

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

**BÁRBARA SAMARTINI QUEIROZ ALVES**

**LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE TÉCNICAS DE  
BIORREMEDIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E  
AQUÍFEROS POR DERRAMAMENTOS DE GASOLINA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**MEDIANEIRA**

**2013**

BÁRBARA SAMARTINI QUEIROZ ALVES



**LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE TÉCNICAS DE  
BIORREMEDIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E AQUÍFEROS  
POR DERRAMAMENTOS DE GASOLINA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios - Polo UAB do Município de Concórdia, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientadora: Prof. Dra. Fabiana Costa de Araujo Schutz

MEDIANEIRA, 2014



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

“Levantamento de informações sobre técnicas de biorremediação da contaminação de solos e aquíferos por derramamentos de gasolina”

Por

**Bárbara Samartini Queiroz Alves**

Esta monografia foi apresentada às 10h30min do dia 12 de abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios - Polo de Concórdia, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dra. Fabiana Costa de Araujo Schutz  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(orientadora)

---

Prof. Dr. Laércio Mantovani Frare  
UTFPR – Câmpus Medianeira

---

Prof<sup>a</sup>. Angela Laufer Rech  
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.-

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pela orientação, dedicação e incentivo nessa fase do curso de pós-graduação e durante toda minha vida.

A minha orientadora professora Dra. Fabiana Costa de Araujo Schutz pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

## RESUMO

ALVES, Bárbara Samartini Queiroz Alves. Levantamento de informações sobre técnicas de biorremediação da contaminação de solos e aquíferos por derramamentos de gasolina. 2014. 88. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Este trabalho teve como temática a contaminação de solos e água subterrânea por vazamentos de combustíveis em postos de gasolina. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, mas também baseada em experiências profissionais da autora. Dentre os principais aspectos estudados, cita-se: (i) a subsuperfície apresenta zonas com comportamento diferentes quando se trata da contaminação; (ii) o etanol adicionado à gasolina aumenta a solubilidade da mesma, piorando seu potencial de contaminação; (iii) os vazamentos dos tanques, tubulações e conexões são as principais causas de contaminação pelos combustíveis; (iv) a contaminação por combustíveis é a que a causa mais grave de contaminação listada pela CETESB; (v) a biorremediação in-situ se demonstrou como a técnica de melhor custo benefício em relação às mais diversas técnicas de remediação da contaminação, sendo as bactérias os agentes mais utilizados; (vi) as técnicas de gerenciamento de postos de combustíveis e de áreas contaminadas estão sistematizadas e normatizadas, e, quando aplicadas de maneira correta, apresentam resultados positivos como a diminuição de acidentes nos postos e a recuperação das áreas contaminadas. Sendo assim, as principais conclusões do trabalho são que o conhecimento do tema está bastante avançado, sendo conhecido o potencial de contaminação dos compostos presentes nos combustíveis, as fontes e as causas da contaminação e os procedimentos de gerenciamento dos postos de combustíveis e de áreas contaminadas. O que falta então é uma melhor gestão dos órgãos municipais e uma ampla e profunda reforma dos problemas estruturais do país.

**Palavras-chave:** biorremediação, petróleo, vazamentos, gestão ambiental.

## ABSTRACT

ALVES, Bárbara Samartini Queiroz Alves. Information comparison about bioremediation techniques for petroleum contaminated soils. 2014. 88. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

This work had as thematic the soil and groundwater contamination by fuel leaks at gas stations. This is a review study, but also based on the author's professional experiences. Among the main aspects studied, it is cited : (i) the subsurface features zones with different behavior when it comes to the contamination; (ii) ethanol in gasoline increases the solubility thereof, worsening their potential contamination; (iii) leaks from tanks , pipes and connections are the main causes of contamination by fuels; (iv) contamination is the fuel that causes more grid contamination listed by CETESB; (v) in-situ bioremediation is demonstrated how the technique of best value for the most diverse techniques of remediation of contamination, bacteria being the most commonly used agents; (vi) the technical management of gas stations and contaminated areas are systematized and standardized, and when applied correctly, have positive outcomes such as reducing accidents at stations and rehabilitation of contaminated areas. Thus, the main conclusions are that the knowledge of the subject is well advanced, with known potential contamination of compounds in fuels, sources and causes of contamination and procedures for managing gas stations and contaminated areas. What remains then is a better management of municipal bodies and a broad and deep reform of the structural problems of the country.

**Keywords:** bioremediation, petroleum, leaks, environmental management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da distribuição da água na subsuperfície, mostrando as principais zonas de umidade.....	16
Figura 2 – Esquema Ilustrativo das regiões da subsuperfície e de diferentes fases da água subterrânea existentes no aquífero.....	18
Figura 3 – Estrutura Química dos Compostos BTEX.....	20
Figura 4 – Vazamento no Sistema de Armazenamento Subterrâneo (SASC) – processos de transporte do NAPL na subsuperfície. ....	22
Figura 5 – Modelo computacional de uma contaminação por derivados de petróleo e a distribuição do LNAPL na subsuperfície.....	23
Figura 6 – Sistema Típico de Extração de Vapores (SVE).....	25
Figura 7 – Custo do tratamento por m <sup>3</sup> de solo (em dólar) empregando diferentes técnicas de remediação. ....	26
Figura 8 – Esquema Básico do Processo de Biorremediação em um solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo e derivados.....	27
Figura 9 – Exemplo da Atenuação Natural Monitorada de uma Pluma de Hidrocarbonetos de Petróleo.....	30
Figura 10 – Número de locais contaminados por vazamento de combustíveis de tanques subterrâneos pelas diferentes técnicas de remediação.....	31
Figura 11 – Sistema Típico de Remediação Aeróbica Utilizando Compostos Liberadores de Oxigênios. ....	33
Figura 12 – Tanque danificado por corrosão.....	47
Figura 13 – Esquema da contaminação ambiental em um posto de gasolina.....	48
Figura 14 – Exemplo de Posto de Combustível em Conformidade com as Exigências da CETESB.....	53
Figura 15 – Remoção de tanques de armazenamento subterrâneos (TAS) em Barueri, São Paulo.....	54
Figura 16 – Exemplo de Área Contaminada por Combustíveis.....	56
Figura 17 – Evolução do Número de Áreas Contaminadas Cadastradas pela CETESB em São Paulo, até dezembro de 2012.....	58
Figura 18 – Mapa com a distribuição das áreas contaminadas Identificadas pela CETESB no Estado de São Paulo em 2012. ....	59

Figura 19 – Grupos de contaminantes encontrados nas áreas identificadas pela CETESB como contaminadas no Estado de São Paulo. ....	61
Figura 20 – Fluxograma para gerenciamento de áreas contaminadas por postos e sistemas retalhistas de combustíveis. ....	63
Figura 21 – Ações a serem adotadas no gerenciamento do risco. ....	66
Figura 22 – Elementos da Análise de Risco <i>do risk-based corrective action</i> (RBCA). .....	68
Figura 23 – Fluxograma geral de abordagem da metodologia ACBR. ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e Limitações da Biorremediação de Solo .....	37
Tabela 2 - Valores máximos de concentração de BTEX permitidos de acordo com os padrões de potabilidade de água para consumo humano.....	38
Tabela 3 – Valores orientadores para solos no Brasil.....	40
Tabela 4 – Valores de referência (S), de alerta (T) e de intervenção (I) para solos, segundo a Lista Holandesa.....	41
Tabela 5. Resumo dos limites máximos de Hidrocarbonetos de Petróleo (HCP) (mg Kg <sup>-1</sup> ) para solos e subsolos segundo o canadense CWS. ....	42
Tabela 6 – Causas dos Acidentes em Postos de Combustíveis. ....	46
Tabela 7 - Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo – dezembro de 2012.....	59
Tabela 8 - Ações de Resposta em Função do Risco Imediato.....	71

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA .....</b>	<b>13</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1 CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E AQUÍFEROS POR COMBUSTÍVEIS .....	14
3.1.1 Solo e Água subterrânea .....	15
3.1.2 Gasolina e Etanol .....	18
3.1.3 Aromáticos .....	19
3.1.4 Vazamentos .....	21
3.2 TIPOS DE TRATAMENTOS DE SOLO .....	24
3.3 BIORREMEDIAÇÃO .....	27
3.2.1 Classificação da biorremediação .....	28
3.2.2 Atenuação Natural Monitorada (ANM) .....	29
3.2.3 Atenuação Natural Acelerada (ANA) .....	32
3.2.4 Fatores que Influenciam a Biodegradação .....	34
3.3 LEGISLAÇÃO .....	37
3.3.1 Água subterrânea .....	37
3.3.2 Contaminação do solo .....	39
3.2.3 Licenciamento Ambiental .....	42
3.4. GESTÃO AMBIENTAL .....	45
3.4.1 Postos e Tanques de Combustíveis .....	45
3.4.2 Áreas Contaminadas .....	55
3.4.3 Análise de Risco .....	67
3.4.4 Medidas de Gestão Ambiental para Municípios .....	73
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A contaminação ambiental derivada do uso de combustíveis fósseis é hoje uma preocupação constante, tornando-se uma prioridade na área de investimentos em ciência e tecnologia.

O petróleo é um tipo de combustível fóssil, de origem animal e vegetal formado geologicamente há milhões de anos. É uma substância líquida oleosa de coloração escura encontrada tanto em continente (*onshore*), quanto no assoalho oceânico (*offshore*). É uma substância tóxica e seu derramamento é um tipo de poluição muito difícil de ser contido, pois é rica em hidrocarbonetos monoaromáticos, conhecidos coletivamente como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) que se destacam por apresentar elevada mobilidade e toxicidade quando comparados a outros hidrocarbonetos de petróleo (DOU et al., 2008).

A contaminação pode ser derivada de vazamentos nas plataformas no mar ou em solo, tanto nos tanques e tubulações de refinamento do petróleo, quanto nos tanques de armazenamento subterrâneo (TAS) de gasolina, localizados em postos de abastecimento ou por sucessivos extravasamentos junto às bombas e bocais de enchimento. A contaminação causada por vazamentos nestes locais vem merecendo cada vez mais atenção tanto da população em geral, como dos órgãos governamentais de controle ambiental, pois causa a poluição dos solos e pode contaminar os aquíferos, podendo chegar até as captações de água para abastecimento (CORSEUIL et al., 1997).

Uma vez no ambiente subterrâneo os hidrocarbonetos são dissolvidos levando a formação de uma pluma de contaminação, a qual deve ser controlada a fim de evitar a dispersão dos poluentes. Sua extensão e expansão normalmente é prevista através de modelos teóricos e cálculos matemáticos, cujos dados são obtidos após uma caracterização do solo, da água subterrânea e dos contaminantes despejados no local (ANDRADE et al., 2010).

Para resolver ou minimizar tal contaminação, diversas são as técnicas empregadas, tais como extração de vapores do solo (SVE), recuperação de produto livre, bioventilação, extração com solventes, incineração, torres de aeração, adsorção em carvão ativado, biorreatores, biorremediação no local,

entre outros, tem sido usados para remover contaminantes orgânicos de águas subterrâneas e sistemas de solo subsuperficial. Estes processos podem ser implementados para controlar o movimento de plumas, tratar águas subterrâneas, e/ou descontaminar solos (CORSEUIL; WEBER, 1994).

Dentre estas, tem se chamado atenção para a biorremediação realizada no local, por ser de menor custo e por utilizar organismos vivos integrantes da própria biota do local para acelerar a velocidade do processo natural de degradação dos compostos perigosos em compostos menores, mais simples e menos tóxicos. Assim, define-se biorremediação como: ato de remediar, consiste em recuperar águas ou solos contaminados.

Existem diversas tecnologias disponíveis de remediação de água subterrânea, entretanto a tecnologia a ser empregada dependerá dos contaminantes envolvidos e das características do local. Dois fatores relevantes no sucesso da remediação são a experiência e qualificação de profissionais na realização do diagnóstico, de maneira que a escolha seja a melhor tecnologia de remediação para um determinado sítio contaminado (COUTINHO; GOMES).

Assim, pergunta que se faz então é qual o melhor método de biorremediação para diferentes situações (ou diferentes locais de contaminação)?

Apesar de existirem muitas pesquisas com relação à biorremediação da poluição causada por compostos derivados do petróleo, não foi encontrado nenhum trabalho comparando as diferentes técnicas de remediação (e obviamente seus resultados) para cada tipo de local contaminado.

Sendo assim, este estudo tem como objetivo levantar dados sobre as implicações referentes à contaminação de solos e aquíferos por derramamentos de gasolina, analisando quais os melhores métodos de biorremediação para diferentes locais para, desta forma, auxiliar na tomada de decisão sobre as medidas necessárias de prevenção, proteção e remediação dos impactos causados. Para isso, busca-se (i) levantar dados a respeito da contaminação de solos e aquíferos por derramamento de gasolina; (ii) reunir informações correspondendo os melhores métodos de biorremediação com os tipos de contaminação; (iii) avaliar soluções de gestão municipal para o combate e controle das contaminações.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Conforme Gil (2002), esta pesquisa foi do tipo exploratória aplicada, visto que o tema possui grande aplicabilidade prática e visa proporcionar maior familiaridade com o problema estudado, a fim de torna-lo explícito.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases científicas disponíveis na internet, como o *Science Direct*, Periódicos Capes, *Google Scholar* etc, abordando os temas de biorremediação, petróleo e gestão ambiental. Para isso, foi utilizada a metodologia de matriz de palavras chaves proposta por Silva (2010). A aplicação desta metodologia visou à contextualização e fundamentação científica do tema proposto, mediante a identificação dos principais autores, conceitos, metodologias e resultados já obtidos. Sendo que foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: biorremediação, petróleo, gestão. Os artigos obtidos foram analisados conforme dois critérios (i) relevância e; (ii) período, artigos mais recentes tiveram prioridade, pois trazem consigo aquilo que há de mais atual para esta pesquisa.

Foram realizadas também visitas ao Laboratório REMAS (Laboratório de Remediação de Águas Subterrâneas) da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e sua área de experimentos controlados na Fazenda da Ressacada em Florianópolis, para coleta de dados.

E foram entrevistados funcionários da FATMA (Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina), órgão governamental que regula as atividades ambientais no estado de Santa Catarina, a fim de compreender o papel da legislação e da regulação no contexto da biorremediação de petróleo no Estado.

Os dados foram analisados por quantidade e relevância e comparados entre si, de maneira teórica e subjetiva, não houve aplicação de quaisquer método estatístico, visto ser esta um pesquisa bibliográfica e teórica.

### 3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E AQUÍFEROS POR COMBUSTÍVEIS

Dentre as diversas formas de contaminação que comprometem o solo e a água, aquela envolvendo produtos derivados de combustíveis fósseis vem se intensificando como resultado da maior extração, refino, distribuição e armazenamento de petróleo e seus derivados (SERBENT, 2012).

Para se ter uma ideia da magnitude do problema, segundo o Plano decenal de energia do Ministério de Minas e Energia, estão previstos investimentos globais da ordem de R\$1,2 trilhão, dos quais 72,5% corresponde à oferta de petróleo e gás natural, ou seja, a produção de petróleo vai passar de 2,1 para 5,5 milhões de barris/dia; a produção de gás natural de 70,6 para 189,1 milhões de m<sup>3</sup>/dia; e da produção de etanol de 23,5 para 57,3 milhões de m<sup>3</sup> (MME, 2013).

No Brasil, os derivados de petróleo (gasolina, GLP, Querosene, Óleo Diesel, Óleo Combustível, Nafta e outras secundárias) corresponde à 38,6% de sua matriz energética e, mesmo com grandes esforços para estimular a produção de energias renováveis, a mesma deve participar de 37,9% da matriz até 2022 (MME, 2012, 2013).

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) estima que existem mais de 1,5 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina nos Estados Unidos, destes, 400.000 já foram substituídos ou adaptados às legislações federais que entraram em vigor no final de 1998. Ainda em função destas legislações, mais de 250.000 casos de vazamentos já foram identificados e mais de 97.000 remediações completadas. Semanalmente mais de 1.000 novos vazamentos estão sendo encontrados em todo o território norte-americano (BRATBERG E HOPKINS, 1995).

Segundo o levantamento de 2011 do Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes, existem aproximadamente 38.400 postos de combustíveis no país (SINDICOM, 2011). Conforme Lima (2004), um número significativo deles foi construído na década de 1970. Como a

média de vida útil dos tanques subterrâneos é de 25 anos, supõe-se que eles já estejam comprometidos. Estes poços podem apresentar vazamentos que podem passar despercebidos por muitos anos, e uma das maiores preocupações é a contaminação das águas subterrâneas que são usadas como fonte de abastecimento para consumo humano (CORSEUIL et al., 1997).

Além dos vazamentos, motores veiculares, oficinas mecânicas e garagens de automóveis são também fontes geradoras de contaminantes derivados do petróleo (LIMA et al., 1998 apud JACQUES et al., 2007) . Assim, devido a estas atividades, o solo recebe anualmente quantidades consideráveis destes contaminantes que, em função de uma série de fatores, como baixa solubilidade, complexidade química e tendência de sorção à fase sólida do solo, tornam-se recalcitrantes e permanecem por longos períodos no ambiente, o que aumenta a possibilidade de exposição de humanos e animais a esses compostos (JACQUES et al., 2007).

Como mencionado, nas últimas décadas as águas subterrâneas passaram a exercer um importante papel como fonte de abastecimento, constituindo uma grande reserva estratégica de água doce do planeta. Sua abundância, qualidade, baixo custo de exploração e facilidade de captação fazem deste recurso uma emergente alternativa ao aumento dos custos relacionados ao uso de águas superficiais cada vez mais poluídas. Estima-se, atualmente, que dois bilhões de pessoas no mundo utilizam água subterrânea (IUGS, 2007).

Segundo os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, no Brasil há um expressivo aproveitamento de mananciais subterrâneos através de poços artesianos, verificando-se esta utilização em 3545 (63,7%) municípios (IBGE, 2008). Isto mostra um aumento com respeito ao mencionado no Censo de 2000 (IBGE, 2003), no qual se informava que aproximadamente 61% da população brasileira era abastecida com água subterrânea, sendo que 6% se auto abastecia com águas de poços rasos, 12% de nascentes ou fontes e 43% de poços profundos (SILVA et al., 2002).

### **3.1.1 Solo e Água subterrânea**

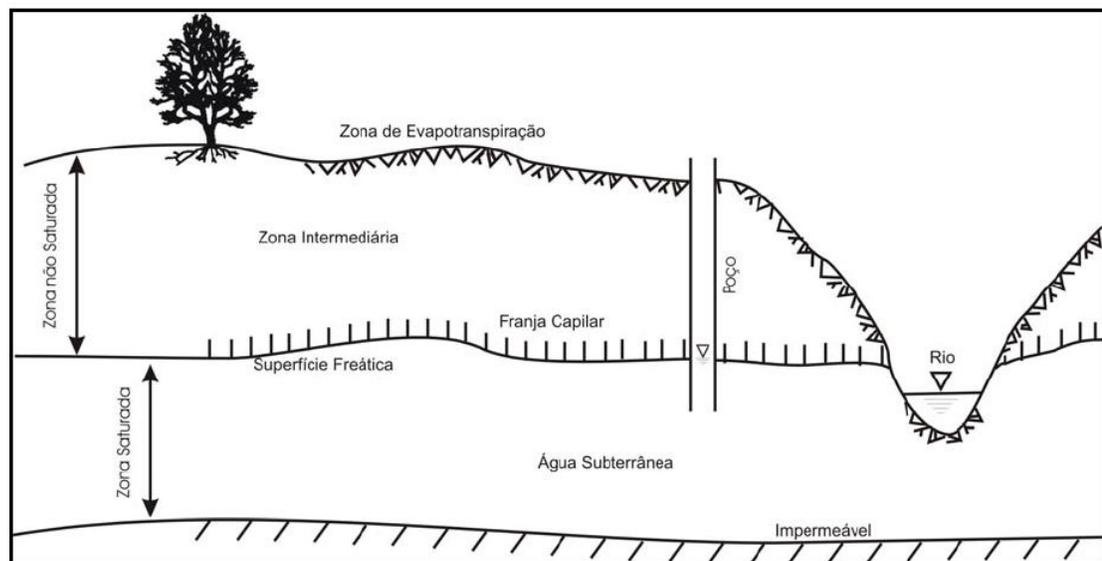
A água subterrânea é definida como aquela que ocorre abaixo do nível de saturação ou nível freático, presente nas formações aflorantes e parcialmente

saturadas e, nas formações geológicas profundas totalmente saturadas. Ao se infiltrar no solo a água passa pela subsuperfície até atingir o lençol freático. De maneira simplificada a subsuperfície do solo pode ser dividida em duas zonas principais: zona não-saturada (ou zona vadosa, zona rasa ou zona de aeração) e a zona saturada ou freática (FEITOSA; MANUEL FILHO, 2000).

**Zona não saturada (vadosa):** corresponde à porção superficial do material geológico, situada entre a superfície do terreno e o topo do aquífero; caracteriza-se por ser um meio cujos poros estão parcialmente ocupados pela água nas fases líquida e gasosa.

**Zona saturada:** local onde as rochas e/ou solos estão com seus poros totalmente preenchidos por água subterrânea.

A Figura 1 a seguir apresenta a distribuição da água na subsuperfície, mostrando as principais zonas de umidade.



**Figura 1 – Representação da distribuição da água na subsuperfície, mostrando as principais zonas de umidade.**

Fonte: modificado de BEAR e VERRUIJT (1987) apud FEITOSA; MANOEL FILHO (2000).

