

VI-226 – PROCESSO DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM HIDROCARBONETOS PELA TÉCNICA DE LANDFARMING UTILIZANDO ESGOTO SANITÁRIO

Emerson Tomasoni⁽¹⁾

Engenheiro de Petróleo e Gás. Mestrando em Engenharia de Petróleo e Gás pela Universidade Potiguar (UNP).

Janusa Soares de Araújo⁽²⁾

Engenheira Civil e Engenheira de Segurança do Trabalho Doutora em Ciência e Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Carlos Enrique de Medeiros Jerônimo⁽³⁾

Engenheiro Químico e Engenheiro de Segurança do Trabalho. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Endereço⁽¹⁾: Rua Profª Dirce Coutinho, 1732 – Capim Macio - Natal - RN - CEP: 59082-180 - Brasil - Tel: (84) 98820-4068 - e-mail: e.tomasoni@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Praia Rio do Fogo, 9131 – Ponta Negra - Natal - RN - CEP: 59092-250 - Brasil - Tel: (84) 98811-3893 - e-mail: janusasoaresaraujo@gmail.com

RESUMO

As atividades da indústria petrolífera são grandes geradoras de resíduos sólidos, onde os mais comuns são os resíduos oleosos, e com o aumento em sua produção, conseqüentemente os resíduos tiveram o mesmo crescimento. Diante desse cenário, as políticas de desenvolvimentos sustentáveis, visam técnicas para o destino desse resíduo para que os mesmos não possam vir a gerar um impacto negativo ao meio ambiente. Dentre essas técnicas, destaca-se o *Landfarming*, que é uma tecnologia de biorremediação capaz de degradar compostos de hidrocarbonetos através de tratamento biológico, onde a própria microbiota do solo atua como agente de biodegradação. O controle operacional dessa técnica inclui controle do pH, teor de umidade, adição de nutrientes e aeração. Para a otimização da técnica, foi utilizada a adição de esgoto sanitário aumentando a população de microrganismos e matéria orgânica. A metodologia fundamentou-se em elaborar ensaios de biodegradação visando simular o processo em escala industrial para a destinação dos resíduos oleosos. Os principais parâmetros monitorados da técnica foram os hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), apresentando um percentual de degradação de 85,93% e 96,85% respectivamente em cerca de 30 dias. A técnica de *Landfarming* com o incremento de esgoto sanitário mostrou-se eficiente para o tratamento de resíduos oleosos, sendo inédita na literatura essa associação.

PALAVRAS-CHAVE: Biorremediação, *Landfarming*, Borra oleosa.

INTRODUÇÃO

A medida que crescia a necessidade de se produzir petróleo como fonte de energia, crescia também a degradação do meio ambiente com a exploração abusiva e não sustentável dos recursos naturais oferecidos pelo planeta. Cunha (2009) enfatiza que, além da exploração não sustentável dos recursos naturais, os ecossistemas passaram a receber resíduos em quantidades cada vez maiores, principalmente com o lançamento de novas substâncias sintéticas oriundas da indústria química, contaminando ar, solo, rios e mares. Porém, é sabido que a maior fonte de geração de contaminantes é a indústria de petróleo e seus derivados, sendo consideráveis os volumes gerados de resíduos sólidos.

Dentre os resíduos sólidos gerados, destacam-se principalmente os resíduos oleosos, sendo estes: as borras oleosas de fundo de tanque de armazenamento e de limpeza de caixas de separação água/óleo, cascalhos de perfuração e solos contaminados por vazamentos de hidrocarbonetos. Esses resíduos oleosos apresentam contaminantes que exigem maiores preocupações ambientais, pois apresentam toxicidade, mobilidade e persistência ao meio ambiente, os principais contaminantes são: BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), HTP (Hidrocarbonetos totais do petróleo) e os HPAs (Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos).

Portanto, a busca por soluções que apresentem alto desempenho técnico, bem como custos compatíveis com a sua escala de aplicação é uma necessidade urgente dentro do setor de petróleo e gás (SILVA, 2009). Com o objetivo de atenuar a degradação do ambiente por hidrocarbonetos, foram desenvolvidas tecnologias conhecidas como biorremediação, que, segundo Gaylarde et al. (2005), é um processo no qual são utilizados organismos vivos, normalmente microrganismos (bactérias aeróbias e anaeróbias, fungos e microalgas), para remover ou reduzir poluentes no ambiente. O autor completa explicando que, embora outras tecnologias que utilizam processos físicos e/ou químicos sejam também adequadas para o tratamento de ambientes poluídos, os métodos biológicos são uma alternativa ecologicamente mais adequada e eficaz para combater a poluição por agentes orgânicos.

