizem ou decomponham esses compostos; ou ainda, por meio da retirada de determinadas frações dessa contaminação, tais como fases gasosas ou outras. Dentre os objetivos destas alternativas, além da redução ou eliminação da periculosidade, inclui-se a redução de custos, porém, nem sempre seguido da redução de tempo.

Embora essas técnicas possam ser empregadas como alternativas plenas de remediação, normalmente são utilizadas em parceria com outras técnicas ou métodos já consagrados, a fim de aumentar a sua eficiência. Algumas dessas técnicas são, ainda, de cunho experimental e, apesar de trazerem bons resultados, encontram-se em fase de estudo e aprimoramento. Requerem, portanto, antes de sua aplicação, uma série de testes e experimentações que comprovem sua viabilidade técnica para os contaminantes e local pretendidos. Normalmente, antes de qualquer emprego, são feitos testes de laboratório, que comprovem a exequibilidade das reações esperadas. O passo seguinte é realizar um novo teste em pequena escala, para simular a reação que de fato ocorrerá em campo, face a todos os intervenientes, como uma primeira avaliação de sua eficiência e uma primeira antecipação dos futuros custos envolvidos. Após esse passo, são realizados novos testes, os chamados testes-piloto, em campo, porém ainda com uma abrangência limitada, para comprovar a viabilidade observada em laboratório, de uma forma mais próxima da situação real.

No presente item são apresentados os métodos de remediação que têm sido mais empregados com sucesso ao longo dos anos, seja "in situ", "on site" ou "ex situ" e que são aceitos em todo o mundo pelas agências reguladoras e cortes de justiça. Inclui-se a remoção e redistribuição de solos, o bombeamento e tratamento de águas subterrâneas, a injeção de ar na zona saturada (*air sparging*), a extração de vapores, a biorremediação, as barreiras reativas e a atenuação natural monitorada. Outras técnicas mais recentes também serão discutidas.

Deve-se observar também que algumas agências ambientais consideram os métodos "on site" e "ex situ" como similares a processos de tratamento de resíduos sólidos ou de efluentes líquidos, submetendo sua implantação aos mesmos requisitos exigidos para o licenciamento e operação desses últimos sistemas. Para um melhor embasamento da questão, recomenda-se ao leitor que consulte também as normas e procedimentos utilizados para projetos e licenciamento dessas unidades.

Uma descrição resumida de cada método será apresentada, incluindo os princípios básicos envolvidos e considerações sobre o projeto, implantação, operação e manutenção. Também serão tecidos comentários sobre aplicabilidade, limitações, expectativa de eficiência/eficácia, prazos esperados para atingir os objetivos de remediação, vantagens, desvantagens e custos.

2.1 Remoção e Redistribuição de Solos

A remoção e redistribuição de solos é uma das práticas mais tradicionais e consagradas dentre aquelas empregadas na remediação de locais contaminados.

Apesar de possibilitar a eliminação dos principais focos de contaminação na zona insaturada, esta prática deve ser realizada com cautela, pois pode propiciar a intensificação de algumas vias de exposição ao risco (como a inalação de vapores e materiais particulados contaminados) e a transferência de passivo de um compartimento ambiental a outro (durante a escavação, o armazenamento, o transporte e a redistribuição dos solos contaminados).

Deverá seguir um plano, que contemple os seguintes aspectos:

- . medidas de proteção individual dos trabalhadores, para evitar riscos de inalação, ingestão ou absorção dérmica de poluentes;

- . medidas de segurança, para evitar a emissão de contaminantes e a exposição da população vizinha a riscos, durante as operações de escavação, armazenamento intermediário e transporte de solos escavados ao local de disposição final,

- . armazenamento intermediário de acordo com normas técnicas da ABNT;

- . tratamento e disposição final dos solos escavados em local adequado, previamente aprovado pelo órgão ambiental.

Dentre os procedimentos de segurança, operação e controle a serem previstos incluem-se:

- . zoneamento de segurança em três zonas: sem risco, onde as atividades não incluem solos contaminados e os equipamentos estão descontaminados; semi-crítica e intermediária, com acesso restrito e onde ocorrerá a descontaminação de equipamentos e crítica, onde se dará a remoção, acondicionamento e estocagem de apoio dos solos escavados;

- . treinamento de pessoal;

- . utilização de equipamentos de proteção individual;

- . isolamento da zona crítica, sendo que nos casos mais complexos deverá ser prevista a construção de galpão, hermeticamente fechado e trabalhando em depressão, para evitar a saída de vapores e material particulado por via atmosférica e o contato de águas de chuva com a área contaminada e com os solos removidos,

- . instalação de lavador de caminhões e equipamentos, com sistema de tratamento das águas de lavagem;

- . monitoramento da qualidade do ar e medidas de controle;

- . procedimentos de emergência.

As operações serão realizadas respeitando-se as normas de segurança, no que se refere à tolerância à exposição ao calor, tempo de permanência na área crítica e supervisão por técnico de segurança, mediante utilização dos EPIs requeridos.

Em geral, os solos contaminados são considerados resíduos e, por conseguinte, devem ser classificados, armazenados, transportados e dispostos nas condições estabelecidas em normas ABNT.

A remoção e redistribuição de solos, dependendo da quantidade de material removido, pode se tornar a alternativa mais onerosa, dentre as técnicas de remediação pois, além dos custos relacionados com a remoção propriamente, devem ser considerados os custos de transporte, tratamento e disposição final do solo removido. Esta prática apresenta a desvantagem de que a remoção deve ser realizada com todos os cuidados para que não ocorra a propagação da contaminação para outros meios, inicialmente não afetados, como o ar e as águas, a exemplo do que ocorreria durante a remoção de solos contaminados com substâncias voláteis. O transporte e o tratamento "of site" dos solos possibilitam a transferência do problema para outros locais que também poderão vir a se tornar contaminados. Por estas razões a adoção da técnica de remoção de solos se justifica nos casos de presença de resíduos perigosos, solos altamente contaminados ou em que uma análise mais criteriosa demonstre a impossibilidade de aplicação de outras técnicas, de maneira a se atingir as metas de remediação requeridas, no intervalo de tempo desejado.

O tratamento "on site" dos solos escavados ou sua disposição em aterros apresentam custo usualmente inferior ao do seu tratamento "of site". Os inconvenientes são reduzidos se a execução do aterro também for realizada no mesmo local, eliminando-se o transporte dos solos contaminados. Entretanto, durante o período de tratamento, as áreas envolvidas sofrerão restrições de uso e ocupação. No caso de aterros, estas áreas terão restrições com prazo longos e indefinidos.

2.2. Bombeamento e Tratamento de Águas Subterrâneas

Este método consiste em remover as águas contaminadas, por meio de poços de extração, para que ela seja tratada e redistribuída.

Trata-se, também, de um dos métodos mais antigos de remediação e embora recentemente tenha sido substituído ou utilizado em combinação com outros métodos de remediação, ainda é largamente usado para remediar águas subterrâneas contaminadas em todo o mundo.

O método de bombeamento e tratamento de águas subterrâneas também é bastante empregado para a contenção hidráulica de plumas de contaminação.

O princípio do método é remover a maior parte possível da água subterrânea contaminada, por meio da advecção, usando poços de extração e bombeando a água até a superfície para tratamento. Consiste fundamentalmente em posicionar geográfica e estrategicamente um poço (ou série de poços) em uma pluma de contaminação, para extrair a água utilizando bombas e, posteriormente, tratar a água na superfície, mediante o emprego de sistemas que tipicamente empregam filtros, extração de compostos voláteis em torre de aeração (também conhecido como "*air stripping*") ou carvão ativado.

O vapor extraído também deve ser tratado.

As águas subterrâneas e os vapores tratados devem ser posteriormente descartados, de acordo com procedimentos previamente aprovados pelas agências reguladoras locais e em conformidade com a legislação vigente.

Um sistema de bombeamento e tratamento é projetado com base:

- na hidrogeologia local e regional (levando-se em conta a heterogeneidade quanto a permeabilidade, sobretudo na relação entre permeabilidade vertical e horizontal, que influencia a taxa de captura);
- nas características hidráulicas do aquífero contaminado e
- nas características dos contaminantes presentes na água subterrânea.

O posicionamento dos poços de extração depende do objetivo pretendido.

Quando o objetivo é eliminar o máximo possível de contaminantes, os poços são geralmente localizados imediatamente a jusante da fonte de contaminação ou no núcleo mais concentrado da pluma.

Se o objetivo for conter o avanço da frente da pluma, para evitar impactos a receptores sensíveis, nos casos em que a pluma esteja migrando para fora dos limites da área, ou esteja próxima ou já atingindo um receptor, os poços são localizados nos limites da pluma de contaminação.

O projeto e a construção dos poços de extração são específicos para cada local e, além das condições hidrogeológicas e do tipo de contaminante, é condicionado pelo uso do solo e pela distribuição tri-dimensional do contaminante.

Atualmente são empregados modelos computacionais para determinar as zonas de captura em sistemas de remediação por bombeamento e tratamento de águas subterrâneas, em planta e em perfis verticais (considerando o efeito da razão entre a condutividade hidráulica horizontal e a vertical K_h/K_v). No projeto do sistema, a profundidade de captura vertical é comparada à extensão vertical da pluma existente, para assegurar que toda a pluma seja capturada. Para plumas médias ou grandes, geralmente são utilizados mais do que um poço de extração, projetados, localizados e construídos, em relação ao poço adjacente, de maneira que seus cones de depressão se interceptem e capturem toda a extensão da pluma em migração.

Os modelos computacionais também são empregados para fazer prognósticos de desempenho, eficiência e eficácia dos sistemas projetados, bem como para estimar os tempos necessários para atingir as metas de remediação estabelecidas.

Poços de monitoramento são empregados de maneira conjugada aos poços de bombeamento, para monitorar os cones de depressão dos poços de bombeamento, as mudanças na profundidade da água subterrânea que está sendo bombeada, a qualidade desta água dentro e fora da pluma e para verificar se a pluma está avançando, diminuindo ou se está estabilizada.

Quando as condições hidrogeológicas e de transporte do contaminante nas águas subterrâneas forem favoráveis, o método de bombeamento e tratamento poderá ser aplicado sem restrições. Nos casos em que o subsolo for pouco permeável e o

transporte de contaminantes muito retardado, pelas características intrínsecas dos materiais constituintes do subsolo, o método encontrará restrições a sua aplicação.

Na maior parte dos sistemas de bombeamento e tratamento, os poços permanecem bombeando 24 horas por dia e 7 dias por semana, por muitos anos.

A operação e manutenção pode ser relativamente onerosa pois, além do sistema operar continuamente por muitos anos, é necessária a amostragem e análise periódica de água em vários pontos do sistema, para determinar as concentrações do contaminante na água não tratada (originada do poço de extração) e as concentrações dos contaminantes na água tratada e no ar (para assegurar que os limites estabelecidos estejam sendo atingidos antes do descarte final). Os resultados da amostragem auxiliam a avaliação do volume de contaminante removido, com base nas concentrações da água subterrânea e nas taxas de bombeamento praticada.

Os custos mais elevados, dentre aqueles envolvidos na operação e manutenção de um sistema de bombeamento e tratamento por longo prazo, incluem o consumo de energia elétrica, o consumo de materiais para tratamento de águas e vapores (sobretudo se o sistema de tratamento incluir carvão granular ativado) e a realização de análises químicas.

Atualmente os sistemas de bombeamento e tratamento de águas subterrâneas são quase que totalmente automatizados e necessitam apenas de uma manutenção de rotina semanal ou mensal, o que ajuda a reduzir os custos de operação do sistema.

A maior parte dos sistemas de bombeamento e tratamento são muito eficientes no início, removendo grandes volumes do contaminante do aquífero impactado. Todavia, depois de um certo período de operação, os níveis de concentração tendem a se estabilizar ou decrescerem em uma taxa muito baixa, aproximando-se assintoticamente de um determinado valor que pode ser maior, igual ou inferior às concentrações-alvo, que geralmente estão na faixa de ppb (partes por bilhão).

Após uma redução inicial significativa nas concentrações do contaminante, os sistemas de bombeamento e tratamento podem operar por anos sem que novas alterações significativas no quadro ocorram.

Os sistemas de bombeamento e tratamento de águas subterrâneas sempre deixam concentrações residuais de contaminantes no aquífero, mas são inigualáveis para a contenção de plumas.

Isto acontece porque quase todos os contaminantes são afetados por:

- 1) taxas de retardamento (dificuldade de remoção através do bombeamento e tratamento se o contaminante tem média a alta tendência a ser adsorvido);
- 2) dispersão no aquífero (causada por diferenças nas velocidades da água subterrânea em micro e macro escala no aquífero);
- 3) difusão (o contaminante lentamente se difunde de zonas de mais alta concentração para zonas de mais baixa concentração);
- 4) características heterogêneas do aquífero impactado (principalmente materiais de granulometria fina, nos quais o contaminante pode se difundir por décadas).

A vantagem do método de bombeamento e tratamento é que, além de ser muito eficiente para a remoção de grandes volumes de contaminantes do aquífero, ele também é eficiente, se projetado corretamente, para interromper a migração de plumas e para certos objetivos específicos, como a criação de cones de depressão para auxiliar a remoção de fases livres leves não-aquosas (LNAPL's).

No que se refere à eficiência/eficácia do método para a contenção de plumas, a partir de um estudo realizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) em 1992, concluiu-se que o método de bombeamento e tratamento foi bem sucedido na contenção hidráulica de plumas de contaminantes em fase dissolvida em 15 de 24 locais em que foi empregado (USEPA, 1992). Outro estudo da USEPA em 1999 verificou que os objetivos de contenção foram alcançados em 21 de 25 locais.

Já, no que se refere à eficiência/eficácia do método para atingir metas de remediação muito restritivas, outra avaliação da efetividade do método foi realizada pelo Conselho Nacional de Pesquisa americano (NRC), que concluiu que o método bombeamento e tratamento atingiu as metas de remediação previstas em apenas 8, num total de 77 locais e dificilmente atingiria os objetivos de remediação em outros 34 locais do mesmo total de 77 (NRC, 1994). Este trabalho foi posteriormente confirmado por um estudo da USEPA em 1999, que verificou que apenas 2 no total de 28 locais reavaliados atingiram os objetivos de remediação do aquífero. Adicionalmente, nenhum local da Lista Nacional de Prioridades (NPL) da USEPA com água subterrânea contaminada por fase líquida densa não-aquosa (DNAPL's) foi remediado até os Níveis Máximos de Contaminação (MCL's), utilizando exclusivamente o método bombeamento e tratamento.

Assim, sempre que se pretende atingir metas de remediação muito restritivas para as águas subterrâneas, o método de bombeamento e tratamento costuma ser empregado em associação a outro método que será empregado como polimento.

2.3 Extração de Vapores do Solo

O método de extração de vapores do solo, também conhecido pela sigla SVE, decorrente de sua terminologia em inglês "*soil vapor extration*", consiste na extração de vapores do solo, por meio da aplicação de vácuo. Com a redução da pressão, um fluxo de ar é induzido na subsuperfície, volatilizando e eliminando os compostos orgânicos voláteis (VOCs).

O SVE é um método de remediação "in situ" para tratar compostos orgânicos voláteis. Originalmente a tecnologia foi usada para remover os vapores do solo, prevenindo a migração de vapores para edificações. A primeira geração de sistemas de SVE foi utilizada em aterros, para remoção de gás metano. A segunda geração, cuja aplicação se iniciou internacionalmente nos anos 80, já passou a ter, como foco específico, a remoção de VOC's do solo, ao invés da simples captação de gases.

Adicionalmente à volatilização, o sistema de SVE também remove alguns hidrocarbonetos por biodegradação. A volatilização ocorre quando o fluxo de ar entra em contato com hidrocarbonetos residuais, ou com películas de água contendo hidrocarbonetos dissolvidos. A biodegradação ocorre porque o fluxo de ar induzido fornece oxigênio para a biodegradação aeróbica.

Um sistema de SVE padrão consiste em vários poços de extração de vapores, localizados na área contaminada, onde os vapores são extraídos pelo poço e direcionados para um tanque final de ar/água, passando por uma torre de vácuo e por uma estação de tratamento de vapor. O sistema também dispõe de amostradores de vapores, instalados em subsuperfície, próximos aos poços de extração e de vários pontos de amostragem, na tubulação que vai dos poços de extração até a estação de tratamento de vapor. Estes amostradores em subsuperfície e na tubulação, são usados para coleta de amostras para análise de vários parâmetros, com a finalidade de avaliar a efetividade do sistema.

Os poços de extração de vapor devem ser localizados de forma que suas zonas de influência (geralmente determinadas em teste piloto) se interceptem e devem ser adequadamente projetados e instalados, de forma a evitar zonas potenciais de estagnação (áreas impactadas onde o ar não é removido pelos poços de extração).

Hidrocarbonetos com alta fração volátil serão removidos mais rapidamente usando o SVE, enquanto que os compostos com menor fração volátil serão removidos de forma menos eficiente. As faixas de volatilização variam de mais de 90% para a gasolina a menos de 10% para o óleo cru. O SVE é uma tecnologia de remediação interessante para gasolina e combustível de aviação, dadas suas altas taxas de volatilização. Também pode ser usado para remediar compostos com faixas de hidrocarbonetos menos voláteis, auxiliando a biodegradação.

A limitação do sistema de SVE é que ele se baseia fundamentalmente na aplicação de fluxos de ar, o que o condiciona a três fatores específicos: volatilidade do contaminante; ausência de ar em ambientes saturados e permeabilidade da matriz do solo.

O SVE geralmente é limitado pela permeabilidade dos solos e pelo nível de saturação por água. Normalmente não irá funcionar bem em solos de baixa permeabilidade como siltes e argilas, ou em camadas muito saturadas, como a franja capilar ou abaixo do nível d'água. Entretanto, a ampliação das taxas de vácuo (vácuo muito alto aplicado com bombas especiais), mostrou-se efetiva em alguns solos de baixa permeabilidade.

As limitações do SVE levaram a duas mudanças na década de 90:

- a primeira foi o uso de energia térmica para aumentar a volatilização dos contaminantes;
- a segunda foi o uso de biorremediação para aumentar a remoção do contaminante, pois o SVE aumenta os níveis de oxigênio em subsuperfície.

A ausência de ar na zona saturada levou ao desenvolvimento de uma tecnologia de duas fases, com o uso direto de altos vácuos aplicados para expulsar a água e ventilar o solo na zona saturada, o que permitiu ao sistema de SVE tratar a contaminação abaixo do nível d'água.

A baixa permeabilidade em alguns solos levou ao desenvolvimento de sistemas alternativos que injetam ar altamente pressurizado para abrir canais no subsolo, permitindo que o ar circule mais livremente e melhorando a eficiência do sistema.

O SVE é comumente usado em combinação com um sistema de injeção de ar comprimido conhecido pela terminologia em língua inglesa como “*Air Sparging*”, para tratar contaminantes em solos saturados e na água subterrânea.

Para remoção de alguns solventes clorados, que são mais propensos à biodegradação do que à volatilização, o SVE pode eventualmente ser usado, em conjunto com outro processo denominado como bioventilação, o qual será descrito a seguir. A bioventilação geralmente envolve a indução de um fluxo de ar mínimo através da zona vadosa, que seja suficiente para biodegradar aerobicamente os compostos semi-voláteis que estejam presentes. Em teoria, a vazão de fluxo de ar não deve resultar na saída para a atmosfera de quantidades significativas de vapores de contaminantes.

Até 1995, o sistema de SVE já havia sido usado em mais 139 áreas integrantes do programa SUPERFUND dos Estados Unidos e em quase 9.000 locais com tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis. A tecnologia teve sucesso de moderado a alto, para tratar produtos com hidrocarbonetos mais voláteis, em solos mais permeáveis. Os sistemas de SVE também tiveram sucesso em remediação de solos impactados por solventes clorados e de forma geral, quanto mais altos forem a pressão de vapor e a Constante de Henry do solvente clorado, maiores as chances de sucesso do SVE para volatilizar e remover o contaminante.

2.4 Injeção de Ar na Zona Saturada

Este método, utilizado para remediação “in situ” de águas subterrâneas contaminadas, consiste na injeção de ar comprimido, em volumes e pressões controlados, na água subterrânea, abaixo dos pontos mais profundos da contaminação. Conhecido pela sua terminologia em língua inglesa “*air sparging*”, é aplicado para aquíferos não-confinados. Tem sido internacionalmente aplicado desde o final dos anos 80, mas seu uso tornou-se mais comum a partir da segunda metade dos anos 90.

Durante a aplicação deste método, ocorrem três processos de transferência de massa:

- extração “in situ” dos compostos orgânicos voláteis (VOC's) dissolvidos;
- volatilização da contaminação em fase adsorvida abaixo do nível d'água e
- aumento da biodegradação dos contaminantes em fase adsorvida e dissolvida, em função do aumento dos níveis de oxigênio dissolvido.

Ocasionalmente, o processo de injeção de ar na zona saturada é utilizado em conjunto com o método de extração de vapores (SVE), para aumentar a remoção dos contaminantes voláteis na zona vadosa, ou zona insaturada.

O método “*air sparging*” é similar ao bombeamento e tratamento, porque ambos os métodos utilizam o transporte advectivo para remover os contaminantes da água subterrânea. No caso do sistema de bombeamento e tratamento, utiliza-se o transporte advectivo da água e no caso do sistema “*air sparging*”, utiliza-se o transporte advectivo do ar.

O processo “*air sparging*” é uma opção interessante de remediação quando contaminantes orgânicos facilmente biodegradáveis e/ou voláteis estão presentes na

água subterrânea, em aquíferos não confinados, com solos relativamente homogêneos e permeáveis.

O sistema é composto por um ou mais poços, por meio dos quais o ar comprimido é injetado no aquífero, utilizando-se um compressor que não use derivados de petróleo e contenha válvulas de controle de bombeamento e medidores de pressão. O ar é injetado com volume e pressão controlados, geralmente determinados previamente, a partir da execução de um teste piloto no local de aplicação. A eficiência do método é medida usando sondas de monitoramento, posicionadas tanto na zona saturada como na zona não-saturada. Essas sondas são utilizadas para medir a extensão lateral da sobrelevação da água subterrânea; o aumento dos níveis de oxigênio dissolvido e potencial de oxi-redução (comparados às condições iniciais antes da operação do sistema); o aumento da pressão dentro do cone e a redução nas concentrações de VOC's. A sobrelevação da água subterrânea pode causar problemas, caso exista produto sobrenadante em fase livre no aquífero, pois irá propiciar o espalhamento do produto.

A geologia do local deve ser considerada para a aplicação do método, cuja eficiência é diretamente influenciada pela maior ou menor facilidade que os fluxos de ar injetado tenham para migrar na direção vertical. As duas principais limitações de ordem geológica são a condutividade hidráulica e a homogeneidade. Alguns problemas podem ocorrer se a permeabilidade do solo for muito baixa ou muito alta.

Em camadas de cascalho, por exemplo, cujos poros são muito grandes, a migração horizontal é pequena, sendo que o ar tenderá a migrar verticalmente e o poço de injeção terá um raio de influência muito limitado.

A baixa eficiência também ocorre em camadas de argila pouco condutivas, onde o poço de injeção também terá um raio de influência limitado.

A injeção contínua de ar no aquífero e o deslocamento da água dos poros do solo podem resultar na formação de bolsões de ar, que acabam gerando resistência ao movimento da água subterrânea.

O sistema deve ser implantado de maneira a gerar um "cone de influência" a partir do(s) poço(s) de injeção que cubra(m) a área contaminada. Geralmente são utilizados múltiplos poços, para que seus "cones de influência" se interceptem e cubram toda a área de interesse.

A aplicabilidade do método, para um determinado contaminante, é influenciada principalmente pelo potencial de extração dos VOC's por volatilização e pela biodegradabilidade dos compostos. O potencial de volatilização é influenciado pela Constante de Henry. Compostos como benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno, tricloroeteno (TCE) e tetracloroeteno (PCE) são considerados como sendo facilmente extraíveis ou de alto potencial de extração. A volatilização de um composto está diretamente relacionada à sua pressão de vapor. A maioria dos VOC's é considerada facilmente volatilizável, por definição. A biodegradabilidade de qualquer composto, sob condições anaeróbicas, é dependente de sua estrutura química e de parâmetros ambientais. Alguns VOC's, como compostos derivados do petróleo e acetona, são facilmente degradáveis. Outros, como os solventes clorados por exemplo, não se degradam facilmente nestas mesmas condições.

A presença de ferro dissolvido (Fe^{2+}) na água subterrânea também pode ser uma limitação para a aplicação deste método de remediação, pois pode resultar na redução da permeabilidade do solo da zona saturada durante a operação.

Quando o ferro dissolvido é exposto ao oxigênio injetado, ele se oxida para a forma insolúvel de óxido de ferro (Fe^{3+}), a qual pode precipitar e causar a oclusão dos poros, reduzindo a região disponível para o fluxo de ar na zona saturada. Esta precipitação ocorre predominantemente na seção filtrante do poço de injeção de ar, causando a perda de sua eficiência de injeção e a sua completa desativação após períodos curtos de funcionamento. A aplicação do método é considerada efetiva em locais com concentrações de Fe^{2+} inferiores a 10 mg/L. Entre este valor e 20 mg/L, o sistema requer testes constantes e reposição dos poços de injeção. Acima de 20 mg/L de Fe^{2+} , a aplicação da técnica de injeção de ar na zona saturada não é recomendada.

A instalação de um sistema de injeção de ar na zona saturada deve ser precedida da execução e interpretação dos resultados de um teste piloto no local de aplicação. As etapas de pré-projeto, para execução de um teste piloto padrão, devem incluir os seguintes itens:

- Avaliação dos poços de monitoramento e pontos de amostragem existentes e avaliação da necessidade de instalação de poços de amostragens adicionais, para monitorar os resultados do sistema;
- Instalação de poços de injeção e poços de monitoramento adicionais necessários;
- Determinação das especificações técnica do compressor de ar;
- Determinação das especificações da instrumentação, incluindo gerador, medidores de pressão e de nível d'água, medidores de vazão, medidores de oxigênio dissolvido, medidores de potencial de oxi-redução, e medidor de vapores orgânicos.

Dentre os objetivos do teste piloto incluem-se: determinar a viabilidade técnica do método; determinar os raios de influência dos poços em função de diferentes vazões de injeção; determinar a vazão mínima de injeção e avaliar os efeitos adversos.

Durante a execução do teste piloto devem ser realizadas as seguintes medições: taxas de vazão, pressão de injeção no poço de air sparging, sobrelevação do nível d'água, leituras da pressão de saturação, concentração de oxigênio dissolvido, observação visual da formação de bolhas, concentrações na zona vadosa e na água subterrânea.

2.5 Biorremediação

A biorremediação consiste na transformação ou destruição de contaminantes orgânicos por decomposição biológica, pela ação de microrganismos de ocorrência natural no solo (bactérias, fungos e protozoários). Estes microrganismos são capazes de biodegradar poluentes tóxicos, para obtenção de energia (alimento), em substâncias como dióxido de carbono, água, sais minerais e gases (metano e sulfeto). Dentre os compostos biodegradáveis incluem-se os hidrocarbonetos derivados do petróleo, os preservantes de madeira (creosoto e pentaclorofenol), os solventes halogenados e os pesticidas. O contaminante funciona como fonte de carbono para os microrganismos, sendo necessário o fornecimento de nutrientes como nitrogênio e fósforo, bem como um

agente oxidante, que funcione como receptor de elétrons, além de outros nutrientes específicos para cada contaminante.

Os microrganismos estão presentes na natureza em todos os locais, nos solos, em águas subterrâneas, e nos oceanos, sendo parte integrante dos processos naturais de detoxificação.

A biorremediação compreende duas técnicas: bioestimulação e bioaugmentação .

