



V.1, N.1, 2017

**PROCESSOS DE REMEDIAÇÃO PARA HIDROCARBONETOS E ETANOL RESULTANTES
DA CONTAMINAÇÃO DOS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

**PROCESSES OF REMEDIATION FOR HYDROCARBONS AND ETHANOL RESULTING
FROM CONTAMINATION OF FUEL STATIONS**

Monica da Silva Leite¹, Marisa Vianna Mesquita²

RESUMO: É conhecido que os postos de abastecimentos lidam diariamente com os problemas decorrentes de vazamentos e acidentes nos processos de operação. O aumento do número de postos de gasolina nas grandes cidades foi marcante a partir da década de 70 decorrente do uso do etanol no país, com isso, os problemas de contaminação aumentaram e também as normas e procedimentos criados. Devido ao contínuo crescimento urbano, esses números só tendem a aumentar justificando a importância cada vez maior de se conhecer os processos de contaminação por esses produtos e criar tecnologias de remediação momentâneas e em longo prazo com procedimentos e normas técnicas de monitoramento. Dentre os métodos utilizados atualmente para remediação de contaminantes de combustíveis tem-se: recuperação de produto livre, bioventilação, extração de solventes, incineração, torres de aeração, adsorção em carvão ativado, biorreatores, biorremediação no local, bombeamento e tratamento, remoção de gases, barreiras reativas, oxidação, lavagem de solo, entre outros. Esses processos servem tanto para remediar como controlar o movimento das plumas de contaminação o que gera grandes gastos econômicos devido a necessidade de um processo de monitoramento ao longo de pelo menos dois anos após a remediação.

PALAVRAS-CHAVES: Hidrocarbonetos. Etanol. Contaminação. Remediação Ambiental.

ABSTRACT: *It is well known that the supply deal daily with the problems resulting from leaks and accidents in the process of operation. The increase in the number of gas stations in large cities was remarkable from the 70s due to the use of ethanol in the country, with that, the problems of contamination and have increased and also created rules and procedures. Due to the continuous urban growth, these numbers only tend to increase justifying the increasing importance of understanding the processes of contamination of these products and create momentary remediation and long-term procedures and technical standards of monitoring technologies. Among the methods currently used for remediation of fuel contaminants have been: recovery of free product, bio-ventilation, solvent extraction, incineration, aeration towers, adsorption on activated carbon, bioreactors bioremediation on site pumping and treatment, removal of gases,*

¹ Aluna do Curso Tecnológico de Gestão Ambiental, trabalho desenvolvido no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPQ/UnG/Rodada I – 2013. Monica.leite@edu.ung.br

² Docente e pesquisadora da UnG/Ser Educacional. mvmesquita@prof.ung.br



V.1, N.1, 2017

reactive barriers, oxidation, soil washing, among others. These processes serve as a remediation for both controlling the movement of the contamination plumes that generate large economic expenses because they still have a monitoring process over at least two years after remediation.

KEYWORDS: *Hydrocarbons. Ethanol. Contamination. Environmental Remediation.*

INTRODUÇÃO

A proteção ao meio ambiente deixou de ser apenas uma exposição metódica e tornou-se um assunto de extrema importância para o futuro da existência humana e também o futuro do planeta. Sánchez (2008) conceitua a degradação ambiental ou dano ambiental como qualquer alteração adversa das características do meio ambiente, o que representaria, em outras palavras, um impacto ambiental negativo. Ainda de acordo com esse autor, o agente causador da degradação ambiental é sempre o ser humano, pois pondera que os processos naturais não degradam ambientes, apenas causam mudanças.

Para Leme (1984) o homem tem utilizado o ambiente natural em que vive, aprimorando a sua saúde e conforto, mas em sua ação vem manejando inadequadamente os recursos ambientais, ele agride continuamente os sistemas ecológicos naturais, gerando forças antagônicas que se opõem a sua vida, contribuindo desta forma para a sua destruição.

De acordo com Ferreira e Honorato (2011) o derramamento e o vazamento dos combustíveis podem apresentar perigo para as pessoas e os animais, tais substâncias podem matar a vegetação e impedir que qualquer vegetação cresça na área por muitos anos.