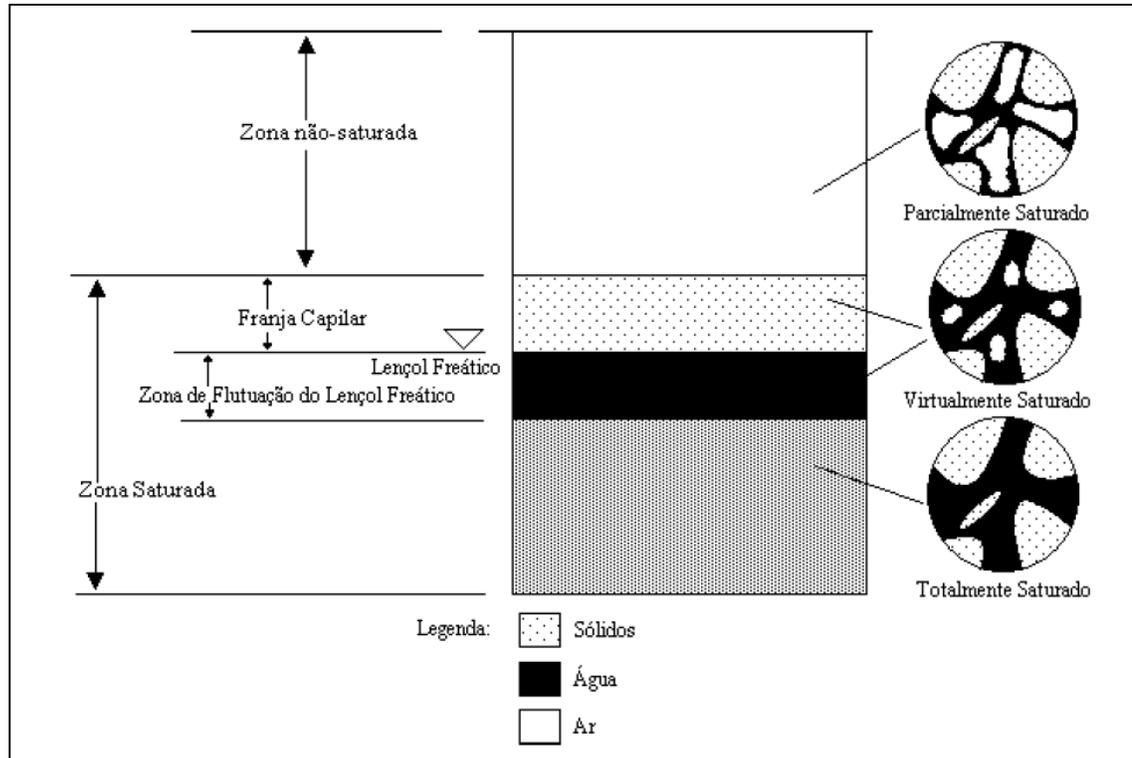
A zona vadosa se divide em três partes, sendo estas (de cima para baixo):

- **Zona de Evapotranspiração (zona de água do solo):** presente entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. A sua espessura pode variar desde poucos centímetros

(na ausência de cobertura vegetal) até alguns metros em regiões de vegetação abundante.

- **Zona Intermediária:** compreendida entre o limite de alcance das raízes das plantas e o limite de ascensão capilar da água, a umidade existente nessa zona origina-se de água capilar isolada, fora do alcance das raízes, e água de retenção por forças não capilares.
- **Zona Capilar:** localizada entre a superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. A sua espessura é relacionada principalmente da distribuição de tamanho dos poros e da homogeneidade do terreno. Como a umidade decresce de baixo para cima, na parte inferior, próximo da superfície freática, os poros encontram-se praticamente saturados. No entanto, nas partes mais superiores, somente os poros menores estão preenchidos com água, de modo que o limite superior dessa zona tem uma forma irregular. Chama-se então de franja capilar o limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (aproximadamente 75%).

A Figura 2 mostra com maiores detalhes a saturação de cada zona da subsuperfície, incluindo a disposição das partículas sólidas, do ar e da água.



**Figura 2 – Esquema Ilustrativo das regiões da subsuperfície e de diferentes fases da água subterrânea existentes no aquífero.**

Fonte: Adaptado de Bedient (1996) apud Kaipper (2003).

### 3.1.2 Gasolina e Etanol

A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos inflamáveis e voláteis, derivados do petróleo, com 3 a 12 carbonos. Em sua composição, os componentes majoritários são parafinas com cadeias ramificadas e cicloparafinas (alcanos e cicloalcanos), hidrocarbonetos aromáticos e olefinas (alcenos) (SAX; LEWIS, 1987). Não existe uma fórmula química específica que a defina, sendo a sua composição extremamente variável, dependendo da origem e do tipo de petróleo que a gerou, dos processos utilizados no refino e da existência ou não de aditivos que são adicionados para melhorar a octanagem da mistura.

Por ser muito pouco solúvel em água, a gasolina derramada, inicialmente estará presente no subsolo como líquido de fase não aquosa (*Non Aqueous*

*Phase Liquids* - NAPL). Em contato com a água subterrânea a gasolina se dissolverá parcialmente.

O etanol como aditivo em combustíveis fósseis é amplamente utilizado em diferentes teores de mistura, desde 5 até 85% (v/v). As misturas de etanol de baixo nível, com teores de até 10%, são classificadas como "substancialmente similares" à gasolina, podendo, assim, serem empregadas nos motores sem qualquer modificação (USEPA, 1991; BNDES-CGEE, 2008).

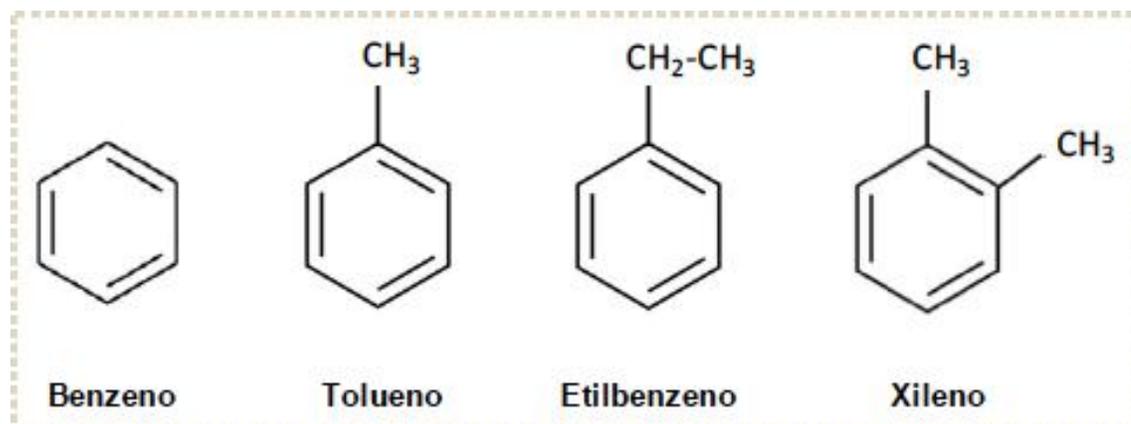
No Brasil, o desenvolvimento na utilização do etanol como combustível foi estabelecido em 1975, com o início do Programa Brasileiro de Etanol, o Pró-Álcool, a partir do qual o governo aprovou a mistura de etanol na gasolina entre 1,1% e 25% em cada litro de combustível. O objetivo deste programa foi reduzir os custos da importação de 550 milhões de barris de petróleo, equivalentes a US\$ 11,5 bilhões, além de evitar a emissão de 110 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera (MASIERO; LOPES, 2008). A Resolução nº 40 da Agência Nacional do Petróleo (ANP) de 25 de Outubro de 2013 (ANP, 2013), fixa para 25 o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina.

Por ser o etanol um cossolvente, a sua presença modifica o comportamento ambiental dos hidrocarbonetos de petróleo, pois aumenta significativamente a solubilidade aquosa, implicando em um aumento da concentração destes componentes tóxicos na fase dissolvida. Desta maneira, pode incrementar o impacto destes compostos ao influenciar a degradação, migração e destino dos mesmos na água subterrânea (CORSEUIL; KAIPPER; FERNANDES, 2004).

### **3.1.3 Aromáticos**

Os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três xilenos orto, meta e para, chamados compostos BTEX, são os constituintes da gasolina que têm maior solubilidade em água e, portanto, são os contaminantes que primeiro irão atingir o lençol freático (CORSEUIL, 1992). Os BTEX são considerados compostos perigosos que, em contato com os seres

humanos podem atacar o sistema nervoso central, fígado, rins e pulmões e causar doenças como câncer e leucemia (KULKAMP, 2003). A Figura 3 ilustra a estrutura química dos compostos aromáticos do grupo BTEX.



**Figura 3 – Estrutura Química dos Compostos BTEX.**

Fonte: SERBENT (2012).

Além dos BTEX, geralmente, outras classes de compostos também são considerados tóxicos, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), os compostos orgânicos voláteis (COV) totais e os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) (ANDRADE et al., 2010).

Os HPA são um grupo de algumas centenas de hidrocarbonetos, contendo ao menos dois anéis de benzeno, no qual dezenas são tipos bem conhecidos e foram escolhidos como referência de toxicidade (USEPA, 2002). Eles são lipossolúveis na membrana celular e prontamente absorvidos no organismo dos humanos via inalação, exposição oral e dermal, com posterior acúmulo no tecido adiposo (NETTO et al., 2000).

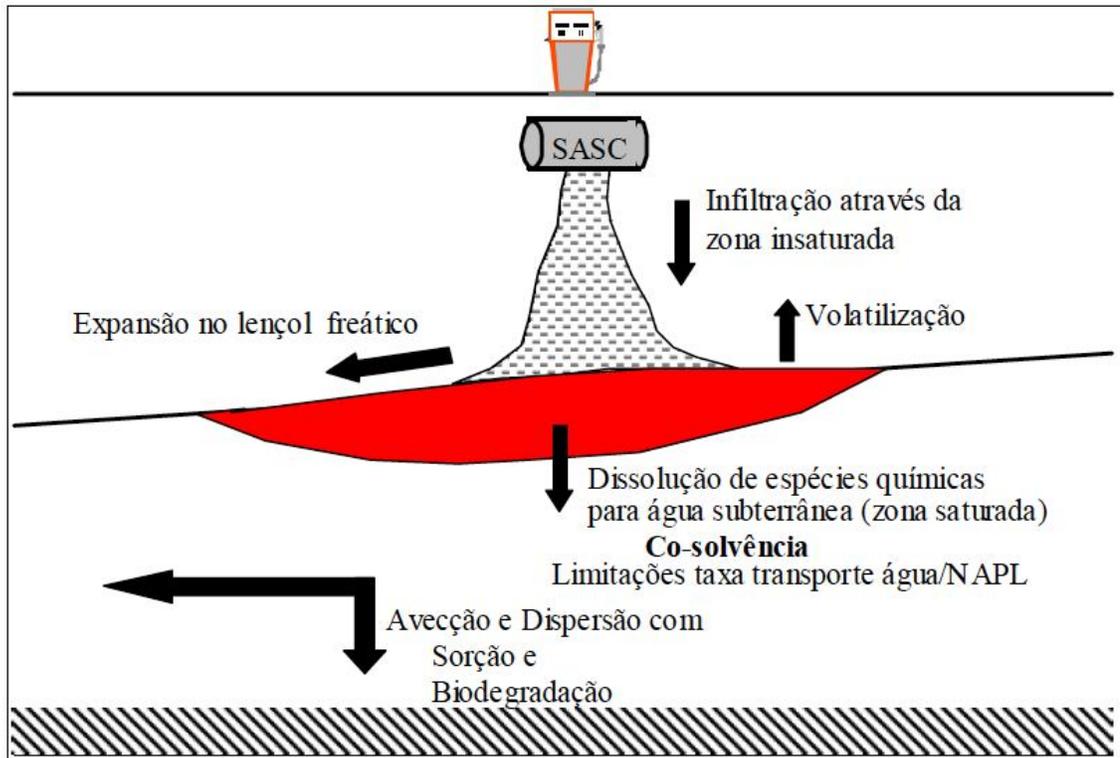
A grande maioria dos microorganismos do solo não possui a capacidade de degradá-los, devido a falta de nutrientes à microbiota degradadora ou pela sua baixa biodisponibilidade, o que resulta na sua acumulação no ambiente e na consequente contaminação dos ecossistemas (JACQUES et al., 2007).

### 3.1.4 Vazamentos

Segundo a CETESB, entre o período de 1986 até novembro de 2006, os produtos mais identificados nos vazamentos com ocorrências no estado de São Paulo foram a gasolina e o óleo diesel, com percentuais de 71,1% e 18,6%, respectivamente (CETESB, 2006). Como citado acima, a gasolina estará presente no subsolo como líquido de fase não aquosa. Por ser menos denso que a água (*light*), o vazamento acaba se caracterizando por duas regiões na subsuperfície, a área da fonte (LNAPL puro) e a pluma de contaminação, na qual os contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COHs) vão se espalhar na franja capilar da zona saturada, enquanto a fração dissolvida é transportada com o fluxo da água subterrânea (MARANHÃO et al., 2007).

Assim, após o derramamento da gasolina na superfície do terreno, o combustível migra para baixo através da zona não saturada do subsolo. Há então, a formação de gânglios do líquido, que ficam retidos nos poros do solo, criando uma fase residual. No caso dos LNAPLs, o líquido se deposita no topo da franja capilar. Em presença dos NAPLs com densidade maior que a da água (*Dense Non Aqueous Phase Liquids* - DNAPLs), a gasolina continua a migrar para baixo através da zona saturada, até toda a sua massa ser distribuída como fase residual ou até encontrar uma camada impermeável, formando uma fase livre (KAIPPER, 2003)

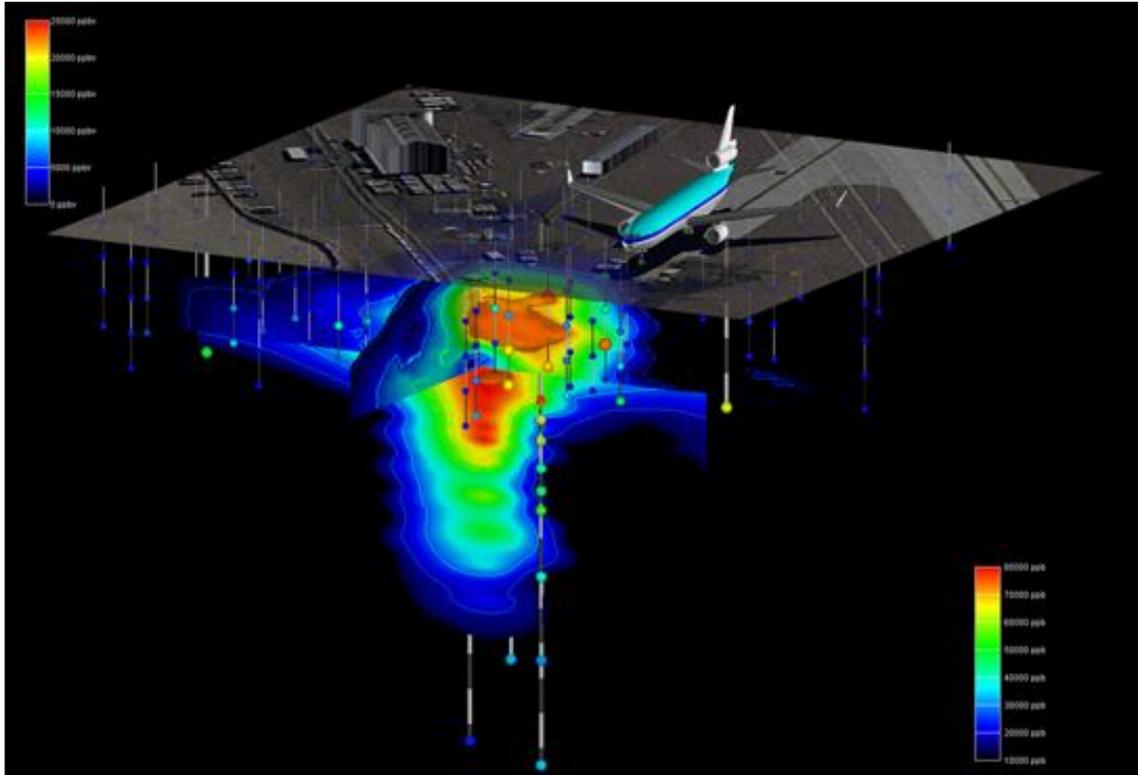
A concentração dos contaminantes orgânicos na subsuperfície pode ser afetada por vários processos. Normalmente esses processos incluem: a infiltração do NAPL na zona insaturada da subsuperfície pelas forças gravitacional e de capilaridade, migração no topo da franja capilar e expansão do NAPL no lençol freático (pluma de contaminação), dissolução do NAPL na água, transporte com a água subterrânea em direção a jusante, bem como perdas por vaporização, sorção e biodegradação (Figura 4) (MARANHÃO et al., 2007).



**Figura 4 – Vazamento no Sistema de Armazenamento Subterrâneo (SASC) – processos de transporte do NAPL na subsuperfície.**

Fonte: Powers et al. (2001) apud Kaipper (2003).

A Figura 5 mostra com mais detalhes a expansão dos contaminantes na subsuperfície pelo fluxo da água subterrânea.



**Figura 5 – Modelo computacional de uma contaminação por derivados de petróleo e a distribuição do LNAPL na subsuperfície.**

Fonte: Engenharia Civil (2014).

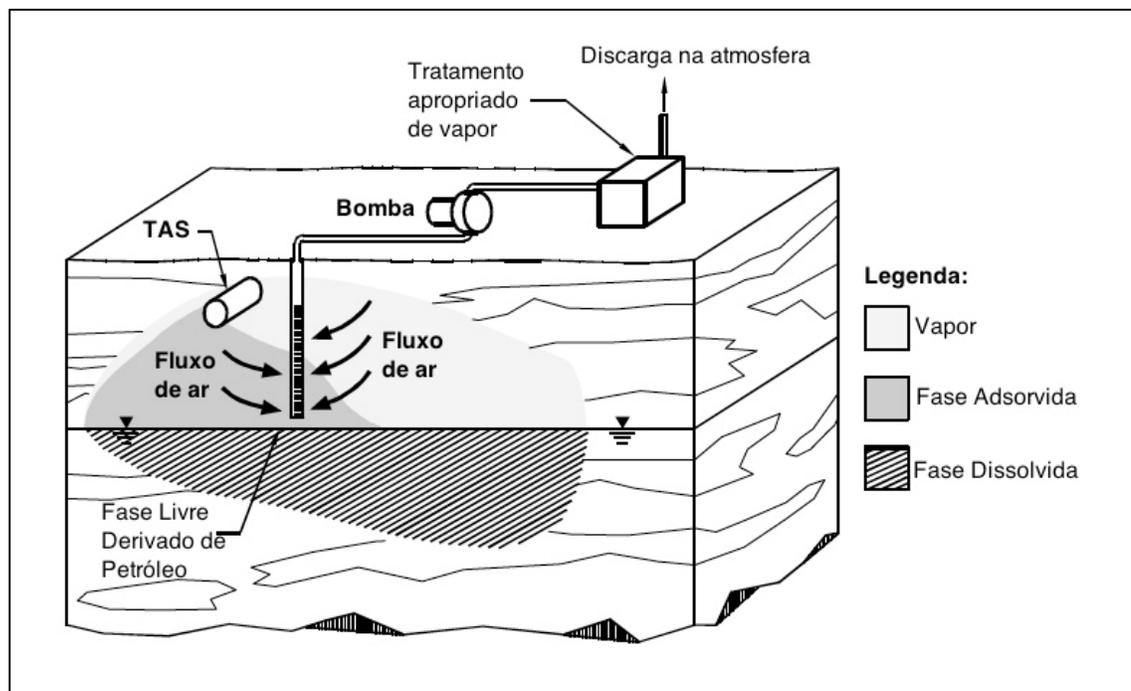
Além disso, os contaminantes podem ser adsorvidos pelo solo, dissolverem-se na água, podem ser transferidos do solo para a água, volatizarem do solo ou água para o ar ou podem ser sorvidos do solo por plantas e outros vegetais. Ainda, pode sofrer degradação foto ou microbológica. A tendência de um composto se mover será definido pelas suas propriedades físico-químicas (densidade, solubilidade em água, coeficientes de partição octanol/água -  $K_{ow}$ , coeficientes de partição carbono orgânico/água -  $K_{oc}$ , pressão de vapor e constante de Henry) KAIPPER (2003) apud MARANHÃO et al. (2007).

### 3.2 TIPOS DE TRATAMENTOS DE SOLO

Existem diversos tipos de tratamento de solo, tais como remediação química (oxidação química *in-situ*), biológica (biorremediação) e física (extração de vapores no solo). Cada técnica é dependente de vários fatores como i) condições inerentes ao local contaminado; ii) concentração do contaminante e iii) tempo requerido para a degradação ou a remoção do composto alvo.

A oxidação química *in-situ*, como o próprio nome já indica, consiste na injeção de produtos químicos altamente oxidantes diretamente no local contaminado. É frequentemente empregado em locais com elevada concentração de contaminantes e utilizado como um pré-tratamento para promover melhores condições para o emprego de outras técnicas, como os tratamentos biológicos. As técnicas de oxidação são eficientes pois levam à geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o radical hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ), capazes de destruir ou hidrolisarem, em curto período de tempo, contaminantes considerados de difícil degradação. Dentre os químicos relacionados com estes processos oxidativos, os mais utilizados são Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{H}^+$ ), persulfato ( $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ), permanganato ( $\text{MnO}_4^-$ ), ozônio ( $\text{O}_3/\text{UV}$ ;  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ;  $\text{O}_3^\cdot/\text{OH}$ ;  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ),  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  e fotocatalise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV}$ ) (ANDRADE et al., 2010).

