



ESTUDO COMPARATIVO SOBRE PRÁTICAS DE DESTINAÇÃO PARA SOLOS DESCONTAMINADOS POR BIORREMEDIAÇÃO *EX-SITU*

Lisana Gerhardt Moraes¹ (lisanagmoraes@gmail.com), Cristine Santos de S. da Silva² (cristine3s@hotmail.com), Thomas Michael Berger³ (thomasmberger@yahoo.com.br) e Priscila Regina Fipke¹ (priscilarfipke@gmail.com)

- 1 Graduandas em Eng. Ambiental e Sanitária - UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL (ULBRA)
2 Professora do curso de Eng. Ambiental e Sanitária (ULBRA) e Doutoranda do PPGECIM (ULBRA)
3 Doutor em Ecologia e Professor da FACULDADE DOM BOSCO

RESUMO

A contaminação de solos, em especial por derivados de petróleo, é um dos principais impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas. Uma das técnicas que se destaca no tratamento destas áreas é a biorremediação *ex-situ*, que remove o solo do local de origem e o encaminha para tratamento em local adequado. O processo de descontaminação se dá por encerrado quando os padrões estabelecidos em norma forem alcançados, gerando assim um grande volume de solos "limpos". Por falta de legislação específica no Brasil, esses solos são, em sua grande maioria, encaminhados para aterros sanitários como resíduo classe II. Na Alemanha, onde esta tecnologia é amplamente aplicada, existem normativas que permitem diferentes formas de reuso deste material. Tendo em vista a prática de reaproveitamento desses solos, este trabalho almeja comparar as práticas de destinação de solos descontaminados por biorremediação *ex-situ* no Brasil e na Alemanha.

Palavras-chave: solos descontaminados; biorremediação *ex-situ*; contaminação de solos.

COMPARATIVE STUDY ABOUT PRACTICES OF DISPOSAL FOR SOIL DECONTAMINATED BY BIOREMEDIATION *EX-SITU*

ABSTRACT

The soil contamination, especially for petroleum products, is one of the main environmental impacts caused by human activities. One of the techniques that stands out in treating these areas is bioremediation *ex situ*, removing the soil from the source location and forwards it to treatment in an appropriate place. The decontamination process is finished when the established standards are found, thereby generating a large volume of "clean" soil. Given the lack of specific legislation in Brazil these soils are, mostly, sent to landfills as class II waste. In Germany, where this technology is widely applied, there are regulations that allow for different forms of reuse of this material. In order to reuse these soils, this work aims to compare the practices for disposal of soil decontaminated by bioremediation *ex situ* in Brazil and Germany.

Keywords: decontaminated soil; bioremediation *ex situ*; soil contamination.

1. INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial, o homem ampliou a produção de bens de consumo e, ao mesmo tempo, o consumo de recursos naturais e de produtos químicos, sem atentar às consequências que isto resultaria (MORAES; TEIXEIRA; MAXIMILIANO, 2014). A partir deste momento, o petróleo e seus derivados passaram a fazer parte do cenário produtivo. Indústrias petrolíferas causam grandes impactos ambientais e dentre eles se enquadra a contaminação de solos, que pode ocorrer durante a exploração, o refino, o transporte e operações de armazenamento do petróleo e/ou de seus derivados. Na tentativa de remediar esses impactos, a técnica de remediação bioquímica vem



sendo utilizada no tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010; MIRANDA; SILVA; ALMEIDA, 2010).

A biorremediação é um processo em que organismos vivos são responsáveis por transformar ou reduzir poluentes através de degradação biológica, podendo ocorrer no próprio local onde a contaminação foi originada ou fora deste, *ex-situ* (BOOPATHY, 2000).