Carneiro e Gariglio (2004) destaca que a biorremediação tem sido uma tecnologia de crescente pesquisa, pois se trata de um processo que utiliza tanto os microrganismos do próprio ambiente, como também culturas geneticamente modificadas, tendo como vantagem oferecer maior segurança e uma menor perturbação ao meio ambiente, além de ser uma ferramenta eficiente a baixo custo.

No tratamento biológico de solos contaminados por petróleo, os microrganismos, sendo as bactérias as mais estudadas, utilizam os hidrocarbonetos como fonte de carbono e energia alternativa para formação de biomassa (SANTOS et al., 2007). Esse metabolismo envolve a transformação dos hidrocarbonetos em unidades menores e, posteriormente, a incorporação como material celular (biotransformação) ou conversão a gás carbônico (mineralização), resultando na redução da concentração de hidrocarbonetos de petróleo (MARTINS et al., 2003 apud SANTOS et al., 2007).

Dentre as tecnologias biológicas de tratamento de solos contaminados, enfatizasse o processo de *Landfarming*, que consiste em uma tecnologia de biorremediação que visa reduzir a concentração de resíduos orgânicos sólidos dispostos no solo, por meio de processos associados à biorremediação. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*), esse método consiste em dispor o resíduo na camada reativa do solo, de forma que a microbiota autóctone atue como agente de biodegradação de hidrocarbonetos.

De acordo com Souza (2010) algumas metodologias complementares podem ser adotadas para acelerar a biorremediação de solos contaminados com resíduos orgânicos. Assim, a adição de nutrientes que estimulem o metabolismo de microrganismos endógenos, a adição de microrganismos degradadores, a adição de materiais estruturantes entre outras metodologias.

Tendo em vista a possibilidade da utilização de metodologias complementares para o processo de biorremediação, esse projeto tem como base a aplicação da técnica de *Landfarming* para o tratamento de resíduos oleosos oriundos da indústria de petróleo, utilizando a adição de esgoto sanitário no processo, visando principalmente o incremento de matéria orgânica e microrganismos, estimulando assim a biodegradação dos hidrocarbonetos.

Visando minimizar custos e impactos ambientais frente às técnicas usualmente empregadas de forma a viabilizar em escala industrial nova tecnologia de tratamento, o projeto tem por finalidade desenvolver uma rota de destinação dos resíduos oleosos oriundos da indústria petrolífera, onde é empregada uma técnica de tratamento biológico dos resíduos, conhecido como *Landfarming*, utilizando o esgoto sanitário para auxiliar no processo de biodegradação dos hidrocarbonetos.

DESCRIÇÃO DA TÉCNICA DE BIOPILHA

O *Landfarming* é uma técnica de biorremediação muito utilizada para o tratamento de solos contaminados com hidrocarbonetos. As refinarias e indústrias petroquímicas de vários países, inclusive o Brasil, utilizam o *Landfarming* para o tratamento dos seus resíduos sólidos (JACQUES et al., 2007).

O solo possui, naturalmente, diversos microrganismos com atividades metabólicas bastante variadas. Sendo assim, uma das maneiras mais simples de se proceder no tratamento de um resíduo consiste em misturá-lo ao solo e deixar que a flora microbiana nativa atue (JERÔNIMO; KITZINGER, 2014). A técnica do *Landfarming*

consiste na incorporação do resíduo oleoso ao solo, onde é espalhado e homogeneizado à sua camada reativa tendo sua própria microbiota atuando como agente de degradação, conforme Figura 1.

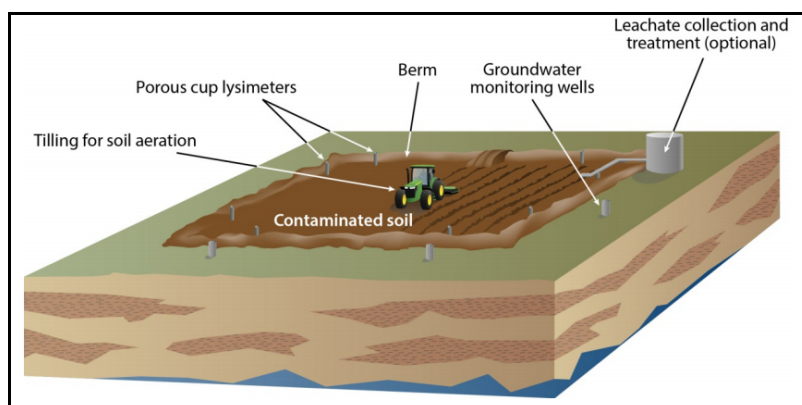


Figura 1 – Típica operação de um *Landfarming*

Conforme o aumento da concentração de carbono orgânico no solo, os microrganismos necessitam cada vez mais de nutrientes. Sendo assim, para que o processo de degradação proporcione a eficiência requerida, é necessária a adição de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio sob a forma de fertilizantes comerciais e/ou uréia.