A extração de vapores no solo, ou *Soil Vapor Straction* (SVE) é uma técnica aplicada somente na zona não-saturada e baseia-se na aplicação de vácuo em pontos estratégicos do solo, a fim de induzir o fluxo controlado de ar e, então, remover os contaminantes presentes no solo, sobretudo, nas regiões da subsuperfície. Nesta técnica, os gases extraídos devem, obrigatoriamente, passar por etapas de tratamento de vapores antes de serem lançados para a atmosfera., conforme Figura 6.



**Figura 6 – Sistema Típico de Extração de Vapores (SVE).**

Fonte: USEPA (2004).

Conforme USEPA (2004), a extração pode ser vertical ou horizontal. Na vertical os gases são extraídos a partir de pontos específicos construídos (perfurados) sobre a pluma de contaminação. Normalmente, este processo é eficiente em profundidades maiores que um metro abaixo da superfície do solo. Na horizontal, costuma-se instalar os poços de sucção em conjunto com a vertical, de tal forma que haja interceptação dos mesmos a fim de melhorar a eficiência, evitando zonas potenciais de estagnações, que nada mais são que áreas impactadas onde o ar não é removido pelos poços.

Para tanto, duas são as condições-chave necessárias para o emprego da SVE. A primeira, é que o solo deve conter uma fase gasosa, através da qual o ar contaminado irá passar. Esta condição geralmente limita o emprego da SVE na zona vadosa. Pode-se melhorar a eficiência dessa técnica bombeando a água subterrânea e assim, abaixar o nível d'água (N.A.) e, conseqüentemente, aumentar a área da zona não-saturada, permitindo a extração em áreas antes classificadas como zona saturada.

Por fim, como já apresentado e posteriormente detalhado, o terceiro tipo de tratamento, o biológico, envolve a utilização de organismos vivos para o tratamento do solo contaminado, tais como biorremediação passiva, bioaugmentação, bioestimulação, fitoremediação, landfarming, compostagem e biorreatores.

Em todos os tratamentos existe uma correlação direta entre o tempo requerido para a remediação da área e o custo total, como pode ser visto na Figura 7.

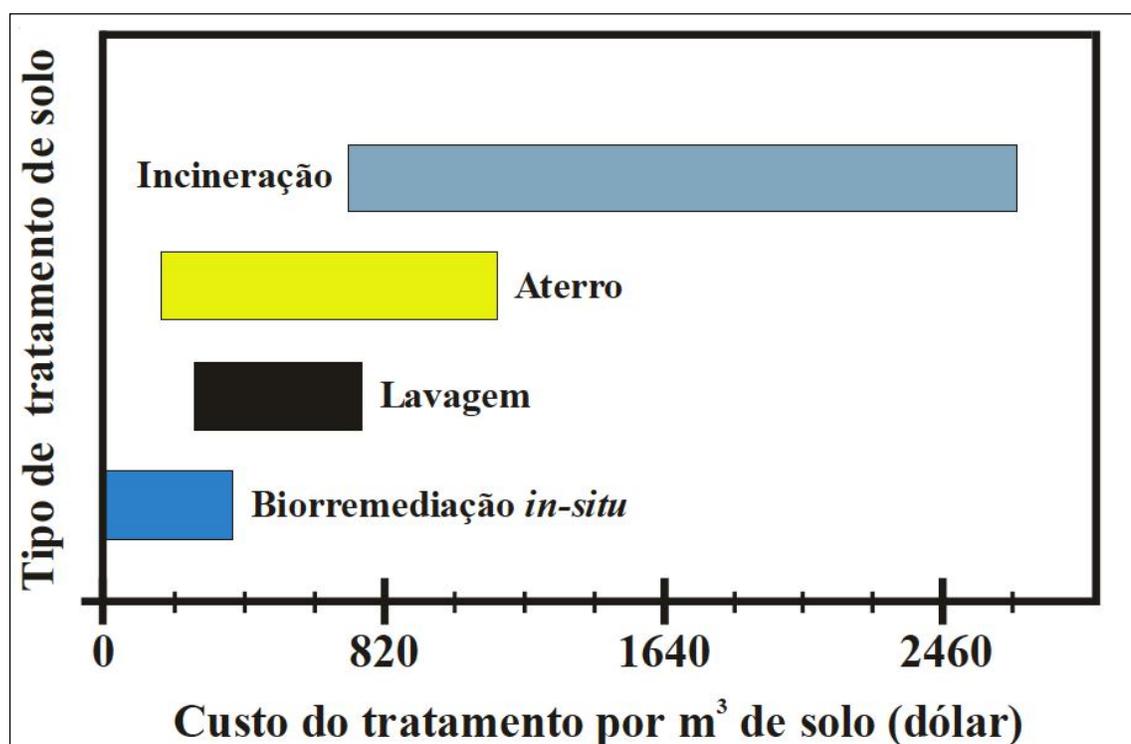


Figura 7 – Custo do tratamento por m³ de solo (em dólar) empregando diferentes técnicas de remediação.

Fonte: adaptado de USEPA apud Andrade et al. (2010).

Pode se notar que a biorremediação é a técnica que apresenta o custo mais baixo dentre as demais, tornando-se uma das mais populares. Sendo assim, o foco deste trabalho é dado para esta técnica.

### 3.3 BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação se define como a tecnologia de remediação de áreas impactadas que faz uso de processos biológicos para a degradação de substâncias nocivas, transformando-as em compostos menos tóxicos ou inócuos, como o CO<sub>2</sub> e água.

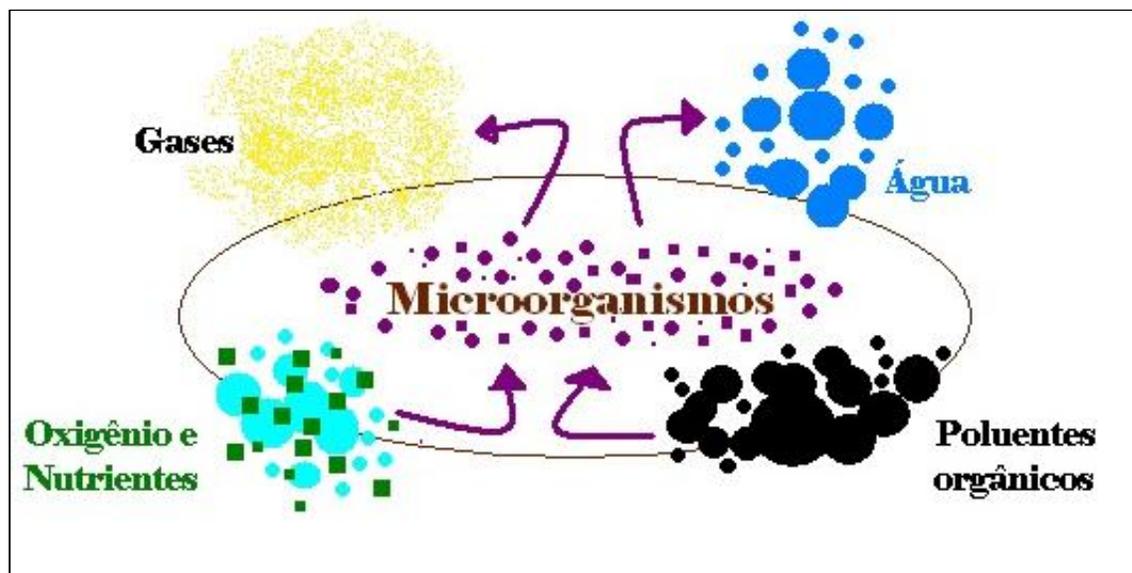


Figura 8 – Esquema Básico do Processo de Biorremediação em um solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo e derivados.

Fonte: USEPA (2001) (adaptado).

As bactérias são os principais microorganismos que atua na biorremediação de contaminantes. Elas são definidas como qualquer classe de micro-organismo, geralmente agregados em colônias, vivendo no solo e na água. São importantes para o homem, em função de seus efeitos bioquímicos. Elas agem na destruição de contaminantes perigosos e/ou na transformação deles em compostos menos nocivos. As bactérias nativas em subsuperfície podem desenvolver a capacidade de degradar contaminantes após longos períodos de exposição. Geralmente as bactérias nativas em subsuperfície que se adaptam aos contaminantes estão localizadas nas regiões externas das plumas ou nos solos impactados e não na presença de produto em fase livre. Os compostos orgânicos são metabolizados por fermentação, respiração ou co-metabolismo.

Entretanto, cada vez mais estudos destacam os fungos como agentes eficientes e viáveis para a biorremediação (COLLA et al., 2008).

### 3.2.1 Classificação da biorremediação

Ela pode ser classificada como *in-situ* e *ex-situ*, que, como o próprio nome já diz, a primeira se caracteriza por ser um tratamento feito no próprio local da contaminação e a segunda, por ser realizada fora do local onde ocorreu a contaminação e, por isso, é um tratamento que requer a escavação e a remoção do solo contaminado para outro local (ANDRADE et al., 2010). São exemplos de *in-situ*: atenuação natural, bioaugmentação, bioestimulação, fitoremediação e landfarming. Como exemplos de *ex-situ*, cita-se a compostagem e biorreatores.

A biorremediação *ex-situ*, ou off-site, normalmente vem acompanhada de um incremento dos custos do tratamento, pois envolve, além dos custos relacionados com o tratamento propriamente dito, custos com o desenvolvimento da área que vai receber o solo, remoção do solo, transporte e disposição final do solo tratado, além de outras exigências, como o treinamento de um maior número de pessoas. Ainda, esta prática apresenta a desvantagem de que a remoção do solo deve ser realizada com todos os cuidados para que não ocorra a propagação da contaminação para meios a princípio não afetados, necessitando assim, da realização prévia de uma análise de risco por diferentes vias de contaminação, como aérea, aquática etc (ANDRADE et al., 2010).

Por outro lado, o acondicionamento do solo contaminado em uma locação impermeabilizada e isolada, permite um maior controle das condicionantes do meio.

A biorremediação *in-situ*, ou on-site, é um processo normalmente mais atrativo economicamente, apresenta menores riscos de acidentes que poderiam acarretar em novas contaminações durante o transporte e armazenamento do solo contaminado e causa menores impactos ambientais na área originalmente contaminada.

Além disso, a biorremediação pode se dar por via respiração, fermentação ou por co-metabolismo (CETESB, 2004)

Neste trabalho, é apenas trabalhada a biorremediação *in-situ*. Ela se divide em duas estratégias, conhecidas como Atenuação Natural Monitorada

(ANM), e Atenuação Natural Acelerada (ANA). A ANM é uma tecnologia passiva, que consiste no monitoramento da resposta natural do meio contaminado (WIEDEMEIER et al., 1999).

A atenuação acelerada (ANA) consiste num processo de remediação ativa, onde existe intervenção direta do homem de forma a acelerar os processos naturais (FAHRADIAN et al., 2008). Esta técnica é caracterizada pelos métodos de bioestimulação e bioaumentação, os quais se distinguem pela adição de receptores ou doadores de elétrons, no primeiro caso, e pela adição dos próprios microrganismos, no caso da bioaumentação.

### **3.2.2 Atenuação Natural Monitorada (ANM)**

Segundo a USEPA, a Atenuação Natural Monitorada é o uso dos processos de atenuação que ocorrem naturalmente no solo, dentro do contexto de monitoramento e remediação adequadamente controlado, a fim de reduzir as concentrações dos contaminantes, toxicidade, massa e/ou volume até níveis permitidos para a proteção da saúde humana e ao meio ambiente, dentro de um período razoável de tempo (CETESB, 2006).

Os principais processos de atenuação que ocorrem naturalmente no solo são: biodegradação, dispersão, sorção, volatilização, diluição e mecanismos de degradação abiótica.

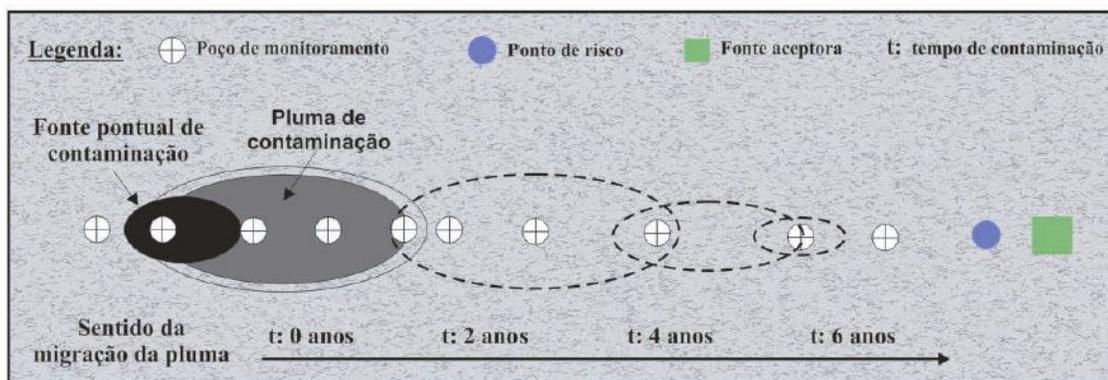
Para avaliar se a ANM está ocorrendo na área de maneira eficiente, três evidências precisam ser encontradas:

- 1) dados históricos de qualidade de solo e de água subterrânea (através de monitoramento) demonstrando uma tendência de regressão natural da contaminação;
- 2) dados demonstrando que processos de atenuação natural indiretos estão ocorrendo na área;
- 3) indicadores microbiológicos, teores de oxigênio dissolvido, teores de sulfato etc, demonstrando a ocorrência da atenuação

Desta maneira, é de extrema importância que seja realizado um efetivo diagnóstico da área contaminada, além de uma análise de risco do local e, em

seguida, determinar a taxa de degradação como forma de prever os limites de expansão da pluma (ANDRADE et al., 2010).

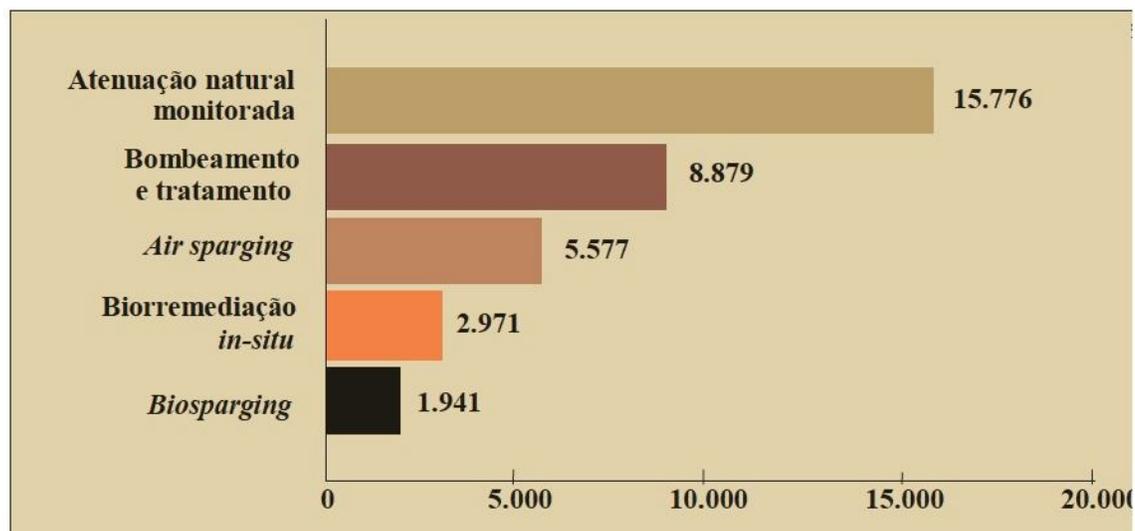
A Figura 9 ilustra a migração de uma pluma ao longo dos anos e sua subsequente redução. Neste caso, a taxa de biodegradação é igual ou maior que a taxa de deslocamento dos contaminantes, e, se o ponto de risco não for atingido, não há a necessidade de implantação de métodos mais drásticos, sendo então a ANM uma opção eficiente para a recuperação da área.



**Figura 9 – Exemplo da Atenuação Natural Monitorada de uma Pluma de Hidrocarbonetos de Petróleo.**

Fonte: Andrade et al. (2010).

Ainda, além de eficiente a ANM é uma das técnicas de menor custo e menor impacto de intervenção. Por estes motivos, nos Estados Unidos, a maior parte dos programas de remediação de contaminações causadas por vazamento de tanques de combustíveis subterrâneos é feita por esta técnica, como mostra a Figura 10.



**Figura 10 – Número de locais contaminados por vazamento de combustíveis de tanques subterrâneos pelas diferentes técnicas de remediação.**

Fonte: (ANDRADE et al., 2010 apud USEPA, 2004).

Nota-se que a ANM é quase o dobro da segunda técnica mais utilizada que é o bombeamento e tratamento. Nota-se também, que comparado com outras técnicas de biorremediação *in-situ* (ali agrupadas), há quase 16 mil casos de ANM contra aproximadamente 3 mil de outras biorremediações *in-situ*.

Entretanto, mesmo com a atratividade econômica, como recomenda a CETESB e a USEPA:

- A ANM nunca deve ser considerada apenas como uma justificativa para não se fazer nada na área;
- A atenuação natural está bem estabelecida como método de remediação **apenas** para alguns tipos de contaminantes, destacando-se os BTEX;
- Os períodos de monitoramento podem ir de anos até décadas;
- A atenuação natural de alguns compostos pode formar subprodutos perigosos, tais como, cloreto de vinila como subproduto final de PCE, por exemplo, que em alguns casos podem ser muito persistentes no meio;
- Os processos de atenuação natural não destroem metais, mas em alguns casos podem imobilizá-los;
- A presença de misturas de contaminantes pode inibir ou aumentar a atenuação natural para alguns dos contaminantes da mistura.

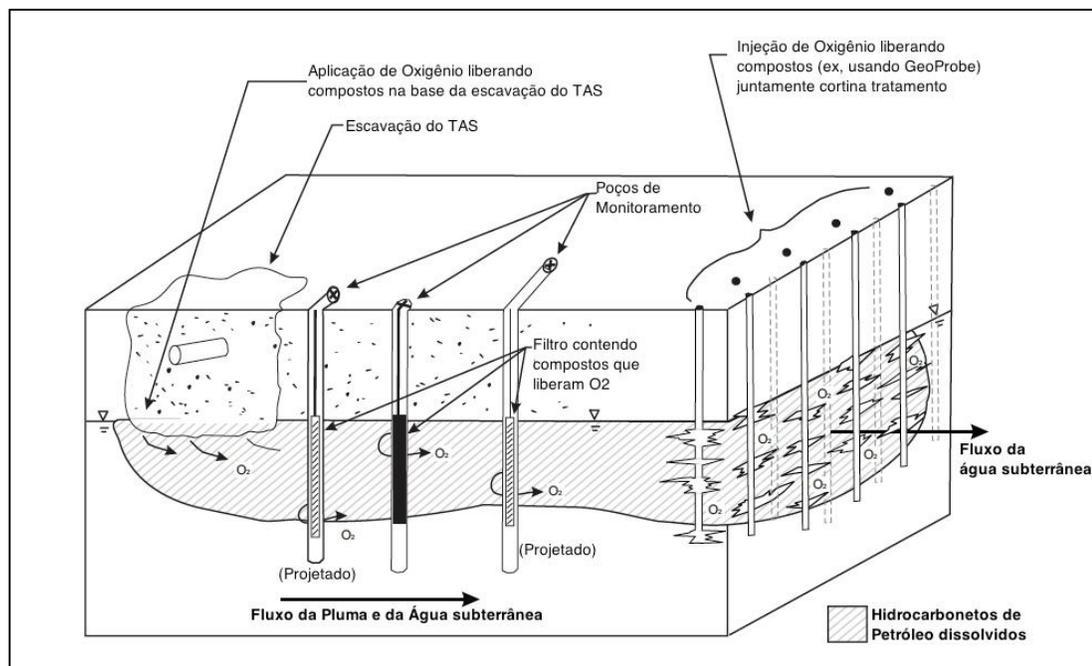
Assim, se a ANM não evitar o deslocamento da pluma até as regiões de risco, ou conseguir degradar os contaminantes, fazem-se necessários métodos de aceleração da atenuação, caso da ANA.

### **3.2.3 Atenuação Natural Acelerada (ANA)**

As tecnologias de Atenuação Natural Acelerada inclui biosparging e bioventilação, uso de compostos liberadores de oxigênio, injeção de oxigênio puro, infiltração de peróxido de hidrogênio e injeção de oxônio. Essas tecnologias fornecem um suprimento adicional de oxigênio para a superfície, a qual se torna disponível para bactérias aeróbias degradadoras de hidrocarbonetos. Nestes casos, a razão estequiométrica de oxigênio por hidrocarbonetos é de 3 M O<sub>2</sub> por 1 mol de hidrocarbonetos. Isso porque, o oxigênio é considerado por muitos o principal fator limitante para estas bactérias e é normalmente deplecionado em zonas contaminadas por hidrocarbonetos. Utilizando estes tipos de tecnologias, as taxas de biodegradação os hidrocarbonetos de petróleo podem aumentar de pelo menos uma até várias vezes de magnitude, em relação à atenuação natural não estimulada (USEPA, 2004).

Os compostos liberadores de oxigênios mais utilizados incluem os peróxidos de cálcio e magnésio, que são introduzidos na zona saturada em fases sólidas ou lodo. Estes peróxidos liberam oxigênio para o aquífero quanto hidratados pela água subterrânea, já que são convertidos para seus respectivos hidróxidos. O peróxido de magnésio tem sido mais comumente utilizado do que o de cálcio, por possuir uma menor solubilidade e, conseqüentemente, prolongar a liberação do oxigênio, podendo chegar até dez meses de duração. Nestes casos, quantidades significativas de peróxido de magnésio são necessárias tanto por causa da relação estequiométrica, quanto pelo fato de que somente 10% do peso do composto é referente ao oxigênio.

