

ANÁLISE TÉCNICA SOBRE OS PRINCIPAIS TIPOS DE REMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO

Fabiana Mazzini Aldini
Flávio da Rocha Azevedo

RESUMO

O comércio do petróleo bruto e seus derivados é altamente lucrativo e atinge a toda população direta ou indiretamente. Devido ao constante crescimento desse setor, podem ocorrer diversos impactos diretamente sobre o meio ambiente, entre eles, o derramamento do óleo diretamente no solo. Devido a isso, é de grande importância o estudo sobre os principais tipos de remediação dos solos e como cada uma pode ser feita. O presente trabalho tem por objetivo analisar os principais tipos de remediação de solos contaminadas por hidrocarboneto de petróleo e demonstrar através de exemplos algumas formas de remediação dos solos contaminados por hidrocarboneto de petróleo. A metodologia usada foi através de uma revisão bibliográfica a diversos artigos científicos e sites de órgãos públicos como a Fundação Estadual do Meio Ambiente(MG), Companhia ambiental do Estado de São Paulo (SP) e Agência Nacional do Petróleo. Para os resultados, foram usado dois artigos que analisaram postos de combustível com solo contaminado em Cuiabá (MT) e São Bernardo do Campo (SP), demonstrando exemplos da situação da remediação de postos de gasolina. Deste modo, é possível observar a necessidade uma ampla análise da área contaminada por hidrocarbonetos de petróleo a ser remediada para que através dessa análise por um profissional com conhecimento técnico, possa ser implementado as técnicas de remediação mais adequadas.

Palavras-chave: Hidrocarboneto de Petróleo. Contaminação. Remediação. Postos de combustível.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco –
fabiana.mazzini.aldini@gmail.com – graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária (Qualificação da autora)

*** Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco –
flavio.azevedo@doctum.edu.br (orientador do trabalho)

TECHNICAL ANALYSIS ON THE MAIN TYPES OF SOIL REMEDIATION CONTAMINATED BY OIL HYDROCARBONS

ABSTRACT

The oil trade today is highly profitable and affects the entire population directly or indirectly. There may be several impacts directly on the environment, such as the spill of oil directly on the ground. Thus, it is of great importance to study the main types of soil remediation and how each can be done. The present work aims to analyze the main types of remediation of soils contaminated by petroleum hydrocarbon and to illustrate through examples some forms of remediation of soils contaminated by petroleum hydrocarbon. The method used through a bibliographic review of various scientific articles and websites of public agencies such as the State Environment Foundation, Cetesb and the National Petroleum Agency. For the results, two articles were used that analyzed gas stations with contaminated soil in Cuiabá and São Bernardo do Campo, demonstrating a real situation of the remediation of gas stations in Brazil. In this way, it is possible to observe the need for a wide analysis of the area contaminated by petroleum hydrocarbons to be remedied so that through this analysis by a professional with technical knowledge, it can be implemented as the most necessary remediation techniques.

Keywords: Petroleum Hydrocarbon. Contamination. Remediation. Fuel stations.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco –
fabiana.mazzini.aldini@gmail.com – graduando em Engenharia Ambiental e
Sanitária (Qualificação da autora)

*** Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco –
flavio.azevedo@doctum.edu.br (orientador do trabalho)

1. Introdução

O petróleo é um material fóssil, oleoso e inflamável, que provém do acúmulo de matéria orgânica sob condições específicas de pressão e geralmente extraído através de perfuração no assoalho do oceano. É um produto denso e oleoso, que pode ser matéria prima de diversos subprodutos como a gasolina, óleo diesel, querosene, asfalto e tantos outros. É atualmente uma das maiores fontes de energia, assim também como um dos mercados mais lucrativos, gerando milhões a cada ano que passa.

Diante a demanda pelo produto e seu uso, é possível que existam acidentes com risco de derramamento em algum momento, desde a extração até o consumo final do produto. Como por exemplo, escape do produto através de oleodutos, vazamentos durante o transporte em navios ou caminhões e até mesmo no momento do abastecimento do produto final nos postos de combustíveis. Visando esse risco, é notável a necessidade de técnicas de remediação para descontaminação tanto do solo como das águas subterrâneas em caso de contaminação pelos hidrocarbonetos de petróleo.

O presente estudo visa analisar os principais tipos de remediação de solo contaminado pelo óleo combustível e com isso, apresentar as características de cada técnica, mostrando a importância de fazer a correta descontaminação do solo ou águas subterrâneas.

Existem atualmente diversas técnicas de remediação do solo, variando em técnicas *in-situ* (onde o tratamento é feito no local onde está o solo contaminado) e *ex-situ* (retirando o solo do local e encaminhando para tratamento), podendo ser feito através de lavagens, extrações ou implantando diversos tipos de organismos ou plantas. Serão analisadas no estudo as principais técnicas, suas vantagens e desvantagens, porém será mostrado que todos obtém um resultado considerável e aceitável no final do tratamento com uma ou mais de uma técnica conjunta.

O objetivo principal desse trabalho é analisar os principais tipos de remediação dos solos por hidrocarbonetos de petróleo. Como objetivos específicos, pode-se citar: apresentar os principais tipos de remediação de solos contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo; analisar qual a melhor técnica de remediação de solos contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo para diferentes casos e demonstrar através de exemplos algumas formas de remediação dos solos contaminados por hidrocarboneto de petróleo.

Atualmente, de acordo com a Petrobras, apenas em 2019, o mercado petrolífero movimentou bilhões de reais e é uma das maiores fontes de energia do mundo. A empresa fechou o ano de 2019 com lucro líquido de R\$ 40,137 bilhões, um recorde na história da empresa, apesar da baixa de 2,6% nas receitas por conta da queda nas cotações internacionais do petróleo. Diante de tal cenário, é possível que ocorram acidentes com derramamento de diferentes tipos de óleos no solo, no mar ou águas subterrâneas. Tais desastres podem ocorrer no transporte, como por exemplo rompimento de algum duto, ferrovia, marítimo, fluvial ou rodoviário, ou até mesmo durante a extração ou o refino. Sendo assim, é importante dispor de soluções rápidas, eficazes e economicamente viáveis no caso de derramamento de petróleo no solo.

