



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

Otimização do Sistema de *Landfarming* da RPBC – Refinaria Presidente Bernardes

Castro, R.A.; Carvalho, F.J.P.C.; Krenzcyński, M.C.; Gonçalves, C.M.;
Oliveira, S.C.T.; Lima, V., Creplive, M.; Joanello Jr., L.A.¹

¹*Antroposphaera* – Instituto para o Desenvolvimento do Meio Ambiente, Rua Jacarezinho, 215, rodrigoazc@terra.com.br, francisco.carvalho@ufpr.br, mikre@ig.com.br, claudiamgoncalves@yahoo.com.br, samucaap@pop.com.br, va_delima@yahoo.com.br, maricelma@gmail.com.br, joanello@pop.com.br

Resumo - A disposição final de resíduos sólidos, geralmente acarreta riscos relativos ao meio ambiente devido as características de cada resíduo e as tecnologias utilizadas. A incineração apresenta problemas de poluição atmosférica e elevado custo e aterros, riscos para corpos hídricos e para a saúde pública, além de dificuldades operacionais e custos. Porém, quando se consideram resíduos industriais passíveis de biodegradação, a disposição final destes pode ser realizada, de maneira segura e econômica, através do uso de *landfarming*, que pode ser definido como um sistema de tratamento de resíduos através de um processo biotecnológico, que utiliza a população microbiana do solo para a degradação destes. Grandes quantidades de resíduos de petróleo podem ser tratados em sistema de *landfarming*. O trabalho apresentado é relativo à otimização da camada reativa do *landfarming* da RPBC – Refinaria Presidente Bernardes – que apresentava índices de respiração ao redor de 63,90 mgCO₂/100g solo.7dias e baixa capacidade de tratamento de resíduos oleosos. Para reverter este quadro foram realizadas as caracterizações química, física e biológica das células e resíduos, recuperação da superfície topográfica, correção e fertilização da camada reativa, realização de procedimentos operacionais e acompanhamento e controle das aplicações e da atividade microbiana.

Palavras-Chave: *Landfarming*; resíduos de petróleo; otimização do sistema; biodegradação

Abstract – The solid wastes final disposition, generally incurring in relative risks to the environment, in virtue of each waste characteristics and the applied technology. Incineration, results also in atmospheric pollution, high costs and the final disposal of the incineration may result in aquifers contamination risks and public health hazards. However, considering that some industrial residues are biodegradable, the final disposition of those wastes, may be achieved by *landfarming*, which is a biotechnological safe and not expensive system of degradation, which uses soil microbes population for degradation. Large quantities of petroleum wastes can be treated by the use of the *landfarming* system. The work here presented, is related to *landfarming* reactive layer optimization, at the Refinaria Presidente Artur Bernardes-RPBC, which soil breathing index was determinate as 63,90mgCO₂/100mg, during a period of 7 days, resulting a low capacity of oil residues treatment. In order to revert the above results, chemical, biological and physical identification of the cells and wastes were conducted, topographic surface were recovered, fertilization and correction of the reactive layer was implemented, operational procedures, and the control of the microbial activities.