A Figura 11, a seguir, mostra um sistema típico de Remediação Aeróbica Utilizando Compostos Liberadores de Oxigênios.



**Figura 11 – Sistema Típico de Remediação Aeróbica Utilizando Compostos Liberadores de Oxigênios.**

Fonte: USEPA (2004).

As técnicas de ANA podem ser usadas para remediar tanto a zona saturada, quanto a não-saturada. A bioventilação, por exemplo, mira especificamente os hidrocarbonetos de petróleo na zona não-saturada e não atua em contaminantes na franja capilar ou na zona saturada. De fato a maioria das técnicas de ANA atual na remediação de hidrocarbonetos de petróleo e alguns compostos oxigenados que estão dissolvidos na água subterrânea ou são sorvidos para partículas de solo na zona saturada. Quando realizada de maneira apropriada, as técnicas de atenuação aceleradas podem ser bastante efetivas, chegando a remover derivados de petróleo mais rapidamente que a extração de vapor (SVE) e a bioventilação de ar.

Entretanto, o manual de gerenciamento de áreas contaminadas da CETESB alerta que a utilização “in situ”, de produto biotecnológico que contém microrganismos alóctones, em ecossistemas naturais, como água superficial, água subterrânea e solo, ainda não está devidamente avaliada. Os resultados obtidos até o momento demonstram uma relação custo/benefício/risco desfavorável. Isso ocorre em consequência da dificuldade de sobrevivência das

culturas microbianas alóctones selecionadas, quando em competição com a comunidade microbiana indígena, que já está aclimatada ao contaminante do local (CETESB, 2001).

### **3.2.4 Fatores que Influenciam a Biodegradação**

Como dito anteriormente, após a ocorrência do vazamento, haverá a formação da pluma de contaminação que irá se deslocar no ambiente. Esta, será naturalmente atenuada por diluição, dispersão, adsorção, volatilização e biodegradação, que é o único destes mecanismos que transforma os contaminantes em compostos inócuos a saúde.

Assim, a biodegradação acontece quando há:

#### **Presença de Microrganismos:**

Para que um poluente seja degradado é preciso que microrganismos capazes de transformar os contaminantes em formas menos tóxicas ou inócuas. Os hidrocarbonetos tem estado em contato com microrganismos durante longos períodos geológicos e por isso adquirem a habilidade de utilizá-los como fonte de energia.

#### **Indução de enzimas degradadoras:**

As enzimas são agentes capazes de acelerar as reações químicas. Os compostos contaminantes só serão degradados a uma taxa significativa se os microrganismos possuírem tais enzimas. Existem enzimas que estão sempre presentes independentes da condição ambiental da área e são chamadas de enzimas constitutivas. Entretanto, as enzimas que iniciam a biodegradação de muitos contaminantes são geralmente induzidas através da ativação de regiões específicas do genoma bacteriano. Quando um indutor (por exemplo, um substrato a ser degradado) é adicionado, é iniciada uma cascata de reações bioquímicas que resultam na transcrição de genes que codificam a síntese das enzimas degradadoras. Sendo assim, a aclimação ou indução de enzimas é um fator importante na biodegradação (BLOCK; BEALE, 2004).

### **Disponibilidade de nutrientes:**

Os microrganismos necessitam dos nutrientes essenciais para os diversos processos metabólicos, tais como carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, ferro e outros minerais. Deficiências em nitrogênio, por exemplo, pode causar problemas na sintetização de aminoácidos, assim como a deficiência de enxofre, que é normalmente utilizado na sintetização de alguns aminoácidos específicos e algumas coenzimas, o fósforo para a geração de adenosina trifosfato (ATP), fosfolipídios e ácidos nucléicos, dentre outros.

### **pH:**

Os microrganismos costumam ter seu metabolismo otimizado entre pH 6 e 8, embora alguns deles possam tolerar maiores variações. Quando há a presença de processos de biodegradação, diminui-se o oxigênio dissolvido e aumenta a concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o que aumenta a alcalinidade da água subterrânea em aquíferos que possuem bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) como parte da sua constituição. Nestes casos, costuma-se fazer a correção por meio de calagem, processo através do qual se aplica calcário ao solo, objetivando neutralizar a acidez (ANDRADE et al., 2010).

### **Temperatura:**

A temperatura está diretamente relacionada com a energia cinética das reações químicas, temperaturas altas estimulam atividades enzimáticas que acontecem de maneira mais intensa e acelerada. Por outro lado, temperaturas altas tornam espécies químicas como o oxigênio menos solúvel em água. Os microrganismos com metabolismos atuando na faixa de 0 a 20°C, são denominados psicrófilos e aqueles em 20 a 40°C, mesófilos. Normalmente, as bactérias localizadas na subsuperfície são mesófilas (CHAPELLE, 2001).

### **Ausência de substâncias tóxicas ou inibitórias:**

Elevadas concentrações de determinadas substâncias podem causar inibição da atividade microbiana. Nestes casos, o processo de biodegradação somente ocorrerá uma vez que os processos hidrodinâmicos dispersem e diluam os contaminantes (ANDRADE et al., 2010).

### **Disponibilidade de receptores de elétrons:**

Os microrganismos obtêm energia na forma de moléculas de ATP pelos processos de respiração ou fermentação, que envolvem complexas reações de transferência de elétrons. Os receptores de elétrons são compostos, que como o nome já diz, recebem estes elétrons durante as reações. Na falta destes compostos, as reações são impedidas de se completar, diminuindo assim a eficiência da biodegradação (CHAPELLE, 2001).

### **Condutividade elétrica:**

Este fator está relacionado com a disponibilidade de receptores de elétrons, já que é a medida da habilidade de uma solução para conduzir eletricidade e depende da concentração de íons. Ou seja, aumentando sua concentração, aumenta-se também a condutividade.

### **Potencial Eletroquímico:**

O potencial Eletroquímico ou Redox (POR) é a medida da atividade elétrica que indica a tendência de uma espécie química adquirir elétrons e, deste modo, ser reduzido e de outra simultaneamente doar elétrons, tornando-se oxidante. Cada espécie tem seu potencial intrínseco de redução. Quando um ambiente possui elevadas concentrações de receptores de elétrons, se diz que tem potencial elétrico elevado e é considerado um oxidante. Por outro lado, na medida que os nutrientes vão sendo consumidos durante a biodegradação, a quantidade de receptores de elétrons diminui, o potencial redox diminui tornando o ambiente redutor. Sendo assim, para que alguns processos biológicos ocorram, o POR de águas subterrâneas deve ficar entre -400 e 800mV. Assim, por representar uma medida da atividade dos elétrons, esta variável torna-se um importante indicador para a análise do processo de biodegradação de compostos orgânicos (WIEDEMEIER et al., 1999).

Assim, pode-se dizer que a biodegradação é um processo complexo, que depende de uma série de fatores e condições, onde cada local de contaminação deverá ser analisado individualmente atentando para a influência de cada fator e para a influencia do resultado que o conjunto deles exerce.

Atualmente as pesquisas se esforçam por i) desenvolver novos reagentes, capazes de acelerar e melhorar a eficiência da biorremediação; ii)

desenvolver organismos geneticamente modificados (OGM), capazes de degradar contaminantes específicos e de se adaptarem em diferentes ambientes (SÁNCHEZ et al., 2006).

Sendo assim, a Tabela 1 a seguir, apresenta a síntese das vantagens e limitações da biorremediação do solo, conforme Andrade et al. (2010).

**Tabela 1 – Vantagens e Limitações da Biorremediação de Solo**

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
Aplicação o uso de equipamentos de fácil obtenção, instalação e operação	Pode requerer monitoramentos e/ou manutenção contínuos e a longo prazo
Gera menos impactos ambientais quando realizada in-situ	É uma técnica ineficiente para compostos orgânicos que ficam adsorvidos no solo, ou seja, indisponíveis para a biodegradação
Menores custos	Menos eficiente quando há pressa para o tratamento
Pode ser combinada com outras técnicas, como a SVE, para acelerar o processo de descontaminação	Inviável para determinados tipos de contaminantes não biodegradáveis, principalmente quando presentes em concentrações elevadas, podendo ser tóxicos aos microorganismos
Na maioria dos casos, essa técnica não produz compostos tóxicos, que devem ser dispostos e tratados em outro local	Sensível a uma série de fatores físicos, químicos e microbiológicos do solo e a condições climáticas
Eficiente na biodegradação de petróleo e derivados	Dificuldade de utilização em solos argilosos ou com baixa permeabilidade

Fonte: ANDRADE et al. (2010).

### 3.3 LEGISLAÇÃO

#### 3.3.1 Água subterrânea

No Brasil, cita-se como legislações importantes a Lei nº 9.433 de 1997 da Política Nacional de recursos hídricos, que estabelece instrumentos e procedimentos para a melhoria da qualidade e da quantidade da água no país e a Resolução CONAMA nº 420/2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de

qualidade de solos quanto à presença de substâncias químicas, visando tanto à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas como as ações a serem tomadas. Os valores propostos para a água subterrânea, com base em risco à saúde humana, no caso do tolueno ( $700\mu\text{g.L}^{-1}$ ), xileno ( $500\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e etilbenzeno ( $300\mu\text{g.L}^{-1}$ ) (CONAMA, 2009), diferem dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos nos Anexos VII e X da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (2001). As concentrações máximas permitidas, de acordo com os padrões de potabilidade previstos na mencionada Portaria MS nº 2.914/11, no caso do benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos são  $5\mu\text{g.L}^{-1}$ ,  $170\mu\text{g.L}^{-1}$ ,  $200\mu\text{g.L}^{-1}$  e  $300\mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente (BRASIL, 2011b).

Nos Estados Unidos o Clean Air Act permitiu uma ordenação jurídica para regular as emissões contaminantes (USEPA, 2012). Na Tabela 2.1 apresenta-se uma comparação entre os padrões de potabilidade do Brasil e de alguns países que utilizam o combustível E10, mostrando as concentrações máximas permitidas para os compostos BTEX. Diversos países têm adotado, ou adaptado, os parâmetros e respectivos valores guias propostos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e a Organização Mundial da Saúde na definição de suas próprias diretrizes para a qualidade da água potável (PRODUCTIVITY COMMISSION, 2000; DSF, 2006).

A Tabela 2 apresenta os valores máximos das principais legislações no Brasil e no mundo.

**Tabela 2 - Valores máximos de concentração de BTEX permitidos de acordo com os padrões de potabilidade de água para consumo humano.**

País	Benzeno ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Tolueno ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Etilbenzeno ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Xilenos ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Referência
Brasil	5	170	200	300	M.S. (2011)
EUA	5	1000	700	10000	USEPA (2009)
OMS	10	700	300	500	OMS (2006)
Canadá	5	24	2,4	300	FPT (2010)
Austrália	1	800	300	600	NHMRC (2011)
EU	1	-	-	-	Council Dir. (1998)

Fonte: SERBENT (2012).

### 3.3.2 Contaminação do solo

O conceito de proteção dos solos foi o último a ser tratado nas políticas ambientais dos países industrializados, bem após os problemas ambientais decorrentes da poluição das águas e da atmosfera. O solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas, como os resíduos urbanos e industriais, baseada em uma suposta capacidade superestimada de autodepuração e poder tampão (CETESB, 2001).

O mundo industrializado começou a se conscientizar dos problemas decorrentes da contaminação das áreas no final da década de 70 e início da década de 80, após a ocorrência de “casos espetaculares”, como o “Love Canal”, nos Estados Unidos, “Lekkerkerk” na Holanda e “Ville la Salle” no Canadá. Foi a partir daí que as legislações e as medidas de identificação e mapeamento das áreas contaminadas começaram a ser tomadas (BEAULIEU, 1998).

No Brasil, como dito anteriormente, a resolução CONAMA nº 420 (CONAMA, 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.

Sendo que, o valor de prevenção (VP) é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais. E, o valor de investigação (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

A Tabela 3 apresenta os valores orientadores para solos no Estado de São Paulo, retirados do relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos no Brasil, segundo CONAMA nº 420 (2009)

Tabela 3 – Valores orientadores para solos no Brasil

Composto	Concentração em peso seco (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Valores de Prevenção	Valores de Intervenção		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Benzeno	0,03	0,06	0,08	0,15
Tolueno	0,14	30	30	75
Etilbenzeno	6,2	35	40	95
Xilenos	0,13	25	30	70
HPA*	12,7	56,6	147,1	384,8
HTP	-	-	-	-

\*Soma das concentrações de dez compostos selecionados pela CETESB: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(k)Fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)pireno, Criseno, dibenzo(a,h)antraceno, Fenantreno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno e naftaleno

O Estado de São Paulo é o único dos estados brasileiros, até o presente momento, com legislação própria sobre áreas contaminadas. A CETESB, órgão ambiental estadual responsável, aprovou em 2007 a Decisão de Diretoria no 103/2007/C/E, a qual dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2007). Esta norma juntamente com o Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2004) serão detalhados no capítulo subsequente de gestão ambiental.

Na União Europeia, através da Comissão das Comunidades Europeias e da Lista Holandesa de Valores de Qualidade do Solo e da Água Subterrânea, a qual é utilizada por alguns órgãos ambientais brasileiros (CETESB, 1994). No Canadá a legislação de referência é o CWS (*Canada-wide standards for Petroleum Hydrocarbons – PHC - in Soil*) (CWS, 2001).

A lista holandesa foi criada a partir do conceito de multifuncionalidade do solo estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (*Soil Protection Act*) pelo governo federal holandês, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM, 1987), em atendimento a essa lei, publicou em 1994 a nova proposta de valores de qualidade do solo e da água subterrânea.

Na lista, são considerados valores distintos (STI) de qualidade para os compartimentos ambientais citados, ou seja: Valor de referência (S): indica um nível de qualidade do solo e da água subterrânea que permite considerá-los

“limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade. Valor de intervenção (I): indica um nível de qualidade do solo acima do qual existem riscos para a saúde humana e para o ambiente. Valor de alerta (T): é um valor médio entre os dois primeiros S e I. Ele indica que já ocorreu uma certa alteração que diminuiu, ainda que pouco, as propriedades funcionais do solo, sendo necessária uma investigação detalhada na área para quantificação dessa alteração. Como forma de comparação, utilizou-se aqui as três categorias (referência, alerta e intervenção) e, utilizando inclusive os valores revisados e publicados pela lista em 2009.

E mesmo que, os valores de referência (S) são dependentes das concentrações de background encontradas nos solos da Holanda e dessa forma, a sua utilização em contextos geológicas diferentes não seja recomendada, a CETESB utiliza valores da lista holandesa quando ainda não há pesquisa suficiente para estabelecer um patamar para os solos brasileiros, como é o caso dos Hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP).

A Tabela 4 apresenta os valores de referencia da Lista Holandesa para os compostos estudados.

**Tabela 4 – Valores de referência (S), de alerta (T) e de intervenção (I) para solos, segundo a Lista Holandesa**

Composto	Concentração em peso seco (mg kg <sup>-1</sup> )		
	S	T	I
Benzeno	0,01	0,11	0,2
Tolueno	0,01	13,0	26,0
Etilbenzeno	0,01	5,0	10,0
Xilenos	0,01	2,5	5,0
HPA	0,2	4,1	8,0
HTP	10	505	1000

O CWS se baseia na metodologia de avaliação de risco *CCME - Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines*. Sendo assim, a derivação do CWS envolve explicitamente os receptores humanos e ecológicos e os níveis de proteção acordados. Isto também envolve os cenários de exposição definidos e pressupostos subjacentes documentados, equações e políticas.

Ainda, os limites máximos de HCP de remediação de solos e subsolos estabelecidos pelo CWS são dados para quatro categorias de uso do solo (solos agrícolas; solos residenciais e estacionamentos; solos comerciais e solos industriais), subdivididos em quatro frações referentes ao tamanho da cadeia linear normal de hidrocarbonetos (nC) em faixas de pontos de ebulição (Fração 1: nC6 a nC10; Fração 2: >nC10 a nC16; Fração 3: >nC16 a nC34 e, Fração 4: nC35+) e ainda, subdivididos em textura de solo (solos grosseiros definidos pela ASTM como > 75 µm e solos finos com menos de 75 µm).

Para que o CWS possa ser melhor compreendido, apresenta-se abaixo os valores estabelecidos por este método, na Tabela 5 abaixo.

**Tabela 5. Resumo dos limites máximos de Hidrocarbonetos de Petróleo (HCP) (mg Kg<sup>-1</sup>) para solos e subsolos segundo o canadense CWS.**

Uso do solo	Textura do solo	Fração 1	Fração 2	Fração 3	Fração 4
Agrícola/ Residencial/ estacionamento	Solo grosseiro	30*	150	300	2.800
	Solo fino	210 (170**)	150	1.300	5.600
Comercial/ Industrial	Solo grosseiro	320 (240**)	260	1.700	3.300
	Solo fino	320 (170**)	260	2.500	6.600

\*Assumindo contaminação próxima à residência.

\*\* quando aplicável, para a proteção de água subterrânea potável.

Cabe ressaltar que em virtude da dificuldade de se caracterizar um vazamento envolvendo petróleo e os seus derivados, uma vez que não é possível um teste individual para cada um dos seus componentes, os BTEX são utilizados como parâmetros quantitativos de uma contaminação (MARGESIN; WALDER; SCHINNER, 2003).

### 3.2.3 Licenciamento Ambiental

O setor de combustíveis vive da natureza e deve a ela sua contribuição, portanto é a responsabilidade do setor tornar seus negócios ambientalmente

corretos. O licenciamento ambiental caracteriza-se como um instrumento legal de gestão ambiental, necessário para a instalação de quaisquer empreendimento que venham a causar danos ambientais, referindo-se à permissão que o(s) órgão(s) ambiental(is) fornece(m) ao empreendedor. Em outras palavras, é um processo de controle, sendo um dos instrumentos de gestão ambiental do órgão Estadual de Meio Ambiente, englobando procedimentos técnico-científicos, administrativos e jurídicos, que subsidiam a tomada de decisões sobre licenciar ou não atividades potencialmente poluidoras.

As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei nº 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97. Ainda, a Lei 9.478 de 1997, chamada Lei do Petróleo, regulamenta a atividade do comércio varejista de combustíveis e estabelece como função da Agência Nacional de Petróleo (ANP) a regulamentação, contratação e fiscalização do setor, incentivando a livre concorrência e o desenvolvimento nacional.

Além dessas, recentemente foi publicado a Lei Complementar nº 140/2011, que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento a localização do empreendimento.

Mais especificamente, a CONAMA nº 273 de 2000 (alterada pela CONAMA nº 319 de 2002) regulamenta o licenciamento para Postos e/ou Sistemas Retalhistas de Combustíveis, a Resolução CONAMA nº 362 de 2005 dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado e as portarias da ANP: nº 116 de 2000 que traz a documentação para licenciamento e obrigações do revendedor e nº 32 de 2001 que regulamenta o exercício da atividade de revenda varejista de Gás Natural Veicular - GNV em posto revendedor que comercialize exclusivamente este combustível.

Dentre as considerações que a CONAMA nº 273 faz, chama-se a atenção para: “a ocorrência de vazamentos vem aumentando significativamente nos últimos anos em função da manutenção inadequada ou insuficiente, da obsolescência do sistema e equipamentos e da falta de treinamento de pessoal”.

Levando em consideração o potencial de poluição, risco de incêndios e a ocorrência de vazamentos, a resolução afirma que devem-se licenciar: (i) Posto Revendedor (exerce a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados do petróleo); (ii) Posto de Abastecimento (instalação que possua

equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustíveis); (iii) Sistema Retalhista (instalação com sistema de tanques para o armazenamento de óleo diesel, e/ou óleo combustível, e/ou querosene iluminante, destinada ao exercício da atividade de Transportador Revendedor Retalhista), e; (iv) Posto Flutuante (toda embarcação sem propulsão empregada para o armazenamento, distribuição e comércio de combustíveis).

Cabe ao órgão ambiental competente exigir as seguintes licenças ambientais:

I – Licença Prévia – LP: concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.

II – Licença de Instalação – LI: autoriza a instalação do empreendimento com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo medidas de controle ambiental e demais condicionantes da qual constituem motivo determinante.

III – Licença de Operação – LO: autoriza a operação da atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Para a obtenção de tais licenças uma série de estudos, projetos e documentos deverão ser entregues ao órgão. Cabe ao empreendedor a realização dos estudos e projetos e a organização e entrega dos documentos ao órgão, inclusive arcando com os custos. Cabe ao órgão a fiscalização.

Ainda, conforme ao Art. 8º, em casos de acidentes ou vazamentos que representem situações de perigo ao ambiente ou a pessoas, cabe ao empreendedor comunicar o órgão ambiental e adotar medidas para controle da situação emergencial e para o saneamento das áreas impactadas, de acordo com as exigências formuladas pelo órgão ambiental.

Ainda, os tanques subterrâneos que apresentarem vazamento deverão ser removidos após sua desgaseificação e limpeza e dispostos de acordo com as exigências do órgão. Comprovada a impossibilidade técnica de sua remoção, estes deverão ser desgaseificados, limpos, preenchidos com material inerte e lacrados.

Por fim, cita-se a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605, promulgada em 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente, responsabilizando, inclusive criminalmente as pessoas jurídicas, bem como, seus representantes legais. A pena pode chegar a quatro anos de reclusão, além de multas.

### 3.4. GESTÃO AMBIENTAL

#### 3.4.1 Postos e Tanques de Combustíveis

Com o crescimento populacional (estima-se um crescimento nacional de 0,6% ao ano até 2022) e com a melhoria progressiva da qualidade de vida das pessoas (crescimento do PIB estimado em 4,8% ao ano até 2022), é inevitável que se tenha um crescimento da oferta de combustível nas cidades (MME, 2013). Com isto, é inevitável também o risco de acidentes ambientais envolvendo vazamentos de combustíveis, na medida em que este é um risco inerente à própria atividade. Afinal, grande parte dos tanques subterrâneos dos postos de combustíveis não possui revestimento contra corrosão, e, cada vez mais a água subterrânea tem se tornado uma fonte alternativa de abastecimento de água para consumo humano .

