

BIORREMEDIAÇÃO DE CASCALHOS DE PERFURAÇÃO CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO

Vinícius Sales Oliveira Mendonça¹

Alessandra Argolo Espírito Santo Carvalho²

RESUMO

A preocupação no que concerne aos impactos ambientais gerados pelos resíduos das atividades de perfuração e exploração de petróleo tem levado a maiores estudos na área da biorremediação. Dentre as metodologias de tratamento biológicos existentes, o presente artigo teve como objetivo avaliar a aplicabilidade da técnica do *landfarming* para o tratamento dos cascalhos de perfuração contaminados por hidrocarbonetos. A revisão de literatura foi realizada através de estudos divulgados nas principais fontes de publicação de trabalhos científicos. O artigo apresenta, dentre outros pontos, fatores que influenciam a eficiência da metodologia do *landfarming*, bem como da estrutura aplicada nos processos de remediação. Os estudos mostraram que esta técnica pode ser empregada atingindo até 99% de remoção de contaminantes de forma sustentável, entretanto uma das limitações do processo é o tempo necessário para biodegradação.

Palavras-chave: *landfarming*; biorremediação; cascalhos de perfuração; petróleo.

¹ Engenheiro Químico pela UNIFACS. E-mail: vinisalesom@gmail.com

² Doutora em Biotecnologia pela Nordeste de Biotecnologia. E-mail: alessandra.santo@fiab.org.br

1 INTRODUÇÃO

Na indústria do petróleo e derivados a preocupação a respeito dos impactos ambientais decorrentes destas atividades tem sido cada vez maior, visto que estas geram volumes significativos de resíduos sólidos (SILVA, 2009).

Os resíduos provenientes de perfurações *on shore*, chamados de cascalhos de perfuração, são um dos tipos de resíduos mais produzidos durante a exploração e produção de petróleo. Conseqüentemente, tem-se um desafio em torno do gerenciamento dos mesmos não somente devido ao imenso volume gerado nas campanhas de perfuração, como também devido ao total de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes nos mesmos (YAN *et al.*, 2011). Esses cascalhos também podem vir com 10% a 15% em peso de fluídos de perfuração, utilizados no processo de corte da formação sedimentar, adsorvidos embora tenham passados pela etapa de separação de sólidos (Santos *et al.*, 2012). Este problema tem estimulado a busca pelo desenvolvimento de tecnologias visando a remediação deste resíduo.

De acordo com a Petrowiki (2017a), o fluido de perfuração tem, dentre outras funções, o objetivo de limpar a área perfurada afim de transportar os cascalhos até a superfície e, estabilizar as paredes dos poços até o revestimento ser implementado e o cimentado ou o equipamento de completação ser instalado. Contudo, existem diferentes tipos de fluidos que podem ser categorizados com base em suas composições químicas, como por exemplo, fluidos à base de água (*Water-based fluids* – WBFs) e de óleo (*Oil-based fluids* – OBFs), sendo este último constituído por

diesel, óleo mineral, ou olefinas lineares com baixa toxicidade e parafinas (PETROWIKI, 2017b).

Historicamente, uma variedade de métodos não-biológicos tem sido utilizada a fim de tornar menos perigosos os resíduos dos processos de perfurações, como por exemplo, as tecnologias térmicas de tratamento, tais como: incineração, dessorção térmica (BALL; STEWART; SCHLIEPHAKE, 2011) e secagem por microondas (PEREIRA, 2013).

Quando considerado os tratamentos biológicos, o emprego tem sido pouco verificado, representando no Brasil, cerca de 3% dos resíduos tratados, em comparação com outras tecnologias (ABETRE, 2013).

Esta baixa participação deste tipo de tratamento é em parte, consequência de um pequeno número de empresas que prestam este tipo de serviço no país de acordo com ABETRE (2013).

No segmento de tratamentos de resíduos por métodos biológicos uma abordagem muito utilizada, especialmente nos países de clima temperado, tem sido a biorremediação. Ball, Stewart e Schliephake (2011) definem biorremediação como qualquer processo que utiliza organismos (bactéria, planta, fungos) ou suas enzimas para biodegradar contaminantes em resíduos não-tóxicos ou menos tóxico do que se tinha antes do tratamento. Esta abordagem se utiliza da biodegradação dos contaminantes por populações de microrganismos presentes ou não nos resíduos e representa um dos mecanismos primários pelo qual o petróleo e outros poluentes de hidrocarbonetos podem ser eliminados do meio ambiente (MARIN *et al.*, 2004).

Entretanto, para que isso ocorra, o resíduo deve ser susceptível ao ataque dos microrganismos, o que irá variar de acordo com a composição do óleo cru, ou seja, da classe a que o hidrocarboneto pertence (saturado, aromático, resina e asfaltenos), além da quantidade de n-alcenos dentro da classe saturada. Segundo León *et al.* (1998) a susceptibilidade à biodegradação das classes é a seguinte: saturados>aromáticos>resinas e asfaltenos, e, dentro da faixa saturada de compostos, os normais alcanos são os mais biodegradáveis.

Lin (2009) afirma que a biorremediação é uma tecnologia limpa, econômica e eficiente para tratamento de solos contaminados por compostos carbônicos provenientes do petróleo. Nos últimos tempos, tal método tem conquistado uma ampla aceitação no que diz respeito à reabilitação de ambientes contaminados por hidrocarbonetos, incluindo solos, de acordo com León (1998).

