



*Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas*

# dossiê técnico

## Solo e águas subterrâneas

Técnicas de descontaminação

**Larisse Araújo Lima**

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB

Junho/2012





Serviço Brasileiro de **Respostas Técnicas**

# dossiê técnico

## Solo e águas subterrâneas

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT fornece soluções de informação tecnológica sob medida, relacionadas aos processos produtivos das Micro e Pequenas Empresas. Ele é estruturado em rede, sendo operacionalizado por centros de pesquisa, universidades, centros de educação profissional e tecnologias industriais, bem como associações que promovam a interface entre a oferta e a demanda tecnológica. O SBRT é apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e de seus institutos: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT.



TÊCPAR



FIERGS SENAI



SENAI



Ministério da  
Ciência, Tecnologia  
e Inovação

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA

Dossiê Técnico	LIMA, Larisse Araújo Solo e águas subterrâneas Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB 26/6/2012
Resumo	Abordar algumas técnicas de remediação (in situ e ex situ) como bombeamento e tratamento de águas subterrâneas, a oxidação química, a extração multifásica (multi phase extraction - MPE), a aspersão de ar (air sparging), biorremediação e a extração de vapores no solo (SVE), os métodos térmicos, físico-químicos e biológicos além dos tipos e formas de contaminação assim como a requalificação e revitalização das áreas contaminadas.
Assunto	DESCONTAMINAÇÃO E OUTROS SERVIÇOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS
Palavras-chave	<i>Água subterrânea; contaminação microbiológica; descontaminação; poluição do solo</i>



Salvo indicação contrária, este conteúdo está licenciado sob a proteção da Licença de Atribuição 3.0 da Creative Commons. É permitida a cópia, distribuição e execução desta obra - bem como as obras derivadas criadas a partir dela - desde que dado os créditos ao autor, com menção ao: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - <http://www.respostatecnica.org.br>

Para os termos desta licença, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2 OBJETIVO</b> .....	3
<b>3 SOLO</b> .....	3
<b>4 ÁGUA</b> .....	4
<b>4.1 Águas Subterrâneas</b> .....	4
<b>4.2 Reservatório de água subterrânea</b> .....	4
<b>5 CONTAMINANTES E POLUENTES</b> .....	5
<b>6 PROCESSO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO</b> .....	6
<b>6.1 Processos Físicos</b> .....	6
<b>6.2 Processos Químicos e Bioquímicos</b> .....	6
6.2.1 Sorção (Adsorção e absorção) e sorção hidrofóbica .....	7
6.2.2 Reações causadoras de atenuação das substâncias no solo .....	7
6.2.3 Reações que aumentam a mobilidade dos contaminantes através do solo.....	7
<b>7 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	8
<b>8 REMEDIAÇÕES E RECUPERAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	8
<b>9 MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS</b> .....	9
<b>9.1 Processo <i>Air Stripping</i></b> .....	9
<b>9.2 Extração de gás do solo (SVE)</b> .....	10
<b>9.3 Adsorção por carbono</b> .....	11
<b>9.4 Injeção de vapor/<i>Air Sparging</i></b> .....	11
<b>9.5 Oxidação Química</b> .....	12
<b>9.6 Fluidos Supercríticos</b> .....	13
<b>9.7 Processo de membrana</b> .....	13
<b>9.8 Barreira eletro-osmótica</b> .....	14
<b>9.9 Técnica de lavagem do solo por altas pressões</b> .....	14
<b>10 MÉTODOS BIOLÓGICOS</b> .....	14
<b>10.1 Sistema de Tratamento</b> .....	15
10.1.1 Tratamento convencional (Fase líquida) .....	15
10.1.2 Remediação “in-situ” .....	15
10.1.3 Tratamento da fase “Lama” .....	17
10.1.4 Biorremediação “in situ” .....	18
<b>11 MÉTODOS TÉRMICOS</b> .....	18
<b>12 LEGISLAÇÃO</b> .....	19
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	19
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20

## Conteúdo

### 1 INTRODUÇÃO

“Atualmente, os processos produtivos industriais são muito diversificados, capazes de originar uma variedade de subprodutos e resíduos. Esses, normalmente, não retornam aos processos produtivos, mas sim são lançados ao meio ambiente de maneira desordenada interferindo nos sistemas naturais” (LEITE; MENDES; COELHO, 2005).

Para Leite, Mendes e Coelho (2005):

Neste cenário, a preocupação com a qualidade do solo tem sido cada vez maior, pois o que ocorrer com o solo repercutirá com as águas subterrâneas e superficiais. Desta forma, a migração dos poluentes através do solo, constitui uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos utilizados em abastecimento público, industrial, agrícola, comercial, lazer e serviços (LEITE; MENDES; COELHO, 2005).

Diante da constante busca por preservação ambiental cresce o interesse das construtoras e pequenas empresas em transformar áreas antes consideradas problemáticas em terrenos mais verdes e potencialmente mais sustentáveis.

O uso da terra para centros urbanos, para as atividades agrícola, pecuária e industrial tem tido como consequência elevado níveis de contaminação. Diante da problemática de contaminação do solo e conseqüentemente das águas subterrâneas surge a necessidade por parte das empresas de valorizar e implementar técnicas de descontaminação.

Uma empresa especializada em descontaminação e/ou regularização do solo deve atuar em todas as etapas do gerenciamento ambiental, desde a identificação do passivo e sua valoração até a remediação e monitoramento das da área em questão.

### 2 OBJETIVO

O objetivo desse dossiê é apresentar algumas formas de contaminação do solo e águas subterrâneas resultantes de ações antropogênicas sejam estas advindas de indústrias, meios rurais ou áreas urbanas e as suas principais técnicas de descontaminação.

### 3 SOLO

“O solo é formado por rochas desgastadas como resultado de processos geológicos, hidrológicos e biológicos. O solo é poroso e verticalmente estratificado como resultado da percolação de água e dos processos biológicos incluindo a produção e decomposição de biomassa” (MIRANDA; ALVES, 2008).

Sendo o solo um sistema aberto que sofre continua troca de materiais e energia com a atmosfera, hidrosfera e biosfera, o mesmo está aberto a constantes interferências produzidas pelo homem ou pela própria natureza (MIRANDA; ALVES, 2008).

Segundo Miranda e Alves (2008) a preocupação com os processos de poluição do solo vem crescendo em todo o mundo dado aos graves efeitos que pode ocasionar sobre a humanidade:

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre e dos ciclos naturais. Apresenta inúmeras funções: uma delas é atuar como um filtro, graças a sua capacidade de depurar grande parte das impurezas nele depositadas; ele age também como um “tampão ambiental”, diminuindo e degradando compostos químicos prejudiciais ao meio ambiente. Essa capacidade de filtração e tamponamento, no entanto, é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo em virtude do

efeito acumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, da aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e da disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MIRANDA; ALVES, 2008).

## 4 ÁGUA

“A água é, provavelmente, o único recurso natural que [tem relação] com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade” (GOMES, 2011).

A importância da água remete-se a todos os níveis dos seres vivos, sendo essa imprescindível a todos os estágios de vida. Tendo em vista que os animais, as plantas, o homem assim como toda manutenção do planeta está relacionado em forma de uma cadeia, a não preservação da água faz com que todas as espécies assim como a vida no planeta sejam ameaçadas de extinção.

De acordo com Gomes (2011) a água utilizada pelo homem é obtida dos meios naturais e retoma as suas origens após o seu uso, devendo, portanto ser observado a qualidade de seu retorno e as implicações da sua contaminação:

A água doce utilizada para consumo humano é proveniente das represas, rios, lagos, açudes, reservas subterrâneas e em certos casos do mar (após o processo de dessalinização). A água para o consumo é armazenada em reservatórios de distribuição e depois enviada para grandes tanques e caixas d'água de casas e edifícios.