Keywords: *Landfarming*; biodegradation

1. Introdução

Durante o processo de tratamento no solo, os hidrocarbonetos são convertidos pela ocorrência natural ou pelos microrganismos nativos do solo a CO₂, água, biomassa e materiais húmicos conforme GROVE (1978), THOMAS e WARD (1989) e DINEEN et al. (1993) que acrescentam a produção de CH₄ e sais inorgânicos. A biorremediação, considerada como uma tecnologia potencialmente barata e efetiva de limpeza, é baseada sobre a biodegradação de hidrocarbonetos em produtos não tóxicos como água e CO₂ (SONG et al., 1990). Muitos autores citam a existência de microrganismos capazes de utilizar hidrocarbonetos, conforme encontrado no trabalho de BUSHNELL e HAAS (1941), que relatam o isolamento de organismos desde 1896. BUSHNELL e HAAS (1941) citam ainda que esses organismos podem ser isolados de locais como solos com óleo, tanques de sedimentação e águas de fundo de tanques de armazenamento de petróleo. Esses organismos não precisam necessariamente estar confinado nestes locais, sendo ainda encontrados em água, matéria fecal de animais, mastites e abscessos, como encontrado para espécies de *Pseudomonas*. HARRIS (1976), CONCAWE (1980) e SKLADANY e METTING (1993), citam a existência de microrganismos do solo capazes de degradar hidrocarbonetos e, particularmente, o segundo autor, cita que, a população de microrganismos do solo pode tornar-se especializada na degradação de hidrocarbonetos, quando estes são adicionados ao solo. MCGILL et al. (1981) relatam o incremento da atividade respiratória e do número de bactérias (adaptadas na degradação de hidrocarbonetos) quando da adição de óleo ao solo e notaram subsequente declínio na respiração após alguns dias de incubação, devido a completa decomposição de frações mais lábeis ou à disponibilidade limitada de nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

A respiração da comunidade do solo tem sido usada como um indicador da atividade biológica no perfil do solo e nos dá uma melhor estimativa da relativa atividade microbiana entre solos do que a contagem de populações (SOPPER, 1993). Adicionalmente, diversos autores citam que contagens elevadas de microrganismos não são indicativas de altas taxas de degradação (DAVIDSON et al., 1985; MARTIN et al., 1988; ALDRETT et al., 1997; KAO e BORDEN, 1997; TOWNSEND et al., 2000). A escolha do parâmetro respiração do solo, se deve ao fato deste ser de fácil determinação e por apresentar correlação com a atividade microbiana do solo (NANNIPIERI et al., 1978), tendo sido amplamente utilizado para estudos relativos à biomassa microbiana e à biodegradação, inclusive para resíduos petroquímicos (BROWN et al., 1991; ALMEIDA e CARVALHO, 1994a; ALMEIDA e CARVALHO, 1994b; CARVALHO et al., 1994a; CARVALHO et al., 1994b; CARVALHO et al., 1994c; MIELNICZUK, 1991). A determinação da respiração do solo através da titulação ácido - base onde uma solução alcalina captura o CO₂ produzido pelo solo, sendo posteriormente titulada por um ácido para se determinar a produção do mesmo, é uma das formas mais encontradas na literatura para avaliação da atividade microbiana (STOTZKY, 1965; MILLER, 1974; AGBIM et al., 1977; TERRY et al., 1979a; CASARINI et al., 1988; MARSHALL e DEVINNY, 1988; PAUL e CLARK, 1989; PRANTERA et al., 1991; ANDERSON e INGRAM 1993; ZIBILSKE, 1994; RIIS et al., 1995). A adição de hidrocarbonetos aos solos é freqüentemente seguida de um incremento no consumo de oxigênio (ODU, 1972). WATTS et al. (1982), trabalhando com aplicação de resíduos oleosos no solo, medindo a atividade microbiana pela evolução do CO₂, encontraram índices de respiração 6 vezes maior em sítios que tiveram a aplicação de resíduo oleoso em comparação com aqueles sem a aplicação. GRUIZ e KRISTON (1995) encontraram valores de respiração pela evolução do CO₂ dez vezes maior que o normal, provando a presença da biodegradação em solos contaminados com óleo. Citam também o decréscimo no conteúdo de óleo. Num experimento conduzido por SEAKER e SOPPER (1988), estudando sobre taxa de decomposição de resíduos em solos, verificou que a mesma era mais alta quanto mais velho era o sítio, sugerindo que a população de fungos e bactérias eram mais capazes aos processos de decomposição quanto mais velho era o sítio, resultado da especialização dos microrganismos.

O tratamento no solo conhecido como *landfarming* de acordo com a NBR 13894 (1997), corresponde ao método de tratamento onde um substrato orgânico de um resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo. O trabalho apresentado é relativo à otimização da camada reativa do *landfarming* da RPBC – Refinaria Presidente Bernardes – que apresentava, em meados de novembro de 2003, índices de respiração ao redor de 63,90 mgCO₂/100g solo.7dias e baixa capacidade de tratamento de resíduos oleosos. Para reverter este quadro foram realizadas as caracterizações química, física e biológica das células e resíduos, recuperação da superfície topográfica, correção e fertilização da camada reativa, realização de procedimentos operacionais e acompanhamento e controle das aplicações e da atividade microbiana.