Ward e Singh (2004) discutem que a biorremediação compete com outros métodos como abordagem de correção ambiental de solos contaminados, visto que os métodos físico-químicos disponíveis são, geralmente, caros e dependentes de altas demandas de capital e energia, além de fornecerem abordagens destrutivas ou de separação, incluindo dessorção térmica, incineração e extração por solvente.

De modo geral, deve-se notar que independentemente da técnica de tratamento vários fatores irão influenciar na eficiência do processo, tais como: 1) condições físicas, químicas e biológicas do local contaminado; 2) concentração do contaminante e; 3) tempo requerido para a degradação ou a remoção do composto alvo, conforme a técnica empregada (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2011).

As vantagens da biorremediação, de acordo com Tomei e Daugulis (2013), são a possibilidade de utilização no *site*, baixo custo e menor exigência de tecnologias, permitindo a implantação de forma mais fácil, a tendência em solucionar de forma eficaz o problema de contaminação de solo, e a possibilidade de estar associada a outros processos químicos ou físicos que resultam em um aumento de eficiência e diversidade de aplicações.

As técnicas de biorremediação apresentam um ótimo custo benefício quando comparadas a outras tecnologias atingindo uma diferença econômica de mais de 77%, por exemplo, ao se comparar com metodologias térmicas (JUWARKAR *et al.*, 2010).

A biorremediação pode ser dividida em duas categorias gerais: Biorremediação *in situ* e *ex situ*, diferindo o local onde o procedimento é realizado. Enquanto que na biorremediação *in situ* o tratamento é feito no local da contaminação, na *ex situ* o resíduo é removido do local contaminado e o tratamento realizado em outro local. Esta abordagem pode ser subdividida em *landfarming*, biopilhas e compostagem (GARIMA e SP, 2014).

Dentre estas tecnologias, a *landfarming* é escolhida como o método de tratamento para hidrocarbonetos de petróleo em solos contaminados principalmente em razão de apresentar um custo relativamente baixo, ao se comparar com outras técnicas, além de apresentar boa eficiência (BALL; STEWART; SCHLIEPHAKE, 2011). Contudo, existem fatores que limitam a aplicação deste método, como a utilização de grandes áreas e concentração de metais no solo (USEPA, 1994).

No entanto, como resultado dos custos associados com a escavação do solo e transporte desse contaminante, as técnicas *in situ* podem ser, em geral, cerca de 40 a 50% mais baratas que as técnicas *ex situ* (MAILA; CLOETE, 2004).

Logo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o emprego da técnica de *landfarming* no tratamento de cascalho proveniente de poços de perfuração e exploração de petróleo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO DO LANDFARMING

Landfarming é uma técnica simples onde seu objetivo principal é viabilizar os mecanismos biológicos através do qual a maior parte dos contaminantes orgânicos são removidos. Desta forma, a eficiência desta tecnologia pode requerer a otimização de processos bioquímicos por meio da adição de nutrientes, tais como, nitrogênio e fósforo, além de outros substratos que limitam o crescimento, como por exemplo, o oxigênio que é fornecido por aração do solo. Além disso, é necessária a presença de água para manter a umidade em níveis adequados ao processo biológico (NIKOLOPOULOU e KALOGERAKIS, 2016).

No geral, a eficácia da tecnologia de *landfarming* depende de alguns fatores que influenciam a biodegradação, o principal mecanismo de remoção de contaminantes, e que podem ser agrupados em três categorias de acordo com a USEPA (1994): características do solo (densidade populacional microbiana, pH, umidade, temperatura, oxigênio, concentração de nutrientes e textura), característica do contaminante (volatilidade, estrutura química e concentração) e condições climáticas (temperatura ambiente, pluviosidade e vento). Esses fatores geralmente