Após o uso, a água segue pela rede de captação de esgotos. Antes de voltar à natureza, ela deve ser novamente tratada, para evitar a contaminação de rios e reservatórios (GOMES, 2011).

### 4.1 Águas subterrânea

“Cerca de 30% da água doce disponível para uso da humanidade encontra-se no subsolo, na forma de água subterrânea, acumulada entre gretas, fraturas e espaços vazios que existem nas rochas e solo” (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, [2005]).

“A quantidade de água capaz de ser armazenada pelas rochas e pelos materiais não consolidados em geral (solo e sedimentos) vai depender da porosidade, da comunicação destes poros entre si, ou da quantidade e abertura de fraturas existentes” (ANA, [2005]).

“A área onde se acumula a água no subsolo é denominada “zona saturada” que por sua vez é delimitada em sua porção superior pelo “nível freático”. O nível freático pode encontrar-se a qualquer profundidade debaixo da superfície” (ANA, [2005]).

### 4.2 Reservatórios de água subterrânea

Segundo a ANA ([2005]) designado também por aquífero, pode ser definido como toda a formação geológica com capacidade de armazenar e transmitir a água e cuja exploração seja economicamente rentável. Existem essencialmente dois tipos de aquíferos:

- Aquífero livre - Formação geológica permeável e parcialmente saturada de água. É limitado na base por uma camada impermeável. O nível da água no aquífero esta a pressão atmosférica.
- Aquífero confinado - Formação geológica permeável e completamente saturada de água. É limitado no topo e na base por camadas impermeáveis. A pressão da água no aquífero é superior á pressão atmosférica (ANA, [2005]).

O nível da água nos aquíferos não é estático e varia com a precipitação ocorrida, a extração de água subterrânea, os efeitos de maré nos aquíferos costeiros, a variação súbita da pressão atmosférica, principalmente no inverno, as alterações do regime de escoamento de rios influentes e a evaporação (ANA, [2005]).

De acordo com a ANA ([2005]) os aquíferos também podem ser classificados como:

- Porosos, onde a água circula através de poros. As formações geológicas são areias limpas, areias consolidadas por um cimento também chamadas arenitos ou conglomerados.
- Fraturados e/ou fissurados, onde a água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações são granitos, gabros, filões de quartzo etc.
- Cársticos, onde a água circula em condutos que resultam do alargamento de diáclases, por dissolução. As formações são os calcários e dolomitos (ANA, [2005]).

## 5 CONTAMINANTES E POLUENTES

Muitos fatores podem prejudicar o solo e as águas subterrâneas, porém a maior ameaça advém dos contaminantes e poluentes a qual esses meio estão expostos. A origem desses fatores são as mais diversas possíveis, podendo ser oriundas tanto do meio natural como por formas antropogênicas.

“Contaminante é um produto encontrado em um determinado meio, em concentração em níveis abaixo do tolerável em relação a critérios adotados. Poluente é um produto encontrado em um determinado meio, em concentração em níveis acima do tolerável em relação a critérios adotados” (DYMINSKI, 2006).

Segundo Dyminski (2006) os contaminantes chegam aos solos e às águas subterrâneas através de diversas atividades humanas tais como a agricultura, mineração, energia nuclear, disposição de resíduos industriais e urbanos e por meio de ações naturais advindas da natureza tais como as erupções vulcânicas.

Para determinação das medidas de concentração de um produto em um meio pode-se utilizar uma fórmula que leva em consideração a razão entre massa do soluto e o volume da solução. As medidas obtidas podem ser aferidas em relação de molaridade, PPM (gramas do soluto/ gramas da solução  $\times 10^{-6}$ ), ppb (gramas do soluto/ gramas da solução  $\times 10^{-9}$ ) (DYMINSKI, 2006).

“No Brasil, realizaram-se alguns levantamentos dos teores de metais pesados e de contaminantes nos solos brasileiros, entretanto, ainda não se definiram seus níveis de referência para uma possível avaliação de contaminação” (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

Segundo Tutida e Fogaça (c2012) São Paulo é o primeiro estado brasileiro a dispor de valores de referência de qualidade próprios para a avaliação dos graus de poluição do solo e das águas subterrâneas:

A Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico (Cetesb) do Estado de São Paulo, por meio de testes laboratoriais e pesquisas de campo, elaborou uma lista com critérios, valores e padrões orientadores para a concentração de determinados metais pesados e substâncias orgânicas no solo e nas águas subterrâneas.

Resumidamente, os valores são divididos em Valor de Referência de Qualidade, Valor de Prevenção e Valor de Intervenção:

- Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que indica as condições de um solo considerado limpo ou de águas subterrâneas em seu estado natural. São valores de referência usados na prevenção e no controle da contaminação e para o monitoramento de áreas contaminadas.

- Valor de Prevenção (VP): indica a qualidade de um solo capaz de sustentar as suas funções primárias, protegendo-se os seres humanos e os animais e a qualidade das águas subterrâneas. Indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos. Quando este valor é excedido podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e das águas subterrâneas e devem ser usadas medidas preventivas de contaminação. Deve-se, também, exigir o monitoramento das águas subterrâneas, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição.
- Valor de Intervenção (VI): indica o limite de contaminação do solo e das águas subterrâneas acima do qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. Quando excedido, requer alguma forma de intervenção na área avaliada. Para o solo, foram estabelecidos três cenários de exposição à contaminação: agrícola (área de proteção máxima), residencial e industrial (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

## 6 PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO

O solo e conseqüentemente as águas subterrâneas podem ser contaminados por substâncias nocivas ao meio vivente ou pelo excesso de substâncias ou compostos contido no mesmo. Os contaminantes podem se difundir por processos físicos, químicos e bioquímicos (DYMINSKI, 2006).

### 6.1 Processos Físicos

Segundo Dyminski (2006) dentro dos processos físicos contemplam-se os processos de advecção e dispersão, sendo que no processo de dispersão existe a combinação de dois mecanismos: difusão molecular e dispersão hidrodinâmica.

“A advecção consiste no transporte da substância através do fluxo do fluido no qual a mesma está dissolvida. Se esta substância for inerte, o transporte se dá à velocidade média do solvente e na direção das linhas de fluxo” (DYMINSKI, 2006).

De acordo com Dyminski (2006) a dispersão em combinação com os mecanismos de difusão molecular e dispersão hidrodinâmica se dá da seguinte maneira:

Difusão molecular - Decorre de gradientes de concentração do contaminante no domínio do fluxo. A substância tende a migrar das regiões de maior concentração para as de menor concentração. Este processo independe da velocidade do fluido, porém é influenciado pela turbulência (mistura mecânica).

Dispersão heterodinâmica - Diferença de velocidade de fluxo nos canais (vazios) do solo faz com que a solução se disperse. É de difícil quantificação.

Pode ser escrita matematicamente como o parâmetro  $a$ , que pode ter diferentes valores nas direções longitudinal e lateral, dependendo das características do meio (solo ou rocha).

Em fluxos a altas velocidades de percolação, o processo predominante de transporte de contaminantes é a dispersão mecânica. Já em baixas velocidades ( $v < 1,6 \cdot 10^{-10}$  m/s (GILHAN et al, 1984 apud DYMINSKI, 2006), o contaminante migra através da difusão molecular. A substância se espalha por difusão mesmo em condições hidrostáticas ( $v=0$ ) (DYMINSKI, 2006).

### 6.2 Processos Químicos e Bioquímicos

“Muitas vezes, ocorrem reações entre o soluto e o solo, acarretando mudanças na concentração da solução. Estas reações podem acontecer totalmente na fase líquida ou na transferência de substâncias entre esta e a fase sólida do meio poroso ou a fase gasosa (no caso de solos não saturados)” (DYMINSKI, 2006).