Na biorremediação *ex-situ*, o processo ocorre a partir da escavação do material a ser tratado. Posteriormente, este material deve ser transportado até um local adequado (BOOPATHY, 2000) e licenciado para realizar o processo de descontaminação (CONAMA, 1997). No Brasil, solos descontaminados podem receber dois destinos: (1) retornar para o local de origem ou (2) serem encaminhados para aterros sanitários (NETO; SANTOS; GOMES, 2000).

Na Alemanha, os solos tratados pelo mesmo processo podem ser utilizados para outros fins, como por exemplo, durante a etapa de recuperação de áreas de mineração, aterramento de rodovias, pavimentações em áreas industriais, entre outras finalidades (ALEMANHA, 2004).

Tendo em vista a prática de destinações que proporcionam utilidade para solos descontaminados, este trabalho almeja comparar as práticas de destinação de solos tratados por biorremediação *ex-situ* no Brasil e na Alemanha.

1.1 Áreas contaminadas e fontes de contaminação

De acordo com a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Órgão Ambiental do Estado de São Paulo (2001):

“... uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.” (CETESB, 2001, pág.3).

Uma fonte representativa de contaminação do solo é a utilização e manuseio de combustíveis derivados do petróleo, áreas contaminadas oriundas desses produtos são comuns de se encontrar em locais com as mais variadas atividades (GUEDES et al, 2010).

A contaminação de solos por hidrocarbonetos se tornou cada vez mais comum em função do aumento dos vazamentos de combustíveis e da crescente comercialização da gasolina e do óleo diesel (BIGSONIN, 2012). Sempre que uma área contaminada por petróleo for localizada é necessário realizar análises de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH - *Total Petroleum Hydrocarbons*), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH – *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) e Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) para afirmar sobre a fonte de contaminação e o risco ambiental existente (BERGER, 2005).

1.1.1 Contaminantes

O principal grupo de contaminantes encontrado em áreas degradadas por derivados de petróleo é o TPH, esse representa a quantidade total de hidrocarbonetos existentes em uma amostra. Por retratar uma série de compostos, é considerado o parâmetro mais importante para a detecção e caracterização da contaminação (BERGER, 2005).

Segundo Bisognin (2012), outro grupo de contaminantes presentes nas áreas impactadas por derivados do petróleo é o PAH. Esses compostos apresentam somente átomos de carbono e hidrogênio, dispostos na forma de dois ou mais anéis aromáticos. Mais de 100 PAHs são conhecidos, contudo, apenas 16 são utilizados para indicar a contaminação de derivados de petróleo, isso em função das suas características ambientais e toxicológicas, são eles: acenaftaleno, acenaftileno, antraceno, criseno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-c,d)pireno, naftaleno e pireno.



Por fim, temos o grupo de contaminantes chamado de BTEX, que inclui o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos. Esses compostos indicam contaminações específicas por gasolina, já que possuem grande representatividade na sua composição (BISOGNIN, 2012).

1.1.2 Biorremediação

A biorremediação é um processo que visa destruir ou reduzir a concentração de poluentes orgânicos a partir da atividade microbiana. Essa tecnologia pode ser utilizada para o tratamento de solos, lamas, águas e diversos tipos de resíduos. Os microrganismos atuantes nesse processo utilizam o substrato, contaminante em questão, como fonte de carbono e energia, resultando em um crescimento da colônia microbiana e descontaminação do meio (BOOPATHY, 2000). Essa técnica tem grande importância ambiental por remover substâncias tóxicas do solo e por apresentar viabilidade técnica e econômica (COUTINHO et al, 2015; SILVA; SANTOS; RIZZO, 2013).

Andrade, Augusto e Jardim (2010) afirmam que é comprovada a eficiência da técnica de biorremediação para tratar solos contaminados com hidrocarbonetos, incluindo os três grupos de contaminantes apresentados, BTEX, PAH e TPH.