O controle operacional da técnica de *Landfarming* consiste em manter condições ambientais ideais, dentre eles desatacam-se a umidade, o pH e a temperatura. O teor de umidade deve-se apresentar dentro uma faixa de 12% a 30%, pois a umidade do solo é essencial para a biodegradação uma vez que a maioria dos mecanismos de degradação ocorre na interface água-hidrocarboneto. Para possibilitar o crescimento bacteriano, o pH do solo deve estar dentro da faixa de 6,5 a 8,5, sendo esta faixa ideal para a maior disponibilidade de nutrientes. A temperatura deve ser mantida dentro da faixa de 10°C a 45°C, sendo que esta é a faixa ideal para a atividade metabólica, o consumo de substrato pelos microrganismos e, por consequência, a biodegradação dos hidrocarbonetos. A aeração evidencia-se como um fator primordial para o controle operacional desta técnica, sendo a mesma o processo que proporciona a melhoria da qualidade do solo.

METODOLOGIA

COLETA DE AMOSTRAS

O processo de biodegradação pela técnica do *Landfarming* ocorre pela degradação biológica das bactérias presentes no solo. Sendo assim, para o desenvolvimento do processo, foram coletados três tipos de solos em pontos distintos, localizados em Mossoró – RN. Esses solos foram denominados de “solos brancos”, ou seja, sem serem contaminados com resíduos oleosos. Além disso, foram coletados três tipos de resíduos oleosos, localizados em uma indústria de Petróleo no Rio Grande do Norte e Ceará. Sendo os resíduos: cascalho de perfuração, solo contaminado com petróleo e a borra líquida.

Visando simular o processo em escala industrial e para a otimização do processo, foram misturados os três tipos de resíduos (cascalho de perfuração, solo contaminado com petróleo e a borra líquida), formando assim um único resíduo oleoso. A quantidade de cada resíduo para a mistura foi proporcional a sua respectiva geração.

O esgoto sanitário utilizado na incorporação foi coletado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), do campus de uma universidade localizada no município de Natal-RN.

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

As variáveis do processo de biodegradação foram estabelecidas de acordo com levantamentos bibliográficos, e com os resultados preliminares obtidos das caracterizações das amostras. Onde as variáveis analisadas foram compostas por: concentração de resíduo oleoso (% em massa) e a dosagem de esgoto.

Para o projeto foi empregado um planejamento experimental fatorial do tipo 3^2 para analisar a atividade de degradação dos hidrocarbonetos em função da concentração de resíduo oleoso e da dosagem de esgoto, sendo as duas variáveis com três níveis.

Os níveis de referência foram baseados em tratamentos da própria borra oleosa encontrados na literatura. No entanto, por se tratar de um resíduo oleoso composto por: borra oleosa, cascalho de perfuração e solo contaminado com hidrocarbonetos, e sendo novidade na literatura o tratamento deste resíduo por técnica de biorremediação, os níveis de concentrações foram maiores quando comparados com a própria borra oleosa. Os níveis e as variáveis são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis e Níveis do processo de biodegradação

Variáveis	Níveis		
	-1,0 x%	0 y%	1,0 z %
Concentração de Hidrocarbonetos			
Dosagem de Esgoto Sanitário	A mL.kg ⁻¹	B mL.kg ⁻¹	C mL.kg ⁻¹

Foram coletados três tipos de solos “brancos” a serem utilizados no processo de biodegradação, então, a fim de se encontrar qual o tipo de solo que apresentará uma melhor cinética de degradação, o planejamento experimental foi aplicado para os três tipos de solos.

Sendo assim, obtém-se 9 experimentos para cada tipo de solo. Por se tratar de três tipos de solos diferentes, totalizam-se 27 experimentos.

ENSAIOS DE BIODEGRADAÇÃO

Visando a simulação do processo de biodegradação em condições de escala industrial, foram realizados os ensaios de biodegradação em pequenos lotes, onde, o resíduo oleoso e o esgoto foram incorporados nos solos brancos de acordo com as concentrações apresentadas no planejamento experimental.

Os ensaios de biodegradação foram elaborados da seguinte maneira: homogeneização dos resíduos junto ao solo, respectivo ao seu experimento, totalizando uma quantidade equivalente a 10 kg; adição da dosagem do esgoto; adição de 100 g de nutrientes em forma de fertilizante comercial NPK (20:10:20); homogeneização novamente e divisão dos experimentos em lotes.