Segundo Dyminski (2006) alguns fatores são importantes na análise dos processos químicos e bioquímicos:

- A constituição dos solos e sedimentos (tamanho e composição de partículas, estrutura do solo, presença e tipo de matéria orgânica, etc.)
- As reações entre soluto e solo mudam as concentrações
- Fração argila é a mais reativa, pois é composta de minerais secundários e pode apresentar matéria orgânica (DYMINSKI, 2006).

Podem ocorrer dois processos inversos nessa fase, um que produz acumulação de contaminante no solo e outro que promove a retenção do contaminante pelo solo. Ao processo de acumulação dar-se o nome de sorção e ao fenômeno de retenção dar-se o nome de retardamento.

#### 6.2.1 Sorção (Adsorção e absorção) e sorção hidrofóbica

O processo de acumulação de contaminante no solo é produzido pela transferência de substâncias para a fase sólida. Esse processo contempla os mecanismos de adsorção, absorção e sorção hidrofóbica (DYMINSKI, 2006).

Segundo Dyminski (2006) em relação à adsorção e absorção:

- Adsorção: As substâncias em solução aderem às partículas por forças de atração elétrica, devido a substituições iônicas na estrutura cristalina dos minerais ou quebra de ligações moleculares. Isto ocorre principalmente na fração de argila dos solos, pois estas partículas possuem grande superfície específica e capacidade de atração de íons.
- Absorção: processo que envolve retenção de substâncias nos poros do solo (DYMINSKI, 2006).

Em relação à sorção hidrofóbica a retenção de substâncias orgânicas na matéria orgânica do solo, caracterizada pelo processo de partição, distribuindo o contaminante entre a solução e esta matéria orgânica (DYMINSKI, 2006).

#### 6.2.2 Reações causadoras de atenuação das substâncias no solo

De acordo com Dyminski (2006) as principais reações causadoras de atenuação das substâncias no solo, por perdas ou transformação em outras substâncias, são a biodegradação, degradação abiótica, volatilização e decaimento radioativo:

- Biodegradação - Microorganismos, através de seu metabolismo, transformam moléculas orgânicas em outras menores.
- Degradação abiótica - Envolve reações de oxidação (perda de elétrons), redução (ganho de elétrons), hidrólise (“quebra” de moléculas pela água) e isomerização.
- Volatilização - Difusão do contaminante na fase gasosa
- Decaimento radioativo - Liberação de energia, de forma espontânea, de elementos radioativos, causando diminuição da concentração dos mesmos no solo (DYMINSKI, 2006).

#### 6.2.3 Reações que aumentam a mobilidade dos contaminantes através do solo

De acordo com Dyminski (2006) existem também reações que aumentam a mobilidade dos contaminantes através do solo (efeito geralmente maléfico), entre elas estão a dissolução, formação de complexos ou quelação, co-solvência e ionização:

- Dissolução - Contrário de precipitação, podendo ocorrer, por exemplo, através de lixiviação.
- Formação de complexos - Também chamado de quelação. É a formação de uma ligação coordenada entre um

cátion metálico e um ânion ou molécula polar (ligante), aumentando a mobilidade potencial do metal, ficando mais solúvel.

- Co-solvência - O contaminante é dissolvido em mais de um solvente.
- Ionização - Dissociação de ácidos e bases, aumentando sua mobilidade na água (DYMINSKI, 2006).

## 7 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A deterioração da qualidade da água subterrânea pode ser provocada de maneira direta ou indireta, por atividades humanas ou por processos naturais, sendo mais frequente a ação combinada de ambos os fatores (ANA, [2005]).

Segundo a ANA ([2005]) as causas fundamentais da poluição das águas subterrâneas ocasionada pelas atividades humanas são:

Poluição urbana e doméstica - É provocada pela descarga de efluentes domésticos não tratados na rede hidrográfica, fossas sépticas e lixeiras. Este tipo de poluição ao atingir o aquífero origina um aumento da mineralização, elevação da temperatura, aparecimento de cor, sabor e odor desagradáveis.

Poluição agrícola - Os contaminantes potencialmente mais significativos neste campo são os fertilizantes, pesticidas e indiretamente as práticas de irrigação. A reciclagem e reutilização da água subterrânea para irrigação provoca um aumento progressivo da concentração de sais que ao longo do prazo, a inutiliza para estes fins.

Poluição industrial - A produção industrial gera resíduos que quando despejados nos corpos d'água sem nenhum controle ou tratamento, podem levar a sérios problemas de contaminação de mananciais. Dentre as indústrias poluentes destacam-se as alimentares, as metalúrgicas, as petroquímicas, as nucleares, as mineiras, as farmacêuticas, as eletroquímicas, as de fabricação de pesticidas e inseticidas (ANA, [2005]).

Outro tipo comum de contaminação das águas subterrâneas é induzida por bombeamento. De acordo com a ANA ([2005]):

A intrusão salina é um fenômeno que ocorre em regiões costeiras onde os aquíferos estão em contato com a água do mar. Na verdade enquanto a água doce se escoar para o mar, a água salgada, mais densa, tende a penetrar no aquífero, formando uma cunha sob a água doce. Este fenômeno pode acentuar-se e ser acelerado, com consequências graves, quando, nas proximidades da linha de costa, a extração de grandes volumes de água doce subterrânea provoca o avanço da água salgada no interior do aquífero e a consequente salinização da água dos poços ou dos furos que nele captam (ANA, [2005]).

## 8 REMEDIAÇÕES E RECUPERAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

“A técnica de remediação de áreas comprovadamente contaminadas consiste em retirar ou diminuir a concentração do contaminante nos solos ou nas águas subterrâneas” (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

“Para que se realize a recuperação de um solo é necessário que se tenha um perfeito entendimento das propriedades do mesmo, bem como dos fatores de deterioração” (LEITE; MENDES; COELHO, 2005).

Existem inúmeras técnicas disponíveis para a recuperação de solos e de águas subterrâneas contaminadas. A seleção da técnica apropriada constitui um processo complexo, envolvendo considerações detalhadas das características do local e do poluente,

e um estudo da viabilidade técnico-econômica de aplicação das várias alternativas para o local específico. (CAMPOS, 1994 apud DYMINSKI, 2006).

“Muitos dos tratamentos aplicados são tão drásticos que acabam por sua vez alterando as propriedades biológicas, físicas e físico-químicas do solo, o que ocorre em função do longo tempo de permanência da contaminação” (LEITE; MENDES; COELHO, 2005).

De um modo geral, os métodos preferenciais de tratamento do conjunto água-solo são aqueles que reduzem permanentemente o volume, toxidez ou mobilidade das substâncias poluentes. As alternativas menos desejáveis são as que envolvem transporte entre local e disposição de substâncias perigosas sem tratamento (DYMINSKI, 2006).

De acordo com Leite; Mendes e Coelho (2005) em relação à escolha de mais de uma alternativa de remediação:

Na seleção de uma ou mais alternativas de remediação deve-se considerar o tamanho, o local e o histórico da área, as características do solo (estrutura, textura, pH, etc.), o tipo e estados físico e químico dos contaminantes, o grau de poluição (distribuição e concentração do contaminante), o uso final desejado para a área e os recursos técnicos e financeiros disponíveis e as questões ambientais, sociais, legais e geográficas (CARNEIRO et al., 2003 apud LEITE; MENDES; COELHO, 2005).

