D O S S I Ê T É C N I C O

Passivos ambientais

Clarissa de Oliveira Arend
Joseane Machado de Oliveira
Luciano Ávila

SENAI-RS

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI

Agosto
2011

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

SBRT Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas	**DOSSIÊ TÉCNICO**	FIERGS SENAI

Sumário

1 INTRODUÇÃO 3

2 OBJETIVOS 4

3 CONCEITOS 4

4 IDENTIFICAÇÃO 6

5 GERENCIAMENTO 12

6 METODOLOGIAS 12
6.1 CETESB 13
6.2 ABNT 18

7 TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO 19
7.1 Remoção da fase livre 20
7.2 Bombeamento e tratamento (*Pump and treat*) 21
7.3 Extração de vapores (*Soil vapor extration* - SVE) 22
7.4 Injeção de ar (*Air sparging*) 24
7.5 Extração multifásica (*Multi-phase extraction* - MPE) 25
7.6 Biorremediação 26
7.7 Atenuação natural monitorada 28
7.8 Tratamento térmico 28
7.9 Oxidação química 29
7.10 Barreiras reativas permeáveis 29

8 ASPECTOS LEGAIS 30
8.1 Nacional 30
8.2 Estadual 31
8.2.1 Minas Gerais 31
8.2.2 Paraná 31
8.2.3 Rio Grande do Sul 31
8.2.4 São Paulo 31

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 31

REFERÊNCIAS 32

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

SBRT Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas	**DOSSIÊ TÉCNICO**	FIERGS SENAI

Título

Passivos ambientais

Assunto

Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos

Resumo

O passivo ambiental representa a contaminação e possíveis danos ao meio ambiente causado por armazenamento de resíduos sólidos, disposição ou lançamentos de soluções e/ou efluentes inadequados. Conforme estudos técnicos, nas grandes reorganizações societárias, o montante das obrigações de reparação de danos ao meio ambiente tem efeito significativo sobre as negociações, causando sérios prejuízos ao comprador quando não detectadas no ato da negociação. Este dossiê técnico apresenta o que é passivo ambiental e suas origens, as obrigações das empresas decorrentes do passivo ambiental, levantamentos e mensuração de passivos ambientais, de forma a esclarecer o leitor sobre a importância do assunto para as indústrias.

Palavras-chave

Área contaminada; contaminação do solo; passivo ambiental; poluição do solo; remediação

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

Dentre os maiores problemas das sociedades industriais, temos a geração excessiva de resíduos e emissões poluentes, o uso de substâncias tóxicas que continuam a produzir impacto por muitos anos, as disposições irregulares de resíduos e o manuseio incorreto de produtos químicos em regiões agrárias. Isto é o resultado de muitas décadas de produção industrial sem controle.

De acordo com Schianetz (1999), no mundo inteiro as dimensões quantitativas e financeiras desses problemas foram subestimadas. Somente na década de 80 que os primeiros efeitos começaram a ser notados e divulgados, principalmente com a ocorrência de grandes acidentes ambientais. Com isto, o tema passivo ambientais passou a ter mais evidencia, resultando nos primeiros estudos em países industrializados, como também no Brasil.

Atualmente, a avaliação de passivos ambientais é utilizada como um apoio aos casos de fusão, aquisição, incorporação, compra e venda de empresas, assim como para obtenção de linhas de crédito e financiamento. Além disto, é incontestável a sua importância na analise e recuperação de áreas já contaminadas, assim como para a prevenção do surgimento de novos passivos ambientais.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Passivos ambientais são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007), como “danos infligidos ao meio natural por uma determinada atividade ou pelo conjunto de ações humanas, que podem ou não ser avaliados economicamente”.

De acordo com Schianetz (1999) “passivos ambientais são disposições antigas e sítios contaminados que produzem riscos para o bem-estar da coletividade, segundo a avaliação tecnicamente respaldada das autoridades competentes”.

> Para Galdino et al (2002), pode-se definir passivos ambientais como obrigações adquiridas em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocou ou provoca danos ao meio ambiente ou a terceiros de forma voluntária ou involuntária, os quais deverão ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro.

Ainda no âmbito da contabilidade, “passivo ambiental representa toda e qualquer obrigação, de curto e longo prazo, destinadas única e exclusivamente a promover investimentos em prol de ações relacionadas à extinção ou amenização dos danos causados ao meio ambiente”. (KRAEMER, 2003).

Para as empresas, “é um instrumento que visa fornecer a avaliação dos potenciais riscos relacionados ao cumprimento da legislação ambiental vigente ou [...] assumir qualquer outro compromisso de caráter ambiental com impacto econômico ao negócio”. Em especial, é de grande valia como suporte à gestão, contribuindo para a hierarquização das ações prioritárias e alocação de recursos nesta área (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, 2000).

2 OBJETIVOS

Esse Dossiê Técnico visa apresentar os principais conceitos relacionados ao tema, identificação, gerenciamento, metodologias e técnicas de remediação de passivos ambientais.

3 CONCEITOS

A seguir são apresentados os principais conceitos relacionados ao tema passivos ambientais, de acordo com CETESB (2001).

> 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.
>
> [...] Área degradada - Área onde há 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.
>
> 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.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

[...] 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 históricos 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:

- 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.

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.

[...] 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.

[...] Pluma de contaminação - Delimitação da extensão da contaminação de um meio (água, ar e solo).

Poluição - É definida através da Lei Federal nº 6938/81, em seu Art 3º como "Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
b) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
c) Afetem desfavoravelmente a biota;
d) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
e) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos".

[...] Projeto de remediação - 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.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Remediação de áreas contaminadas - 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.

4 IDENTIFICAÇÃO

Na maioria das cidades existem inúmeros passivos ambientais na forma de lixões ou depósitos ilegais de resíduos, áreas industriais abandonadas, despejos de efluentes, emissões e manejo incorreto de produtos químicos. De acordo com Schianetz (1999), nem todos os passivos ambientais representam um perigo agudo, pois em alguns casos pode ser suficiente impedir a entrada de poluentes no subsolo, no entanto, muitos casos representam um risco serio ao meio ambiente e aos seres humanos. Isto evidencia a importância da identificação destas áreas.

Mais de 10.000 tipos de substâncias químicas (dentre estas substâncias perigosas como dioxinas, DDT, arsênio, chumbo, asbesto, pentacloro-fenol, formaldeído, etc.) foram e continuam a ser produzidas em quantidades consideráveis pela sociedade (SCHIANETZ, 1999). Em uma área contaminada, os poluentes podem concentrar-se na subsuperfície, nos diferentes compartimentos do ambiente (como no solo, sedimentos, rochas, águas subterrâneas) além de poderem concentrar-se nas paredes, pisos e estruturas das construções. Os poluentes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, através da atmosfera, água ou solo, alterando suas características naturais e gerando impactos negativos que podem afetar os seres humanos e outros organismos (FIG. 1).

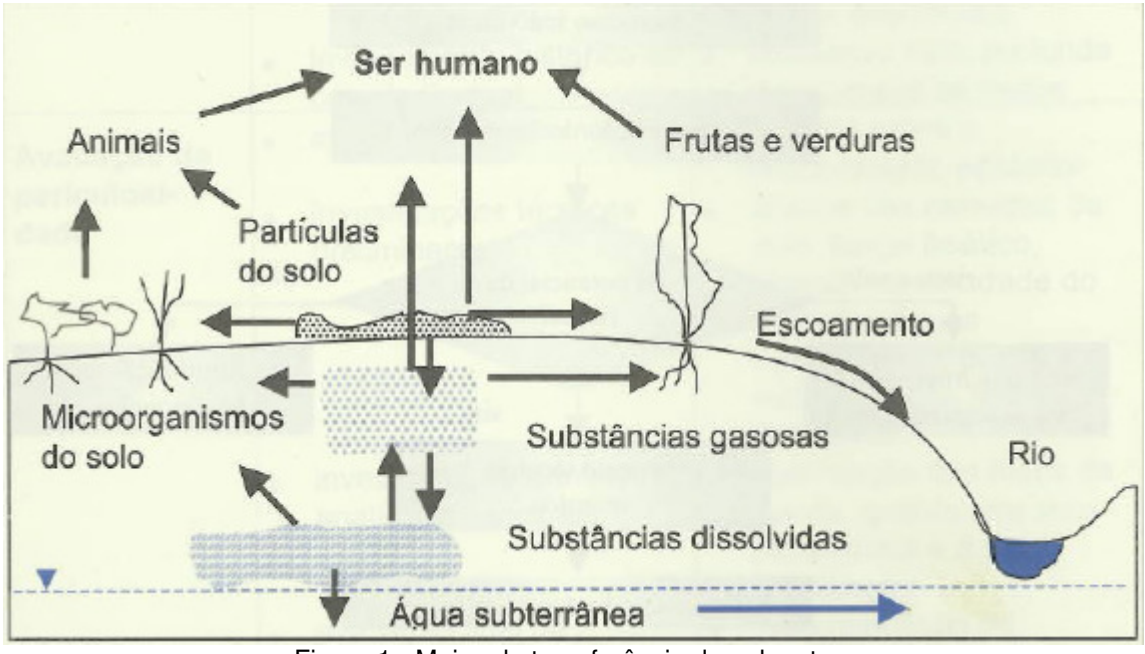

Figura 1 - Meios de transferência de poluentes.
Fonte: (SCHIANETZ, 1999)

Em vista disto, é importante ponderar que apenas a presença de substâncias nocivas não implica necessariamente no surgimento de uma contaminação. Juntamente com o potencial poluente da substância, o tipo e abrangência do risco também são determinados pelas circunstâncias locais, tais como:

- Distribuição e forma de ligação no solo;
- Características do solo;
- Condições de liberação e propagação;

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

- Situação real de utilização. (SCHIANETZ, 1999).

Áreas contaminadas por deposições antigas são sistemas abertos, ou seja, raramente estão isoladas do subsolo, lençol freático e atmosfera. Nestes locais, em geral a contaminação ocorre pela percolação e lixiviação das substâncias dissolvidas para o subsolo (GÜNTHER, 2002). Devido à presença de barris e recipientes contendo produtos químicos diversos, equipamentos e máquinas, sistemas de dutos, canais, locais de armazenamento e disposição inadequada de resíduos, as deposições antigas apresentam um alto potencial de contaminação.