Para cada experimento foi elaborado uma montagem de 10 lotes, onde, foram monitorados em cinética de 42 dias. Os parâmetros monitorados nestes intervalos foram: hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP); hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs); nitrogênio, fósforo e potássio totais; pH e teor de umidade.

RESULTADOS

O período de tempo do projeto foi de 42 dias, onde os parâmetros monitorados foram em intervalos de 14 dias. A maioria dos experimentos apresentaram níveis elevados de biodegradação, porém, para simplificar, são expostos apenas 9 (nove) experimentos dentre os 27 (vinte e sete), sendo estes os que tiveram melhores resultados. Os experimentos escolhidos foram: 01, 02, 03, 04, 10, 13, 19, 22 e 23.

TEOR DE UMIDADE

Os teores de umidade monitorados nos experimentos estão apresentados pela Figura 3:

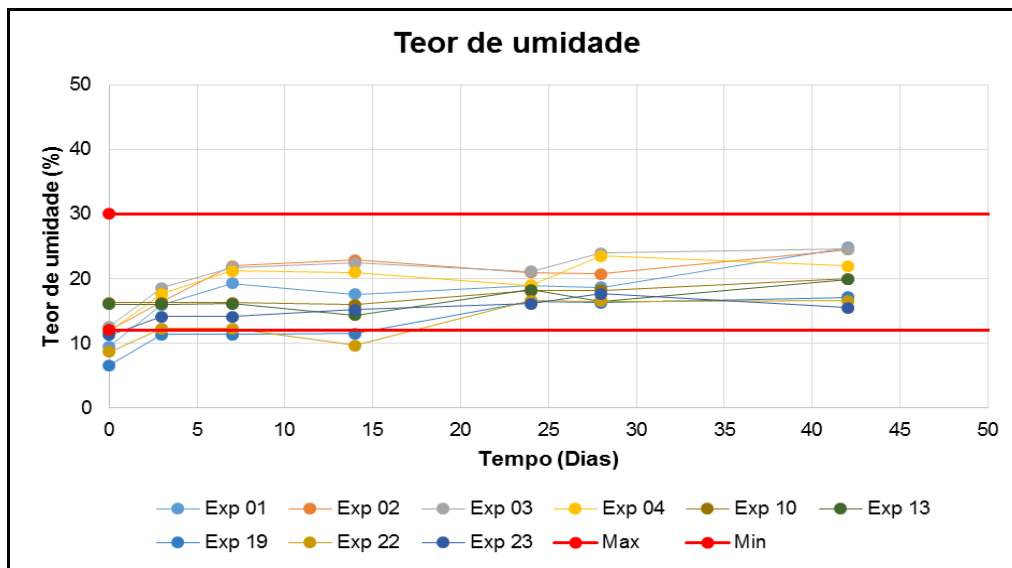


Figura 2: Teor de umidade dos experimentos

Os teores de umidade da maioria dos experimentos se mantiveram dentro da faixa ideal de operação (12% a 30%), sendo as mesmas representadas pelas linhas vermelhas com valores mínimos e máximos. O experimento 22 apresentou valores de umidade um pouco abaixo da faixa ótima de operação no período de 14 dias, o motivo ocorreu devido à tipologia do solo 03 apresentar aspecto mais arenoso do que os demais, fazendo com que a água evapore mais rapidamente.

No início do procedimento de montagem, os experimentos não foram umedecidos suficientemente para estarem dentro da faixa ideal, devido ao fato de dificultar a homogeneização, por esse motivo os valores dos teores de umidade de quase todos os experimentos iniciaram logo abaixo do valor de 12%. A correção foi aplicada nos dias posteriores.

pH

Os resultados das monitorações do pH nos experimentos estão apresentados pela Figura 4.