## 9 MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS

Os processos físico-químicos são caracterizados por técnicas “*off-site*” e “*in-situ*”. A técnica “*off-site*” consiste na remoção do solo e da água subterrânea do terreno para seu posterior tratamento. A essas técnicas designam-se “*pump and treat*” e contemplam-se as técnicas *Air Stripping/ Sparging*, extração de gás do solo, adsorção por carbono, injeção de vapor, oxidação química, fluidos supercríticos e processo da membrana. A técnica “*in-situ*” consiste em tratar a solo ou água sem a necessidade de retirá-la do local onde a mesma se encontra e contemplam-se as técnicas de barreira eletro-osmótica e lavagem do solo por alta pressão (DYMINSKI, 2006).

### 9.1 Processo *Air Stripping*

O processo *air stripping* consiste em uma técnica a qual ocorre a transferência de massa por meio da volatilização de compostos da água, aumentando-se assim a transferência entre as fases gasosas e líquida do solo. Em geral essa técnica é utilizada na remediação de água subterrânea que tenha sido contaminada por compostos orgânicos voláteis (VOC's) como solventes (DYMINSKI, 2006).

Segundo Tecnohidro ([200-?]) uma configuração convencional de *Air Stripping* utilizado no tratamento de água subterrânea é a coluna de *stripping*:

Nesta configuração, a água subterrânea contaminada é bombeada para o topo de uma coluna e, simultaneamente, ar limpo é soprado na base da mesma. O fluxo de ar promove transferência de meio, a água é distribuída no topo e, posteriormente, desce por gravidade. O fluxo de ar locado na base da coluna sobe por anéis que promovem o *stripping* no interior da coluna (TECNOHIDRO, [200-?]).

“O processo de transferência de massa depende das características físico-químicas de cada contaminante, a temperatura da água, a taxa de ar/água, a superfície de contato ar/água na coluna e o fator de empacotamento dos anéis na coluna” (TECNOHIDRO, [200-?]).

“A aplicação de um sistema *Air Stripping* depende em grande parte das características dos contaminantes a serem tratados, sendo mais bem indicado para tratamentos de VOC's e compostos com concentração inferiores a (<200mg/L)” (TECNOHIDRO, [200-?]).

“Os parâmetros que têm importância significativa no desempenho do sistema são as vazões de bombeamento; o fluxo de ar injetado na coluna e a concentração de contaminantes” (TECNOHIDRO, [200-?]).

Segundo Dyminski (2006) para aplicação do sistema *Air Stripping* utiliza torres de armazenamento, sistema de spray, aeração difusa e mecânica conforme figura 1.

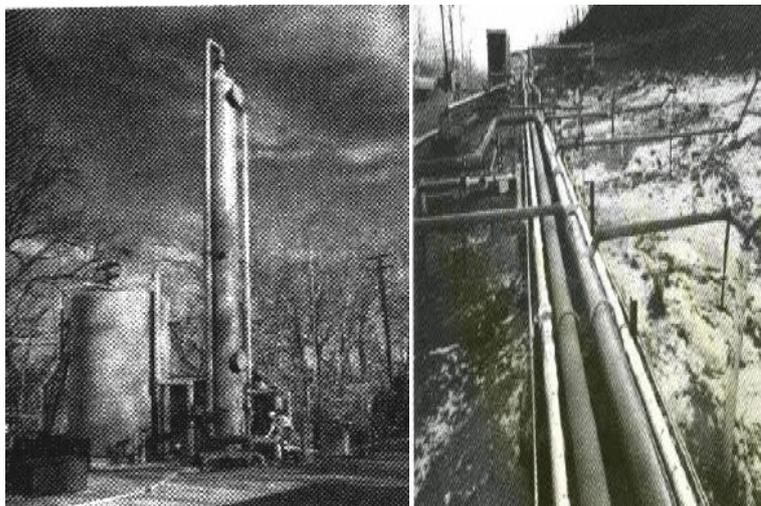


Figura 1 - Unidades de *Air Stripping*  
Fonte: (DYMINSKI, 2006)

## 9.2 Extração de gás do solo (SVE)

A técnica de extração de gás do solo é feita através da instalação de poços de extração na zona de contaminação e aplicando-se vácuo fazendo com que se seja movimentado no solo. Assim como a técnica *Air Stripping* a SVE também é usualmente utilizada na extração de voláteis do solo da zona não saturada ou através de escavações (FIG.2) (DYMINSKI, 2006).

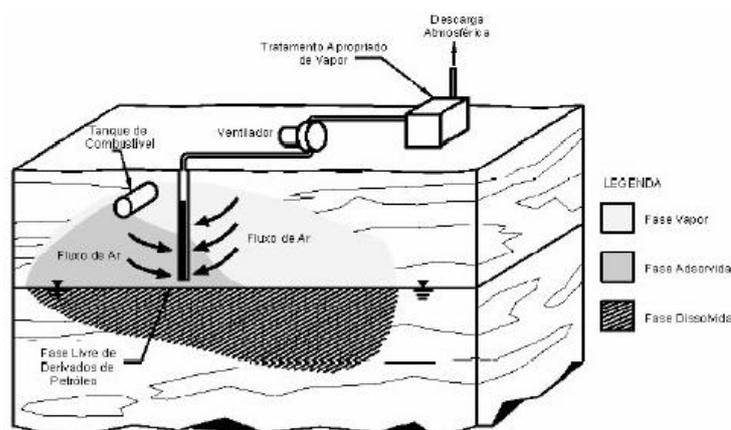


Figura 2 - Sistema de extração de vapores  
Fonte: (TECNOHIDRO, [200-?])

Segundo Tecnohidro ([200-?]) a técnica de extração de gás do solo é uma tecnologia de remediação aplicada para zona não saturada, onde aplica-se vácuo com o objetivo de induzir o fluxo controlado de ar e assim remover contaminantes voláteis e semivoláteis do solo:

O gás retirado deve passar por uma extração de tratamentos de vapores. Extrações verticais são utilizadas em profundidades que variam de 1,5 a 90

metros. Extrações horizontais (instaladas em trincheiras ou furos horizontais) podem ser instaladas como garantia, dependendo da geometria da pluma e outras especificidades.

Um rebaixamento do lençol freático pode ser utilizado para reduzir a elevação do nível d'água no poço induzido pelo vácuo ou aumentar a faixa de zona não saturada. A injeção de ar é efetiva para facilitar a extração em contaminações profundas, em baixas permeabilidades e em zona saturada.

O grupo alvo de contaminantes do SVE são os compostos orgânicos voláteis, (VOCs) e alguns combustíveis. A tecnologia é aplicada somente para compostos voláteis com constante da Lei de Henry acima de 0.01 ou pressão de vapor maior que 0.5 mmHg ( 0.02 polegadas de Hg). Outros fatores, como umidade e quantidade de matéria orgânica, afetam a permeabilidade de ar no solo e por consequência a eficiência do sistema. O fato do processo envolver fluxo contínuo de ar no solo promove biodegradação "*in situ*" dos compostos de baixa volatilidade que podem estar presentes (TECNOHIDRO, [200-?]).

### 9.3 Adsorção por carbono

Nesse processo de descontaminação existem dois componentes envolvidos designados adsorvido e adsorvente. O elemento adsorvido é o contaminante solúvel e o adsorvente é uma superfície sólida (DYMINSKI, 2006).

O processo consiste em dispor a água contaminada em uma coluna que entrará em contato com o carbono (superfície adsorvente), saindo através de um sistema de drenagem de fundo (DYMINSKI, 2006).

### 9.4 Injeção de vapor/ *Air Sparging*

Diferente das técnicas anteriores, a descontaminação por injeção a vapor pode ser aplicada para remoção de compostos voláteis e semi-voláteis da água subterrânea ou servida. É muito utilizada em decorrência da sensibilidade de redução até o limite de detecção (DYMINSKI, 2006).