Em geral, áreas de instalações industriais desativadas, por motivos de natureza diversa, passam a ceder lugar para o exercício de outros usos e funções, urbanos ou não, tais como atividades de lazer, culturais e comerciais, loteamentos residenciais, depósitos e galpões de armazenamento, agricultura e pecuária. Entretanto, a reutilização dessas áreas passou a ser praticada, na maioria dos casos, sem a avaliação e controle dos potenciais danos que estes locais podem apresentar ao meio ambiente e à saúde pública.

Deposições antigas de atividades industriais geralmente são geradas no abandono ou fechamento de uma planta industrial (FIG. 2), ou ainda, na mudança de processo industrial ou tecnologia (FIG. 3).

Figura 2 - Planta industrial desativada.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Figura 3 - Mudança de processo industrial.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

As ameaças e riscos de contaminações podem estar concentrados na sede física das plantas industriais, assim como em seus arredores, ou ainda disseminadas a áreas mais distantes, comprometendo a rede hídrica de superfície e as águas subterrâneas, solos, vegetação, atmosfera e biodiversidade (GÜNTHER, 2002).

Para uma correta identificação de uma contaminação em área industrial deverão ser levados em consideração diversos dados como os processos produtivos empregados e matérias-primas utilizadas, assim como produtos e resíduos gerados.

Quando se tratam de deposições antigas, muitas vezes a atividade industrial não é conhecida. Nestes casos, um conhecimento das substâncias encontradas no local poderá auxiliar na identificação da área, pois, em geral, cada atividade industrial utiliza substâncias químicas especificas para seus processos. O Quadro 1 apresenta os Compostos de Químicos de Interesse (CQI) para diversas atividades industriais.

Tipo de atividade	Substâncias
Fabricação de baterias ou reciclagem	antimônio, arsênio, chumbo, cádmio, cromo, fluoretos, cobre, níquel, mercúrio, selênio, zinco
Fabricação de plásticos	acrilonitrilo, benzeno, chumbo, cádmio, cromo, cianetos, dibromoetano, dicloroetano, dicloropropano, dinitrotolueno, epiclorohidrina, flúor, cresol, hidrocarbonetos aromáticos, policíclicos, fenol, ftalatos, ácidos/bases, selênio, tetraclorometano, triclorometano, tolueno, cloreto de vinila, zinco
Fundição de metais	antimônio, arsênio, cádmio, cianetos, chumbo, cobre, níquel, fenol, mercúrio, ácidos / bases, vanádio, zinco
Fabricação de tintas e vernizes	antraceno, antimônio, arsênico, benzeno, chumbo, cádmio, clorobenzeno, clorofenol, cromo, cianetos, diclorometano, dinitrotolueno, etilbenzeno, flúor, cresol, cobre, mesitileno, óleo mineral, naftalina, nitrobenzeno, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenilas policloradas, pentaclorofenol, fenol, ftalatos, mercúrio, tetracloroetano, tetracloroeteno, tetracloretano, tolueno, tricloroetano, tricloroeteno, triclorometano, xilenos, zinco

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Beneficiamento e processamento de madeira	arsênio, cromo, DDT, diclorometano, dinitrofenol, fluoranteno, flúor, f, cresol, óleo mineral, naftalina, níquel, bifenilas policloradas, nitrilas policloradas pentaclorofenol, fenol, mercúrio, ácidos / bases, TCDD, óleos asfálticos, tetracloreto, tolueno, tricloroeteno, xilenos, zinco
Postos de abastecimento	álcool, querosene, benzeno, compostos alquílicos de chumbo, hidrocarbonetos clorados, diesel combustível, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, óleos lubrificantes, combustíveis de ensaio, tolueno, xileno
Lavanderias industriais	benzina, benzeno, dicloroetano, tetracloroeteno, tricloroetano, tricloroeteno, triclorometano
Aeroportos	benzeno, compostos alquílicos de chumbo, compostos de bromo, óleo mineral, querosene de aviação, éster de fosfato, tetracloroeteno, tricloroeteno

Quadro 1 - Compostos de Químicos de Interesse por atividade industrial.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

As atividades de disposição de resíduos também são consideradas como fontes potenciais de contaminação, mesmo aquelas em que tenham sido implantadas medidas que possam proporcionar uma maior segurança à unidade. A ocorrência de contaminação de solos e águas subterrâneas tem sido atribuída a muitos dos depósitos existentes no mundo, inclusive naqueles considerados seguros (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB, 2001).

A ocorrência de passivos ambientais decorrentes da disposição inadequada de resíduos pode ocorrer em qualquer uma das seguintes situações:

- Despejos clandestinos: Áreas de lançamentos de resíduos variados, sem controle e erráticos, ocupando áreas marginais de estradas e terrenos abandonados. Mais comumente são compostos de resíduos domiciliares, no entanto, também existem áreas com despejos de resíduos industriais na forma de antigos aterros clandestinos;
- Lixões: Áreas com disposição de resíduos predominantemente domiciliares em locais clandestinos, sem existir, em geral, qualquer controle sobre o tipo de material disposto, preparação do solo ou controle de emissões e lixiviado;
- Aterros controlados: Apresentam uma alternativa intermediária entre o lixão e o aterro sanitário. Normalmente é uma célula adjacente ao lixão que foi remediado, recebendo cobertura de argila, grama e captação de gás e lixiviado que é levado para cima da pulha de lixo, diminuindo a sua absorção pelo solo;
- Aterros sanitários: Áreas construídas para a disposição de resíduos 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 (CETESB, 2001).

As áreas contaminadas pelo incorreto gerenciamento e disposição de resíduos ocorrem principalmente em áreas clandestinas e lixões (FIG. 4), no entanto, sabe-se que também podem ocorrer contaminações em aterros, quando do manejo inadequado dos mesmos. Os impactos gerados nestes locais relacionam-se a poluição do ar, do solo e das águas, além da poluição visual. Ainda, nos casos de disposição em encostas pode ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção de água da chuva, provocando deslizamentos (ALBERTE; CARNEIRO; KAN, 2005).

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Figura 4 - Disposição de resíduos sólidos em lixões a céu aberto.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

De acordo com Oliveira (2000), estimam-se que no Brasil existam mais de 15.000 áreas contaminadas por resíduos sólidos, principalmente lixões, que foram as principais alternativas de disposição de resíduos no país até recentemente. Devido a este fato, existem também muitos estudos de investigação e propostas de remediação para estas áreas.

Ainda, não podem ser ignorados os passivos ambientais decorrentes de contaminações em postos de combustíveis (FIG. 5). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB (2010 apud FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011) realizou um levantamento das áreas contaminadas no Estado que evidenciou que 79% correspondiam a postos de combustíveis (FIG. 6). Embora não exista estudo semelhante relativo ao Brasil como um todo, pode-se estimar que no resto do país os números também sejam expressivos.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Figura 5 - Posto de combustível.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

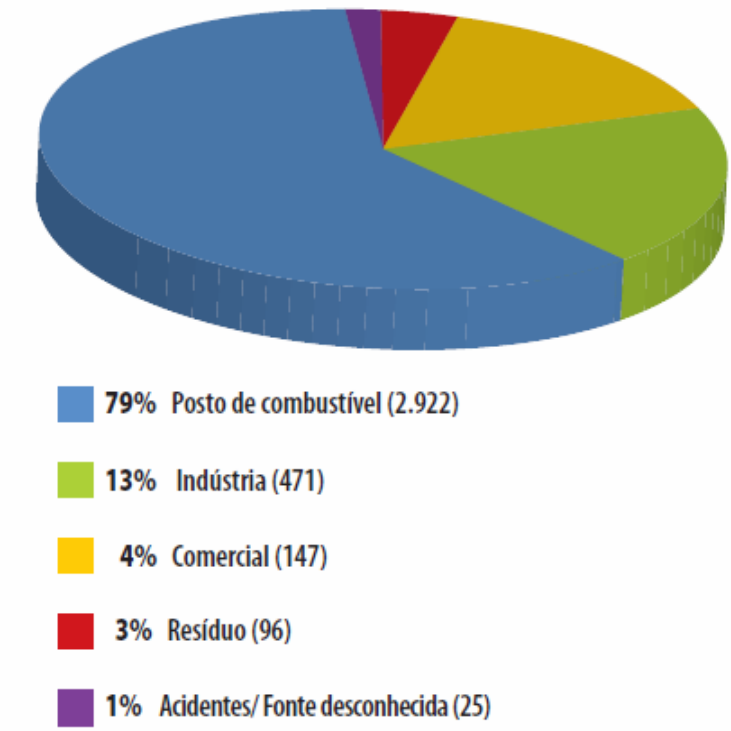

Figura 6 - Áreas contaminadas no Estado de São Paulo.
Fonte: (CETESB, 2010 apud FIEMG, 2011)

De acordo com NICKOL... (2003) o subsolo e a água subterrânea estão permanentemente expostos ao risco de contaminações em postos de combustíveis. As potenciais causas e fontes de contaminações podem ser:

- Defeitos técnicos (tubulações): tanques, bombas, etc.;

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

- Manuseio impróprio de combustível: vazamento "às gotas" durante o abastecimento de automóvel;
- Vazamentos acidentais ocorridos durante abastecimento dos tanques (super-abastecimento) ou durante o abastecimento de automóveis;
- Estocagem inadequada ou manuseio impróprio de resíduos do posto (por exemplo, na área de troca de óleo, lavagem de automóvel). (NICKOL..., 2003).

No Brasil, com a publicação da Resolução CONAMA n° 273/2000, os postos de combustíveis passaram a ser obrigados a obter licenças ambientais junto aos órgãos competentes e, para isto, é solicitada a avaliação de passivo ambiental nestes estabelecimentos.

Conforme exposto, diversas situações podem influenciar na geração de passivo ambiental, como a falta de gerenciamento e o desconhecimento dos materiais, além daqueles advindos de situações de acidentes.

No entanto, a comprovação da efetividade da contaminação se dará somente após a realização de uma amostragem e análise química de solos e/ou águas subterrâneas. Um detalhado estudo multidisciplinar servirá como guia para a definição do passivo ambiental.

5 GERENCIAMENTO

> O gerenciamento de áreas contaminadas é o conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas. (FEAM, 2008 apud FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2011).

A Resolução CONAMA n° 420/2009, em seu Art. 23, define as etapas do gerenciamento de áreas contaminadas:

> I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.
>
> II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.
>
> III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes. (BRASIL, 2009).

6 METODOLOGIAS

No Brasil, os primeiros estudos na área de passivos ambientais começaram a ser elaborados pela CETESB, em parceria com o governo da Alemanha, na década de 90. Os resultados destes estudos foram publicados no "Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas", que

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

apresenta metodologias para a identificação, avaliação, investigação e remediação de áreas contaminadas.