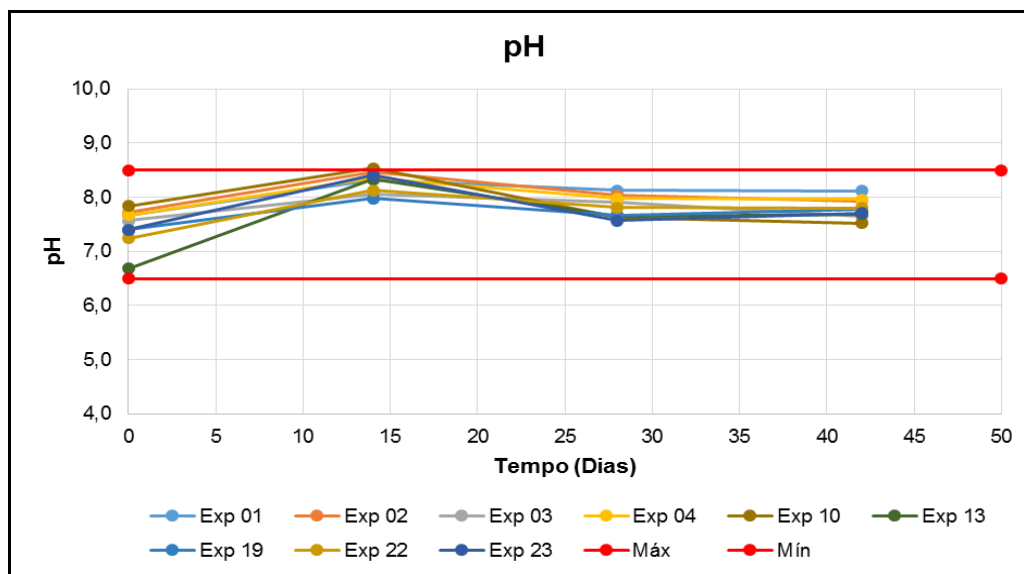


Figura 3: Comportamento do pH dos experimentos

O processo de biodegradação de hidrocarbonetos ocorre em solos com valores de pH entre a faixa de 6,5 a 8,5, pois resultam em uma maior atividade metabólica das bactérias e, conseqüentemente, maximização da biodegradação de hidrocarbonetos.

Os valores de pH de todos os experimentos desde a montagem até o momento de monitoração se manteve dentro a faixa ideal de operação. Pode ser observado que, houve um pequeno aumento no valor do pH entre o dia 0 e 14, devido a adição de nutrientes como os fertilizantes NPK no momento da montagem dos experimentos, ficando acima da faixa. Após os 14 dias, os valores do pH dos experimentos começam a se estabilizar, voltando a estar dentro da faixa ótima de operação.

HIDROCARBONETOS TOTAIS DO PETRÓLEO - HTP

Para o desempenho do processo de biodegradação, foram monitoradas as concentrações de Hidrocarbonetos Totais do Petróleo – HTP em intervalos de 14 dias. Foi elaborado um gráfico, para uma melhor análise da degradação da concentração de HTP, onde os valores obtidos foram tabulados de forma que se estabelecesse uma relação entre o valor inicial e final de HTP, ou seja, os valores de HTP correspondente ao período de monitorações foram divididos pelo HTP inicial, facilitando a interpretação do desempenho de degradação entre os experimentos.

A Figura 5 apresenta o desempenho do processo de biodegradação em função do decaimento das concentrações de HTP.

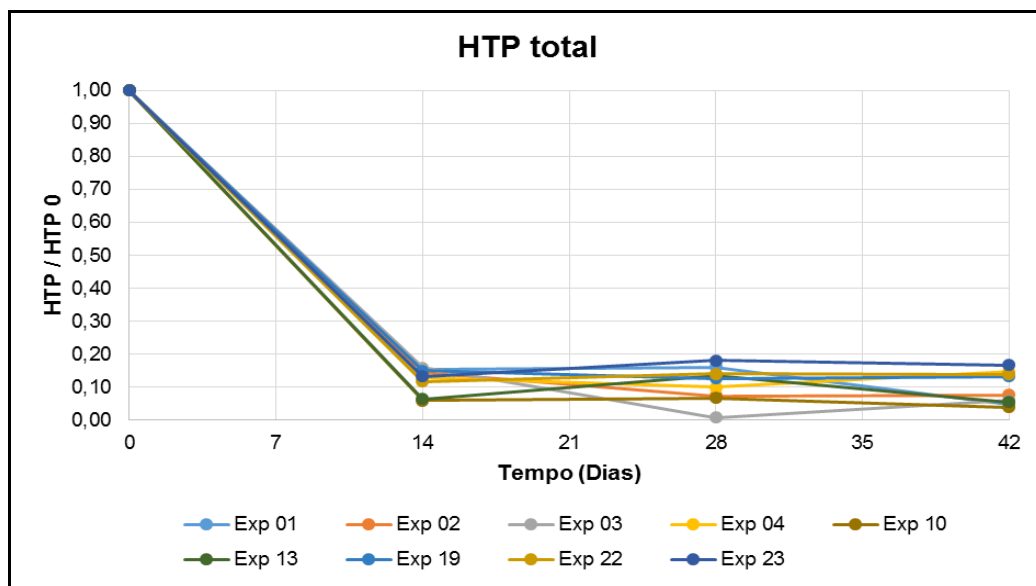


Figura 4: Curvas de biodegradação do HTP

Conforme a Figura 5, pode-se observar que a maioria dos experimentos obteve decaimento nas concentrações de HTP. Os experimentos 01, 10 e 13 obtiveram melhores resultados, onde o 01 alcançou o valor de concentração abaixo do limite de detecção (5 mg/Kg).