O presente trabalho busca analisar as principais formas de remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, mostrando assim, a solução ideal de cada caso, independente de tal contaminação tenha ocorrido no transporte ou também no manuseio e derramamento de seus derivados em postos de combustíveis. Sabe-se que tal contaminante pode deixar o solo impróprio para o uso, além de causar danos à saúde da população acometida, de acordo com a presidente do Conselho Regional de Química de Pernambuco Sheylane Luz (2019).

2. Referencial Teórico

2.1 Petróleo

O petróleo, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é um material fóssil, oleoso e inflamável, de alto valor energético, geralmente menos denso do que a água, com cheiro característico e coloração que pode variar do incolor até o preto. Pode ser extraído em terra, conhecido como *onshore* ou abaixo do assoalho do mar, chamado de *offshore*. A prospecção e futura exploração comercial do petróleo demandam anos de preparação e grandes investimentos, que são progressivamente mais altos conforme a localização e a forma como os reservatórios se apresentam.

Segundo dados da Petrobras, em 2019, a produção brasileira foi de mais de 2 milhões de barris por dia. Tal desempenho coloca o país na segunda posição na América Latina (atrás apenas da Venezuela) e em 17º no ranking mundial. Estima-se que nos próximos anos, apenas o Iraque apresentará um crescimento da

produção de petróleo superior à produção brasileira. Em 2005, foram descobertas novas jazidas de petróleo na camada do Pré-Sal, localizada abaixo do mar da Bacia de Santos, há cerca de 800 km do litoral santista. Sua exploração iniciou-se a partir de 2012 e é realizada majoritariamente por empresas privadas, a partir de leilões realizados durante um período de tempo determinado em edital.

2.2 Riscos de contaminação

O derramamento de petróleo pode ocorrer no meio ambiente de diversas formas. Como citado por Vanessa Santos (2019), as formas mais comuns de contaminação são acidentes com navios-petroleiros, acidentes nas plataformas de petróleo e lançamento de água utilizada para lavagem de tanques onde o petróleo é armazenado. Ao ser derramado no meio ambiente, o petróleo desencadeia uma série de prejuízos para o ecossistema, causando alterações químicas e físicas no ambiente, além, é claro, de prejudicar a vida existente naquele local.

“A quantidade de água presente no solo e as características e concentrações dos constituintes nos hidrocarbonetos podem influenciar significativamente o comportamento dos combustíveis líquidos no solo. Um solo próximo a superfície que tenha uma quantidade baixa de água e um conteúdo elevado de material orgânico, tende a reter os constituintes de peso molecular maior num vazamento de hidrocarbonetos. A absorção de hidrocarbonetos em materiais do solo aumenta com o declínio de umidade e aumento de conteúdo orgânico” (Guiguer, 2000).

De acordo com o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) “As áreas consideradas contaminadas são aquelas em que as concentrações das substâncias ou compostos químicos estão acima dos valores de investigação determinados pela Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) 02/2010, indicando a existência de potencial risco à segurança, à saúde e ao meio ambiente.”

Consta na Portaria da Agência Nacional de Petróleo – Nº 170 de 26/11/1998 – Art. 13: “A empresa ou concessionária autorizada deverá comunicar imediatamente à Agência Nacional de Petróleo, a ocorrência de qualquer evento decorrente de suas atividades que possa acarretar riscos à saúde pública, à segurança de terceiros e ao meio ambiente, indicando as causas de sua origem, bem como as medidas tomadas para sanar ou reduzir o seu impacto. O poluidor poderá ser autuado e seu estabelecimento pode ser interditado.” De acordo com a Lei de Crimes Ambientais, Lei Federal Nº 9.605 de 12/02/1998 – Art. 14 – inciso III, a comunicação previa pelo agente poluidor do risco iminente de degradação ambiental pode ser uma atenuante do caso.

Em estudo divulgado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, referente a 2018, com dados de 175 municípios mineiros “mostra que Minas Gerais registrou 662 áreas contaminadas e reabilitadas em todo o território. Do total de municípios, a capital Belo Horizonte concentra o maior número de áreas (203), seguido por Betim (40), Paracatu (20), Uberaba (20) e Juiz de Fora (17).”

Ainda sobre o estudo divulgado pela FEAM, “Os principais grupos de contaminantes encontrados nas áreas contaminadas são os compostos orgânicos. Os hidrocarbonetos aromáticos (BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), compostos encontrados principalmente em combustíveis e derivados de petróleo, incluindo solventes, óleos e graxas, representam 69,3%.”

As informações fornecidas pelo conjunto de meios de comunicação são sobre grandes vazamentos acidentais, com grande área afetada, porém, acredita-se que a forma predominante de contaminação seja por pequenos e constantes vazamentos (TIBURTIUS et al., 2005).

2.3 Petróleo e Saúde

Após o derramamento de Petróleo no litoral nordeste do Brasil, em agosto de 2019, Lia Giraldo, do Grupo Temático Saúde e Ambiente da Associação Brasileira de Saúde Coletiva (Abrasco) e pesquisadora da FioCruz, e pioneira nos estudos sobre benzeno, um dos componentes do petróleo, declarou: “O benzeno pode causar problemas agudos, subagudos e crônicos em pessoas expostas à substância. Não há limite seguro de exposição”, deixando com isso claro o risco que o contaminante pode trazer a população vítima de contaminação.