Para garantir a eficácia da biorremediação de solos, diversos fatores abióticos devem ser observados, como pH do meio, que deve estar na faixa entre 5,5 e 8,5; textura e porosidade do solo, solos com granulometria maior apresentam taxas mais rápidas de degradação; umidade, a faixa ideal é de 12 a 16%; temperatura, em torno de 40 °C e; a presença de oxigênio, uma vez que a maioria dos hidrocarbonetos são degradados em meio aeróbico (COLLINA et al, 2005; BERGER, 2005; SEABRA, 2005).

A degradação biológica envolve duas variações básicas de tratamento, *in-situ* (Latim: no local de origem) e *ex-situ* (Latim: fora do lugar de origem) e, estas, abrangem várias técnicas com princípios individuais (MENEGETTI, 2007).

As técnicas de biorremediação *ex-situ* são aquelas em que o solo contaminado é removido do local de origem através de escavação e posteriormente é encaminhado para tratamento em local adequado (COUTINHO et al, 2015). Após o tratamento, tem-se um grande volume de solo que deve ser destinado para um aterro sanitário ou para o local de origem.

1.1.3 Legislação Brasileira

Atentando ao crescente reconhecimento de áreas contaminadas e ao risco que essas oferecem à saúde pública e ao meio ambiente, o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou em 2009 a Resolução CONAMA nº 420, que

“... dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.” (CONAMA, 2009)

Entre outras considerações, a CONAMA 420 define três valores orientadores de qualidade dos solos: (a) Valores de Referência de Qualidade – VRQ, “[...] concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo [...]”; (b) Valor de Prevenção – VP, “[...] concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais [...]”; e (c) Valor de Investigação – VI, “[...] concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana [...]”. Na Tabela 1 estão apresentados os padrões para BTEX e alguns PAH’s estabelecidos pela referida resolução.



Tabela 1. Valores de Prevenção e de Investigação definidos pela CONAMA nº 420/2009

Substância	Valor de Prevenção (mg/kg)	Valor de Investigação (mg/kg)		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Benzeno	0,03	0,06	0,08	0,15
Etilbenzeno	6,2	35	40	95
Tolueno	0,14	30	30	75
Xilenos	0,13	25	30	70
Antraceno	0,039	-	-	-
Benzo(a)antraceno	0,025	9	20	65
Benzo(k)fluoranteno	0,38	-	-	-
Benzo(g,h,i)perileno	0,57	-	-	-
Benzo(a)pireno	0,052	0,4	1,5	3,5
Criseno	8,1	-	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	0,08	0,15	0,6	1,3
Fenantreno	3,3	15	40	95
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,031	2	25	130
Naftaleno	0,12	30	60	90

Fonte: Adaptado de CONAMA (2009).

O valor orientador para TPH não foi estipulado pelo CONAMA. A única orientação existente foi realizada pela CETESB e está em um documento pertencente ao Licenciamento de Postos, Decisão de Diretoria Nº 010-2006-C de 26 de janeiro de 2006, estabelecendo um valor de 1000 mg/kg.

Para verificar a eficiência do processo de biorremediação, deve-se analisar a concentração dos compostos orgânicos nos solos antes e depois do tratamento, atentando aos valores de proteção estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009 e as recomendações da NBR 10.004:2004 – Resíduos Sólidos - Classificação, que diferencia os resíduos entre perigosos e não perigosos. Os compostos químicos presentes nos solos contaminados por derivados de petróleo são classificados na NBR como constituintes perigosos e/ou tóxicos, e desta forma, os solos oriundos dessas áreas são considerados resíduos perigosos que oferecem riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

Sendo comprovada a redução das concentrações dos contaminantes e a não apresentação das características como periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, o solo é considerado descontaminado, podendo retornar ao local de origem ou ser encaminhado para aterro sanitário.

1.1.4 Legislação Alemã

Na Alemanha, também há legislações sobre a qualidade dos solos, essas estabelecem valores de referência e etapas de investigação parecidas com as legislações brasileiras. O grande diferencial está na normativa que classifica os resíduos minerais e permite futuros usos para solos descontaminados.