"O sistema de Injeção de Ar consiste em uma rede de poços que possuem a função de levar o ar atmosférico sob pressão (bombeado através de compressores) até a zona saturada do solo onde se encontram a pluma de contaminação" (EPA, 2004 apud HEINECK, 2010).

Segundo Heineck (2010) o processo de descontaminação em aquíferos consiste em:

A injeção de ar no aquífero é utilizada para promover a conversão dos compostos orgânicos voláteis sorvidos nas partículas do solo e ou dissolvidos na água para a fase de vapor.

A injeção de ar deve formar canais de passagem de ar através da pluma pelos quais vapores possam chegar até a zona vadosa, onde o gás pode vir a ser biodegradado ou removido por sistemas de extração de vapores.

É indicado para remediação de solos contaminados por compostos voláteis e semi-voláteis mais intensamente sorvidos nas superfícies das partículas de solo. Também pode ser eficiente na remoção de compostos NAPL localizados na franja capilar ou abaixo do nível da água subsuperficial (FIG.3) (ABDANAUR, 2005 apud HEINECK, 2010).

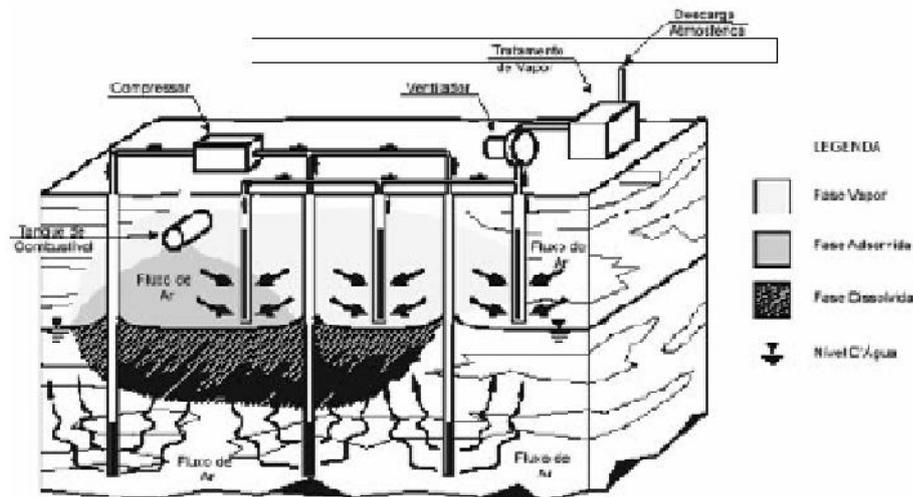


Figura 3 - Remediação por injeção de ar em sítios contaminados  
Fonte: (HEINECK, 2010).

As taxas de injeção devem ser dimensionadas de acordo com as características do local e confirmadas através de um teste piloto para que o ar injetado (que pode carrear concentrações de contaminantes volatilizados), não migre até a superfície do solo. A recuperação pode ser acentuada se for injetado ar aquecido. A técnica pode ser utilizada em conjunto com a extração de vapor do solo (HEINECK, 2010).

### 9.5 Oxidação Química

“A oxidação química é geralmente usada no tratamento de resíduos líquidos e água subterrânea, mas também pode ser aplicada em solos. Contudo, como o processo de escavação é caro, a tendência é de se utilizarem métodos “*in situ*” (DYMINSKI, 2006).

“O tratamento de efluentes e remediação de solos contaminados, a oxidação química é uma forma de transformar moléculas ambientalmente indesejáveis em outras moléculas menos tóxicas, para que estas possam ser assimiladas de modo mais harmonioso nos ciclos da natureza” (JARDIM; CANELA, 2004).

De acordo com Dyminski (2006) a técnica consiste em:

Visa “detoxicar” o resíduo através da adição de agente oxidante para a transformação química dos componentes do resíduo (molécula orgânica dióxido de carbono e água ou outros produtos menos tóxicos que o original).

Esta tecnologia é capaz de destruir uma boa gama de moléculas orgânicas e inorgânicas bastante perigosas. Os agentes oxidantes mais utilizados são o ozônio, peróxido de hidrogênio e “*chlorines*”.

A luz ultravioleta pode ser usada para acelerar o processo. Geralmente este processo é o mais econômico quando os orgânicos estão em menor concentração que os outros contaminantes existentes.

Este processo ocorre tipicamente em tanques misturadores ou reatores. A água contaminada é introduzida em um lado do equipamento e a água tratada sai do outro. O agente oxidante é introduzido na água logo após a entrada da mesma no tanque (DYMINSKI, 2006).

De acordo com Jardim e Canela (2004) a oxidação pode ser completa ou parcial, porém em ambos os casos o resultado final apresentará um índice satisfatório ou minimizado de contaminação:

A oxidação pode ser completa ou parcial. Algumas vezes, quando a oxidação se dá de modo incompleto, nem sempre se pode garantir que o subproduto (ou subprodutos) formado será menos tóxico que o composto de partida. No entanto, a oxidação total (também chamada de mineralização) de um composto orgânico gera como produto final dióxido de carbono, água e íons inorgânicos caso haja algum heteroátomo na molécula (JARDIM; CANELA, 2004).

## 9.6 Fluidos Supercríticos

Este tipo de extração representa uma tecnologia emergente. Os fluidos supercríticos são materiais que, em altas temperaturas e pressões, possuem propriedades entre líquido e gás (DYMINSKI, 2006).

Neste processo (SCF) de extração, os orgânicos no solo, sedimentos ou água são dissolvidos no fluido a altas temperatura e pressão e aliviados (liberados) do SCF a baixas temperatura e pressão (DYMINSKI, 2006).

## 9.7 Processo da membrana

Dentro do processo de membrana algumas técnicas podem ser utilizadas como forma de promoção da separação da água e dos contaminantes. Dentre as técnicas mais comuns estão a eletrocinética, osmose reversa e ultrafiltração (DYMINSKI, 2006).

“O processo de remediação eletrocinética consiste na aplicação de uma corrente direta de baixa intensidade através do solo entre dois ou mais eletrodos.” (GUARACHO et al., 2005).

“Os processos de separação por membranas, designadamente a ultrafiltração (UF), têm vindo a tornar-se, nos últimos anos, uma tecnologia cada vez mais atrativa como possível alternativa ao tratamento convencional de águas para consumo humano” (TEIXEIRA, 2001)

De acordo com Teixeira (2001) a filtração por membranas, comparadas com o tratamento convencional, oferece uma série de vantagens e desvantagens:

- Qualidade superior da água tratada, através da remoção de macromoléculas, bactérias e vírus, designadamente de microorganismos resistentes aos tratamentos químicos como cloragem e ozonização (e.g. *Giardia*, *Cryptosporidium*);
- Sistema mais compacto e modular, portanto facilmente adaptável às variações de qualidade e quantidade de água a tratar;
- Fácil controlo de operação e de manutenção;
- Menor utilização de químicos, nomeadamente de alumínio (coagulante) e poliacrilamida (floculante) que podem originar efeitos nefastos na saúde pública;
- Menor produção de lamas (NAKATSUKA et al., 1996; BARBA et al., 1997); DOYEN, 1997; DHARMAPPA & HAGARE, 1999 apud TEIXEIRA, 2001)

No entanto, para além destas vantagens, a aplicação da UF ao tratamento de águas está limitada pelo declínio do fluxo verificado ao longo do tempo, originando uma menor produção de água tratada, maiores consumos de energia e necessidades frequentes de limpeza das membranas com químicos.

O declínio do fluxo parece estar relacionado com a composição e dimensão dos poros das membranas, e com os parâmetros químicos e físicos constituintes da água bruta, como partículas inorgânicas em suspensão e moléculas orgânicas (por exemplo, substâncias húmicas) (JACANGELO et al. 1995; KAIYA et al., 1996 apud TEIXEIRA, 2001).

