

# SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS

DOMENISKI DE SOUZA, Vanessa Maria  
[vanessamaria304@yahoo.com](mailto:vanessamaria304@yahoo.com)

Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz

**Resumo:** Ao longo dos anos devido ao aumento de carros e indústrias que geram alguns tipos de agentes contaminantes, sérios danos ao meio ambiente podem ser ocasionados por vazamentos acidentais de hidrocarbonetos de petróleo dos tanques de estocagem, das tubulações e de navios utilizados no transporte desses produtos ou por erros operacionais das indústrias petroquímicas. Devido a crescente preocupação com os efeitos que este tipo de contaminação pode ter sobre o meio ambiente e a saúde humana e, também, com as formas de mitigação e remediação dos impactos dessa atividade, este trabalho tem como objetivo central caracterizar a contaminação de solos por hidrocarbonetos de petróleo, analisando a maneira como se comportam quando contaminam o solo, mostrando a sua dinâmica ao longo das diversas fases do solo. E como o solo é contaminado por hidrocarboneto e tratado, objetivando-se o uso da técnica de biorremediação e seus resultados para o tratamento do solo.

**Palavras-chave:** Hidrocarbonetos. Tratamento. Contaminado.

**Abstract:** Over the years, due to the increase in cars and industries that generate some types of contaminants, serious damage to the environment can be caused by accidental leaks of petroleum hydrocarbons from storage tanks, pipes and ships used to transport these products or for operational errors of the petrochemical industries.

Due to the growing concern about the effects that this type of contamination can have on the environment and human health and also with the ways of mitigating and remediating the impacts of this activity, this work has as main objective to characterize the contamination of soils by hydrocarbons of petroleum, analyzing the way they behave when they contaminate the soil, showing their dynamics along the different phases of the soil. And how the soil is contaminated by hydrocarbons and treated, aiming at the use of the bioremediation technique and its results for the treatment of the soil.

**Keywords:** Hydrocarbons. Treatment. Contaminated.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é contaminado por hidrocarboneto através da geração natural, através da combustão incompleta de substância orgânica, como resíduos vegetais, matéria orgânica, madeira.

Porém, as principais formas de contaminação do solo são pela produção industrial onde fabrica corante, fibra sintética e preservação da madeira, onde confere a madeira maior resistência aos agentes de deterioração, proporcionando-lhe maior durabilidade. Assim como o transporte, a produção de carvão vegetal, gaseificação do carvão mineral e aos processos de extração e a utilização e transformação do petróleo.

Na cidade onde existe um maior fluxo de indústrias, transporte (automóveis) e posto de combustíveis onde são armazenados os tanques de combustíveis subterrâneos, onde ocorre o vazamento contaminando o solo com hidrocarbonetos.

“Assim, devido a estas atividades, o solo recebe anualmente quantidades consideráveis dos HAPs que, em função da complexidade da sua estrutura química, contaminantes do ambiente, podem-se utilizar técnicas de biorremediação *in situ*, como atenuação natural, bioaugmentação, bioestimulação, fitorremediação e “*landfarming*”, ou técnicas de biorremediação *ex situ*, como compostagem e biorreatores.” (JACQUES, 2007).

Para determinar a técnica de remediação que será utilizada é necessário saber como está o local, o grau da contaminação, então serão necessárias algumas avaliações como condições físicas, químicas e biológicas do local contaminado; concentração do contaminante e; tempo requerido para a degradação ou a remoção do composto alvo.

Existe duas técnicas de biorremediação para a remoção dos contaminantes no solo, a técnica de biorremediação *in situ* e *ex situ*.

A técnica *in situ* funciona como atenuação natural, bioaugmentação, bioestimulação, fitorremediação e *landfarming*, são realizadas no próprio local, sem que haja remoção de material contaminado. Enquanto a *ex situ* como compostagem e biorreatores, necessidade de retirada de solo ou efluente do local contaminado para que seja tratado em outro local.

Para saber qual a melhor técnica precisa avaliar fatores químicos e físicos e assim determinar a melhor técnica de biorremediação.

“O *landfarming* pode ser considerado também um sistema de tratamento de resíduos”.