Ainda de acordo com Lia, existe grande risco para a população, pois os componentes químicos do petróleo, como o benzeno, são cancerígenos e podem causar má formação fetal e patologias graves. A contaminação se dá através da ingestão, absorção pela pele e inalação, e as substâncias tóxicas podem atingir sistemas nervoso, imunológico, respiratório, causar lesões na pele, alterações hepáticas, hormonais, infertilidade, dentre outras consequências. O contato do ser humano com o contaminante pode causar intoxicação e a pessoa exposta ao produto pode sentir diversos sintomas como náuseas, vômitos, diarreia, dor abdominal, dor de cabeça, distúrbios de visão, problemas respiratórios e na pele. Em longo prazo, os componentes químicos do petróleo podem

provocar leucemia e câncer de pulmão. Além disso, mulheres grávidas ainda têm risco de abortamento e de má-formação fetal, portanto, devem ficar longe do óleo.

2.4 Remediação do solo contaminado

Em relação à remediação, segundo Tavares (2013) “O processo de remediação de solos contaminados se refere à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, seja impedindo ou dificultando a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente.”

A remediação e a recuperação de solos e águas subterrâneas fazem parte da etapa de reabilitação de uma área contaminada. Após a identificação e quantificação das substâncias presentes no site devem ser avaliadas quais técnicas serão ideais para a recuperação do meio e quais se adequam a situação do empreendimento. (Ambiental Engenharia)

2.5 Técnicas de Remediação

O tratamento do solo contaminado pode de ser feito de dois modos:

- Remediação in-situ: é feito no próprio local, não é necessário remover o material contaminado.
- Remediação ex-situ: o material é retirado do local para fazer o tratamento.

Será abordado aqui os seguintes tipos de Remediação do solo: Biorremediação, Fitorremediação, Lavagem do Solo, Extração Multifásica, Extração de vapores, Tecnologias Termicas e Biopilhas. Na figura abaixo, exemplifica-se o comparativo de algumas tecnologias ex-situ e in-situ:

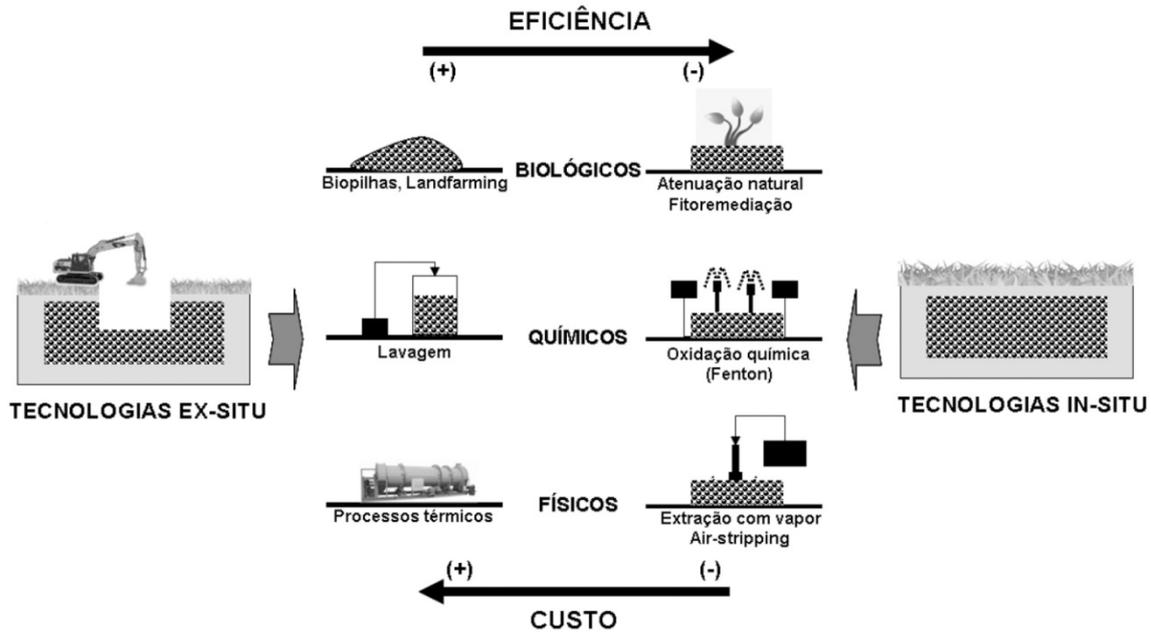


Figura 1 – Ilustração de tratamentos in-situ e ex-situ – Fonte: QuimicaNova

2.5.1 Biorremediação

A Biorremediação consiste na utilização de seres vivos ou seus componentes na recuperação de áreas contaminadas e geralmente são processos que empregam microorganismos ou suas enzimas para degradar compostos poluentes. A Biorremediação pode ser empregada para atacar contaminantes específicos no solo e águas subterrâneas, tais como a degradação de hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados pelas bactérias. (TRINDADE, 2002)

A Biorremediação promove a descontaminação de uma área impactada através de técnicas naturais, utilizando microorganismos (bactérias, fungos e leveduras) para degradar substâncias ou compostos perigosos aos seres humanos e transformá-los em substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade. (TECNOHIDRO, 2017)

Os microorganismos, da mesma forma que os seres humanos, comem e digerem substâncias orgânicas, das quais obtêm nutrientes e energia. Os microorganismos digerem substâncias orgânicas presentes no solo ou na água subterrânea, transformando-as principalmente em dióxido de carbono e água. Eles devem estar ativos e saudáveis para poderem desempenhar sua tarefa de remediação. Para isso, fatores como temperatura, quantidade de nutrientes e

oxigênio, devem estar em condições ideais para possibilitar o seu desenvolvimento. (TECNOHIDRO, 2017)

Podemos observar na figura 2, como é o funcionamento da biorremediação.