2. Material e Métodos

2.1. Características do Sistema

O *landfarming* da RPBC é composto por 04 células (células 02, 03, 04 e 05) para a aplicação de resíduos oleosos. Cada célula de 6.000 m² é protegida por diques, impermeabilizada por PEAD, possui canaletas de drenagem (ligadas ao sistema de tratamento de efluentes), bordadura e um conjunto de três lisímetros para sucção da solução do solo. Os trabalhos de recuperação da camada reativa consistiram de: recuperação topográfica, caracterização química, física e biológica, correção e fertilização, acompanhamento diário das atividades, elaboração de procedimentos, manejo intensivo (aração e gradagem), monitoramento da camada reativa (químico, físico e biológico).

2.2. Amostragem de Solo

A amostragem foi realizada com trado holandês na profundidade de 20 cm, com a forma geométrica disposta em 05 linhas no sentido transversal com 03 pontos cada, totalizando 15 pontos por célula.

2.3. Análises Realizadas

As análises realizadas foram: respiração do solo (PETROBRAS – ME-6360 – 027), determinação de bactérias e fungos, heterotróficos e hidrocarbonoclasticos, utilizando o meio de Martin (MENZIES, 1965), fertilidade (PAVAN et al., 1992) e textura do solo conforme EMBRAPA (1997) e a classificação textural conforme OLEYNIK et al. (1989).

O método utilizado para determinação da respiração do solo consiste da microdestilação do CO₂ com NaOH 0,5 N e posterior titulação do NaOH residual com H₂SO₄ 0,025 N, conforme metodologia de CARVALHO et al. (1994 a e b). As titulações foram realizadas aos 7 e 14 dias de incubação com duas repetições para cada ponto amostrado. Foram realizadas 02 titulações por tubo de ensaio incubado.

As análises de bactérias e fungos, heterotróficos e hidrocarbonoclasticos, foram realizadas utilizando o meio de Martin (MENZIES, 1965) com sulfato de estreptomicina para fungos e cicloheximida para bactérias. Para os microrganismos heterotróficos e hidrocarbonoclasticos a inoculação das amostras, em câmara de fluxo laminar, foi realizada pipetando-se 0,1 ml das diluições preparadas para os tubos de ensaio com rosca contendo 1 ml do meio de cultura. Foram utilizadas 3 diluições crescentes cada qual com 05 tubos e em duplicata, totalizando 120 tubos por amostra que foram submetidos à incubação em estufa à 30°C por 7 dias. As diluições utilizadas foram 10⁴, 10⁵ e 10⁶ para bactérias hidrocarbonoclasticas; 10⁵, 10⁶ e 10⁷ para bactérias heterotróficas; 10³, 10⁴ e 10⁵ para fungos hidrocarbonoclasticos; e, 10³, 10⁴ e 10⁵ para fungos heterotróficos. Para a determinação do tamanho da população foi utilizado o “Método do Número Mais Provável - (NMP)” de acordo com WOOMER (1994) e SCHINNER et al. (1995). Para a população de heterotróficos e hidrocarbonoclasticos o número de tubos positivos, ou seja, que contém o desenvolvimento de microrganismos, determina o tamanho da população. Para a determinação dos microrganismos hidrocarbonoclasticos foi considerada a adição de 15 ml/l de petróleo, retirando-se a peptona e a glicose, adicionados antes da autoclavagem de cada tubo e com auxílio de micropipeta automática. As análises de microbiologia (heterotróficos e hidrocarbonoclasticos) foram realizadas em junho de 2004 e novembro de 2004.

2.4. Aplicação de Fertilizantes e Corretivos

Para a correção e fertilização das células foram aplicados 11.219 Kg/ha, 1.778 Kg/ha, 833 Kg/ha, 1.558 Kg/ha e 853 Kg/ha de calcário, sulfato de amônio, NPK (4-14-8), cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente e para o conjunto de células.