As vantagens para o uso da técnica de biorremediação é que não são usados reagentes agressivos, geralmente não há geração de resíduos e há menos gasto energético durante a instalação e operação. Enfim, é uma técnica mais natural e, relacionada a isso, tende a ser mais econômica que tecnologias alternativas. Mas também suas desvantagens, como, por exemplo, a velocidade mais lenta das reações biológicas e inviabilidade quando as concentrações de contaminantes são altas a ponto de representar toxicidade para os micro-organismos.

Na biorremediação são utilizados organismos vivos para fazer a descontaminação do ambiente. As bactérias fazem a degradação de compostos tóxicos como pesticidas ou para fazer a acumulação de metal pesado presente em solo ou em água.

Os micro-organismos se aproveitam dos compostos orgânicos e inorgânicos e os utilizam como alimentação. Eles transformam os contaminantes em dióxido de carbono e água. Além de tratar os rejeitos, já absorve as moléculas do próprio contaminante através da ação metabólica.

A maioria dos micro-organismos do solo não possui capacidade de degradar os hidrocarbonetos. Por esse motivo uma seleção precisa ser feita para a escolha do micro-organismo. Nessa escolha necessita saber que as bactérias aeróbias que são os principais responsáveis pela degradação dos hidrocarbonetos

“Os fungos também podem metabolizar os hidrocarbonetos. São duas as principais vias descritas na literatura: a primeira está relacionada aos fungos não-lignolíticos e a segunda aos fungos lignolíticos. O metabolismo dos HAPs do *Cunninghamella elegans* é bastante estudado entre os fungos não-lignolíticos.” (JACQUES, 2007).

Altas concentrações de hidrocarbonetos no solo podem não potencializar substrato para o crescimento dos micro-organismos que são os principais meios para a utilização da biorremediação para o tratamento dos solos.

A natureza do trabalho refere ao tipo de contaminação que ocorre nos solos e como pode ser tratado. Foi utilizado o método de pesquisa descritiva com a finalidade de analisar as contaminações do solo por hidrocarbonetos. Para facilitar a assimilação do conteúdo explorado foram feitos resumos.

A finalidade é traçar um trabalho como exemplo e aplicado junto aos objetivos, para isso, a pesquisa será baseada em artigos científicos que elaboraram trabalhos pertinentes ao assunto.

O método de pesquisa escolhido favorece de uma ampla diversidade para caminhos do conhecimento do assunto, possibilitando assumir várias posições no decorrer do percurso, não obrigando atribuir uma resposta única para o assunto abordado.

Com o estudo e pesquisa sobre o assunto foi possível analisar várias formas de contaminação que ocorre nos solos e os diferentes métodos de remediação e onde é possível utilizá-los, adaptando para situação e grau da contaminação.

## **2 Processo de Contaminação do Solo por HIDROCARBONETOS**

O maior problema de poluição no solo está na contaminação por hidrocarbonetos que são gerados pelo descarte indevido, derrames acidentais e vazamentos dos contaminantes orgânicos, como petróleo e seus derivados, em atividades desenvolvidas em postos de combustíveis ou refinarias. As frações do petróleo compostas pelos aromáticos são as mais tóxicas, especialmente o benzeno, tolueno e xileno conhecidos como BTEX, que podem afetar o sistema nervoso, a medula óssea, provocar dores de cabeça, náusea, anemia e leucemia.

Os HAPs são gerados naturalmente, e de forma contínua, pela combustão incompleta de substâncias orgânicas, como resíduos vegetais, madeira, matéria orgânica, etc. Porém, a contaminação do solo é um típico efeito da atividade antropogênica, devido à produção industrial dos HAPs (para fabricação de corantes, de fibras sintéticas, depeservantes de madeira, etc.), à produção de carvão vegetal, à extração e gaseificação do carvão mineral e aos processos de extração, transporte, refino, transformação e utilização do petróleo e de seus derivados (BANFORTH & SINGLETON, 2005).

Os principais problemas provocados pela contaminação do solo e da água subterrânea por hidrocarbonetos são os riscos à segurança das pessoas e das propriedades, à saúde pública e dos ecossistemas e restrições ao desenvolvimento urbano e imobiliário, os vazamentos de hidrocarbonetos causa perigo de incêndio ou explosão nos locais atingidos.