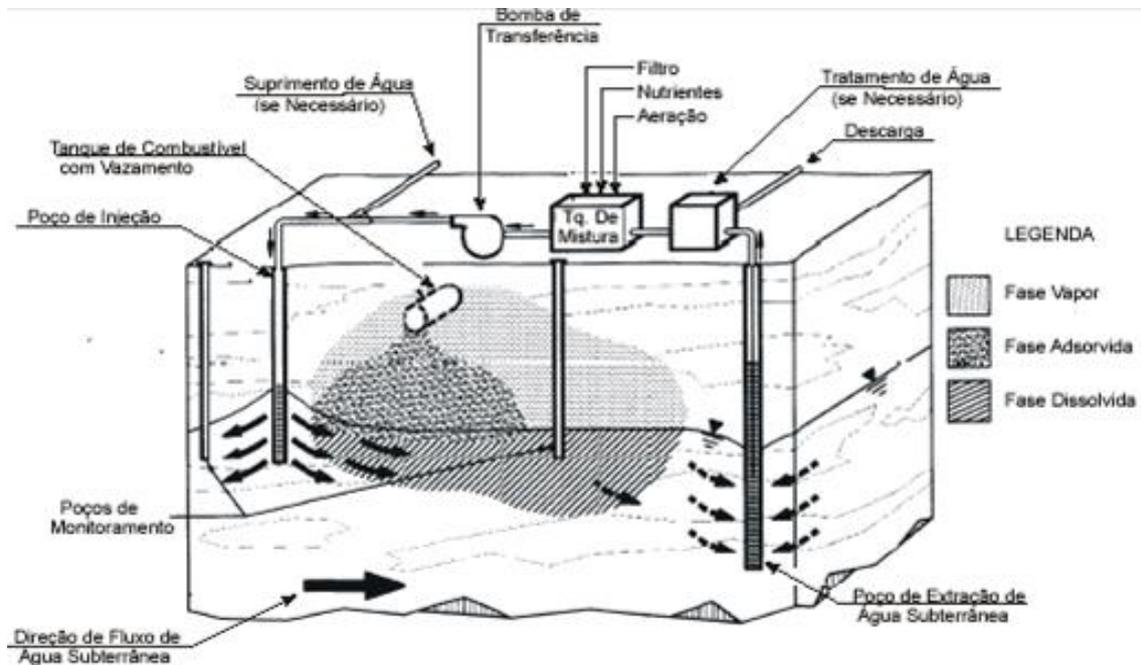


Figura 2 – Sistema de Biorremediação. Fonte: Tecnohidro

2.5.2 Fitorremediação

A fitorremediação é uma técnica que objetiva a descontaminação de solo e água, utilizando-se como agente de descontaminação plantas. É uma alternativa aos métodos convencionais de bombeamento e tratamento da água, ou remoção física da camada contaminada de solo, sendo vantajosa principalmente por apresentar potencial para tratamento in situ e ser economicamente viável. Além disso, após extrair o contaminante do solo, a planta armazena-o para tratamento subsequente, quando necessário, ou mesmo metaboliza-o, podendo, em alguns casos, transformá-lo em produtos menos tóxicos ou mesmo inócuos. A fitorremediação pode ser empregada em solos contaminados por substâncias inorgânicas e/ou orgânicas. Resultados promissores de fitorremediação já foram obtidos para metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados e subprodutos tóxicos da indústria.(PIRES, 2003)

Na figura 3, podemos ver como as plantas atuam removendo compostos orgânicos ou inorgânicos do solo por meio das raízes (Fitoextração), incorporando-os na lignina ou no húmus do solo (Fitoestabilização), ou promovendo a proliferação de microrganismos de degradação na região das

raízes das plantas, (Fitoestimulação). Os contaminantes orgânicos podem ainda ser degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas (Fitodegradação).(CONAN, 2015)

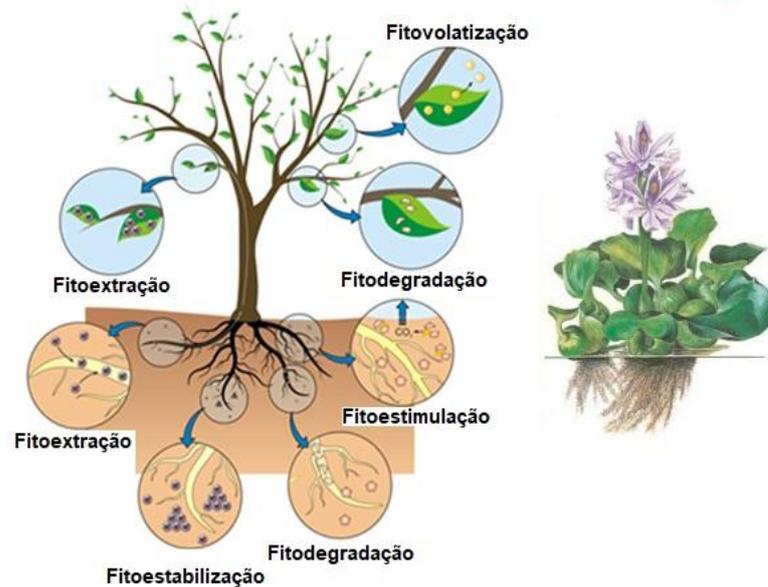


Figura 3 – Sistema de Fitorremediação – Fonte: Conan

2.5.3 Lavagem do solo

A lavagem do solo é a forma mais agressiva de se remediar uma área, e também, muitas vezes, a mais cara. É o método de remediação do solo mais indicado para áreas extremamente contaminadas, em solos compostos principalmente por argilas. As argilas, por serem minerais placóides microscópicos, possuem a forte capacidade de adsorver variados elementos químicos em suas paredes, dificultando muito a mobilização das substâncias.(GEOSCAM, 2018)

Para sua realização, a porção do solo comprometida é retirada mecanicamente e lavada com ácidos em um laboratório, para sói depois ser devolvida ao local de origem.(GEOSCAM, 2018)

Ainda que a prática seja muito agressiva com os poluentes, nem sempre a remediação pelo método possui cem por cento de resultados, requisitando que outros métodos complementem o tratamento após o solo ser devolvido.(GEOSCAM, 2018)

De acordo com a figura 4, pode-se observar como é feito a lavagem do solo.