Esse material serviu como base para a elaboração de muitos estudos de passivos ambientais no Brasil, assim como para a elaboração de normas técnicas e procedimentos, como, por exemplo, a ABNT NBR 15515. A seguir serão apresentados os conceitos fundamentais das metodologias do CETESB e ABNT.

6.1 CETESB

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas foi uma publicação pioneira no Brasil, trazendo metodologias que seguem em uso até hoje.

A abordagem do material é sequencial, visando otimizar recursos técnicos e econômicos, sendo que as informações obtidas em cada etapa se tornam a base para a execução da etapa posterior. Em termos gerais, a metodologia pode ser divida em dois processos principais: identificação e 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 serem 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. (CETESB, 2001).

As etapas da metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas são apresentadas no fluxograma da “Figura 7”.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

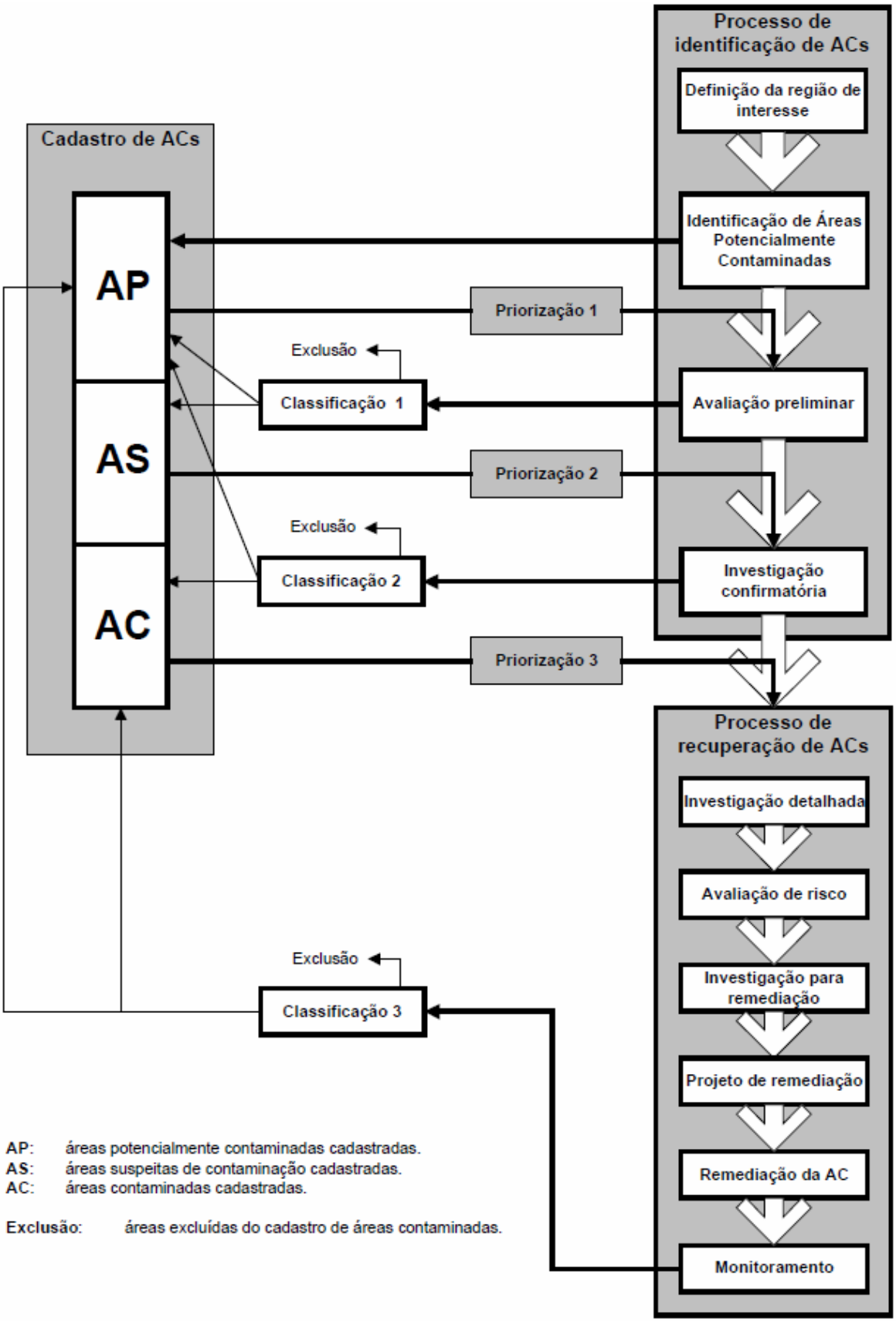

Figura 7: Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas.
Fonte: (CETESB, 2001)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

No Quadro 2, são apresentadas de forma resumida, as principais atividades a serem desenvolvidas em cada uma das etapas da metodologia.

Identificação	Definição da região de interesse	Definição dos 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, entre outras.
	Identificação de áreas potencialmente contaminadas	Identificação das áreas existentes na região de interesse onde são 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. Estes dados devem ser tratados e apresentados em base cartográfica com escala apropriada.
	Avaliação preliminar	Levantamento de informações existentes e de informações coletadas em inspeções de reconhecimento na área. Essa etapa possibilitará documentar evidências que levem a suspeitar ou confirmar a contaminação nas áreas em avaliação, possibilitando sua classificação como AS, AP, AC, e estabelecer o modelo conceitual inicial de cada área. Os dados coletados podem ser classificados em levantamento histórico das atividades desenvolvidas ou em desenvolvimento na área e levantamento de dados sobre o meio físico.
	Investigação confirmatória	As áreas anteriormente classificadas como ASs são avaliadas visando comprovar a presença de contaminação, através da realização de análises específicas, tomando-se como base o conhecimento adquirido nas etapas anteriores e utilizando-se diferentes técnicas de investigação, isolada ou conjuntamente, a serem selecionadas dependendo das características específicas de cada área. O processo de confirmação da contaminação se dá basicamente pela análise de amostras de solo e/ou água subterrânea.
Recuperação	Investigação detalhada	O objetivo principal desta etapa é quantificar a contaminação, determinando-se as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações, assim como as características da pluma de contaminação, como seus limites e sua taxa de propagação.
	Avaliação de risco	Quantificação dos riscos gerados pelas áreas contaminadas aos bens a proteger, como a saúde da população e 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 dessa etapa irão subsidiar a tomada de decisão quanto às ações a serem implementadas, de modo a promover a recuperação da área para um uso definido.
	Investigação para remediação	Seleção, dentre as várias técnicas existentes, aquelas, ou a combinação destas, que são possíveis, apropriadas e legalmente permissíveis para o caso considerado.
	Projeto de remediação	Deverá ser confeccionado para ser utilizado como 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. Este projeto deverá conter todas as informações sobre a área contaminada, levantadas nas etapas anteriores do gerenciamento, além de planos detalhados de segurança dos trabalhadores e vizinhança e de implantação e operação do sistema de remediação, contendo procedimentos, cronogramas e o plano de monitoramento da eficiência do sistema, com os pontos de coleta de dados definidos, parâmetros a ser analisados, freqüência de amostragem e os limites ou padrões definidos como objetivos a serem atingidos pela remediação.
	Remediação da AC	Implementação de medidas que resultem no saneamento da área e/ou na contenção e isolamento dos contaminantes, de modo a atingir os objetivos definidos no projeto.
	Monitoramento	Possibilita a verificação se os objetivos estão sendo atingidos.

Quadro 2 - Resumo das etapas da metodologia da CETESB.
Fonte: adaptado de (CETESB, 2001)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

O "Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas" da CETESB está disponível integralmente na internet, em capítulos, e pode ser acessado através do *link*: <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-ACs/7->.

Através da Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, a CETESB apresentou uma alteração no procedimento de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (FIG. 8). Neste documento, o termo “recuperação” foi alterado para “reabilitação” da área contaminada. Ainda, foi adotado um procedimento especifico para áreas contaminadas relacionadas a postos de combustíveis, diferente do válido para outras fontes. O documento na íntegra pode ser acessado através do *link*: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf>.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

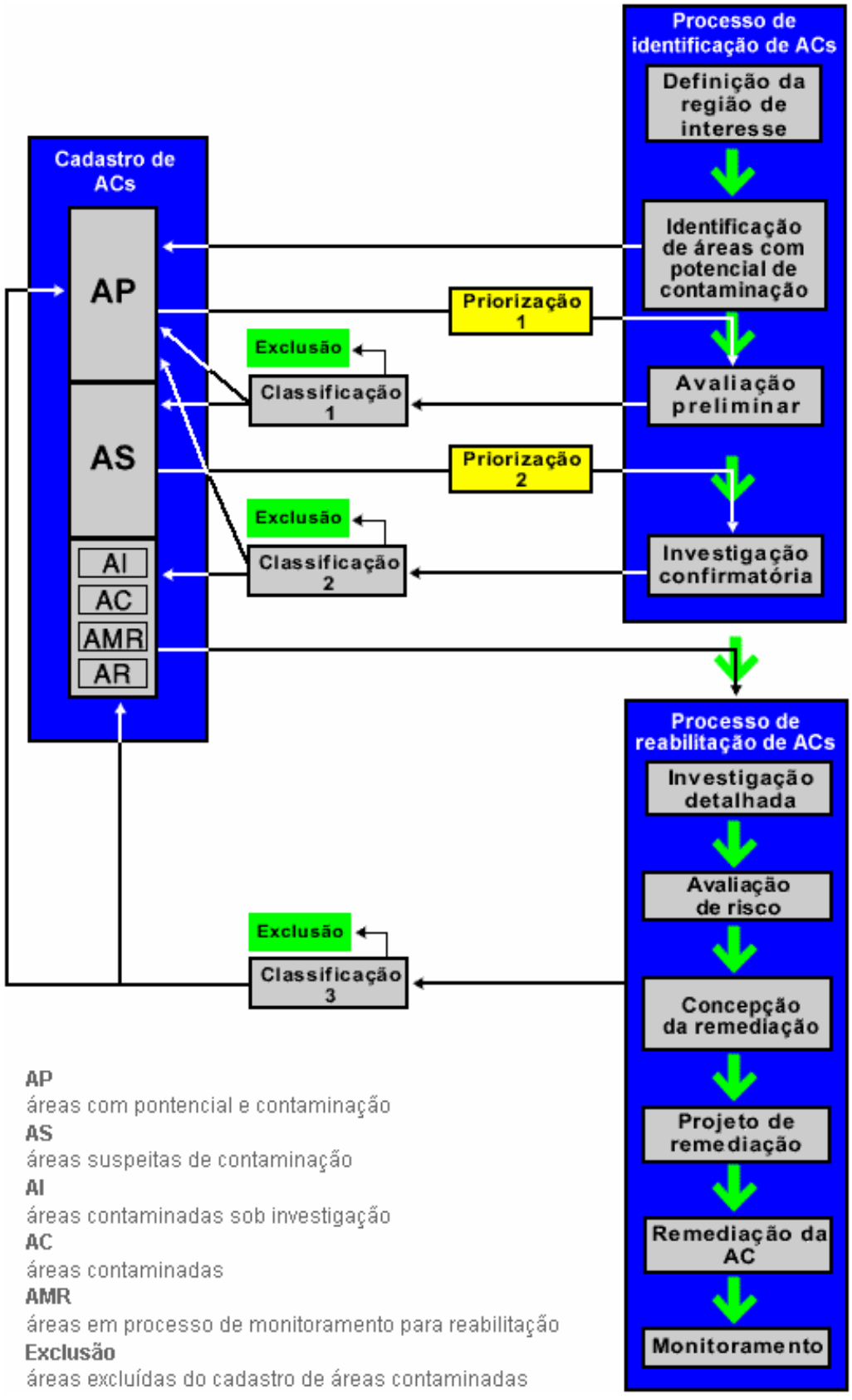

Figura 8: Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas apresentado na Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

6.2 ABNT

As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foram elaboradas por uma comissão especial, com base na norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), órgão americano de normalização, ASTM 1527:2000.