A importância do tema abordado nesse artigo é resultado do aumento nos casos de contaminação de solo e água subterrânea por hidrocarbonetos e etanol, tendo como principal fonte os postos de abastecimento em decorrência de possíveis vazamentos ou derrames de produtos. No Brasil atualmente 20 a 30% dos postos possuem algum problema relacionado a vazamento que devido à baixa vazão em subsuperfície demandam de tempo até que seus efeitos sejam percebidos.

Com o crescimento dos grandes centros urbanos o número de pontos utilizados para abastecimentos aumentou em consequência da maior demanda de etanol no país gerando a preocupação da criação de tecnologias e metodologias de remediação imediata e a longo prazo do solo



V.1, N.1, 2017

e da água através de procedimentos e normas técnicas de monitoramento.

OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é contribuir para compreensão da qualidade ambiental de áreas que estão hoje contaminadas e conhecer as técnicas utilizadas para os processos de recuperação e remediação.

Para tal alguns objetivos específicos foram elencados como: conceituar e adquirir referencial teórico, definir os produtos geradores da contaminação e os diferentes tipos de hidrocarbonetos e etanol; e identificar tecnologias e processos de recuperação e remediação utilizados atualmente no mercado em casos de contaminação por postos de combustíveis.

POSTOS DE ABASTECIMENTO

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 273/2000 os postos podem ser classificados como:

- Posto Revendedor (PR): instalação onde se exerça a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispoendo de equipamentos e sistemas para

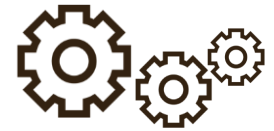
armazenamentos de combustíveis automotivos e equipamentos medidores.

- Posto de Abastecimento (PA): Instalação que possui equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustível automotivo, com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas; e cujos produtos sejam destinados exclusivamente ao uso do detentor das instalações ou de grupos fechados de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de empresas, cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados.

- Instalação de Sistema Retalhista (ISR): 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.

- Posto Flutuante (PF): toda embarcação sem propulsão empregada para o armazenamento, distribuição e comercio de combustíveis que operam em local fixo e determinado.

Os postos de abastecimento de combustíveis podem ser divididos em classes de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – (ABNT) através da NBR 13.786/05. As classes são definidas através de uma análise feita em



V.1, N.1, 2017

um perímetro de 100 m, usando como ponto de referência o posto de serviço:

- Classe 0: quando não possuir nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes;

- Classe 1: rua com galeria de drenagem de águas; galeria de esgoto ou de serviços; fossa em área urbana; edifício multifamiliar sem garagem subterrânea, até quatro andares;

- Classe 2: edifício multifamiliar com garagem subterrânea, com mais de quatro andares ou túnel construídos no subsolo, poço de água, artesianos ou não, para consumo doméstico (na área do posto inclusive), casa de espetáculo ou templo;

- Classe 3: hospital, metrô, atividades industriais de risco (conforme NB – 16), água do subsolo utilizada para consumo público da cidade (independente do perímetro de 100m.), campos naturais superficiais de água, destinados a abastecimento doméstico; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático, e mergulho); irrigação; criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

Os vazamentos de combustíveis podem ocorrer pelos seguintes motivos:

- derramamentos superficiais constantes e sucessivos junto às bombas e bocais durante a operação de transferência do

produto para o tanque ou o abastecimento devido à infiltração nas rachaduras do piso do posto;

- vazamentos na própria bomba de abastecimento, no sistema ou no tanque, devido à corrosão;

- falhas estruturais ou das tubulações subterrâneas conectadas ao tanque;

- instalação inadequada.

De acordo com os estudos de Siqueira, Anjos e Souza (2002), para efeito de um melhor entendimento do comportamento dos combustíveis derivados de petróleo no subsolo é necessário que se tenha em mente duas características fundamentais da gasolina em relação à água: sua menor densidade e sua alta solubilidade (20-80 mg/L).

A partir do vazamento, dependendo das condições de permeabilidade do subsolo, o processo de migração da gasolina em direção ao lençol freático ocorre em três estágios distintos:

- No primeiro estágio, a gasolina se infiltra no terreno sob influência da força gravitacional;

- No segundo estágio, a infiltração da gasolina cessa quando essa alcança o lençol freático e;

- No terceiro estágio, ocorre uma expressiva migração lateral dos componentes dissolvidos da gasolina segundo a direção do fluxo das águas subterrâneas.