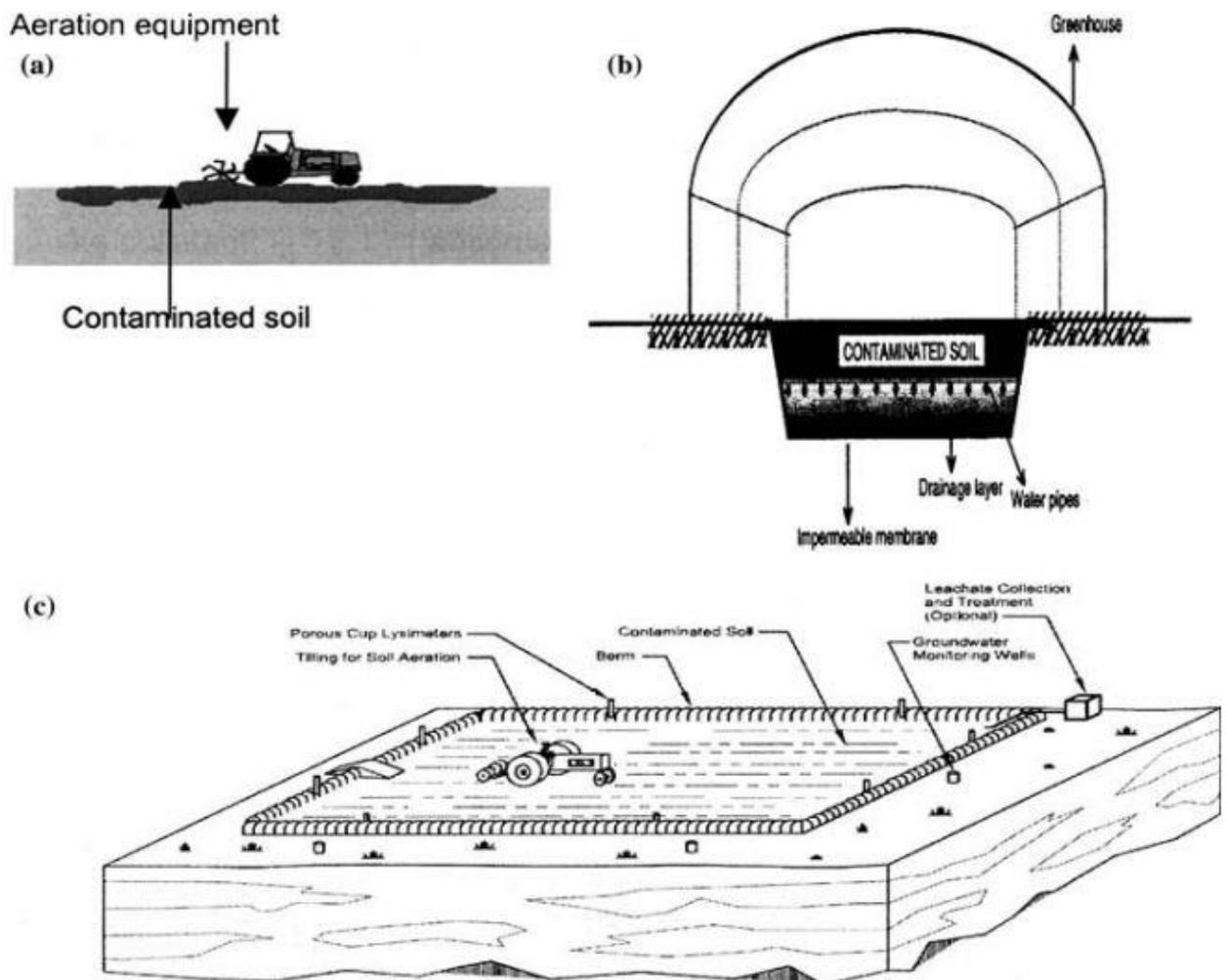
são monitorados e / ou controlados e avaliados antes e depois da implementação de uma unidade deste tipo de tratamento (NIKOLOPOULOU e KALOGERAKIS, 2016).

De acordo com a USEPA (1994), além de temperaturas na faixa de 10°C a 45°C, a utilização de nutrientes em quantidade adequadas é importante no crescimento dos microrganismos que metabolizam os contaminantes, assim como um pH do solo próximo a 7 e umidade preferencialmente entre 40% e 85% uma vez que o excesso pode reduzir a disponibilidade de ar no meio – importante no processo aeróbico de biodegradação.

Além das condições descritas, a técnica de tratamento do *landfarming* também exige uma área considerável para tratar o solo contaminado, especialmente nos casos em que há grandes quantidades de resíduos a serem tratados (NIKOLOPOULOU e KALOGERAKIS, 2016). Outros fatores que restringem o uso desta técnica são as elevadas concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e de metais pesados, ou seja, maiores que 50.000 ppm e 2.500 ppm, respectivamente. Nestes casos, é necessário misturar completamente com solo limpo de modo que as concentrações alcancem valores abaixo dos níveis tóxicos (USEPA,1994).

Embora o princípio da técnica e os fatores que influenciam sejam os mesmos pode-se verificar na literatura a utilização de diferentes estruturas para o sistema de tratamento, conforme apresentado na Figura 01.

Figura 01 – Diferentes Layouts de *Landfarming*. (a) Sistema Tradicional de *Landfarming*. (b) Sistema de “Complexo” de *Landfarming* adaptado de Picado *et al.* (c) Sistema de *Landfarming* sem a estrutura de gases de efeitos estufa adaptado de EPA (1994).



Fonte: (MAILA; CLOETE, 2004)

No que se refere às aplicações, existem diversas para o *landfarming*, como por exemplo, para o tratamento de solo contaminado. A metodologia também pode ser influenciada pela capacidade do equipamento de aração e, com isso, é importante projetar o *landfarming* de forma adequada. Além disso, outro fator importante durante o projeto de tratamento é a necessidade de implementar uma membrana

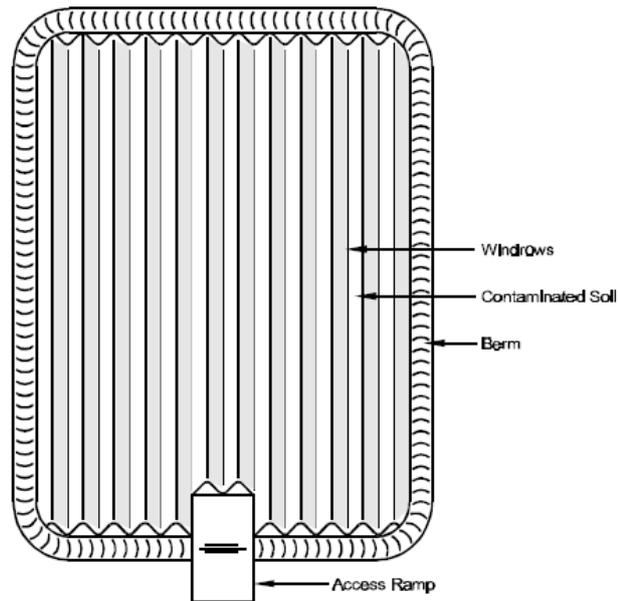
impermeável com uma camada de drenagem que tem como objetivo evitar contaminação das águas subterrâneas (MAILA; CLOETE, 2004).