A bioestimulação é a técnica de biorremediação em que o crescimento dos microrganismos naturais, autóctones ou indígenas da comunidade do local contaminado, é estimulado por práticas que incluem a introdução de: oxigênio, nutrientes, substâncias para correção do pH do meio e receptores de elétrons específicos para a degradação da contaminação. Os microrganismos autóctones ou indígenas são aqueles pertencentes às espécies nativas de regiões biogeográficas, onde participam de funções reprodutivas, ciclo de nutrientes e fluxo de energia. Quanto maior a população de microrganismos que degradam o contaminante dentro da área de remediação, mais rápido e mais eficiente será o processo de biorremediação.

Em locais onde, após a contagem das bactérias heterotróficas totais e fungos, foi identificada uma insuficiência de microrganismos indígenas (ou autóctones), para a biodegradação do contaminante em questão, mesmo após a tentativa de bioestimulação, a aplicação de microrganismos não indígenas (alóctones) poderá ser considerada. Esta técnica consiste na “bioaugmentação” ou aplicação de produtos biotecnológicos e quando bem utilizada, pode acelerar a completa biodegradação do contaminante devendo, entretanto, serem considerados os seguintes aspectos:

- O local contaminado deverá ser devidamente caracterizado, para a adequação da melhor tecnologia de remediação aplicável;
- O produto biotecnológico deverá ser devidamente avaliado e liberado pelo órgão competente de controle ambiental. Antes de sua utilização, deve ser identificado, caracterizado e testado em sua toxicidade, ecotoxicidade, eficiência/eficácia para atingir os objetivos pretendidos e inocuidade ao ambiente;
- os microrganismos aplicados devem ser avaliados caso a caso, sendo específicos para promover a biodegradação total do(s) contaminante(s) presentes na área de interesse até gás carbônico e água, sem acúmulo de subprodutos e metabólitos e
- os microrganismos aplicados devem atuar em sinergismos com as espécies indígenas do local, sem interferir nos processos biogeoquímicos naturais.

A utilização de produtos biotecnológicos não deve ser interpretada como a solução de todos os problemas de contaminação, sendo que os processos convencionais, como já estão estabelecidos, devem ser os mais utilizados quando o contaminante é degradável e não tóxico. Esta biotecnologia está sendo desenvolvida com vistas aos contaminantes recalcitrantes e complexos, como organoclorados e pesticidas, ou casos específicos onde um resultado mais rápido é necessário.

O fator crítico para definir se a biorremediação é a tecnologia mais apropriada para o local contaminado é a biodegradabilidade do contaminante. A Tabela 10000-1 mostra

um resumo dos principais contaminantes e respectiva susceptibilidade para biorremediação.

Tabela 10000-1- Suscetibilidade de Contaminantes para Biorremediação

CLASSE DO CONTAMINANTES	FREQÜÊNCIA DE OCORRÊNCIA	EVIDÊNCIA DE SUCESSO	LIMITAÇÕES
1. Hidrocarbonetos e Derivados			
Gasolina e óleo combustível	Muito freqüente	Fácil biorremediação aeróbia e anaeróbia	Formação de fase livre leve (LNAPL)
Poliaromáticos (naftaleno, antraceno)	Comum	Biorremediação aeróbia sob condições específicas	Forte adsorção em subsuperfície
Creosoto	Pouco freqüente	Fácil biorremediação aeróbia	Forte adsorção e formação de Fase Livre
Alcool, acetona e éster	Comum	Fácil biorremediação aeróbia e anaeróbia	
Eter	Comum	Biorremediação aeróbia e anaeróbia (NO ₃) sob condições específicas	
2. Halogenados Alifáticos			
Altamente clorados (PCE, TCE)	Muito freqüente	Cometabolizado em condições anaeróbias e aeróbias em casos específicos	Forma Fase Livre Densa (DNAPL)
Fracamente clorados (Cloro de Vinila – VC)	Muito freqüente	Biorremediação aeróbia em condições específicas e cometabolizado em condições anaeróbias	Forma Fase Livre Densa (DNAPL)
3. Halogenados Aromáticos			
Altamente clorados (hexaclorobenzeno, pentaclorofenol)	Comum	Biorremediação aeróbia sob condições muito específicas. Cometabolizado em condições anaeróbias.	Adsorve fortemente em subsuperfície. Forma fase líquida (NAPL) e fase sólida (NASP)
Fracamente clorados (cloro e diclobenzeno)	Comum	Fácil biorremediação aeróbia	Forma fase líquida NAPL.
4. Bifenilas Policloradas			
Altamente clorados	Pouco freqüente	Cometabolizado em condições anaeróbias	Adsorve fortemente em subsuperfície.
Fracamente clorados	Pouco freqüente	Biorremediação aeróbia sob condições muito específicas	Adsorve fortemente em subsuperfície.
nitroaromáticos	Comum	Biorremediação aeróbia e anaeróbia (produção de ácido orgânico)	
5) Metais			
Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Cd, Zn, etc	Comum	Processos microbianos afetam sua solubilidade e reatividade	Disponibilidade altamente variável, controlada pelas condições químicas

Como vantagens e desvantagens da biorremediação podemos citar:

- Vantagens:

- habilidade dos microrganismos de biodegradar substâncias perigosas ao invés de meramente transferir o contaminante de um meio para outro;
- eficiente em meios homogêneos e de textura arenosa;

- Baixo custo comparativamente a outras técnicas de remediação, se os compostos forem facilmente degradáveis;
- A tecnologia pode ser considerada como destrutiva dos contaminantes;
- Permite atingir concentrações alvo ambientalmente aceitáveis para o solo (destruindo a maior parte dos compostos biodisponíveis).

- Desvantagens

- Para os compartimentos água e ar, maior dificuldade de aclimação dos microrganismos;
- Limitações de escala para aplicação in situ;
- Biodisponibilidade na zona saturada;
- Limitações em função de heterogeneidades em subsuperfície;
- Possibilidade de colmatção do meio poroso devido ao crescimento de biomassa;
- Inibição por compostos competidores (a exemplo do MTBE na presença de BTEX);
- Possibilidade de formação de sub-produtos tóxicos.

No momento a maior limitação da tecnologia de biorremediação é a necessidade de maior entendimento dos processos e seus controles.

Entre os fatores críticos para a aplicação com sucesso da biorremediação estão:

- suscetibilidade do contaminante considerado à degradação;
- presença de populações microbiológicas apropriadas e em quantidades suficientes para promover uma taxa de degradação adequada;
- condições geoquímicas intrínsecas (pH, temperatura, potencial de oxi-redução) para o crescimento dos microorganismos de interesse;
- biodisponibilidade do contaminante (em fase aquosa, por exemplo);
- geração de subprodutos que sejam menos tóxicos que os produtos primários (por exemplo o tricloroetano gera o cloreto de vinila que é mais nocivo);
- capacidade do meio de sustentar atividade biológica.

Uma avaliação detalhada deve ser realizada, para:

- compreender as populações microbianas presentes no subsolo;
- identificar a existência de populações microbianas que degradam o contaminante de interesse;
- identificar as necessidades químicas dessas populações e maximizar produção de energia;
- reconhecer os sub-produtos de degradação dos contaminantes de interesse;
- identificar a existência de compostos e efeitos inibidores;
- estimar a taxa de biodegradação
- projetar e dimensionar o sistema.

As bactérias são o principal elemento na biorremediação de contaminantes. Bactérias são definidas como qualquer classe de micro-organismo, geralmente agregados em colônias, vivendo no solo e na água. São importantes para o homem, em função de seus efeitos bioquímicos. As bactérias agem na destruição de contaminantes perigosos

e/ou na transformação deles em compostos menos nocivos. As bactérias nativas em subsuperfície podem desenvolver a capacidade de degradar contaminantes após longos períodos de exposição. Geralmente as bactérias nativas em subsuperfície que se adaptam aos contaminantes estão localizadas nas regiões externas das plumas ou nos solos impactados e não na presença de produto em fase livre. Os compostos orgânicos são metabolizados por fermentação, respiração ou co-metabolismo.

A biorremediação pode ser aplicada “in situ”, “on site” ou “ex situ”.

- Biorremediação “in situ”

A biorremediação in situ é um método onde a transformação ou destruição dos contaminantes ocorre biologicamente através da ação de microrganismos no próprio local, sem que o solo tenha que ser escavado. Exemplos de aplicação de técnicas de biorremediação incluem:

- injeção de oxigênio para biodegradação aeróbica de compostos presentes na gasolina (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno);
- dehalogenação redutiva de etenos (PCE e TEC, por exemplo) em condições naturais anaeróbicas;
- injeção de doadores de elétrons (melaço e lactato, por exemplo), para aumentar a dehalogenação redutiva de etenos ou para imobilizar cromo hexavalente;
- redução de tetracloroetano para cloreto com a injeção de doadores de elétrons;
- aplicação de reagente biológico fluido para biodegradar aerobicamente metil terc-butil éter (MTBE) ou reduzir tetracloroetano.

Os contaminantes que podem ser biotransformados são os hidrocarbonetos de petróleo (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), solventes clorados (PCE e TCE, por exemplo), aromáticos clorados (diclorobenzeno, por exemplo), nitroaromáticos (TNT e DNT, por exemplo), hidrocarbonetos poliaromáticos (naftaleno, por exemplo), metais (cromo e arsênio, por exemplo), inorgânicos oxidados (tetracloroetano) e combustíveis oxigenados (etanol e MTBE, por exemplo).

A biorremediação *in situ*: pode ser subdividida em três métodos:

- Intrínseca, quando os contaminantes se transformam nas condições naturais do local
- mediante injeção ou recirculação de fluidos ou
- biobarreiras permeáveis.

Como exemplos de projetos de biorremediação “in situ” podem ser citados a percolação induzida de doadores e nutrientes, o bombeamento e tratamento com re-injeção; “air sparging” “in situ” com injeção de nutrientes; “air sparging” com circulação em célula (dois filtros) e injeção de nutrientes nos poços; barreiras reativas permeáveis com bioaugmentação, injeção de compostos capazes de liberar compostos de oxigênio (“oxigen releasing compound-ORC”), injeção de compostos capazes de liberar compostos de hidrogênio (“hydrogen releasing compounds-HRC”), injeção de melaço e óleos vegetais.

A utilização “in situ”, de produto biotecnológico que contém microrganismos alóctones, em ecossistemas naturais, como água superficial, água subterrânea e solo, ainda não está devidamente avaliada. Os resultados obtidos até o momento demonstram uma relação custo/benefício/risco desfavorável. Isso ocorre em consequência da dificuldade de sobrevivência das culturas microbianas alóctones selecionadas, quando em competição com a comunidade microbiana indígena, que já está aclimatada ao contaminante do local.

Como os microrganismos crescem aderidos às superfícies, a biorremediação “in situ” é a única tecnologia com capacidade de retirar os contaminantes adsorvidos no solo e em aquíferos, removendo os contaminantes até os níveis exigidos pela legislação. Esta tecnologia, também é menos impactante para o ambiente, quando comparada com técnicas de escavação e transporte de material contaminado.

- Biorremediação “on site” ou “ex situ”

A biorremediação “on site” ou “ex situ” ocorre quando o solo e/ou a água subterrânea são removidos e tratados em um sistema em separado (tanques de reação contínua ou reatores de fluidificação, por exemplo); respectivamente na própria área ou em uma instalação situada em um outro local.

Interferem no processo as características do material a ser tratado, as características e concentrações dos contaminantes presentes e as condições do meio (temperatura, umidade, estrutura, pH, teor de oxigênio, teor de nutrientes).

O tratamento poderá ocorrer em montes, denominados biopilhas, ou em reatores fechados, sendo mais comum o primeiro caso, pelo menor custo e maior facilidade de operação.

Nas biopilhas ocorre a homogeneização e aeração, mediante revolvimento mecânico, após preparação e condicionamento dos materiais a serem tratados. A preparação desses materiais inclui: classificação, britagem, adição de substratos para melhoria de estrutura (restos de alimentos, estrume, palha, serragem, cavacos de madeira, palha de cana ou outros materiais orgânicos não tóxicos), adição de nutrientes e intensa aeração.

O processo apresenta maiores chances de sucesso para o tratamento de solos contaminados e resíduos biodegradáveis contendo :

- . hidrocarbonetos de petróleo (propano, butano, alcano, etc.);
- . hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno);
- . fenóis e
- . hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (naftaleno, fenantreno, benzo(a)pireno, etc.).

Os materiais a serem tratados devem ser submetidos a um estudo prévio, para demonstração de tratabilidade, mediante realização de testes e ensaios que visam avaliar o tipo e concentração de poluentes, a presença de inibidores da biodegradação, a estrutura do material, os teores ótimos de umidade, de nutrientes e de oxigênio, a temperatura e demais fatores que influenciam o processo.

De acordo com dados de literatura, ou com base em outras experiências com biopilha, têm-se, a princípio, como restrições, para selecionar um solo contaminado para tratamento por esta tecnologia :

- . teor máximo de OG no solo a tratar - 10%;
- . concentração total máxima de metais no solo a tratar - 2.500 ppm;

As fases do processo e instalações da unidade de tratamento incluem :

- . demonstração de tratabilidade mediante realização de testes e ensaios biológicos e de otimização em laboratório;
- . chegada do material e controle de recebimento em balança e escritório;
- . descarga de material a ser tratado em galpão de recebimento;
- . preparação mecânica do material mediante separação de resíduos que não participarão do processo; britagem; adição de material estrutural, substrato e nutrientes e homogeneização em galpão de pré- tratamento;
- . realização do tratamento de acordo com os parâmetros previstos;
- recirculação dos eventuais percolados gerados;
- . disposição final do material tratado.

São recomendados os seguintes planos operacionais :

- plano de controle de solos a serem tratados (aspecto visual, concentrações de TPH, OG e metais, granulometria, umidade, etc);

- plano de controle operacional, mediante avaliação dos seguintes parâmetros :

- . peso e tipo de material, teor de contaminantes presentes e parâmetros de controle (TPH, OG, metais);

- . dosagem de aditivos e nutrientes;

- . qualidade do material tratado para avaliação de eficiência/eficácia, com avaliação de TPH, PAH, BTEX e metais pesados;

- plano de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas, com as seguintes características :

- . implantação de 1 poço de monitoramento de águas subterrâneas a montante e 3 a jusante das instalações justificados por mapa potenciométrico;

- . frequência semestral de amostragem;

- . avaliação dos seguintes parâmetros : turbidêz, cor, odor, temperatura condutividade, pH, OD, potencial redox, TPH, BTEX, outros parâmetros a serem fixados em função dos solos e resíduos a serem tratados;

- plano de segurança incluindo :

- . treinamento de pessoal;
- . exaustão forçada e tratamento de vapores;
- . uso de EPI;
- . estabelecimento de regras de conduta em operação normal e contingências.

2.6. Bioventilação

A bioventilação é uma técnica de remediação “in situ”, baseada na degradação de contaminantes orgânicos adsorvidos no solo pela ação de microrganismos de ocorrência natural. Na bioventilação, a atividade destes microrganismos é melhorada pela introdução de um fluxo ar (oxigênio) na zona não saturada, usando poços de injeção ou extração e caso necessário, adicionando-se macronutrientes ao meio. Na bioventilação, compostos presentes no solo da franja capilar ou na zona saturada não são tratados. A principal diferença em relação a técnica de extração de vapores, quando poços de extração são utilizados, deve-se ao fato de minimizar a volatilização, diminuindo-se a necessidade de tratamento de gases.

A bioventilação é eficiente no tratamento de qualquer contaminante degradável em meio aeróbico, particularmente é muito efetiva na remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, sendo mais recomendada para locais onde ocorreu a liberação de compostos com peso molecular médio (diesel).

As principais vantagens do método de bioventilação são:

- utilização de equipamentos de fácil aquisição e instalação,
- minimização da extração de vapores, com redução dos custos de seu tratamento,
- pode ser implantando sem causar grande impacto na operação da área,
- atua em áreas de difícil acesso.

Como principais desvantagens ressalta-se a sua não aplicabilidade onde as concentrações de contaminantes impedem a biodegradação ou em solos com baixa permeabilidade, não possibilitando que metas de remediação muito baixas sejam atingidas.

2.7 Atenuação Natural Monitorada

A definição da agência ambiental norteamericana USEPA para atenuação natural monitorada (Monitored Natural Attenuation - MNA) é o uso dos processos de atenuação que ocorrem naturalmente no solo, dentro do contexto de remediação e monitoramento adequadamente controlado, com o objetivo de redução das concentrações dos contaminantes, toxicidade, massa e/ou volume até níveis adequados à proteção da saúde humana e ao meio ambiente, dentro de um período de tempo razoável. A atenuação natural monitorada é uma tecnologia que tem sido usada como método de remediação em áreas com vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo.

Para avaliar se a atenuação natural está ocorrendo na área e apresenta-se como método viável de remediação, três linhas de evidência precisam ser estabelecidas :

- 1) os dados históricos de qualidade de solo e de água subterrânea (através de monitoramento) demonstram uma tendência de decréscimo natural da contaminação,
- 2) os dados demonstram que processos de atenuação natural indiretos estão ocorrendo na área,
- 3) existem evidências diretas dos processos de atenuação natural (indicadores microbiológicos, teores de oxigênio dissolvido, teores de sulfato, etc.).

Com base em literatura internacional tem-se :

- 1) A atenuação natural nunca deve ser considerada apenas como uma justificativa para não se fazer nada na área;
- 2) A atenuação natural está bem estabelecida como método de remediação apenas para alguns tipos de contaminantes, destacando-se o benzeno, tolueno, etilbenzeno, e xileno;
- 3) Para atingir os objetivos da remediação a atenuação natural deve ser monitorada e avaliada por períodos que podem ir de anos até décadas;
- 4) A atenuação natural de alguns compostos pode formar sub-produtos perigosos (cloreto de vinila como sub-produto final de PCE, por exemplo) que em alguns casos podem ser muito persistentes no meio;
- 5) Os processo de atenuação natural não destroem metais, mas em alguns casos podem imobilizá-los;
- 6) A presença de misturas de contaminantes pode inibir ou aumentar a atenuação natural para alguns dos contaminantes da mistura.

Os principais processos de atenuação que ocorrem naturalmente no solo são: biodegradação, dispersão, sorção, volatilização, diluição, e mecanismos de degradação abiótica. Para avaliar se a atenuação natural está ocorrendo em uma área contaminada, os seguintes parâmetros devem ser analisados: sub-produtos de degradação, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato e nitrogênio, ferro total e dissolvido, sulfato e sulfeto, metano, dióxido de carbono, pH, alcalinidade e potencial de oxi-redução. Em geral, a atenuação natural pode ser percebida por meio dos seguintes indícios:

- Perdas de contaminantes observadas ao longo do tempo por meio das análises das concentrações dos compostos de interesse;
- Redução na concentração de oxigênio dissolvido e aumento do conteúdo de carbono inorgânico por biodegradação aeróbica;
- Redução na concentração de nitrato sob condições de desnitrificação (condições anaeróbicas);
- Redução na concentração de sulfato sob condições redutoras de sulfato (condições anaeróbicas);
- Aumento na concentração de ferro dissolvido sob condições de redução de ferro (condições anaeróbicas);
- Produção de carbono inorgânico e aumento da alcalinidade (em condições anaeróbicas) sob condições de desnitrificação, redução de sulfato e de ferro dissolvido;
- Aumento na concentração de cloreto e consumo de compostos da mesma família (solventes clorados, por exemplo) sob condições anaeróbicas.

A atenuação natural dos solventes clorados deve ser avaliada pelos seguintes indicadores: perda de doadores de elétrons (natural ou antropogênica), produção de metano (CH₄), aumento na concentração do íon cloreto (Cl⁻), produção de etano (C₂H₆), diminuição na concentração de sulfato (SO₄²⁻), produção de carbono inorgânico (representado por CO₂), aumento da alcalinidade (consumo de H⁺), e aumento na degradação de sub-produtos (cis-1,2-DCE e cloreto de vinila, por exemplo).

A maior vantagem do uso da atenuação natural monitorada como método de remediação é o custo que em geral é significativamente mais baixo que o custo de outros métodos.

Dados gerais e resultados de estudo ambientais anteriores (diagnósticos ambientais ou programas de monitoramento de longo prazo, por exemplo) podem ser usados para demonstrar que a atenuação natural de contaminantes específicos está ocorrendo em uma determinada área e os poços de monitoramento já instalados podem ser amostrados para avaliar a diminuição das concentrações dos contaminantes ao longo do tempo.

Dentre as desvantagens e limitações da atenuação natural monitorada, podem ser citados os seguintes aspectos:

- quantidade de informações necessárias para demonstrar que o processo é viável e seguro ao longo do tempo;
- dificuldades dos interessados em demonstrar às agências ambientais que o método é viável em uma determinada área;
- longos períodos de tempo para que a remediação seja efetivada;
- presença de contaminantes persistentes (resistentes à biodegradação),
- baixas taxas de dispersão no aquífero contaminado;
- contaminantes relativamente solúveis (que geram baixas taxas de sorção);
- falta de dados históricos e resultados que comprovem que a atenuação está realmente ocorrendo na área contaminada.

2.8 Tratamento Térmico

Este processo de tratamento consiste no aquecimento do solo, com o objetivo de promover a separação de contaminantes orgânicos pela volatilização ou destruição.

Pode ser realizada:

- "*in situ*", por meio da injeção de vapor, aquecimento condutivo em poços térmicos ou aquecimento por eletroresistividade;
- "*on site*" ou "*ex situ*", mediante escavação do solo e tratamento em instalações específicas.

2.8.1. Métodos de Tratamento "*in situ*"

Os métodos de tratamento térmico "*in situ*" consistem na remoção de compostos químicos do solo e das águas subterrâneas por meio do aquecimento destes meios. O

aquecimento pode destruir ou evaporar certos tipos de compostos. Os compostos voláteis e semi voláteis se transformam em gases, que se movem mais facilmente através do solo. Os poços de coleta capturam os compostos químicos perigosos e gases e estes são bombeados para a superfície, onde são tratados. Os métodos térmicos podem ser usados para compostos em fase líquida não aquosa (NAPL), que não se dissolvem ou não se movem facilmente em água subterrânea.

Os métodos de tratamento térmico “*in situ*” incluem:

- Injeção de vapor

O vapor é injetado no subsolo por meio de poços de injeção, aquecendo a área e mobilizando, evaporando ou destruindo os compostos químicos perigosos presentes, que são coletados nos poços de extração.

No lugar de vapor também pode ser injetado ar quente ou água quente. A água quente mobiliza também compostos em fase líquida não aquosa como os NAPL's, que são extraídos pelos poços de extração.

- Aquecimento por resistência elétrica

Neste método o solo é aquecido pela passagem de corrente elétrica, a partir de eletrodos que são introduzidos na área de tratamento. O calor da corrente elétrica converte a água contida no solo em vapor, o qual elimina os compostos químicos presentes, que são coletados por vácuo nos poços de extração. O solo deve permanecer úmido para garantir a passagem da corrente elétrica.

- Aquecimento por radio frequência

Tipicamente envolve a instalação de uma antena que emite ondas hertzianas (ondas de rádio). As ondas hertzianas aquecem o solo e evaporam os compostos químicos voláteis presentes.

- Aquecimento por condução térmica

Neste método o calor é fornecido por meio de poços de aço (poços térmicos) ou por uma manta térmica que cobre a superfície do solo. A manta é usada onde a contaminação no solo é rasa, enquanto os poços de aço são usados para as contaminações mais profundas.

A descontaminação de solo e águas subterrâneas mediante o emprego de processos térmicos pode levar de poucos meses a vários anos. O tempo do tratamento depende de três principais fatores, que variam de área para área:

1. tipos e quantidades dos compostos químicos presentes;
2. tamanho e profundidade da área contaminada e
3. tipo de solo e condições presentes.

Os métodos de tratamento térmico são seguros, se operados adequadamente. Quando existe uma chance dos gases poluírem o ar, uma cobertura deve ser colocada sobre a superfície do solo, para prevenir que escapem sem tratamento para a atmosfera.

Devem ser realizados testes para garantir que a poeira e os gases emitidos estejam sendo devidamente capturados e tratados.

Os processos térmicos possibilitam a eliminação rápida de muitos tipos de compostos químicos do solo, podendo representar uma boa economia nos custos de remediação, para muitos casos. Dependendo da extensão da área a ser tratada, das condições do subsolo e do tipo e concentrações de compostos químicos presentes, os custos podem, entretanto, se elevar consideravelmente.

Os processos térmicos estão incluídos dentre os poucos métodos capazes de eliminar fases livres não aquosas, NAPL's, evitando os altos custos de escavação do solo para redistribuição ou tratamento "ex situ". Podem ser empregados em muitos tipos de solo, incluindo os solos argilosos, onde outros métodos não funcionariam muito bem.

Esses processos também oferecem um caminho para alcançar as contaminações profundas no subsolo, onde a escavação seria muito difícil ou dispendiosa. Os métodos térmicos estão sendo empregados em um número cada vez mais elevado de locais nos Estados Unidos.

2.8.2. Processo "On site" ou "Ex situ"

A desorsão térmica "On site" ou "Ex situ" é realizada em instalações específicas, fixas ou móveis, constituídas pelos seguintes elementos :

- . instalações para armazenamento;
- . instalações para preparo de solos (secagem e homogeneização de granulometria);
- . alimentação de solos no forno rotativo;
- . forno rotativo para aquecimento do solo e volatilização de contaminantes;
- . sistema de refrigeração e reumidificação de solos tratados;
- . sistema para redistribuição de solos tratados;
- . pós-queimadores de gases;
- . sistemas de resfriamento e tratamento dos gases para controle de poluição atmosférica.

As instalações são passíveis de licenciamento ambiental prévio.

Para promover a desorsão térmica, o processo deve ocorrer em altas temperaturas (superiores a 500 °C para os solos, no forno rotativo, e superiores a 1000 °C para os gases, no pós-queimador).

O solo isento de contaminantes orgânicos é redistribuído e a fração volátil é oxidada em pós-queimadores.

Como a eficiência da reação é sempre inferior a 100%, serão emitidos traços de poluentes não queimados, monóxido de carbono, produtos de queima incompleta e produtos de reformação (como as dioxinas e furanos). Desta maneira, os gases resultantes deverão ser tratados, antes do seu lançamento na atmosfera.

Os solos tratados devem atender um padrão de qualidade pré estabelecido, em função da forma e local definidos para sua redistribuição e as emissões atmosféricas devem atender aos padrões estabelecidos em legislação.

Na Holanda a desorsão térmica vem sendo praticada desde 1984 e existem, no país, 5 instalações, com capacidade para tratamento de 600.000 toneladas de solo por ano (VAN HASSELT, 1998).

Nos Estados Unidos, a desorsão térmica é empregada, como forma de tratamento, em 9 dos 95 locais contaminados por pesticidas inseridos no programa Superfund(EPA, 2001a).

Considera-se que esta técnica encontra-se em bom estágio de desenvolvimento e poucos avanços são esperados no futuro.

2.9.Oxidação Química

O tratamento químico de solos é empregado para decompor, reduzir ou eliminar a toxicidade dos contaminantes presentes, pela mistura superficial ou injeção profunda de produtos químicos.

A princípio, muitas reações são possíveis, incluindo a oxidação, a redução, a polimerização ou a precipitação. A reação mais amplamente empregada é a oxidação química.

As reações de oxidação podem ocorrer naturalmente no solo, ou aceleradas mediante a introdução de um agente oxidante. Possíveis agentes são: ozônio, peróxidos, permanganatos e persulfatos.

A oxidação química utiliza compostos químicos oxidantes para destruir os contaminantes em solo e águas subterrâneas. Os oxidantes transformam compostos químicos perigosos em compostos menos nocivos, como água e dióxido de carbono, podendo destruir muitos tipos de compostos químicos como combustíveis, solventes e pesticidas.