A norma ABNT NBR 15515, intitulada “Passivo ambiental em solo e água subterrânea”, é dividida em duas partes: ABNT NBR 15515-1:2007 (Avaliação preliminar) e ABNT NBR 15515-2:2011 (Investigação confirmatória).

A ABNT NBR 15515-1:2007 estabelece os procedimentos mínimos para avaliação preliminar de passivo ambiental visando a identificação de indícios de contaminação de solo e água subterrânea. Havendo indícios na avaliação preliminar, realiza-se a etapa de investigação confirmatória, para verificar a necessidade de realizar a etapa de investigação detalhada e, quando necessário, a avaliação de risco à saúde humana (ABNT, 2007).

A avaliação preliminar de passivo ambiental compreende as seguintes atividades:

- Reconstituição das atividades de manejo, produção, armazenamento e disposição de substâncias, resíduos e efluentes;
- Identificação das matérias primas, produtos e resíduos manejados na área, os locais onde são ou foram manipulados;
- Verificação da ocorrência de vazamentos ou outros acidentes;
- Reconstituição da evolução do uso e ocupação do solo nas adjacências.
- Identificação dos bens a proteger dentro ou fora da área. (GALANTE, [2011]).

No caso de já evidenciada a contaminação na etapa inicial, direciona-se para a etapa de investigação detalhada, através dos procedimentos da ABNT NBR 15515-2:2011, que estabelece os requisitos necessários para o desenvolvimento de uma investigação confirmatória em áreas onde foram identificados indícios reais ou potenciais de contaminação de solo e água subterrânea.

Na investigação detalhada é definido o plano de amostragem (meios a serem amostrados; número, profundidade e localização dos pontos de amostragem; parâmetros a serem analisados; técnicas de amostragem), seguido da coleta das amostras e interpretação dos resultados (GALANTE, [2011]).

Ainda, a ABNT dispõe de outras normas técnicas que podem atuar de forma complementar no gerenciamento de passivos ambientais:

ABNT NBR 10004:2004 - Classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais para o meio ambiente e à saúde pública.

ABNT NBR 15495-1:2007 - Fixa os requisitos exigíveis para a execução de projeto e construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em meios granulares.

ABNT NBR 15847:2010 - Estabelece métodos para a purga de poços usados para investigações e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em estudos e remediação de passivos ambientais.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Para obter acesso ao conteúdo da ABNT, é necessário comprar as normas, que estão disponíveis através da internet ou em um dos escritórios da ABNT. A busca pode ser feita pelo número da norma ou palavra chave, através do *site*: <http://www.abntcatalogo.com.br/>.

7 TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO

Em posse dos resultados das avaliações e investigações realizadas na área, quando da confirmação da contaminação, os estudos deverão prosseguir para a remediação ou reabilitação da área, com vistas ao uso pretendido para a mesma.

A CETESB (2001) recomenda a execução de uma investigação complementar, também chamada de investigação de remediação, visando oferecer subsídios para a concepção e detalhamento do projeto de remediação. Essa investigação deve conter a complementação e refinamento das características geológicas, hidrogeológicas, geoquímicas e hidroquímicas do local e a elaboração de um mapa geológico em escala apropriada.

Estas informações são importantes visto que, em geral, uma área contaminada não apresenta uma situação homogênea, predominando variações nos aspectos do meio físico, como heterogeneidades de solo, diferentes litológicas e condições hidrogeológicas. Além disto, as áreas contaminadas também costumam apresentar um quadro variável no que se refere às concentrações e distribuição dos contaminantes na matriz do solo e água subterrânea. Estes podem ocorrer nas seguintes fases:

- Livre – É o produto puro que vazou, está numa fase separada (não dissolvido), que apresenta mobilidade no meio poroso. Representa uma fonte de contaminação para as águas subterrâneas. Apresenta risco de explosão e incêndio;
- Residual – É produto em fase separada, imóvel no meio poroso. Encontra-se conectado no meio por forças de capilaridade. Não consegue fluir. Representa uma fonte de contaminação para as águas subterrâneas. Apresenta risco de explosão e incêndio;
- Gasosa/vapor – Presente eminentemente na zona não saturada e quantidades desprezíveis na zona saturada. Apresenta mobilidade, podendo acumular-se em espaços confinados, como garagens subterrâneas, porões, etc;
- Adsorvida – Produto retido na fase sólida do aqüífero, não apresenta mobilidade, encontra-se na superfície da matéria orgânica, nos grãos de areia presentes no meio poroso;
- Dissolvida – Ocorre na zona saturada. Apresenta uma mobilidade elevada e é responsável pelo transporte do contaminante a grandes distâncias da contaminação. É a fração miscível do hidrocarboneto presente no lençol freático. (ÁVILA, 2011).

Em posse destes dados, torna-se possível a tomada de decisão sobre qual, ou quais técnicas de remediação serão utilizadas. Recomenda-se ainda a realização de estudos de viabilidade econômica e analises custo/beneficio para a escolha do método mais adequado para cada situação.

De acordo com Huang et al. (2005 apud MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011), técnicas de remediação podem promover a descontaminação, ainda que parcial, de uma área (técnicas de tratamento) ou isolar o material contaminado de forma a evitar a dispersão dos poluentes (técnicas de confinamento).

> Muitas opções ou combinações de opções estão disponíveis para restaurar a qualidade do solo e da água subterrânea. A seleção de tecnologias a serem

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

> utilizadas baseia-se fundamentalmente no conhecimento das características físico-químicas do contaminante, volume vazado, tempo de vazamento, caracterização geológica e hidrogeológica do local, análise do meio físico superficial e subterrâneo e extensão da pluma contaminante. (SPILBORGHS, 1997 apud MILANI, 2008).

As técnicas de remediação para descontaminação de solo e águas subterrâneas, basicamente, podem ser divididas em *in situ* e *ex situ*.

- *In situ* - a contaminação é tratada diretamente no meio impactado;
- *Ex situ* - os contaminantes são trazidos para a superfície por diferentes métodos, envolvendo sempre a remoção, com escavação (solos) ou bombeamento (águas), passando por tratamentos de descontaminação e posterior retorno ao meio ou disposição final (EGLE, 2010).

No caso dos tratamentos *ex situ*, estes ainda podem ser considerados *on site*, quando são realizados no local da contaminação ou arredores, ou *off-site*, quando o material é removido para tratamento fora do local da contaminação, em estações de tratamento ou co-processamento.

É importante atentar que cada técnica de remediação possui vantagens e desvantagens em relação à outra e os fatores a serem considerados na escolha dependem das propriedades dos contaminantes e da extensão da contaminação, como também os condicionantes geológicos (tipos de solo e profundidade do nível da água). Além dos recursos financeiros a serem aplicados para implantação e monitoramento da remediação (MILANI, 2008).

> Antes de se avaliar as técnicas de remediação a serem utilizadas, deve-se verificar se há a necessidade de ações imediatas por medida de segurança, ainda, definir objetivos e metas da recuperação, levando em consideração os tipos de contaminação e estabelecendo medidas de segurança para o meio ambiente e saúde humana. (FIEMG, [2011]).

A seguir serão apresentadas as principais técnicas de remediação atualmente utilizadas no Brasil.

7.1 Remoção da fase livre

Consiste na remoção de fase livre de hidrocarbonetos de petróleo por bombeamento direto, e separação dos líquidos através de um separador água-óleo (SAO) ou *skimmers* (ÁVILA, 2011) (FIG. 9). Em geral, é o primeiro passo da remediação *in situ*, devendo ser executado sempre após a constatação em uma investigação.

De acordo com Egle (2011), a fase livre é uma de fonte secundária de contaminação. Como na contaminação por combustíveis: um tanque de gasolina enterrado é uma fonte primária. Se a gasolina vazou e entrou em contato com o lençol freático, como é menos densa e não se mistura com a água, caracteriza-se como uma fase separada, ou fase livre (quando a substância tem mobilidade, pode vazar num local e se estender para outro) ou residual (permanece na área fonte da origem).