No Brasil, de acordo com a NBR 13.894 da ABNT (1997), que estabelece os critérios para tratamento no solo de resíduos sólidos industriais suscetíveis à biodegradação, a superfície do solo deve manter a distância mínima de 3 metros acima do nível sazonal mais elevado do lençol freático.

Ao considerarmos o uso de *landfarming* no tratamento de resíduos, à exemplo do cascalho de perfuração de poços de petróleo, vemos que algumas pesquisas têm apresentado bons resultados, embora ainda seja uma tecnologia pouco utilizada no Brasil.

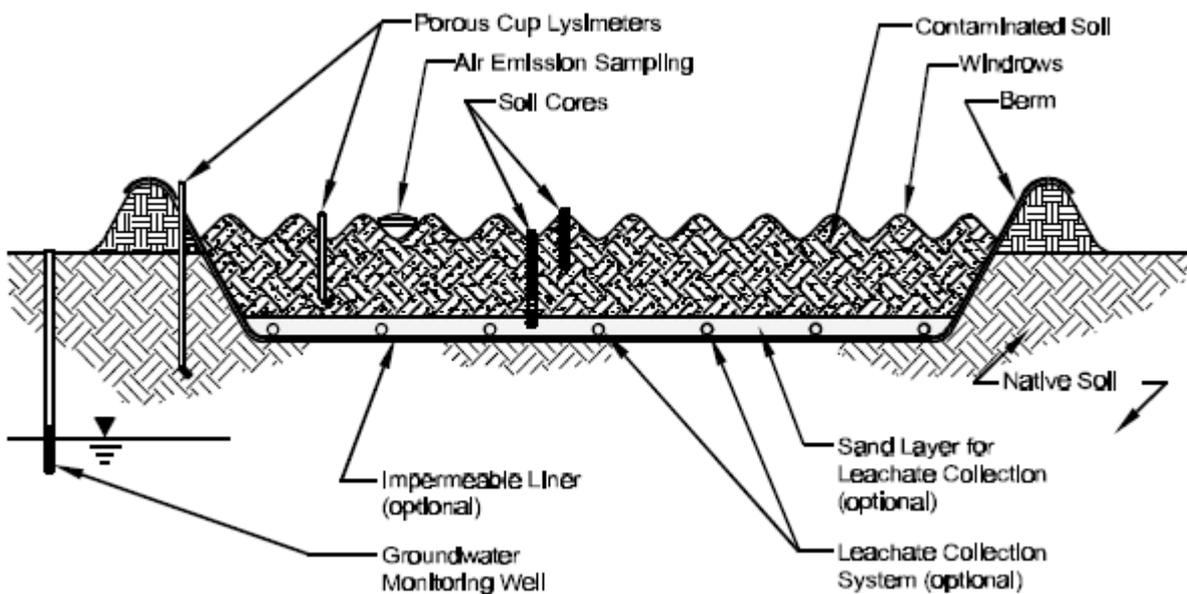
Para projetos de *landfarming* a USEPA (1994) recomenda: preparação do local (escavação e limpeza); contenções; manta (se necessário); sistemas de coleta e tratamento de lixiviados; métodos de pré-tratamento do solo (por exemplo, trituração, mistura e revolvimento, controle de pH); e recintos e instalações de tratamento de vapor apropriados (quando necessário). O projeto de construção de um *landfarming* típico é mostrado na Figura 2 e 3.

Figura 2 – Esquema típico de *Landfarming* - Vista Plana.



Fonte: (USEPA, 1994)

Figura 3 – Esquema típico de *Landfarming* – Seção Transversal.

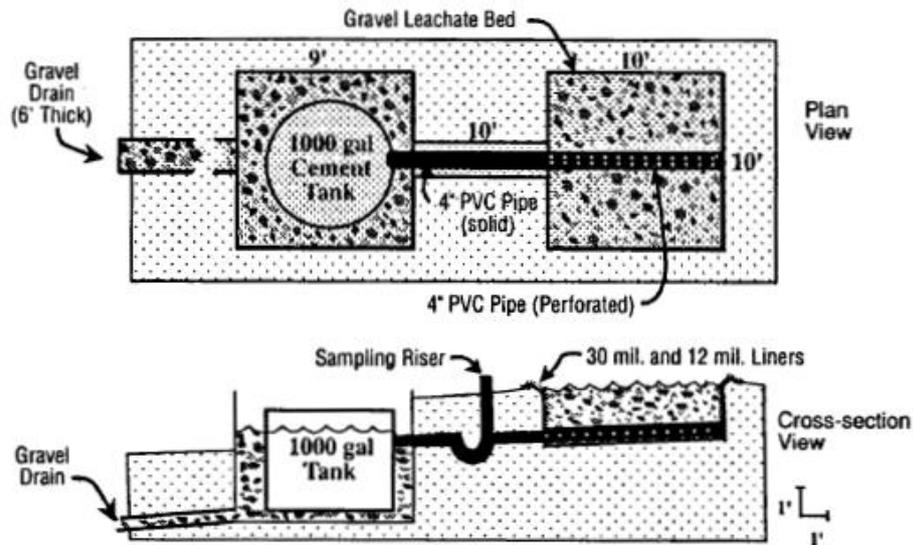


Fonte: (USEPA, 1994)