2.5. Aplicação de Resíduos

As aplicações de resíduo foram realizadas a partir de junho de 2004 e se estenderam até fevereiro de 2005 (Tabela 01). Os valores apresentados representam os totais aplicados por mês e para as 04 células.

Tabela 01. Quantidade de resíduo oleoso aplicado ao *landfarming*

			2004				2005	
junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro
kg								
197.790	191.590	202.970	192.690	92.630	66.870	61.780	61.812	86.750

3. Resultados

3.1. Classificação Textural

Os solos das células do *landfarming* de acordo com a granulometria estão classificados como francos arenosos (Tabela 02).

Tabela 02. Classificação textural

CÉLULAS	AREIA	SILTE	ARGILA
		g/kg	
02	440,0	360,0	200,0
03	440,0	360,0	200,0
04	560,0	280,0	160,0
05	500,0	360,0	140,0

3.2. Fertilidade do Solo

Os resultados de fertilidade da camada reativa estão demonstrados na Tabela 03.

Tabela 03. Fertilidade do solo

Células	pH CaCl ₂	SMP	Al ³⁺	H+Al	Mg ²⁺ cmol _c /dm ³	Ca ²⁺ cmol _c /dm ³	K ⁺	T	P mg/dm ³	C g/dm ³	V %
02	4,90	5,90	0,20	5,40	1,89	6,45	0,17	13,91	159,00	36,50	61,18
03	4,80	6,30	0,20	4,00	2,42	4,80	0,66	11,88	145,00	36,50	66,33
04	5,10	6,50	0,00	3,40	0,82	8,00	0,56	12,78	150,20	30,50	73,40
05	4,90	6,00	0,20	5,00	2,42	9,98	1,03	18,43	150,20	42,60	72,87

3.3. Respiração do Solo

Os resultados de respiração do solo estão demonstrados graficamente na Figura 01. Os dados compreendem o acompanhamento da respiração da camada reativa das 04 células de novembro de 2003 a fevereiro de 2005 e representa a média geral de todo o *landfarming*.

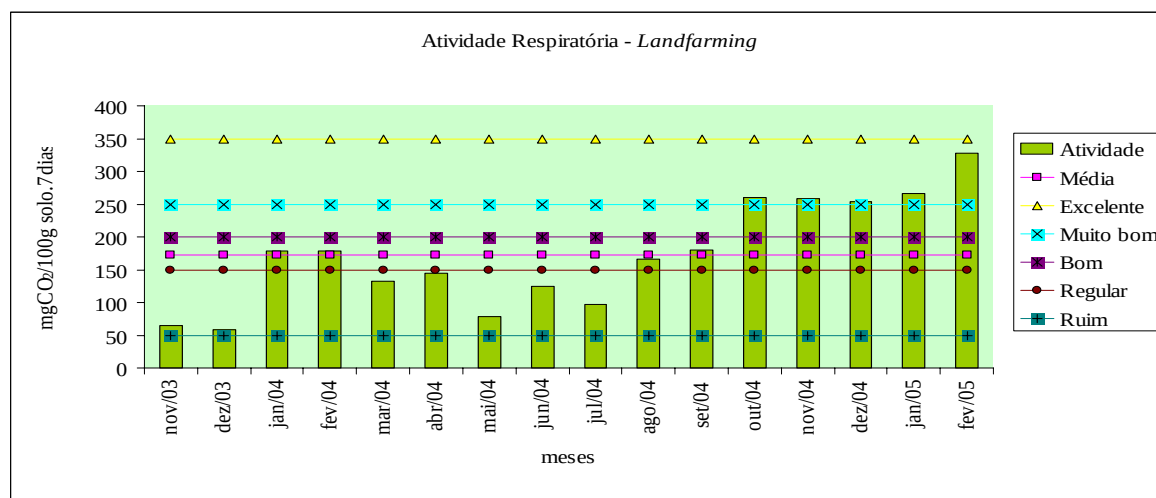


Figura 01. Acompanhamento da biodegradação do *landfarming* da RPBC

3.4. Bactérias e Fungos Heterotróficos e Hidrocarbonoclásticos

A quantificação microbiana pode ser verificada nas Tabelas 04 e 05.