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

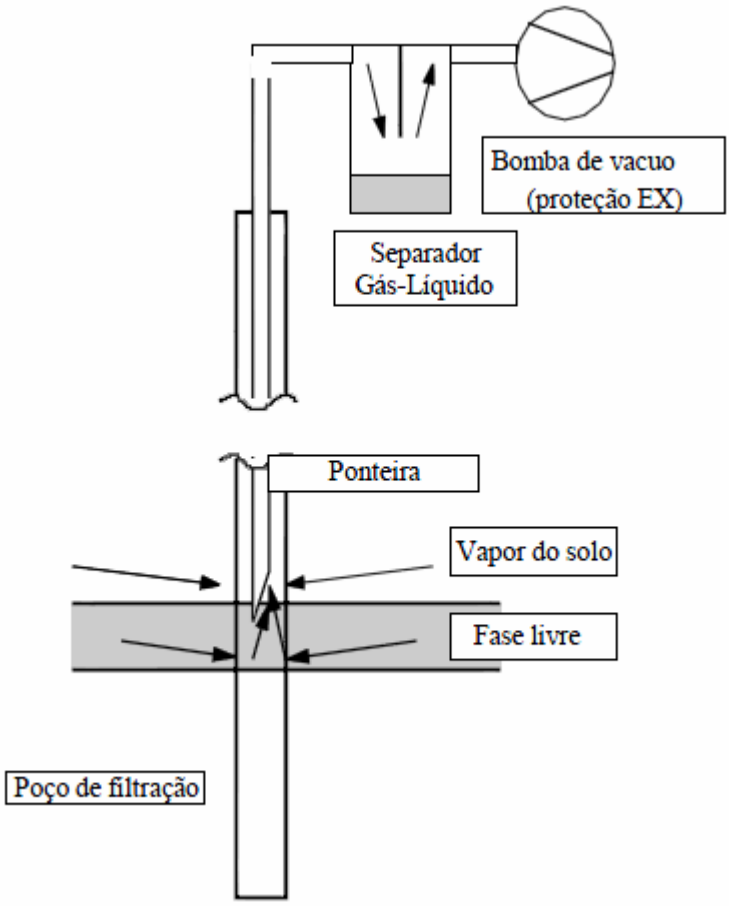

Figura 9: Esquema de remoção da fase livre.
Fonte: (BERGER, 2009)

Pode-se citar como vantagens deste tratamento:

- É aplicável a diversos contaminantes (gasolina, diesel, óleo combustível, solventes, etc.);
- Remoção simples e rápida da porção contaminada;
- Alta taxa de remoção e redução da massa de contaminantes (BERGER, 2009).

Limitações:

- Muito oneroso para grandes volumes;
- O processo é limitado pela profundidade;
- Não é eficiente na remediação das águas subterrâneas, uma vez que uma grande parte dos hidrocarbonetos permanece adsorvida ao solo, atuando como uma fonte contínua de contaminação em fase dissolvida (BERGER, 2009).

7.2 Bombeamento e tratamento (*Pump and treat*)

> É das mais antigas e utilizadas técnicas de remediação físicas do mundo. Baseia-se na remoção de águas subterrâneas, por meio da utilização de bombas submersas ou emersas, que promovem a remoção dos contaminantes. A água bombeada é tratada por meio de filtros de carvão ativado ou colunas de *stripper* [...]. (EGLE, 2011).

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

O objetivo desse método é remover a maior parte possível da água subterrânea contaminada, utilizando poços de extração, assim bombeando a água até a superfície para ser tratada e posteriormente destinada corretamente. Neste método um poço, ou série de poços, devem ser estrategicamente posicionados na pluma de contaminação para retirar a água subterrânea utilizando bombas e, posteriormente, tratar a água na superfície (FIG. 10).

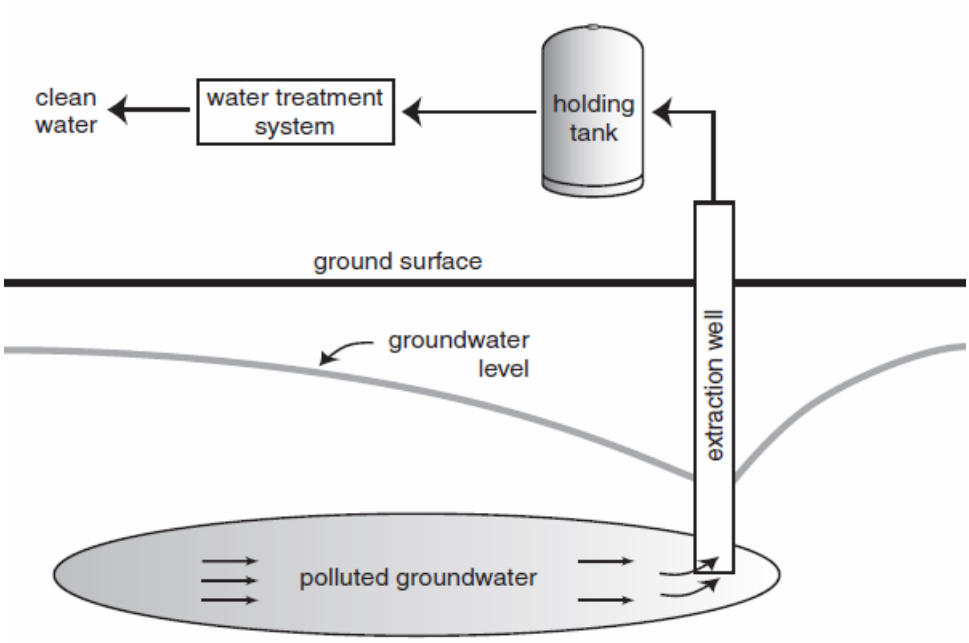

Figura 10: Esquema do processo de bombeamento e tratamento.
Fonte: (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2001a)

O tratamento da água pode ser realizado através de diferentes processos como sistemas de *air stripping* para a remoção dos compostos voláteis, carvão ativado para constituintes dissolvidos e sistemas biológicos para poluentes biodegradáveis.

Poços de monitoramento devem ser empregados conjuntamente aos poços de bombeamento, para monitorar os cones de depressão dos poços de bombeamento, as mudanças na profundidade da água subterrânea, a qualidade da água e para verificar se a pluma está avançando, diminuindo ou estabilizada (CETESB, 2001).

A vantagem do método de bombeamento e tratamento é que, além de ser muito eficiente para a remoção de grandes volumes de contaminantes do aqüífero, ele também é eficiente, se projetado corretamente, para interromper a migração de plumas. No entanto, apresenta como desvantagem o fato de deixar concentrações residuais de contaminantes no aqüífero (CETESB, 2001). Desta forma, sempre que se pretende atingir metas mais restritivas, a remediação deverá ser complementada com o uso de outras técnicas.

7.3 Extração de vapores (*Soil vapor extration* - SVE)

"É uma tecnologia de remediação física, aplicada para zonas não saturadas", que consiste na aplicação de vácuo com o objetivo de induzir o fluxo controlado de ar e assim remover compostos voláteis e semivoláteis do solo (EGLE, 2011). "Com a redução da pressão, um fluxo de ar é induzido na subsuperficie, volatilizando e eliminando os compostos orgânicos voláteis (VOCs)". (CETESB, 2001).

Um sistema de SVE padrão consiste em vários poços de extração de vapores, que extraem e

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

direcionam os vapores para um tanque final de ar/água, passando por uma torre de vácuo e uma estação de tratamento (FIG. 11). O sistema também dispõe de amostradores de vapores, instalados em subsuperfície, que são utilizados para coleta de amostras para análise de vários parâmetros, com a finalidade de avaliar a efetividade do sistema (CETESB, 2001).

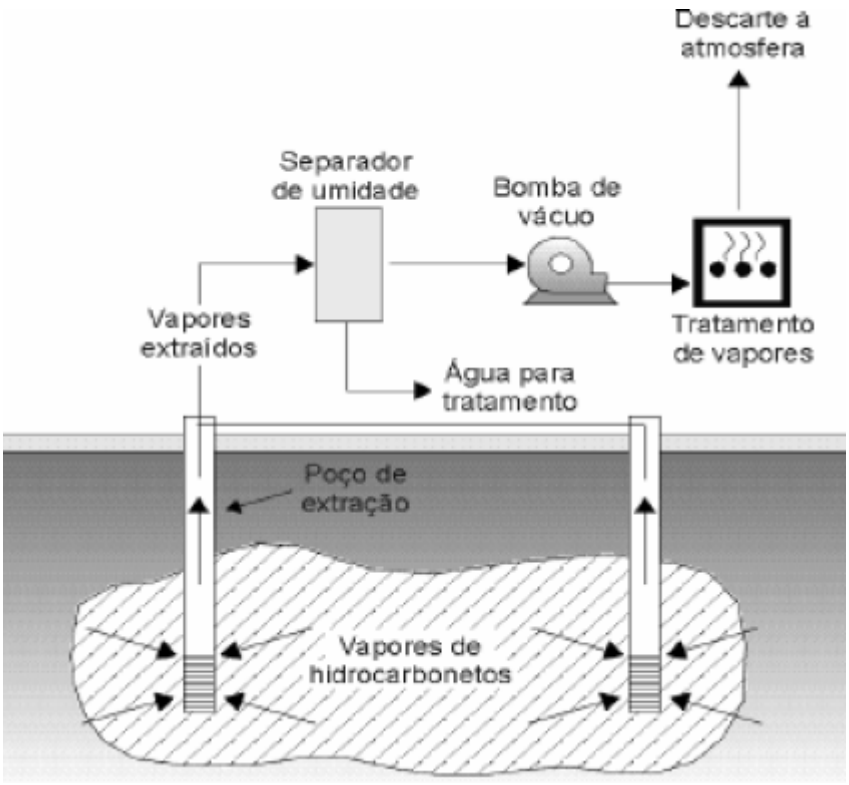

Figura 11: Esquema de funcionamento do sistema SVE.
Fonte: (ERM Brasil, 2008 apud MILANI, 2008)

O uso do SVE é interessante para contaminações por gasolina e combustível de aviação, dadas suas altas taxas de volatilização, também podendo ser usado para remediar compostos com faixas de hidrocarbonetos menos voláteis, auxiliando a biodegradação (CETESB, 2001).

Para tratar contaminantes em solos saturados e na água subterrânea, o SVE é comumente usado em combinação com o sistema de injeção de ar comprimido, ou *Air sparging*, com o objetivo de aumentar a remoção dos contaminantes voláteis (FIG. 12).