Sabe-se que muitos postos funcionam atualmente com a licença ambiental vencida. Muitos postos não realizam o descarte ambientalmente adequados dos recipientes provenientes de serviços de troca de óleo. Nas situações em que o estabelecimento utiliza água proveniente de poço artesiano, a solicitação de outorga, estabelecida pela lei nº 9.433 de 1997, costuma ser rara. Ainda, muitos postos não fazem a limpeza periódica das caixas separadoras de água e óleo (SAO) e não utilizam produtos biodegradáveis nos serviços de lava-jato (BITTENCOURT; TAVARES, 2013).

Segundo a CETESB, de 1984 até novembro de 2006, as causas de acidentes nos postos de combustíveis em São Paulo são listadas na Tabela 6 a seguir.

**Tabela 6 – Causas dos Acidentes em Postos de Combustíveis.**

<b>Causas</b>	<b>%</b>
Tanque	31,5
Passivo Ambiental	17,7
Tubulações	16,3
Extravasamento	8,1
Descarte	5,4
Outros	5,4
Desativado	4,6
Tubulação e Tanque	4,0
Bomba	3,0
Não Identificada	2,1
Caixa Separadora	1,8

Fonte: CETESB, 2006.

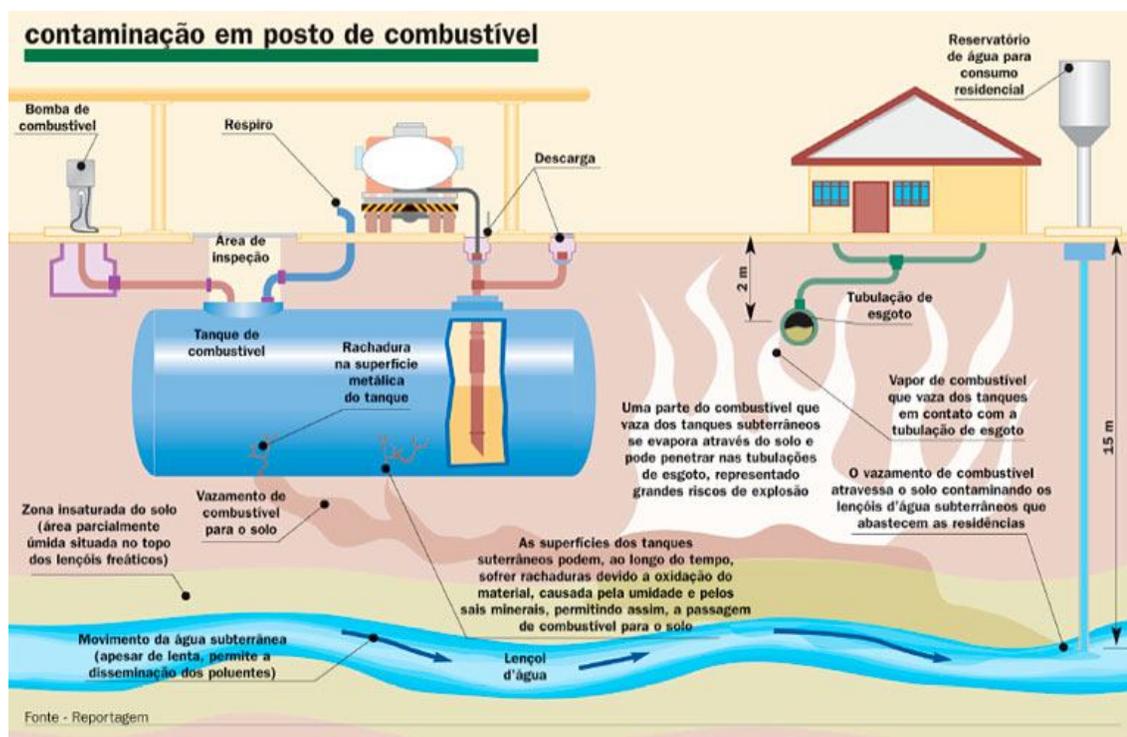
Geralmente os acidentes são percebidos somente após o afloramento do produto em galerias de esgoto, redes de drenagem de águas pluviais, no subsolo de edifícios, em túneis, escavações e poços de abastecimento de água. Como mencionado anteriormente, os vazamentos são gerados principalmente por corrosão tanto nos tanques, quanto nos pontos de solda das chapas (Figura 12). Estas corrosões são causadas principalmente por agentes externos, de construção (design da fundação inadequado), de operação (fora das condições de temperatura e pressão adequadas) e de subsolo (acidez, salinidade, correntes elétricas, umidade, flutuação do lençol freático, concentração de oxigênio no solo etc), mas também por agentes internos, que normalmente estão relacionados à composição do produto comercializado, como é o caso do óleo diesel com altos teores de enxofre, que facilita a degradação das chapas metálicas, sendo que a corrosão tenderá a ser mais intensa na região vazia do tanque, pela presença de oxigênio (MARANHÃO et al., 2007; PETROWIKI, 2014).



**Figura 12 – Tanque danificado por corrosão.**

Fonte: Mineropar (2014).

Vale ressaltar que normalmente os vazamentos não são grandes e sim pequenas infiltrações, as quais os danos só serão sentidos ao longo dos anos. Por isso a grande dificuldade de identifica-los. Na maioria dos casos os administradores dos postos atribuem as pequenas perdas de combustível como resultantes do processo de colocação do combustível nos tanques dos veículos e dos níveis normais de evaporação e só tomam providências quando há uma perda significativa de combustível (MARANHÃO et al., 2007). Entretanto, eles geram um cenário de contaminação muito mais complexo do que se comumente imagina, porque além de contaminar o solo e a água subterrânea, gera vapores que podem penetrar na rede de esgoto, representando grandes riscos de explosões (CETESB, 2006).



**Figura 13 – Esquema da contaminação ambiental em um posto de gasolina.**

Fonte: CETESB (2006).

### **Fase de Instalação:**

O primeiro passo para evitar os acidentes e vazamentos é adoção de práticas seguras de instalação, operação e remoção dos tanques de armazenamento. A resolução CONAMA nº 273, torna obrigatória a adoção de tanques revestidos com proteção contra corrosão, sendo esta uma condicionante, para que obtenham sua licença ambiental de funcionamento.

Sendo assim, algumas características a serem asseguradas durante a escolha dos tanques a serem instalados: i) design do tanque e do local onde será instalado; ii) revestimento externo adequado para compostos do solo, mas também, em algumas plantas industriais, para vapores químicos também; iii) revestimentos internos mais espessos no fundo (onde a água e líquidos corrosivos se depositam); iv) proteção catódica (com essa proteção, toda a superfície do fundo atua como o cátodo de uma célula eletroquímica); v) sistema de galvanização (utiliza um metal mais ativo que a estrutura necessária para limitar ou parar a corrosão. A célula galvânica – anodo -coroe, enquanto o fundo de metal – catodo – fica protegido) e; vi) container secundário ou detector de

vazamento (adição de barreiras abaixo do tanque para conter o vazamento, com detectores de pressão, que podem detectar a entrada de ar, combustível ou água subterrânea) (PETROWIKI, 2014).

Como mencionado anteriormente, a maior parte dos tanques do país foram instalados a mais de 20 anos e estão em fase de substituição por tanques mais modernos com as proteções listadas acima.

Além dos tanques propriamente ditos, a CETESB (2006) chama a atenção para os seguintes aspectos construtivos que devem ser adequados aos padrões de qualidade durante a instalação:

- Trincas ou afundamentos existentes no piso das pistas de abastecimento do posto, reflexos do esforço mecânico imposto pela circulação de veículos no local, principalmente veículos pesados. Nestas condições, as tubulação e tanques subterrâneos estão sujeitos aos efeitos das vibrações e da movimentação do solo, podendo gerar rupturas, principalmente nas conexões.
- Não pavimentação da pista de abastecimento ou construção com blocos de concreto, asfalto ou paralelepípedos, os quais permitem que, durante as operações de descarregamento ou de abastecimento dos produtos, qualquer vazamento superficial de combustível, se infiltre no solo.
- A ausência de canaleta ou canaleta direcionada para via pública e não para um separador água e óleo. Desta forma, os produtos extravasados acumulam-se nas calçadas e sarjetas, atingindo as galerias de águas pluviais ou de esgotos, gerando atmosferas inflamáveis em seu interior.
- Falta de estanqueidade das bombas de abastecimento. Neste caso é recomendável a utilização de câmara de contenção impermeável que impede o contato direto do produto vazado com o solo.
- Instalação com tubulações metálicas galvanizadas convencionais que são mais susceptíveis a vazamentos, pois são mais sujeitas à fragilização por esforço mecânico.
- Câmara de calçada da boca de descarga de combustível não impermeabilizada e sem área de contenção para caso de eventuais

extravasamentos no descarregamento de combustível, sendo comum observar a presença de combustível acumulado nas bocas de descarga ou a presença de solo impregnado com o produto ao redor das mesmas.

- Manutenções das válvulas extratoras (conhecidas também como válvulas de pé) que ao serem reinstaladas inadequadamente podem gerar vazamentos, os quais são visualmente detectados pela presença de produto impregnado na parte superior da válvula de abastecimento ou impregnado no solo, ao redor e no interior da câmara de calçada.
- Extravasamento nos respiros durante as operações de descarga do produto, devido ao excessivo enchimento dos tanques.
- Vazamentos através das conexões e tubulações do sistema de filtragem de óleo diesel. Os vazamentos podem ser visualmente detectados através da impregnação externa do equipamento, das suas tubulações expostas e do piso ao seu redor.
- As caixas separadoras de água e óleo estão sujeitas à ocorrência de trincas em sua estrutura ou mesmo ao extravasamento por excessivo acúmulo de resíduos.

### **Fase de Operação:**

Além da instalação, segundo ABNT 13.786:2005 (que classifica os empreendimentos tendo como critério o entorno do posto de serviço, condicionando os equipamentos de controle ambiental que serão instalados), um posto de combustíveis deverá instalar poços de monitoramento a fim de verificar a existência de contaminantes em fase livre ou dissolvida na água subterrânea. O sistema de monitoramento deve possuir então poços distribuídos à montante e a jusante do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), e todos os postos de combustíveis devem implantar no mínimo três poços de monitoramento, independente da profundidade do lençol freático.

Inclusive, sistemas de monitoramento online já são ofertados no mercado, nos quais os tanques são monitorados por telemetria contínua. É uma tecnologia ótica de altíssima precisão que identifica vazamentos e presença de águas no tanque. Entretanto, poucos postos possuem tais sistemas de monitoramento.

Outros fatores importantes que contribuem para a contaminação estão relacionados à falta de treinamento ou imprudência no serviço. Segundo a CETESB (2006), dentre esses se destacam:

- controle de estoque através do método manual (considerado rudimentar), que utiliza uma régua de medição, cuja confiabilidade não é máxima, pois existe a possibilidade de que as pequenas variações no volume do produto estocado não sejam detectadas ou sejam consideradas como perdas aceitáveis associadas à evaporação do produto.
- Vazamentos durante a operação de abastecimento dos veículos. Dentre as principais causas, destacam-se as falhas operacionais no acionamento do sistema automático de bloqueio do fluxo dos bicos de abastecimento e a movimentação do veículo durante o abastecimento.
- Vazamento durante a operação de descarregamento de combustível próximo aos bocais de descarga, provocados pelo transbordamento do tanque ou pelo derramamento do produto ainda presente na tubulação de descarga do caminhão-tanque, ao final da operação.

E como exigências técnicas a CETESB (2006) menciona-se aqui as principais:

- Tubo de descarga com câmara de calçada impermeável e estanque para contenção de derramamentos;
- Descarga selada (bocal adaptador para descarga selada);
- Válvula antitransbordamento, instalada no tubo de descarga do tanque;
- Tanque de parede dupla com monitoramento intersticial ligado a sistema de monitoramento contínuo, construídos de acordo com a norma NBR 13.785:2005;
- Câmara de acesso à boca de visita do tanque, estanque e impermeável;
- Unidades de abastecimento (bomba) com câmara de contenção estanque e impermeável com sensor de detecção de líquidos ligado a sistema de monitoramento contínuo;

- Unidades de abastecimento (bomba) com válvula de retenção junto à bomba (check valve);
- Eliminação da válvula de pé;
- Válvula de segurança ou sentinela para as unidades de abastecimento que trabalham sob pressão positiva;
- Tubulações subterrâneas flexíveis e não metálicas atendendo as especificações previstas na norma NBR 14.722:2001;
- Equipamentos de proteção para sistema de filtragem de diesel;
- Cada tanque ou compartimento deve possuir tubulação de respiro independente.
- Pista de abastecimento coberta;
- Piso da pista de abastecimento em concreto armado com sistema de drenagem;
- Piso da área de descarga em concreto armado e com sistema de drenagem direcionado para sistema de tratamento de efluentes;
- Sistema de drenagem e sistema de tratamento de efluentes constituído de caixa de areia e separador água-óleo com placas coalescentes para efluentes gerados na pista de abastecimento.



**Figura 14 – Exemplo de Posto de Combustível em Conformidade com as Exigências da CETESB.**

Fonte: CETESB, (2001).

#### **Descarte e disposição:**

Outra preocupação se dá com o descarte e disposição de tanques usados removidos das áreas originais de instalação. Tanques deixados a céu aberto sem os devidos cuidados, podem, como colocado anteriormente, ter seus resíduos remanescentes escoados para o solo e água subterrânea, contribuindo não só para os impactos nestes meios, mas também aumentando os riscos a explosões devido ao acúmulo de gases inflamáveis presentes no seu interior.

A substituição de tanques, no estado de São Paulo só pode ser realizada mediante a obtenção da devida Licença de Instalação emitida pela CETESB, consideradas as exceções previstas no item 7 do Procedimento para Licenciamento

Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis - Roteiro Único, contido no anexo I da DD nº 010/2006/C.

A Figura 15 ilustra a remoção de dois poços em Barueri, São Paulo, realizada por uma empresa de consultoria ambiental.



**Figura 15 – Remoção de tanques de armazenamento subterrâneos (TAS) em Barueri, São Paulo.**

Fonte: FATORAMBIENTAL (2014).

A empresa listou que para um correta remoção e destinação dos TAS, faz-se necessário (FATORAMBIENTAL, 2014):

- Planejamento, incluindo levantamento das interferências, das atividades e suprimentos;
- Mobilização da infraestrutura de campo, incluindo canteiro de obras, proteção e combate a incêndios, estocagem temporário do solo, sinalização e isolamento do local;
- Adequação do sistema de transporte, sendo o mesmo transferido para outro local próximo fora da área de escavação dos tanques e instalação do mesmo dentro de dique de contenção e sob cobertura metálica;
- Obra de remoção do tanque, passivação do mesmo, remoção do pavimento, escavação, monitoramento da qualidade dos solos, remoção de tanques, filtro e bomba;
- Obra de recomposição;

- Destinação final dos materiais, tais como solos contaminados, entulho e demolição do pavimento, tanques, bomba e filtro;
- Avaliação do passivo ambiental, ambos conforme procedimento do órgão licenciador.
- Gerenciamento da obra, incluindo acompanhamento técnico/ambiental e de segurança do trabalho.

O trabalho de remoção aqui citado durou 2 meses, contando até a data de entrega dos relatórios de desativação e avaliação ambiental. Os trabalhos de remoção propriamente ditos, duraram uma semana. Os tanques, juntamente com os solos impactados, foram enviados para destinação final adequada, aprovada pelo órgão licenciador. Já os trabalhos de escavação foram desenvolvidos sob monitoramento ambiental com a medição de vapores do solo e coleta de amostras para análise em laboratório. Por fim, foram produzidos relatórios de desativação do sistema de estocagem de combustíveis, de avaliação de passivo e relatório final da atividade para o órgão ambiental.

### **3.4.2 Áreas Contaminadas**

Uma vez que o vazamento não tenha sido evitado, as práticas de gestão de áreas contaminadas devem entrar em ação. O gerenciamento de áreas contaminadas (ACs) visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (CETESB, 2001).

Um exemplo de vazamento de combustível pode ser visualizado na Figura 16.



**Figura 16 – Exemplo de Área Contaminada por Combustíveis.**

Fonte: UOL Meio Ambiente (2014).

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

#### **Identificação das áreas contaminadas:**

O processo de identificação de áreas contaminadas tem como objetivo principal a localização das áreas contaminadas, sendo constituído por quatro etapas (CETESB, 2007):

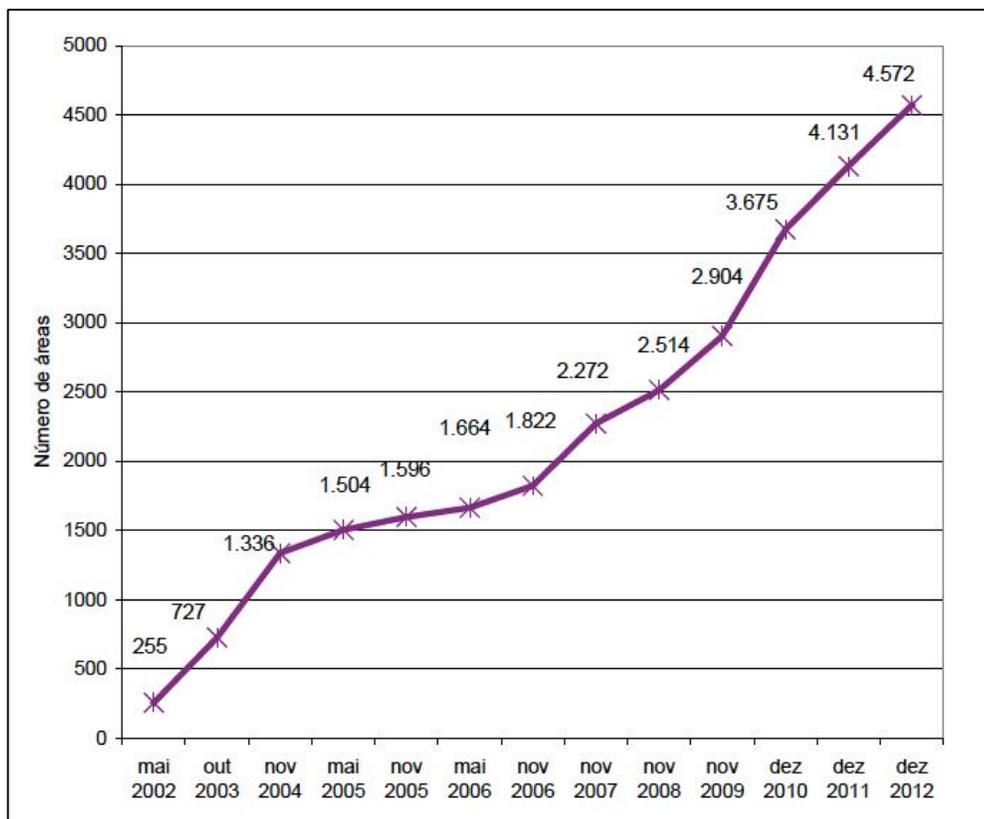
- Definição da área de interesse (competência da CETESB);
- Identificação de áreas potencialmente contaminadas (APs);
- Avaliação preliminar;
- Investigação confirmatória;

Durantes estas etapas as áreas são enquadradas nas seguintes classes:

- **Área com potencial de contaminação (AP):** área onde são ou foram desenvolvidas atividades que apresentam maior possibilidade de acumular quantidades ou concentrações de material em condições que a tornem contaminada.
- **Área suspeita de contaminação (AS):** área com indícios de ser uma área contaminada (AC).
- **Área contaminada sob investigação (AI):** área onde há comprovadamente contaminação, constatada em investigação confirmatória, na qual estão sendo realizados procedimentos para determinar a extensão da contaminação e identificar a existência de possíveis receptores, bem como para verificar se há risco à saúde humana. A área também será classificada como área contaminada sob investigação (AI), caso seja constatada a presença de produtos contaminantes, por exemplo, combustível em fase livre;
- **Área contaminada (AC):** área anteriormente classificada como área contaminada sob investigação (AI) na qual, após a realização de avaliação de risco, foram observadas quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana.
- **Área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR):** área anteriormente classificada AC ou AI, na qual foram implantadas medidas de intervenção e atingidas as metas de remediação. Ou na qual os resultados da avaliação de risco indicaram que não existe a necessidade da implantação de nenhum tipo de intervenção para que a área seja considerada apta para o uso declarado, estando em curso o monitoramento para encerramento.
- **Área reabilitada para o uso declarado (AR):** área anteriormente classificada como área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) que, após a realização do monitoramento para encerramento, for considerada apta para o uso declarado

Para se ter uma ideia da magnitude da contaminação, o cadastro da CETESB (CETESB, 2012) conta hoje com 4.572 registros de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. O aumento do número de áreas

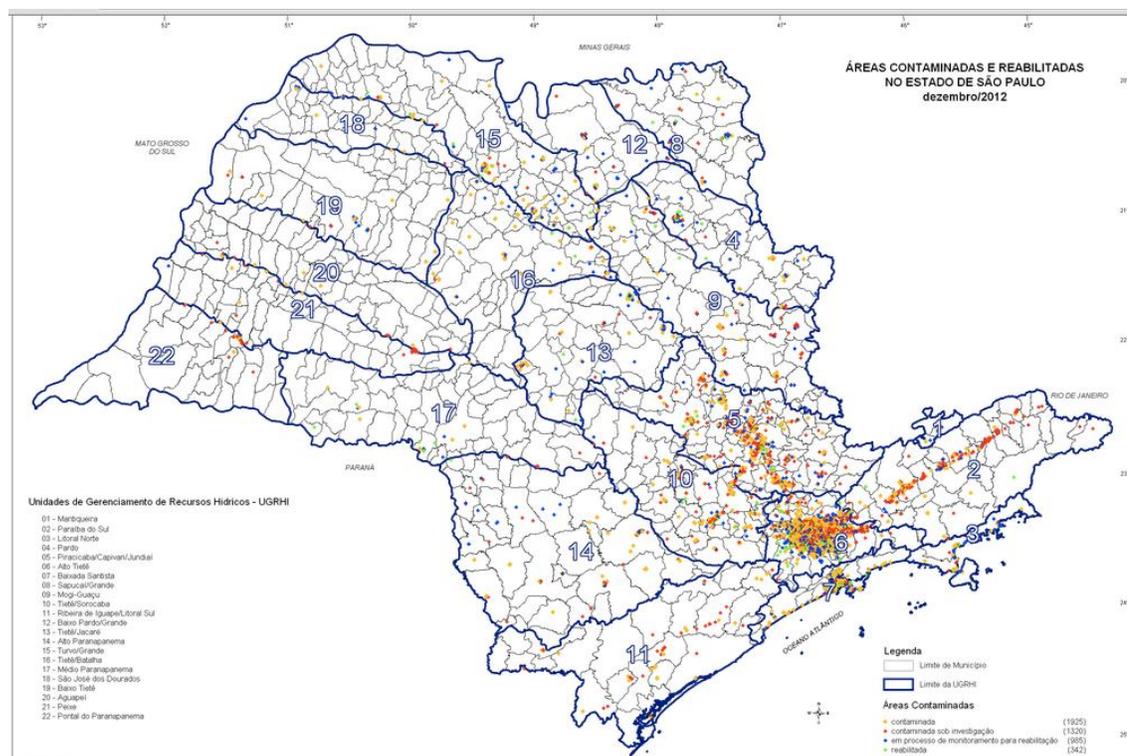
cadastradas visualizado no gráfico a seguir, demonstra o esforço na identificação de novas áreas (Figura 17).