Os resíduos minerais são classificados em classes de aproveitamento a partir da norma técnica para solos *Technische Richtlinie Boden - TR Boden Teil II*, de novembro de 2004. Ela define como material do solo todo material extraído do solo, sem a camada de húmus e considera como resíduo mineral terras removidas na extração e preparação de recursos naturais sem conteúdo metálico e o solo que foi tratado em estações de tratamento.

Essa norma classifica resíduos minerais em classes de aproveitamento Z 0, Z 1.1, Z 1.2 e Z 2, com valores de concentrações de contaminantes máximos. Cada classe de aproveitamento permite uma



utilização diferente do material e, se a concentração estiver superior aos limites, não é possível reaproveitar o material, ou seja, ele tem que ser encaminhado para um aterro sanitário. Quando o processo de remediação do solo estiver concluído, deve-se realizar análises referentes à contaminação que justificaram o envio do material para tratamento. As análises podem contemplar o material sólido ou o eluato.

A classe de aproveitamento Z 0 engloba a utilização de material do solo sem restrições de uso. A aplicação do material é avaliada a partir de padrões estabelecidos, atentando ao tipo de solo (argilas e siltes, areias ou barros), como pode ser verificado na Tabela 2. **Fonte de referência não encontrada.** Se os valores obtidos nas análises químicas do material sólido forem inferiores aos padrões, não é necessário realizar um teste de eluato. Pode-se dizer que um aproveitamento irrestrito do material do solo é permitido quando suas concentrações de eluato são comparáveis às concentrações de eluato dos solos/rochas existentes na região (ALEMANHA, 2004).

Tabela 2. Padrões para a Classe de Aproveitamento Z 0

Parâmetro	Z 0 (areia)	Z 0 (argila/silte)	Z 0 (barro)	Z 0 (preenchimento de escavações)
TPH (mg/kg)	100	100	100	200
BTX (mg/kg)	1	1	1	1
Benzopireno (mg/kg)	0,3	0,3	0,3	0,6

Fonte: Adaptado de ALEMANHA (2004).

Quando o material do solo for uma mistura de diversos tipos de solos ou quando se tratar de solos que receberam tratamento e não for possível estabelecer o tipo de solo de origem, deve-se adotar os valores estipulados para argila/silte. Solos enquadrados na Classe Z 0 são os únicos que podem ser utilizados para preenchimento de cavas de mineração, ou seja, abaixo da camada de solo permeável às raízes. Para que o material do solo possa ter esse destino, algumas exigências devem ser respeitadas, como: não ultrapassar o estabelecido na classificação Z 0 para material sólido e eluato, aplicar uma camada mínima de 2m de solo que respeite os valores de prevenção da *Bodenschutzgesetz* - Lei de Proteção dos Solos e os preenchimentos não poderão ocorrer em áreas de proteção.

Para a Classe de aproveitamento Z 1, os padrões para material sólido estão apresentados na Tabela 3 e a finalidade permitida é o aproveitamento em obras técnicas, como: superestrutura e subestrutura de ruas, estradas e demais áreas de tráfego, de áreas industriais, comerciais e de armazenamento; fundação de edifícios e subestruturas de instalação desportivas (ALEMANHA, 2004).

Tabela 3. Padrões para as Classes de Aproveitamento Z 1 e Z 2

Parâmetro	Z 1	Z 2
TPH (mg/kg)	300	1000
BTX (mg/kg)	1	1
Benzopireno (mg/kg)	0,9	3

Fonte: Adaptado de ALEMANHA (2004).

A Classe Z1 possui duas subclassificações, a Z 1.1 e Z 1.2, que são definidas a partir do valor obtido na análise do eluato, conforme Tabela 4. Vigoram por princípio os valores Z 1.1 (ALEMANHA, 2004). Quando a utilização for feita em locais com características hidrogeologicamente favoráveis, tratando-se de áreas com solos pouco permeáveis, como argilas, e com o lençol freático baixo (mínimo de 2m de distância da camada de material de solo a ser inserida), e desde que permitido



pelo órgão ambiental responsável, a incorporação poderá ser com material de solo com concentrações de eluato até os valores de classificação Z 1.2 (ALEMANHA, 2003).