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

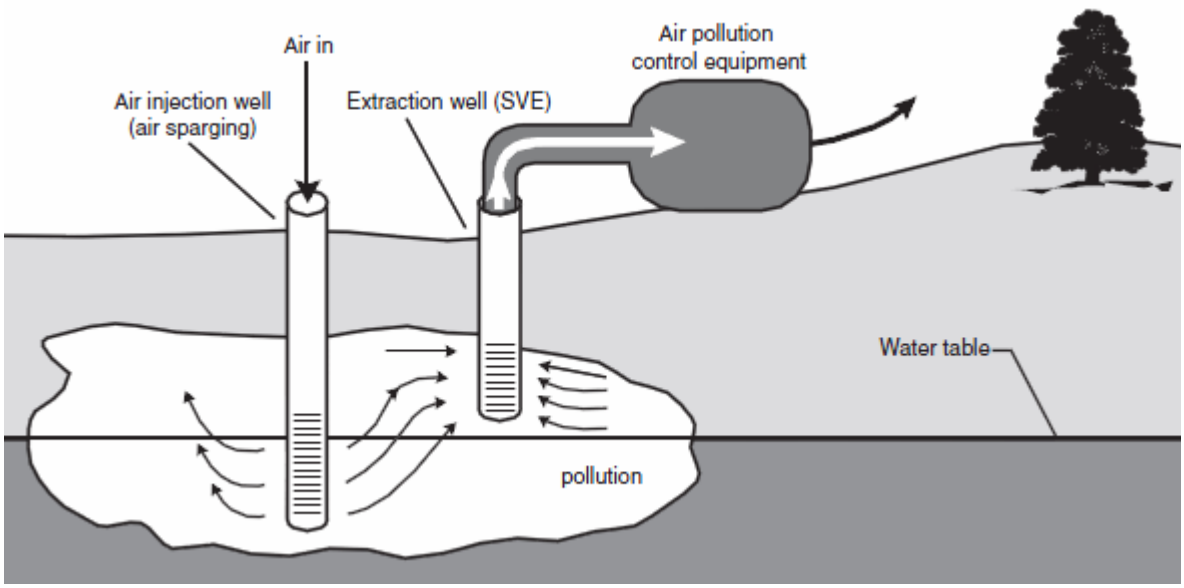

Figura 12: Esquema do sistema SVE combinado com *Air sparging*.
Fonte: (USEPA, 2001b)

7.4 Injeção de ar (*Air sparging*)

É uma tecnologia *in situ*, que introduz ar no aquífero contaminado para produzir borbulhamento na água, com o objetivo de "expulsar" as substâncias voláteis dissolvidas (EGLE, 2011). Consiste na injeção de ar comprimido, em volumes e pressões controlados, na água subterrânea, abaixo dos pontos mais profundos da contaminação (FIG. 13). Esta tecnologia opera com altas taxas de fluxo de ar, a fim de se manter contato constante entre a água e o solo e propiciar maior aeração da água subterrânea.

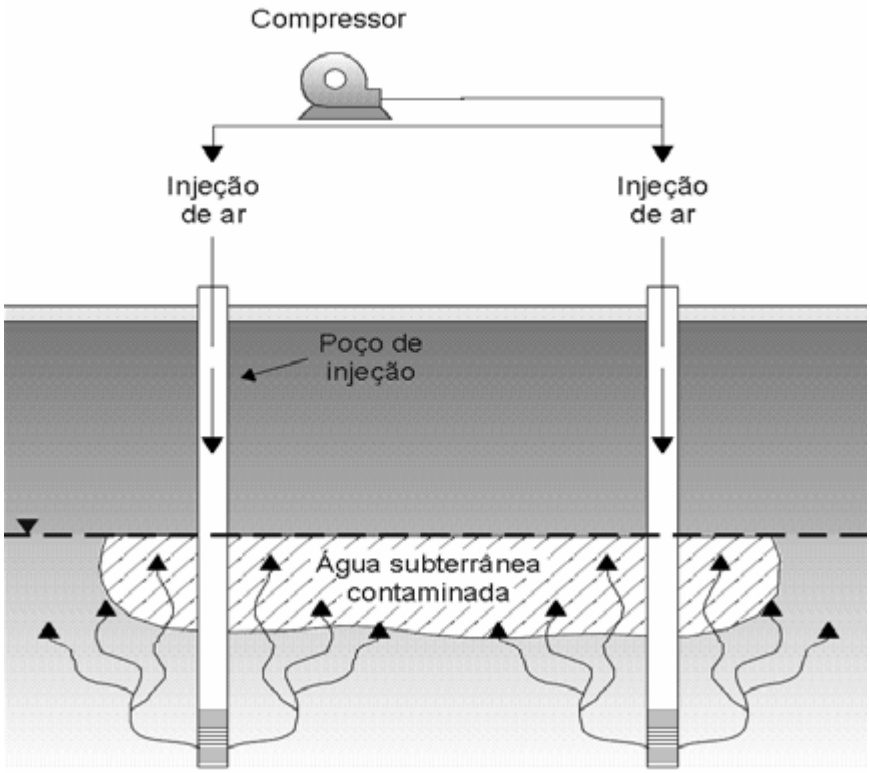

Figura 13: Esquema de um sistema de injeção de ar.
Fonte: (ERM Brasil, 2008 apud MILANI, 2008)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

O sistema de *Air sparging* pode ser usado para diversas aplicações:

- Tratamento da contaminação da zona saturada na área fonte;
- Tratamento da fase dissolvida (pluma);
- Conter a pluma da fase dissolvida;
- Imobilizar contaminantes através de alterações químicas. (U.S. ARMY, 2008 apud MILANI, 2008).

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 (CETESB, 2001).

"As principais características que determinam a eficiência do método são: a permeabilidade gasosa na zona não saturada, a taxa de fluxo de água, permeabilidade do aqüífero, volatibilidade do contaminante e a sua solubilidade". (COUTINHO; GOMES, 2008).

7.5 Extração multifásica (*Multi-phase extraction* - MPE)

O sistema de extração multifásica, também chamado de *dual-phase extraction* ou *bioslurping,* é uma tecnologia aplicada *in situ* que utiliza bombas para extrair simultaneamente diversas fases de hidrocarbonetos. O sistema combina as técnicas de bioventilação e remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, gasosa e dissolvida na matriz do solo, e estimulando o processo de biodegradação natural através do aumento do fluxo de ar no solo.

A extração multifásica ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo, onde os poços de extração ficam distribuídos na área de interesse. Através da aplicação do vácuo nos poços de extração, cria-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O gradiente de pressão é diretamente proporcional ao vácuo aplicado, logo, a eficiência na extração das diferentes fases do contaminante será função do sistema a ser implantado. A mistura bombeada deve ser direcionada para uma caixa separadora de água e óleo, com o combustível recuperado armazenado em tambores e a água contaminada destinada para tratamento em filtro de carvão ativado para posterior reinjeção. O vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e lançado na atmosfera (FIG. 14). (NOBRE et al., 2003; FURTADO, 2005 apud COUTINHO; GOMES, 2008).

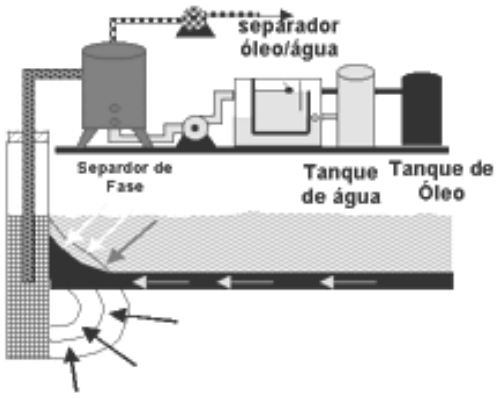

Figura 14: Esquema do sistema de sistema de extração multifásica.
Fonte: adaptado de (OLIVEIRA, 2002)

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Dentre as vantagens do método, podem ser citadas:

- Tempo de remediação reduzido quando comparado aos sistemas convencionais;
- Pode ser utilizado em sites com baixa permeabilidade e condutividade hidráulica (ÁVILA, 2011).

Desvantagens:

- A instalação requer cuidados e testes hidráulicos mais apurados;
- Dificuldade de aplicação em áreas onde o nível d'água apresenta flutuações;
- Grande volume da água subterrânea extraída requer tratamento;
- Requer equipamentos especiais com capacidade sofisticada de controle;
- Requer um monitoramento complexo e controle durante a operação;
- Altos custos de instalação e operação;
- A determinação do raio de influência de poços de ainda é um desafio.

7.6 Biorremediação

Consiste na inserção de microorganismos (bactérias, fungos e protozoários) no solo, para promover a oxidação biológica dos contaminantes. Esses microorganismos absorvem substâncias orgânicas presentes no solo ou na água subterrânea, transformando-as, principalmente em dióxido de carbono e água, e também sais minerais e gases (metano e sulfeto) (FIG. 15).

O contaminante funciona como fonte de carbono para os microorganismos, sendo necessário o fornecimento de nutrientes como nitrogênio e fósforo, assim como agente oxidante, que funcione como receptor de elétrons, e outros nutrientes específicos para cada contaminante (CETESB, 2001).

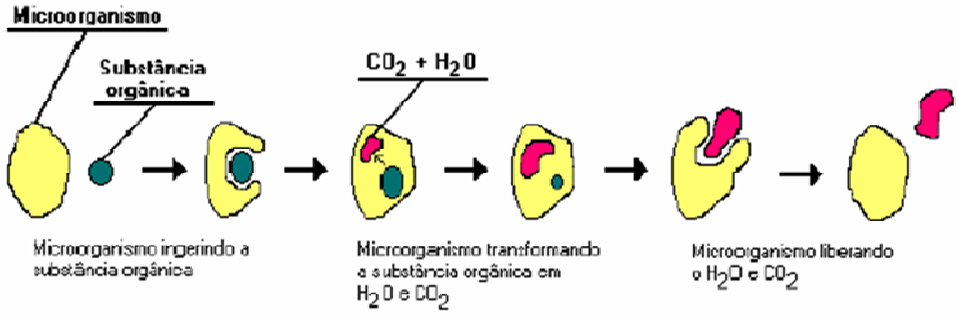

Figura 15: Esquema genérico da biorremediação.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

A biorremediação pode ser aplicada *in situ* ou *ex situ*. A biorremediação *in situ* é realizada no próprio local, sem a remoção de material contaminado e pode ocorrer nas condições naturais do local, mediante injeção ou recirculação de fluidos ou em biobarreiras permeáveis. No caso *ex situ* ocorre à remoção solo e/ou a água contaminada e estes são tratados em um sistema separado na própria área ou em outro local, em biopilhas ou reatores fechados.

Dentre os compostos biodegradáveis incluem-se os preservantes de madeira, os solventes halogenados e os pesticidas. Em especial, este tratamento é muito eficiente para remoção de hidrocarbonetos derivados de petróleo. Ainda, podem-se citar outras vantagens do método:

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

- Capacidade dos microrganismos de biodegradar as substâncias perigosas ao invés de somente transferir o contaminante de um meio para outro;
- Utiliza equipamentos que são facilmente encontrados e de fácil aplicação;
- Apresenta baixo custo e baixo impacto ao ecossistema;
- Pode ser utilizada em combinação com outros métodos de remediação.

Segundo a CETESB (2001) a biorremediação compreende duas técnicas: a bioestimulação e a bioaumentação.