Tabela 04. Quantificação microbiana de junho de 2004

*	Bactérias Heterotróficas	Bactérias Hidrocarbonoclásticas	Fungos Heterotróficos	Fungos Hidrocarbonoclásticos
		NMP/gss		
02	$5,8 \times 10^5$	$1,4 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$
03	$4,1 \times 10^6$	$9,2 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$	$6,1 \times 10^4$
04	$1,2 \times 10^7$	$1,9 \times 10^5$	$2,1 \times 10^4$	$7,9 \times 10^3$
05	$1,3 \times 10^6$	$2,6 \times 10^4$	$3,9 \times 10^3$	$5,9 \times 10^3$

* - Células

Tabela 05. Quantificação microbiana de novembro de 2004

*	Bactérias Heterotróficas	Bactérias Hidrocarbonoclásticas	Fungos Heterotróficos	Fungos Hidrocarbonoclásticos
		NMP/gss		
02	$3,3 \times 10^7$	$8,3 \times 10^5$	$8,4 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$
03	$6,1 \times 10^6$	$1,8 \times 10^4$	$5,2 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
04	$5,8 \times 10^8$	$3,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$2,7 \times 10^4$
05	$3,2 \times 10^7$	$4,9 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$

* - Células

4. Discussão

No início da implantação da otimização do sistema de *landfarming* da RPBC foi encontrado o valor médio de respiração de 63,9 mg CO₂/100 g solo.7dias (novembro de 2003) para a camada reativa; valor este considerado ruim e indicativo de baixa eficiência para promover os processos de biodegradação dos resíduos, implicando na limitação de baixas taxas de aplicação.

Com o início dos trabalhos de recuperação da camada reativa pode-se observar, de acordo com os resultados obtidos, um aumento gradativo das médias mensais de respiração do solo indicando aumento de eficiência do sistema e possibilitando aumento das taxas de aplicação de resíduos. Em fevereiro de 2005 foi obtido o valor de respiração do solo de 328,22 mg CO₂/100 g solo.7dias considerada a maior média desde o início do acompanhamento.

De acordo com os resultados de quantificação microbiana não foram observadas reduções para as populações analisadas e de junho de 2004 para novembro do mesmo ano podem ser notados acréscimos tanto para heterotróficos quanto hidrocarbonoclásticos.

