

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

ESTUDO DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DA MISTURA DE LODO E ÓLEO LUBRIFICANTE EM REATOR AERÓBIO.

Franklin E. Moura¹, Shiva Prasad¹, Valderi D. Leite², Crislene Rodrigues da S. Morais¹, Keila Regina Santana¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande (CCT/UFCG), Rua Carlos Alberto de Sousa, 466 – Bodocongó – Campina Grande – PB – CEP: 58109-155 – Brasil – Tel.: (83) 3333-3904, e-mail: franklinem@hotmail.com, prasad@deq.ufcg.edu.br, crislene@dema.ufcg.edu.br, keilasantana@pop.com.br

² Universidade Estadual da Paraíba (DQ/CCT/UEPB), Rua Vigário Calixto, 1485 – Catolé – Campina Grande – PB – CEP: 58104-485 – Brasil – Tel.: (83) 3337-9585 – Fax: (83) 3333-1821, e-mail: valderileite@uol.com.br.

Resumo – A contaminação do solo e dos reservatórios de água com derrames acidentais de petróleo é um fato evidente e preocupante. Frequentes derrames de petróleo e de seus derivados vêm ocasionando graves problemas de âmbito social, econômico e principalmente ambiental. Diante desta problemática, no presente trabalho é estudado a biodegradação de lodo de esgoto sanitário (LES) conjuntamente com óleo lubrificante (OL) em reator aeróbio de batelada. Para a realização do experimento foram montados e monitorados três reatores com capacidade unitária de 6 litros. Cada reator foi alimentado com substrato contendo LES e três diferentes quantitativas massas de OL (17,6; 35,2 e 52,8 gramas) respectivamente. Os parâmetros avaliados foram: demanda química de oxigênio (DQO), pH e decomposição térmica (TG). Os resultados obtidos demonstraram a capacidade dos microrganismos em degradarem a matéria orgânica presente na mistura de LES e OL.

Palavras-Chave: óleo lubrificante, biodegradação aeróbia, meio ambiente, decomposição térmica.

Abstract: Contamination of soil and of water reservoirs with accidental spills of petroleum is an evident and preoccupying fact. Frequent spills of petroleum and of its derivatives have caused serious problems in the social, economical and mainly environmental areas. Concerned with this problem, studies on biodegradation of sanitary sewage sludge together with lubricating oil in aerobic batch reactors have been realized. Three reactors, with unitary capacity of 6 L each, were mounted and monitored for performing the experimental work. Each reactor was fed with substratum containing sanitary sewage sludge and three quantitative different masses of the lubricating oil (17.6, 35.2 and 52.8 g, respectively). The evaluated parameters were: chemical oxygen demand, pH and thermal decomposition (TG). The obtained results demonstrated the capacity of microorganisms in degrading the organic matter of the sludge and oil mixtures.

Keywords: lubricating oil, aerobic biodegradation, environment, thermal decomposition.

1. Introdução

Atualmente, o setor petrolífero responde pela geração de 40% de toda energia mundial (Vilaça et al, 2004). Com a exploração e a comercialização de petróleo e de seus derivados, acidentes ambientais vêm ocorrendo frequentemente, gerando graves danos ao meio ambiente e a saúde humana. Segundo Neto et al, (2000) e Silva et al, (2002) a presença de compostos como bezeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em derrames acidentais de petróleo é uma preocupação a mais, já que estes compostos são de fácil diluição em contato com água e em concentrações altas pode provocar graves doenças nos seres vivos, tais como: câncer e distúrbios no sistema nervoso.

O óleo lubrificante é obtido através dos processos de refinação e são formados basicamente por hidrocarbonetos de petróleo cru que representa 85% de sua formulação. Sua estrutura é constituída basicamente por parafinas, naftênicos (ciclo parafinas) e hidrocarbonetos aromáticos (Haus et al, 2004).

A contaminação dos solos e águas por óleo lubrificante é originada de varias fontes como: descarte de óleo automotivo, lavagem automotiva e derrames acidentais tanto na fabricação, transporte como no armazenamento. O uso da biodegradação é uma das técnicas de maior destaque entre os ambientalistas como a maneira adequada de se eliminar contaminantes de solos e águas. A viabilidade do uso da biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo por microrganismos é relatada em vários trabalhos (Salminen et al, 2004, Prpich & Daugulis, 2005 e Gülensoy & Alvarez, 1999).