Os resultados do desempenho do processo de biodegradação dos 9 experimentos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da biodegradação dos HTP (mg/kg)

Experimentos	Tempo (dias)			
	0	14	28	42
01	469,98	71,87	75,25	22,62
02	563,06	80,52	40,91	43,01
03	681,15	108,94	<LD	40,16
04	796,21	102,00	79,68	116,91
10	512,54	30,65	34,50	19,76
13	1159,92	73,45	158,00	63,48
19	476,68	71,39	60,14	63,14
22	865,48	108,98	121,17	120,13
23	940,08	125,01	170,04	157,22

LD: Limite de detecção (5 mg/kg)

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que o desempenho de degradação foi significativo em um período de 42 dias, porém tendo uma maior degradação nos 14 primeiros dias. Contudo, dentre o período de 14 a 42 dias alguns experimentos se estabilizaram.

De acordo com a legislação holandesa, o valor de referência do HTP (50,0 mg/Kg) indica o nível de qualidade do solo que permite considerá-los “limpos”, considerando-se a sua utilização para qualquer finalidade. Os experimentos 02, 03 e 10 podem ser considerados como “limpos”, os outros experimentos ainda apresentam degradação, podendo assim ser considerados como “limpos” em um período mais longo. A partir da Tabela 2 observa-se que o experimento 03 apresentou o HTP abaixo do limite de detecção (LD), abaixo de 5 mg/Kg.

A Figura 6 apresenta o percentual de degradação dos Hidrocarbonetos Totais do Petróleo – HTP.

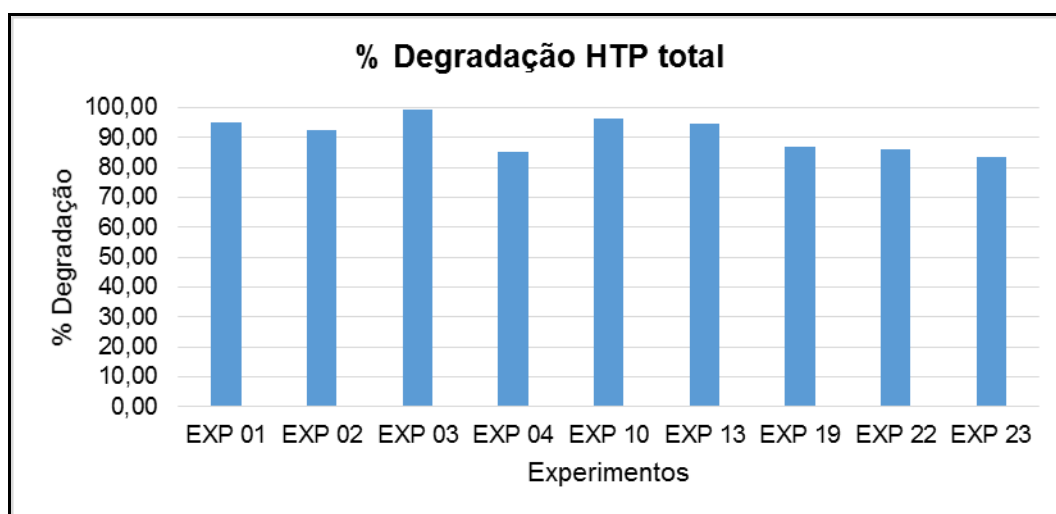


Figura 5: Percentual de biodegradação das concentrações do HTP

De acordo com a Figura 6, os experimentos que apresentaram maiores percentuais de degradação foram os experimentos 01 (88,95%), 02 (94%), 03 (99,27%), 04 (88,30%), 10 (93,27%), 13 (86,38%), 19 (87,38%), 22 (86%) e 23 (81,91%).

HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS TOTAIS – HPA

Para avaliar a biodegradação do processo, também foram monitoradas as concentrações dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA em intervalo de 14 dias. Diferentemente dos HTP, os HPAs foram analisados em intervalos intercalados. Foi elaborado um gráfico, seguindo a mesma metodologia aplicada para o HTP. A Figura 7 apresenta o desempenho do processo de biodegradação em função do decaimento das concentrações de HPAs.