5. Referências

- AGBIM, N.N., SABEY, B.R., MARKSTROM, D.C. 1977. Land application of sewage sludge: V. Carbon dioxide production as influenced by sewage sludge and wood waste mixtures. *Journal Environmental Quality*. 6: 446 – 451.
- ALDRETT, S., BONNER, J.S., MILLS, M.A., AUTENRIETH, R.L., STEPHENS, F.L. 1997. Microbial degradation of crude oil in marine environments tested in a flask experiment. *Wat. Res.* Vol. 31 (11). p. 2840 – 2848.
- ALMEIDA, M.H.L., CARVALHO, F.J.P.C. 1994a. Metodologia empregada para monitoramento das áreas de biorremediação e do *landfarming* da Repar. 1ª Mesa Redonda sobre Química Analítica Ambiental da PETROBRAS. 8p.
- ALMEIDA, M.H.L., CARVALHO, F.J.P.C. 1994b. Metodologia empregada na caracterização e determinação da dosagem de aplicação de resíduos para disposição no solo. 1ª Mesa Redonda sobre Química Analítica Ambiental da PETROBRAS. 7p.
- ANDERSON, J.M., INGRAM, J.S.I. 1993. Tropical soil biology and fertility – A handbook of methods. C-A-B International, 2 ed.
- BROWN, E.J., RESNICK, S.M., REBSTOCK, C., LUONG, H.V., LINDSTROM, J. 1991. UAF radiorespirometric protocol for assessing hydrocarbon mineralization potential in environmental samples. *Biodegradation*. 2: 121 - 127.
- BUSHNELL, L.D., HAAS, H.F. 1941. The utilization of certain hidrocarbons by microorganisms. *Journal of Bacteriology*. 41: 653 – 673.
- CARVALHO, F.J.P.C., SOUZA, S.L., CASTRO, R.A., RESENDE, E.E.B., RITTES, J.R.F., DYMINSKY, D.S. 1994a. Estabelecimento de metodologia para determinação “in vitro” da demanda de corretivos da camada reativa do solo do *landfarming* da Repar - Refinaria Presidente Getúlio Vargas - Petrobrás. *Anais da 46ª SBPC*. p716.
- CARVALHO, F.J.P.C., SOUZA, S.L., CASTRO, R.A., RESENDE, E.E.B., RITTES, J.R.F., DYMINSKY, D.S. 1994b. Determinação da Respiração da camada reativa do solo do *landfarming* da Repar - Refinaria Presidente Getúlio Vargas - Petrobrás, através da evolução do CO₂: otimização do sistema de incubação. *Anais da 46ª SBPC*. p707.
- CARVALHO, F.J.P.C., SOUZA, S.L., CASTRO, R.A., RESENDE, E.E.B., RITTES, J.R.F., DYMINSKY, D.S. 1994c. Monitoramento do *landfarming* da Repar - Refinaria Presidente Getúlio Vargas - Petrobrás, através da respiração da camada reativa do solo. *Anais da 46ª SBPC*.p717.
- CASARINI, D.C.P., MACEDO P.M. DE, CUNHA, R.C. DE A., MAUGER, J.C.O. 1988. The development of assessment techniques to evaluate the biodegradation of oily sludge in a *landfarming* system. *Water Science Technology*. 20(10): 231 - 236.
- CONCAWE. 1980. Sludge Farming: a technique for the disposal of oily refinery wastes. *Concawe Report* 3: 80, The Hague, 95p.
- DAVIDSON, E.A., STRAND, M.K., GALLOWAY, L.F. 1985. Evaluation of the most probable number method for enumerating denitrifying bacteria. *Soil Science Society American Journal*. Vol. 49. p. 642 – 645.
- DINEEN, D., SLATER, J.P., HICKS, P., HOLLAND, J., CLENDENING, L.D. 1992. In situ biological remediation of petroleum hydrocarbons in unsaturated soils. p 453 – 463. In: *Principles and Practices for Petroleum Contaminated Soils* (Calabrese, E.J., Kostecki, P.T. – ed.). Boca Raton: Lewis Publishers. 658p.
- EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa. Rio de Janeiro, 2ª edição. 212 p.
- GROVE, G.W. 1978. Use *landfarming* for oily waste disposal. *Hydrocarbon Processing*. 5: 138 - 140.
- GRUIZ, K., KRISTON, E. 1995. In situ bioremediation of hydrocarbon in soil. *Journal of Soil Contamination*. 4(2): 163 - 173.
- HARRIS, J. O. 1976. Petroleum Wastes in the Soil in Land Application of Waste Materials. Published by the Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa. 313p.
- KAO, C.M. e BORDEN, R.C. 1997. Enhanced TEX biodegradation in nutrient briquet-peat barrier system. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 123 (1). p. 18 – 24.