Na bioestimulação, ou bioventilação, o crescimento dos microrganismos naturais (nativos da comunidade do local contaminado) é estimulado através de práticas de introdução de oxigênio, nutrientes, substâncias para correção do pH e receptores de elétrons específicos para a degradação da contaminação (FIG 16) (CETESB, 2001).

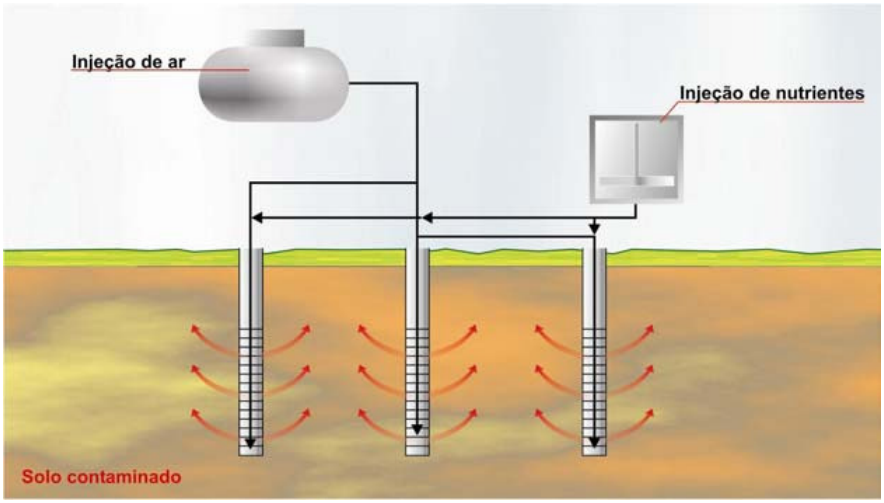

Figura 16: Bioventilação.
Fonte: (ÁVILA, 2011)

Quanto maior a população de microorganismos, mais rápida e eficiente será a remediação. Em locais com insuficiência de microorganismos nativos, mesmo após a tentativa de bioestimulação, a introdução de microorganismos não nativos poderá ser considerada (CETESB, 2001). Esta técnica é chamada de bioaumentação, e consiste na aplicação de produtos biotecnológicos para acelerar a completa biodegradação do contaminante.

Neste caso, é importante atentar que os microorganismos devem ser escolhidos de acordo com o contaminante em questão, e ainda, devem atuar em sinergismos com as espécies locais, sem interferir seus processos biogeoquímicos naturais.

Ainda, dentre as alternativas de biorremediação, é válido mencionar a fitorremediação. Esta técnica envolve o emprego de plantas, sua microbiota associada e amenizantes do solo (como corretivos, fertilizante, matéria orgânica), além de práticas agronômicas que, aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos para o ecossistema (PIRES et al., 2003ab apud COUTINHO; BARBOSA, 2007). É necessária a utilização de plantas que possuam determinadas características como uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao contaminante (COUTINHO; BARBOSA, 2007).

Esta técnica ainda apresenta diversas limitações para a sua aplicação, principalmente no Brasil, devido à falta de conhecimentos e em especial, à falta de pesquisas realizadas no nosso país. No entanto, de acordo com Marques, Aguiar e Silva (2011), o Brasil apresenta grande

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

potencial de uso tanto para biorremediação quanto para fitorremediação, devido à grande biodiversidade e ao clima, que favorecem o uso de processos biológicos.

Com base nos conhecimentos atuais, a fitorremediação pode ser considerada uma técnica apropriada para remediar áreas medianamente contaminadas, tanto rurais quanto industriais. No entanto, não é efetiva quando há urgência na obtenção de resultados. Nas zonas com altas concentrações de contaminante, a fitorremediação pode ser precedida por tratamentos convencionais, como remoção e tratamento químico, entre outros (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

7.7 Atenuação natural monitorada

Baseia-se nos mecanismos naturais de atenuação que ocorrem 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 a níveis adequados, dentro de um período de tempo razoável (CETESB, 2001). Um esquema do processo de atenuação natural é apresentado na Figura 17.

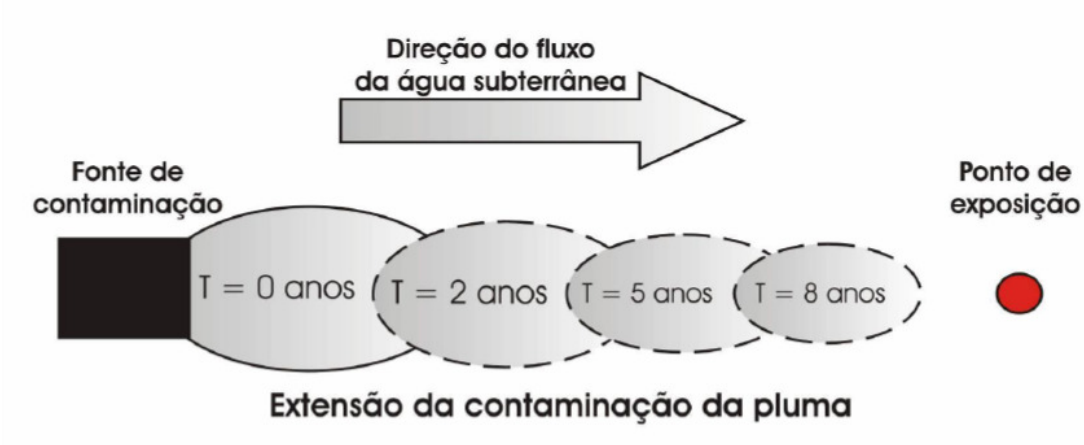

Figura 17: Processo de atenuação natural.
Fonte: (BERGER, 2009)

Os grupos alvos de contaminantes da atenuação natural são os compostos orgânicos voláteis não halogenados (VOCs), os semivoláteis (SVOCs) e combustíveis derivados de petróleo (MILANI, 2008).

“Os principais processos de atenuação natural que ocorrem naturalmente no solo são: biodegradação, dispersão, sorção, volatilização, diluição e mecanismos de degradação abiótica” (CETESB, 2001).

A atenuação natural é uma tecnologia onde o monitoramento deve ser realizado, desta forma, requer modelagem da evolução dos contaminantes, taxas de degradação e refinamento dos modelos de exposição. O objetivo é demonstrar que os processos naturais de remediação podem degradar os contaminantes, reduzindo suas concentrações a níveis aceitáveis (MILANI, 2008).

7.8 Tratamento térmico

“Consiste no aquecimento do solo, com o objetivo de promover a separação de contaminantes orgânicos pela volatilização ou destruição”. (CETESB, 2001). Este tratamento também pode ser realizado *in situ* ou *ex situ*.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

O tratamento térmico *in situ* consiste na remoção de compostos químicos do solo e das águas subterrâneas por meio do aquecimento destes através da injeção de vapor, aquecimento por resistência elétrica, radio frequência ou condução térmica. É importante a realização de testes para garantir que a poeira e os gases emitidos estão sendo devidamente capturados e tratados (CETESB, 2001).

A desorsão térmica *ex situ* é realizada em instalações específicas, fixas ou móveis, sob altas temperaturas (superiores a 500 °C para os solos, no forno rotativo, e superiores a 1000 °C para os gases, no pós-queimador). 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 dioxinas e furanos), portanto, os gases resultantes deverão ser tratados antes do seu lançamento na atmosfera (CETESB, 2001).

7.9 Oxidação química

Esta técnica é "baseada na injeção de oxidantes químicos em áreas contaminadas (águas subterrâneas ou solo), com o objetivo de destruir o contaminante por meio de reações químicas e converter sua massa em compostos inertes encontrados na natureza". (EGLE, 2011).

Os oxidantes transformam compostos químicos perigosos em outros menos nocivos, como água e dióxido de carbono, podendo destruir muitos tipos de compostos químicos como combustíveis, solventes e pesticidas (CETESB, 2001). Os oxidantes mais utilizados são o peróxido de hidrogênio, peróxido de cálcio, permanganato de sódio e persulfato de sódio.

Em geral, este método é empregado quando há necessidade de resultados rápidos de remediação (BERGER, 2009).

A escolha do oxidante a ser utilizado em cada caso de remediação deverá ocorrer 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 (CETESB, 2001).

7.10 Barreiras reativas permeáveis

> Barreiras reativas permeáveis consistem em uma técnica de remediação da pluma de contaminação do lençol freático subterrâneo pelo lançamento de um material reativo no subsolo, direcionando o fluxo da pluma através do mesmo, promovendo ações que atenuam a carga do contaminante para uma forma ambientalmente aceitável. (COSTA, 2006; CRAIG et al, 2006; MAYER et al, 2006; AHMAD et al, 2007 apud MANENTI et al, 2007).

As barreiras são constituídas por materiais reativos ou com grande capacidade de adsorção (argilas, carbono ativado, ferro) que permitem a passagem da água subterrânea e a remoção/degradação dos contaminantes por reação com os materiais reativos (FIG. 18). Os contaminantes são eliminados por processos físicos, químicos e/ou biológicos. As reações do material reagente com os contaminantes na água dependem do pH do meio, do potencial redox, da concentração dos contaminantes e das reações cinéticas (COSTA, 2007 apud MILANI, 2008).

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

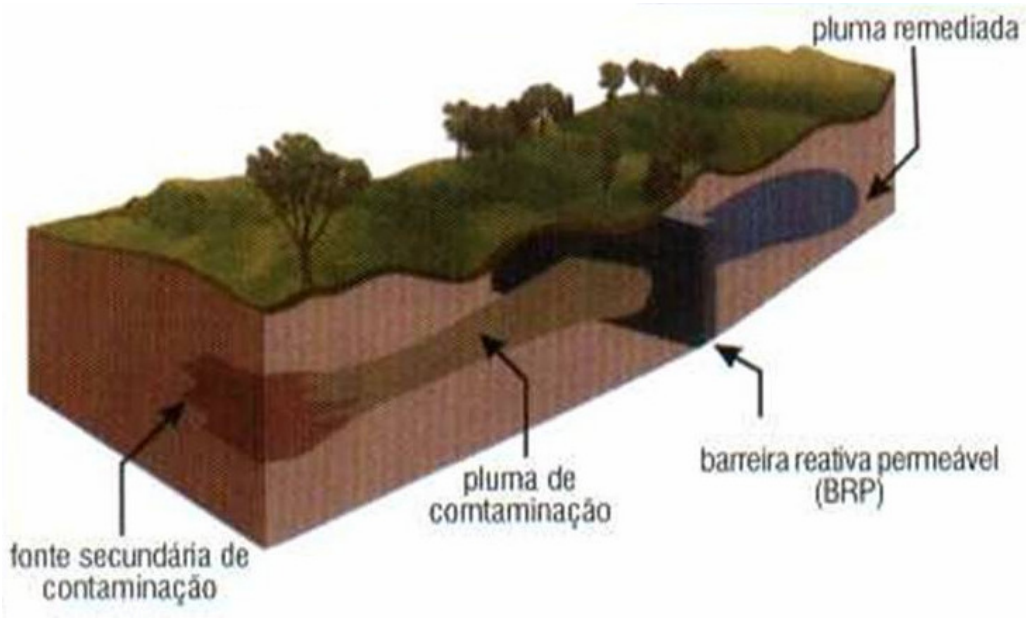

Figura 18: Esquema do sistema de barreiras reativas permeáveis.
Fonte: (adaptado de NOBRE; NOBRE, 2003)

"As barreiras reativas podem ser implantadas em vários tamanhos e formas e são projetadas com base em critérios hidrogeológicos específicos da área e nos contaminantes existentes na água subterrânea". (MILANI, 2008).