V.1, N.1, 2017

O processo de transferência dos contaminantes até a água subterrânea pode demorar anos, em fases distintas que podem ser divididas em:

- Fase Sorvida: onde o contaminante passa pelos poros dos componentes geológicos do local. Sorção é a palavra usada para descrever ambas as etapas de absorção e adsorção. A interação com a superfície dos sólidos do solo é chamada de adsorção, já a interação com o interior desses sólidos recebe o nome de absorção (BEDIENT, RIFAI e NEWELL, 1999).

- Fase Livre: quando um derivado do petróleo é derramado e atinge a zona saturada, por ser imiscível e apresentar densidade menor que da água subterrânea, aparece como uma camada flutuante sobre o lençol freático (SILVA, 2002).

- Fase dissolvida: o contato da fase livre com a superfície do lençol freático causa a transferência de moléculas do produto para a água subterrânea, gerando a fase dissolvida, que também pode ser vista na umidade do solo encontrado na zona insaturada (OLIVEIRA e LOUREIRO, 1990).

- Fase vapor: a gasolina e outros compostos que por serem menos densos que a água, quando estão na superfície do solo e chegam ao lençol freático formam a fase livre, onde algumas moléculas são liberadas devido à volatilização para os poros vazios do material geológico da região

contaminada. A facilidade na movimentação na fase de vapor no solo irá depender de alguns fatores como: porosidade, densidade, conteúdo de água e de ar, espessura da camada superficial do solo (zona vadosa), fração de carbono orgânico e coeficiente de difusão em fase líquida e gasosa (OLIVEIRA e LOUREIRO, 1990).

CONTAMINANTES

São considerados contaminantes o vazamento dos seguintes produtos a seguir:

Hidrocarbonetos: Os hidrocarbonetos são compostos de carbono (82 a 87%) e hidrogênio (11 a 15%), mas podem ter composições e estruturas moleculares diferentes, estando presentes na composição do petróleo, junto com outras diferentes substâncias químicas, sendo composto por no mínimo de 200 a 300 substâncias, dentre essas as principais são: nitrogênio (0% a 0,5%), enxofre (0% a 6%), oxigênio (0% a 3,5%), também estão presentes alguns metais como níquel e o vanádio em baixas concentrações e hidrocarbonetos (50% a 98%). De acordo com *American Petroleum Institute* - API (1999), os hidrocarbonetos podem ser divididos em quatro classes:

- Aromáticos: hidrocarbonetos que possuem cadeia benzênica (insaturada) são os que apresentam maior toxicidade aos seres vivos, sendo associados a efeitos crônicos e



V.1, N.1, 2017

cancerígenos; possuem degradação lenta. Quando possuem dois ou mais anéis aromáticos são chamados de Hidrocarboneto Policíclico Aromáticos-(HPA), podendo ser classificados como Poluente Orgânico Persistente (POP). Sendo originados na combustão incompleta da matéria orgânica, são altamente perigosos, e no meio ambiente se dispersam na forma de compostos mais complexos. Para Sardella (1999) os hidrocarbonetos podem se apresentar, em condições ambientes, nas fases líquida e sólida. As principais fontes desses compostos de onde se pode extraí-los e purificá-los são a hulha (alcatrão da hulha) e o petróleo.

- Alcanos (parafinas ou alifáticos saturados): possuem cadeias simples e ramificadas. Essa classe é a mais encontrada na composição da maioria dos petróleos. Têm como características serem inodoros, incolores e poucos reativos. São facilmente biodegradados e sua toxicidade é baixa. De acordo com Sardella (1999) os alcanos ocorrem na Natureza, de onde se pode extraí-los e purificá-los. São utilizados, dentre outras coisas, como matéria prima para o preparo de muitos compostos na indústria petroquímica e também como combustíveis. Estão presentes no gás natural, no xisto betuminoso e na cera mineral. Como são apolares, são insolúveis

em solventes fortemente polarizados, como a água; porém, são solúveis em apolares, como o benzeno, e em solventes fracamente polarizados, como o álcool.