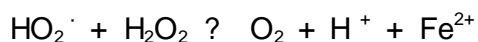
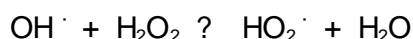
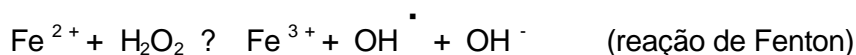
O peróxido de hidrogênio vinha sendo o agente oxidante mais usualmente empregado, por ser facilmente disponível em solução aquosa, pelo seu poder de reação e por reagir de várias maneiras, podendo atingir uma gama variada de substâncias orgânicas. Recentemente este reagente tem sido substituído por (ou empregado em conjunto com) outros oxidantes. Outros agentes oxidantes disponíveis são: peróxido de cálcio, permanganato de sódio e persulfato de sódio.

- Processo de Fenton

Um processo de oxidação química utilizado e documentado é o chamado Reagente de Fenton, que é a reação de peróxido de hidrogênio e ferro, para gerar radicais hidroxil,

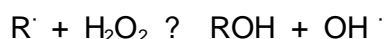
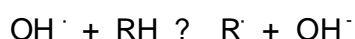
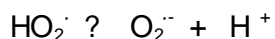
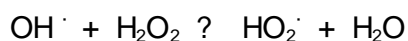
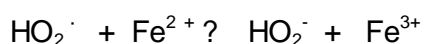
altamente reativos. O ferro atua como um catalisador do processo, podendo estar naturalmente presente no solo, ou ser adicionado no processo.

Fenton, em 1894, descobriu que a adição de sais de ferro (Fe^{+2}) aumentava drasticamente a oxidação do ácido tartárico. Atribuiu esse aumento no poder de oxidação à produção dos radicais livres hidroxila (OH^\cdot) e desde então, a reação de oxidação catalisada por ferro foi chamada de reação de Fenton. A reação de Fenton ocorre eficientemente com o peróxido de hidrogênio em concentrações baixas (aproximadamente 0,03%), oxidando o Ferro II ao Ferro III. Se o pH é mantido entre 2,5 e 3,5 o Fe^{+3} reconverte em Fe^{+2} e o ferro se mantém em solução para continuar a produção catalisada do radical livre hidroxila. Porém, no clássico sistema de Fenton é muito difícil manter a melhor mistura do peróxido de hidrogênio em concentrações baixas com o catalisador, durante a injeção dos compostos químicos. Por isso são usadas soluções com maiores concentrações de peróxido, 5% a 50%, com a injeção simultânea do ferro em solução ácida ou injeção separada e seqüencialmente. Quando o ferro é injetado imediatamente o Fe^{+2} é oxidado a Fe^{+3} e os radicais livres hidroxila reagem com o excesso de peróxido formando o radical peridroxila (HO_2^\cdot), um oxidante relativamente fraco. As principais reações químicas envolvidas no processo são:



-Processo de Fenton modificado

No sistema de Fenton modificado ocorre uma sequência de propagação catalisada do peróxido, gerando o radical peridroxil (HO_2^\cdot), o super óxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), o ânion hidroperóxido (HO_2^-), e os radicais orgânicos (R^\cdot). O ânion super óxido é um fraco redutor e o hidroperóxido é um forte redutor; partindo de soluções de peróxido de hidrogênio em baixas concentrações. Reações adicionais ocorrem entre o oxidante e os compostos orgânicos hidroxilados intermediários, os quais podem ser oxidados ou hidrolizados a outros compostos intermediários, que podem ser consumidos pelas bactérias ou, em alguns casos, continuar a produção de CO_2 e H_2O . As principais reações químicas envolvidas são:



Nesse sistema pode ser produzida uma maior quantidade de radicais do que são consumidos. Esta é a diferença marcante do clássico sistema de Fenton. A estimativa

da demanda de peróxido para os contaminantes ou outras demandas de oxidante (matriz do solo) é determinada pelos fornecedores. O sucesso da aplicação dos oxidantes está na experiência e habilidade do aplicador ou do fornecedor.

- Processo com Peróxido de Cálcio

O peróxido de cálcio é um sólido insolúvel em água, aplicado na forma de pasta. Em pH baixo, o peróxido de cálcio rapidamente se decompõe em O₂, mas estando o pH entre 10-12 leva seis meses para se decompor em peróxido de hidrogênio e oxigênio, fato que pode ser aproveitado numa combinação de aumento de oxidação e bioremediação. Em pH 8, a produção de peróxido de hidrogênio a taxas controladas, a partir do peróxido de cálcio, se aproxima da máxima eficiência, promovendo as reações do sistema de Fenton modificado (que gera maior quantidade de radicais livres).

- Processos com Permanganatos

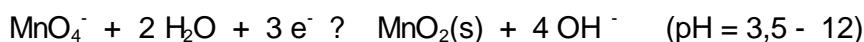
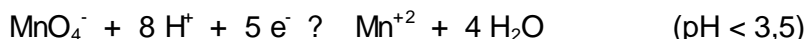
Dentre os reagentes possíveis destacam-se o permanganato de potássio e o permanganato de sódio.

O permanganato de potássio é fornecido na forma de cristais sólidos e é dissolvido em água, na concentração desejada, no próprio local da aplicação.

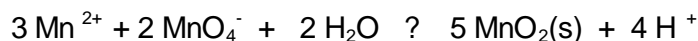
O permanganato de sódio é fornecido na forma de líquido concentrado (mín. 40 % em peso).

A estequiometria e cinética da oxidação do permanganato em áreas contaminadas pode ser muito complexa. O Manganês pode participar de numerosas reações devido ao seu estado de múltiplas valências e à forma mineral. Os permanganatos reagem prontamente com a matriz de solo orgânico, sendo esta uma limitação do emprego desse tipo de oxidante. Os outros oxidantes são pouco reativos com o solo. Os permanganatos também podem reagir com a água, mesmo que lentamente, resultando numa consumação do oxidante e formação do MnO₂.

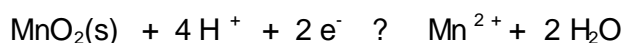
As principais reações redox do permanganato são apresentadas a seguir:



Os cátions Mn²⁺ formados sob condições de alta acidez podem ser oxidados pelo excesso de permanganato:



Em soluções ácidas o Mn⁺⁴ (MnO₂) pode se reduzir vagarosamente a Mn⁺² :

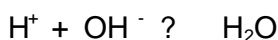
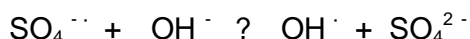


A produção excessiva de Mn^{2+} pode ser problemática em locais onde a legislação vigente regula a concentração dessa espécie na água potável.

- Processos com Persulfatos

Os sais de persulfato, tais como persulfato de sódio e de potássio, quando dissolvidos em água se dissociam em íons persulfato ($S_2O_8^{2-}$), os quais são oxidantes. Quando aquecidos (persulfatos ferventes), a ebulição do persulfato gera o radical livre sulfato ($SO_4^{\cdot -}$), que é muito reativo e está sendo explorado para uso em remediação ambiental.

O persulfato fervente é um oxidante muito potente, equivalente ao peróxido com catalização, como no sistema de Fenton modificado. No início das reações são formados os radicais livres sulfato e a propagação das reações se dá com a geração dos radicais livres hidroxila (OH^{\cdot}) e radicais livres orgânicos (R). O excesso de ferro pode exaurir os radicais livres necessários à propagação das reações. Quelantes (ácido oxálico, ácido cítrico, EDTA) podem ser utilizados para eliminar a competição dos íons Fe^{2+}/Fe^{3+} com os radicais livres sulfato. Em condições de pH baixo, íons hidrogênio (H^+) reagirão com íons hidroxila (OH^{\cdot}) removendo-os do meio, contribuindo também com a diminuição dos radicais livres. As principais reações químicas envolvidas são:



A adição de cal hidratada, para promover um excesso de íons hidroxila, a ativação térmica do persulfato (pelo calor liberado na hidratação da cal) e para gerar os radicais livres sulfato, tem sido utilizada como um efetivo meio de dechlorificação de PCBs.

Íons cloreto, íons carbonato e bicarbonato agem como consumidores de radicais livres sulfato. Entretanto, a taxa com que o excesso de reagentes e radicais diminui, na reação, é muito baixa, comparado com as reações de radicais livres com o contaminante. Porém se as concentrações do contaminante forem relativamente altas, o efeito final é a redução da eficiência do oxidante ou até mesmo a eliminação deste.

O uso do persulfato não é efetivo para remediação de compostos clorados que requerem um número grande de radicais sulfato por mol de contaminante (por exemplo, o TCE requer 6 radicais de sulfato e 4 mols de água para a dechloração), porque os radicais sulfato são solvatados por moléculas de água.

No estágio de desenvolvimento em que se encontra o uso de sistemas com persulfato, pouco se conhece a respeito da razão efetiva de reagente para a concentração do contaminante, ou a demanda orgânica/inorgânica natural. Dessa forma, os testes em laboratório e testes piloto são essenciais para a remediação do site.

O persulfato de sódio é preferível ao de potássio, devido à sua maior solubilidade em água (40% em peso para o sal de sódio e 6% para o sal de potássio).

- Processos com Ozônio/ Peroxonio

O ozônio é um forte oxidante, mas por ser gás, sua utilização pode ser difícil. Esse gás é gerado no próprio local de aplicação, por meio de geradores de ozônio. Os geradores

comerciais produzem jatos de ar e oxigênio contendo de 2 a 10% em peso de O₃. O ozônio pode ser aplicado em condições de pH elevado, para aumentar a taxa de degradação de alguns contaminantes (como os fenólicos), aumentando a formação do radicais livre hidroxila (OH[·]) e o potencial de dissociação das formas iônicas.

A destruição dos contaminantes orgânicos pode ocorrer pelo ataque direto do O₃, nas ligações insaturadas carbono-carbono da molécula do contaminante, e por meio da reação com os radicais livres hidroxila, os quais são formados durante a ozonização pela reação com o íon hidróxido (OH⁻) em pH neutro ou básico.

Alguns inibidores de radicais, tais como carbonatos, ácido húmico e álcool terciário, podem estar presentes no meio, interferindo na eficiência da remediação. Os carbonatos são compostos comuns na matriz de solo. Os demais podem ser produzidos no curso das reações de oxidação.

O ozônio é muito corrosivo, exigindo o uso de materiais especiais nos equipamentos que terão contato com ele (aço inoxidável ou teflon), bem como medidas de segurança em relação à explosividade dos gases envolvidos nas atividades de ozonização.

O ozônio pode ser usado com o peróxido de hidrogênio, para potencializar a formação de radicais livres hidroxila. O método ozônio/peroxônio é considerado o mais agressivo, quando comparado ao método de oxidação somente por ozônio ou ao reagente de Fenton, devido à alta produção alcançada de radicais livres hidroxila, sobretudo para a remoção de contaminates derivados de petróleo. O método Peroxônio, tal como esta técnica é denominada, tem sido utilizado para tratamento de águas contaminadas com TNT, aminodinitrotoluenos e pesticidas.

A reação de oxidação pode causar aquecimento suficiente para ferver a água, causando a evaporação dos compostos químicos presentes nas águas subterrâneas ou transformando-os em gases. Os gases caminham através do solo até a superfície, onde são coletados e tratados.

A escolha do oxidante geralmente é feita mais pela preferência do cliente e/ou do fornecedor do que pelos métodos de seleção e avaliação. A sistemática mais apropriada para a escolha do oxidante seria através da realização de testes em laboratório, com mais de um tipo de oxidante, verificando se a reatividade é tão boa com o solo contaminado quanto com os contaminantes.

Nas tabelas 10.000-2 e 10.000-3, a seguir, são apresentadas a reatividade dos oxidantes para os compostos orgânicos clorados (CVOC's) e outros tipos de compostos orgânicos.

TABELA 10.000-2 Reatividade dos oxidantes com CVOC's

OXIDANTE	REAGE BEM	REAÇÃO LENTA	RECALCITRANTE
Fenton	PCE, TCE, DCE, VC, CB	DCA, CH ₂ Cl ₂	TCA, CT, CHCl ₃
Novo Fenton	PCE, TCE, DCE, VC, CB, DCA, TCA	CH ₂ Cl ₂ , CT, CHCl ₃	
Peróxido de cálcio*	PCE, TCE, DCE, VC, CB, DCA, TCA	CT, CHCl ₃	
Permanganato (K/Na)	PCE, TCE, DCE, VC	NR	NR
Persulfato Na, Fe	PCE, TCE, DCE, VC, CB	NR	NR
Persulfato Na, calor	Todos CVOC's		
Ozônio	PCE, TCE, DCE, VC		TCA, CT, CHCl ₃ , DCA, CB, CH ₂ Cl ₂

(CVOC's = compostos orgânicos clorados, PCE = tetracloroetano, TCE = tricloroetano, TCA = tricloroetano, DCE = dicloroetano, DCA = dicloroetano, VC = cloreto de vinila, CB = clorobenzenos, CT = clorotolueno) *pH modificado para obtenção do sistema de reação desejado.

TABELA.10.000-3 - Reatividade dos oxidantes com outros compostos orgânicos

Oxidante	Benzeno	Tolueno Etilbenzeno Xileno	PAHs	Fenóis	Explosivos	PCBs	Pesticidas
Fenton	A	A	M	A	M	B	B
Novo Fenton	A	A	A	A	A	A	A
Permanganato (K/Na)	NR	A	A	A	A	B	M
Persulfato Na, Fe	A	A	M	A	M	B	M
Persulfato Na, calor	A	A	A	A	A	A	A
Ozônio	M	M	A	A	A	A	A
Peroxonio	A	A	A	A	M	B	B

A= Alta, M=Média, B=Baixa, NR= Não reage

A oxidação química não envolve necessariamente a escavação de solo ou bombeamento de água subterrânea. Os oxidantes podem ser injetados por meio de perfurações no solo, em diferentes profundidades, incluindo os poços de monitoramento perfurados durante a investigação da área. O oxidante se mistura com os compostos contaminantes e causa a quebra desses compostos, transformando-os em compostos menos nocivos. Para agilizar a descontaminação, os oxidantes podem ser injetados num poço e bombeados em outro a jusante, forçando um fluxo que auxilia na mistura dos oxidantes com os contaminantes na água subterrânea e solo. A mistura de oxidantes e contaminantes é bombeada e reinjetada no primeiro poço.(poço de recirculação).

Pode ser difícil a injeção dos oxidantes nos pontos exatos onde se encontram os contaminantes. Em função disso, antes da perfuração dos poços de injeção, as

condições da subsuperfície devem ser estudadas para o conhecimento da localização e concentrações dos contaminantes e como os oxidantes vão se espalhar no solo e águas subterrâneas para alcançar esses contaminantes.

O processo é afetado por uma série de fatores, incluindo :

- . temperatura;
- . ph,
- . concentração de oxigênio na fase líquida (percolados e água intersticial);
- . impurezas presentes;
- . presença de catalisadores;
- . concentração e propriedades químicas dos contaminantes;
- . teor de umidade.

A oxidação química de solos, mediante a introdução de agentes oxidantes, apresenta limitações relacionadas ao consumo de agentes por outras substâncias presentes, não objeto da remediação.

Na prática, o reagente é aplicado a taxas determinadas em testes de laboratório e confirmadas por testes-piloto.

A aplicação do oxidante é realizada, em escala real, por meio de poços de injeção, estrategicamente localizados e distribuídos na área objeto, em função das características geológicas e hidrogeológicas e da extensão da área contaminada.

O processo é controlado por poços de monitoramento.

O sucesso do tratamento está na maximização da dispersão e difusão do reagente através do solo, caso contrário, o tratamento ocorrerá apenas por caminhos preferenciais, sem atingir toda a massa de solos contaminados.

O controle do processo e das reações é de fundamental importância, sobretudo no que se refere às taxas, frequência de aplicação e difusão da mistura de reagentes, para garantir a eficiência e eficácia esperadas no tratamento; bem como no que se refere às temperaturas e pressões resultantes das reações, para garantir as condições de segurança dos trabalhadores e bens a proteger.

As principais restrições quanto a aplicação desta técnica são:

- . elevado teor de matéria orgânica no solo,
- . pH do solo acima de 8;
- . elevados teores de dureza ou carbonatos nas águas subterrâneas;

- . distribuição de contaminantes até camadas muito profundas do subsolo;
- . elevados teores de finos no solo;
- . heterogeneidade das formações constituintes do subsolo.

O método de remediação que emprega a oxidação química pode ser muito seguro, mas também pode ser potencialmente perigoso. Os oxidantes são corrosivos, o que significa que eles podem destruir certos materiais e podem queimar a pele. As pessoas que trabalham com oxidantes devem usar roupas de proteção. Alguns oxidantes podem explodir se usados em condições inadequadas. As explosões podem ser evitadas pela execução de um projeto completo e adequado do sistema de oxidação. Após a oxidação química, o solo, as águas subterrâneas e o ar devem ser testados para a confirmação da eficiência do processo de limpeza do site.

O sucesso do método de remediação por oxidação química está na maximização da dispersão e difusão do reagente através do solo, caso contrário, o tratamento ocorrerá apenas por caminhos preferenciais não atingindo toda a massa de solos contaminados. O controle do processo é de fundamental importância, sobretudo as taxas, frequência de aplicação e difusão da mistura de reagentes, garantindo a eficiência e eficácia esperadas no tratamento; bem como as temperaturas e pressões resultantes das reações, garantindo as condições de segurança dos trabalhadores e bens a proteger.

A oxidação química está sendo utilizada em centenas de áreas contaminadas nos Estados Unidos da América. Esse método destrói os contaminantes sem a necessidade de escavação ou bombeamento das águas subterrâneas para tratamento “*ex situ*”, economizando tempo e dinheiro. A oxidação química é frequentemente utilizada para limpeza de contaminantes que não podem ser alcançados por outro método de remediação, como, por exemplo, contaminações profundas em águas subterrâneas. A oxidação química também pode ser utilizada para a limpeza de fontes da contaminação. A maioria dos outros métodos utilizados para a remoção da fonte são muito lentos ou muito dispendiosos.

2 10 Extração por Solventes

A técnica de extração por solventes envolve a utilização de um solvente capaz de promover a dissolução de contaminantes pouco solúveis em água, presentes numa área contaminada.

Esta técnica é mais usualmente empregada em instalações específicas “*on site*” ou “*ex situ*”, envolvendo a escavação e remoção do solo a ser tratado. Pode ser realizada também “*in situ*”, o que tem sido evitado, pelos problemas decorrentes da propagação indesejada do solvente para outras partes da área em remediação, não objeto de tratamento.

No processo de extração por solventes em instalações “*on site*” ou “*ex situ*” estão envolvidas as seguintes etapas básicas :

- . mistura do solo com o solvente;
- . extração do contaminante;

- . secagem do solo e evaporação de solventes remanescentes;
- . destilação para recuperação de solventes.
- . disposição final do resíduo da recuperação do solvente.

A operação pode ser realizada por bateladas ou de maneira contínua. Algumas instalações são necessárias para a aplicação desta técnica, tais como um sistema de controle de poluição do ar e um sistema para tratamento e disposição do resíduo da recuperação dos solventes.

As seguintes fases são envolvidas no processo:

- . desenvolvimento de um protocolo experimental;
 - . estudo em laboratório e em escala-piloto;
 - . avaliação dos resultados;
- desenvolvimento do projeto em escala real;
- . licenciamento ambiental;
 - . comprovação do tratamento em escala real;
 - . operação e monitoramento;
 - . destinação de resíduos;
 - . redistribuição dos solos tratados.

Este processo tem sido empregado sobretudo para o tratamento de lodos ou sedimentos contaminados por óleos minerais, solventes halogenados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e pesticidas. É particularmente interessante para o caso de materiais arenosos contaminados por substâncias recalcitrantes e pouco solúveis em água.

2.11.Fitorremediação

Fitorremediação é o nome dado ao conjunto de tecnologias que usam plantas para limpar locais contaminados. É uma tecnologia emergente, que usa diversas espécies de plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes do solo e da água subterrânea, aplicável tanto para compostos inorgânicos como para compostos orgânicos.

- Fitoextração e fitovolatilização

Fitoextração e fitovolatilização são os processos de retirada e deslocamento dos contaminantes do solo para as raízes e porções superiores das plantas.

Algumas plantas, chamadas hiperacumuladoras, absorvem grandes quantidades de contaminantes, notadamente metais, em comparação com outras. As plantas, ou uma combinação destas, são selecionadas em função do tipo de contaminantes presentes e outras condições do local. Após o seu crescimento e manutenção no local por um determinado período de tempo, estas são colhidas e dispostas adequadamente.. Esse procedimento deve ser repetido até que níveis de contaminação abaixo dos limites toleráveis sejam alcançados.

Essa tecnologia é mais utilizada para extração de metais, preferencialmente de solos contaminados. Pode também ser usada para tratamento de água subterrânea contaminada, onde o lençol freático é pouco profundo.

Os hiperacumuladores de metais são geralmente de crescimento lento, com uma biomassa pequena e com sistema radicular raso.

- Fitoestabilização

É o uso das plantas para imobilizar os contaminantes do solo por meio da sorção e precipitação na rizosfera (zona de influência as raízes).

- Fitodegradação

É a degradação de contaminantes orgânicos por meio da atividade microbiana mais intensa que ocorre na rizosfera.

As causas do aumento do poder microbiológico na rizosfera não estão devidamente esclarecidas. Não se sabe se isto é devido a simbioses microbianas ou de fungos com as plantas, pela exudação incluindo enzimas ou outros efeitos físico/químicos na zona das raízes.

Diversos projetos examinaram a interação entre plantas e contaminantes como trinitrotolueno (TNT), hidrocarbonetos de petróleo totais (TPH), pentaclorofenol (PCP) e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAH).

Outro mecanismo possível para a degradação de contaminantes é o metabolismo com as plantas. Algumas plantas são capazes de absorver o composto tóxico e, dentro do processo metabólico dos nutrientes disponíveis, detoxificá-los. Tricloroetileno (TCE) é possível ser degradado nas árvores de Poplar, sendo o carbono usado no crescimento de tecido enquanto o cloro é expelido através das raízes.

- Rizofiltração

É a sorção ou precipitação de contaminantes que estão em solução ao redor das raízes, devido a processos bióticos ou abióticos. A retirada, translocação e concentração na planta deverão ocorrer, em função das características do contaminante. Os exudatos de raízes de algumas plantas devem causar precipitação de alguns metais. A rizofiltração resulta primeiramente na contenção do contaminante, onde este será imobilizado ou acumulado dentro da planta. Assim, os contaminantes serão removidos pela retirada integral da planta.

- **Contenção hidráulica**

É o uso de plantas e árvores para controlar o fluxo da água subterrânea em profundidades rasas;

- **Coberturas alternativas**

É o uso de vegetação em longo prazo, para cobertura vegetativa de áreas onde existiam resíduos em aterros, utilizando um mecanismo natural das plantas para minimizar a infiltração de água. Se houver um potencial para geração de gás, o recobrimento vegetativo pode não ser uma opção. Por exemplo, um aterro de lixo doméstico pode produzir emissão de gás que pode não ser compatível com o ser humano e o meio ambiente.

As plantas mais adequadas para a remediação de contaminantes específicos podem ou não ser nativas do local. Embora plantas nativas sejam mais desejáveis, plantas não nativas podem ser aceitas seguindo as seguintes condições:

- As plantas devem ter sido introduzidas previamente, mas atualmente são tão comuns que não possam causar risco algum ao ecossistema local;
- As plantas serem incapazes de propagarem-se efetivamente de maneira selvagem.

A fitorremediação pode ser usada em combinação com outras técnicas de remediação, como uma etapa de finalização ou polimento. Entretanto, algumas aplicações de fitorremediação são mais demoradas do que os métodos mecânicos e são limitadas às profundidades em que as raízes das plantas alcançam.

Geralmente o uso da fitorremediação é limitado a áreas com concentrações baixas a médias de contaminantes e contaminação em poucas profundidades no subsolo.

O uso de árvores permite o tratamento de contaminações mais profundas porque as raízes penetram mais no solo.

2.12. Contenção

A técnica da contenção consiste basicamente em criar barreiras para evitar a liberação de poluentes, do solo para outros meios, como o ar e as águas superficiais e subterrâneas.

Estas barreiras podem ser físicas ou hidráulicas .

As barreiras físicas são, em geral, constituídas por camadas impermeabilizantes de argila ou outro material, empregadas nos casos em que não existe a possibilidade de contato entre o solo contaminado e o aquífero freático .

Nos casos em que existe a possibilidade de contato do solo contaminado com o aquífero freático, são empregadas as barreiras hidráulicas, a partir do rebaixamento do

nível do freático, pelo bombeamento das águas subterrâneas em poços estrategicamente localizados, ou através de trincheiras drenantes.

2.13. Barreiras Reativas

Barreiras reativas, às vezes também denominadas barreiras reativas permeáveis (PRB's – *Permeable Reactive Barriers*) têm sido usadas com sucesso na remediação de água subterrânea. Consistem na passagem da água subterrânea contaminada através de uma barreira permeável instalada em subsuperfície transversalmente à ao sentido de escoamento interceptando essa pluma.

As barreiras podem ser implantadas em diversos tamanhos e formas e são projetadas com base em critérios hidrogeológicos específicos do sítio e nos contaminantes existentes na água subterrânea. Podem ser barreiras contínuas ou barreiras afuniladas em portais (*funnel and gate*), com um ou mais portais. Todas as barreiras funcionam basicamente da mesma forma: a água subterrânea contaminada passa através de uma barreira permeável, instalada em subsuperfície. As barreiras contêm um composto específico, como por exemplo o ferro de valência zero, para tratamento de halocarbonos, que tratam e removem o contaminante da água subterrânea. O objetivo é que a água subterrânea saia da barreira com uma desejada concentração reduzida de contaminante, ou que o contaminante seja transformado em um composto não nocivo, ou ainda que ele seja completamente eliminado. As PRB's têm sido utilizadas para remediar halocarbonos, metais passíveis de redução, metais totais, compostos orgânicos e hidrocarbonetos de petróleo. O processo de projeto e implantação de uma PRB envolve a coleta de dados para caracterização do local, a elaboração de um modelo conceitual que será usado em testes de laboratório para preparação de um projeto preliminar e um teste piloto. Com base no teste piloto, é elaborado o projeto executivo para que a barreira possa ser implantada no local. Os materiais mais comuns usados nas barreiras para tratamento dos contaminantes incluem ferro zero-valente, metais reduzidos, pares de metais, calcáreo, agentes de sorção, agentes redutores e receptores biológicos de elétrons. A eficiência do tratamento é verificada pela interpretação de dados analíticos obtidos em amostras oriundas de sistema de monitoramento a jusante, a montante e também internamente às paredes ou trincheiras.

Algumas limitações das PRB's incluem:

- uso do solo (é necessária uma área considerável para implantação),
- tipo de contaminantes presentes na água subterrânea,
- velocidade da água subterrânea (velocidades altas podem fazer com que o contaminante não tenha o tempo de residência adequado para ser tratado; enquanto que velocidades baixas podem causar uma sobrelevação na pluma se a parede de tratamento ou o portal são estreitos, fazendo com que o contaminante passe pelos lados ou por baixo do sistema implantado, por exemplo),
- concentrações extremamente altas de contaminantes, que podem fazer com que o tratamento seja insuficiente,
- prazo de remediação (tecnologias passivas geralmente resultam em períodos muito longos para se atingir os objetivos de remediação) e

- tamanho da pluma (se uma pluma tem uma área muito extensa ou migrou verticalmente além de 35 metros de profundidade, os custos tornam-se inviáveis para uso de PRB's).

Para sítios com baixas condutividades hidráulicas, as PRB's devem ser instaladas usando-se o sistema de trincheira e portal, que pode evitar os problemas de sobrelevação que causam o fluxo lateral ou por baixo da barreira.