8 ASPECTOS LEGAIS

Ainda não existe no Brasil uma legislação específica para passivos ambientais e áreas contaminadas. No entanto, a legislação ambiental existente oferece uma base referindo-se indiretamente a estas questões, como, por exemplo, através de instrumentos legais como as políticas nacional ou estadual de meio ambiente, lei dos crimes ambientais e ainda resoluções, diretrizes e normas para o controle de poluição. Os principais aspectos legais relacionados a este tema são listados a seguir.

8.1 Nacional

- Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências;
- Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 - Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências;
- Lei nº 12.035, de 02 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Resolução CONAMA n° 396, de 03 de abril de 2008 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências;
- Resolução CONAMA n° 420, de 28 de dezembro de 2009 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

8.2 Estadual

8.2.1 Minas Gerais

- Deliberação Normativa COPAM nº 116, de 27 de junho de 2008 - Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais;
- Deliberação Normativa COPAM nº 131, de 30 de março de 2009 - Prorroga prazos previstos para apresentação dos inventários de resíduos sólidos industriais e minerários, do cadastro de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas e da declaração de carga poluidora;
- Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 08 de setembro de 2010 - Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.

8.2.2 Paraná

- Lei nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999 - Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências;
- Decreto nº 6.674, de 03 de dezembro de 2002- Aprova o Regulamento da Lei nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999.

8.2.3 Rio Grande do Sul

- Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000 - Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências;
- Diretriz Técnica FEPAM nº 001/2009 - Diretriz técnica para o licenciamento ambiental de área industrial degradada.

8.2.4 São Paulo

- Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009 - Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas.
- Decreto n° 54.544, de 08 de julho de 2009 - Regulamenta o inciso XIII do artigo 4° e o inciso VIII do artigo 31 da Lei n° 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas.
- Resolução Conjunta SS/SMA n° 01, de 06 de junho de 2002 - Define procedimentos para ação conjunta das Secretarias de Estado da Saúde e Meio Ambiente no tocante a áreas contaminadas por substâncias perigosas.
- Deliberação CONSEMA nº 30, de 10 de dezembro de 2003 - Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas e dá providências correlatas.
- Decisão de Diretoria CETESB nº 103-2007-C-E, de 22 de junho de 2007 - Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Conclusões e Recomendações

É importante ressaltar que cada ocorrência de contaminação representa uma situação específica, conforme já mencionado, devido às características particulares dos contaminantes e hidrogeológicas do local. Desta forma, torna-se necessária a elaboração de um estudo abrangente e multidisciplinar para que seja determinada a melhor alternativa de tratamento para cada área.

Referências

ALBERTE, Elaine P.V.; CARNEIRO, Alex P.; KAN, Lin. Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Diálogos & Ciência,** Feira de Santana, ano 3, n. 5, jun. 2005. Disponível em: <http://dialogos.ftc.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=36&Itemid=15>. Acesso em: 04 jul. 2011.

ANDREOLI, Cleverson V. Gestão ambiental. In: MENDES, Judas T. D. (Org.). **gestão empresarial**. Curitiba: FAE Business School; Gazeta do Povo, 2002. cap. 6. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/empresarial/6.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15515:** passivo ambiental em solo e água subterrânea. Rio de Janeiro, 2007.

ÁVILA, Luciano. **Passivos ambientais**. Porto Alegre: SENAIR-RS/Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2010. Material didático do curso de passivos ambientais.

BERGER, Thomas M. **Experiências na remediação ambiental de áreas contaminadas**. [Porto Alegre], 2009. Disponível em: <http://www.senge.org.br/site/forca_download.php?arquivo=conteudo/arquivo27_25.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 11 jul. 2011.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A. ELETROBRÁS. **Avaliação de passivos ambientais:** roteiros técnicos. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2000. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/ELB/services/eletrobras/ContentManagementPlus/FileDownload.ThrSvc.asp?DocumentID={9AAE99CB-81AD-4172-91EA-AC519D015FF9}&ServiceInstUID={EB0474D7-6A77-49E6-81B6-B71B61FE7CF5}&InterfaceInstUID={3444C73C-8661-433E-80B6-ECF4653B4099}&InterfaceUID={72215A93-CAA7-4232-A6A1-2550B7CBEE2F}&ChannelUID={9DFB02D1-18DB-4A21-A490-121552EF19E4}&PageUID={4AB3DA57-CD28-4FF9-AE52-EE961765D100}&BrowserType=IE&BrowserVersion=6>. Acesso em 21 jun. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo: [s.n.], 2001.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

COUTINHO, Henrique D.; BARBOSA, Alyne R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa. v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007. Disponivel em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v15n1/v15n1a08.pdf>. Acesso em 13 jul. 2011.

COUTINHO, Rômulo C. P.; GOMES, Carisia C. Técnicas para remediação de aqüíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/xvii_simp_bras_rec_hidric_sao_paulo_053.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2011.

EGLE, Telma. Área limpa: com técnicas corretas de remediação e rigoroso processo de aprovação, áreas contaminadas no passado podem receber empreendimentos. **Téchne**, [S.l.], n. 159, mar. 2010. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/156/artigo167705-1.asp>. Acesso em: 11 jul. 2011.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. FIEMG. **Gerenciamento de áreas contaminadas**: conceitos e informações gerais. Belo Horizonte: FIEMG, [2011]. Disponível em: <http://www5.fiemg.com.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=30628&TabId=13628>. Acesso em: 13 jul. 2011.

GARCIA, Ricardo L. **Informações básicas sobre áreas contaminadas**. São Paulo: FIESP, 2011. 32 p. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/arquivos/2011/publicacao/Cartilha-DMA.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2011.

GALANTE, Giovanna S. ABNT NBR 15515–2: passivo ambiental em solo e água subterrânea: parte 2: investigação confirmatória. In: Workshop AESAS, 2., 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: AESAS, 2011. Disponível em: <http://www.aesas.com.br/arquivos/workshop2/app7.ppt>. Acesso em: 11 jul. 2011.

GALDINO, Carlos A. B. et al. Passivo ambiental das organizações: uma abordagem teórica sobre avaliação de custos e danos ambientais no setor de exploração de petróleo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2002, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2002. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR100_1263.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2011.

GÜNTER, Wanda M. R. Áreas contaminadas por resíduos industriais perigosos e usos posteriores à desinstalação industrial: algumas questões de saúde pública. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 18., 2002, Cancun. **Anais...** Cancún: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/v-015.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2011.

KRAEMER, Maria E.P. **Passivo ambiental**. [Belo Horizonte.], [20--?]. Disponível em: <http://www.amda.org.br/objeto/arquivos/107.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2011.

MANENTI, D.C. et al. Aplicação de barreira reativa permeável na redução da contaminação por vazamentos em tanques de combustíveis. **Revista Tecnológica**, [Maringá], n. 16, p. 45-51, 2007. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/4307/4209>. Acesso em: 11 jul. 2011.

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

MARKER, Andreas. **Avaliação ambiental de terrenos com potencial de contaminação:** gerenciamento de riscos em empreendimentos imobiliários. Brasília: CAIXA, 2008. 84 p. Disponível em: <http://www.relasc.org/var/ezwebin_site/storage/original/application/51319a531d87e711480d9efa783c8ab6.pdf>. Acesso em 21 jun. 2011.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C; SILVA, J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [Viçosa, MG], v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n1/a01v35n1.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2011.

MILANI, Alisson S. **Tecnologias para remedição de solos e águas subterrâneas**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

NICKOL DO BRASIL LTDA. **Passivo ambiental em postos de combustíveis**. Cotia, c2003. Disponível em: <http://nickol-brasil.com.br/posto.htm>. Acesso em: 04 jul. 2011.

NOBRE, Manoel Maia; NOBRE, Rosane Cunha Maia. Remediação dos solos: técnicas alternativas melhoram desempenho. **Química e Derivados**, São Paulo, n. 417, p. 3, jul. 2003. Disponível em: <http://www.quimica.com.br/revista/qd417/solo3.htm>. Acesso em: 15 ago. 2011.

ÁGUA ONLINE. **Governo vai propor PL para resíduos sólidos**. [Porto Alegre], c2000. Disponível em: <http://www.aguaonline.com.br/imprimir.php?id=2305>. Acesso em: 04 jul. 2011.

OLIVEIRA, Everton. Bioslurping: retirada de fase livre sem rebaixamento. **ABAS Informa**, São Paulo, n. 127, jun. 2002. Disponível em: <http://www.abas.org/abasinforma/127/paginas/06.htm>. Acesso em: 04 jul. 2011.

SCHIANETZ, Bojan. **Passivos ambientais**: levantamento histórico: avaliação da periculosidade: ações de recuperação. Curitiba: SENAI-PR, 1999. 200p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. **A citizen's guide to pump and treat**. Washington, DC: EPA, 2001. (Citizen's Guide). Disponível em: <http://www.clu-in.org/download/citizens/pump_and_treat.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. **A citizen's guide to soil vapor extraction and air sparging**. Washington, DC: EPA, 2001. (Citizen's Guide). Disponível em: <http://www.clu-in.org/download/citizens/citsve.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2011.

Nome do técnico responsável

Clarissa de Oliveira Arend – Tecnóloga em Gestão Ambiental
Joseane Machado de Oliveira – Engenheira Química e Mestre em Gestão Ambiental
Luciano Ávila – Engenheiro Químico e Especialista em Tratamento e Eliminação de Resíduos Perigosos

Nome da Instituição do SBRT responsável

SENAI-RS / Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br

Data de finalização

31 out. 2011

Copyright © Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT - http://www.respostatecnica.org.br