As atividades industriais não são as únicas que geram riscos ao meio ambiente, os postos de gasolina podem poluir o ar o solo, o subsolo e os aquíferos com hidrocarbonetos provenientes do vazamento de tanques subterrâneos de armazenamento de combustível, sendo assim os centros urbanos são os mais propensos a serem poluídos por hidrocarbonetos. Além disso, motores de automóveis, oficinas mecânicas e oficinas de reparação de automóveis também são fontes de hidrocarbonetos nas cidades.

Os HAPs 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).

## **3 TÉCNICAS DE BIORREMEDIAÇÃO E O SEU FUNCIONAMENTO NO TRATAMENTO DO SOLO**

No Brasil, nos últimos anos tem havido uma maior preocupação com a degradação ambiental. Diversas tecnologias de remediação foram desenvolvidas e consolidadas principalmente por países desenvolvidos. Dentre as novas tecnologias aplicadas à mitigação da poluição ambiental, destaca-se a biorremediação. No Brasil, tem havido uma série de novas tecnologias desenvolvidas ou adaptadas.

A Biorremediação é o processo em que é utilizado organismos vivos como, micro-organismos, fungos, plantas, algas verdes ou suas enzimas são utilizados para reduzir ou remover, ela consiste em um processo biotecnológico baseado no uso de agentes biológicos e tem com a finalidade de eliminar poluentes ambientais ou reduzi-los a compostos de baixa toxicidade.

É inquestionável a necessidade de se investir em métodos alternativos de tratamento de resíduos, bem como de remediação de áreas contaminadas, não apenas com o desenvolvimento da tecnologia em si, mas, fundamentalmente, mediante o despertar da consciência humana ecológica para a necessidade do desenvolvimento e da aplicação dessas tecnologias em prol do meio ambiente (CORRÊA et al., 2005).

Existe micro-organismos principais no uso da biorremediação, como a utilização de fungos filamentosos que vem crescendo devido seu alto potencial degradativo, e dos mecanismos de resistência em condições ambientais adversas.

Os fungos têm características interessantes na aplicação na aplicação do sistema da biorremediação, como a capacidade de crescer sob as condições de estresse ambiental que podem limitar o crescimento bacteriano; seu modo de crescimento, induzido quimioestaticamente em direção à fonte de carbono orgânico, por meio do alongamento e ramificação das hifas, que permitem a colonização de grandes áreas e o sistema de biodegradação fúngico, realizado por enzimas extracelulares.

Na biorremediação é utilizado os micro-organismos do próprio local para tratar o solo contaminado. O tratamento biológico envolve o uso de micro-organismos naturais (nativos) ou plantados para decompor ou fixar poluentes nas águas subterrâneas e no solo. Os micro-organismos comumente aplicados neste caso são bactérias, fungos filamentosos e leveduras. Dentre estas, as bactérias são as mais utilizadas e, por isso, são consideradas o principal elemento nos trabalhos de biodegradação de contaminantes. Eles são definidos como qualquer tipo de micro-organismo unicelular que geralmente se reúne em colônias que vivem em diferentes ambientes. São importantes por seus efeitos bioquímicos e porque destroça ou convertem contaminantes potencialmente nocivos em compostos menos nocivos ao homem e ao meio ambiente.

Existe duas técnicas de biorremediação para o tratamento do solo contaminado a in situ e a ex situ.

As técnicas de remediação são categorizadas como "ex-situ", o que significa removido fora do habitat. Uma vez que os materiais contaminados são tratados ou colocados no local, diz-se que estão in situ. As áreas mais profundas com contaminação generalizada são geralmente chamadas de área de contaminação. Não há necessidade de escavar o terreno ou colocá-lo em um aterro com esta tecnologia. Devido a isso, os custos são menores. Existem certas razões técnicas pelas quais recalcular um número se torna mais difícil. Por exemplo, o resultado pode ser mais difícil de medir se depender de equações complexas. A variação nas propriedades físicas e químicas do subsolo causam migração. O material absorve o poluente em regiões fora do alcance. subsuperfície. comparados aos metais, os hidrocarbonetos têm uma durabilidade menor. degradáveis e

relativamente móveis. Muitas pessoas e instituições usam esses plásticos. Há uma série de tecnologias capazes de remediar locais contaminados.