Segundo Guaracho et al. (2005) na eletrocinética os contaminantes são mobilizados na forma de espécies carregadas ou partículas, a corrente aplicada mobiliza espécies carregadas eletricamente, partículas e íons no solo pelos seguintes processos:

- Eletromigração: transporte de espécies químicas carregadas sob um gradiente elétrico;
- Eletro-osmose: transporte de fluido intersticial sob um gradiente elétrico;
- Eletroforese: movimento de partículas carregadas sob um gradiente elétrico;
- Eletrólise: reações químicas associadas com o campo elétrico (GUARACHO et al., 2005).

### 9.8 Barreira eletro-osmótica

É um método “*in situ*”, que consiste numa barreira eletrocinética, criada pela aplicação contínua ou periódica de um potencial DC, que pode ser um meio efetivo de parar ou reverter a migração de contaminantes sob uma carga hidráulica. É aplicável a solo argiloso (DYMINSKI, 2006).

### 9.9 Técnica de lavagem do solo por altas pressões

A lavagem do solo é uma técnica antiga em se tratando de recuperação de solos, a utilização dessa técnica envolve uma série de equipamentos que pode torná-la economicamente inviável.

De acordo com Dyminski (2006) a técnica consiste em:

Tubulões de aço de 1,5 m de diâmetro são cravados no solo até a profundidade desejada. Uma bomba de alta pressão injeta água no solo a velocidades acima de 250 m/s (pressão de 500 bars e vazão de 300 l/min). Trabalhando com a bomba de cima para baixo, produz-se solo limpo com água com finos em suspensão e óleo. Esta mistura é bombeada para a superfície, para separação de sólidos- fluidos, usando-se uma bomba de dragagem.

O processo de separação sólidos-fluido, na superfície, envolve o uso de peneiradores e hidrociclones. O solo limpo (areia) é retornado ao furo. A água limpa é reutilizada no processo e a lama residual geralmente é tratada por processos biológicos (DYMINSKI, 2006).

## 10 MÉTODOS BIOLÓGICOS

Para Dyminski (2006) os tratamentos biológicos consistem:

Degradação de matéria orgânica contaminante por microorganismos, através da biotransformação (simplificação de um composto orgânico em outro) ou da mineralização (quebra completa de moléculas orgânicas em massa celular, dióxido de carbono, água e resíduo inorgânico inerte) (DYMINSKI, 2006).

Alguns aspectos microbiológicos inseridos nos métodos biológicos podem afetar o sucesso dos sistemas de tratamento. De acordo com Dyminski (2006) dentre os diversos fatores microbiológicos que afetam os tratamentos destacam-se:

- Energia e fonte de substratos: A matéria viva requer energia e carbono para crescer e se manter. Geralmente, o tratamento biológico é o resultado do metabolismo heterotrófico, onde o resíduo orgânico, que se quer tratar, é a fonte de carbono. Algumas vezes, além de bactérias, podem

ser utilizados organismos mais complexos para o tratamento biológico, tais como fungos e outros.

- Processos enzimáticos: para a degradação, o resíduo deve entrar em contato com o micro-organismo, servindo como substrato para o mesmo realizar seu metabolismo. Muitas vezes, deve-se escolher um tipo específico de bactéria ou organismo capaz de reagir/metabolizar determinado tipo de contaminante ou resíduo.
- Biodegradabilidade do resíduo (substrato): A maioria dos orgânicos sintéticos é biodegradável. Contudo, existem alguns que resistem à degradação biológica (compostos persistentes). Entre estes últimos podem ser citados o TCDD (dioxina) e PCBs (bifenil poli-clorinado - substâncias utilizadas em transformadores e capacitores).
- Inibição e toxicidade: determinadas substâncias orgânicas podem ser biodegradáveis a uma concentração, servindo de substrato, e persistentes em concentrações mais altas, inibindo o crescimento da colônia de bactérias. Algumas vezes, em concentrações ainda maiores, estas substâncias podem até ser tóxicas às bactérias.
- Comunidade/colônia microbiológica: Geralmente, utilizam-se “misturas” de diversos tipos de bactérias em tratamentos biológicos. Isto porque o processo de degradação pode ser mais eficiente, tendo-se em vista que um tipo de bactéria pode aproveitar o subproduto gerado pelo outro e vice-versa, formando uma “corrente vital” (DYMINSKI, 2006).

## 10.1 Sistemas de tratamento

Segundo Dyminski (2006) os sistemas de tratamento podem se diferenciar em quatro procedimentos básicos: tratamento convencional (fase líquida), remediação *in-situ*, tratamento da fase “lama” e tratamento da fase sólida.

Além desses procedimentos básicos existem outras técnicas como a biorremediação, tratamentos térmicos, tratamento físico químico e os tratamentos biológicos (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

### 10.1.1 Tratamento convencional (Fase líquida)

“Originário do tratamento de efluentes (resíduos) industriais consiste na passagem do efluente através de um reator, onde o mesmo vai interagir com a biomassa, em condições aeróbicas ou anaeróbicas. Geralmente faz-se um pré-tratamento do efluente que irá para o biorreator” (DYMINSKI, 2006).

### 10.1.2 Remediação *in-situ*

Segundo Dyminski (2006) o contaminante poderá se apresentar no solo nas formas: livre (produto livre e puro), adsorvido (preso nas partículas) ou dissolvido na água subterrânea:

O tipo de remediação dependerá de como o contaminante se encontra no solo, sendo que a bio-remediação poderá tratar o contaminante diretamente nas três fases. A bio-remediação “*in situ*” poderá ser utilizada em conjunto com outras formas de tratamento (p.ex.: “*pump and treat*”).

A bio-remediação ideal para tratamento dos contaminantes adsorvidos seria aquela que aconteceria naturalmente, mas que pode ser estimulada. Este estímulo pode ser através de injeções de água contendo nutrientes e oxigênio, por exemplo. Porém, deve-se ter muito cuidado, pois isso também pode afetar o fluxo de água subterrânea e espalhar ainda mais o contaminante conforme figuras 1, 2, 3 e 4.

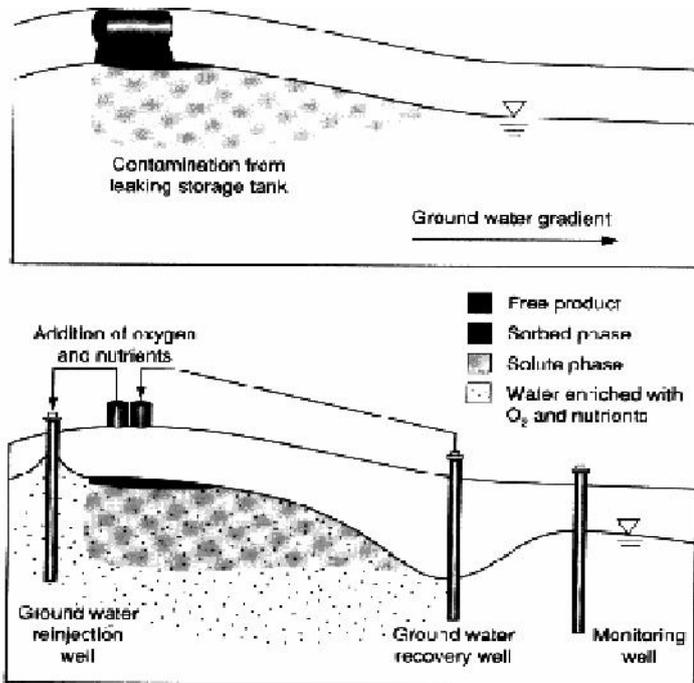


Figura 4 - Sistema de bio-remediação *in-situ*  
 Fonte: (DYMINSKI, 2006).