**Figura 17 – Evolução do Número de Áreas Contaminadas Cadastradas pela CETESB em São Paulo, até dezembro de 2012.**

Fonte: CETESB (2012).

A distribuição destas áreas ao longo do estado de São Paulo pode ser visualizada no mapa a seguir (Figura 18). Nota-se claramente uma concentração na região da capital (região 6 - Alto Tietê), seguida pela região 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí) e pela região 2 (Paraíba do Sul). Pontos em amarelo, representam áreas contaminadas (1.925 pontos); em vermelho: contaminada sob investigação (1.320); azul: em processo de monitoramento para reabilitação (985); em verde: reabilitada (342).



**Figura 18 – Mapa com a distribuição das áreas contaminadas Identificadas pela CETESB no Estado de São Paulo em 2012.**

Fonte: CETESB (2012).

Na Tabela 7 a seguir, é apresentada a distribuição das áreas contaminadas nas sub-regiões considerando a atividade geradora da contaminação (CETESB, 2012):

**Tabela 7 - Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo – dezembro de 2012.**

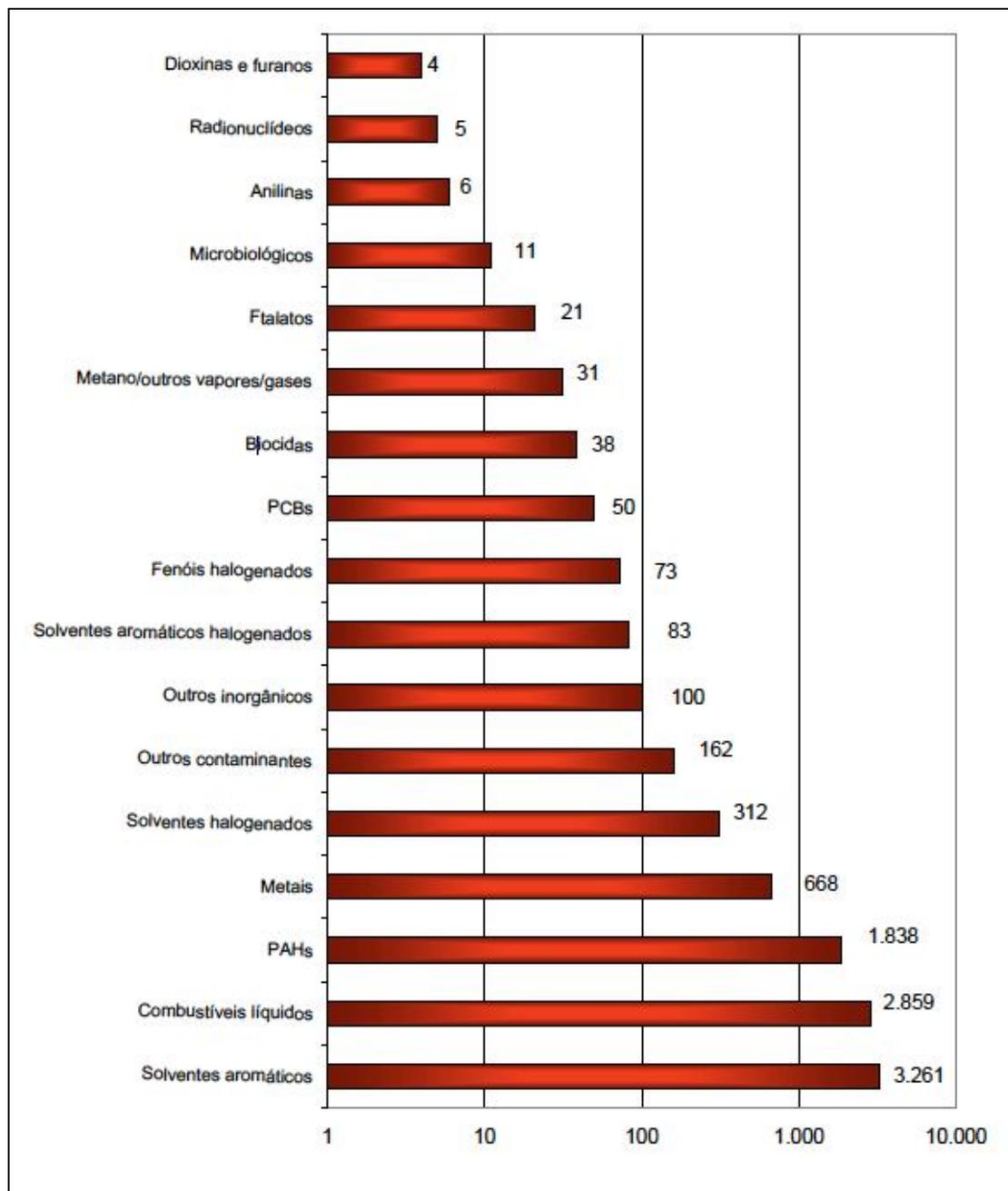
Região	Atividade					Total
	Comercial	Industrial	Resíduos	Postos de Combustíveis	Acidentes/ Desconhecida/ Agricultura	
São Paulo	67	194	31	1.239	8	1.539
RMSP – outros	43	177	22	527	12	781
Interior	74	217	45	1.296	14	1.646
Litoral	28	42	28	240	2	340
Vale do Paraíba	4	51	2	208	1	266
<b>Total</b>	<b>216</b>	<b>681</b>	<b>128</b>	<b>3.510</b>	<b>37</b>	<b>4.572</b>
<b>Percentual</b>	<b>5%</b>	<b>15%</b>	<b>3%</b>	<b>76%</b>	<b>1%</b>	<b>100%</b>

Fonte: CETESB (2012).

Observa-se que os postos de combustíveis destacam-se na lista de dezembro de 2012, com 3.510 registros (76% do total), seguidos das atividades industriais com 681 (15%), das atividades comerciais com 216 (5%), das instalações para destinação de resíduos com 128 (3%) e dos casos de acidentes, agricultura e fonte de contaminação de origem desconhecida com 37 (1%).

O aumento constante do número de áreas contaminadas é decorrente da fiscalização e ao licenciamento dos postos de combustíveis, das fontes industriais, comerciais, de tratamento e disposição de resíduos e do atendimento a acidentes. A contribuição de 77% do número total de áreas registradas atribuída aos postos de combustíveis é resultado do desenvolvimento do programa de licenciamento que se iniciou em 2001 com a Resolução CONAMA nº 273.

Os principais grupos de contaminantes encontrados foram, conforme o gráfico a seguir: solventes aromáticos (basicamente representados pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos presentes na gasolina vazada nos postos de combustível), combustíveis líquidos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), metais e solventes halogenados (Figura 19).



**Figura 19 – Grupos de contaminantes encontrados nas áreas identificadas pela CETESB como contaminadas no Estado de São Paulo.**

Fonte: CETESB (2012).

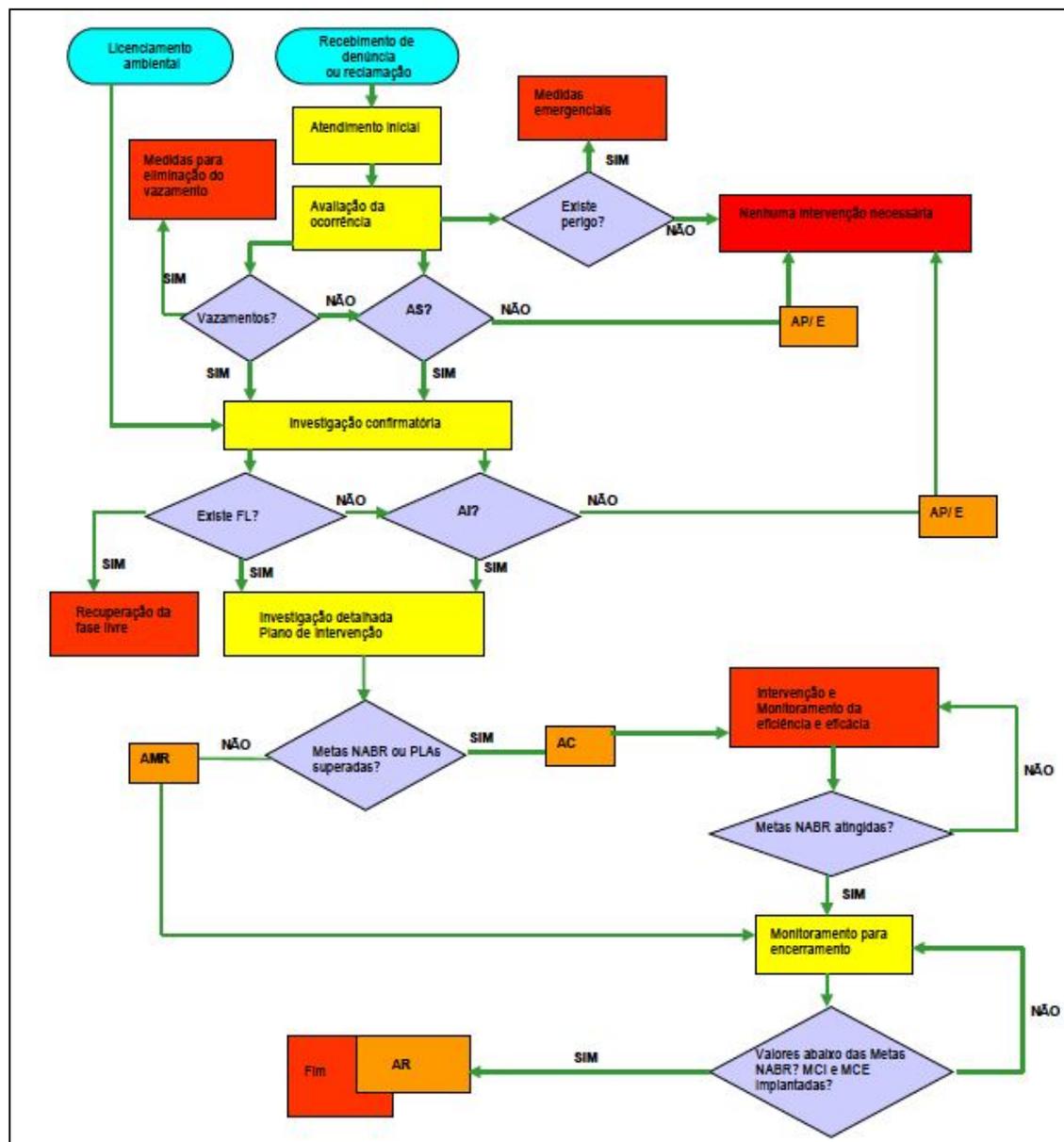
### **Recuperação das Áreas Contaminadas:**

O processo de recuperação de áreas contaminadas tem como objetivo principal a adoção de medidas corretivas nessas áreas que possibilitem recuperá-las para um uso compatível com as metas estabelecidas a ser atingidas após a

intervenção, adotando-se dessa forma o princípio da “aptidão para o uso”. Esse processo, que normalmente é constituído por seis etapas (investigação detalhada; avaliação de risco; concepção da remediação; projeto de remediação; remediação, e; monitoramento). Entretanto, para postos de gasolina e sistemas retalhistas de combustíveis, considerando a similaridade das instalações e dos contaminantes presentes nestes, as áreas contaminadas provenientes desses estabelecimentos apresentam características que possibilitam a adoção de procedimento específico de investigação e intervenção. Sendo assim, as seis etapas normalmente executadas, são neste caso específico englobadas em uma única:

- **Investigação detalhada e plano de intervenção;**

Sendo assim, as etapas da Metodologia desenvolvida pela CETESB (2007) podem ser visualizadas conforme fluxograma a seguir (Figura 20). Em seguida, é apresentada uma breve descrição das mesmas.



**Figura 20 – Fluxograma para gerenciamento de áreas contaminadas por postos e sistemas retalhistas de combustíveis.**

Fonte: CETESB (2007).

O início do processo de gerenciamento das áreas contaminadas em decorrência de postos e sistemas retalhistas de combustíveis normalmente é deflagrado após recebimento de denúncia ou reclamação referente à ocorrência de possíveis vazamentos, ou após a convocação do empreendimento para que dê

início ao processo de licenciamento ambiental, quando é exigida a realização da investigação confirmatória.

A etapa seguinte, a **avaliação da ocorrência** se dá caso encontrado evidências do vazamento, como odores e presença de combustíveis. Esta etapa visa comprovar a existência de perigo e sua associação à presença de combustíveis. Constatando o perigo, são obrigatoriamente tomadas medidas emergenciais, paralelamente à realização de pesquisa, por parte da CETESB destinada à identificação da origem e da causa. É de responsabilidade do empreendedor arcar com os testes de estanqueidade dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASCs) ou sistemas de armazenamento aéreo de combustíveis (SAACs), o imediato esvaziamento daqueles que tenham sido reprovados pelo teste e a suspensão temporária da sua operação, além da adoção de medidas destinadas à eliminação do perigo (medidas emergenciais) e medidas para eliminação do vazamento.

Não sendo verificado o perigo, mas havendo vazamentos ou indícios de vazamento, é exigida a realização de **investigação confirmatória** e o teste de estanqueidade dos SACs e SAACs, sendo o empreendimento classificado como AS. Caso não seja classificada como AS, a área poderá ser mantida como AP ou ser excluída do cadastro de áreas contaminadas. Caso seja possível identificar a contaminação do solo ou da água subterrânea pela constatação da presença de fase livre, é exigido do Responsável Legal a execução da etapa de **investigação detalhada e plano de intervenção** e a área será classificada como AI.

Em seguida, a medida em que a origem e a causa do vazamento for identificadas, o responsável legal deverá adotar medidas para a eliminação ou remoção do vazamento, incluindo apresentação das medidas para a eliminação do vazamento, incluindo a apresentação do relatório das medidas para a eliminação do vazamento (RMEV).

Em casos emergenciais, como por exemplo vazamentos em locais onde normalmente ocorrem afloramentos de produtos e/ou confinamento de gases/vapores (garagens subterrâneas, porões, poços de captação de água, poços de rebaixamento, linhas de metrô, galerias e redes de distribuição de água, energia elétrica e telefonia), medidas emergenciais deverão ser tomadas por parte do responsável legal.

A fase seguinte, a de **investigação confirmatória**, tem como finalidade confirmar ou não a existência da contaminação. Sua execução deverá ser realizada

conforme as exigências contidas nos termos dos anexos IV e V da DD nº 010/2006/C. Ao final, deverá ser entregue um relatório de investigação confirmatória (RIC). Os resultados análises deverão ser comparados com os valores de intervenção estabelecidos pelas tabelas NABR da CETESB ou pela CONAMA nº 420. Caso o resultado indique a existência de contaminantes em concentrações superiores aos valores considerados aceitáveis para os solos e águas subterrâneas, a área será classificada como AI e incluída no **cadastro de áreas contaminadas**. A área também poderá ser classificada como AI caso seja constatada a presença de contaminantes (combustível, óleo lubrificante, etc.) em fase livre no solo ou no aquífero. Caso a área não seja classificada como AI, esta poderá ser mantida como AP ou ser excluída (E) do cadastro de áreas contaminadas nas situações em que o uso da área tenha sido alterado para uma atividade sem potencial de contaminação.

A etapa seguinte é a **investigação detalhada e plano de intervenção**, que visa definir os limites das plumas de contaminação, determinar as concentrações das substâncias ou contaminantes de interesse, caracterizar o meio físico, avaliar a necessidade de adoção de medidas de intervenção, determinar as formas de intervenção a serem adotadas e fixar as metas de remediação a serem atingidas, visando a reabilitação da área para o uso declarado. Para a elaboração do plano de intervenção deverão ser elaboradas metas de remediação e definição da forma de remediação, considerando as características dos contaminantes, do meio físico e do uso e ocupação do solo.

No caso de serem implementadas medidas de remediação, deverá ser realizado o **monitoramento da eficiência e eficácia**, com frequência semestral, até que seja demonstrado que as metas de remediação estabelecidas para o caso foram atingidas, quando o sistema de remediação poderá ser desativado e iniciado o **monitoramento para encerramento**. O responsável legal deverá entregar o relatório da etapa e uma série de documentos listados, além de mapas das plumas, mapa de intervenção e relatório completo das atividades.

Constatada a presença de fase livre, o Responsável Legal deverá implantar e operar o sistema de recuperação da fase livre, visando sua remoção total. Esse

sistema poderá ser complementado ou aperfeiçoado após a delimitação da fase livre, obtida na etapa de investigação detalhada e plano de intervenção.

Por fim, dá-se início à última fase, a fase de **intervenção ou gerenciamento do risco**. Nesta, medidas de remediação, de controle institucional ou de controle de engenharia são implantadas conforme **plano de intervenção** (Figura 21). Após a implantação das medidas destinadas à remediação, atingidas as metas de remediação definidas para a área e, se for o caso, implantadas as medidas de controle institucional ou de controle de engenharia, dá-se início ao monitoramento para encerramento. Ao final do monitoramento para encerramento, havendo a manutenção das condições mencionadas e, se for o caso, implantadas as medidas de controle institucional ou de engenharia, o processo de reabilitação poderá ser encerrado.

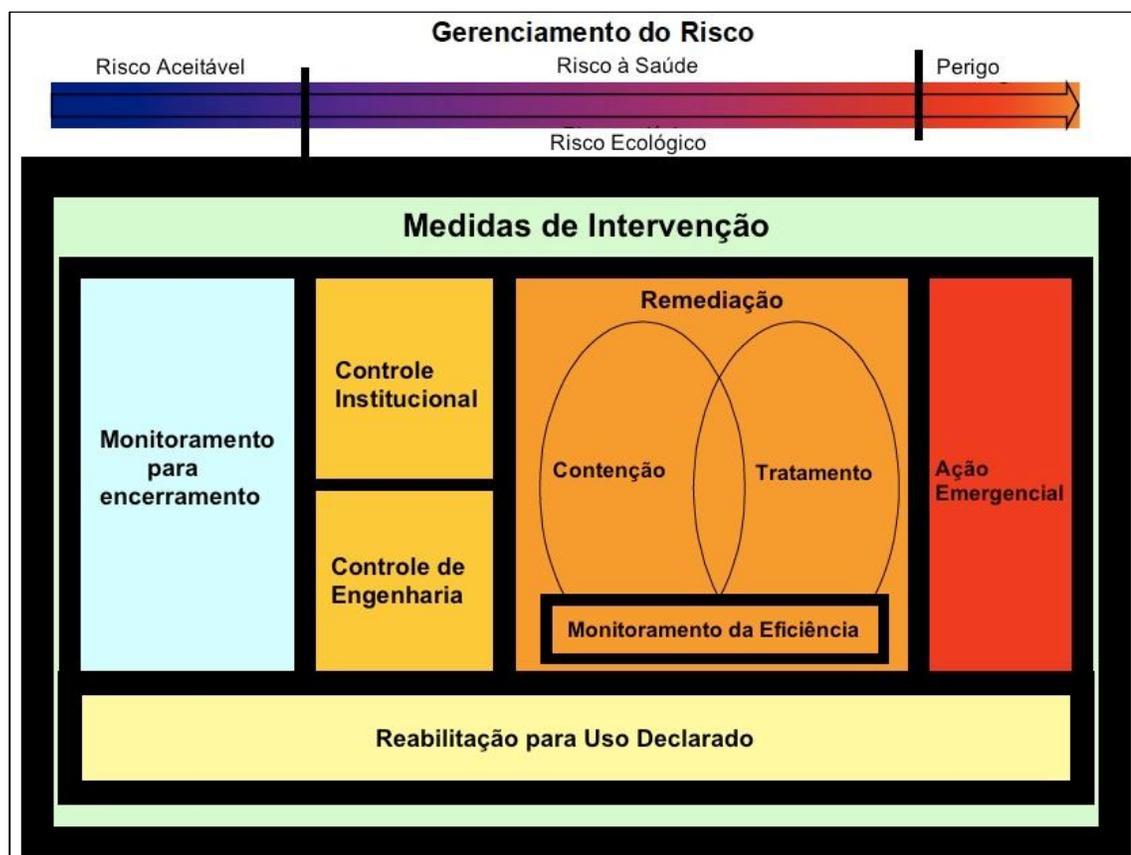


Figura 21 – Ações a serem adotadas no gerenciamento do risco

Fonte: CETESB (2007).