As PRB's podem ser instaladas utilizando diversos tipos de equipamentos, como por exemplo, retroescavadeiras, valetadeiras, jateamento, escavação hidráulica, entre outros. A profundidade média de instalação usando esses métodos varia de 7,0 até 27,0 metros. As espessuras mais usuais das PRB's variam de 30 até 90 centímetros, porém existem barreiras com espessuras menores que 15 centímetros e outras com espessuras maiores que 2,70 metros. Os materiais reativos das PRB's podem ser misturados com cascalho ou areia para aumentar a permeabilidade e reduzir os custos.

Os principais fatores que influenciam os custos do método são a condutividade hidráulica, as concentrações dos contaminantes, as taxas de degradação, as concentrações-alvo da remediação, a profundidade, largura e espessura saturada da pluma e os materiais reativos da PRB.

3. Investigação para Remediação

3.1. Etapas operacionais da investigação para remediação

O órgão ambiental competente exigirá da parte responsável as investigações necessárias para viabilizar a tomada de decisão quanto à natureza e à extensão das medidas remediadoras de áreas contaminadas, nas quais, devido à variabilidade das ações exigidas, dependendo do caso, é indicado um procedimento gradual, em função da natureza, do grau de disseminação ou da quantidade de contaminantes. Uma boa investigação para remediação consistirá, via de regra, de diversas etapas operacionais com seus aportes específicos para que um resultado conclusivo e compreensível seja alcançado.

Tanto nos grandes casos como nos pequenos casos de remediação, será necessário que todas as etapas operacionais sejam avaliadas, podendo-se em certos casos adotar um procedimento simplificado. Nos casos rotineiros ou de pouca monta, assim como naqueles que permitam derivar cenários remediadores a partir de casos semelhantes ou quando a solução for óbvia, há possibilidade de redução de custos da investigação para remediação.

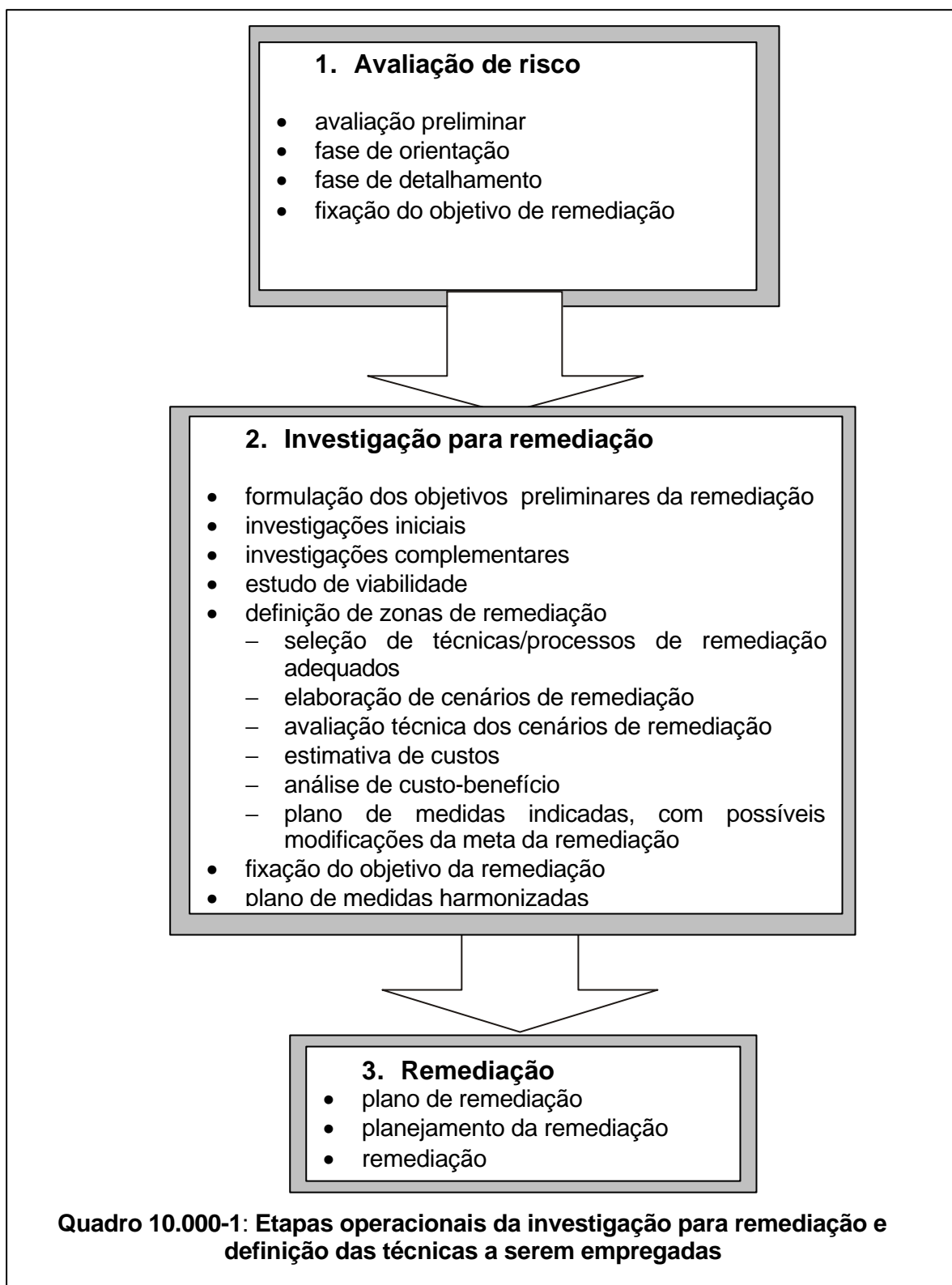
A investigação para a remediação compreende as seguintes etapas operacionais (vide Quadro 10.000-1):

- formulação dos objetivos preliminares da remediação;
- investigações iniciais;
- investigações complementares;
- estudo de viabilidade;
- definição de zonas de remediação;
 - seleção de técnicas/processos de remediação adequados
 - elaboração de cenários de remediação
 - avaliação técnica dos cenários de remediação
 - estimativa de custos
 - análise de custo-benefício
 - plano de medidas indicadas, com possíveis modificações da meta da remediação;
- fixação do objetivo da remediação;
- plano de medidas harmonizadas.

As etapas operacionais da investigação para remediação não precisam obedecer a uma seqüência rígida. Pelo contrário, é preciso observar continuamente as diferentes grandezas envolvidas, considerando progressivamente os diferentes fatores e resultados parciais, num processo de harmonização contínua entre as partes envolvidas na investigação, de modo a garantir uma ótima e efetiva execução do projeto.

A investigação para remediação é a etapa operacional que, no caso de uma área a ser remediada (contaminação constatada, com risco à saúde pública ou área a ser recuperada com vistas a um uso futuro), tem que anteceder, como regra geral, o plano de remediação e o subsequente planejamento das ações remediadoras.

Para melhor compreender o contexto geral do assunto, são explicadas a seguir, sucintamente, cada uma das etapas do processo.



O objetivo da remediação é formulado conjuntamente com o órgão competente, com base na avaliação de risco e serve de orientação para a investigação a ser realizada. As investigações iniciais compreendem o esclarecimento das tarefas, o exame dos documentos existentes, a visita à área contaminada, para identificação da situação no local e, por fim, um apanhado geral atualizado de todos os dados e informações disponíveis sobre a área.

Dependendo das informações colhidas no âmbito da investigação detalhada e avaliação de risco, deverão ser realizadas, conforme o caso, investigações complementares, como estudos de engenharia civil e de engenharia de processo, ajustados em função das técnicas e métodos de remediação considerados teoricamente adequados (com base em pesquisas de campo e análises laboratoriais). Podem ser necessários também, circunstancialmente, estudos complementares para delimitação da situação de contaminação. Os dados apurados constituem a base para a remoção das massas ou cargas contaminadas dos respectivos meios ambientais ou das construções.

Além desses aspectos que são válidos para quaisquer situações, deve-se também investigar possíveis interferências causadas por fundações, tanques enterrados, linhas de matérias-primas e produtos, galerias de águas pluviais e efluentes, poços sumidouros, poços rasos e profundos, principalmente naquelas áreas antigas ou profundamente transformadas. Qualquer uma dessas interferências poderá impedir, reduzir a eficácia ou inviabilizar uma proposta de remediação mesmo muito bem estudada.

Tendo em mãos os resultados das investigações e uma vez definido o objetivo da remediação, inicia-se o estudo de viabilidade. A área a ser tratada pode ser dividida em diferentes zonas de remediação. Em seguida, faz-se a seleção de técnicas e processos conceitualmente apropriados para cada zona (remoção de solos, bombeamento e tratamento de águas subterrâneas, contenção/isolamento ou descontaminação), tendo em vista sua aplicabilidade para a remediação da totalidade das zonas a serem tratadas. Na etapa seguinte serão elaborados cenários de remediação viáveis, dentro das condições locais e adequados às técnicas e processos de tratamento pertinentes ou uma combinação de ambos. Os cenários terão que atender tanto aos dispositivos legais como às orientações específicas para o caso, obtidas a partir da avaliação de risco ou estabelecidas pelo órgão ambiental competente. Para uma seleção qualificada dentre os cenários alternativos, estes serão submetidos, num primeiro momento, a uma avaliação técnica, não-financeira. A estimativa de custos será realizada posteriormente, mas somente para os cenários julgados adequados. Serão, então, estimados os custos iniciais, operacionais e de pós-tratamento, incluindo a manutenção pós tratamento, para a totalidade dos serviços principais e secundários. Na continuação, os cenários julgados aptos serão comparados e avaliados no âmbito de um estudo de custo/benefício.

Usualmente, nessa fase são previstas e detalhadas todas as possíveis restrições institucionais que levaram à validação dos estudos de avaliação de risco. Essas restrições significam em última análise possibilidades de redução de custos de remediação. Entretanto, na grande maioria dos casos, a imposição de restrições não pode ser feita pelo responsável, o qual não dispõe dos instrumentos e da autoridade para viabilizar restrições de direito às terceiras partes envolvidas (vizinhos afetados, público em geral, não utilização de um bem público como a água subterrânea, etc.). No caso do Estado de São Paulo, a atribuição legal para imposição de restrições está

distribuída entre diferentes autoridades públicas responsáveis, as quais deverão avaliar a conveniência e a oportunidade em impor determinadas restrições aos cidadãos. Nem sempre será tecnicamente possível ou politicamente viável a imposição de determinada restrição de direito e nesse caso, o responsável deverá rever os cenários de remediação.

Com base nos resultados de todas as etapas operacionais será proposto um plano de remediação, a ser discutido com o órgão competente.

Para o caso do Estado de São Paulo, a legislação ambiental não considera explicitamente a possibilidade de se restringir a magnitude de um projeto de remediação, ou a ampliação das metas de remediação a serem atingidas, por motivo de limites de recursos financeiros disponíveis. O rol de projetos a ser encaminhado à apreciação da Agência Ambiental deve ser limitado a aquelas concepções que garantam os níveis exigidos de risco e proteção ambiental. Em resumo, a Agência não tem os instrumentos legais para avaliar os aspectos econômicos envolvidos, de modo que as análises de custo benefício devem ser feitas no âmbito do responsável e de seus consultores.

Como resultado da discussão será estabelecido o plano de remediação harmonizado entre todas as partes envolvidas, possivelmente diferente daquele proposto pelo responsável pela área ou seu consultor e fixado o objetivo final da remediação.

3.2 Preparação do projeto de investigação

Uma vez que o órgão competente tenha requisitado da parte responsável a elaboração de um projeto de remediação, é necessário fazer uma preparação sistemática do projeto. Para tanto, são definidas todas as orientações e as partes envolvidas, de modo a possibilitar a organização do projeto, com uma definição clara das tarefas, serviços e competências de cada parte.

3.2.1. Partes envolvidas

As partes envolvidas na realização de uma investigação para remediação são, via de regra :

- o responsável pela área;
- a empresa de consultoria contratada pelo interessado;
- o órgão ambiental competente que pode ser, conforme o caso, a autoridade estadual ou municipal;
- outras autoridades públicas (saúde, outorga de uso de água subterrânea, uso e ocupação do solo, outorga de alvarás de construção, saúde do trabalhador e saúde ocupacional, etc.), caso estejam previstas restrições institucionais;
- as pessoas diretamente afetadas pela contaminação e expostas a risco.

É importante que seja dada às pessoas diretamente afetadas a possibilidade de se informar e participar da avaliação das medidas remediadoras e seus efeitos. Estas informações, em tempo hábil, permitirão, que as pessoas afetadas façam valer objeções e sugestões perante o responsável pela remediação, ou perante o órgão competente. Este procedimento gerará uma maior aceitação e facilitará a implementação e execução das medidas remediadoras.

Visto que na investigação para remediação, dependendo do caso, às vezes também são tangidos outros aspectos (por exemplo o planejamento urbano e a política ambiental, entre outros), é aconselhável esclarecer o assunto junto a outras autoridades competentes e à população o mais cedo possível, para facilitar a gestão e evitar conflitos. Neste sentido é importante informar quais órgãos públicos (por exemplo segundo escalão da administração dos recursos hídricos e paisagismo, repartição de ordem pública, departamentos de planejamento, de obras, de minas, do patrimônio histórico, etc.) e quais tomadores de decisão serão integrados no processo de gestão.

Entre todos os envolvidos deverá haver, durante todo o período de trabalho, um permanente entrosamento, que permita uma gestão eficiente do projeto e a elaboração de um plano de ações harmonizado, defendido por todos.

3.2.2. Trabalhos preliminares

Com os objetivos de assegurar a qualidade do trabalho, o cumprimento de prazos, o atendimento aos limites financeiros do projeto e para que sejam considerados todos os pareceres e informações existentes, cabe ao responsável pela área informar-se, em tempo hábil, sobre suas tarefas e obrigações em conexão com o trabalho de investigação para remediação.

São obrigações que competem ao responsável pela área junto a empresa de consultoria, entre outras:

- Identificar de maneira clara e inequívoca o motivo, a finalidade e o contexto da investigação requerida para a remediação,
- Informar sobre os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente e os objetivos da remediação,
- Informar sobre a definição do uso da área contaminada, orientações de planejamento ou concepções de investidores,
- Colocar à disposição todos os pareceres, documentos, tomadas de posição, orientações e informações existentes que sejam pertinentes,
- Informar lacunas de informação, problemas e dificuldades conhecidas ou suspeitas,
- Informar o nome dos envolvidos no projeto (órgãos públicos, comissões políticas, investidores, bancos, etc.) e seus objetivos,
- Expor as relações de propriedade atuais ou futuras e
- Indicar eventuais requisitos específicos quanto ao conteúdo e à extensão das etapas operacionais individuais (por exemplo quanto à derivação dos objetivos de remediação, tipo e avaliação de propostas, análise de custo/benefício, documentação)

Antes do início de uma investigação para remediação é necessário que sejam fixados os objetivos da investigação e o uso futuro da área contaminada.

Dependendo de cada caso, são possíveis as seguintes situações:

- Controle de riscos puro e simples, com manutenção do uso (uso futuro igual ao uso atual);
- Prescrição de um uso futuro pelo órgão planejador (exemplo: plano de obras, remediação orientada para o uso)

- Desenvolvimento de uma concepção de uso futuro adequado à localização, considerando as condições locais, tipos de poluentes e hipóteses de remediação; planejamento urbano e posicionamentos de investidores que servirão como orientação para a investigação para remediação.

Para a opção escolhida deverá ser realizada uma análise de custo/benefício para o uso futuro estabelecido. Também deverá ser considerada a seguinte variante:

- Especificação de diferentes alternativas de uso pelo órgão planejador (reuso flexível do imóvel) mediante desenvolvimento e comparação de soluções remediadoras alternativas.

A análise de custo/benefício deverá ser realizada considerando-se as várias alternativas de uso futuro da área, de forma a possibilitar uma decisão sobre o cenário de remediação mais adequado para se obter a melhor relação custo/benefício.

Ao mesmo tempo em que é formulado o objetivo inicial da investigação para remediação (controle de riscos, modificação do uso da área, finalidade da remediação, etc.), define-se também o sistema-alvo da análise de custo/benefício.

Se a intenção é conduzir a investigação para remediação visando diferentes usos e, conseqüentemente, objetivos de tratamento diversos, deverão ser elaborados cenários apropriados para cada um desses objetivos, considerando a diferença entre os objetivos que atendem às exigências do controle de riscos.

Por isso, nos casos de maior complexidade, é conveniente que, antes de se iniciar a investigação, o responsável pela área, o órgão planejador, o órgão encarregado de ações de controle de riscos, o consultor e eventualmente os futuros usuários da área estabeleçam de maneira consensual o procedimento a ser seguido.

3.2.3. Objetivos da remediação

Os objetivos da remediação deverão ser estabelecidos por meio de processo interativo, tendo em vista o quadro real no local, a viabilidade técnica e respeitando o princípio da proporcionalidade. Uma vez concluída a avaliação de risco, o órgão competente define inicialmente os objetivos de proteção tendo em vista o caso concreto, os bens a proteger e as vias de exposição.

Possíveis objetivos de proteção são, entre outros:

- Evitar a absorção de contaminantes por seres humanos via contato direto ou indireto,
- Evitar a percolação de contaminantes para a água subterrânea,
- Evitar a disseminação de contaminantes através da água subterrânea,
- Evitar a migração de contaminantes em espaços estanques/confinados,
- Evitar a emissão de poeira carregada de poluentes e
- Evitar a absorção de poluentes pelas plantas.

A partir desses objetivos de proteção, o órgão competente determina o objetivo da remediação, como base para a investigação para remediação.

O objetivo da remediação será definido visando o controle de riscos, sempre atendendo às normas legais, ao bom senso e ao princípio de que a medida será razoável se o risco residual ou contaminação residual forem toleráveis. Para cada caso examinado devem ser observados e avaliados os seguintes critérios:

- Poluente vinculado ao meio impactado (dados do meio, tipo e extensão da contaminação),
- Uso da área (plano urbanístico, uso anterior e uso futuro da área a ser remediada),
- Vias de exposição consideradas (por exemplo, solo, água subterrânea, ar) e condições de disseminação,
- Exposição dos bens a proteger (seres humanos, água subterrânea, solo),
- Bens tangidos dignos de proteção,
- Avaliação toxicológica,
- Valores comparativos dos dispositivos reguladores, ajudas para a avaliação e estudos,
- Exeqüibilidade técnica e
- Princípio da proporcionalidade.

Para estabelecer os objetivos preliminares da remediação é possível também consultar, a título de orientação, valores de referência de várias listas de referência nacionais e internacionais existentes.

Os objetivos de remediação fixados para os respectivos meios podem ser formulados em termos de valores numéricos, ou seja, os níveis limite de substâncias nocivas no meio contaminado (valores alvo da remediação aplicados ao caso isolado, índices para deposição de solo tratado, índices para afluentes, exposição residual tolerável) ou sua correspondente descrição discursiva. Exemplos de descrição discursiva são:

- Escavação do material contaminado dentro de uma área definida,
- Extração de água subterrânea ou de vapores do solo, com subsequente tratamento até alcançar uma concentração residual tolerável na área contaminada e em seus arredores,
- Impermeabilização/cobertura da superfície para impedir o contato direto com um dado meio ou organismo, ou
- A deposição de sedimentos na zona insaturada do solo deve ser evitada mediante impermeabilização da superfície.

O objetivo final da remediação não pode ser fixado adequadamente pelo órgão competente sem a prévia apresentação dos resultados da investigação para remediação.

O objetivo da remediação será concretizado por meio da definição de ações remediadoras que sejam economicamente viáveis .

3.2.4. Segurança para os trabalhos de investigação

Para cada etapa do projeto de remediação, começando com os trabalhos de investigação até a implantação da medida de remediação e sua operação, deve-se elaborar um plano de segurança e saúde. O plano de segurança e saúde deverá ser revisto continuamente.

Para a criação de um plano de segurança e saúde, é necessário adotar princípios de uma política de organização, elaborar o planejamento e tratar de sua aplicação durante a execução de um projeto de investigação para remediação, além de instituir avaliações periódicas que permitam seu aprimoramento, com medidas e ações em prol de melhorias relacionadas à segurança e saúde dos trabalhadores e da comunidade. Para tanto, o plano de segurança e saúde precisa ser desenvolvido em consonância com especialistas e órgãos competentes relativos a essa questão, principalmente técnicos da área médica, de engenharia de segurança e de administração.

As medidas de prevenção e controle constituem o estabelecimento de ações, tanto para evitar a ocorrência de perigos e riscos da saúde e da segurança dos trabalhadores, identificados nos levantamentos anteriores, como aquelas necessárias para controlar outras situações que eventualmente venham a ocorrer (acidentes e demais situações de emergência).

Dentre as ações preventivas, tem-se a divulgação, pelos meios de comunicação interna, de situações e orientações, com explicações a todas as pessoas de como agir em situações de emergência. Nessas informações, deve constar a forma de comunicação com o gestor e/ou instituições competentes para o caso (hospitais, corpo de bombeiros e ministério do trabalho) e orientações de primeiros socorros.

O empreendimento de investigação para remediação deve possuir, também, sistemas de combate a incêndio, seja por meio de hidrantes em conjuntos de casas, seja por meio de extintores de incêndio, portas e escadas de emergência bem sinalizados em prédios de vários pavimentos, dependendo do caso. Devem, ainda, ser equacionados procedimentos de evacuação rápida dos trabalhadores e de moradores dos arredores.

Um dos aspectos importantes a ser tratado é a investigação da origem e causa dos incidentes, lesões, doenças e enfermidades, que permite a identificação de deficiências no projeto de investigação para remediação, e que devem ser documentadas. Essas investigações devem ser feitas por pessoal habilitado, com participação dos trabalhadores e demais pessoas envolvidas no projeto. Os resultados dessas investigações devem então ser divulgados, com disposições corretivas e medidas para a melhoria contínua do plano de segurança e saúde.

De maneira geral, as medidas de prevenção e controle devem ser executadas de acordo com a seguinte ordem de prioridade:

- a) avaliar e supervisionar as situações de perigo ou risco;
- b) trabalhar tais situações na sua origem, com adoção de medidas de controle;
- c) minimizar o perigo ou risco, com a implementação de medidas mitigadoras; e
- d) quando certos perigos ou riscos não puderem ser adequadamente controlados com dispositivos preventivos, determinada área, espaço ou habitação deve ser interditada,

tornando-se inacessível para trabalhadores e/ou moradores, animais e principalmente crianças.

Outra medida importante é a adoção de disposições relativas à realização de auditorias periódicas com vistas a controlar o plano de segurança e saúde no empreendimento de investigação, conferindo-se que seus elementos foram postos em prática e se são adequados e eficazes para a proteção dos trabalhadores e/ou moradores e prevenção de acidentes.

A política e o programa de auditoria devem definir a esfera de competência do auditor, o alcance da auditoria, sua metodologia e prestação de informes, conforme já proposto anteriormente.

Na auditoria relacionada com a evolução do plano de segurança e saúde, devem ser observados, de maneira geral, os seguintes aspectos:

- a) a política de segurança e saúde no empreendimento de investigação;
- b) a participação dos trabalhadores e representantes das autoridades competentes;
- c) a responsabilidade e a obrigação de prestar contas;
- d) a competência e a capacitação;
- e) a documentação do plano e sua comunicação;
- f) se o plano é posto em prática;
- g) as medidas de prevenção e controle;
- h) a prevenção de situações de emergência, as prestações e respostas ante essas situações;
- i) a vigilância e as medições de resultados;
- j) as investigações das lesões, doenças, enfermidades, e incidentes relacionados com o empreendimento de investigação com seus efeitos e resultados baseados no plano de segurança e saúde;
- k) os levantamentos realizados;
- l) as ações preventiva e corretiva;
- m) a melhoria contínua; e
- n) quaisquer outros critérios específicos que a auditoria considere oportunos.

As conclusões da auditoria devem permitir o estabelecimento de metas de melhoria contínua do plano, com a avaliação da sua efetividade e seus elementos, como a eficácia para o sucesso da política e dos objetivos impostos para a gestão e se está ocorrendo a participação dos trabalhadores.

Os resultados da auditoria devem ser divulgados e discutidos para a adoção de medidas corretivas. As medidas devem concentrar-se na identificação e análise das não conformidades das normas da gestão de segurança e saúde.

A adoção de disposições para a melhoria contínua dos elementos pertinentes ao plano de segurança e saúde deve levar em conta:

- a) os objetivos do sistema de gestão de segurança e saúde da entidade responsável;
- b) os resultados das atividades de identificação e evolução dos perigos e riscos;
- c) os resultados da supervisão;
- d) as investigações das lesões, doenças, enfermidades e incidentes relacionados ao empreendimento de investigação com os resultados e recomendações das auditorias;

- e) os resultados dos exames realizados pela entidade responsável; e
- f) os resultados da proteção e promoção da saúde.

3.2.5. Levantamentos iniciais

O primeiro passo do gerenciador do projeto é efetuar os levantamentos iniciais. Para tanto, o responsável pela área lhe fornecerá todos os documentos e informações disponíveis a exemplo daquelas obtidas de acordo com os capítulos Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada e Avaliação de Risco. O texto a seguir aborda de maneira sucinta e aplicada ao cenário de remediação os procedimentos necessários.

O objetivo desta investigação inicial é conhecer o quadro real do local, o estado e quantidade atual das informações e avaliá-los com vistas aos objetivos e às subseqüentes etapas de trabalho. Para tanto, é necessário examinar todos os documentos, dados e informações disponíveis quanto à sua plausibilidade, integralidade e sustentabilidade, para que se possa avaliar se devem ser atualizados ou carecem de estudos complementares. Isto será mais provável nos casos em que tenha se passado um certo tempo desde a última avaliação de risco ou nos casos em que as informações são escassas.

- Levantamento de dados existentes e visitas ao local

A definição do problema e as condicionantes relacionadas devem ser fixadas e esclarecidas de maneira conclusiva. Para isto, o consultor estudará e examinará os pareceres, documentos e mapas fornecidos pelo responsável pela área. Dependendo do caso o consultor deverá pesquisar mais informações em locais apropriados (bibliotecas, instituições geológicas, mapotecas, etc.). Todos os documentos consultados devem ser listados, relacionando seus resultados de maneira ordenada.

Uma vez estudados os documentos, serão efetuadas visitas ao local para um completo levantamento da área a remediar. Nesta fase, é recomendável realizar a visita em companhia de um ex-empregado ou de alguém que conheça bem o local. As condições no local devem ser documentadas e registradas fotograficamente.

É necessário verificar também, se existem informações sobre os aspectos listados abaixo e se as descrições correspondem às condições reais no local. Os déficits informativos devem então constar no laudo a ser elaborado. Os aspectos mais importantes que devem ser verificados são:

- Contaminantes (tipo, concentração, forma de ocorrência, volume, extensão, etc.),
- Meios atingidos (solo, água, ar, materiais biológicos),
- Bens a proteger impactados e vias de exposição,
- Condições de disseminação,
- Condições do subsolo (geologia, hidrologia),
- Água subterrânea (número de aquíferos, direção de fluxo do aquífero freático, etc.),
- Estimativa da quantidade (solo, água subterrânea, lixo, etc.),

- Características do solo de fundação (estabilidade, distribuição granulométrica),
- Uso atual (inclusive se não autorizado) e uso futuro (eventualmente segundo projeto de expansão urbana) e relações de propriedade,
- Estado da área contaminada (edifício, flora, sedimentações, etc.),
- Uso de imóveis vizinhos (distância das construções confrontantes, uso sensível),
- Infra-estrutura utilizável, inclusive instalações (por ex., prédios, galpões, ruas, direitos de captação de água, condução de efluentes, zona livre, deposição provisória de resíduos),
- Restrições próprias da localização da área às operações remediadoras (áreas de preservação da paisagem, áreas de proteção de mananciais, uso sensível, por ex., zona residencial, etc.),
- Acessibilidade legal e técnica ao local, por ex., para equipamentos pesados, e vias de comunicação (estrada, ferrovia, navegação), bem como
- Diretrizes de planejamento urbano e ordem regional.