- Alcenos (olefinas): são também chamados de *hidrocarbonetos etilênicos* ou *olefinas* e ao contrário dos alcanos, são muito raras na Natureza. Possuem cadeia aberta e apresentam semelhança aos alcanos devido às ligações duplas entre átomos de carbonos. No petróleo aparecem em baixas quantidades, chegando às vezes a ser ausentes. Já nos produtos originados do refino do petróleo como a gasolina, os alcenos são encontrados em grande quantidade. Os alcenos são incolores, inodoros, insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos como o álcool, o éter, o benzeno etc.

- Cicloalcanos (Naftas): são hidrocarbonetos que possuem cadeias fechadas (cíclicas), saturadas e homogêneas. Depois dos alcanos são os mais encontrados na composição da maioria dos petróleos. Podem ser encontrados na natureza em determinados tipos de petróleo, especialmente o petróleo russo (Cáucaso). O nível de toxicidade depende de sua estrutura molecular, são resistentes à biodegradação, não são solúveis na água, pois esta é polarizada, mas se solubilizam em solventes apolares ou fracamente



V.1, N.1, 2017

polares como o tetracloreto de carbono ou o éter (SARDELLA, 1999).

Petróleo: De acordo com Sardella (1999) o petróleo é um líquido oleoso, insolúvel em água e mais leve que esta, de cor que varia do pardo-escuro a negro e encontra-se no subsolo de várias regiões do globo terrestre. É uma mistura complexa de muitos compostos, com predominância de hidrocarbonetos. Sua composição varia de região para região, assim o petróleo da América é constituído por alcanos, e o de outras regiões constituído por ciclanos, outros apresentam ciclanos e alcanos e ainda há os que são constituídos por alto teor de hidrocarbonetos aromáticos. As maiores jazidas exploradas encontram-se no México, Venezuela, Rússia, Romênia, Polônia, Estados Unidos e países árabes. O petróleo de maneira geral é extraído entre as camadas de água salgada e gases, os quais o submetem a forte pressão, após o solo ser perfurado e esta perfuração atingir o lençol de petróleo, este jorra para a superfície devido a essa forte pressão. Com a saída dos gases, a pressão diminui e, em consequência, cessa o jorro. Após essa etapa o petróleo é retirado com o auxílio de bombas.

Gasolina: De acordo com a Petrobras a gasolina é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos e, em menor quantidade os compostos

oxigenados. Esses hidrocarbonetos são, em geral, mais "leves" do que aqueles que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia carbônica (normalmente de 4 a 12 átomos de carbono). Além dos hidrocarbonetos e dos compostos oxigenados, a gasolina contém compostos de enxofre, compostos de nitrogênio e compostos metálicos, todos eles em baixas concentrações; a faixa de destilação da gasolina automotiva varia de 30 a 220°C.

A gasolina básica (sem compostos oxigenados) possui uma composição complexa, a sua formulação pode demandar a utilização de diversas correntes nobres oriundas do processamento do petróleo como nafta leve (produto obtido a partir da destilação direta do petróleo), nafta craqueada (obtida a partir da quebra de moléculas de hidrocarbonetos mais pesados - gasóleos), nafta reformada (obtida de um processo que aumenta a quantidade de substâncias aromáticas), nafta alquilada (obtida de um processo que produz iso-parafinas de alta octanagem a partir de iso-butanos e olefinas). É um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos aromáticos, olefínicos e saturados, formado por cadeias carbônicas com 4 a 12 átomos de carbono, pode conter compostos de enxofre, nitrogênio e metais



V.1, N.1, 2017

sendo estes em baixas concentrações (MOREAU e SIQUEIRA, 2008).

Diesel: A maior parte de sua composição se dá por hidrocarbonetos alifáticos constituídos por átomos de carbono, hidrogênio e pequenas quantidades de enxofre, nitrogênio e oxigênio. É considerado um produto inflamável, tóxico e volátil, sendo um pouco mais denso que a querosene destilada entre 250° a 400°C (SARDELLA, 1999).