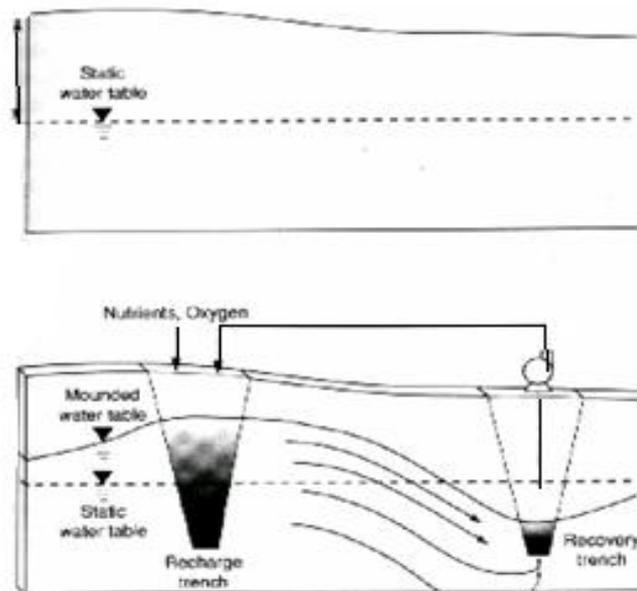


Figura 5 - Uso de trincheiras na recuperação e reinjeção de água subterrânea  
 Fonte: (DYMINSKI, 2006).

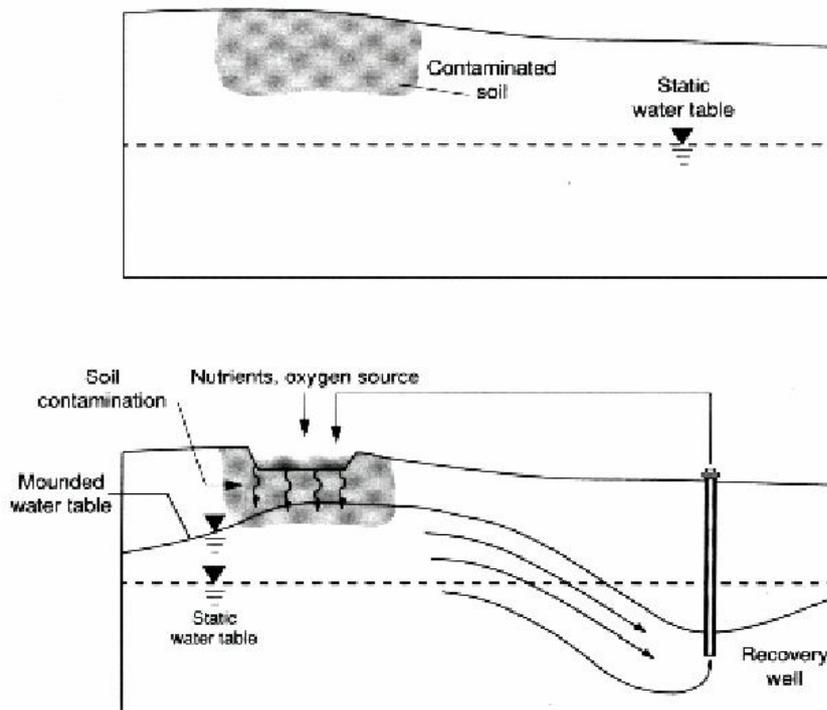


Figura 6 - Uso da Infiltração no tratamento  
Fonte: (DYMINSKI, 2006).

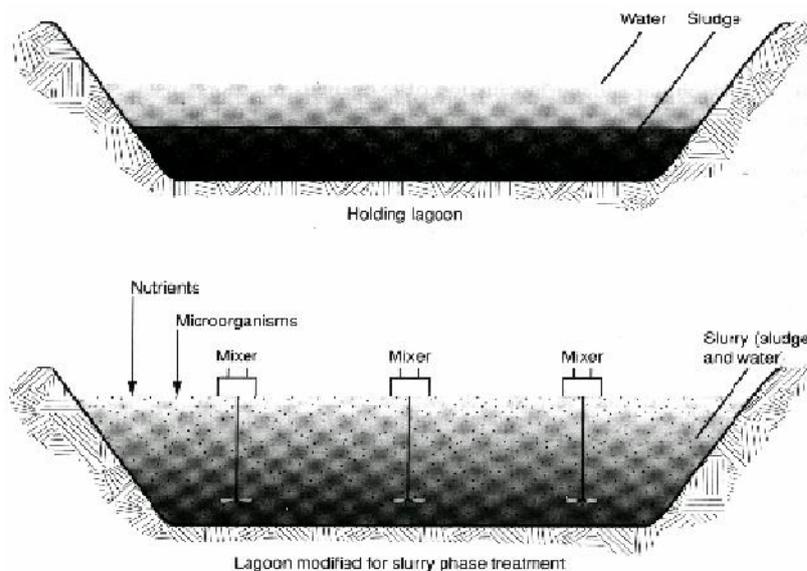


Figura 7 - Lagoa de tratamento do lodo  
Fonte: (DYMINSKI, 2006).

### 10.1.3 Tratamento da fase “Lama”

De acordo com Dyminski (2006) o tratamento da fase “lama” é similar ao tratamento convencional, com a diferença que a biomassa não é reciclada:

Neste tipo de tratamento, o resíduo é tratado em suspensão em água, sendo misturado num reator para a formação da lama. O resíduo pode ser lodo, sólidos ou solo contaminado.

Esta agitação da mistura não serve somente para homogeneizar a lama, mas também promove: quebra das partículas sólidas; desorção do contaminante das partículas sólidas; contato entre contaminante e microorganismos; oxigenação da mistura; volatilização dos contaminantes (DYMINSKI, 2006).

#### 10.1.4 Biorremediação “*in situ*”

“A biorremediação é uma ciência que estuda, monitora e utiliza um conjunto de tecnologias para remover ou neutralizar poluentes orgânicos presentes nos solos, nas águas ou em outros ambientes utilizando microorganismos, como fungos, bactérias, ou leveduras, ou suas enzimas” (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

“A técnica consiste no uso de microorganismos de ocorrência natural, como bactérias, fungos filamentosos e leveduras capazes de transformar compostos como óleos e derivados de petróleo, por exemplo, em substâncias com pouco ou nenhuma toxicidade” (BMA AMBIENTAL, c2004).

Segundo Tutida e Fogaça (c2012) para cada tipo de contaminante são indicadas diferentes espécies de microorganismos para o processo de biorremediação conforme o quadro abaixo:

Contaminante	Espécie utilizada
Anéis aromáticos (combustíveis, resíduos industriais)	Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Arthrobacter, Penicillum, Aspergillus, Fusarium, Phanerocheate
Cádmio (Cd)	Staphylococcus, Bacillus, Pseudomonas, Citrobacter, Klebsiella, Rhodococcus, Aspergillus, Saccharomyces cerevisiae
Chumbo (Pb)	Bacillus
Cobre (Cu)	Escherichia, Pseudomonas, Bacillus
Cromo (Cr)	Alcaligenes, Pseudomonas
Enxofre (S)	Thiobacillus
Derivados do Petróleo	Pseudomonas, Proteus, Bacillus, Penicillum, Cunninghamella
Zinco (Zn)	Rhodococcus, Bacillus

Quadro 1 - Relação entre contaminantes e espécies de microorganismos  
Fonte: (TUTIDA; FOGAÇA, c2012)

“Biorremediação “*in situ*” é realizada no próprio local, sem que haja remoção de material contaminado. Isto evita custos e distúrbios ambientais associados com o movimento de solos e águas que estão contaminados para outros locais destinados ao tratamento” (MARIANO, 2006)

Segundo Mariano (2006) de acordo com os parâmetros como origem dos microorganismos, adição ou não de nutrientes, a biorremediação “*in situ*” pode ser realizada através de três processos: biorremediação intrínseca, bioestimulação e bioaumento.