### 3.4.3 Análise de Risco

Atualmente a USEPA e a CETESB utilizam metodologias de gerenciamento de risco ao invés de apenas lidar com o perigo advindo da concentração dos contaminantes e a tentativa de limpar a área a níveis naturais de concentração. Estas metodologias não mais se baseiam no perigo, mas sim no risco que este perigo representa, obtendo assim um melhor aproveitamento dos recursos e esforços disponíveis (MARANHÃO et al., 2007).

A metodologia mais comumente utilizada atualmente é o *risk-based corrective action* (RBCA) (ASTM, 2000), que nada mais é que a adoção de medidas corretivas que categorizam a área de acordo com o risco e, por conseguinte, fornece medidas apropriadas para os diferentes níveis de risco. Com este processo, os gestores municipais e estaduais podem tomar medidas consistentes, rápidas e efetivas para uma variedade de áreas usando uma abordagem simples de três níveis. Quanto mais alto o nível da abordagem, maior será o grau de detalhamento necessário às informações coletadas, assim como mais rigorosos serão os modelos computacionais aplicados, o que leva a uma definição dos riscos cada vez mais precisa.

- **Nível 01:** é composto por uma avaliação de risco qualitativa, baseada em informações gerais avaliação do local. Esta informação seria necessário para identificar impactos ambientais óbvias (se houver), receptores sensíveis potencialmente afetados (escolas, casas, corpos d'água, etc), e as vias significativas de exposição (poços de água potável, o uso recreacional de ribeiros, transporte de vapor, etc) . Quando reunidos para uma série de sites, estas informações são normalmente suficiente para ajudar a categorizar locais e determinar prazos aceitáveis para a ação corretiva (imediatismo da resposta), se necessário.
- **Nível 02:** mais dados específicos do local é utilizado para determinar as ações adequados baseados no risco. Aqui, o impacto específico do local máximo razoável é avaliado através do uso de caracterização e monitoramento de dados específicos do local; projeções conservadoras de níveis esperados de contaminantes após o tratamento e migração da pluma em potencial, e os cenários de exposição máximo razoável. Esta

informação é usada para definir os objetivos de ação corretiva conservadores que são de proteção da saúde humana e do meio ambiente.

- **Nível 03:** centra-se completamente nas condições específicas do local. São usados descrições matemáticas mais sofisticadas de destino e transporte fenômenos e são geradas descrições da gama de possíveis exposições/ riscos. A este nível de complexidade, podem ser desenvolvidos modelos de avaliação de risco de local específico. Devido aos custos envolvidos, esta análise é adequado apenas para grandes áreas.

Os elementos da análise nestes três níveis podem ser visualizados na Figura 22.

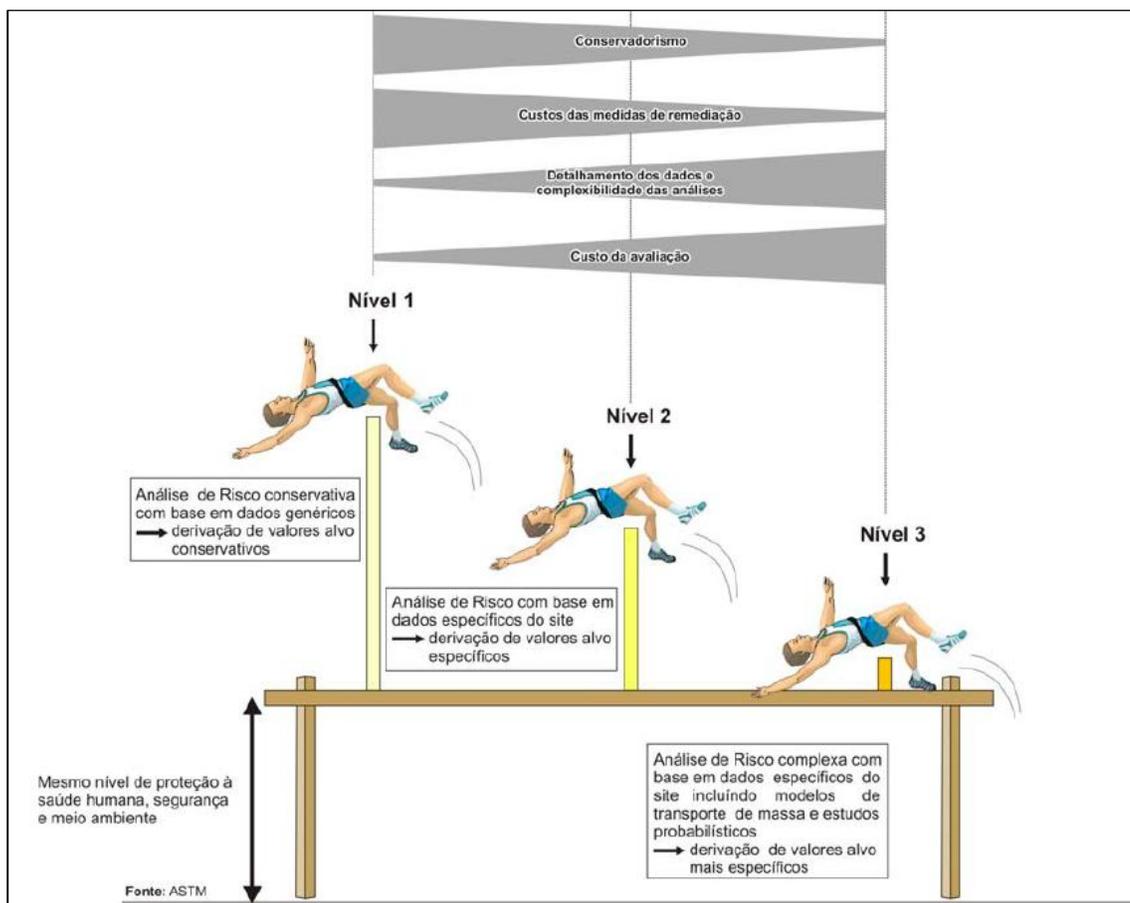


Figura 22 – Elementos da Análise de Risco do *risk-based corrective action* (RBCA).

Fonte: ASTM (2000).

Assim, após a classificação dos riscos, dá-se prosseguimento à fase de intervenção. O tipo de intervenção que pode ser direto ou indireto é definido em função das características da área ou das exigências das partes envolvidas. A intervenção direta significa a aplicação de medidas de remediação para redução dos níveis de contaminantes. Já a intervenção indireta pode ser a aplicação de mecanismos que impeçam o contato entre os potenciais receptores e as vias de exposição relevantes, não caracterizando desta forma o conceito de risco .

No Brasil, esta metodologia foi adaptada pela Câmara Ambiental do Comércio de Derivados de Petróleo que desenvolveu uma metodologia chamada de Ações Corretivas Baseadas no Risco (ACBR), publicada pela CETESB (2006). O fluxograma geral da metodologia da ACBR é apresentado na Figura 23.

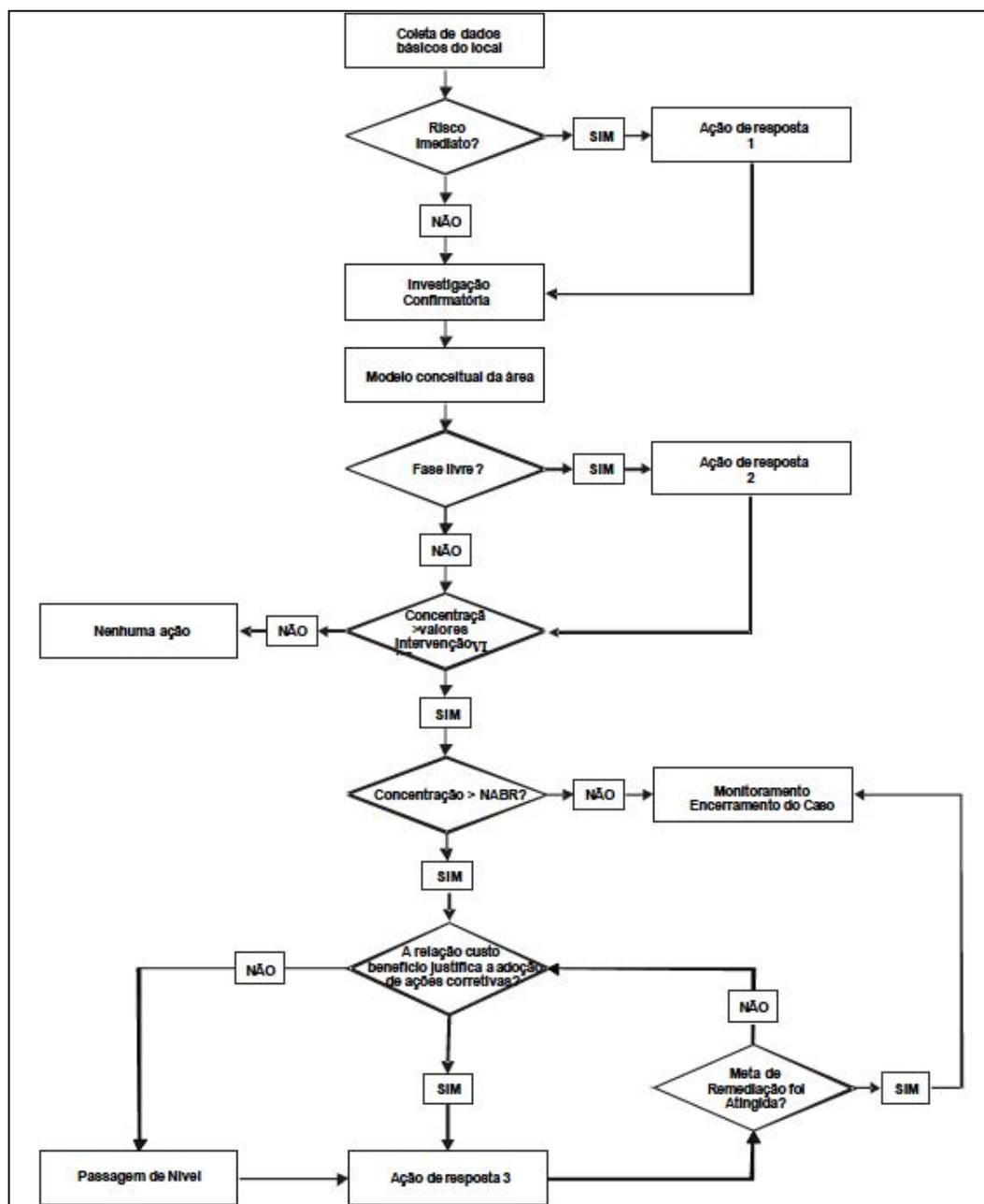


Figura 23 – Fluxograma geral de abordagem da metodologia ACBR.

### **Etapa 1 – Identificação do Risco Imediato:**

A aplicação do procedimento é iniciada pela suspeita ou confirmação da presença de HDP em um ou mais compartimentos do meio físico (solo superficial, solo subsuperficial, água subterrânea, água superficial), sendo a partir deste momento realizada Coleta de Dados Básicos do Local objetivando o reconhecimento do histórico da área, a identificação das possíveis fontes de contaminação e possíveis receptores. A área deve ser primeiramente avaliada em

função da existência de Risco Imediato, após a qual pode ser necessária a implementação da Ação de Resposta 1 (ações emergenciais).

A Tabela 8 apresenta cenários que indicam a existência de risco imediato e as ações emergenciais que devem ser adotadas em função dos cenários observados.

**Tabela 8 - Ações de Resposta em Função do Risco Imediato.**

<b>Indicações da existência de Risco Imediato</b>	<b>Ação de Resposta</b>
	Notificar as autoridades pertinentes, donos das propriedades, partes potencialmente afetadas e avaliar a necessidade de:
Níveis de explosividade iguais ou superiores à 20% do Limite Inferior de Explosividade (LIE) medido com explosímetro calibrado com hexano em uma residência ou em outra construção.	Evacuar os ocupantes e dar início às medidas de mitigação tais como ventilação/exaustão da edificação.
Vapores em níveis explosivos, conforme definido acima, estão presentes em sistema(s) de utilidade(s) subterrâneas, mas nenhuma construção ou residência foi afetada.	Isolar a área e dar início às medidas de mitigação tais como ventilação/exaustão da utilidade.
HDP em fase livre está presente na superfície do solo, em corpos d'água superficiais, em outras linhas de utilidades que não sejam as de suprimento de água.	Prevenir a migração futura de HDP em fase livre por meio de medidas de contenção apropriadas à situação, implantar sistema de recuperação de HDP em fase livre e restringir o acesso à área.
Um poço de captação de água em operação, uma linha de abastecimento de água, ou uma captação superficial de água para consumo humano estão impactados ou imediatamente ameaçados.	Notificar usuário(s) para não utilizar a água impactada e prover fonte alternativa de água, controlar hidráulicamente a água contaminada, e tratar a água no ponto de consumo.
Um habitat sensível (manguezais, restinga, mata atlântica, áreas de produção de alimentos, etc.), áreas de proteção ambiental ou receptores sensíveis (espécies economicamente importantes, espécies em perigo ou ameaçadas) estão impactados ou afetados	Minimizar a extensão do impacto com medidas de contenção apropriadas à situação e implementar gerenciamento do habitat para minimizar a exposição.

### **Etapa 2 – Identificação de Contaminação:**

Esta etapa se inicia por meio da investigação confirmatória. Com base nos dados obtidos na investigação confirmatória, deve ser elaborado o MCE. Este

modelo deve contemplar a origem dos contaminantes, o meio impactado, os meios de transporte, as vias de ingresso e as populações receptoras potenciais.

O modelo conceitual da área deverá ser atualizado sempre que forem obtidas novas informações relevantes e/ou mais detalhadas sobre a área ou ocorra alguma modificação relacionada ao uso e ocupação das áreas próximas à contaminação.

Definido o modelo conceitual e assegurado que as fontes primárias de contaminação foram eliminadas, a Ação de Resposta 2 deve ser implementada caso seja constatada a presença de fase livre com espessura e potencial de migração que determinem a necessidade de sua remoção.

A Ação de Resposta 2 compreende as seguintes ações:

- Notificação as autoridades pertinentes, donos das propriedades e partes potencialmente afetadas;
- delimitação total da pluma de fase livre;
- remoção da fase livre;

### **Etapa 3 – Ação de Resposta com base no NABR:**

Constatado que os valores observados são superiores ao NABR, deve ser realizada uma avaliação da Relação Custo-Benefício que subsidia a decisão de implementar as atividades previstas na Ação de Resposta 3 ou a execução de uma avaliação de risco específica para a área (Nível 2 ou 3), indicada no fluxograma como Passagem de Nível, para obtenção de novas metas de remediação.

A Ação de Resposta 3 pode compreender as seguintes ações:

Investigação detalhada.

- Ações de remediação.
- Ações de controle institucional.
- Ações de engenharia.

Implementadas as ações de remediação, estas deverão ser avaliadas quanto à eficácia das mesmas no cumprimento das metas estabelecidas para a remediação da área (NABR ou CMEA).

### 3.4.4 Medidas de Gestão Ambiental para Municípios

De todo o exposto neste trabalho, é possível notar o tamanho da gravidade e complexidade do problema que pode advir de uma má gestão dos postos de gasolina. É fato que acidentes acontecem, entretanto o número de áreas contaminadas por combustíveis no Brasil é exorbitante. As consequências deste fato, levam não só a contaminação do solo e da água subterrânea, mas também a riscos de explosões e incêndios. Sendo assim, a primeira medida que um gestor ambiental deve tomar é conscientizar o corpo técnico e os políticos do município sobre tal situação.

Sabe-se que as prefeituras são normalmente carentes de corpo técnico, tanto em número quanto em qualidade do mesmo, visto tamanhas são as dificuldades que um técnico bem intencionado enfrenta para realizar seu trabalho. É comum encontrar prefeituras onde o servidor público não possui o material básico de escritório, como computador, impressora ou mesmo mesa. A falta de materiais para a execução do trabalho chega a parecer intencional. Além disso, os baixos salários, a enorme quantidade de problemas a ser resolvidos por um montante relativamente pequeno de pessoas, os altos índices de corrupção e politicagem e um corpo político chegando algumas vezes ao nível de analfabetismo, levam a uma baixa procura de bons técnicos para cargos municipais.

Nestas situações de morosidade e frustração, a conscientização sobre as questões de contaminação se tornam um grande desafio para os técnicos ambientais. De maneira geral, existe uma cultura de que se não é visto, não é lembrado. E, como nestes casos onde o problema é subterrâneo e /ou invisível, na maioria das vezes eles são negligenciados. Chega a ser um contrassenso quando se pensa o grande alarde que é feito com relação aos riscos de desenvolvimento de câncer e o esforço que as pessoas fazem para ingerir alimentos anticancerígenas. Estas mesmas pessoas, incluem aquelas que não se importam com as consequências futuras de suas ações, principalmente em casos onde o efeito da contaminação é crônico, ou seja, pequenas doses ingeridas diariamente, que gerarão um efeito danoso para o organismo a longo prazo.

De todo modo, as legislações federais estão pressionando cada vez mais os municípios a adotarem medidas de gestão ambiental. É verdade que a maior parte dos municípios brasileiros está procurando se modernizar e se informatizar. Entretanto, lista-se aqui como um segundo passo para a adoção de um sistema de gestão ambiental para áreas contaminadas, o mapeamento das áreas suspeitas de contaminação. Para isto, o passo-chave para um bom mapeamento é a formação de um sistema municipal integrado com banco de dados georreferenciados. No banco de dados, deverão ser incorporados as mais diversas informações referentes ao município, tais como: informações advindas das secretarias municipais e prestadores de serviços; informações advindas de estudos tanto acadêmicos, como técnicos, encomendados ou não pela prefeitura; além de, informações de registros históricos, de cartórios, legislações etc.

Um bom sistema de informações georreferenciadas permite ao município, cruzar uma série de informações, visualizando-as e especializando-as. Isto permite a adoção de medidas mais eficazes, mais assertivas, sem sombra de dúvidas, mais rápidas e com melhores resultados. Entretanto, a formação deste banco de dados recai novamente sobre o problema listado anteriormente que normalmente a infraestrutura das prefeituras normalmente são sucateadas, com computadores defasados e/ou inviabilizados pelo mau uso dos servidores que ou não tiveram treinamento ou não possuem um funcionário de informática à disposição. Além disso, por experiência prática, nota-se uma grande dificuldade das pessoas em geral em aprender ou a se desenvolver nas habilidades com equipamentos de tecnologia. Neste país a mentalidade de muitas pessoas, infelizmente é não demonstrar interesse por algo desconhecido e inovador ou de desistir quando algo se apresenta difícil ou desafiador. Mais que isso, na maior parte das vezes, não é interesse do prefeito ou dos vereadores em organizar e informatizar os processos municipais, pois isto dificulta a possibilidade de atividades ilícitas e/ou expões os políticos em suas manobras e trocas de favores.

Além disso, quando o município recebe uma verba federal ou mesmo de algum empreendedor como medida compensatória de algum termo de ajustamento de conduta, para a realização de algum plano municipal, como o plano de saneamento básico (PMSB), plano de gerenciamento de recursos hídricos (PGRH) ou outros, que poderiam realizar tais mapeamentos, bem como treinamento dos técnicos. O que se vê na realidade, é que os problemas

começam na lei de licitações (Lei nº 8.666 de 1993) que, por um lado, intencionou dar mais confiança e transparência nas contratações públicas, na prática em alguns casos, impediu a escolha das prestadoras de serviços por parte do corpo técnico e condicionou a contratação daquelas ou com preços muito baixos (e de menor qualidade). Vale ressaltar aqui ainda, a complexidade e a problemática que é o financiamento de campanha dos políticos por parte das empresas privadas. Isto faz com que os políticos fiquem condicionados aos interesses das mesmas.

Sendo assim, o que se vê é que as prefeituras somente tomam alguma atitude quando o problema já está com magnitude elevada, tornando assim sua solução mais difícil e onerosa. Como todas as atividades preliminares, de instalação, operação e encerramento são de responsabilidade do empreendedor, dificilmente a responsabilidade cai sobre os prefeitos, a não ser em casos espetaculares como foi, por exemplo, o incêndio na boate Kiss em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Por estas e outras, não é à toa que os licenciamento ambientais passam a ser de competência do órgão estadual, que por ser estadual possui condições melhores de mantimento de um corpo técnico de melhor nível. Entretanto, em um país onde milhares de obras básicas de infraestruturas estão por fazer, o licenciamento ambiental é muitas vezes visto pelo próprio governo como um entrave, uma burocracia, um complicador, um estorvo para o desenvolvimento e o progresso.

Nesta conjuntura, percebe-se um sucateamento até mesmo órgãos estaduais e federais de meio ambiente. É só pegar o número de greves que são feitas pelos funcionários dos órgãos e pela morosidade dos processos. Para o empreendedor a situação se complica ainda mais, visto que o mesmo tem que arcar com todas as responsabilidades dos estudos e documentação, responsabilidades estas, que além de extremamente custosas financeiramente, podem ser punidas civilmente.