Etanol e álcool anidro: De acordo com Moreau e Siqueira (2008), a partir dos anos 30 o álcool começou a ser utilizado como aditivo para a gasolina. Com o Decreto Federal 19.717, do dia 20 de fevereiro de 1931 começou a vigorar a lei no país, a qual toda a gasolina comercializada teria na sua composição 5% v/v (volume/volume) de álcool anidro. A porcentagem de álcool anidro na gasolina sofreu variações durante os anos, realizadas pelas diretrizes das políticas energéticas, dependendo do preço do açúcar e do álcool no mercado externo. No ano de 1966 o limite de álcool anidro na gasolina foi alterado, a legislação elevou de 5 para 10% v/v. Com a criação do PROÁLCOOL (Programa Nacional do Álcool), o programa sofreu uma grande crise, no abastecimento de álcool na década de 80, devido à grande demanda de carros a álcool. Com a crise do programa o percentual de álcool anidro na gasolina se

manteve instável: em 1994 foi determinado um percentual de 22% v/v, já em 1999 o percentual foi para 26%, e em 2006 para 20%, mas se sabe que os motores a gasolina mais atuais, suportam uma adição de 30% de álcool.

Com uma mistura de 20 a 26% de etanol, a gasolina comercializada no Brasil é diferente quando comparada a outras comercializadas em outros países. O etanol quando adicionado ao benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos que são componentes da gasolina, causam reações diferentes comparadas as estudadas em outros países. A adição de compostos oxigenados como o etanol serve para aumentar a octanagem do motor e diminuir o nível de ozônio na atmosfera, já que a emissão de monóxido de carbono é menor (FERREIRA e HONORATO, 2011).

Compostos BTEX: A sigla BTEX tem origem dos seguintes componentes químicos:

- Benzeno: de acordo com Finotti, Caicedo e Rodrigues (2001) quando em contato com o meio ambiente o benzeno apresenta alta volatilidade, e por interagir com a matéria orgânica do solo sua adsorção é baixa e como consequência pode alcançar as águas subterrâneas; já a parte que evaporou quando em contato com a atmosfera não consegue ser decomposta por fotólise, ou seja, não consegue ser decomposta pela luz



V.1, N.1, 2017

ou radiação ultravioleta, mas são reagentes com radicais produzidos por processos fotoquímicos como os radicais hidroxil. São retirados da atmosfera através da sua solubilização pela precipitação, ou seja, pela água da chuva e assim retornam para a água e/ou solo.

De acordo com Sardella (1999) o benzeno é utilizado, entre outras coisas, como solvente de borracha, resinas, gorduras, graxas etc., na preparação do fenol e da anilina (produtos de grande importância na indústria) e na preparação de inseticidas como benzeno hexa Clorado (BHC) e diclorodifeniltricloroetano (DDT).

- Etilbenzeno: é um composto tóxico de alta volatilidade, em condições ambientais subsuperficiais, sua solubilidade não é tão grande porém penetra no solo sendo lixiviado até a água subterrânea. É um composto biodegradável e não bioacumula nas cadeias alimentares. Sua degradação em águas subterrâneas pode ser por processo natural, sendo relativamente rápida, não sofre hidrólise. Na atmosfera pode vir a reagir com hidroxil ou através da precipitação retornar ao solo (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUES, 2001).

- Tolueno: para Sardella (1999) é um líquido incolor, de cheiro agradável, menos denso que a água e imiscível com ela, que se

solidifica a -93°C e ferve a $+110,6^{\circ}\text{C}$. É um composto volátil, conhecido como *toluol*, utilizado como solvente, como matéria-prima na indústria de corantes e na fabricação de explosivos (TNT-Trinitrotolueno). No caso de um derramamento no solo o tolueno se comporta de forma bem parecida com o benzeno, na água pode sofrer volatilização ou biodegradação em condições anaeróbias é rápida quando encontrado em pouca quantidade (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUES, 2001).

- Xileno (*O-xileno*, *m-xileno* e *p-xileno*): sua principal fonte de contato com o meio ambiente é através da gasolina, tendo outra possibilidade como em agrotóxicos. Na água o xileno não sofre hidrólise, mas é retirado do meio através de sua volatilização, na atmosfera pode interagir com radicais hidroxil ou pode ser removido através da precipitação (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUES, 2001). Em contato com o solo, uma parte infiltra, podendo chegar à água subterrânea, sua adsorção não é alta, é sujeito a degradação natural. Já na água subterrânea sua degradação é lenta e pode permanecer por anos (EPA, 1999).