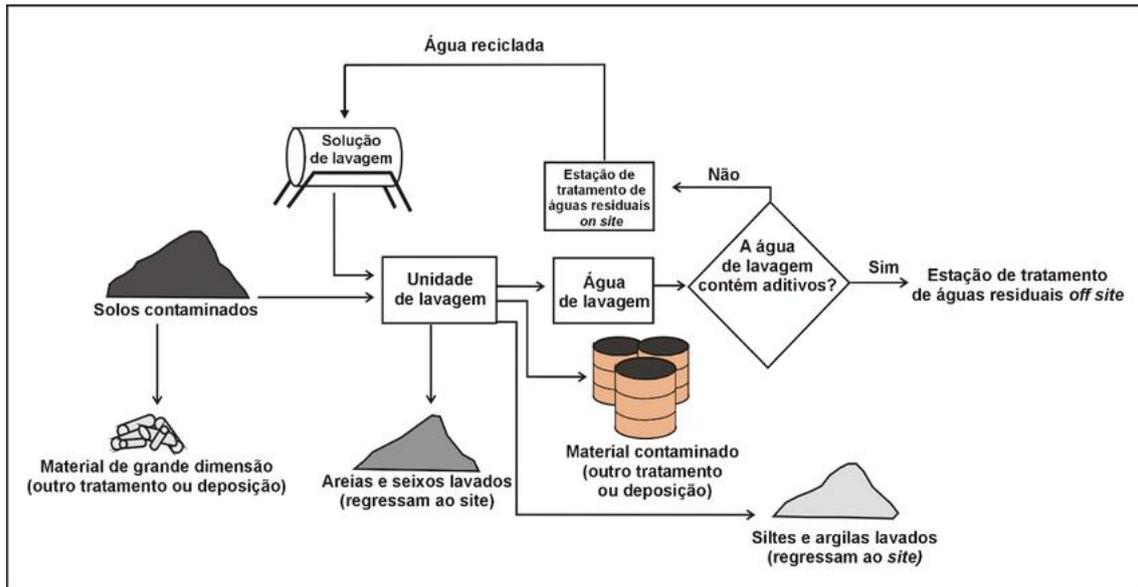


Figura 4 – Sistema de Lavagem do Solo – Fonte: ReaserchGate

2.5.4 Extração Multifásica

O Sistema de Extração Multifásica combina as técnicas de bioventilação e remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, fase vapor, fase dissolvida na matriz do solo e estimulando o processo de biodegradação natural na zona não saturada. A Extração Multi-fásica ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse, visando criar uma zona de influência do sistema em toda a extensão da pluma de contaminação. (TECNOHIDRO, 2017)

Através da aplicação do vácuo nos poços de extração cria-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O gradiente de pressão é diretamente proporcional ao vácuo aplicado, logo a eficiência na extração das diferentes fases do contaminante será função do sistema a ser implantado. A mistura bombeada deve ser direcionada para uma caixa separadora de água e óleo, com o combustível recuperado armazenado em tambores e a água contaminada destinada para tratamento em filtro de carvão ativado para posterior reinjeção. O vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e lançado na atmosfera, como é mostrado na figura 5. (TECNOHIDRO, 2017)



Figura 5 – Sistema de Extração Multifásica – Fonte: Tecnohidro

2.5.5 Extração de Vapores

O Sistema de Extração de Vapores no Solo é uma tecnologia de remediação aplicada para zona não saturada, onde aplica-se vácuo com o objetivo de induzir o fluxo controlado de ar e assim remover contaminantes voláteis e semivoláteis do solo. Em seguida, o gás retirado deve passar por uma extração de tratamentos de vapores. Extrações verticais são utilizadas em profundidades que variam de 1,5 a 90 metros . Extrações horizontais (instaladas em trincheiras ou furos horizontais) podem ser instaladas como garantia, dependendo da geometria da pluma e outras especificidades. (TECNOHIDRO, 2020)

Na figura 6, esta sendo demonstrado como é feito a extração de vapores.