Além disso, deverá ser examinado se as eventuais ações já realizadas no local foram suficientes, ou se é necessário executar medidas imediatas complementares. Em caso afirmativo, deverão ser formuladas as correspondentes recomendações.

Sobre a base do levantamento dos dados existentes e das visitas ao local serão apontadas as lacunas existentes.

Caso o levantamento revele importantes déficits na avaliação de risco, deverá ser comunicado ao órgão competente que a investigação para remediação eventualmente terá que ser interrompida neste ponto, para uma complementação da avaliação de risco. A complementação é necessária porque dela poderá resultar uma mudança do objetivo da ação remediadora.

- Planejamento das etapas subseqüentes

Como resultado do levantamento dos dados existentes e das visitas ao local será elaborada uma relação tão minuciosa quanto possível dos trabalhos a serem executados visando ao bom andamento das etapas operacionais subseqüentes.

Os estudos adicionais que o consultor entenda serem necessários (investigações específicas para o local ou para o método a ser empregado) serão justificados e tratados com o responsável pela área e, eventualmente, também com o órgão ambiental competente. Além disso, será estabelecida ou não a necessidade de que sejam consultadas outras pessoas ou instituições envolvidas.

- Documentação

Durante e após a execução da investigação deverão ser elaborados documentos para que se conserve um histórico da área avaliada. Importantes neste contexto são: os relatórios de atividades e a descrição atualizada do local.

- Relatórios de atividades

As investigações efetuadas serão documentadas pelo consultor ou pela empresa contratada na forma de relatórios de atividades, incluindo:

- O nome da empresa contratada, com local e data da emissão,
- Serviços executados (boletim das perfurações, descrições litológicas, plantas de construção e com os pontos de medição, relatórios das medições, amostragens e análises) e informações sobre o método de investigação usado,
- Natureza e extensão dos controles dos serviços adicionais,
- Informações sobre o paradeiro dos resíduos gerados,
- Listagem das ocorrências especiais e das situações nas quais existiram dificuldades e,
- Justificativas para eventuais desvios da pauta de investigação original.

- Descrição atualizada do local

As informações sobre o local e seus arredores, constantes na avaliação de risco e nos demais laudos existentes, deverão ser tratadas de forma resumida, juntamente com as avaliações atuais. A descrição atualizada do local é uma parte importante do laudo completo. A localização geográfica da área contaminada deverá ser representada num mapa em escala adequada, com indicações das respectivas coordenadas. As informações sobre a extensão da área a ser tratada, sua altitude e suas vias de comunicação deverão ser apresentadas em mapa mais detalhado. Neste mapa deverão ser assinalados os pontos das investigações realizadas no local, tais como os pontos de perfuração, de sondagem, de coleta de amostras e de outras medições.

Os antecedentes do lugar deverão ser tratados num breve apanhado histórico. Uma descrição sumária ou um apanhado histórico em forma de quadro sinóptico são suficientes para uma investigação para remediação.

O uso atual da área contaminada, assim como o uso e aproveitamento das áreas das imediações deverão ser descritos e expostos num mapa de escala variável.

Uma vez definido o uso futuro da área e/ou de suas imediações, os mesmos também deverão ser representados num mapa mais detalhado, ilustrando de maneira especial as áreas de usos sensíveis (hospitais, escolas, asilos, etc).

Para auxiliar na seleção de técnicas e processos adequados, assim como na elaboração de cenários de remediação, devem ser consideradas também informações adicionais das áreas livres e de suas bases infra-estruturais (vias de comunicação públicas/particulares, água/luz/gás e esgoto).

A situação geológica, hidrogeológica e hidrológica deverá ser descrita, a partir das avaliações anteriores e das avaliações atuais, em forma de seções e mapas geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos (por ex., mapa geológico detalhando o local, mapa do grau de enchimento do local com resíduos (desníveis em relação ao nível do lençol freático), situação de lagos e rios, etc.). Os resultados das perfurações deverão ser documentados de acordo com as normas vigentes (Normas ABNT, CETESB, etc.).

Os poluentes detectados na inventariação, os valores constatados na avaliação de risco, os dados das investigações básicas e dos testes complementares no local devem ser representados separadamente num quadro sinóptico, em sua distribuição pelos meios ambientais (solo, vapor do solo e água subterrânea). Para melhor interpretação dos resultados, deverão ser computados o número de amostragens, o método de análise utilizado e os valores mínimos e máximos, e, eventualmente, os valores em percentual de 50% e 90% (intervalos de confiança).

As concentrações e as descargas variáveis de poluentes, por exemplo, na água subterrânea ou no ar do solo, deverão ser tabeladas e representadas em forma de curvas de variação (gráficos do tipo concentração *versus* tempo, por exemplo) para o respectivo período de observação. Os dados deverão ser avaliados quanto à sua correlação, por exemplo, níveis da água subterrânea e variações da concentração de poluentes. Finalmente, todos os resultados das investigações deverão ser atualizados e visualizados em mapas de contaminação (solo, ar no solo, água subterrânea) e eventualmente em seções de perfil, de tal forma, que seja possível derivar as delimitações de áreas e volumes.

Para a descrição atualizada do local valem as seguintes regras:

- Apresentação clara e inteligível dos resultados, particularmente em forma de tabelas, figuras e/ou gráficos com textos explicativos.
- As representações gráficas devem permitir, na medida do possível, estabelecer uma correspondência direta entre os levantamentos realizados no âmbito da avaliação de risco e os mapas referentes ao uso futuro. Devem ser de leitura fácil e possuir indicações de escala, norte, coordenadas e ajudas para a orientação (nomes de ruas, lagos, rios e canais, edifícios, etc.), bem como uma delimitação da área investigada.

3.2.6. Investigação complementar no local

A necessidade e a extensão das investigações complementares no local decorrem, por um lado, dos trabalhos preliminares e, por outro, da avaliação das técnicas e processos de remediação hipoteticamente adequados. As investigações complementares no local têm por objetivo completar ou atualizar as informações básicas necessárias à remediação, permitindo escolher e avaliar com segurança as técnicas e processos remediadores (avaliações específicas de remediação) e delimitar, se necessário, o estado da contaminação, identificando de maneira conclusiva quais as massas a tratar e quais as áreas a conter ou isolar (avaliações específicas no local). Isto se faz necessário para descobrir técnicas e processos de tratamento adequados, eventualmente subdividir a área contaminada em zonas diferentes de remediação e elaborar cenários se remediação adequados.

Os dados levantados exclusivamente para a avaliação de risco, durante a fase do detalhamento, não são suficientes, via de regra, para determinar de maneira precisa o processo específico a adotar, nem para delimitar com segurança a área ou segmentos da área a tratar, ou para determinar suas correspondentes quantidades ou cubagens. Para um planejamento seguro, é recomendável que sejam efetuadas todas as investigações necessárias, que deverão ser acordadas com o comitente. Isto permitirá uma previsão realista dos custos já na fase de investigação, e, também menos imponderabilidades durante a futura execução do projeto.

- Programa de investigação

Cabe ao consultor estabelecer um programa de investigação a partir dos estudos anteriores e de todos os dados e resultados disponíveis e ajustá-lo progressivamente, adaptando-o se necessário, sempre consultando e informando o contratante. As investigações específicas do local serão baseadas nas avaliações realizadas anteriormente no âmbito da avaliação de risco, para que os resultados possam ser comparados.

As investigações a serem realizadas deverão ser previamente especificadas quanto à sua natureza e extensão e tendo em vista as correspondentes necessidades de coleta de material, técnica e manuseio de amostras e seus pertinentes processos analíticos. A extensão da investigação será fixada caso a caso, em função da indagação concreta. Por exemplo, os dados referentes a tipos de solo e tipos de preenchimento serão diferentes e terão que ser coletados separadamente. O número de amostras necessário para um resultado seguro deve ser justificado detalhadamente.

Dependendo do caso podem tornar-se necessárias as seguintes investigações complementares:

- Investigações geológicas (ex.: prospeções indiretas, sondagens, perfurações),
- Investigações hidrogeológicas/hidrológicas (ex.: teste de bombeamento, teste com traçadores, teste de infiltração, medições de efluentes e precipitações),
- Investigações da mecânica dos solos,
- Investigações biológicas (ex.: atividade microbiana, testes de degradação),
- Testes químico-analíticos,
- Investigações geofísicas (por exemplo, geoeletrica, geomagnetismo),
- Investigações de parâmetros relevantes à remediação (por exemplo, pH, teor de nutrientes, COT, potencial de redox, etc.),
- Investigações de riscos subterrâneos relevantes à remediação (por exemplo, espaços ociosos, fundações, obstáculos à construção, subsolo não homogêneo), e
- Trabalhos topográficos.

A Tabela 10.000-4 indica as investigações específicas requeridas para algumas técnicas de remediação, com a relação dos dados necessários. Por meio desta tabela pode se observar quais dados devem ser coletados durante a etapa de investigação e também para o posterior planejamento visando o edital de serviços a serem contratados. Esta tabela não é completa, devendo ser ajustada, considerando-se a extensão dos dados referentes à avaliação de risco e as particularidades do caso em estudo.

Tabela 10.000-4 Investigações específicas requeridas pelas técnicas de remediação

Dados necessários para processos específicos	TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO						
	Processos térmicos	Processos micro-biológicos	Processos de lavagem	Processos pneumáticos ativos	Processos hidráulicos ativos	Imobilização	Encapsulamento
Forma de ligação dos contaminantes		X	X				
Comportamento do eluato		X	X		X	X	
Substâncias tóxicas/inibidoras da degradação		X					
Perda por queima / componentes orgânicos.	X	X					
Grau de oxidação de metais pesados			X			X	
Grau de ramificação e comprimento das cadeias de carbono, anéis TOC		X					
Atividade biológica		X			X		
Distribuição granulométrica, teor de partículas		X	X			X	
Teor de umidade do solo	X	X	X				
Permeabilidade do solo, valor k_f		X		X	X	X	
Comportamento de adsorção do solo, Teor C_{org} (TOC)		X	X		X	X	
Teor de escórias e cinzas		X	X			X	
Teor de entulhos e substâncias estranhas	X	X	X			X	X
Permeabilidade do solo ao ar (teste de exaustão)				X			
Estratificação do solo e características determinantes no subsolo, inhomogeneidade				X			X
Acomodação do subsolo							X

Dados necessários para processos específicos	TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO						
	Processos térmicos	Processos micro-biológicos	Processos de lavagem	Processos pneumáticos ativos	Processos hidráulicos ativos	Imobilização	Encapsulamento
Desenvolvimento do teor de contaminantes no ar do solo (teste de exaustão)				X			
Umidade e temperatura do ar exaurido				X			
PH, condutividade					X		
Teor de oxigênio	X				X		
Dureza total e do carbono					X		
Saturação de CaCO ₃					X		
Teor de ferro e manganês					X		
Potencial redox	X	X			X		

Tabela 10.000-4 Investigações específicas requeridas pelas técnicas de remediação - continuação

- Medidas imediatas

Uma vez que as investigações básicas tenham revelado algum risco direto para os bens a proteger, antes não identificado em sua natureza e extensão, deverão ser adotadas medidas imediatas de controle destes riscos.

Podem ser citados os seguintes exemplos de possíveis medidas imediatas:

- Restrição do acesso à área contaminada para prevenção de contato direto,
- Restrição ao uso de água subterrânea como água potável ou para irrigação,
- Limitação do uso da área para determinados fins,
- Restrição do uso da área para agricultura ou para a horti-fruticultura,
- Decantação ou bombeamento de contaminantes em fase livre no aquífero,
- Medidas de combate ao risco de explosão e incêndio (por exemplo, instalação de detectores ou dispositivos de ventilação),
- Interdição ou isolamento em caso de perigo de queda ou deslizamento (por exemplo, cercado), e
- Cobertura com lona plástica para evitar a infiltração de água de precipitação.

Caso essas medidas de restrição se estendam para fora dos limites da área de propriedade ou de posse do responsável, uma negociação com as autoridades públicas responsáveis deve ser feita, uma vez que apenas essas autoridades têm os meios para fazer valer as restrições necessárias para controle dos riscos.

- Documentação

A documentação para as investigações complementares será bastante similar à das investigações básicas. Durante e após sua execução também deverão ser elaborados documentos que conservem o histórico da área avaliada. Importantes neste contexto são os relatórios de atividades e a descrição atualizada do local.

4. Critérios para Seleção de Técnicas de Remediação

No estudo de viabilidade, partindo-se da multiplicidade de técnicas e processos de remediação possíveis, ou de sua combinação, são elaborados cenários de remediação para controle e/ou prevenção de riscos oriundos da área em questão. Os cenários têm que ser tecnicamente adequados, legalmente admissíveis, razoáveis e orientados para o uso presente e futuro. Considerando-se as condições específicas do local e todas as demais condicionantes, os cenários são avaliados tecnicamente quanto à sua aptidão, infalibilidade, eficácia e quanto aos seus impactos sobre pessoas e o meio, quanto a seus prováveis custos, a fim de servir de base para a concepção de um projeto de remediação razoável e realizável.

4.1 Estabelecimento das zonas de remediação

Os resultados da avaliação de risco e das investigações básicas e complementares do local possibilitarão ao responsável dividir a área contaminada em áreas específicas, a serem tratadas com técnicas e processos diferentes.

A justificativa quanto a divisão da área deverá basear-se nas condições locais e/ou em recomendações de ordem operacional, como por exemplo:

- Objetivos/valores de remediação diferentes para partes da área usadas para fins diferentes,
- Natureza dos meios contaminados,
- Fatores levantados no inventário de poluentes, como, por exemplo, natureza do poluente, concentração, composição, distribuição, localização da fonte contaminadora,
- Fatores dependentes do solo, por exemplo, tipo e estrutura do solo, natureza dos preenchimentos e fundações, etc., e
- Diversidade das características das fundações, subsolos, caixas d'água, etc.. .

As zonas de remediação serão visualizadas nos mapas de localização e, se for o caso, em seções de perfil. A elas serão alocadas as respectivas áreas e massas relevantes.

As etapas seguintes do estudo de viabilidade (seleção de técnicas/processos adequados, elaboração de cenários de remediação, etc.) serão executadas e documentadas separadamente para cada zona de remediação.

4.2 Seleção de técnicas de remediação possíveis

Na primeira etapa, serão selecionadas e examinadas apenas aquelas técnicas ou combinações de técnicas que sejam teoricamente viáveis. Técnicas e processos não apropriados deverão ser descartados. Considerando-se os bens a proteger, os objetivos de proteção e de remediação requeridos, o estado da contaminação e o uso previsto para a área, as técnicas de descontaminação e de contenção que serão selecionadas deverão ser examinadas quanto à sua utilidade principal (para remediação de toda a

área ou das zonas individuais), vinculadas aos seguintes critérios de avaliação, que poderão ser organizadas em forma de uma matriz. Os critérios de avaliação são:

- Aptidão específica, dependente da natureza do poluente, do solo, do material e do local,
- Adequação específica, dependente das vias de exposição,
- Efetividade duradoura,
- Estado de desenvolvimento, tecnologia de processo e segurança; e
- Exeqüibilidade técnica (por ex.: disponibilidade técnica, praticabilidade quanto à engenharia/ao processo, prazos especificados e necessidade de tempo, adequabilidade).

Em muitos casos, a remediação é executada objetivando a venda e desmembramento futuros da área. Para esse objetivo, o responsável deve avaliar e ponderar a viabilidade de operação e manutenção dos sistemas de remediação a longo prazo e a necessidade de implementação de arranjos institucionais para garantir a eficácia desses sistemas, não sendo razoável prever que os futuros proprietários tenham os meios organizacionais, econômicos e operacionais para assumir individualmente a responsabilidade das remediações em curso. Muitas vezes a constituição de uma empresa para fins específicos ou a constituição de uma associação será necessária para viabilizar a venda ou a incorporação do imóvel.

A Tabela 10.000-5 mostra a aptidão específica de técnicas de remediação, com relação ao tipo de contaminante (processos térmicos, biológicos, pneumáticos e de lixiviação, avaliados por grupo de contaminantes).

A aptidão do processo de descontaminação em relação ao tipo de solo é indicada na Tabela 10.000-6.

As técnicas de contenção e isolamento em relação às vias de exposição mais afetadas água, solo e ar são mostrados na Tabela 10.000-7.

Estas tabelas orientativas para seleção de técnicas e processos, enfocam apenas os aspectos de aptidão e eficácia, desconsiderando os custos de tratamento e de execução dos serviços. A escolha neste caso será efetuada com base em conhecimentos seguros e a partir da experiência obtida em ações remediadoras anteriores comparáveis.

As técnicas e os processos julgados apropriados deverão ser listados, resumidos e comentados quanto à sua aptidão e limitações. As justificativas quanto à seleção dos processos e técnicas que forem julgados apropriados, as restrições conhecidas, assim como a exclusão de outras técnicas e processos, deverá ser efetuada mediante exposição dos argumentos mais importantes.

Se a avaliação não resultar na seleção de técnicas e processos possíveis, as especificações desejadas (por exemplo, uso, objetivo da remediação) terão de ser reconsideradas e redefinidas em comum acordo com as partes envolvidas. Para todas as técnicas e processos considerados aplicáveis, ou suas combinações, deverão ser elaborados, em fase subsequente, cenários específicos para sua localização concreta.

A seleção será dispensável, se todas evidências apontarem para uma única técnica ou processo disponível. Neste caso deverá ser efetuada uma minuciosa justificativa.

Tabela 10.000-5 Matriz de aptidão de técnicas de remediação em função do contaminante

Grupos de contaminantes:	Técnicas de descontaminação				
	Processos térmicos	Processos químicos	Processos biológicos	Lixiviação/ Lavagem do solo	Processos pneumáticos
Metais pesados	NA	A	AR	A	NA
Cianuretos e compostos	CC	A	NA	A	NA
Hidrocarbonetos alifáticos (petróleo e derivados de petróleo)	A	A	A	A	CC
Hidrocarbonetos halogenados voláteis	A	A	AR	A	A
Hidrocarbonetos aromáticos	A	A	AR	A	CC
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	A	AR	CC	A	NA
Outros hidrocarbonetos halogenados	A	AR	CC	A	NA
Legenda: NA geralmente não apropriado AR apropriado com restrições A geralmente apropriado CC decisão caso a caso,					

Tabela 10.000-6 Matriz de aptidão de processos de descontaminação dependendo do tipo de solo

Processos de descontaminação					
Tipo de solo	Processos térmicos	Processos químicos	Processos biológicos	Lavagem de solo	Processos pneumáticos
Saibro/areias	A	A	A	A	A
Saibro/areias siltosas/siltos	A	A	A	A	A
Saibro/areias muito siltosas/siltos argilosos	A	A	A	A	A
silte de baixa ou média plasticidade	A	A	CC	CC	NA
Argila de alta plasticidade	A	CC	NA	NA	NA
Solos de granulação mesclada com misturas orgânicas	A	CC	A	A	A
silte com misturas orgânicas	A	CC	CC	NA	NA
Argila com misturas orgânicas	A	NA	NA	NA	NA
Solos orgânicos	A	NA	NA	NA	NA
Legenda: NA geralmente não apropriado A geralmente apropriado CC decisão caso a caso,					

Vias de exposição mais afetadas nas áreas contaminadas	Água			Solo			Ar	
	Águas superficiais	Águas subterrâneas	Águas subterrâneas/disseminação vertical nas camadas	Erosão	Contato direto	Plantas cultivadas	Saída para a superfície	Disseminação horizontal no subsolo
Cobertura impermeabilizante da superfície	■	◻	◻	■	■	■	■	◻
Paredes impermeabilizantes	◻	■	◻	◻	◻	◻	◻	■
Impermeabilização inferior	◻	◻	■	◻	◻	◻	◻	◻
Contenção de chorume	■	■	■	◻	◻	◻	◻	◻
Drenagem de gases	◻	◻	◻	◻	◻	◻	■	■
Imobilização	■	■	■	■	■	■	■	■
Técnicas hidráulicas passivas	◻	■	■	◻	◻	◻	◻	◻
Técnicas pneumáticas passivas	◻	◻	◻	◻	◻	◻	■	■

Legenda

- ◻ Geralmente não apropriado
- ◻ Apropriado com restrições ou dependente do caso individual
- Geralmente apropriado

Tabela 10.000-7- Matriz para identificação da aptidão específica de técnicas de contenção/isolamento dependendo das vias de exposição

4.2.1. Identificação da aptidão das tecnologias

Os testes para identificar a aptidão das diferentes tecnologias disponíveis são recomendados quando há alguma incerteza quanto à escolha das técnicas e dos processos de remediação apropriados, ou quando sua aplicabilidade e efetividade só possam ser garantidas mediante testes específicos dependentes da localização da área contaminada. Cabe ao consultor:

- Justificar detalhadamente a necessidade dos exames de aptidão (incluindo ensaios piloto),
- Definir as metas das investigações,
- Definir a abrangência de conteúdos, o programa de acompanhamento das investigações e o controle de qualidade,
- Indicar a escala dos testes,
- Definir o investimento de tempo e custos,
- Definir os exames de aptidão em comum acordo com o comitente e o órgão competente, e
- Pegar orçamentos, avaliá-los e preparar a contratação.

Os testes de aptidão servem para identificar a adequação das técnicas e processos, podendo ser realizados a nível laboratorial, no caso de tratamento de solo, em grandes equipamentos técnicos ou, a nível piloto, em parte da área contaminada. Na avaliação da escala dos testes são considerados critérios técnicos, econômicos e de tempo.

Os testes de aptidão usados nas medidas para descontaminação de ar do solo são adequados para determinar a possibilidade de se retirar os contaminantes presentes no solo sob forma de gases e vapores (testes de exaustão). Além disso, servem para avaliar o alcance da exaustão e o desenvolvimento dos contaminantes durante as posteriores operações remediadoras e dimensionar o equipamento a ser utilizado.

Nas medidas de remediação de água subterrânea, as características hidráulicas do aquífero podem ser valoradas mediante testes de bombeamento. Para que um teste de bombeamento informe sobre o provável teor de contaminantes, a vazão do ensaio deve ser a mesma daquela a ser utilizada na posterior operação remediadora, sendo necessário gerar um equilíbrio hidroquímico na água injetada. A probabilidade de se alcançar os objetivos de remediação previstos pode ser testada mediante ensaio piloto. A concentração de substâncias geogênicas e contaminantes encontrados na água deve corresponder a da posterior operação remediadora.

Os ensaios devem ser realizados com amostras típicas da área ou das zonas a serem remediadas; ao chegar no equipamento “off-site”, o estado do material da amostra tem que corresponder àquele do local onde foi colhido, assim como o tipo de tratamento do solo tem que corresponder ao processo de remediação a ser adotado, podendo ser simulado em testes laboratoriais, se aplicável.

Os testes de aptidão podem ser importantes para uma avaliação preliminar das medidas de contenção superficial e de isolamento vertical, conforme o caso, em atenção aos objetivos posteriores. As investigações específicas do solo servem para testar a resposta do solo aos isolantes minerais a serem usados na contenção superficial.

Para avaliar a aptidão de métodos de imobilização são necessários, via de regra, testes com o produto imobilizante. Esses testes incluem ensaios complexos como a determinação do valor da permeabilidade num corpo de prova, a medição do teor de contaminante do lixiviado, a determinação da resistência à pressão e investigações sobre o comportamento a longo prazo da célula triaxial.

Os ensaios de aptidão devem estar concluídos e documentados, com a correspondente avaliação dos seus resultados, antes da elaboração dos cenários de remediação.

4.2.2. Elaboração de cenários de remediação

Para as técnicas e os processos de remediação disponíveis e apropriados, ou sua combinação, serão desenvolvidos cenários de remediação, a serem testados quanto à sua aplicabilidade específica no local em questão.

Um cenário de remediação descreve uma hipótese de execução de medidas remediadoras para uma área contaminada ou subdivisões da mesma, considerando técnicas e processos de remediação ou a sua combinação, incluindo todos os serviços de preparação, acompanhamento e pós-tratamento. Deverão ser considerados ainda, de acordo com o estado da técnica, todos os meios contaminados, o uso anterior e o uso futuro da área, bem como todas as condicionantes específicas da localização.

Cada cenário de remediação tem que satisfazer as regras e disposições legais, bem como as ordens e orientações fixadas pelos órgãos ambientais e demais autoridades públicas para o caso específico. Os cenários de remediação terão que preencher os seguintes requisitos:

- Assegurar a consecução dos objetivos preliminares;
- Ser tecnicamente exequíveis nas condições específicas do local;
- Ser passível de consenso entre todas as partes envolvidas;
- Aportar todas as informações sobre o local, o processo de remediação e o ambiente circundante que sejam necessárias e suficientes para a avaliação técnica do cenário mais apto.

Os cenários de remediação serão desenvolvidos sobre a base de valores experimentais aplicáveis à área ou suas subdivisões e serão testados quanto à sua praticidade. Antes disso, é conveniente verificar se os cenários possuem aceitação pública e política, se preenchem as condições para a aprovação administrativa e se o estágio de desenvolvimento do processo garante o sucesso de sua aplicação.

Dentre os aspectos relevantes no desenvolvimento dos cenários de remediação incluem-se:

- Verificar se há necessidade de autorização para acessar a área, contratos de uso, indenizações, deslocamentos de estabelecimentos e evacuações;
- Acessibilidade (reformas e construções novas) e vias de comunicação (rodovia, ferrovia, hidrovia), e restrições de acesso;
- Instalação de canteiros de obras (infra-estrutura e necessidade de espaço);
- Distância de áreas a serem protegidas;

- Reconstrução e demolição de edificações (limpeza, rompimento, separação, proteção do trabalho, remoção de detritos, etc.);
- Exeqüibilidade da ação remediadora (execução da obra, necessidade de espaço, exigibilidade do processo, tempo necessário, observando limites de quantidade para retirada e efluência de água, impacto sobre o ciclo da água subterrânea, possível afundamento de construções nas imediações, etc.);
- Imponderabilidades (dados faltantes, sua influência na remediação, etc.);
- Aspéctos ocupacionais para os trabalhadores na remediação, proteção contra emissões e imissões, plano de segurança (vestiários apropriados para troca de roupa em áreas contaminadas, equipamento para lavagem de pneus, cobertura total ou parcial, exames e acompanhamento de medicina do trabalho, etc.) e plano de emergência;
- Geração de resíduos, reciclagem e eliminação;
- Impactos aos vizinhos (ruído, pó, poluição, circulação de veículos, evacuação, etc.) e aceitação dos futuros usuários;
- Escavações (quantidades, escoamento de água, isolamento de escavações na obra, fundações, linhas de abastecimento e de saída de resíduos, etc.), bem como gerenciamento do solo;
- Deposições intermediárias do solo (no local ou fora dele, quantidades, exigências, etc.);
- Transporte de solos/materiais (no local ou fora dele, quantidades, distâncias, rodovia, ferrovia, hidrovía, container, etc.);
- Processos de remediação (descontaminação: critérios de aceitação de resíduos, análises para declaração de conteúdo, translados de material contaminado, disposição intermediária, transporte de volta, remontagem, limites de contaminantes residuais nos meios a serem tratados; processo de contenção/isolamento (natureza do uso futuro, potencial de contenção, efetividade de longo prazo, etc.);
- Licenciamentos requeridos (cenários duvidosos quanto à possibilidade de aprovação devem ser evitados), exigências para a aprovação (ver leis e guias jurídicos);
- Obras de reforma durante as operações de remediação;
- Possibilidades e vias de tratamento (tipo e quantidades, acondicionamento, disposição de resíduos, etc.);
- Remontagem do material tratado (quantidades, compatibilidade, etc.);
- Normas de qualidade para os materiais de preenchimento;
- Controle de qualidade (fiscalização própria e por terceiros, fiscalização pelas autoridades, etc.);
- Relações públicas (informação às pessoas afetadas, publicações, folhetos, assembléias de cidadãos, etc.);
- Exigências quanto ao pós-tratamento;
- Medidas de pós-tratamento (operações e conservação de longo prazo, controles de funções, monitoramento das vias de exposição), necessidade de se manter o acesso a pontos de medições adicionais para monitoramento e manutenção em atenção ao uso futuro;
- Restabelecimento de condições de uso (colocação de terra superficial, paisagismo, ligação de pontos de luz, gás e água, galerias subterrâneas, aspectos de construíbilidade, etc.).