V.1, N.1, 2017

**TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO
UTILIZADAS EM POSTOS DE
ABASTECIMENTOS**

A escolha da técnica adequada vai depender da área contaminada, das condições físicas, químicas e biológicas do local contaminado, da concentração do contaminante e do tempo requerido para a degradação ou a remoção do composto alvo, conforme a técnica empregada (ANDRADE, AUGUSTO e JARDIM, 2010).

Para áreas contaminadas por postos de abastecimentos são utilizadas as seguintes metodologias e técnicas de remediação:

Atenuação Natural: é a remediação passiva do solo que envolve a ocorrência de diversos processos, de origens naturais, como a biodegradação, volatilização, dispersão, diluição e a adsorção promovidas na superfície. Mas somente a biodegradação, facilitada por microrganismos, destrói fisicamente os contaminantes de interesse. Os demais processos mencionados envolvem basicamente, a transferência dos contaminantes de um local para o outro ou a retenção do contaminante.

A vantagem do uso da atenuação natural é que, mesmo sem o acréscimo de nutrientes no solo ou a adequação de qualquer condição ambiental, a redução do contaminante pode acontecer de maneira

eficiente e contínua por conta do processo de adaptação natural da microbiota existente no solo impactado. Desta forma, os microrganismos passam a utilizar em seus metabolismos os compostos orgânicos poluentes como fontes de carbono, e a partir daí acontece a redução das concentrações dessas substâncias no decorrer do tempo (ROBB e MOYER, 2001).

Este tipo de remediação requer cautela, pois as condições do meio ambiente, o tipo e a concentração dos contaminantes, podem não contribuir para a redução de substâncias tóxicas e recalcitrantes, assim aumentando os riscos de contaminação para os seres humanos, a fauna e a flora. Já que é um processo que pode durar meses e/ou anos, é um tipo de remediação lenta, assim necessitando de uma monitorização que é denominado de "atenuação natural monitorada" (ANM).

Biorremediação: esta remediação envolve a utilização de microrganismos de ocorrência natural (nativos) ou cultivados, para degradar ou mobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. Os microrganismos utilizados são bactérias, fungos filamentosos e leveduras, sendo que as bactérias são as mais utilizadas, desse modo são consideradas como o elemento principal em trabalhos que envolvem a biodegradação de contaminantes por destruírem ou transformarem os



V.1, N.1, 2017

contaminantes potencialmente perigosos em compostos menos danosos ao ser humano e meio ambiente (NRC, 1993).

Extração Multifásica (MPE): ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo, onde os poços de extração ficam distribuídos na área de interesse. Após a aplicação do vácuo nos poços de extração, cria-se um gradiente de pressão que acontece quando a pressão do ar varia de um lugar para o outro e dirigido para estes pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. A fase livre deve ser direcionada para uma caixa separadora de água e óleo, com o combustível recuperado sendo armazenado em tambores e a água contaminada destinada para tratamento de filtro de carvão ativado para posterior reinjeção. O vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e lançado na atmosfera (FURTADO, 2005).

Extração de Vapores no Solo (SVE): também conhecida como *Soil Vapor Extraction*, é uma técnica de remediação física, aplicada para zonas não saturadas, na qual se aplica vácuo com o objetivo de induzir o fluxo controlado de ar e assim remover contaminantes voláteis e semivoláteis do solo. Utilizada para extração de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) (EGLE, 2010).

Lavagem de Solo: técnica aplicada *in-situ* também conhecida como “*Soil Flushing*” consiste na extração de contaminantes do solo por dissolução em soluções aquosas ou através da reação química com o líquido que passa através das camadas de solo contaminadas. O fluído é aplicado por meio de furos de injeção, galerias para promover a infiltração ou pulverizadores colocados à superfície, os contaminantes são arrastados pela água, a qual é posteriormente bombeada até a superfície, recorrendo-se a poços de extração e sujeitando-os a tratamento. A lavagem do solo pode também ser realizada *ex-situ*, compreendendo neste caso as seguintes etapas: escavação, fragmentação, separação granulométrica, lavagem das diferentes frações e decisão sobre o destino a dar aos resíduos finais. Esta técnica permite a remoção de compostos orgânicos, inorgânicos, metais e substâncias radioativas podendo a sua eficiência ser aumentada recorrendo ao uso de aditivos. A lama resultante deste processo pode ser disposta em um aterro ou, dependendo do contaminante, ser submetida a um tratamento específico, como por exemplo: extração por solventes, solidificação ou vitrificação. Muitas vezes, essa técnica é considerada um pré-tratamento para redução da quantidade de material (solo contaminado) a ser processada por outras