Destaca-se algumas das principais técnicas ex situ, são elas a compostagem, uso de biorreatores e Landfarming.

**Compostagem:** Técnica em que os micro-organismos convertem resíduos orgânicos, como restos vegetais, alimentos e esterco, em compostos que geram grandes benefícios ao meio ambiente. Por exemplo, a produção de fertilizantes naturais. consiste em um processo biológico, no qual os micro-organismos convertem orgânicos em compostos. por exemplo, convertendo restos de plantas em compostos orgânicos. Suas principais vantagens são: fontes nutricionais no eco sistema, os resíduos orgânicos são reaproveitados, reduz a contaminação e a poluição do meio ambiente e reduz a proliferação de vetores durante a decomposição da matéria orgânica.

**Uso de biorreatores:** O inóculo contaminado (da população presente no ambiente contaminado de lodo ativado ou de uma cultura pura de micro-organismos apropriados) é misturado com água e introduzido em um reator previamente preenchido com carvão, plástico, esferas de vidro ou terra de diatomáceas. destinados ao tratamento de solos ou águas contendo altos níveis de contaminantes.

**Landfarming:** Técnica cujo princípio é a aplicação e incorporação de resíduos contaminantes e/ou poluentes, na forma líquida ou sólida, na camada superior de solos aráveis e não contaminados. Nesse processo, os resíduos são dispersos no solo por meio das técnicas de aração e gradagem, com o objetivo de promover uma mistura uniforme.

Outro processo de tratamento muito utilizado no processo de remediação ex situ é o emprego de reatores biológicos. Os processos biológicos dividem-se em aeróbios e anaeróbios.

Dentre os reatores utilizados, os mais comuns são os filtros biológicos anaeróbios ou aeróbios, o sistema de lodos ativados e suas variações e os digestores anaeróbios de fluxo ascendente. (PHILIPPI JÚNIOR; ROMERO; BRUNA, 2004)

A biorremediação in situ é realizado no local, sem remover o material contaminado. Isso evita custos e distúrbios ambientais associados ao movimento de solo e água de um local contaminado para outros locais destinados a tratamento. Os produtos finais de uma biorremediação eficaz são a água e o dióxido de carbono (processo denominado mineralização), que não apresentam toxicidade.

Existe uma técnica in situ passiva ou intrínseca, também chamada de atenuação natural, na qual o contaminante permanece no local. Ocorrem processos naturais como biodegradação, volatilização, diluição e sorção. ocorre a descontaminação do ambiente.

Quando o solo ou esgoto precisa ser removido de um local contaminado, ou seja, ser tratado em outro lugar, o processo chamado de biorremediação ex situ.

A demolição pode ser necessária em caso de possível contaminação de pessoas e do meio ambiente.

Biorremediação perto do solo, ou quando altas concentrações de contaminantes requerem o uso de tecnologias como compostagem, biorreatores, etc.

A compostagem é uma tecnologia fora do local em que o solo contaminado é fonte e distribuir em pilhas, permitindo a lixiviação controlada e escoamento superficial líquido dessas pilhas. Nesta base o processo pelo qual os micro-organismos aeróbicos degradam poluentes orgânicos e converte em orgânicos estáveis, dióxido de carbono e água.

Existem 3 processos que a biorremediação in situ pode realizar, a biorremediação natural, bioestimulação e a bioaumentação.

Biorremediação natural é uma técnica baseada em processos naturais de atenuação para remoção ou controle de contaminantes e/ou poluentes de solos e águas. A técnica consiste em realizar processos físicos, químicos e biológicos em ambientes impactados. Ressalta-se que a biorremediação natural não é uma alternativa para o tratamento desses locais.

Bioestimulação é uma técnica baseada na inoculação de populações de micro-organismos selecionados ou consórcios microbianos para degradar determinados tipos de poluentes e/ou contaminantes. Em outras palavras, pode-se dizer que a técnica bioaumentada se baseia na introdução de micro-organismos não indígenas (alóctones) quando identificada a insuficiência de micro-organismos indígenas.