Tabela 4. Valores do eluato para classe de aproveitamento Z 1.1, Z 1.2 e Z 2

Parâmetro	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
Valor de pH	6,5-9,5	6-12	5,5-12
Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	250	1500	2000
Cloreto (mg/L)	30	50	100
Sulfato (mg/L)	20	50	200
Cianeto ($\mu\text{g}/\text{L}$)	5	10	20
Arsênico ($\mu\text{g}/\text{L}$)	14	20	60
Chumbo ($\mu\text{g}/\text{L}$)	40	80	200
Cádmio ($\mu\text{g}/\text{L}$)	1,5	3	6
Cromo ($\mu\text{g}/\text{L}$)	12,5	25	60

Fonte: Adaptado de ALEMANHA (2004).

Para a classe de aproveitamento Z 2, é necessário atender aos padrões apresentados na Tabela 3 e as exigências estabelecidas para os possíveis usos, conforme segue (ALEMANHA, 2004):

- Em áreas industriais, comerciais e de armazenamento, desde que a camada de material de solo esteja sob uma camada impermeável;
- Barreiras de proteção visual e sonora, bem como barragens de estradas, desde que possuam camada impermeabilizante, evitando a infiltração de águas superficiais e de precipitações. Em barragens de estradas o pavimento pode ser um elemento de vedação. Possíveis penetrações no solo, como poços, drenos e fundações devem estar aderidas na vedação.
- Nos sistemas de impermeabilização para barreiras de proteção visual e sonora, deve-se, ainda, considerar o seguinte:
 - Coeficiente de permeabilidade e espessura: A camada de material de solo que atua como impermeabilizante deve conter 0,50m de espessura e coeficiente de permeabilidade (k_f) $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s;
 - Camada de recultivação: A camada de material de solo utilizada como impermeabilizante, deve ser recoberta por uma camada de recultivação de no mínimo 1m;
 - Vegetação: Estar recoberta por vegetação rasteira que possua raízes pouco profundas.
- Em sistemas de vedação para barragens de estradas, deve-se, ainda, considerar o seguinte:
 - Para a área do talude, aplicam-se as mesmas exigências das barreiras de proteção sonora e visual;
 - Para o patamar das estradas, deve-se aplicar uma camada de sobreposição suficiente da pavimentação $\geq 1,00\text{m}$. Essa sobreposição pode ser feita com material de solo, desde que possua $k_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s ou pode ser feita com membrana plástica sobrepondo-se à vedação mineral.

Deve ser ressaltado que a utilização não poderá ocorrer em áreas com possibilidade de alagamento, quando a camada de material de solo possuir menos de 1m de distância do lençol freático e em áreas de proteção.

2. OBJETIVO

Comparar as práticas de destinação de solos descontaminados por técnica de biorremediação *ex-situ* no Brasil e na Alemanha.



3. METODOLOGIA

O presente trabalho se baseou no levantamento bibliográfico de diversos artigos e teses, além de legislações brasileiras e alemãs para a destinação de solos descontaminados por biorremediação *ex-situ*. Para analisar cada legislação encontrada, foi necessário atentar aos parâmetros instituídos e seus padrões, além de avaliar as possibilidades de destinação final e/ou reuso permitidas e quais exigências devem ser cumpridas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme exposto anteriormente, solos brasileiros descontaminados por biorremediação *ex-situ* são, na sua maioria, encaminhados para aterros sanitários e, na Alemanha, solos descontaminados pelo mesmo processo podem ser reutilizados em uma série de obras civis, proporcionando utilidade para esses e permitindo, ainda, a otimização da vida útil de aterros sanitários.