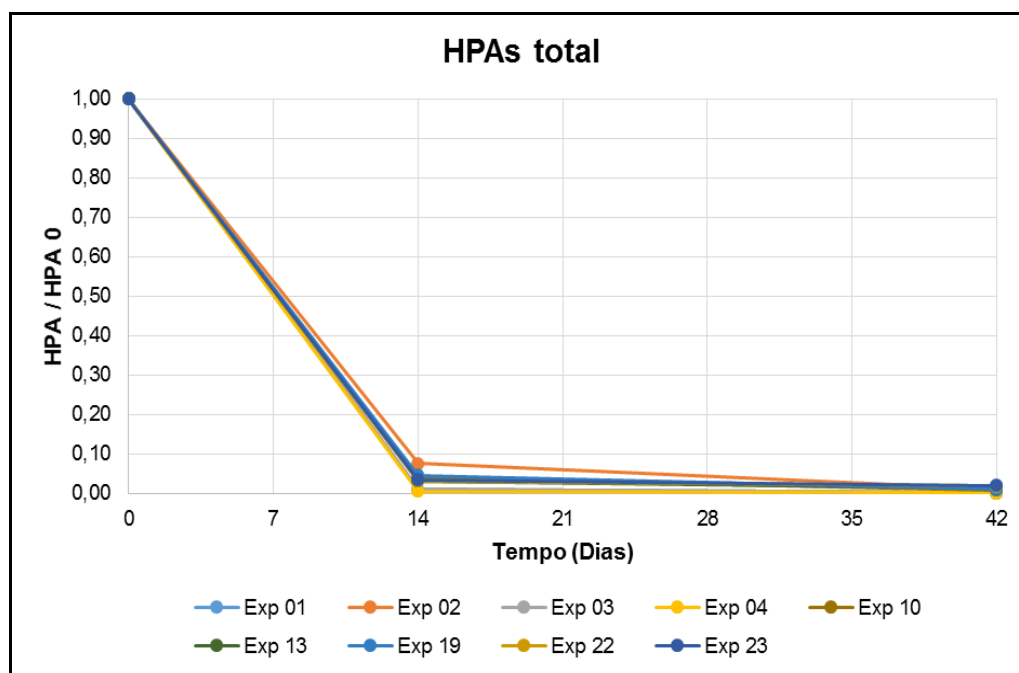


Figura 6: Curvas de biodegradação dos HPAs

Conforme a Figura 7, a maioria dos experimentos apresentaram um significativo decaimento das concentrações dos HPAs no período de 14 dias, ou seja, uma degradação satisfatória.

Os resultados do desempenho do processo de biodegradação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de biodegradação dos HPAs

Experimentos	Tempo (dias)		
	0	14	42
01	421,64	11,12	0,98
02	390,31	14,92	1,40
03	51,34	6,44	0,78
04	356,34	3,41	0,56
10	36,40	6,44	<LD
13	56,10	1,79	0,70
19	42,61	1,97	0,45
22	62,56	1,98	1,16
23	69,34	2,33	1,34

LD: Limite de detecção (0,32 mg/kg)

De acordo com a Tabela 3, nota-se que o somatório dos 16 HPAs prioritários, segundo a USEPA, de todos os experimentos apresentaram degradações. A velocidade de biodegradação foi bem acentuada no período de 14 dias.

A legislação holandesa estabelece os seguintes valores máximos de HPA em solos semelhantes ao desse projeto: 1,0 mg/Kg como referência de qualidade; 20,5 mg/Kg para alerta; e 40 mg/Kg para intervenção em área industrial. Comparando-se com os resultados apresentados na Tabela 3, nota-se que os tratamentos desses compostos estiveram abaixo do limite para alerta e de intervenção.

A Figura 8 apresenta os percentuais de degradações dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPAs totais.