A bioaumentação é um processo de biorremediação que utiliza micro-organismos alóctones frequentemente encontrados em produtos biotecnológicos comercializados. É uma forma de biotecnologia que pode ser usada para melhorar a qualidade da água e outros recursos naturais. Também pode ser usado na produção de biocombustíveis.

Na biorremediação destacam – se algumas vantagens e limitações citadas abaixo:

Vantagens: Capacidade de micro-organismos biodegradarem substâncias nocivas em vez de transferir o contaminante de um meio a outro; baixo custo, quando comparado a outras técnicas de remediação; elevada diversidade de ação, permitindo a incorporação dessa técnica a uma variedade de agentes contaminantes e poluentes; capacidade de degradar substâncias perigosas em vez de apenas transferir o contaminante de um meio para outro; produtos utilizados não apresentam risco ao meio ambiente e não são tóxicos; uso em áreas de proteção ambiental.

Limitações: Necessidade de um melhor entendimento em relação à ação microbiológica sobre os resíduos a serem biorremediados; método em evolução no Brasil; necessidade de acompanhamento durante o processo; muitas moléculas não são biodegradáveis; Substâncias tóxicas ao micro-organismo inviabilizam o tratamento.

#### **4 INTRODUÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS PARA O TRATAMENTO DO SOLO E SEUS RESULTADOS**

Fungos e bactérias são os principais micro-organismos eficazes na deterioração de poluentes que podem afetar a recuperação ambiental. Uma grande variedade de organismos pode ser utilizada para decomposição, incluindo bactérias, fungos e plantas (biodegradação). A eficácia de um ou de outro depende da estrutura das moléculas e da presença de enzimas capazes de degradar produtos. O oxigênio geralmente serve como aceptor final de elétrons, e a oxidação de compostos orgânicos com a redução do oxigênio molecular é chamada de respiração heterotrófica aeróbica. Na ausência de oxigênio, os micro-organismos podem usar compostos orgânicos ou íons inorgânicos como aceptores terminais de elétrons. é chamado de estado anaeróbico. A degradação biológica anaeróbica pode ocorrer por desnitrificação, redução de sulfato ou metagênese.

Os micro-organismos envolvidos na degradação de compostos xenobióticos atuam em um processo chamado cometabolismo. Neste, os micro-organismos são divididos em primários e secundários. É um processo que ocorre quando um micro-organismo primário decompõe um produto secundário. Os primários são aqueles capazes de metabolizar o substrato principal fornecido ao sistema, enquanto os secundários não utilizam o substrato principal, porém, os produtos liberados pelos micro-organismos primários.

A biorremediação envolve a utilização de micro-organismos, de ocorrência natural (nativos) ou cultivados, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. Neste caso, geralmente, os micro-organismos utilizados são bactérias, fungos filamentosos e leveduras.

Destes, as bactérias são as mais empregadas e, por conseguinte, são consideradas como o elemento principal em trabalhos que envolvem a biodegradação de contaminantes. São definidas como qualquer classe de micro-organismos unicelulares, geralmente agregados em colônias, que vivem em compartimentos ambientais diversos. São importantes, em função de seus efeitos bioquímicos e por destruírem ou transformarem os contaminantes potencialmente perigosos em compostos menos danosos ao ser humano e ao meio ambiente (NRC, 1993).

Os micro-organismos nativos da subsuperfície podem desenvolver a capacidade de degradar contaminantes após longo período de exposição. O processo de biorremediação pode ser aeróbio ou anaeróbico, necessitando de oxigênio ou hidrogênio, respectivamente. Na maioria dos locais, o subsolo está ausente nessas espécies. Isso evita que os micro-organismos se reproduzam e degradem completamente o contaminante alvo. Os compostos orgânicos são metabolizados por fermentação, respiração ou co-metabolismo.

A utilização de micro-organismos nativos ou introduzidos no meio ambiente, em reatores biológicos, é realizada com sucesso em refinarias de petróleo, têxteis, celulose e indústrias farmacêuticas. A solução para este problema é procurar aqueles no ambiente que possuem os dispositivos metabólicos apropriados para mineralizar (degradar totalmente) ou reduzir o efeito tóxico de certos compostos.