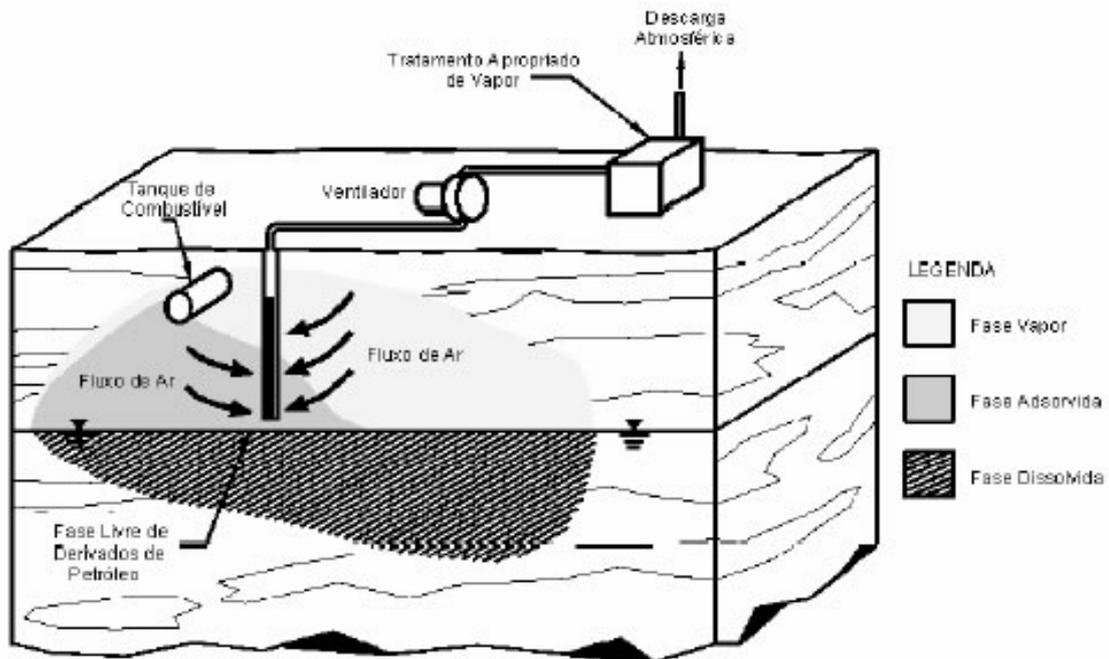


Figura 6 – Sistema de Extração de Vapores – Fonte: Tecnohidro

2.5.6 Tecnologias Térmicas – Dessorção Térmica

Também conhecida como Volatilização Térmica em Baixas Temperaturas, Dissociação Térmica, e Aquecimento Controlado de Solo. Trata-se de uma técnica de remediação ex-situ que utiliza calor para separar fisicamente hidrocarbonetos de petróleo de solos escavados. Dissociadores térmicos são projetados com o intuito de aquecer solos a temperaturas suficientes para causar a volatilização dos compostos e dissociá-los (separar fisicamente) do solo. Embora sua função não seja decompor compostos orgânicos, os dissociadores térmicos podem, dependendo dos compostos presentes e da temperatura do sistema, causar a decomposição completa ou parcial de alguns dos compostos. (TECNOHIDRO, 2017)

Os hidrocarbonetos volatilizados são geralmente tratados em uma unidade de tratamento secundária (usualmente câmaras de oxidação catalítica, condensadores, ou unidade de adsorção de carbono) antes de sua liberação na atmosfera. Oxidantes destroem os compostos orgânicos. Condensadores e unidades de adsorção de carbono “prendem” compostos orgânicos para posterior tratamento ou disposição, como é mostrado no esquema da figura 7. . (TECNOHIDRO, 2017)

Dessorção Térmica

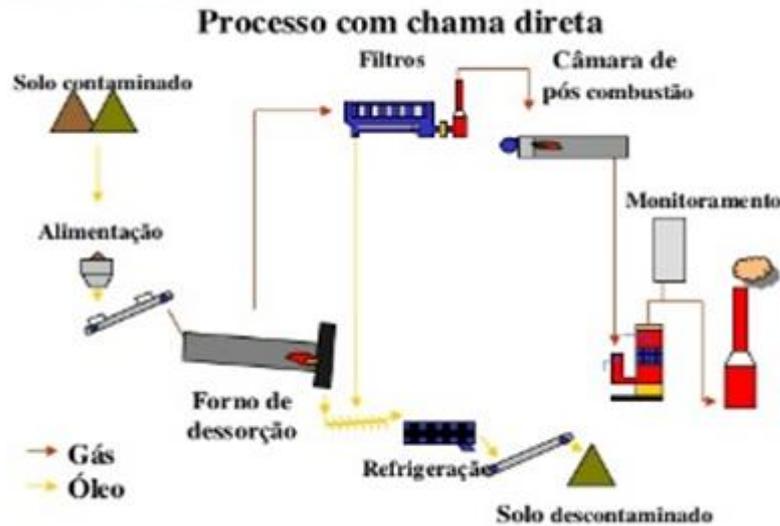


Figura 7 – Sistema de Dessorção Térmica – Fonte: Ecoterra

2.5.7 Biopilhas

São utilizadas para reduzir concentrações de hidrocarbonetos de petróleo presentes no solo através da biodegradação. Essa técnica envolve a disposição do material contaminado em pilhas e a estimulação da atividade aeróbica microbiana através de aeração e/ou adição de nutrientes e aumento da umidade do solo. O aumento da atividade microbiana resulta na degradação do produto de petróleo adsorvido através da respiração microbiana, reduzindo as concentrações desses contaminantes. (TECNOHIDRO, 2017)

As Biopilhas são eficientes na redução da concentração da maioria dos produtos derivados de petróleo. Os produtos de petróleo mais leves (mais voláteis), como gasolinas, tendem a ser removidos por evaporação durante o processo de aeração e são menos degradáveis pela respiração microbiana. Os produtos de cadeia média, como diesel e querosene, possuem uma biodegradação mais significativa que a evaporação. (TECNOHIDRO, 2017)

Biopilhas são tipicamente construídas sobre uma base impermeável para reduzir o potencial de migração do lixiviado para a subsuperfície. São cobertas com uma membrana impermeável para prevenir a liberação de contaminantes e/ou solo contaminado para o ambiente, e para proteger o solo de ventos e chuvas. (TECNOHIDRO, 2017)

O tratamento por Biopilhas é controlado por processos biológicos onde contaminantes biodegradáveis são convertidos aos seus constituintes minerais básicos (água e dióxido de carbono) sob condições aeróbicas. O solo é escavado, preparado, colocado em pilhas e aerado para promover a biodegradação. Na maioria dos casos, a biodegradação é atingida por microorganismos endógenos. A eficiência máxima da degradação é atingida através da manutenção da quantidade de água, pH, aeração, temperatura e fração de carbono/nitrogênio. (TECNOHIDRO, 2017)

Para a implantação do sistema de Biopilhas, é necessário realizar a preparação do local; preparação da base; coleta do lixiviado; aeração; adição de água; adição de nutrientes; correção microbiológica; construção da pilha. (TECNOHIDRO, 2017)

A figura 8 mostra como é feito a remediação do local através do sistema de Biopilhas.