Na elaboração de cenários apropriados de remediação devem ser considerados com especial atenção os aspectos ligados à saúde ocupacional e emissões, a durabilidade

das técnicas e dos processos de remediação e a possibilidade de monitoração das mesmas durante e após os trabalhos de remediação (pós-tratamento). Os esforços técnicos, analíticos e organizacionais devem ser descritos com detalhamento máximo, a fim de permitir uma estimativa adequada dos custos.

Os cenários de remediação selecionados, compreendendo todas as medidas e estágios preparatórios, concomitantes e futuros, deverão ser descritos de maneira clara e explicados com vistas à exeqüibilidade de cada fase; vantagens e desvantagens dos cenários deverão ser informadas. Para cada cenário deverão ser descritas a aptidão e a viabilidade para o local específico, a efetividade com vistas às necessidades de tratamento e os impactos sobre a proteção da vizinhança, do trabalho e do meio ambiente, de modo a permitir, na etapa seguinte, a avaliação técnica e a estimativa de custos.

Deverão ser mantidas conversações a respeito de aceitação, licenças, aprovações, assim como para esclarecer problemas de detalhe com os órgãos públicos especializados e outras partes envolvidas no planejamento.

4.2.3. Avaliação técnica dos cenários de remediação

Na avaliação técnica dos cenários de remediação elaborados para a área a remediar ou para suas subdivisões, e considerando-se suas variabilidades, não serão levados em conta os custos financeiros associados. Nesta etapa serão apontadas as hipóteses não comprovadas e as lacunas de informação, com seus correspondentes pesos na avaliação.

O resultado da avaliação técnica representa o benefício dos cenários de remediação e, por conseguinte, o grau de sua adequação técnica. A eficiência multidimensional do cenário de remediação se caracteriza tanto por indicadores objetivos como por estimativas subjetivas.

O objetivo é a avaliação técnica de cada um dos cenários, considerando suas respectivas medidas subsidiárias requeridas, bem como a avaliação comparativa dos diversos cenários em relação aos critérios de apreciação fixados, de modo estabelecer-se uma ordem de precedência ou escala hierárquica.

A avaliação tem que ser transparente e compreensível tanto para o técnico versado na matéria como para o tomador de decisão não envolvido na execução do projeto.

4.2.4. Definição dos critérios de avaliação

Só serão avaliados detalhadamente aqueles cenários de remediação para os quais existe exeqüibilidade teórica. Isto pressupõe que a eficiência e a aplicabilidade das técnicas e processos de remediação envolvidos nesses cenários tenham sido previamente comprovados com base nos quatro critérios de exclusão baseados nas aptidões específicas em relação ao tipo de contaminante, ao tipo de solo, ao tipo de material e às características de localização da área. Somente as técnicas e processos de remediação que satisfaçam estes requisitos servirão para o desenvolvimento dos cenários de remediação.

O cenário de remediação tem que ser praticável, cabível para a localização, avaliável quanto à sua eficácia, obedecer as regras e disposições legais, atender às exigências fixadas caso a caso pelas autoridades, resolver de maneira confiável os objetivos preliminares da remediação, ser passível de aprovação, flexível no ajuste às imprevisibilidades e executável dentro do tempo necessário estipulado. Além disso, terá que ser de eficácia duradoura, monitorável, corrigível, minimizando os impactos sobre o ambiente e pessoas e a geração de resíduos, otimizando o reaproveitamento ao invés da disposição de resíduos e satisfazendo as necessidades de proteção do trabalho e de pós-tratamento.

A diferença quanto ao “input” necessário entre os diversos cenários será considerada apenas no momento em que os custos forem discutidos.

Para a identificação das variações quanto à eficácia entre os diferentes cenários, o resultado da avaliação deverá ser representado mediante critérios, que serão caracterizados por meio de indicadores. Isto facilitará a comparação e servirá de parâmetro ou regra de referência para se determinar os rendimentos esperados de cada cenário.

Os indicadores têm caráter de sugestão. Ao complementar indicadores, deve-se observar que não ocorram avaliações duplas e que não haja dependência entre os indicadores. Somente a avaliação de todos os cenários usando os mesmos critérios ou indicadores previamente fixados permitem uma avaliação objetiva.

Segue, abaixo, uma relação de critérios de avaliação, com seus respectivos indicadores:

- A “*eficácia*” de um cenário para uma localização específica é dada pelos indicadores “consecução do objetivo da remediação”, “durabilidade do efeito”, “monitorabilidade” e “recuperabilidade/corretibilidade”.

O indicador “durabilidade do efeito” avalia o período de tempo em que a medida a aplicar é atuante em relação ao processo de remediação escolhido (descontaminação, contenção/isolamento) dentro de um determinado cenário. O referencial de tempo para construções (paredes impermeabilizantes, impermeabilizações de superfície, paredes reativas, solidificação do solo, etc.), para equipamentos (tratamento de água subterrânea e de chorume, barreiras hidráulicas, estações de desgaseificação, etc.) e para dispositivos de medição e monitoramento é a vida útil média dos mesmos. Dada a escassez de valores até o presente, é necessário recorrer a cálculos, a valores experimentais e aos valores médios esperados. Num cenário de remediação constituído por mais de uma construção/equipamento, o resultado será avaliado juntamente com a durabilidade de efeito da medida global com relação ao elemento determinante da efetividade.

O indicador “monitorabilidade” refere-se à possibilidade de monitorar a operação e o funcionamento das construções e equipamentos de contenção/isolamento, controlar as vias de exposição e observar sua natureza e abrangência. Nos cenários constituídos por vários componentes (construções/equipamentos), o resultado da avaliação deve cobrir a monitorabilidade em relação ao conjunto de medidas remediadoras.

O indicador “recuperabilidade/corretibilidade” dá a medida da possibilidade de se realizar reparos, renovações parciais e substituições nas medidas remediadoras no âmbito do pós-tratamento. Nos cenários constituídos de vários componentes (construções/equipamentos), o resultado da avaliação deve representar a possibilidade e o alcance do monitoramento em relação ao conjunto de medidas remediadoras.

- Os “*impactos*” específicos de um cenário de remediação são dados pelos indicadores “desvantagens para as pessoas afetadas”, “desvantagens para o meio ambiente” e “geração, recuperação e disposição de resíduos”.

O indicador “desvantagens para as pessoas afetadas” avalia a extensão dos impactos advindos de circunstâncias relacionadas com a execução do cenário de remediação (ruído, abalos e vibrações, restrições, incômodos, etc.), inclusive das restrições remanescentes após a conclusão dos trabalhos sobre as pessoas nos arredores da área descontaminada (proprietários de imóveis, usuários e vizinhos da área afetada).

O indicador “desvantagens para o meio ambiente” avalia a extensão dos impactos negativos da execução do cenário sobre o solo, a água, a flora e a fauna (emissões, imissões, desequilíbrios e seqüelas) no local e suas imediações. Além disso, este indicador serve também para medir o input de energia e o consumo de recursos.

O indicador “geração, recuperação e disposição de resíduos” avalia a extensão da geração de resíduos devido ao processo de remediação escolhido e possibilidades e necessidade de reaproveitamento e disposição.

- A “*qualidade do imóvel*” é representada pelos indicadores “potencial de uso”, “segurança relativa à responsabilidade” e “funcionalidade urbano-estrutural”.

O indicador “potencial de uso” dá o grau de melhoria possível no uso do imóvel após a remoção das restrições. Seus critérios são os diferentes tipos de uso da área remediada, considerando eventuais restrições remanescentes para determinados usos em função de risco residual ou estado das emissões. Do ponto de vista dos investidores, são mais interessantes os imóveis não sujeitos a qualquer restrição de uso.

O indicador “segurança relativa à responsabilidade” dá o perfil de crédito e segurança ao imóvel, o que pode ser um obstáculo decisivo nas áreas remediadas sujeitas a determinadas restrições de uso. Diante das hipóteses de risco, não raramente os investidores em potencial tomam suas decisões em função deste indicador. Aqui os motivos podem ser de natureza racional e, mais ainda, irracional (prestígio, aceitação do produto).

O indicador “funcionalidade urbano-estrutural” avalia o potencial de uso e a funcionalidade da área remediada em função das metas de desenvolvimento urbano. As áreas remediadas que satisfazem plenamente as diretivas de uso e função têm pontuação correspondentemente alta, uma vez que, neste caso, é visada a conservação da área para esta finalidade. Já as áreas que bloqueiam o

desenvolvimento urbano ou representam um inconveniente funcional têm a pontuação mais baixa de todas.

É importante que todos os componentes de um cenário sejam avaliados quanto aos critérios referentes aos indicadores relevantes. Isto significa, porém, que só se deve aplicar uma pontuação quando o respectivo componente do cenário, por exemplo, “transporte do solo”, tenha um efeito correlacionado com o quesito em questão. Caso contrário, o indicador não tem importância para a respectiva avaliação. Assim, por exemplo, o critério “qualidade do imóvel” não é relevante para o transporte, por conseguinte não pesa na avaliação.

4.2.5. Estudo de viabilidade das técnicas de remediação

Primeiramente deverá ser estabelecido, dependendo do caso individual e em comum acordo com o responsável pela área e o órgão competente, se a avaliação será de cunho discursivo/argumentativo ou se será uma avaliação da utilidade. Na avaliação discursiva/argumentativa a tônica recai sobre a discussão detalhada dos prós e contras de todos os componentes de um cenário de remediação (serviços principais e subsidiários), em suas vinculações com os critérios previamente adotados, seguida da apreciação do cenário de remediação. Todo cenário será avaliado segundo critérios iguais. Na etapa seguinte, os cenários são avaliados comparativamente. Para facilitar a leitura, recomenda-se uma representação em forma de quadro sinóptico, com palavras chaves explicativas e, se for o caso, uma avaliação semiquantitativa representada por uma escala de símbolos.

A avaliação do valor do benefício dos cenários de remediação é recomendada quando a avaliação discursiva/argumentativa não permitir concluir uma ordem de precedência ou escala hierárquica dos cenários. Quando usada a título complementar, a avaliação do valor do benefício pode ser efetuada de acordo com os mesmos critérios que a discursiva/argumentativa. A análise do valor do benefício é um método de avaliação neutro quanto aos custos e destinada à apreciação comparativa de vários cenários de remediação, considerando os critérios adotados e os casos específicos. Sobre a base de escalas de valorização específicas com os critérios definidos (padrões de valorização), o grau de satisfação dos objetivos é avaliado mediante pontuação e calculado multiplicando-se o valor da pontuação pelo peso correspondente ao benefício parcial do critério (valor do benefício parcial).

O valor do benefício total de um cenário resulta, via de regra, da adição dos valores parciais (agregação), fornecendo assim, a base para se estabelecer uma ordem de precedência ou escala hierárquica dos cenários de remediação.

Antes de se efetuar uma análise dos custos, no âmbito da análise de custo/benefício, é necessário fazer também uma avaliação da utilidade dos cenários de remediação.

A natureza da metodologia de avaliação deve ser previamente tratada em comum acordo com o comitente e o órgão competente. Para maior clareza e compreensão, a avaliação deve ser apresentada como quadro sinóptico, em forma de matriz.

4.2.6. Estimativa dos custos

A estimativa de custos será efetuada tomando se por base valores experimentais, medidas remediadoras comparáveis, pedidos de orçamentos sem compromisso e literatura técnica, após a avaliação técnica dos cenários de remediação. A estimativa de custos constitui a base do cálculo de custo/benefício. Para poder efetuar uma comparação, os custos devem ser divididos nos seguintes itens: serviços preliminares, atividades principais, serviços de acompanhamento da obra e processos e serviços futuros. As verbas para imprevistos devem ser contabilizadas separadamente e não incluídas entre as despesas adicionais. Cada item deve ser acompanhado de um comentário sobre a destinação da verba de modo a permitir a compreensão de todos os serviços envolvidos no cenário.

A estimativa de custos deve considerar todos os custos, por exemplo: custo de produção, despesas com pessoal, custos operacionais, custos de manutenção da obra, custos dos testes, análises e de tratamento dos resíduos.

Entre os custos relativos aos serviços preliminares serão incluídos os desembolsos com planejamento e supervisão da obra, perito, coordenador do projeto e monitoração terceirizada. Os serviços principais compreendem todos os custos de construção e de processo para as correspondentes ações de descontaminação e/ou de contenção/isolamento. Os custos referentes aos serviços de acompanhamento da obra e de processos compreendem, por exemplo, a proteção do trabalho e contra emissões, terraplenagem, vedações, demolição, escoamento de água, reaproveitamento e disposição de resíduos, análises e medições.

Os custos futuros incluem as despesas com pós-tratamento e operações de longo prazo (funcionamento contínuo de máquinas e equipamentos), conservação (manutenção e renovação parcial de construções, equipamentos, dispositivos de medição e controle), controles de funcionamento, monitoramento das vias de exposição e vigilância por períodos de tempo razoáveis.

Como o órgão competente pode exigir medidas de autocontrole mesmo após a conclusão das ações de descontaminação, contenção e restrição, cabe ao perito apresentar propostas justificadas para o período de tempo em questão. Isto é necessário porque os custos de pós-tratamento (por exemplo, depuração de água subterrânea, extração de vapores do solo, contenção/isolamento) podem mudar com o passar do tempo.

Conforme o caso, em comum acordo com o responsável pela área, convém também incluir, na estimativa de custos, os custos de investimento de capital, depreciações/amortizações e o valor acrescido em função de um uso futuro mais interessante financeiramente.

4.2.7. Análise de custo/benefício

Em continuação à estimativa de custos e como instrumento do processo de planejamento e decisório, será feita uma análise de custo/benefício. Seu objetivo é identificar um cenário técnico que seja ecologicamente adequado e orientado para a economicidade no uso de recursos públicos.

Ao se avaliar uma medida destinada ao controle de riscos ou ao reuso da área, no âmbito da investigação para remediação, o benefício de um cenário entra na análise de custo/benefício com prioridade sobre o resultado da avaliação técnica. Para decidir qual cenário de remediação da área ou suas subdivisões é o mais apropriado, o benefício previsto é comparado com os custos correspondentes de cada cenário. A interpretação e o julgamento final dos resultados, consideradas todas as condicionantes específicas da localização e as hipóteses levantadas, permitirão estabelecer uma ordem de precedência ou escala hierárquica dos cenários de remediação.

A seguir é apresentada uma descrição resumida dos diferentes métodos.

É possível usar diferentes métodos de análise de custo/benefício na investigação para remediação. Uma vez que a avaliação técnica tenha sido conduzida de modo dissertativo/argumentativo, o cálculo comparativo de custos é a forma mais simples da análise de custo/benefício. Mas deve-se considerar que o cálculo comparativo pressupõe benefício igual para os cenários a serem avaliados, inexistente em grande número de casos, pelo que é um método de avaliação que pende unilateralmente para o enfoque dos custos. O cálculo comparativo identifica tão-somente o cenário de custo mais baixo, ou seja, o quanto um cenário é mais barato do que outro.

Quando o objetivo da investigação para remediação é descobrir a variante digna da preferência para a remediação da área, considerando diferentes alternativas de uso (reuso flexível), proíbe-se a aplicação do cálculo comparativo, visto que para diferentes alternativas de uso ele resulta num benefício diferente para cada cenário.

Como os custos (custos de produção, custos operacionais) incidem em momentos diversos do período de cálculo, é necessário convertê-los usando uma data de referência comum para podermos compará-los, por exemplo, com o método do valor presente. Este método permite comparar verbas de valores diferentes e incidentes em momentos diferentes, por exemplo, custos iniciais, custos de tratamento, custos operacionais contínuos, etc. Os custos incidentes antes da data de referência (por exemplo, custos de planejamento) são calculados como valor final acumulado, enquanto os custos ulteriores (por exemplo, custos de pós-tratamento) aparecem como valor final deduzido. Ao finalizar os cálculos, é recomendável submeter o resultado a uma análise de sensibilidade para detectar como variações nos dados dos projetos hipotéticos modificam a relação custo/benefício.

Caso a avaliação técnica tenha sido conduzida segundo o método de análise da utilidade, o resultado obtido pode ser correlacionado com os custos apurados para os cenários de remediação individuais, possibilitando uma análise da eficácia dos custos (análise de custo/utilidade). A efetividade, isto é, o benefício de um cenário de remediação, está acima do resultado da avaliação técnica. Diante do cálculo comparativo de custos, há a possibilidade de considerar um benefício diferente para cada cenário individual e, além disso, um benefício parcial diferente para os quesitos individuais de um cenário. Os custos devem ser calculados previamente como valores presentes.

A avaliação da relação custo/eficácia é obtida dividindo-se a pontuação total ponderada de um cenário pelos respectivos custos totais de um período considerado. Obtém-se assim uma ordem de precedência (escala hierárquica) dos cenários para a

representação gráfica do resultado. Para verificação do resultado recomenda-se aqui uma análise de sensibilidade.

Como ainda não existem áreas definidas de monetarização ambiental (valoração expressa em dinheiro) que pudessem ser incluídas na análise de custo/benefício e atendessem às atuais condicionantes específicas das áreas contaminadas, este método de avaliação ainda não pode ser usado para julgamento de cenários de remediação.

4.2.8. Proposta conceitual de remediação

Com base em todos os dados e resultados apurados no âmbito da investigação para remediação, concretamente têm-se:

- Investigações iniciais,
- Investigações complementares no local,
- Objetivos de proteção e de remediação,
- Diretrizes e hipóteses,
- Cenários de remediação aptos e suas avaliações (eventualmente diferenciadas de acordo com zonas de remediação),
- Estimativa dos custos e
- Análise de custo/benefício

O consultor propõe o cenário de remediação que entende ser digno da preferência como plano de medidas (separadas por zonas de remediação, quando necessário). Várias propostas fazem sentido especialmente quando são largamente equivalentes ou a proposta mais apropriada depende de opções de orientações e hipóteses ainda não definidas (por exemplo, quanto à natureza e à data de reuso).

O plano de medidas indicado incluirá todos os dados e informações relevantes que o órgão competente necessita para tomar sua decisão sobre o plano de medidas harmonizadas a executar e estipular os objetivos das ações remediadoras.

Além disso é conveniente incluir, no plano de medidas indicado, algumas recomendações e indicar passos adicionais necessários antes de continuar com o planejamento ou de iniciar a execução da remediação, tais como:

- Medidas de monitoração até o início das ações remediadoras (por exemplo, exames da água subterrânea, medições de sedimentações etc.),
- Medidas imediatas e exames de aptidão eventualmente ainda por realizar,
- Medidas de proteção e restrição até o início das ações remediadoras (por ex.: restrições de uso, recomendações de construção),
- Processo de verificação de provas (por ex.: inventarização de danos em edificações ou quintais),
- Trabalhos topográficos.

Uma vez que o órgão competente tenha estabelecido o plano de medidas indicado, por meio de entendimentos com a parte responsável (agente executor) e todas as demais partes envolvidas, podendo diferir do plano de medidas indicado pelo consultor e

também definido os objetivos da remediação, pode-se então proceder à elaboração do plano de medidas harmonizado, como última etapa da investigação para remediação.

O objetivo é o aprimoramento concepcional do plano de medidas selecionado, tendo em vista todos os serviços preparatórios, as atividades principais, o gerenciamento das obras e o manejo dos processos de todas as ações remediadoras, devendo ser integradas todas as contribuições das partes envolvidas no planejamento. A elaboração de etapas operacionais precedentes serão aproveitadas agora e aprimoradas. Particularmente, o plano de medidas harmonizadas conterá informações sobre os seguintes pontos:

- Resumo textual da atual situação no local, com descrição das contaminações e fontes de riscos,
- Informações sobre o uso anterior e o uso futuro, com representação através de mapas,
- Relação de todos os laudos periciais que embasem o resultado,
- Objetivos de remediação fixados por valores (valores de referência, valores dos objetivos, valores de recolocação, etc.) para os meios afetados, se necessário, separadamente de acordo com as zonas de remediação,
- Representação das diferentes zonas de remediação em mapas, contendo informações sobre áreas e massas,
- Esclarecimentos sobre o funcionamento da remediação (se necessário, sobre as fases de execução),
- Recomendações sobre medidas de proteção e restrição temporárias,
- Representação gráfica das principais ações remediadoras, com mapas e seções transversais,
- Exigências referentes ao plano de segurança e de proteção do trabalho,
- Informações sobre o manejo do solo (cortes do solo, separação, reposição, reciclagem e disposição),
- Informações sobre quantidades e massas para o tratamento de solo/material, para a limpeza de água subterrânea/ar do solo, sobre remanejamentos, sobre áreas a isolar, etc.,
- Exposição sobre a geração de todas as quantidades de resíduos, com informações sobre possibilidades de reciclagem e disposição,
- Exposição sobre a necessidade de monitoramentos, exames e medições concomitantes com as ações remediadoras,
- Exposição do plano de pós-tratamento, com informações sobre operação e manutenção a longo prazo, controles de funcionamento, monitoramento das vias de exposição,
- Exposição das necessidades referentes, trâmites e alvarás,
- Exposição de fatores condicionantes e restrições durante e após as obras de remediação,
- Propostas sobre como atender direitos de terceiros, tolerâncias,
- Estimativa da duração das obras,
- Estimativa de custos atualizada.

4.3 Apresentação da Proposta Conceitual de remediação e apreciação pelo órgão competente

A proposta conceitual de remediação deverá conter informações sobre as investigações iniciais, as investigações complementares no local, o estudo de viabilidade e o plano de medidas harmonizadas, com todas as orientações, resultados, avaliações, recomendações e mapas, apresentados de maneira clara, compreensiva e inteligível.

Recomenda-se a seguinte organização:

- I. Índice
- II. Lista de anexos
- III. Resumo
- IV. Versão completa.

A versão completa do laudo deve ser organizada do seguinte modo:

1 Introdução

- 1.1 Exposição de motivos
- 1.2 Colocação do problema, com menção de todos os objetivos de proteção e de remediação
- 1.3 Documentos utilizados

2 Descrição do local

3 Resultados essenciais da avaliação de risco e de outras perícias

4 Investigações complementares no local

- 4.1 Programa de investigações
- 4.2 Investigações realizadas
- 4.3 Métodos das investigações
- 4.4 Resultados das investigações
- 4.5 Avaliação

5 Derivação e proposta do objetivo da remediação

6 Estudo de viabilidade

- 6.1 Fixação das zonas de remediação
- 6.2 Seleção de técnicas e processos de remediação adequados
- 6.3 Elaboração dos cenários de remediação
- 6.4 Avaliação técnica dos cenários de remediação
- 6.5 Estimativa de custos
- 6.6 Análise de custo/benefício
- 6.7 Plano de medidas indicadas
- 6.8 Recomendações

6 Apresentação do plano de medidas harmonizadas

7 Bibliografia

8 Anexos

Cabe ao órgão competente examinar conclusivamente a proposta conceitual de remediação, incluindo todas as etapas operacionais, especialmente no que diz respeito à aptidão técnica, à eficácia a longo prazo e às condicionantes dependentes da localização, do planejamento e da legislação, assim como considerando o princípio da proporcionalidade.

Deverão ser examinadas com cuidado especial as seguintes questões:

- Os objetivos de proteção e de remediação serão alcançados?
- A aptidão e a eficácia a longo prazo estão suficientemente ancoradas?
- Os cenários de remediação são realizáveis no local específico?
- Os impactos sobre a vizinhança, sobre a proteção do trabalho e sobre o meio ambiente são toleráveis?

Além disso, deverá ser levado em consideração:

- Exigências de planejamento urbano (p.ex.: plano de expansão),
- Exigências relacionadas com tramitação e aprovação (p.ex.: licença perante o código de águas, alvará de construção etc....)
- Contribuições de outras entidades participantes no planejamento técnico
- Direitos de terceiros e
- Tolerâncias.

Em caso de reuso do terreno, deve-se especialmente examinar se as vias de exposição e bens a proteger relevantes para o reuso foram levados em conta na avaliação de risco e na investigação para remediação, e, se o plano de expansão atual, a estabelecer ou a alterar, contém condições específicas a cumprir e exigências relativas à prevenção de riscos.

Após o exame final, o órgão competente ou a parte responsável (agente executor) agindo em comum acordo com o órgão competente, seleciona um cenário de remediação discutido com todas as partes envolvidas, que estará então previsto para realização. Eventualmente este plano será diferente do plano de medidas indicadas pelo perito. Se a parte responsável for um município, a decisão sobre a execução do plano de medidas harmonizadas poderá acontecer mediante uma resolução conjunta.

Em muitos casos a autoridade pública ambiental não dispõe dos meios e instrumentos legais para sustentar sua decisão apenas em um critério de custo/benefício. Desse modo, suas decisões serão voltadas para os cenários que garantam a maximização dos ganhos ambientais e de proteção à saúde, e aqueles que minimizarem restrições institucionais de longo prazo e difícil controle.

4.4.Avaliação do custo do projeto de remediação

A Avaliação econômica de um projeto começa com o estabelecimento da proposta para os trabalhos de remediação. À medida que o projeto de remediação avança a precisão da avaliação dos custos do projeto é cada vez maior.

Os fatores básicos da avaliação econômica de um projeto de remediação podem ser resumidos em:

- capital investido (equipamentos, materiais, etc.) e
- custos dos serviços prestados (amostragem, laboratório, etc.).

É muito importante que durante a execução do projeto de remediação seja avaliada a efetividade das medidas implementadas, por exemplo, se o volume de contaminantes retirados, sua distribuição, sua contensão, funcionamento dos equipamentos, etc. Uma variação nestes quesitos poderá representar um aumento apreciável nos custos estimados do projeto.

As diferentes áreas relativas ao projeto de remediação cujos custos devem ser considerados encontram-se listados abaixo:

1. Trabalhos de supervisão dos serviços de engenharia
2. Trabalhos de publicidade e contato com partes envolvidas e mídia
3. Trabalhos de proteção do local contaminado
4. Preparação da área para os trabalhos de remediação
5. Medidas de proteção para atingir níveis aceitáveis de emissões e imissões
6. Trabalhos de remoção de solo, sua compartimentação e separação
7. Trabalhos de engenharia para a segurança de valas, trincheiras, etc.
8. Trabalhos de instalação de poços e efetuação de sondagens
9. Trabalhos para a contenção de águas (lagoas, instalação de piscinões, etc.)
10. Trabalhos para deposição temporária de resíduos
11. Transporte
12. Trabalhos de pré-tratamento de material e o seu acondicionamento
13. Tratamento de águas residuais, de processos e de infiltrações
14. Injeção direta ou indireta de águas subterrâneas, de águas de processos ou residuárias
15. Tratamento de gases de aterros, vapores, etc.
16. Amostragem, ensaios físico-químicos e avaliações geotécnicas
17. Trabalhos de reinstalação
18. Trabalhos de paisagismo e recuperação ambiental
19. Trabalhos de monitoramento da qualidade do ar, água e solo
20. Instalação de ruas, caminhos e locais de características distintas
21. Trabalhos de decomissionamento (Desmontagem de equipamentos e unidades de produção, retirada de tubulações, retiradas de construções subterrâneas, etc.)
22. Tratamento de resíduos para sua futura deposição
23. Tratamento de resíduos para sua reutilização
24. Medidas de remediação pneumáticas passivas
25. Medidas de remediação hidráulicas passivas
26. Medidas de drenagem e descarga através de canais e drenos
27. Construção de coberturas e confinamentos laterais
28. Impermeabilizações profundas
29. Imobilizações de contaminantes
30. Medidas pneumáticas ativas (por exemplo, *air sparging*)
31. Medidas hidráulicas ativas (por exemplo remediação de águas subterrâneas)
32. Tratamento de águas superficiais

33. Tratamentos térmicos (*on-site, off-site*)
34. Tratamento químico-físico dos solos (*on-site, off-site*)
35. Tratamento biológico
36. Custos homem-hora e de equipamentos; etc.