Na “biorremediação aeróbica”, que requer um meio oxidante, o oxigênio atua como aceptor de elétrons e os contaminantes são utilizados pelos micro-organismos como fontes de carbono. Quando o oxigênio é completamente consumido, os micro-organismos passam a utilizar outros aceptores naturais de elétrons disponíveis no solo.

A “biorremediação anaeróbia”, que requer um meio redutor, ocorre pela ação de espécies doadoras de elétrons, responsáveis pela degradação, principalmente, de poluentes halogênios. Este é o fenômeno pelo qual os micro-organismos, ao metabolizar fontes alternativas de carbono, liberam compostos inorgânicos hidrogenados.

#### **4.1 Principais micro-organismos utilizados no tratamento do solo por biorremediação**

A biorremediação também pode ser limitada se as condições do solo não forem favoráveis à sobrevivência e à atividade dos micro-organismos degradadores.

A humidade do solo é um fator ambiental muito importante na biodegradação e tem uma alta atividade microbiana. Isso só pode acontecer quando há quantidade suficiente de água para os micro-organismos. Além disso, o conteúdo água subterrânea é inversamente proporcional à quantidade disponível de oxigênio. Portanto com a atividade dos micro-organismos aeróbios que são os principais componentes responsável pela quebra de hidrocarbonetos.

Os fungos filamentosos e seus metabólitos em processos de biorremediação vem crescendo. Elevado potencial de degradação e biossorção (metais e corantes) e mecanismos de resistência em condições ambientais adversas. São eles: capacidade de crescer sob condições de estresse ambiental que podem limitar o crescimento bacteriano.

A temperatura afeta a atividade metabólica, o consumo de substrato pelos micro-organismos e, conseqüentemente, a biodegradação dos hidrocarbonetos. A biodegradação ocorre numa ampla

faixa de temperatura, as taxas são entre 25 e 35°C, sendo que as temperaturas acima ou abaixo dessas temperaturas ocorre prejuízo para o processo.

Desde a década de 1950, vêm sendo isoladas bactérias degradadoras destes compostos, pertencentes principalmente aos gêneros *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Beijerinckia*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Sphingomonas*, *Mycobacterium*, *Stenotrophomonas*, *Paracoccus*, *Burkholderia*, *Microbacterium*, *Gordonia*, entre outros (MUTNURI et al., 2005; JACQUES et al., 2005a; JACQUES et al., 2005b; JACQUES et al., 2007) e vários fungos dos gêneros *Cunninghamella*, *Phanerochaete*, *Fusarium*, *Candida*, *Penicillium*, *Pleurotus*, *Trametes*, *Aspergillus*, *Bjerkandera*, *Chrysosporium*, etc (CERNIGLIA, 1997, ACQUES et al., 2005a)

Alguns gêneros de bactérias têm sido descritos como potenciais degradadoras de petróleo de ambientes contaminados, como *Acidovorans*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Beijemickia*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Comomonas*, *Corynebacterium*, *Cycloclasticus*, *Flavobacterium*, *Gordonia*, *Microbacterium*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Neptunomonas*, *Nocardia*, *Paracoccus*, *Pasteurella*, *Polaromonas*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Rhodococcus*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas*, *Streptomyces* e *Vibrio*.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse trabalho foi possível compreender que os micro-organismos podem ser utilizados como ferramenta biotecnológica para a remediação de áreas contaminadas. Também podem ser utilizados na ciclagem de toda e qualquer matéria orgânica natural ou xenobiótica que seja descartada no meio ambiente devido a ações antrópicas. É possível entender a importância do uso de micro-organismos, pelos aspectos tradicionalmente abordados.

A prática de biorremediação baseada em processos de degradação de contaminantes orgânicos deve ser iniciada com um extenso e cuidadoso levantamento hidrogeológico, geoquímico e microbiológico da área contaminada. Dependendo das condições da região, a cinética de biodegradação dos compostos será mais rápida ou mais lenta.