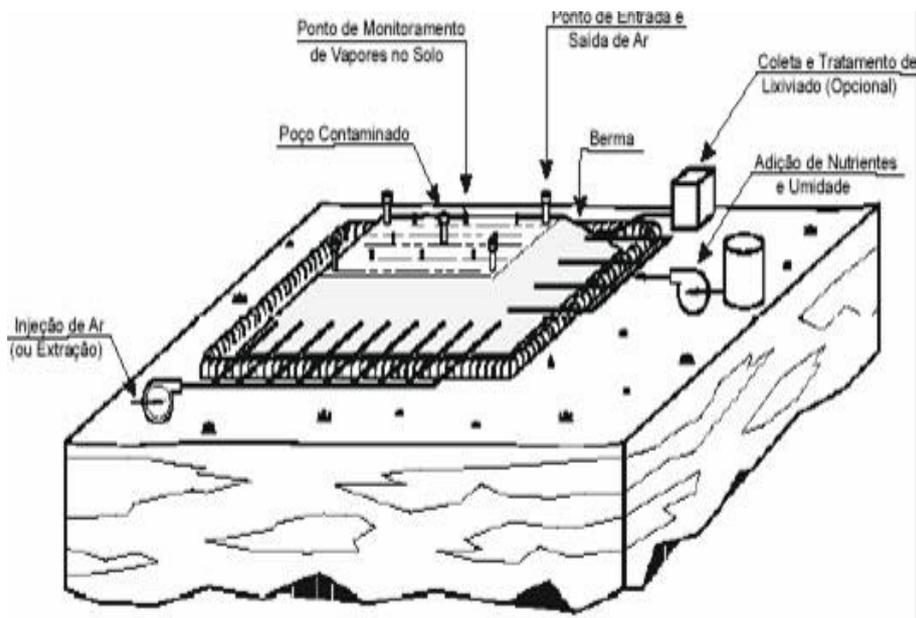


Figura 8 – Sistema de Biopilhas – Fonte: Tecnohidro

3. Metodologia

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica e tem um propósito explicativo, onde através de análise de diversas publicações, mostrará a

importância do petróleo na atualidade e como o mesmo influencia a economia. Desse modo, será possível observar a gravidade da situação em caso de derramamento de determinado óleo, sendo importante buscar a forma mais eficaz de remediação. Através de pesquisas de levantamento bibliográfico, pode-se analisar o impacto que tal produto pode causar no meio em que vivemos e principalmente na saúde humana.

Para coleta de dados do estudo, também será utilizado sites de órgãos públicos como a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Ministério do Meio Ambiente, Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, de modo a analisar e pesquisar as políticas públicas referente a exploração, produção, refino, transporte e comercialização do petróleo. Além disso, serão analisados documentos e estudos de caso focados na remediação do solo contaminado, para que, deste modo, possa ser sugerido o processo que melhor se enquadre na situação apresentada.

Para análise dos resultados foram utilizados os artigos: “Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil” e “Áreas contaminadas por postos de combustível e medidas de remediação no município de São Bernardo do Campo.” Em ambos os artigos, os autores utilizaram dados dos órgãos públicos e análises de tipos de remediação do solo dos postos de gasolina. Através de tais análises, será feita a demonstração dos resultados no presente trabalho.

4. Resultados e discussões

De acordo com o artigo “Áreas contaminadas por postos de combustível e medidas de remediação no município de São Bernardo do Campo”, O Estado de São Paulo possui 4.572 áreas registradas na CETESB, destas áreas, 3.510 (77%) são postos de combustíveis. No município de São Bernardo do Campo existem 97 áreas cadastradas, sendo 63 postos de combustíveis. Dos 63 postos 23 apresentam contaminação no subsolo e na água subterrânea, ambos dentro da propriedade; 16 no subsolo dentro da propriedade e na água subterrânea dentro e fora; 15 na água subterrânea dentro. Quanto às remediações, 12 dos 63 postos tiveram apenas a extração multifásica como medida de remediação; 10 o bombeamento e tratamento; 4 a atenuação natural monitorada. Abaixo, segue tabela com os dados referentes a remediação, lembrando que em alguns casos

foi aplicado mais de um tipo de remediação e que não foi feito o cruzamento dos dados.

Medidas de Remediação	Quantidade de Postos
Bombeamento e tratamento	23
Extração de vapores do solo (SVE)	11
Air sparging	6
Biosparging	1
Bioventing	2
Extração multifásica	19
Oxidação e redução química	1
Remoção de solo/resíduo	2
Recuperação fase livre	8
Atenuação natural monitorada	6

Já no artigo “Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil”, de 136 processos de licenciamento analisados, constatou-se que em 17 os laudos ambientais apresentaram algum tipo de contaminação no solo e/ou água subterrânea. Os principais contaminantes encontrados foram Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos Totais (BTEX) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA’s). Em oito postos foram aplicadas as seguintes técnicas de remediação: três de atenuação natural, três de extração multifásica e três de bombeamento.

Como pode-se observar, em ambos estudos, foi verificado que as técnicas de remediação adotadas são as mesmas ou similares na maior parte dos casos, que foi a técnica de extração multifásica e a de bombeamento. Observa-se também, a grande quantidade de estabelecimentos em que ocorreu derramamento do contaminante e não foi tratado, mostrando o déficit de fiscalização e tratamento dos locais contaminados. É de suma importância o tratamento para o solo, pois o contaminante pode afetar as águas subterrâneas, aumentando o risco de contaminação e de afetar a saúde humana, além de procurar métodos para que não volte a acontecer acidentes com vazamento e contaminação do solo e águas subterrâneas.

É necessário se atentar a diversos fatores em relação a implementação de postos de combustível, é necessário um estudo do local, medidas de controle

ambiental e dessa forma prevenir para que não ocorra nenhum tipo de acidente, pois é a ainda é essa a forma mais econômica e de menor risco ambiental.

5. Considerações finais

Através deste estudo, demonstra-se a relevância da remediação do solo e das águas subterrâneas, pois é de extrema importância manter o meio em que se vive, livre de qualquer contaminante, ainda mais sendo um produto tão nocivo para a saúde como os hidrocarbonetos de petróleo.

Após análise dos principais métodos de remediação do solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo, pode-se verificar que é necessário estudo da área e do contaminante para que com isso, verifique qual melhor método a ser implantado.