Barker *et al.* (1992), realizou um teste piloto de campo para resíduo de cascalho, empregando cinco áreas construídas de 3 x 3 metros na empresa *Amoco Production Retherford "1A"*. As áreas delimitadas foram escavadas a uma profundidade de aproximadamente 61 centímetros e revestidas com uma manta de polietileno de alta densidade. Além disso, um tubo de PVC perfurado de 10 centímetros, incorporado em um leito de cascalho de mesma dimensão, coleta o lixiviado de cada parcela e encaminha para um tanque de 3,8 m³. Cada lote foi preenchido com 38 a 50 centímetros de solo nativo. Todos os lotes tiveram barreiras de contenção construídas para evitar o escoamento superficial para dentro e para fora das áreas trabalhadas.

A Figura 4 a seguir ilustra tal esquema. Com este projeto Barker *et al.* (1992) conclui que o tratamento com *landfarming* é ambientalmente aceitável se for cuidadosamente gerenciado. Além disso, foi observada uma degradação significativa de hidrocarbonetos, bem como uma melhor eficiência deste processo com a adição de nutrientes (N;P;K).

Figura 4 – Vista plana e da secção transversal de um teste piloto e o sistema de coleta de lixiviado associado.



Fonte: (BARKER *et al.*, 1992)

Em uma pesquisa realizada por Rizzo *et al* (2006), a avaliação estimada dos diversos tratamentos de solos contaminados com o *landfarming* demonstrou ter um custo estimado de U\$ 10 a U\$ 90 por tonelada de resíduo a ser tratado. Portanto, ao se comparar com outros tipos de tratamentos (físicos, químicos e térmicos), esta metodologia biológica exibe uma vantagem econômica considerável principalmente quando se analisa os tratamentos por incineração.

Khan *et al.* (2004) realizou um estudo comparativo sobre as tecnologias de remediação no qual foi abordado: o tipo de metodologia mais adequada para um determinado contaminante, tempo médio de tratamento, o custo estimado para aplicação, a eficiência, dentre outros. Os autores concluíram que o processo de *landfarming* pode ser aplicado para os alguns tipos de contaminantes, sendo estes os compostos orgânicos semi-voláteis (SVOC) e hidrocarbonetos médios e pesados. Além disso, concluíram que esta metodologia pode ser aplicada na maioria dos tipos

de solos, bem como argilas, siltes e areias obtendo uma eficiência que variou de 75% a 90%. Os autores ressaltaram apenas a demora no processo, que pode variar de 6 meses a 2 anos.

Embora com tempo de tratamento elevado, é consenso na literatura que a eficiência e o baixo custo da tecnologia, variando entre de US\$ 30 a US\$ 60 (USEPA, 1994) por tonelada de solo contaminado, o que a tornam vantajosa quando comparada com a maioria das metodologias de tratamento de resíduos.

Esta eficiência também pode ser vista através do estudo comparativo das tecnologias de biorremediação e não-biológicas fornecido por Ball, Stewart e Schliephake (2011) para o tratamento de cascalhos de perfuração de petróleo contaminados. No geral, a avaliação considera fatores, tais como, espaço requerido, tempo de tratamento, custo, tipo de monitoramento necessário, dentre outros que devem ser considerados com o objetivo de escolher a melhor tecnologia de gerenciamento de resíduos, incluindo os riscos ambientais associados à eliminação dos subprodutos de perfuração, proporcionando desta forma, um subsídio para decisões sobre a eliminação de resíduos de perfuração a serem feitas.

Pode-se notar que o custo é apenas um de uma série de fatores que precisam ser levados em consideração ao escolher a melhor tecnologia para gestão de resíduos de perfuração de petróleo; outros fatores incluem o ambiente local, aspectos de segurança e legais . No caso do *landfarming*, esta metodologia apresenta um tempo de tratamento que varia de 200 a 800 dias com um custo estimado de 10 a 12 AU\$/m³, além de necessitar de um monitoramento regular da concentração dos poluentes no solo e escoamento superficial. Por outro lado,

quando se aplica a metodologia de bioaugmentação há uma redução no tempo de tratamento (100 a 200 dias) ao se comparar com a técnica de *landfarming* convencional (BALL; STEWART; SCHLIEPHAKE, 2011).