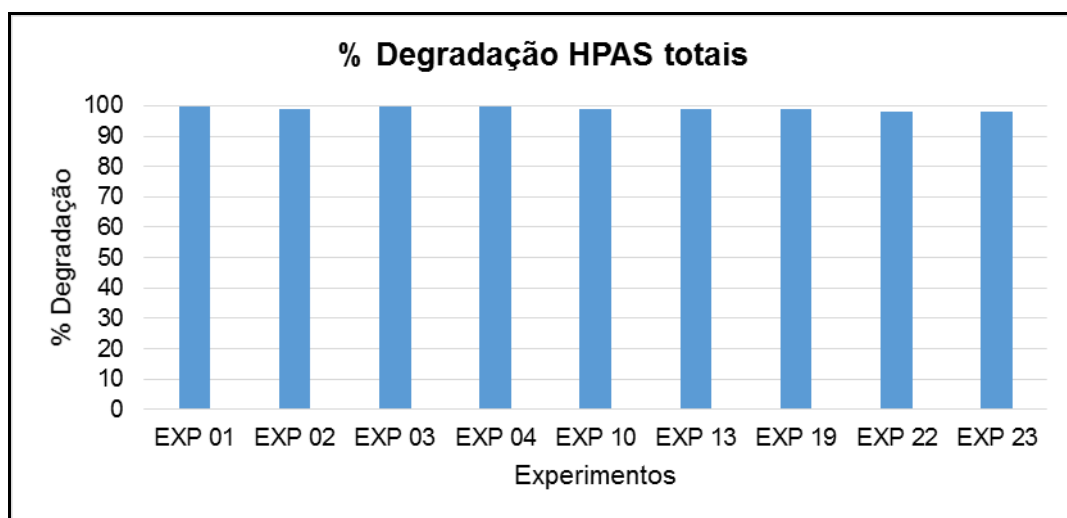


Figura 7: Percentual de biodegradação das concentrações dos HPAs

De acordo com a Figura 8, observa-se que os percentuais de degradação das concentrações dos HPAs de todos os experimentos: 01 (99,02%), 02 (99,43%), 03 (99,04%), 04 (99,36%), 10 (99,13%), 13 (96,81%), 19 (95,38%), 22 (96,84%) e 23 (96,64%) apresentaram percentuais elevados.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que o processo de biorremediação para o tratamento de resíduos oleosos pela técnica de *Landfarming* vem sendo adequada, pois os resultados de degradação dos compostos apresentaram-se significativos, onde o percentual de degradação do HTP foi em média de 85,93% em um período de 42 dias e dos HPAs de 96,85% em um período de 28 dias.

O incremento de matéria orgânica pela dosagem de esgoto foi fundamental para a eficácia do processo. Além disso, o fornecimento de bactérias presentes no esgoto também foi de suma importância, sendo elas um dos principais fatores para a degradação dos hidrocarbonetos.

A tipologia do solo não teve interferência significativa ao processo, devido ao fato de apresentarem características físicas e químicas semelhantes entre eles, onde os três são classificados como solo arenoso. Os resultados mostram que os três tipos de solo utilizados são capazes de promover degradações dos hidrocarbonetos.

O controle operacional é de suma importância para o processo, pois as condições ambientais, como pH, temperatura, umidade e aeração são fundamentais para a sobrevivência e crescimento microbiano. A manipulação e a otimização destes fatores são fundamentais para a obtenção de bons resultados.

A monitoração dos parâmetros como a umidade e pH, mostraram-se eficazes, pois os valores dos teores de umidade de todos os experimentos se mantiveram dentro da faixa ótima de operação (12% - 30%). O pH mostrou-se estar dentro da faixa ótima de operação (6 a 8), considerando que o pH do meio influencia diretamente no metabolismo microbiano, permitindo um crescimento de bactérias, reconhecidamente mais eficientes na metabolização de hidrocarbonetos.

As variáveis de HTP e HPAs são de suma importância para a obtenção da curva de degradação, visando principalmente o TPH para o cálculo da cinética de degradação, onde a cinética deve ser conhecida para o correto dimensionamento do *Landfarming*, atendendo as normas regulamentadoras.

A aplicabilidade do processo de biorremediação pela técnica de *Landfarming* se mostra necessário, tendo em vista a máxima degradação dos hidrocarbonetos atendendo as normas regulamentadoras para que o solo contaminado possa ser descartado de forma sustentável não gerando impactos negativos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da. Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. CARNEIRO, Danielle de Arruda; GARIGLIO, Lucas Paulo. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. Revista Tecer, Belo Horizonte, p.82-95, maio 2004.
2. JACQUES, Rodrigo Josemar Seminoti et al. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Ciência Rural Santa Maria, São Gabriel, v. 37, n. 4, p.1192-1201, 27 dez. 2007.
3. JERÔNIMO, Carlos Enrique de Medeiros; KITZINGER, W. G. C. M.. Dimensionamento de um *landfarming* para tratamento de borras oleosas utilizando critérios de um reator batelada. Reget, [s.l.], v. 18, n. 3, p.1273-1285, 3 out. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117014329>.
4. MILIONI, Andrea. *Remediation of Hydrocarbon Contaminated Soils*. Disponível em: <http://www.oil-gasportal.com/remediation-of-hydrocarbon-contaminated-soils/#_ftnref17>. Acesso em: 02 nov. 2016.
5. SANTOS, Renata M; RIZZO, Andréia C. L; SOBRAL, Luiz G.S. Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto. Campinas: Centro de tecnologia mineral CETEM, 2007.
6. SILVA, Leonardo Jordão da. Processo de *Landfarming* para Tratamento de Resíduos Oleosos. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
7. SILVA, Leonardo Jordão da; ALVES, Flavia Chaves; FRANÇA, Francisca Pessôa de. Processos biológicos para tratamento de resíduos oleosos - estudo da arte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 6., 2011, Florianópolis. Abpg, 2011. p. 1 - 8.
8. SOUZA, Tatiana da Silva. Análise da toxicidade e da mutagenicidade de solo de *Landfarming*, proveniente de refinaria de petróleo, antes e depois de processos que visam estimular a biodegradação de hidrocarbonetos. 2010. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.