É um absurdo que em um mundo globalizado como o nosso, que ainda se tenha que imprimir um papel, pegar um carro e levar até o órgão ambiental, pegar uma fila, sentar na frente do funcionário do órgão, e vê-lo digitar, item por item do seu papel no sistema do computador dele. Até hoje, boa parte dos órgãos públicos não possuem softwares de gerenciamento de arquivos e de processos.

Outro absurdo o empreendedor ser responsável pelo estudo ambiental, pois o que se vê é que o mesmo contrata empresas consultoras que ficam refém do cliente e tentam viabilizar o empreendimento, muitas vezes fazendo algumas concessões ou pequenas negligências. Como o empreendedor já possui um custo altíssimo de instalação e operação, devido, dentre outras causas, à alta carga tributária do país, ele acaba vendo os estudos ambientais como mais uma carga a ser paga. Com isto, as consultorias ambientais, a fim de tornar seus serviços cada vez mais competitivos, fornecem ao seu corpo técnico salários baixos e com isto, muitas consultorias realizam seus estudos ambientais com corpo técnico com alta rotatividade, recheado de profissionais recém formados e inexperientes.

Para piorar, o corpo técnico do órgão ambiental recebe o estudo, mas sempre se posiciona com desconfiança para com o estudo apresentado, exatamente porque o mesmo foi elaborado por aquele que mais tem interesse na viabilização do empreendimento. A desmotivação e frustração do corpo técnico faz com que haja também uma grande rotatividade entre os funcionários, tornando assim as ações necessárias para um estudo científico embasado e comprovatório cada vez mais obscuras e incertas. Em outras palavras, há vezes que o empreendedor tem intenção em fazer um estudo correto, mas é comum as respostas do órgão tomarem tanto tempo para serem dadas e, quando são dadas, vem carregadas de tantas incertezas, que faz com que o empreendedor desista do empreendimento ou da ação.

Por fim, vale ainda ressaltar o regime de exceções que impera no país, onde o código de conduta não é seguido à risca; a lei que, na prática, “não é bem assim”, tende a formar uma cultura de indisciplina. Aliado ao fato de termos instituições jurídicas morosas, corruptas e ineficientes e ao fato de que as instituições de investigação e punição estarem, em muitos casos, mal geridas e corrompidas, faz como que fiscalização seja ineficaz. Afinal, em um país onde você precisa que uma instituição privada, em alguns casos, menos honesta que você, ateste a veracidade da sua própria assinatura ou de seu próprio documento – os cartórios – não se espera outra coisa senão, uma alta impunidade aliada a uma alta repressão. Ou seja, duplamente errado, o certo seria a punição assertiva e efetiva do responsável pelo dano, sem repressão e se possível, com conscientização e solução do problema.

Visto toda a problemática exposta assim, cita-se como medidas a serem tomadas pelos gestores municipais com relação à temática aqui abordada:

1º ) Investimentos maciços em educação. Inclui-se aqui a valorização dos professores tanto em salários quanto em incentivos à formação continuada e investimentos em infraestrutura.

2º ) Reformulação do sistema de ensino, não só modernizando os assuntos abordados em sala de aula, problematizando os para com a realidade do município, mas fornecendo para os alunos, noções de gestão, administração, meio ambiente etc.

3º) Modernização, Informatização e transparência dos processos da prefeitura, com instauração de sistema de qualidade como por exemplo a ISO 9.001. Somente quando estas três medidas forem tomadas é que sentiremos diferença nos órgãos públicos. É imprescindível que os gestores deste país vejam qualidade como prioridade em detrimento da quantidade. Infelizmente o que se vê hoje ainda é uma hipervalorização da quantidade e não da qualidade. Para as contaminações, a instauração de um sistema de controle e alerta de risco ajuda e muito na tomada de decisões e na efetividade nas respostas ao efeitos dos impactos ambientais.

4º) Reformas: tributárias, legislativas e políticas. O país como um todo precisa diminuir a carga tributária e simplifica-la em um sistema integrado e sustentável. Sustentável no sentido que um setor se alto se sustenta e que não há um tributo em um setor, para preencher um problema imediato em um outro setor, que tapa um buraco em outro setor e por aí vai até que não se sabe mais para onde vai e de onde vem o dinheiro. As legislações, apesar de modernas, apresentam falhas, que aparentemente são pequenas, mas levam a desastres exorbitantes como é a Lei das licitações e do licenciamento ambiental dentre outras. Estas falhas precisam ser corrigidas o mais rápido possível, dentre as mudanças: os estudos ambientais devem ser de responsabilidade do órgão ambiental e não do empreendedor. Além disso, é preciso que haja uma reforma completa, afinal, são tantas medidas provisórias, tantas alterações, tantos “puxadinhos”, que é um desafio entender como se deve proceder neste país. Ainda, a maquina administrativa precisa ser enxugada, não faz sentido o volume de pessoas em cargos administrativos, ganhando quantias enormes e cargos servindo como troca de favores.

5° ) Regras de contrato. Grandes problemas de gestão do país estão relacionados a questões de contratos. Os contratos condicionam o país a uma má gestão e ao superfaturamento dos serviços oferecidos por aqueles que possuem influencia suficiente para obter informações privilegiadas. Os contratos devem então ser divulgados e devem seguir regras previamente estabelecidas pelo governo.

6° ) Investimentos em tecnologias de geoprocessamento e mapeamento, tais como é realizado nos Estados Unidos, país onde um enorme banco de dados é disponibilizado para os cidadãos.

7° ) Fiscalização e punição: estas são as ultimas medidas a serem tomadas, e só devem ser tomadas em últimos casos. A ideia é que, se as medidas anteriores fossem tomadas, menor seria a necessidade de fiscalização e punição, sendo estas restritas somente àqueles realmente mal intencionados.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por este trabalho, pode-se ter uma pequena ideia de quanto estão avançados os conhecimentos na área de: contaminação por combustíveis; nos efeitos que os compostos causam no homem e no ambiente; assim como técnicas de biorremediação e de gestão ambiental. As metodologias e critérios para liberação dos postos estão definidos. O que falta é educação, uma boa administração, fiscalização e orientação das demais partes envolvidas.

Foi possível entender o forte potencial de contaminação advindos dos postos de combustíveis e o elevado teor de contaminantes por parte dos combustíveis. Estes contaminantes possuem um comportamento complexo e persistente, levando a uma série de danos ao ambiente e ao ser humano. Para a contaminação, uma série de medidas de remediações podem ser tomadas, sendo possível assim conter e até diminuir a expansão da pluma. Dentre as técnicas de remediação, a biorremediação foi avaliada como a de melhor custo-benefício, sendo necessária em alguns casos a adoção de técnicas de remediação complementares, não biológicas.

Entretanto, muito antes de se pensar em remediar, é muito mais eficiente prevenir os acidentes e as possibilidades de contaminação. Uma série de medidas foram elencadas com o intuito de promover uma gestão ambiental nos postos de gasolina a fim de evitar eventuais vazamentos e ou acidentes. Se as medidas elencadas forem tomadas, menor vai ser o custo ambiental e o desgaste das pessoas com relação a esta questão. Portanto, fica evidente a importância do papel desenvolvido pelos gestores municipais e a necessidade de gestores ambientais capacitados e a responsabilidades que estes gestores possuem perante a sociedade.

Se cada um fizer sua parte, mais fácil ficará a obtenção de um município limpo, agradável, funcional, seguro e correto.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ACADEMIA BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.786 - Posto de serviço — Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. 2005.

ABNT. ACADEMIA BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.722 - - Posto de Serviço – Tubulação não-metálica. 2001.

ANDRADE, J.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética química**, v. 35, p. 17–43, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 22/3/2014.

ANP. **Resolução ANP no 40 de 25 de Outubro de 2013**. 2013.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Portaria ANP nº 116, de 5 de julho de 2000. Regulamenta o exercício da atividade de revenda varejista de combustível automotivo.

BEAULIEU, M. The use of risk assessment and risk management in the revitalization of brownfields in North America: a controlled opening. In: CONTAMINATED SOIL'98, Edinburgh, 1998. Proceedings. London, The Reserch Center Karlsruhe (FZK), Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO and Scottish Enterprise, 1998, v.1, p. 51-59.

BITTENCOURT, B. A.; TAVARES, A. O. DO C. GESTÃO AMBIENTAL EM POSTO DE GASOLINA – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE LAURO DE FREITAS – BA. 4º Conferencia Nacional do Meio Ambiente. **Anais...** p.25p, 2013.

BNDES E CGEE. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável** / Organização BNDES e CGEE - Rio de Janeiro. 2008. Disponível para Download em: <http://www.cgEE.org.br/publicacoes/bietanol.php>. Último acesso em Março de 2012.

BRASIL. Lei nº 9433 de 1997 da Política Nacional de recursos hídricos. 1997.

\_\_\_\_\_. Lei de 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas lesivas ao meio ambiente. 1998.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 273. Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. **Diário Oficial da União**. 29 novembro 2000.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 232. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. **Diário Oficial da União**, 27 junho 2005.

\_\_\_\_\_. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº. 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União** 09 janeiro 1997.

\_\_\_\_\_. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Resolução nº 678**, de 31 de agosto de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2011a. Disponível em: [http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/faaeb80043db071cb94dff1d71237a88/Percentual\\_de\\_alcool.pdf?MOD=AJPERES](http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/faaeb80043db071cb94dff1d71237a88/Percentual_de_alcool.pdf?MOD=AJPERES). Último acesso em Julho de 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011b. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2011b. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Último acesso em Setembro de 2012.

BLOCK, J.H. BEALE, J.M. **Wilson and Gisvold's Textbook of Organic Medicinal and Pharmaceutical Chemistry**. 11<sup>th</sup> Ed. 2004.

BRATBERG, D., HOPKINS, L. **Risk Based Corrective Action and Risk Assessment Procedures in the United States: a 1995 Survey**. In: Proceedings of the 1995 Petroleum Hydrocarbon and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration Conference, Houston, Texas. Nov. p. 25-31. 1995.

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2004.

\_\_\_\_\_. **Ações Corretivas Baseadas em Risco Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos: Procedimentos.** A que se refere o artigo 1º, inciso VII, da Decisão de Diretoria da CETESB nº 010/2006/C - Anexo VII. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC):** A que se refere o artigo 1º, inciso IV, da Decisão de Diretoria da CETESB nº 010/2006/C - Anexo IV. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Quadro de Exigências para Licenciamento Ambiental de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis:** A que se refere o artigo 1º, inciso IV, da Decisão de Diretoria da CETESB nº 010/2006/C - Anexo II. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: mar. 2014.

\_\_\_\_\_. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI.** ,1994.

\_\_\_\_\_. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo - SP, 2001.

\_\_\_\_\_. **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 152/2007/C/E - Dispõe sobre procedimentos para gerenciamento de areia de fundição.** ,2007. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.

\_\_\_\_\_. **Texto explicativo - Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo.** 2012.

CHAPELLE, F.H. **Ground-Water Microbiology & Geochemistry.** 2<sup>nd</sup> Ed. New York, John Wiley & Sons, INC, 477 p. 2001.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 273 De 29 De Novembro 2000.**

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO Nº 362, DE 23 DE JUNHO DE 2005**

CORSEUIL, H.X. **Enhanced Degradation of Monoaromatic Hydrocarbons in Sandy Aquifer Materials by Inoculation Using Biologically Active Carbon Reactors**. PhD dissertation, Ann Arbor, MI, EUA, 1992.

CORSEUIL, H.X., WEBER, W.J., JR. **Potential Biomass Limitations on Rates of Degradation of Monoaromatic Hydrocarbons by Indigenous Microbes in Subsurface Soils**, *Wat. Res.*, v.28, p.1407-1414, 1994.

CORSEUIL, H. X.; DAL, M.; MARINS, M. Contaminação De Águas Subterrâneas Por Derramamentos De Gasolina: O Problema é grave? 1. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, p. 50–54, 1997. Disponível em: <[http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo\\_08.pdf](http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_08.pdf)>. .

CORSEUIL, H.X.; KAIPPER, B.I.A.; FERNANDES, M. **Cosolvency effect in subsurface systems contaminated with petroleum hydrocarbons and ethanol**. *Water Research*, v. 38, n. 6, p. 1449–1456. 2004.

COUTINHO, R. C. P.; GOMES, C. C. Técnicas para Remediação de aquíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** . Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e8d4cbabe081d15db94e34b6f4ced288\\_c28f9077c5a2df48c3fbcca60de14314.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e8d4cbabe081d15db94e34b6f4ced288_c28f9077c5a2df48c3fbcca60de14314.pdf)>. Acesso em: 27/5/2013.

COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; LIMA, M. DE; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação de solo contaminado com herbicidas triazínicos. **Ciênc. Agrotec.**, v. 32, p. 809–813, 2008.

CONAMA. RESOLUÇÃO No 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores 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 d. ,2009. Brasília, DF.

CORSEUIL, H. X.; DAL, M.; MARINS, M. CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR DERRAMAMENTOS DE GASOLINA: O PROBLEMA É GRAVE? 1. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, p. 50–54, 1997. Disponível em: <[http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo\\_08.pdf](http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_08.pdf)>. .

COUTINHO, R. C. P.; GOMES, C. C. Técnicas para Remediação de aquíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** . Disponível em:

<[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e8d4cbabe081d15db94e34b6f4ced288\\_c28f9077c5a2df48c3fbcca60de14314.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e8d4cbabe081d15db94e34b6f4ced288_c28f9077c5a2df48c3fbcca60de14314.pdf)>. Acesso em: 27/5/2013.

CWS. **Canada-Wide Standards for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil**. Ottawa, CA, 2001.

DOU, J.; LIU, X.; HU, Z.; DENG, D. Anaerobic BTEX biodegradation linked to nitrate and sulfate reduction. **Journal of Hazardous Materials**, v. 151, n. 2–3, p. 720–729, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407009053>>. .

DSF. DAVID SUZUKI FOUNDATION. **The Water We Drink. An International Comparison of Drinking Water Quality Standards and Guidelines**. 2006. Disponível para download em: <http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2006/DSF-HEHCwater-web.pdf>.

ENGENHARIA CIVIL. 2014. Disponível em: <http://www.engenhariacivil.com/contaminacao-solos-combustiveis>. Acesso em abr. 2014.

FATORAMBIENTAL. 2014. Disponível em: [http://www.fatorambiental.com.br/atuacao/proj\\_remoc\\_tanques\\_2.php](http://www.fatorambiental.com.br/atuacao/proj_remoc_tanques_2.php). Acesso em: Mar. de 2014.

FARHADIAN, M., VACHELARD, C., DUCHEZ, D., LARROCHE, C. **In situ bioremediation of monoaromatic pollutants in groundwater: A review**. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 13, p. 5296–5308. 2008.

FEITOSA F. A. C. & MANOEL FILHO F. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. 2 ed. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000. 391p.

GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4a ed. ed. São Paulo, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000: Anuário Estatístico do Brasil 2000**. Ano 2003. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de

População e Indicadores Sociais. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>.

IUGS. Instituto Geológico de Noruega. **Aguas Subterrâneas, ¿la solución para un planeta sediento?** 2007. Versão em espanhol. Disponível em: <[http://aiplanetatierra.igme.es/pdf\\_proCien/es/Aguas%20subterr%C3%A1neas-AIPT.pdf](http://aiplanetatierra.igme.es/pdf_proCien/es/Aguas%20subterr%C3%A1neas-AIPT.pdf)>. Acessado em Maio de 2013.

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. DE O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1192–1201, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a49v37n4.pdf>>. Acesso em: 29/3/2014.

KULKAMP, M.S. **Atenuação natural de hidrocarbonetos de petróleo em um aquífero contaminado com derramamento simultâneo de óleo diesel e etanol**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 176 p. 2003.

KAIPPER, B. I. A. **Influência do etanol na solubilidade de Hidrocarbonetos aromáticos em aquíferos contaminados por óleo diesel**, 2003. Universidade Federal de Santa Catarina.

LIMA, C.B.S. et. al. **Efluentes: a qualidade da água comprometida**. In: MENEGAT, R. et al. (Ed). Atlas ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 1998. p.157-158.

MARGESIN, R.; WALDER, G.; SCHINNER, F. **Bioremediation Assessment of a BTEX-Contaminated Soil**. Acta Biotechnologica. v. 23, n. 1, p. 29–36. 2003.

MARANHÃO, D.; TEIXEIRA, C. A.; TEIXEIRA, T. M. A. **Procedimentos de investigação e avaliação da contaminação em postos de combustíveis, utilizando metodologias de análise de risco: aplicação da ACBR em estudo de caso na RMS**, 2007. Universidade Federal da Bahia.

MASIERO, G.; LOPES, H. **Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia**. Revista Brasileira de Política Internacional, v.51, n. 2, p. 60–79. 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S00347329200800020005&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00347329200800020005&lng=pt&nrm=iso). Último acesso em Março de 2013.

MINEROPAR. 2014. **Postos de Combustíveis**. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=112>. Acesso em Mar. de 2014.

MME, M. D. M. E. E. **Balço energético nacional 2012**. Brasília, DF, 2012.

MME, M. D. M. E. E. **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Brasília, DF, 2013.

NETTO, A.; MOREIRA, J.; DIAS, A.; ARBILLA, G. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. **Química nova**, p. 765–773, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n6/3533.pdf>>. Acesso em: 29/3/2014.

PETROWIKI. 2014. Disponível em: [http://petrowiki.org/Controlling\\_liquid\\_leaks\\_from\\_tanks](http://petrowiki.org/Controlling_liquid_leaks_from_tanks). Acesso em: março de 2014.

POWERS, S. E.; HUNT, C. S.; HEERMANN, S. E.; CORSEUIL, H. X.; RICE, D.; ALVAREZ, P. J. J. The transport and fate of ethanol and BTEX in groundwater contaminated by gasohol. **CRC Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 31 n.1, p. 79-123, 2001.

PRODUCTIVITY COMMISSION. **Arrangements for Setting Drinking Water Standards. International benchmarking**. AusInfo, Canberra. 2000. Disponível em: [http://www.pc.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0019/9190/drinkw.pdf](http://www.pc.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/9190/drinkw.pdf). Último acesso em março de 2013.

SÁNCHEZ, O.; FERRERA, I.; VIGUÉS, N.; et al. Presence of opportunistic oil-degrading microorganisms operating at the initial steps of oil extraction and handling. **International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology**, v. 9, n. 2, p. 119–124, 2006. Department of Genetics and Microbiology, Autonomous University of Barcelona, Bellaterra, Spain. [olga.sanchez@uab.es](mailto:olga.sanchez@uab.es). Disponível em: <<http://europepmc.org/abstract/MED/16835842>>. .

SAX, N.I.; LEWIS R.J., **Eds. Condensed Chemical Dictionary, 11<sup>th</sup> Ed.** Van Nostrand Reinhold Co. New York. 1987.

SERBENT, M. P. **Influência Do Etanol E Do Sulfato Na Biodegradação De Compostos Aromáticos Em Águas Subterrâneas Contaminadas Com Misturas De Combustíveis**, 2012. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

SINDICOM. SINDICATO DE REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS. 2011. Disponível em:  
<<http://www.sindiccombustiveis.com.br>>. Acesso em: abr. de 2013.

SILVA, D.J. **Uma estrutura cognitiva para o processo de pesquisa. Introdução à pesquisa em Engenharia Ambiental**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Março-Junho de 2010. Notas de aula. Digitado.

SILVA, R.L.B.; BARRA, C.M.; MONTEIRO, T.C.N.; BRILHANTE, O.M. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e inorgânicos e possíveis consequências para a saúde no município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, v.18, n. 6, p. 1599–1607. 2002.

UOL Meio Ambiente. **Denúncia: vazamento de combustível em rio no Embu das Artes**. Disponível em: <http://blogs.jovempan.uol.com.br/meioambiente/denuncia-vazamento-de-oleo-em-rio-no-embu-das-artes/> . Acesso em Fev. 2014.

USEPA. A Citizen ' s Guide to Bioremediation. , p. 2, 2001. Disponível em:  
<[http://www.epa.gov/tio/download/citizens/a\\_citizens\\_guide\\_to\\_bioremediation.pdf](http://www.epa.gov/tio/download/citizens/a_citizens_guide_to_bioremediation.pdf)>. .

USEPA. **Beneficial reuse of foundry sand: a review of state practices**. Washington, DC, 2002.

USEPA. **How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers**. 2004.

VROM - MINISTRY OF HOUSING, PHYSICAL PLANNING AND ENVIRONMENT, **The Netherlands Soil Protection Act**. 1987.

WIEDEMEIER, T.H.; RIFAI, H.S.; NEWEL, C.J; WILSON, J.T. Natural Attenuation of Fuels and Chlorinated Solvents in the Subsurface. New York:

**John Wiley & Sons, Inc.** 617 p. 1999. Disponível em: [http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=LVYRrozBhqC&oi=fnd&pg=PR11&dq=natural+attenuation+of+fuels+and&ots=NxtM8sYm2Q&sig=DWnDuNzOuDfCEuN\\_2su4R8xe8ls#v=onepage&q=electron&f=false](http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=LVYRrozBhqC&oi=fnd&pg=PR11&dq=natural+attenuation+of+fuels+and&ots=NxtM8sYm2Q&sig=DWnDuNzOuDfCEuN_2su4R8xe8ls#v=onepage&q=electron&f=false).

WIEDEMEIER, T.H.; WILSON, J.T.; KAMPBELL, D.H.; MILLER, R.N.; HANSEN, J.E. Technical Protocol for Implementing Intrinsic Remediation with Long-term Monitoring for Natural Attenuation of Fuel Contamination Dissolved in Groundwater. **Air Force Center for Environmental Excellence. Technology Transfer Division. Brooks Air Force Base, Texas.V.1,** 295p.1999b. Disponível para download em: <http://www.afcee.af.mil/shared/media/document/AFD-071211-039.pdf>.