De acordo com Andrade, Augusto e Jardim (2011), bioaugmentação é caracterizada pelo aumento da microbiota nativa por meio da inoculação de microorganismos exógenos com o objetivo de tornar o processo de biodegradação do contaminante mais rápido. Entretanto, para que se utilize esta técnica deve existir uma autorização de órgãos e agências de fiscalização ambientais, tal como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

No processo de *landfarming* os hidrocarbonetos de petróleo mais leves, incluindo os constituintes de gasolina, tendem a ser removido por evaporação durante os processos de aeração e, em menor proporção, a partir da degradação microbiana. No entanto, hidrocarbonetos pesados de petróleo não evaporam durante a aeração, mas são degradados por microorganismos presentes no solo do local de tratamento. Estes compostos de petróleo com peso molecular mais elevado, tais como aqueles encontrados em sistemas de aquecimento e óleos lubrificantes e, em menor medida em combustível diesel e querosene, exigem longos períodos de tempo para serem degradados (KHAN *et al.*, 2004).

3 METODOLOGIA

O presente artigo utilizou como metodologia a pesquisa bibliográfica, utilizada quando se deseja explicar um problema a partir de estudos teóricos publicados, a

exemplo de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita (MARCONI e LAKATOS, 1992).

Para a revisão de literatura, foram utilizadas as principais bases de publicação de trabalho científico, tais como: *Science Direct*, *Society of Petroleum Engineers* (SPE), *Scopus*, *Web of Science* e Springer.

A busca realizada no período de janeiro a setembro de 2016 nas bases anteriormente citadas se deu a partir da utilização da combinação de operadores booleanos conforme a equação que se segue: “*Drill Cutting**” AND “*Land* farming**”. A revisão contemplou uma busca de mais de setenta artigos envolvendo o presente tema.

Em função da pouca publicação disponível nas bases de dados a respeito da aplicação do *landfarming* na biorremediação dos cascalhos de perfuração de petróleo foram considerados todos os artigos independente do ano de publicação.

Os artigos capturados e disponibilizados na íntegra foram lidos e analisados, sendo os resultados dispostos em tabela.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após terem sido verificados os artigos que melhor se adequam ao tema proposto, pôde-se destacar os estudos na Tabela 01 referentes ao tratamento de cascalho de perfuração de petróleo utilizando *landfarming* com o objetivo de diminuir a concentração de hidrocarbonetos totais nesses resíduos.

Tabela 01 – Resultados obtidos através da técnica do *Landfarming* para cascalho contaminado em alguns países.

Autor	Localização	Composto	Resultados Obtidos	Tempo	Zona Climática	Solo
SILVA, 2009.	Brasil	Hidrocarbonetos Totais	89,6%	7 a 8 meses	Tropical	Argilo- Arenoso
YOUNKIN <i>et al.</i> , 2000.	Bolívia	Hidrocarbonetos Totais	93%	6 a 7 meses	Tropical	Silte- Arenoso
LADOUSSE <i>et al.</i> , 1996.	França	Hidrocarbonetos Totais	75%	9 meses	Temperada do Norte	-

Fonte: Própria.

De acordo com a Tabela 01, pode-se observar que, embora os estudos obtiveram tempos de tratamentos semelhantes, os resultados oriundos destas metodologias variaram entre 75% e 93%. A Bolívia apresentou a melhor eficiência no tratamento para remoção de hidrocarbonetos totais assim como o Brasil. Isto pode ser explicado devido a elevada temperatura, pluviosidade e características do solo encontradas que podem estimular a atividade microbiana. De acordo com Silva (2009), a predominância de areia no solo, permite uma melhor transferência de massa de substâncias como o oxigênio, água e nutrientes (Nitrogênio e Potássio, por exemplo) em razão da maior permeabilidade no meio. Por outro lado, a França, um país cujas características são distintas e situa-se na zona temperada do Norte, obteve reduções menores de hidrocarbonetos devido, principalmente, à baixa temperatura anual média (11°C).

Silva (2009) elaborou uma avaliação sobre o tratamento de resíduos oleosos utilizando a técnica do *landfarming* em uma unidade industrial localizada na região amazônica que os resíduos provenientes das operações de refino de petróleo.

Para a aplicação deste processo de tratamento de resíduos foram empregados processos de bioestimulação através da umidificação, fertilização e aeração. O tempo de remediação e estudo durou 225 dias e foi obtido um decréscimo de 89,6% de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) no solo tratado com uma produtividade média de degradação de $25,8 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, enquanto o solo controle apresentou 22,4% de degradação ($6,5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$). A concentração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) reduziu em 88,7% ($0,13 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) no solo tratado e no controle a degradação atingiu 25,8% ($0,04 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$).

Na Bolívia foi realizado um estudo por Younkin, Suaznabar e Parsons (2000) com três sistemas de *landfarming*: o primeiro em uma área subtropical no norte de Santa Cruz (*Los Cusis Land Farm*); o segundo em uma região semiárida ao sul (*Exploration Well #2 Land Farm*); e a terceira localizada no sul das montanhas próxima a comunidade de Villamontes (*Camatindi Land Farm*). Contudo, não foi concluída uma avaliação sobre este último em virtude da data da aplicação do artigo pelo autor. *Los Cusis Land Farm* foi construída em uma área onde há um índice anual de precipitação de 1250 a 1450 mm, apresenta uma drenagem baixa com extenso alagamento durante os meses de verão e com uma média anual de temperatura que varia em de 23 a 25 graus centígrados. Além disso, está situada numa região elevada com uma extensão de terra de 4 ha, sendo dividida em células de 30 m x 30 m e uma declividade topográfica de aproximadamente 5%. A camada de até 60 cm do solo encontra-se silte arenoso com uma densidade moderada e com 15% de argila. Depois dessa camada há uma faixa relativamente impermeável de argila (70% a >90%) que se prolonga até cerca de 3,0 metros. Os primeiros

intervalos de água subterrânea estão localizados a 1,5 m e 1,8 m e foram monitorados. (YOUNKIN; SUAZNABAR; PARSONS, 2000).