Todos os custos devem ser apresentados em planilhas e acompanhados regularmente. Cronogramas devem ser utilizados para o acompanhamento da execução das diversas etapas dos projetos de remediação.

5. Referências Bibliográficas

- Bentley, L.R. and M.W. Bowles, 2002. Discussion of "Refractive Flow and Treatment Systems," by D.A. Edwards, V.B. Dick, J.W. Little and S.L. Boyle, 2001, *Ground Water Monitoring and Remediation*, Vol. 21, No. 3, pp. 64-70.
- Bowles, M.W., L.R. Bentley, B. Hoyne and D.A. Thomas, 2000. In Situ Ground Water Remediation Using the Trench and Gate System. *Ground Water*, Vol. 38, No. 2, pp. 172 to 181.
- CALABRESE, E., J.; KOSTECKI, P.T.; DRAGUN, J. (editores). Contaminated Soils, Sediments and Water. Springer, v.10, 2006, Nova York.
- Conant, B., 2001. A PCE Plume Discharging to a River: Investigations of Flux, Geochemistry, and Biodegradation in the Streambed; Ph.D. Thesis, Dr. John Cherry, Supervisor, Dept. of Earth Sciences, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Edwards, D.A., V.B. Dicks, J.W. Little, and S.L. Boyle. 2001. Refractive Flow and Treatment Systems: Conceptual, Analytical, and Numerical Modeling, *Ground Water Monitoring and Remediation*, Vol. 21, No. 3, pp. 64 to 70.
- Flathman, P.E. and Lanza, G.R. 1998. "Phytoremediation: Current Views on an Emerging Green Technology," *Journal of Soil Contamination* 7(4) pgs. 415 to 432.
- Giulbeault, M.A., 2000. Evidence for Small Scale TCE and PCE Variability in Groundwater Concentrations and Implications for Natural Attenuation; Dept. of Earth Sciences, University of Waterloo (supervised by Drs. B.L. Parker and J.A. Cherry), Waterloo, Ontario, Canada. Presented at Groundwater 2000 International Conference on Groundwater Research, Copenhagen, Denmark, June 6 to 8, 2000.
- Ground Water Monitoring and Review. 2003. National Ground Water Association Quarterly Journal, Spring 2003, Reader's Forum, Response to Discussion of Environment vs. Bacteria or Let's Play, 'Name that Bacteria', D. Major et al., pp. 32 to 44.
- Haley, J.L., B. Hanson, C. Enfield, and J. Glass. 1991. Evaluating the Effectiveness of Ground Water Extraction Systems, *Ground Water Monitoring Review*, Winter, Vol. 11, No. 1, pp. 119 to 124.

- Lowe, D.E., C.L. Oubre, and C.H. Ward, 1999. Surfactants and Cosolvents for NAPL Remediation. A Technology Practice Manual. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 412 pp.
- National Research Council, 1994. Alternatives for Groundwater Cleanup. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council, 1997. Innovations in Groundwater and Soil Cleanup from Concept to Commercialization. National Academy Press, Washington, D.C. 292 pp.
- National Research Council, 2000. Natural Attenuation for Groundwater Remediation. National Academy Press, Washington D.C.
- Nyer, E, 1998. Groundwater and Soil Remediation- Practical Methods and Strategies. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 226 pp.
- Nyer, E, 2001. In-Situ Treatment Technology, 2nd edition. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 536 pp.
- Princeton Groundwater, Inc., 2003. Aulas do Curso: Princeton Groundwater Inc. Remediation Course (www.princeton-groundwater.com), organizado pelo Dr. Robert Cleary October 6 to 10, 2003, Orlando, Florida. Instrutores: Dr. Bernard, Greg Rorech, Richard Brownell, Michael Kavanaugh, Dr. John Cherry..
- Tulis, D., P.F. Prevost and P. Kostechki. 1998. Study Points to New Trends in Use of Alternative Technologies at LUST sitios. Soil and Groundwater Cleanup, July, pp. 12 to 17.
- USEPA, 1992. Evaluation of Ground-Water Extraction Remedies: Phase II. February 1992, Publication 9355.4-05.
- USEPA, 1997. The use of MNA for the Remediation of Contaminated Soil and Groundwater at Sitios regulated under OSWER programs. OSWER Directive 9200.4-17, Office of Solid Waste and Emergency Response (<http://www.epa.gov/swerst1/directiv/d9200417.htm>).
- USEPA, 1999. Groundwater Cleanup: Overview of Operating Experience at 28 sitios. Solid Waste and Emergency Response. EPA 542-R-99-006, September.
- USEPA, 2001a. Treatment Technologies for Sitio Cleanup: Annual Status Report (Tenth Edition). Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA-542-R-01-004 (www.clu-in.org/asr).
- USEPA, 2001b. Cost Analyzes for Selected Groundwater Cleanup Projects: Pump and Treat systems and Permeable Reactive Barriers: Solid Waste and Emergency Response. EPA 542-R-00-013. Download at www.clu-in.org. or www.rtdf.org

USEPA, 2001. A Citizen's Guide to In Situ Thermal Treatment Methods. United States of Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA-542-F-01-012 (www.clu-in.org/products/citguide/).

USEPA, 2001. A Citizen's Guide to Chemical Oxidation. United States Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA-542-F-01-013 (www.clu-in.org/products/citguide/).

USEPA, 2001. A Citizen's Guide to Phytoremediation. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA-542-F-01-002 (www.clu-in.org/products/citguide/).

USEPA, 1999. Phytoremediation Resource Guide. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA-542-B-99-003 (www.clu-in.org/download/remed/phytoresgude.pdf).

Wilkins, R.T., R.W. Puls, and G.W. Sewell. 2003. Long-Term Performance of Permeable Reactive Barriers using Zero-Valent Iron: Geochemical and Microbiological Effects. Ground Water Journal, National Ground Water Association, July-August 2003, Vol. 41, No. 4, pp. 493 to 593.

11000 Projeto Detalhado da Remediação

O projeto detalhado da remediação tem como objetivos fornecer todos os detalhes técnicos, bem como um plano de ação, para as atividades de remediação.

Este projeto deverá ser elaborado com base na proposta de remediação aprovada pelo órgão ambiental e de acordo com as recomendações por ele efetuadas.

1. Premissas gerais referentes ao projeto detalhado da remediação

Na elaboração do projeto deverão ser observadas as seguintes premissas:

- Todo serviço a ser executado deve estar conforme com a aprovação por parte do órgão ambiental.
- Todos os documentos relativos ao projeto devem estar disponibilizados.
- Todas as leis (federais, estaduais e municipais), diretrizes e recomendações vigentes no momento da implementação do projeto de remediação, precisam ser respeitadas. Portanto, transferências de contaminantes de um meio físico para outro e/ou sua disposição devem ser efetuadas de maneira adequada, discutida e consensuada com o órgão ambiental.
- Nos casos em que controles institucionais tiverem sido ou venham a ser implementados, os mesmos deverão ser respeitados pelos responsáveis pela área e pelo projeto de remediação. Deve-se lembrar que os ditos controles institucionais envolvem a participação e atuação de diferentes autoridades públicas, as quais nem sempre têm atuação coordenada. A frequência de verificação desses controles deverá ser acordada com todas as autoridades competentes e transcrita no plano de operação, manutenção e monitoramento desenvolvido para o *sítio* contaminado.
- Todas as medidas e procedimentos determinados durante o processo de seleção das técnicas de remediação deverão ser executados a risca e quaisquer modificações necessárias deverão ser comunicadas ao órgão ambiental e aprovadas pelo mesmo.
- O plano de trabalho deverá conter as especificações sobre segurança e saúde, além de descrições sobre os acessos ao *sítio* contaminado e sobre a obtenção de autorizações para esse acesso, dependendo do caso.
- Todos os documentos relativos à implementação e operação deverão ser elaborados em nível de detalhe e apresentados ao órgão ambiental competente para aprovação.

- Em certos casos, poderá ser necessária a execução de medidas de remediação emergenciais, para eliminação ou controle de um perigo iminente à saúde pública, à saúde dos trabalhadores, aos sistemas de serviços públicos ou à proteção de mananciais ou áreas especialmente protegidas, com amostragem concomitante para o delineamento da extensão da contaminação e para a confirmação da quantidade de produto a ser retirado. Nesses casos, os responsáveis devem adotar todas as medidas necessárias para remoção do perigo imediato, independentemente da anuência prévia do órgão de controle, notificando todas as autoridades públicas e concessionárias de serviços públicos sobre as medidas tomadas. O órgão ambiental, assim como as demais autoridades, podem impor ao perito ou aos responsáveis a obrigação da adoção de outras medidas complementares ou adotarem medidas que escapem à competência dos responsáveis, como por exemplo a interrupção de captação de água, a remoção de população ou o isolamento da área através de força policial.
- Nos casos em que seja confirmada a presença de fase livre de contaminantes, a qual já se constitui em fator de risco inaceitável, a mesma deverá ser removida, tratada *in situ* ou contida, no caso em que as duas primeiras opções não possam ser concretizadas. Preferencialmente a remoção de produtos em fase livre deve ser adotada. A decisão quanto à melhor forma de se tratar o caso deverá ser tomada com o aval do órgão ambiental ou autoridade competente.
- Nos casos em que o habitat natural (fauna e flora) encontrar-se ameaçado, o plano de ação deverá conter medidas apropriadas que considerem o delineamento da área, a sua proteção e a sua conservação. Durante a implementação e operação das medidas remediadoras deverão ser criados mecanismos que permitam o monitoramento do estado dos bens que devem ser protegidos. Estes mecanismos deverão ser incluídos no plano de operação e manutenção integrante do projeto detalhado da remediação.
- Todas as restrições ligadas a recursos naturais, restaurações, controle de erosões e outras medidas de proteção ambiental deverão ser especificadas nos memoriais e indicadas em mapas ou plantas de construção.

Os impactos relacionados às diferentes etapas de execução das medidas de remediação deverão ser monitorados, de acordo com especificações contidas no plano de monitoramento integrante do projeto da remediação. Deverão constar, entre outros, os seguintes itens:

1. Implementação de procedimentos para o gerenciamento e controle da erosão de solos, transporte de sedimentos e eventos de inundação, para garantir a proteção de habitats terrestres, fluviais, lagunares e marinhos, que poderão potencialmente ser afetados por descargas superficiais.
2. Monitoramento da turbidez, sólidos em suspensão e de compostos chave em águas superficiais (rios, riachos, lagos, etc.), inclusive com a amostragem de peixes e de membranas semi-permeáveis introduzidas nas águas.

3. Monitoramento de organismos aquáticos e/ou vegetação, em mangues, estuários e corpos d'água afetados por medidas do gerenciamento de água, como por exemplo, extração de água.
4. Observação periódica do comportamento e saúde de espécies em extinção, ameaçadas ou de comunidades ecológicas raras.
5. Interpretação dos resultados, mostrando claramente eventuais desconformidades, discutindo-as e avaliando as tendências para o futuro. Em função dos resultados devem ser propostos os devidos ajustes e alterações no projeto de remediação.

Em todos os casos em que o responsável entender serem necessárias e urgentes medidas para proteção da saúde de pessoas e sua implementação exija a ação de órgãos públicos, estes devem ser imediatamente notificados.

2. Projeto detalhado do sistema de remediação

O projeto detalhado da remediação deverá contemplar os seguintes itens:

- Memorial descritivo;
- Desenhos, plantas e mapas;
- Cronograma de execução;
- Plano de segurança e saúde;
- Plano de operação e manutenção, monitoramento e contingências.
- Programa de relatórios de andamento.

2.1 Memorial descritivo

O memorial descritivo deverá conter:

1. Relatório da investigação para a remediação.
2. Resumo das informações referentes à área, utilizadas para nortear o detalhamento da remediação, notadamente sobre amostragem e análises químicas.
3. Listagem de todas as leis, regulamentações, critérios e padrões pertinentes ao projeto executado.
4. Descrição detalhada das medidas de remediação e das tecnologias a serem adotadas para cada setor da área contaminada.
5. Plano de controle de qualidade, incluindo os métodos de amostragem e os métodos analíticos propostos.
6. Listagem de todos alvarás necessários à execução do projeto de remediação, bem como uma descrição de como obtê-los.
7. Plano de operação e manutenção, monitoramento e contingência, a ser elaborado de acordo com instruções fornecidas adiante, com cronograma referente a sua implementação.
8. Plano de segurança e saúde a ser elaborado de acordo com instruções fornecidas adiante.

O memorial descritivo deverá conter ainda todos os elementos que possibilitem uma futura licitação, incluindo desenhos e plantas e especificações, em alta qualidade.

Será necessária, ainda, a inclusão de um plano de ações de remediação. Este plano deverá conter os seguintes itens:

1. Descrição e localização de todas as instalações e listagem de todos os padrões, critérios e recomendações a serem seguidos durante a implementação das medidas de remediação.
2. Descrição dos controles a serem estabelecidos para a contenção da erosão de solos e do transporte de sedimentos; para o gerenciamento e monitoramento de enchentes; para o controle de poeiras, odores e vapores emanados das obras e outras medidas de monitoramento a serem adotadas durante a implementação das medidas de remediação, quando aplicáveis.
3. Plano de segurança e saúde, conforme descrito mais adiante;
4. Descrição pormenorizada das amostragens a serem realizadas;
5. Descrição dos procedimentos para o descomissionamento e remoção dos elementos e equipamentos de remediação das áreas contaminadas.
6. Estimativa de custos das medidas de remediação.
7. Cronograma para o projeto de remediação.
8. Descrição dos controles institucionais que deverão ser implementados e uma aprovação por escrito do proprietário das áreas contaminadas onde esses controles deverão ser instalados (nos casos em que a implementação destes controles institucionais deve ocorrer em propriedades de terceiros ou se o responsável pelo projeto de remediação não for o proprietário das áreas contaminadas). Além disso, devem também constar a ciência e anuência de todas as autoridades públicas que tenham como atribuição a gestão desses controles institucionais. Por exemplo, a imposição das eventuais restrições construtivas às propriedades de terceiros (escavações, construções de fundações, garagens subterrâneas, porões, necessidade de pilotis, etc.) são atribuições das municipalidades, as quais têm a responsabilidade de emitir os alvarás de construção e portanto deverão saber quais serão essas restrições e concordar com a sua imposição.
9. Plano de operação, manutenção e monitoramento, de acordo com as orientações fornecidas mais adiante.

2.2. Desenhos, plantas e mapas

Os desenhos, plantas e mapas a serem elaborados incluem:

1. Estruturas, instalações e equipamentos necessários a remediação, provisórios ou permanentes, englobando coberturas, paredes diafragmas, unidades de tratamento, tubulações, equipamentos de instrumentação, ou outros;
2. Pontos de amostragem de solos, águas ou outros materiais;
3. Áreas onde haverá mudanças de condições ou remoções de materiais;
4. Remoções de solo, indicando os limites investigados para a escavação e locação das amostras finais confirmatórias;

5. Remoções de tanques subterrâneos de armazenamento, de outras instalações ou construções;

6. Marcos de sinalização permanentes para controles verticais e horizontais, sobretudo nos sítios com manutenção de longo prazo.

7. Mapas e plantas em escala, identificando os diversos setores da área contaminada e as medidas de remediação que serão adotadas em cada um deles, os quais deverão conter:

- a localização das unidades de tratamento;
- o volume do material de cada meio físico que será remediado;
- a extensão vertical e horizontal da área a ser remediada;
- a localização, a profundidade e a concentração de todos os contaminantes que ultrapassem os limites estabelecidos pelo órgão ambiental;
- a localização dos pontos de amostragem, profundidades e parâmetros das amostras a serem coletadas após a construção e implementação das medidas de remediação, e
- a localização de mananciais, rios, mangues e outros habitats que poderão ser afetados pela ação de remediação.

2.3. Cronograma de execução

O projeto detalhado da remediação deverá incluir um cronograma que contemple todas as ações de remediação, além das datas de apresentação dos relatórios de progresso ao órgão ambiental competente. Este documento deve conter:

1. Cronogramas mensais para início e finalização de cada uma das tarefas (todas as etapas em todas as áreas de interesse deverão ser contempladas, incluindo as etapas de concorrência/revisão/contratação pela responsável);

2. Identificação de todas as datas de apresentação de relatórios (mês/ano) ao órgão ambiental, incluindo, relatórios parciais, relatórios de monitoramento de água subterrânea, relatórios com dados pós-remediação para áreas de interesse específico, relatórios de projeto e implantação, relatórios finais de projeto de remediação. Os prazos de análises laboratoriais devem ser considerados na previsão das datas de apresentação de relatórios;

2.4. Plano de Segurança e Saúde

O responsável pela execução de medidas de remediação deve elaborar um plano de segurança e saúde, e ser seguido à risca por todo pessoal envolvido na execução e implementação destas medidas. Cópias deste plano devem encontrar-se disponíveis em locais estratégicos da área a ser remediada, durante todo o período de execução das obras.

O plano de segurança e saúde deverá conter uma seção abrangendo a saúde e segurança dos trabalhadores das obras de remediação e da comunidade ao

redor da área contaminada, com descrição de medidas que permitam a proteção destes receptores, além de visitantes à área. O plano deverá incluir obrigatoriamente um procedimento de monitoramento da qualidade dos meios físicos com os quais estes receptores possam vir a ter contato.

Dentre os procedimentos de segurança, operação e controle previstos devem, ainda, ser incluídos, sempre que pertinentes:

. zoneamento de segurança para a área em remediação, em três zonas:

- sem risco, onde as atividades não representam nenhum perigo às pessoas e os equipamentos estão descontaminados;
- semi-crítica e intermediária, com acesso restrito, onde ocorrerá a descontaminação de equipamentos e
- crítica, onde se desenvolverão os trabalhos de remediação, remoção, acondicionamento e estocagem de solos escavados e outros materiais ou ainda onde ocorrerão outras atividades perigosas.

. treinamento de pessoal;

. utilização de equipamentos de proteção individual;

. isolamento da zona crítica, sendo que nos casos mais complexos deverá ser prevista a construção de galpão, hermeticamente fechado e trabalhando em depressão, para evitar a saída de vapores e material particulado por via atmosférica e o contato de águas de chuva com a área contaminada e com os solos removidos,

. instalação de lavador de caminhões e equipamentos, com sistema de tratamento das águas de lavagem;

. monitoramento da qualidade do ar ou outros meios e medidas de controle;

. procedimentos de emergência.

As operações serão realizadas respeitando-se as normas de segurança, no que se refere à tolerância à exposição ao calor, tempo de permanência na área crítica e supervisão por técnico de segurança, mediante utilização dos EPIs requeridos.

Além desses planos de segurança, será necessário elaborar um plano de contingências, conforme descrito mais adiante, relacionando, para cada um dos possíveis problemas e acidentes que possam ocorrer durante a implantação e operação das medidas de remediação (incluindo transporte de materiais para fora do sítio), as medidas de contingência que deverão ser imediatamente tomadas para controlar e minimizar os impactos decorrentes desses episódios críticos. Esse plano deve ser de conhecimento de todos os envolvidos na operação de remediação e cada indivíduo deverá estar treinado para tomar as ações elencadas. Também deverão estar relacionados os telefones de contato das autoridades públicas que possam ter envolvimento em cada uma das ações de contingência que vierem a ser implementadas.

2.5. Plano de operação, manutenção, monitoramento e contingências

As atividades de operação, manutenção, monitoramento e procedimentos frente a contingências tem início concomitante com a remediação e duram até que os objetivos da remediação tenham sido alcançados e o site descomissionado.

Nos casos em que fontes primárias ou secundárias forem mantidas na área, o órgão ambiental deverá fixar o período de duração das atividades de manutenção e monitoramento, após concluídas as obras de remediação.

Este plano deverá ser elaborado para:

1. Operar e manter os controles de engenharia e/ou sistemas de tratamento de acordo com o projeto elaborado e com segurança;
2. Manter os controles institucionais, quando aplicáveis;
3. Inspecionar e avaliar as informações sobre o site periodicamente, para confirmar se as ações de remediação estão sendo efetivas;
4. Monitorar e registrar a performance e a eficiência/eficácia da remediação, tanto no curto prazo como em longos prazos, por meio do:
 - i. Controle do atendimento aos condicionantes estabelecidos para descartes de materiais provenientes da área ou equivalentes;
 - ii Avaliação dos critérios de performance da remediação;
 - iii. Amostragem e análise dos meios remediados.
5. Determinação da conclusão dos trabalhos, demonstrando que as metas de remediação foram alcançadas.

2.5.1. Plano de Operação e manutenção

O plano de operação e manutenção deve:

1. Ser um documento completo e auto-explicativo para que a remediação possa ser implementada na área conforme projetada e com segurança.
2. Ser atualizado periodicamente durante seu uso, para refletir as mudanças nas condições da *área* ou a maneira com que o sistema está sendo operado e mantido.
3. Incorporar as orientações dos prestadores de serviços especializados, dos manuais de operação e manutenção dos fabricantes dos equipamentos utilizados; dos desenhos

de projeto, dos documentos legais e quaisquer outras exigências de legislações locais, estaduais ou federais.

4. Incluir um plano de monitoramento, um plano de contingência, um plano de saúde e segurança e uma lista de referências e registros.

2.5.2 Plano de Monitoramento

O plano de monitoramento descreve as medições requeridas para o monitoramento da performance e da eficiência da remediação no sítio, bem como para garantir condições de segurança na área. Irá variar em função dos objetivos e controles requeridos por cada uma das técnicas de remediação a serem empregadas, da localização e das características do sítio e das exigências do órgão ambiental competente.

O monitoramento dos resultados é a forma de avaliação padrão para os parâmetros físicos e químicos que irão determinar se o sistema de remediação está apresentando o desempenho esperado. O monitoramento dos resultados inclui, mas não está limitado, aos seguintes itens:

1. Medição da área ou do volume do meio que está sendo tratado;
2. Amostragem dos corpos d'água superficial influentes, intermediários e/ou efluentes;
3. Medições do nível d'água estático nos poços, para determinar o fluxo da água subterrânea e para avaliar o desempenho de sistemas de contenção em subsuperfície ou estruturas de controle da água subterrânea.
4. Medições da massa de contaminante removida e o cálculo da eficiência da remoção e/ou;
5. Avaliação dos resultados do desempenho, monitorando e implementando manutenções ou ajustes no sistema caso os dados identifiquem que o sistema não está operando de forma eficiente.

O monitoramento da eficácia é a análise periódica física e química da água subterrânea, água superficial, solo, sedimentos, ar, biota, etc., para determinar e/ou confirmar que os objetivos da remediação estão sendo atingidos. O monitoramento da eficácia pode ser realizado usando dados obtidos a partir de outras fases de investigação e remediação.

As exigências para o monitoramento da eficácia para vários meios são as seguintes:

1. Para monitorar a eficácia na água subterrânea:
 - i. Uma rede de poços de monitoramento deve ser projetada e monitorada ao longo do tempo, para avaliar as condições de montante e de jusante no entorno da remediação.
 - ii. A rede de poços deve fornecer uma série de pontos de amostragem adequados e eficientes, para que todas as áreas de interesse no site sejam abrangidas individualmente, caso necessário.

iii. Adicionalmente aos dados químicos obtidos para os contaminantes de interesse, a água subterrânea deve ser caracterizada quanto a sua temperatura, pH, condutividade, turbidez, e quando necessário, os parâmetros indicadores para monitoramento da atenuação natural no site.

2 Para monitorar a eficácia na água superficial, solo, sedimento, ar e biota:

i. Os requisitos necessários devem ser estabelecidos em uma amostragem confirmatória, obedecendo as especificidades de cada caso.

ii. Para amostragem de biota, um local de referência *off-site* deve ser selecionado. Antes de se estabelecer as ações de remediação, uma amostragem de background deve ser realizada dentro e fora do site para se estabelecer as condições de referência.

3. Para atenuação natural monitorada (MNA), um programa de monitoramento da água subterrânea deve ser implementado para se monitorar as características da pluma, o fluxo e os processos de controle relacionados, para se obter dados de calibração do modelo que será usado para se estimar a eventual extensão da pluma, e para avaliar a eficiência da atenuação natural monitorada como remediação. Os seguintes aspectos devem ser incluídos no programa:

i. A amostragem deve ser realizada trimestralmente nos poços de monitoramento associados à atenuação natural monitorada, por no mínimo 8 trimestres, incluindo:

- Pelo menos 1 poço de monitoramento na área de interesse, locado na(s) área(s) fonte(s), para monitorar as condições da pluma na área fonte;

- Pelo menos 1 ponto de amostragem na pluma localizado a jusante da área fonte, mas no interior da pluma de contaminação;

- Pelo menos 1 poço de monitoramento na franja da pluma localizado nos limites da pluma, definida como uma área onde as concentrações dos contaminantes estão abaixo dos padrões de potabilidade. Caso compostos sem padrões estabelecidos sejam identificados, deverá ser feita uma avaliação para o caso específico.

- Pelo menos 1 poço de monitoramento sentinela a jusante, localizado além da zona na água subterrânea que exceda os padrões de potabilidade. Níveis de contaminantes no poço sentinela devem permanecer abaixo dos valores orientadores aplicáveis para que a MNA seja considerada eficiente. O poço sentinela deve ser locado a uma distância mínima de três anos de transporte na água subterrânea em relação ao receptor potencial mais próximo a jusante e a uma distância máxima de cinco anos de transporte a partir de limite de jusante estabelecido para a pluma de contaminação.

- Pelo menos 1 ponto de amostragem no eixo central da pluma.

4. O monitoramento do comportamento da pluma (MCP) requer uma abordagem dinâmica e abrangente do monitoramento da água subterrânea. O MCP requer uma rede de poços de monitoramento abrangente o suficiente para monitorar os resultados dos modelos de fluxo e transporte da pluma e para prever impactos a receptores sensíveis. Cada programa específico é ajustado caso a caso com base na observação na dinâmica da pluma e no modelo numérico. Poços de monitoramento são locados ao longo da pluma e em seu fluxo previsto, baseado nos perfis vertical e horizontal, no modelo tridimensional, na proximidade a receptores sensíveis e na avaliação dos profissionais envolvidos. Poços de monitoramento multiníveis devem ser utilizados em vários pontos para caracterizar a pluma verticalmente. Dados obtidos em todos os pontos de monitoramento devem ser utilizados para calibrar o modelo numérico assegurando que o modelo descreve de forma real a pluma de contaminante e para validar a proteção a receptores sensíveis. Os seguintes itens devem ser incluídos no programa:

i. A amostragem deve ser realizada trimestralmente em poços de monitoramento associados a MCP, por um período mínimo de 8 trimestres, incluindo:

- Pelo menos 1 poço multinível na área fonte para monitorar as concentrações de contaminantes e determinar o gradiente hidráulico vertical.
- Pelo menos 1 poço multinível locado a jusante da área fonte ao longo do eixo central da pluma, para possibilitar a caracterização vertical da pluma.
- Pelo menos 1 poço de monitoramento locado nos limites da pluma, na área definida onde as concentrações dos contaminantes são menores que os valores orientadores aplicáveis. Esse poço deve ter seu filtro ultrapassando a profundidade prevista para a máxima concentração com base no gradiente vertical observado.
- Pelo menos um poço multinível sentinela localizado além da área onde as concentrações de contaminantes nas águas subterrâneas ultrapassam os valores orientadores aplicáveis, tendo a seção filtrante ultrapassando a profundidade máxima da contaminação. O poço sentinela deve ser locado a uma distância mínima de três anos de transporte na água subterrânea em relação ao receptor potencial mais próximo a jusante e a uma distância máxima de cinco anos de transporte a partir de limite de jusante estabelecido para a pluma de contaminação.
- Poços de monitoramento adicionais podem ser instalados ao longo do eixo central da pluma modelada, ou imediatamente (dentro do prazo máximo de 2 semanas) após a primeira amostragem demonstrando contaminação no poço sentinela de jusante. A diferença de tempo entre a previsão e a primeira observação de contaminante deve ser utilizada para refinar e/ou reavaliar o modelo numérico. As sucessivas distâncias para poços de jusante serão ajustadas com base nas reavaliações do modelo numérico.
- A medida que a pluma avança na direção da zona de descarga, a frequência de amostragem dos poços de montante pode ser reduzida com base na análise de tendência das concentrações e na maior confiabilidade no

modelo numérico. Quando a pluma atingir sua área de descarga, a rede de poços de monitoramento pode ser revista de acordo com os requisitos de específicos para o site.