V.1, N.1, 2017

tecnologias de descontaminação (GRANDE, AUGUSTO e DOMINGOS, 2006).

Oxidação Química *in-situ*: injeção de produtos químicos reativos diretamente no local contaminado, com o objetivo de degradar rapidamente os contaminantes por meio de reações químicas que promovem a oxidação ou a redução das espécies de interesse presentes em uma determinada área e convertem sua massa em compostos inertes (ANDRADE, AUGUSTO e JARDIM, 2010).

Oxidação Química com Reagente de Fenton: Fenton observou pela primeira vez as propriedades fortemente oxidantes de uma solução de peróxido de hidrogênio. Utilizando este reagente, muitas moléculas orgânicas podiam ser facilmente oxidadas sem recorrer a altas pressões, altas temperaturas ou algum outro equipamento complexo. A reação de Fenton, definida hoje como a geração catalítica de radicais hidroxilo a partir da reação em cadeia entre íon ferroso (Fe^{2+}) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), em meio ácido, tem demonstrado ser bastante eficiente na oxidação de compostos orgânicos tóxicos e não biodegradáveis (FLAHERTY e HUANG, 1994).

Bombeamento e tratamento (*Pump & Treat*): são sistemas utilizados na maioria das áreas contaminadas. De acordo com

Sckenk (2004), o bombeamento de águas subterrâneas contaminadas ocorre para tratamento e posterior reinjeção no solo. Normalmente o tratamento é feito com caixa separadora e óleo ou com carvão ativado e remoção de gases (*air strippers*). Mas sendo os componentes dos compostos BTEX, moderadamente hidrofóbicos, isto é, são insolúveis em água, com essa situação esses materiais ficam adsorvidos pelos materiais dos aquíferos sendo assim uma constante fonte de contaminação. Por este motivo torna-se difícil a remoção completa destes compostos por bombeamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de remediação estão cada vez mais se aprimorando, e para que a resposta seja significativa, os procedimentos têm que ser executados imediatamente ao momento da descoberta do vazamento do tanque de combustíveis.

Os contaminantes, como a gasolina e o álcool hidratado (etanol) têm maior poder de contaminação por se espalharem mais rapidamente do que os outros componentes derivados do petróleo.

Os postos de combustíveis por não manterem as medidas preventivas adequadas, quanto a qualidade das bombas, tanques de armazenamento de combustíveis enterrados por longos anos, e



V.1, N.1, 2017

até mesmo o transporte desse tipo de material, podem gerar impactos significativos para o meio ambiente.

A remediação não é uma tarefa simples, é onerosa, se faz necessários estudos minuciosos para a seleção da melhor forma de recuperação de uma área contaminada.

Nos postos que têm a preocupação de manter seus equipamentos em perfeitas condições, o risco de acidentes é menor, porém existente.

O reconhecimento dos produtos BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno, xileno) e etanol são de fundamental importância para a identificação e análise dos processos e tecnologias de remediação utilizados no Brasil.

Para cada tipo de remediação existe uma técnica adequada ou até mesmo a junção de várias técnicas é necessária. Após a realização da remediação tem-se o período de monitoramento, assim como existem licenças, para que os postos de combustíveis comecem a operar dentro da legalidade, também se faz presente autorizações para que um processo de remediação seja realizado.

Fica visível através desse trabalho a importância do empreendedor no cumprimento da legislação e das normas técnicas de instalação e operação desses tipos de atividades por colocar em risco não

só o meio ambiente, mas toda vida humana presente. É válido também salientar a importância do acompanhamento dos órgãos ambientais e do poder público responsável pelos processos de documentação e fiscalização dos postos de abastecimentos.