Apesar da *Exploration Well #2 Land Farm* também está localizada ao norte, há um índice de precipitação pluviométrico anual menor (entre 820 e 950 mm) e apresenta uma área menor, ou seja, de 2 ha. Entretanto, este campo foi dividido em células de aproximadamente 25 m por 25 m. Os solos na zona de tratamento são arenosos, semelhantes aos descrito para o *Los Cusis*. (YOUNKIN; SUAZNABAR; PARSONS, 2000).

Após o recebimento dos resíduos sólidos das atividades de perfuração nos três sistemas de tratamento na Bolívia, os cascalhos eram arados a cada duas semanas a depender do índice pluviométrico, afim de incorporar os resíduos e aumentar a aeração no meio. Adicionalmente, foi realizada uma única aplicação de fertilizantes (15:15:15) visando o aumento dos nutrientes em cada sistema de *landfarming* numa taxa de 220 kg/ha (YOUNKIN; SUAZNABAR; PARSONS, 2000).

Os resultados obtidos no estudo de Younkin, Suaznabar e Parsons (2000) para os *Landfarmings* de *Los Cusis* e *Exploration Well #2* para cascalhos de perfuração com base oleosos contendo 15% hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) e aplicada em cargas de 238 a 935 m³/ha, foram reduzidas a níveis de 1% (HTP) nos solos em 5 a 7 meses. Isto foi atingido devido aos tratamentos mínimos incluindo aeração e adição de fertilizantes. Além disso, as taxas de biodegradação durante os períodos de seca foram consideravelmente mais lentos, contudo, aceleram após a primeira chuva. O monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea no *Los Cusis* não detectou impactos negativos que possam afetar o meio ambiente.

Ladousse *et al.* (1996) executou experimento a respeito do tratamento dos cascalhos de perfuração de base oleosa que foram coletados a partir de um poço perfurado no *site* da Montmirail no Departamento de Marne, França. Estes resíduos foram basicamente compostos por minerais, incluindo hidrocarbonetos utilizados no fluido de perfuração. Os ensaios foram conduzidos em uma área de aproximadamente 3 hectares com quatro terrenos próximos ao *site* de perfuração, após aprovação de autoridades francesas. A fim de monitorar a evolução dos hidrocarbonetos, um sistema de drenagem foi instalado a uma profundidade de 60 a 80 cm, com orifícios para amostragem da água drenada. Após o espalhamento dos cascalhos de perfuração, o campo foi preparado para as culturas de milho.

Em um período de nove meses as avaliações mostraram que 75% a 80% dos hidrocarbonetos presentes no cascalho de perfuração foram biodegradados além de não apresentarem nenhum tipo de consequência adversa na fertilidade do solo, bem como nenhuma deficiência visual na plantação (LADOUSSE *et al.*, 1996).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as análises feitas dos estudos de caso, pode-se inferir que os cascalhos de perfuração contaminados por hidrocarbonetos de petróleo podem ser biodegradados por microorganismos e que tal processo é influenciado por fatores físicos, químicos e biológicos que interferem na atividade microbiana. Além disso, a redução de concentração do contaminante atinge valores significativos em alguns casos apesar de ser uma tecnologia considerada relativamente simples de ser

implementada. Adicionalmente, grandes quantidades de solo podem ser tratadas com a metodologia de *landfarming* que apresenta um bom custo benefício em comparação com a maioria das tecnologias de tratamento e, não apresenta impactos consideráveis ao meio se construída dentro dos aspectos adequados de projeto. Contudo, esta metodologia exige um longo tempo de tratamento para que os cascalhos obtenham uma eficiência de remoção relevante, além de ter sua aplicação limitada devido a altas concentrações de metais e hidrocarbonetos.

A pouca literatura disponível no Brasil exalta a necessidade de mais pesquisas de cunho prático nesta área de modo a possibilitar o estabelecimento de critérios adequados a implantação desta metodologia em clima tropical.

BIOREMEDIATION OF DRILL CUTTINGS CONTAMINATED BY PETROLEUM HYDROCARBONS

Vinícius Sales Oliveira Mendonça
Alessandra Argolo Espírito Santo Carvalho

ABSTRACT

The concern on the environmental impacts due to waste from drilling and oil exploration activities has led to further studies in the bioremediation field. Amidst the existing biological methodologies, the objective of this article was to evaluate the feasibility of landfarming technique in the treatment of drill cuttings contaminated by petroleum hydrocarbons. The literature review was carried out based on studies published in the main sources from publication of scientific papers. The article presents, among other points, factors that influence the efficiency of the landfarming methodology, as well as the applied structure in the remediation processes. The studies showed that the technique can be applied removing up to 99% of contaminants in a sustainable way, albeit one of the process limitations is the time required for biodegradation.