Através dos resultados obtidos em ambos os estudos, é notório a falta de investimento por conta do governo e da iniciativa privada, pois nota-se a grande quantidade de áreas com alto índice de contaminação, inclusive áreas que não foi feito nenhum tipo de tratamento no solo dos estabelecimentos. É perceptível a necessidade de maiores políticas públicas de fiscalização e remediação nas áreas indicadas para que com isso, o ambiente possa sofrer o tratamento adequado para voltar a sua condição sem o contaminante ou com a menor carga possível.

A escolha da tecnologia deve levar em conta o tipo de solo, saturação do contaminante, tipo de empreendimento, local da contaminação, entre outros fatores relevantes para determinação do método que melhor se adapte a situação, lembrando que algumas vezes pode ser necessário o uso de mais de um método no mesmo local. É de suma importância a presença de um responsável especializado para desenvolvimento do projeto e análise do local a ser remediado.

Além disso, é necessário um estudo do local do empreendimento, de forma a buscar um local ideal, visando assim prevenir para que caso não ocorra algum vazamento de óleo, e caso ocorra, afete o meio ambiente o mínimo possível. A prevenção sempre será mais viável que qualquer tipo de remediação.

REFERÊNCIAS

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Como é feito o transporte do petróleo?"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/como-feito-transporte-petroleo.htm>, acesso em 10/04/2020.

NICACIO, Lucas. "Feam divulga inventário de áreas contaminadas e reabilitadas em Minas". Disponível em: <http://www.feam.br/banco-de-noticias/1693-feam-divulga-inventario-de-areas-e-contaminadas-e-reabilitadas-em-minas>, acesso em 10/04/2020.

TAVARES, S. R. de L. "Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos." Joinville: Clube de Autores, 2013. cap. 2, p. 61-90.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Produção de Petróleo no Brasil". Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/producao-petroleo-no-brasil.htm>, acesso em 23/04/2020.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. "Poluição por derramamento de petróleo"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/poluicao-por-derramamento-petroleo.htm>, acesso em 23/04/2020.

"Petróleo e derivados", Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivado>, acesso em 23/04/2020.

VARELLA, Mariana. "Pesquisadores alertam para os riscos da exposição ao óleo nas praias do Nordeste." Disponível em: <https://drauziovarella.uol.com.br/toxicologia/pesquisadores-alertam-para-os-riscos-da-exposicao-ao-oleo-nas-praias-do-nordeste/>, acesso em 23/04/2020.

"É necessário declarar Estado de Emergência em Saúde Pública." Disponível em: <https://www.abrasco.org.br/site/noticias/ecologia-e-meio-ambiente/vazamento-de-petroleo-no-nordeste-e-necessario-declarar-estado-de-emergencia-em-saude-publica/43662/>, acesso em 11/05/2020.

SAMPAIO, Cristiane. "Recorde de lucro da Petrobras saiu do bolso do consumidor". Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/02/20/recorde-de-lucros-da-petrobras-nao-surpreende-afirma-economista>, acesso em 11/05/2020.

"Custo de Remediação de Solos e águas Contaminadas por Combustíveis". Disponível em: <https://www.ambientalengenharia.com.br/remediacao-de-agua/remediacao-e-recuperacao-de-solos-e-aguas-subterraneas/custo-de-remediacao-de-solos-e-aguas-contaminadas-por-combustiveis-sao-jose-dos-campos>, acesso em 11/05/2020.

"Legislação e convenções". Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/legislacao-e-convencoes/>, acesso em 12/05/2020.

Pires, F.R., Procópio, S.O.” Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas”. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582003000200020 , acesso em 16/05/2020.

“Conheça quatro técnicas de remediação do solo.” Disponível em <https://medium.com/@geoscanbr/conhe%C3%A7a-quatro-t%C3%A9cnicas-de-remedia%C3%A7%C3%A3o-do-solo-7a990bba1b4b> , acesso em 16/05/2020.

“Dessorção Térmica/ Biorremediação”. Disponível em <https://ecoterra.com.br/dessorcao-termica-biorremediacao/>, acesso em 19/05/2020.

SANTOS, Alecsandra dos; COSTA, Graziela da Silva; ZAMORA, Patricio Peralta. “Remediação de solos contaminados por processos fenton: uma revisão crítica”. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422017000300327 , acesso em 19/05/2020.

BRITO, M.G et al, “Solos Contaminados - O Problema e as Soluções de Remediação”. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-64-Lavagem-de-solos-on-site-adaptado-de-USEPA-2002_fig16_289489809 , acesso em 19/05/2020.

“Fitorremediação”. Disponível em: <http://www.conam.eng.br/fitorremediacao>, acesso em 19/05/2020.

BONDIOLI, Cíntia Hanna Santos et al. “Biorremediação como alternativo no impacto ambiental causado pela ocupação humana na Antártida”. Disponível em: <http://www.io.usp.br/index.php/oceanos/textos/antartida/1135-xxix-biorremediacao-como-alternativa-no-impacto-ambiental-causado-pela-ocupacao-humana-na-antartida.html> , acesso em 19/05/2020.

“Remediação de áreas contaminadas”. Disponível em <http://tecnohidro.com.br/nossos-servico/remediacao-de-areas-contaminadas/>, acesso em 19/05/2020.

SANTOS, Edson; UNGARI, Helio C.N.; SANTOS, Matilde Barga dos. “Principais técnicas de remediação e gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no estado de São Paulo”. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjY_LLfr9XpAhV2H7kGHcGPAIcQFjAALegQIARAB&url=https%3A%2F%2Ffojs3.perspectivasonline.com.br%2Fexatas_e_engenharia%2Farticle%2Fdownload%2F158%2F89%2F&usg=AOvVaw1FklkGQnsQWCIEj2AFC_2j , acesso em 19/05/2020.

VASCONCELOS, Bianca da Silta, Et al. “Áreas contaminadas por postos de combustível e medidas de remediação no município de São Bernardo do Campo.”

LIMA, Suzy Darley de, Et al. “Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.”