Uma etapa preliminar de diagnóstico da área contaminada também é necessária. Ele permite que os profissionais responsáveis pela remediação decidam, por exemplo, utilizar processos adicionais para acelerar a biorremediação ou promover a atenuação natural monitorada. Além da importância de definir a técnica a ser utilizada, também é importante definir como ela será utilizada.

É imprescindível que o profissional responsável pela reabilitação da área apresente uma caracterização completa do local contaminado. Isso inclui a identificação dos tipos de contaminantes presentes, a delimitação da pluma de contaminação e uma correta avaliação dos passivos ambientais existentes não apenas na área visível.

Ressalta-se que a melhor alternativa ainda é a prevenção. É preciso que as empresas petrolíferas, sobretudo, se preocupem com a questão ambiental e adotem planos de gestão que mitiguem os efeitos de suas atividades no meio ambiente. A melhor solução para o problema é a prevenção, não a remediação.

Foi possível não só sinalizar a existência do problema ambiental, mas também, e principalmente, indicar as principais soluções que estão disponíveis e que, em todos os casos, já foram utilizadas com sucesso.

O meio ambiente engloba tudo ao nosso redor, todos fazemos parte dele. Portanto, todos devem colaborar com a construção de um ambiente mais saudável, livre de poluição e contaminação. O meio ambiente é a coisa mais importante que podemos fazer para o futuro do nosso planeta. Todos devemos trabalhar juntos para criar um mundo mais saudável, sustentável.

A falta de ação urgente de nossa parte pode gerar consequências mais graves em pouco tempo. A falta de atenção ao nosso planeta tem mostrado grandes mudanças no meio ambiente. Mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias limpas, como a biorremediação, a falta de ação imediata pode ter consequências graves.

Impacto ambiental positivo é algo que afeta o meio ambiente, mas traz benefícios para a população. Bons exemplos são o reflorestamento, a reciclagem de resíduos e o uso de práticas de proteção do solo. O impacto ambiental positivo pode ser alcançado por meio do reflorestamento e da reciclagem de resíduos, ou usando técnicas de proteção do solo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados**. Eclética Química, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 17-43, jan. 2010.

BAMFORTH, S.; SINGLETON, I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Sussex, v.80, n.7, p.723-736, 2005.

CERNIGLIA, C.E. Fungal metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: past, present and future applications in bioremediation. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Hampshire, v.19, n.5-6, p.324–333, 1997.

CORRÊA, L. B. et al. O saber resíduos sólidos de serviços de saúde na formação acadêmica: uma contribuição da educação ambiental. **Interface: comunicação, saúde, educação**, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 18, p. 571-84, set./dez. 2005.

JACQUES, Rodrigo Josemar Seminoti; BENTO, Fátima Menezes; ANTONIOLLI, Zaida Inês; CAMARGO, Flávio Anastácio de Oliveira. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, jul. 2007.

JACQUES, R.J.S. et al. Anthracene biodegradation by *Pseudomonas* sp isolated from a petrochemical sludge landfarming. **International Biodeterioration and Biodegradation**, London, v.56, n.3, p.150-156, 2005b.

JACQUES, R.J.S. et al. Characterization of a polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading microbial consortium from a petrochemical sludge landfarming site. **Bioremediation Journal**, Philadelphia, v.11, n.1, p.1-11, 2007.

LACERDA, Felipe; NAVONI, Julio Alejandro; AMARAL, Viviane Souza do. **Biorremediação: educação em saúde e alternativas à poluição ambiental**. Instituto Federal Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

LEONEL, Lillian Vieira; NASCIMENTO, Eliana Guidetti do; BERTOZZI, Janksyn; BÔAS, Laurival Antônio Vilas; BÔAS, Gislayne Trindade Vilas. **Biorremediação do solo**. Revista Terra e Cultura, n. 51, ano 25, p. 37-52, jul-dez. 2010.

MUTNURI, S. et al. Degradation of anthracene and pyrene supplied by microcrystals and non-aqueous-phase liquids. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v.67, n.4, p.569-576, 2005.

NETTO, A.D.P. et al. Evaluation of human contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) and their nitrated derivatives (NHPAS): a review of methodology. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.6, p.765-773, 2000.

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

PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de gestão ambiental**. Brueri, Manole, 2004.