Realizando o levantamento dos padrões utilizados no Brasil e na Alemanha foi possível elaborar a Tabela 5 que nos permite analisar as possibilidades para destino final e reaproveitamento de solos.

Tabela 5. Padrões utilizados no Brasil e na Alemanha

Possibilidade de reuso/ Destino final	TPH (mg/kg)	BTX (mg/kg)	Benzopireno (mg/kg)
Z 0 (areia)	100	1	0,3
Z 0 (argila/silte)	100	1	0,3
Z 0 (barro)	100	1	0,3
Z 0 (preenchimento de escavações)	200	1	0,6
Z 1	300	1	0,9
Z 2	1000	1	3
VP	1000	0,3	0,052

De uma forma direta, pode-se observar que os padrões para destino final utilizados no Brasil estão muito próximos dos valores da classe de aproveitamento Z 2 aplicada na Alemanha, que, dentre as existentes, contempla os valores para uso mais restritivos. Ou seja, para realizar o reaproveitamento de solos Z 2, há diversas exigências de segurança que devem ser seguidas, visando manter a qualidade dos solos e lençol freático da área de aplicação. Pode-se destacar a utilização de uma camada impermeabilizante que impede a percolação dos compostos químicos até o lençol freático; a observância do coeficiente de permeabilidade do material de solo a ser aplicado e a não aplicação em áreas de proteção, como entorno de nascentes. Tais medidas de segurança já foram testadas e são aplicadas há alguns anos.

O material de solo que não apresenta restrição para o reuso pertence à classe de aproveitamento Z 0 e, essa apresenta valores limites muito distantes dos valores de prevenção adotados no Brasil. Isto aponta que na Alemanha a reutilização irrestrita respeita padrões mais exigentes dos que os utilizados no Brasil como valores de proteção, que seriam os valores limites para cada substância. Conforme apresentado, o reuso de material de solo é aplicado e largamente utilizado na Alemanha, incluindo os solos tratados em unidades de biorremediação *ex-situ*. A existência de regulamentações permite que o solo tratado torne-se um produto para posterior comercialização, reduzindo a exploração de jazidas e ampliando a conservação desse recurso natural, além de evitar a disposição de um grande volume de material, ainda com possibilidade de uso em aterros sanitários. Como vantagem desta prática, pode-se citar, ainda, a viabilidade econômica. As unidades alemãs de tratamento de solo não possuem custo para dispor o material já tratado e ainda podem comercializá-lo, ampliando seu lucro e, conseqüentemente, tornando o processo de biorremediação economicamente mais viável.



Porém, no Brasil, há legislação somente para o gerenciamento de áreas contaminadas e essas definem apenas valores de qualidade, prevenção e intervenção. Por prática, adota-se os VP's como padrão para avaliar se o processo de tratamento já está finalizado. Não há legislação que permita a reutilização de solos tratados.

Além da inexistência de legislações que autorizem a reutilização de solo descontaminado, tem-se também a dificuldade de classificar esse material. A normativa brasileira utilizada é a NBR 10.004, contudo, essa tem o objetivo de classificar os resíduos sólidos a partir das duas características, não realizando uma avaliação de características específicas de solos.

5. CONCLUSÃO

Considerando o exposto, conclui-se que o exercício alemão de reutilização de solos descontaminados para a Classe Z 0, que não apresenta restrição de uso, adota padrões distantes dos utilizados no Brasil. Ou seja, um solo brasileiro é considerado limpo quando apresenta valores inferiores a 1000 mg/kg de TPH e os solos alemães precisam apresentar valores inferiores a 100 mg/kg.

Como esta prática apresenta exigências de segurança e uma série de vantagens é válida a análise e consideração da mesma, uma vez através desta pode-se otimizar a vida útil de aterros sanitários, ampliar a preservação de recursos naturais reduzindo a exploração de jazidas, além de incentivar o gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo, já que há possibilidade de reduzir o custo do tratamento.