Para sítios ou áreas de interesse envolvendo impacto em peixes e outros recursos aquáticos, pode ser necessário o monitoramento após a implantação da remediação, para avaliar as condições físicas, químicas e biológicas resultantes da remediação, assim como a eficiência de longo prazo das ações de remediação. O monitoramento da vida aquática e de outros recursos deve ser realizado seguindo o plano de monitoramento desenvolvido de acordo com esta seção.

i. Quando aplicável, o monitoramento de peixes e outros recursos aquáticos deve incluir documentação fotográfica

ii. Quando aplicável, as condições físicas a serem monitoradas incluem:

- Avaliação de áreas alagadiças ou outras plantações surgidas durante a recuperação do site, para assegurar a sobrevivência e crescimento aceitáveis e para remover espécies invasoras. Espécies que não se enquadrem em parâmetros específicos devem ser removidas. Para recuperação de pântanos e/ou outras áreas alagadiças, o monitoramento por cinco anos e o período de substituição de espécies devem ser incluídos no manual de OM&M.
- Inspeção de parâmetros de avaliação de estabilização de margens, para assegurar a manutenção de condições adequadas após o término da remediação. Qualquer tipo de erosão ou colapso das margens ou perda do controle erosivo da vegetação deve ser imediatamente seguido de medidas de controle ou de readequação.
- Monitoramento dos níveis d'água e da vegetação em áreas alagadiças ou corpos d'água superficiais onde as condições hidrogeológicas foram alteradas como resultados da remediação, e
- Observação pós-remediação das condições de vida ou comportamento de espécies em extinção ou ameaçadas, espécies de interesse especial ou comunidades ecológicas raras, para documentar se não houve efeitos nocivos em função dos processos de remediação.

Caso aplicável, o monitoramento das condições químicas e biológicas pós-remediação inclui:

- Amostragem e análises de peixes ou outros tecidos biológicos, para documentar a redução de contaminação nestes recursos;
- Monitoramento de populações macrobênticas ou outros indicadores ambientais, para determinar se condições de ambientes não impactados foram alcançadas ou permanecem inalteradas;
- Execução de análises de toxicidade em sedimentos ou águas superficiais, para determinar se condições não-tóxicas foram alcançadas ou permanecem inalteradas;

- Observação pós-remediação das condições de vida ou comportamento de espécies em extinção ou ameaçadas, espécies de interesse especial ou comunidades ecológicas raras, para documentar se não houve efeitos nocivos em função dos processos de remediação;

O monitoramento de tendências é elaborado a partir do momento em que existam dados em quantidade e qualidade adequados para resultar na interpretação da eficiência da remediação, considerando todas as condições de exposição apresentadas no site e com o objetivo de identificar quaisquer tendências considerando os objetivos finais da remediação;

A amostragem e análise para estabelecer tendências na água subterrânea devem atender no mínimo:

- Dados obtidos em dois anos a partir de monitoramentos trimestrais nos mesmos poços durante as quatro estações climáticas em cada ano;
- Caso o local tenha sido amostrado trimestralmente por 2 anos e os resultados não mostrem nenhuma contaminação significativa ou mudanças de tendência, pode-se considerar a amostragem com periodicidade a cada 15 meses após a aprovação do órgão ambiental, o que também possibilita a avaliação de eventuais variações sazonais; e
- Os resultados analíticos devem ser plotados em gráficos e avaliados para identificar quaisquer tendências nas condições ambientais do site, ou para ilustrar que os objetivos da remediação estão sendo atingidos.

Amostragens adicionais para identificar tendências na água superficial, solo, sedimento, ar e/ou biota podem ser necessárias em alguns sítios, nos quais deve-se considerar análises estatísticas para avaliar e estabelecer tendências. Quando necessária, a análise estatística deve utilizar dados específicos do site e o método utilizado deve ser aprovado pela órgão ambiental antes do tratamento estatístico ser iniciado.

Devem ser coletadas no mínimo 5 amostras para análise da biota em cada ponto, para a obtenção de um volume de dados estatisticamente confiável.

Um plano de monitoramento deve incluir o seguinte:

1. Identificação dos pontos de amostragem e o número de amostras a serem coletadas, incluindo poços particulares de água potável, poços municipais e comerciais e poços de monitoramento;
2. Registros de amostragem para todos os pontos;
3. Frequência de amostragem;
4. Os métodos analíticos a serem empregados e as exigências do programa analítico para a coleta e análise do meio a ser amostrado, considerando os contaminantes de interesse.

5. Uma lista e descrição dos pontos de amostragem para outros sistema relacionados à remediação, tais como pontos entre sistemas de carvão ativado;
6. Requisitos de manutenção e inspeção para os poços de monitoramento;
7. Procedimentos de coleta para a biota, segundo as especificações das normas relacionadas; e
8. Procedimentos de decomissionamento de poços

2.5.3.Plano de Contingências

O plano de contingência descreve os procedimentos que devem ser seguidos em situações de emergência, como por exemplo incêndio, vazamento, derrame ou rompimento de um tanque ou tambor, inundações ou vandalismo.

Um plano de contingência deve incluir os seguintes itens:

- i. Relação de todos os eventos cobertos pelo plano;
- ii. Lista de contatos de emergência com números de telefones;
- iii. Procedimentos de ação para cada evento em condições normais e de contingências;
- iv. Plano de evacuação, que deve incluir mapa de fuga e rota para o hospital mais próximo;
- v. Acordos com ações legais;
- vi. Condições para implementar o plano de contingências;
- vii. Outros procedimentos e documentos solicitados pelo órgão ambiental.

O plano de contingências deve ainda atender aos seguintes requisitos:

- i. Cópias do plano de contingência devem ser disponibilizadas em locais estratégicos das áreas em remediação, em caixas a prova d'água e de fogo, fechadas com chave (e as chaves devem ser disponibilizadas aos responsáveis e aos contatos listados no plano) e para cada um dos contatos listados no plano.
- ii. Revisões devem ser feitas no plano sempre que mudanças importantes sejam feitas na operação do sistema de remediação.
- iii. A implantação do plano de contingências inclui a realização de treinamento com as pessoas envolvidas e uma visita inicial ao sítio, com as pessoas de contato, durante o processo de start-up do sistema, assim como outras visitas anuais (ou na periodicidade solicitada pelos fiscais locais).

2.6. Programa de relatórios de andamento

Os relatórios periódicos de andamento servirão para documentar o andamento da remediação e informar os órgãos competentes. Devem incluir, no mínimo, as seguintes informações:

1. Especificações/relatórios de todas as ações de remediação realizadas durante o período reportado;
2. Propostas de desvios e/ou modificações no projeto de implantação de remediação aprovado. Todas as modificações deverão ser aprovadas pelo órgão ambiental antes de serem executadas;
3. Relatos de problemas ou atrasos na implantação do projeto de remediação. As correções propostas devem ser inseridas no projeto aprovado para serem aprovadas pelo órgão ambiental. Um cronograma revisado deve ser apresentado como parte do relatório de andamento. O “status” de todas as licenças deve ser incluído nesse cronograma;
4. Identificação de todas as ações de remediação para o próximo período a ser avaliado;
5. Se necessário um plano de trabalho onde os seguintes itens devem ser apresentados:
 - i. Planilhamento de todos os resultados de amostras recebidos durante esse período e apresentação de um relatório sumarizando todos os dados e apresentando as conclusões;
 - ii. Planilhamento dos dados de classificação de resíduos e/ou caracterização das amostras coletadas incluindo o estado físico do material (sólido, líquido, lodo) o volume do material, número de amostras coletadas, análises realizadas e resultados.
6. Listagem com todos os tipos e quantidades de resíduos gerados pelas ações de remediação no período avaliado. Deve incluir o tipo e local da destinação final, datas de transporte para disposição e, caso aplicável, número de CADRI para cada carga de resíduo; e
7. Qualquer documentação de apoio disponível (fotografias, por exemplo), deverá ser apresentada.

Qualquer relatório de remediação, submetido ao órgão ambiental para aprovação, deve conter e discutir todos os dados obtidos de acordo com essa seção, onde aplicável.

O relatório deve ser apresentado em um formato que corresponda diretamente ao escopo dessa seção.

Todo relatório de remediação apresentado ao órgão ambiental para aprovação deve incluir os seguintes itens:

1. Um resumo da remediação a partir do projeto original de remediação aprovado;
2. Um resumo por área de interesse para todas as ações de remediação adotadas, o que inclui:
 - i. Uma descrição dos problemas encontrados durante a execução e suas soluções;
 - ii. Uma descrição das modificações feitas no relatório de projeto e as justificativas para essas mudanças
 - iii. Quantidades e concentrações dos contaminantes removidos ou tratados ;e
 - iv. Lista dos efluentes líquidos com as respectivas vazões e corpo receptor, quantidade de material disposto e local de disposição.
3. Listagem dos valores orientadores e padrões aplicados, relacionados às ações de remediação;
4. Tabelas e figuras contendo todos os dados pré e pós remediação, relacionados adequadamente para que o projeto de remediação esteja documentado. Os dados sobre o volume de solo ou sedimento contaminado que foi remediado, interpretados e representados graficamente;
5. Um relatório detalhado dos custos atuais, incluindo os cálculos originais e mudanças subsequentes, caso algum recurso público esteja sendo fornecido;
9. Documentação completa comprovando qualquer transporte de resíduos para fora do site;
6. Cópias em arquivo de qualquer controle institucional ou de engenharia que tenham sido exigidos.

Para projetos de remediação ativa, o relatório de remediação deve incluir:

1. Figuras representativas das condições de fluxo imediatamente anteriores ao início das ações de remediação e as condições de fluxo representativas do processo de bombeamento.
2. Gráficos representando as mudanças nas concentrações dos contaminantes ao longo do tempo em todos os pontos de monitoramento com contaminação fora dos efeitos do bombeamento e em todos os pontos de monitoramento que limitam a contaminação a jusante.

3. Controles Institucionais

Caso um controle institucional, consistindo em restrições de uso de solo ou águas, ou de outras ações especificadas, seja exigido formalmente pelo órgão ambiental

competente, para restringir atividades dentro ou fora do site, o responsável pela remediação deve apresentar as seguintes informações ao órgão ambiental:

1. Uma planta apresentando a área de controle institucional, indicando todos os lotes inclusos nas áreas de restrição;
2. Descrição de todos os controles institucionais, indicando quais se aplicam para cada um dos lotes afetados;
3. O documento formal de aceitação do(s) proprietário(s) da(s) área(s) para manter os controles institucionais, observando-se que não há instrumento que permita que o Estado institua restrições a direitos de terceiros, sem que exista previsão legal para tal ou anuência deste, estabelecidos e registrados formalmente;

Caso um controle institucional seja exigido, deve ser apresentada documentação ao órgão ambiental demonstrando que o responsável pela condução da investigação e/ou remediação notificou formalmente todos os envolvidos, com o objetivo de estabelecer o controle institucional. Esta notificação deve:

1. Ser enviada através de correspondência registrada com aviso de recebimento para:
 - i. Todos os proprietários das áreas adjacentes,
 - ii. Os departamentos de saúde estadual e municipal,
 - iii. Os órgãos responsáveis pela outorga de captação e uso de águas subterrâneas;
 - iv. Os departamentos municipais responsáveis pelos alvarás de construção;
 - v. A delegacia regional do trabalho;
 - vi. As companhias concessionárias de serviços públicos (gás, luz, telefone, redes de águas e esgotos e redes águas pluviais, etc.), cujos sistemas sejam eventualmente afetados;
 - vii. Os principais assessores dos governos dos municípios nos quais as áreas dos controles institucionais estejam localizados.

2. Descrever o tipo e a extensão em área da contaminação que deve ser englobada pelo controle institucional;

3. A ação de remediação proposta e a duração prevista para o projeto;

4. As limitações de uso do site que serão necessárias, com base na contaminação presente e na ação de remediação proposta.

A aprovação de um controle institucional por parte do órgão ambiental não se constitui em reconhecimento de direito do responsável pela contaminação, nem poderá ser utilizada como argumento de defesa em eventuais ações civis e criminais que venham a

ser ajuizadas por terceiros contra o responsável pela imposição de restrições a seus direitos constitucionais.

Da mesma forma, a aprovação de um controle institucional por parte do órgão ambiental não substitui nem se sobrepõe a outras aprovações e alvarás das demais autoridades públicas, estaduais ou municipais, envolvidas com as questões de saúde, outorgas, alvarás de construção, licenças municipais, segurança pública e do trabalho, etc..

12000 Implementação do Projeto de Remediação

1. Operação, manutenção e monitoramento da remediação

O(s) responsável(eis) por executar a remediação de um site devem conduzir os trabalhos de acordo com as especificações constantes do projeto detalhado e do plano de operação, manutenção e monitoramento.

Novas investigações na área e revisões do projeto e plano devem ser realizadas sempre que ocorrerem condições extremas, como por exemplo, erosões e deslizamentos, inundações ou a falha do sistema de tratamento em operação.

Qualquer alteração expressiva deverá ser devidamente comunicada aos órgãos ambientais.

Caso não exista alguma outra especificação, o monitoramento e/ou a avaliação de andamento de um projeto devem ser executados, no mínimo anualmente. A avaliação anual do projeto deve ser realizada de forma a atingir os seguintes objetivos:

- i. Avaliação dos objetivos da remediação em relação aos requerimentos formais apresentados nos documentos da área;
- ii. Avaliação abrangente da operação e efetividade de todas as unidades de tratamento do sistema, incluindo a identificação de qualquer necessidade de reparos ou modificações;
- iii. Avaliação da performance e eficiência da remediação;
- iv. Documentação de qualquer mudança necessária na remediação e/ou no sistema de monitoramento;
- v. Recomendações para mudanças e/ou novas conclusões relacionadas à contaminação do sítio, com base nessa avaliação; e
- vi. Fornecimento de informações à sociedade.

A avaliação anual consiste em:

- i. Amostragem, de acordo com o plano de monitoramento;
- ii Inspeção, de acordo com o descrito mais adiante;
- iii Revisão dos dados do site e avaliação dos relatórios de inspeção e

iv Apresentação de um relatório anual de acordo com o descrito mais adiante.

As inspeções devem ser documentadas e um formulário de inspeção deve ser desenvolvido para o sítio, que deve compilar informações suficientes para:

1. Avaliar a forma de execução da remediação, incluindo a adequação da amostragem confirmatória e inspeções de saúde e segurança;
2. Avaliar as condições do sítio, incluindo suas edificações e seus sistemas de tratamento;
3. Avaliar a conformidade com as licenças e cronogramas incluídos no Projeto detalhado da remediação;
4. Avaliar se os registros estão atualizados,
5. Avaliar a conformidade dos controles institucionais com todos os órgãos.

Os resultados de inspeções e os dados de monitoramento do sítio devem ser avaliados para verificar se:

1. A operação, manutenção e monitoramento estão sendo conduzidos de forma adequada,
2. A eficiência e a eficácia das técnicas aplicadas estão em conformidade com o previsto;
3. A remediação continua a proteger a saúde pública e o meio ambiente; e
4. Os controles de engenharia, sistemas de tratamento e controles institucionais associados estão funcionando de forma adequada e continuam eficientes.

Os relatórios de andamento a serem apresentados ao órgão ambiental devem apresentar e discutir todos os dados aplicáveis e informações obtidas incluindo:

1. A identificação formal do site e do município;
2. Uma descrição do andamento e da eficiência do sistema de tratamento, incluindo:
 - O total de dias de operação do sistema durante o período avaliado;
 - O volume tratado nesse período de tempo e o volume total acumulado no processo; e
 - As vazões diárias, média, máxima e mínima;
 - A massa de contaminantes removida pelos sistemas;

- Uma planta apresentando a locação de poços e pontos de amostragem, valores analíticos significantivos, relacionados aos pontos de amostragem, caso um monitoramento eficiente esteja sendo executado;
 - Representações em gráficos e tabelas com os dados acumulados sumarizados dos contaminantes de interesse.
 - Uma descrição da rotina de manutenção e formulários de inspeção;
 - Uma descrição das quebras e/ou reparos com suas respectivas justificativas, para paralisações de tempo significativas; e
 - Comentários, conclusões e recomendações baseados na avaliação e na resolução de problemas com a eficiência dos sistemas.
3. Uma planta de localização;
 - 4 Uma planta da área;
 - 5 Figuras adicionais, tais como mapa potenciométrico e plumas de contaminação na água subterrânea, resumindo os resultados;
 6. Uma breve descrição dos padrões e métodos executados;
 7. Todos os dados relevantes, com comentários e conclusões;
 - 8, Comentários, conclusões e recomendações baseados na avaliação das informações ;

2. Controles Institucionais e de Engenharia

O responsável pela remediação no site deve garantir e comprovar a efetividade contínua de todos os controles institucionais ou de engenharia especificados para o sítio. A documentação deve identificar todas as solicitações dos controles institucionais ou de engenharia e avaliar se:

1. Os controles permanecem inalterados, e;
2. Continuam efetivos para a proteção da saúde pública e para o meio ambiente.

3. Requisitos para a Finalização das Medidas de Remediação

Um processo de remediação será considerado finalizado quando o monitoramento indicar que a remediação atingiu os objetivos finais consensuados com o órgão ambiental. Nesta situação, o sistema de tratamento poderá ser desligado e/ou finalizado.

Obviamente, isso não se aplica para os casos de confinamento e isolamento de áreas, em que fontes primárias ou secundárias foram mantidas na área.

Em função de considerações específicas para cada site, o processo de encerramento do caso poderá se iniciar antes que os objetivos da remediação estabelecidos pelo órgão ambiental sejam alcançados, caso seja demonstrado que não é possível tecnicamente e/ou seja economicamente inviável a continuidade do processo de remediação, desde que seja dado outro encaminhamento para a consecução dos objetivos da remediação.

Teoricamente um sistema de remediação não será interrompido até que os níveis de contaminantes do solo estejam próximos ou abaixo dos níveis de proteção da água subterrânea, os padrões de legislação para água subterrânea tenham sido atingidos no(s) limite(s) da área de interesse e os níveis de contaminação fora do(s) limite(s) não irão atingir níveis que possam impactar a saúde pública e o meio ambiente.

A decisão de que a continuidade da operação de um sistema de tratamento para remediação não é mais eficiente e de que ele deverá ser interrompido, deve ser tomada com base nas seguintes avaliações da performance do sistema:

- Quando os dados mostrarem que o sistema de tratamento para remediação atingiu taxas de remoção assintóticas, o sistema de remediação é descontinuado, ou seja, será ligado e desligado por determinados períodos de tempo (operação em pulsos), para avaliar a influência que um período de inatividade do sistema terá sobre as concentrações dos contaminantes, e quanto tempo o sistema irá levar para atingir as concentrações pré –desligamento quando ele for reacionado.
- Um aumento das concentrações quando o sistema é reacionado indica que o sistema pode continuar sendo eficiente na remoção de contaminantes, caso ele seja operado de forma descontínua (em pulsos).
- Caso as concentrações obtidas após a interrupção sejam iguais às concentrações anteriores, o sistema poderá ser considerado não efetivo na remoção de um nível significativo de contaminantes e esse fato deverá ser considerado pelo órgão ambiental para a interrupção do sistema.
- Uma diminuição no nível de contaminação na água subterrânea adjacente aos poços de monitoramento durante a interrupção também pode estar relacionada à diminuição dos níveis de contaminação nos solos saturados adjacentes. Isso também poderá ser considerado pelo órgão ambiental como justificativa para desligamento do sistema de remediação.
- São necessários no mínimo 8 conjuntos de dados de água subterrânea para demonstrar que as condições de curva assintótica foram atingidas.

- A partir do ponto em que a performance do sistema tenha alcançado condições assintóticas, é necessária a coleta de amostras de solo a partir de sondagens executadas na área fonte e/ou nos limites da área para a comparação com os valores de remediação para solo.
- Caso os valores de remediação para solo não tenham sido atingidos, e estudos indicarem que possíveis impactos podem tornar necessária uma remediação posterior, deverá ser mantida a operação do sistema e posteriormente uma otimização desse sistema poderá ser necessária, como por exemplo, a instalação de poços adicionais ou outras modificações na configuração do sistema poderão ser uma alternativa.

O responsável pela investigação e/ou remediação poderá solicitar a aprovação do órgão ambiental para a interrupção do sistema se:

- (1) Os níveis de remediação do solo foram atingidos;
- (2) Verificou-se que água subterrânea contaminada pode ser descartada sem necessidade de tratamento e/ou
- (3) Não há impacto significativo a jusante e o tratamento da água subterrânea não é necessário

Essa solicitação deve incluir um relatório detalhando os critérios para o desligamento permanente do sistema, contemplando todos os dados de solo, vapores e água subterrânea, assim como as informações geradas pela avaliação da operação descontínua do sistema.

O órgão ambiental deverá ser notificado quando a amostragem de solo irá ser executada e poderá exigir amostras em duplicatas para análises independentes.

A aprovação para a interrupção em definitivo do sistema será fornecida pelo órgão ambiental, se as condições para tal tiverem sido demonstradas.

Monitoramentos futuros da água subterrânea não serão necessários se:

- i. Os níveis de contaminação do poço sentinela mais a jusante não ultrapassarem os valores de referência de qualidade estabelecidos pelo órgão ambiental em nenhum momento do programa de monitoramento. O poço sentinela é um poço a jusante da pluma que não apresenta impacto originado do site, e que funciona como uma detecção preventiva para os limites da pluma que se originou no site que está sendo monitorado. Isso parte da premissa que os contaminantes transportados pela água subterrânea tiveram tempo suficiente para atingir o poço, permitindo a ação do retardamento por sorção e outros processos hidrogeológicos / hidrogeoquímicos que podem tornar mais lenta a migração dos contaminantes. A proposta de duração do programa de monitoramento relacionada ao poço de segurança deve ser elaborada pelo responsável pela execução da investigação e/ou remediação, com base em dados específicos do site;

ii. O comprimento da pluma de contaminação demonstrou estar estável ou diminuindo, com um programa de monitoramento da água subterrânea adequado e específico. Isso requer uma análise de tendência da concentração *versus* a distância, com validação estatística adequada, a partir da aplicação de testes estatísticos para cada um dos contaminantes detectados em cada poço de monitoramento;

iii. A concentração dos contaminantes ao longo do maior eixo da pluma demonstrou estar decrescendo, através de um programa de monitoramento da água subterrânea adequado e específico. Isso requer uma análise de tendência da concentração *versus* o tempo, com validação estatística adequada, a partir da aplicação de testes estatísticos para cada um dos contaminantes detectados em cada poço de monitoramento e a demonstração de que os padrões da água subterrânea estão sendo atingidos antes de alcançarem o ponto de conformidade proposto no termo inicial de ajuste de conduta;

iv. A situação com relação a receptores sensíveis identificados não se alterou nesse período nem existe indicações de que haverá uma alteração;

v. For demonstrado de forma inequívoca que os eventuais controles de engenharia e institucionais não são mais necessários e podem ser retirados,

Monitoramento adicional será necessário se:

i. Os níveis de contaminação no poço de segurança ultrapassarem os valores de referência de qualidade estabelecidos pelo órgão ambiental;

ii. O comprimento da pluma apresenta um aumento;

iii. Os níveis de contaminação, para contaminantes individuais, não estão diminuindo, nas áreas de interesse;

iv. Receptores sensíveis, que não haviam sido previamente identificados, estão sendo ameaçados;

v. Os eventuais controles de engenharia e institucionais são ainda necessários e devem ser mantidos

Propostas de amostragem de poços de monitoramento com uma frequência decrescente, com o objetivo de monitorar a eficiência da remediação, serão consideradas pelo órgão ambiental se:

i. Os níveis de contaminação no poço de segurança não ultrapassarem os valores de referência de qualidade estabelecidos pelo órgão ambiental em nenhum momento do programa de monitoramento. A proposta de duração do programa de monitoramento relacionada ao poço de segurança deve ser elaborada pelo responsável pela execução da remediação, com base em dados específicos do site;

- ii. Os níveis de contaminação detectados na pluma, ou em poços de monitoramento nos limites da pluma, são equivalentes aos níveis de contaminação resultantes do modelo de fluxo e transporte de contaminantes;
- iii. Os níveis de contaminação permanecem acima das metas de remediação estabelecidas pelo órgão ambiental, mas uma tendência decrescente do nível de contaminação é comprovada, no mínimo, na área de interesse de poços de monitoramento. A tendência decrescente deve ser demonstrada através de análise estatística adequada, que deve ser aplicada a cada um dos contaminantes detectados em cada um dos poços de monitoramento
- iv. Dados de amostras de água subterrânea não devem ser calculados pela média, com propósitos de validação estatística; e
- v. Testes estatísticos alternativos não-paramétricos podem ser propostos; o órgão ambiental irá determinar a aceitação desses testes de acordo com cada caso.

A decisão de considerar se é apropriado interromper o monitoramento planejado da pluma ocorre somente com as seguintes circunstâncias:

- i. Foi satisfatoriamente demonstrado que a pluma de contaminante está aportando em um corpo d'água em concentrações tais que não alteram os padrões de qualidade estabelecidos pelo corpo d'água, com capacidade suficiente de assimilação para assegurar que não há ameaça à fauna aquática, ao meio ambiente e à saúde pública.
- ii. Foi satisfatoriamente demonstrado que a pluma atingiu um comprimento estável além do qual é incapaz de impactar qualquer receptor sensível identificado no documento de aprovação ou licenciamento. Essa condição deve ser demonstrada com validação estatística adequada e modelo de fluxo e transporte de contaminantes devidamente calibrados.

A operação de um sistema de tratamento de água, em função de uma contaminação atual ou futura de uma reserva de água potável, pode ser interrompida e o sistema desativado quando:

- i. Ocorre o fornecimento de uma reserva alternativa de água potável;
- ii. O responsável pela investigação e/ou remediação:
 - Identificou a fonte de contaminação;
 - Delimitou de forma precisa e definitiva a localização e a direção da pluma de contaminação em relação à reserva de água impactada; e
 - Atacou a fonte de contaminação com uma ação de remediação adequada; ou

- As concentrações de contaminantes na reserva de água afetada permanecem no mesmo nível ou abaixo dos padrões de legislação para água potável por quatro trimestres consecutivos;

iv. A frequência de amostragem e a duração podem ser reduzidos ou ampliados, e estão sujeitas à legislação local, com a aprovação do órgão ambiental.

O responsável pela execução da remediação deve solicitar a requisição para desligamento ou remoção do sistema por escrito ao órgão ambiental. A requisição deve incluir toda a documentação adequada para subsidiar a decisão de interrupção ou remoção do sistema de remediação.

5. Descomissionamento da área

O descomissionamento da área ocorre quando todas as investigações e/ou remediações já foram finalizados, tendo sido atingidos os objetivos estabelecidos para a remediação e o órgão ambiental considera não haver mais nenhum risco relacionado ao sítio, ou necessidade de monitoramento, inspeções, etc., com base na avaliação final da remediação.