Keywords: landfarming; bioremediation; drill cuttings; oil.

REFERÊNCIAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos. Perfil do Setor de Tratamento de Resíduos e Serviços Ambientais. 2013. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br>>. Acesso em: 31 Jul. 2016.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR 13.894: Tratamento no Solo (*landfarming*). 1997.

ANDRADE, Jullano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo e Seus Derivados. Scielo: Eclética Química, São Paulo (Campinas), v. 35, n. 3, p.17-43, 2010.

BALL, Andrew S.; STEWART, Richard J.; SCHLIEPHAKE, Kirsten. A Review of The Current Options for the Treatment And Safe Disposal of Drill Cuttings. Waste Management & Research. Austrália, p. 457-473. 13 Jul. 2011.

BARKER, G W; ARMSTRONG, K W; ADAMSON, T J. Land Treatment of Petroleum Hydrocarbon-Based Drill Cuttings: Pilot Scale Field Study. In: Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineer, 67., 1992, Washington (DC): Society of Petroleum Engineers, 1992. p. 149 - 156.

GARIMA, Tiwari; SP, Singh. Application of Bioremediation on Solid Waste Management: A Review. Bioremediation & Biodegradation. India. Set. 2014.

KHAN, Faisal I.; HUSAIN, Tahir; HEJAZI, Ramzi. An Overview and Analysis of Site Remediation Technologies. Journal of Environmental Management. Canada, p. 95-122. 02 Fev. 2004.

LADOUSSE, A. et al. Landfarming of Drill Cuttings. Society of Petroleum Engineers: International Conference on Health, Safety & Environment. New Orleans (Louisiana), p. 31-34. Jun. 1996.

LEÓN, N. et al. Biodegradability of Venezuelan Crude Oils. Society of Petroleum Engineers: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Venezuela. Jun. 1998.

LIN, Ta-chen; PAN, Po-tsen; CHENG, Sheng-shung. Ex situ bioremediation of oil-contaminated soil. Elsevier: Journal of Hazardous Materials. Taiwan, p. 27-34. 30 Out. 2009.

MAILA, Mphokgo P.; CLOETE, Thomas E.. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons Through Landfarming: Are Simplicity and Cost-Effectiveness The Only Advantages? Environmental Science and Bio/Technology. South Africa, p. 349-360. 23 Nov. 2004.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Metodologia do Trabalho Científico. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

NIKOLOPOULOU, Maria; KALOGERAKIS, Nicolas. Ex Situ Bioremediation Treatment (Landfarming). Springer Protocols Handbooks, [S.I.], Maio 2016.

PEREIRA, Marina Seixas. Aplicação de secagem por microondas no tratamento de cascalho de perfuração. 2013. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais (Uberlândia), 2013.

PETROWIKI. Drilling fluid types. Contributed by members of the Society of Petroleum Engineers. Disponível em: < http://petrowiki.org/Drilling_fluids>. Acesso em: 15 abr. 2017a.

PETROWIKI. Drilling fluid types. Contributed by members of the Society of Petroleum Engineers. Disponível em: <http://petrowiki.org/Drilling_fluid_types>. Acesso em: 15 abr. 2017b.

RIZZO, A. C. L., LEITE, S. G. F., SORIANO, A. U., SANTOS, R.L.C., SOBRAL, L. G. S.. Biorremediação de Solos Contaminados por petróleo: Ênfase no Uso de Biorreatores. 2006. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/332>>. Acesso em: 15 Mar. 2016.

SANTOS, Mario L. et al. Bioremediation Process: Application of Gravel Generated in Oil Well Drilling in Native Soil Quality. In: AADE Fluids Technical Conference and Exhibition, 2012, Brasil. AADE-12-FTCE-09. Texas (Houston), 2012. p. 1 - 5.

SILVA, Leonardo Jordão da. Processo de Landfarming para Tratamento de Resíduos Oleosos. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

TOMEI, M. Concetta; DAUGULIS, Andrew J.. Ex Situ Bioremediation of Contaminated Soils: An Overview of Conventional and Innovative Technologies. Critical Reviews In Environmental Science And Technology, Canada, v. 43, n. 20, p.2107-2139, 02 set. 2013.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. 1994. Chapter V: Landfarming. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ust/how-evaluate-alternative-cleanup-technologies-underground-storage-tank-sites-guide-corrective>>. Acesso em: 22 Mar. 2016.

WARD, Owen P.; SINGH, Ajay. Evaluation of Current Soil Bioremediation Technologies. In: VARMA, Ajit. Soil Biology: Applied Bioremediation and Phytoremediation. New York: Springer, 2004. p. 187-207.

YAN, Ping *et al.* Remediation of Oil-based Drill Cuttings Through a Biosurfactant-based Washing Followed by a Biodegradation Treatment. Elsevier: Bioresource Technology. China, p. 10252-10259. 28 Ago. 2011.

YOUNKIN, W.; SUAZNABAR, C.; PARSONS, S.. Land Farm Design and Management in Bolivia: A Case-Study. Spe International Conference On Health, Safety And Environment In Oil and Gas Exploration And Production, Stavanger, Norway, p.1-13, Jun. 2000. Society of Petroleum Engineers (SPE).