Sendo assim, recomenda-se que a implementação de normativas que classifiquem o material de solo e permitam seu uso sejam consideradas. Ressalta-se o cuidado em estabelecer parâmetros presentes nesse material e exigências técnicas para sua aplicação. A realização de um projeto piloto que reutilize solos descontaminados no Brasil também deve ser considerada.

REFERÊNCIAS

ALEMANHA. Technische Richtlinie. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Allgemeiner Teil. 2003.

ALEMANHA. Technische Richtlinie Boden. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung. 2004.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Eclética química, v.35, n.03, p.17- 43, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004 de 2004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro. 2004. 71p.

BERGER, T.M. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos totais de petróleo – enfoque na aplicação do processo TERRAFERM®. 2005. 99 f.: Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BIGSONIN, R.P. Análise do potencial microbiano de um biopilha na biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos. 2012. 140 f.: Dissertação (Mestrado em Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2012.

BOOPATHY, R. Factors Limiting Biorremediation Technologies. Bioresource Technology, Los Angeles v. 74, p. 63-67, 2000.



BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. CONAMA. DOU 22/12/97.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. CONAMA. DOU 30/12/09.

CARNEIRO, D. A.; GARIGLIO, L. P. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. Revista Tecer, Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p. 82-95, 2010.

COLLINA, E. et al. Naphtalene biodegradation kinetics in an aerobic slurry-phase bioreactor. Environment International, p. 167-171, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria 010-2006-C. Dispõe sobre novos Procedimentos para o Licenciamento de Postos e Sistemas Retalhadas de Combustíveis e dá outras providências. CETESB. Diário Oficial, 26/02/2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Capítulo 1000 – Conceituação. São Paulo: CETESB, 2001, Disponível em: <<http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/manual-de-gerenciamento/>> Acesso em: ago. 2015.

COUTINHO, P. W. R. Alternativas de remediação e descontaminação de solos – Biorremediação e Fitorremediação. Nucleus, v. 12, n. 1, p. 59-68, abr. 2015.

GUEDES, C. L. B. et al. Tratamento de Solo contaminado com petróleo utilizando tensoativos e Peróxido de hidrogênio. Ciências exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 87-100, jul./dez. 2010.

MIRANDA, D. S.; SILVA, R. G. da; ALMEIDA, L. B. de; Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Campos- RJ. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 133-138. Rio de Janeiro. 2010.

MENEGHETTI, L. R. R. Biorremediação na descontaminação de solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel. 2007. 113 f.: Dissertação (Mestrado na Área de Concentração, Infra-estrutura e Meio Ambiente - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2007.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. de S.; Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1 ed. São Paulo. 2014.

NETO, F. A. de O.; SANTOS, P. R. P. dos; GOMES, Z. L. G. C.; Considerações sobre tecnologias para remediação de solos e águas subterrâneas contaminadas e suas aplicações em polos industriais na região metropolitana de Salvador e na antiga fábrica da COBRAC em Santo Amaro-BA. 2010. 62 f.: Monografia – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2010.

RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS



15 a 17
junho de 2016
Porto Alegre, RS



Realização:



INSTITUTO VENTURI
para Estudos Ambientais

SILVA, F. B. D.; SANTOS, R.; RIZZO, A. Influência da Configuração de Sistema de Homogeneização no Desempenho de um Processo *ex-situ* de Biorremediação de Solos. Rio de Janeiro. 2013.

SEABRA, P. N. C. Aplicação de Biopilha na Biorremediação de Solos Argilosos Contaminados com Petróleo. 2005. 183 f.: Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

Apoio acadêmico

ESCOLA
POLITÉCNICA
UNISINOS

UNISINOS

Universidade de Brasília

ilacis | Lab. de Ambiente Construído
Inclusão e Sustentabilidade
FAU | CDS | FGA | UnB

BIMTECH
BIRLA INSTITUTE
OF MANAGEMENT TECHNOLOGY