## 11 MÉTODOS TÉRMICOS

Os métodos térmicos podem ser do tipo “off site” ou do tipo “*in situ*”, a diferença entre eles consiste no fato de que a técnica “*off site*” retira o contaminante do local de origem e levá-lo à combustão ou incineração em equipamento apropriado e o tipo “*in situ*” procura remediar o problema no próprio local da contaminação (DYMINSKI, 2006).

“As necessidades energéticas das técnicas térmicas são, normalmente, bastante elevadas e são possíveis emissões de contaminantes perigosos. Contudo, em determinados casos, podem ser utilizadas temperaturas substancialmente baixas, levando a consumos de energia relativamente diminutos.” (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

De acordo com Dyminski (2006) uma das técnicas de remediação “*in situ*” mais comum é a da vitrificação:

Trata-se de tratamento termal que derrete o solo contaminado e matéria sólida, “*in situ*”, com corrente elétrica, formando um produto vítreo inerte.

Colocam-se eletrodos até a profundidade desejada. Uma trajetória condutora, constituída por grafite e fragmentos de vidro, é colocada entre os eletrodos para iniciar o processo. Os eletrodos são eletrificados, a trajetória condutora se aquece, o vidro derrete e o material contaminado em contato com o vidro começa a derreter.

O solo derretido (Temperaturas de 1400C a 1600C) torna-se condutor e a massa derretida cresce da superfície para baixo e dos eletrodos para dentro da área sendo tratada.

Após desligar a eletricidade, a massa resfria no local, formando um vidro monolítico com características físicas e químicas parecidas com as o vidro vulcânico. Um sistema coletor de gás é utilizado para processar o efluente gasoso e propiciar emissão limpa. Esta técnica é utilizada com sucesso em solo contaminado com mercúrio, arsênico, pesticidas organo-clorinos e PCBs. Também é utilizada com resíduos radioativos.

A estabilidade química alcançada por este método é suficiente para manter os integrantes químicos e físicos por mais de um milhão de anos (DYMINSKI, 2006).

“As instalações para este método de tratamento podem ser semi-móveis, e os custos dependem, não só do processo em si, como também do teor de umidade, tipo de solo e concentração de poluentes, bem como de medidas de segurança e das regulamentações ambientais em vigor” (TUTIDA; FOGAÇA, c2012).

## 12 LEGISLAÇÃO

**Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 (Código das Águas).** Dispõe sobre a água em geral e suas propriedades. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm).

**Lei nº 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. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm).

**Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm).

**Lei nº 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. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm).

**Lei nº 9.966, de 28 de Abril de 2000.** Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9966.htm).

## Conclusões e recomendações

Recomenda-se contato com as instituições abaixo para informações:

### **Agência Nacional de Águas - ANA**

Setor Policial, área 5, Quadra 3, Blocos "B", "L", "M" e "T" - Brasília-DF - CEP: 70610-200  
 Telefone: (61) 2109-5252  
 Site: <http://www2.ana.gov.br/>

### **Ministério do Meio Ambiente - MMA**

Esplanada dos Ministérios - Bloco B - Brasília - DF - CEP: 70068900

Telefone: (61) 2028-2160 / 2028-2000

E-mail: <[webmaster@mma.gov.br](mailto:webmaster@mma.gov.br)>

Site: <<http://www.mma.gov.br/>>

Recomenda-se contato com profissionais especialistas na área química e do meio ambiente para uma correta medida de descontaminação do solo e das águas.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Ciclo hidrológico e as águas subterrâneas**. Brasília, [2005]. Cartaz. Disponível em:

<[http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/detalheBusca.asp?cod\\_registro=3273&categoria=4](http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/detalheBusca.asp?cod_registro=3273&categoria=4)>  
. Acesso em: 24 maio 2012.

BMA AMBIENTAL. **Biorremediação de solos contaminados**. Santa Luzia, c2004.

Disponível em: <[http://www.biotecma.com.br/produtos/produtos\\_biorremediacao.asp](http://www.biotecma.com.br/produtos/produtos_biorremediacao.asp)>.

Acesso em: 24 maio 2012.

DYMINSKI, Andréa Sell. **Contaminação de solos e águas subterrâneas**. Curitiba: Centro de Estudos de Engenharia Civil - CESEC, 2006. Disponível em:

<[http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019\\_Contaminacao\\_de\\_solos.pdf](http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019_Contaminacao_de_solos.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012.

GUARACHO, Viviane Ventura et al.. Utilização da técnica de remediação eletrocinética para remoção de chumbo e níquel de solos de landfarming de refinaria de petróleo. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETROLEO E GÁS, 3., Salvador, 2004. **Anais...** Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, c2004. Disponível

em:<[www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0565\\_05.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0565_05.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. **Água: sem ela seremos o planeta marte de amanhã**.

Jaguariúna, 2011. Disponível em:<[www.cnpma.embrapa.br/down\\_hp/464.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012.

HEINECK, Karla. **Injeção de ar (air sparging) e extração de vapor no solo**. Porto Alegre, 2010. *Slide* da aula Remediação de sítios contaminados, ministrada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<<http://www.karlaheineck.eng.br/downloads/127479682115%20Inje%20E7%E3%20de%20ar%20%28Air%20Sparging%29%20e%20Extra%20E7%E3%20de%20vapor%20no%20solo.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2012.

JARDIM, Wilson F.; CANELA, Maria Cristina. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos**. Campinas, 2004. (Caderno temático, 1).

Disponível em: <[lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf](http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012.

LEITE, Anelise Bezerra de Oliveira; MENDES, Marisa Fernandes; COELHO, Gerson Luiz Vieira. Remediação de solo contaminado com BTEX e Glifosato usando o CO<sub>2</sub> como fluido supercrítico. **Revista Universitária Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, Seropédica, v. 24, n. 1-2, p. 44-57, jan./dez. 2005. Disponível em:

<[www.editora.ufrj.br/revistas/exatas/rce/v24n1-2/4.pdf](http://www.editora.ufrj.br/revistas/exatas/rce/v24n1-2/4.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012.

MIRANDA, Renata; ALVES, Rubens. **Poluição do solo**. [S.l.]: Biologia Ambiental, 2008.

Disponível em: <<http://biologiaambiental-ufal2008.wikidot.com/poluicao-do-solo>>. Acesso em: 24 maio 2012.

TECNOHIDRO. **Remediação de fase residual**. São Paulo, [200-?]. Disponível em:

<<http://www.tecnohidro.com.br/air-stripping-voc.html>>. Acesso em: 24 maio 2012.

TEIXEIRA, Maria Margarida da Cruz Godinho Ribau. **Ultrafiltração no tratamento de águas para consumo humano**. 2001. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária)- Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2001. Disponível em:<[w3.ualg.pt/~mribau/Textos/TeseMSc\\_M\\_R\\_Teixeira.pdf](http://w3.ualg.pt/~mribau/Textos/TeseMSc_M_R_Teixeira.pdf)>. Acesso em: 24 maio 2012

TUTIDA, Diogo; FOGAÇA, Rafaela. **Como funciona a contaminação dos solos**. [S.l.]: Howstuffworks, c2012. Disponível em: <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/contaminacao-dos-solos1.htm>>. Acesso em: 24 maio 2012.





*Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas*

[www.respostatecnica.org.br](http://www.respostatecnica.org.br)