- MARSHALL, T.R., DEVINNY, J.S. 1988. The microbial ecosystem in petroleum waste land treatment. *Water Science and Technology*. 20(11/12): 285 - 291.
- MARTIN, K., PARSONS, L.L., MURRAY, R.E., SMITH, M.S. 1988. Dynamics of soil denitrifier populations: relationships between enzyme activity, most-probable-number counts, and actual N gas loss. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 54 (11). p. 2711 – 2716.
- McGILL, W.B., ROWELL, M.J., WESTLAKE, D.W.S. 1981. Biochemistry, Ecology and Microbiology of Petroleum Components in Soil. In: *Soil Biochemistry* Ed. E.A. Paul and J.N. Ladd, Marcel Dekker, New York, vol. 5. 229p.
- MENZIES, J.D. 1965. Fungi. In: BLACK, C.A. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy. Vol. 2 cap. 107. p. 1502-1505.
- MIELNICZUK, C. 1991. A população microbiana e a degradação de resíduo petroquímico no solo. Tese de mestrado UFRGS. 135p.
- MILLER, R. H. 1974. Factors affecting the decomposition of an anaerobically digested sewage sludge in soil. *Journal Environmental Quality*. 3: 376 – 380.
- NANNIPIERI, P., JOHNSON, R.L., PAUL, E.A. 1978. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. *Soil Biology Biochemistry*. 10: 223 - 229.
- NBR 13894/1997. Tratamento no solo (*landfarming*). ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 10p.
- ODU, C.T.I. 1972. Microbiology of soils contaminated with petroleum hydrocarbons. I. Extent of contamination and some soil and microbial properties after contamination. *J. Inst. Petrol.*. 58: 201 – 8.
- OLEYNIK, J., BRAGAGNOLO, N., BUBLITZ, U. 1989. Análises de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados. EMATER – Paraná. 2ª ed. Curitiba. 27 p.
- PAUL, E.A., CLARK, F.E. 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, Inc. – San Diego – California. 275p.
- PAVAN, M.A., BLOCH, M.F., ZEMPULSKI, H.C., MIYAZAWA, M., ZOCOLER, D.C. 1992. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina IAPAR – Circular nº 76. 40p.
- PETROBRAS. 1997. REPAR-NORMA ME-6360-027 - Método de ensaio-Determinação da atividade respiratória potencial. 22p.
- PRANTERA, M.T., MAURO, C.A., MARINS, M.D.M. 1991. Landfarming of drilling wastes. *Water Science and Technology*. 24(12), 177-182.
- RIIS, V., MIETHE, D., BABEL, W. 1995. Degradation of refinery products and oils from polluted sites by the autochthonous microorganisms of contaminated and pristine soils. *Microbiological Research*. 150(3): 323 - 330.
- SCHINNER F., KANDELER, E., OHLINGER, R., MARGESIN, R. 1995. *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 426 p.
- SEAKER, E.M. e SOPPER, W.E. 1988. Municipal sludge for minespoil reclamation: I. Effects on microbial populations and activity. *Journal Environmental Quality*. 17: 591 – 597.
- SKLADANY, G.J., METTING JR., F.B. 1993. Bioremediation of contaminated soil. p. 483 – 513. In: Metting Jr, F.B. (ed.) *Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc. New York. 646 p.
- SONG, H., BARTHA, R. 1990. Effects of jet fuel spills on the microbial community of soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 56(3): 646 – 651.
- STOTZKY, G. 1965. Microbial respiration. p. 1550-1572. In: C. A. Black (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society Agronomy, Madison, WI.
- TERRY, R.E., NELSON, D.W., SOMMERS, L.E., 1979. Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils- Division S-3 – Soil microbiology and biochemistry. *Soil Science Society American Journal*. 43: 494 – 499.
- THOMAS, J.M., WARD, C.H. 1989. In situ bioremediation of organic contaminants in the subsurface. *Environmental Science Technology*. 23(7): 760 - 766.
- TOWNSEND, R.T., BONNER, J.S., AUTENRIETH, R.L. 2000. Microbial dynamics during bioremediation of a crude oil-contaminated coastal wetland. *Bioremediation Journal*. Vol. 4 (3). p. 203 – 218.
- WATTS, J.R., COREY, J.C. E McLEOD, K.W. 1982. Land application studies of industrial waste oils. *Environmental Pollution*. 28: 165 – 175.
- WOOMER, P.L. 1994. Most Probable Number Counts. p. 59-79. In: Weaver, R.W. et al (ed.). *Methods of Soil Analysis*. Part 2 – Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America.
- ZIBILSKIE, L.M. 1994. Carbon mineralization. p. 835–863. In: R. W. Weaver et al. (ed.) *Methods of soil analysis* Part. 2 - Microbiological and biochemical properties - Soil Science Society of America, Inc. - book series nº 5.