REFERENCIAS

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados com petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, UNESP: Marília, v. 35, n. 3, set. 2010. ISSN: 0100-4670. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci_arttext. Acesso em: 11 fev. 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13786:2005. Posto de Serviço. **Seleção de equipamentos e sistemas para instalação subterrânea de combustíveis**. Rio de Janeiro, 1989.

API (American Petroleum Institute). Fate of spilled oil in marine waters: where does it GO? What does it do? How do dispersants affect it?. **API Publication**, n. 4691, USA. 1999.

BEDIENT, P. B.; RIFAI, H. S.; NEWELL, C. J. **Groundwater contamination: transport and remediation**, New Jersey, United States: Prentice-Hall, Upper Saddle River, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 237/2000**. Dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação.



V.1, N.1, 2017

Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em 18 de Jul. de 2013.

EGLE, T. Área limpa: com técnicas corretas de remediação e rigoroso processo de aprovação, áreas contaminadas no passado podem receber empreendimentos. **Revista Técnica**, Edição 156, 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br>>. Acesso em: 28 fev. 2014. EPA, U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999). National primary drinking water. Standards Office of water. EPA/810F-94001A.

FERREIRA, D. F.; HONORATO, N. **Manual do operador de produção de petróleo e gás**. Engenharia Química. Manuais 661.804. Campinas, SP, 2011.

FLAHERTY, K. A.; HUANG, C. P. Continuous flow applications of fenton's reagent for the treatment of refractory wastewaters. **Chemical Oxidation**, 1994.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUES, M. T. R., Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS, v. 6, n. 2, abr./jun. 2001, p. 29-46. Disponível em: https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Su/marios/9c55a147f5f1c1d9795fe520cb219408_2e0e7ce0312b0faee7862feeee2e08d0.pdf. Acesso em: 10 fev. 2014.

FURTADO, M. Remediação de solo – Para afastar o perigo que se esconde nos subterrâneos das grandes cidades, meios legais e econômicos devem fomentar obras de descontaminação. **Revista Química e Derivados**, São Paulo, maio. 2005, p. 28-44. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

GRANDE, T. C.; AUGUSTO, P. A.; DOMINGOS, B. **Técnicas de descontaminação de solos**. Departamento

de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, CBQF, Pólo FEUP Portugal, 2006.

LEME, F. P. **Engenharia do saneamento ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

MOREAU, R. L. M.; SIQUEIRA, M. E. P. B. **Toxicologia Analítica** (Ciências Farmacêuticas). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

NRC: NATIONAL RESEARCH COUNCIL., **"In Situ" Bioremediation: When Does It Work?** Washington, DC: National Academy Press, 1993.

OLIVEIRA, I. L.; LOUREIRO C. L. Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., 2000, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ABAS, 2000. CR-ROM.

ROBB, J.; MOYER, E. Natural attenuation of benzene and MTBE at four midwestern retail gasoline marketing outlets. **Contam. Soil Sed. Water**. p. 67-71, 2001.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2008 (Boletim Técnico – USP).

SARDELLA, A. **Curso de química: química orgânica**. 8. ed. São Paulo: Ática. 1999. v. 3.

SCHENK, T. Desenvolvimento e aplicação de técnicas microbiológicas progressivas para a remediação de contaminantes orgânicos no solo e nas águas subterrâneas. In: MOERI, E.; COELHO, R.; MARKER, A. (Ed.) **Remediação e revitalização de áreas contaminadas**. São Paulo: Signus, 2004.



V.1, N.1, 2017

SIQUEIRA, W.; ANJOS, G.C.; SOUZA, E.L.,
Avaliação preliminar dos riscos Potenciais
de contaminação das águas subterrâneas
por postos de combustíveis no Município de
Belém In: CONGRESSO BRASILEIRO DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002,
Belém. **Anais...**, Belém: ABAS, 2002.

SILVA, R. L. B. **Contaminação de poços
rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, por**

derramamento de gasolina: concentração
de BETX e avaliação da qualidade da água
consumida pela população. 2002. Tese
(Doutorado) - Departamento de
Saneamento Ambiental, Fundação Oswaldo
Cruz, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:
<http://arca.icict.fiocruz.br/bitstream/icict/4356/2/148.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2014.