Para que haja biodegradação dos hidrocarbonetos em um processo aeróbio ou anaeróbio é essencial que ocorra reação redox, em que o hidrocarboneto é o oxidado (doador de elétrons) e um aceptor de elétron é reduzido. Existem diferentes compostos que podem agir como aceptores de elétrons, entre eles o oxigênio (O_2), o nitrato (NO_3^-), os óxidos de Fe(III), o sulfato (SO_4^{2-}), entre outros.

Yerushalmi et al (2003), relatou que antes de utilizar-se um tratamento biológico é necessário avaliar alguns fatores que pode influenciar na inibição e conseqüentemente na eficiência do processo. Os principais fatores que podem limitar o processo de biodegradação encontram-se no tipo e na concentração dos contaminantes, presença de população microbiana degradado, presença de nutrientes, pH, temperatura e biovolatilidade do substrato.

A utilização de reatores biológicos para degradar hidrocarboneto de petróleo está sendo usada como uma boa alternativa, comparada com outras técnicas de biorremediação. As principais vantagens do uso de reatores biológicas encontram-se na facilidade de operação e controle, e pelas altas taxas de biodegradação. Estudos comprovaram que a biodegradação aeróbia de hidrocarbonetos de petróleo em reatores de bateladas pode apresentar altas eficiências na remoção da matéria orgânica. Vendramel et al (2004) utilizou-se de um reator do tipo RALFS (Reatores Aeróbios de Leito Fixo Submerso) no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo tendo obtido bons resultado na remoção da matéria orgânica.

O uso da análise térmica juntamente com outras técnicas pode ser utilizado para avaliar a biodegradabilidade de substância orgânica. A importância da análise térmica é medir as mudanças de propriedade físicas e químicas das substâncias, fornecendo informações qualitativas e quantitativas sobre mudanças químicas que envolvem processos endotérmicos, exotérmicos ou mudanças na estabilidade térmica.

Na demanda química de oxigênio é determinado o valor quantitativo de material orgânico passivo de oxidação pelo dicromato de potássio a temperatura de $150^\circ C$ durante um período de tempo de 2 horas.

No presente trabalho foi estudado a biodegradação aeróbia da mistura de lodo de esgoto sanitário (LES) e de óleo lubrificante (OL) em reatores de batelada.

2. Materiais e Métodos

2.1. Montagem do Experimento

O experimento foi realizado em três reatores aeróbio de batelada, tendo sido instalado e monitorado na Estação de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário (EXTRABES), localizado no bairro do Catolé na cidade de Campina Grande – PB. Foram construídos três reatores em tubos de PVC de 100 mm de diâmetro interno e 1 metro de altura. Cada reator tinha capacidade volumétrica de 6 L e possuía dois pontos de coleta na parte frontal. O sistema de aeração era composto por três bombas de ar direto com capacidade para produzir uma vazão de $15 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. Na Figura 1 é apresentado o desenho esquemático dos reatores.

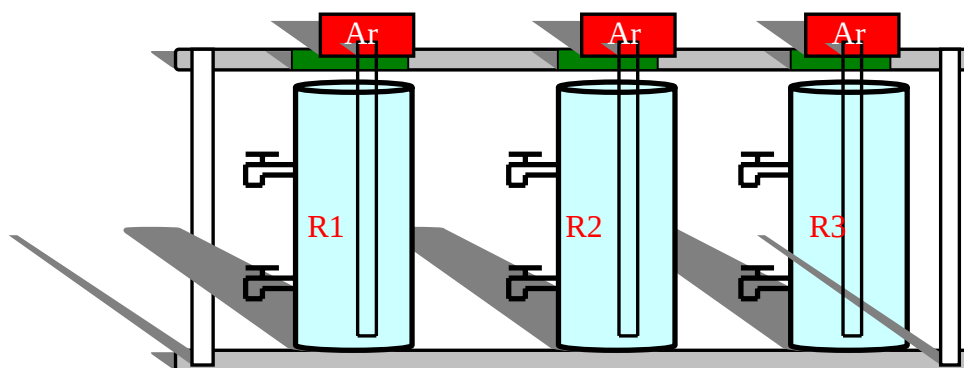


Figura 1 – Desenho esquemático dos reatores.

2.2 – Partida do Sistema

Os reatores foram denominados de R1, R2 e R3. O LES usando como inóculo foi coletado de um reator do tipo UASB (Digestor Anaeróbio de Fluxo Acedente). Já OL foi recolhido em oficina mecânica.

Nos reatores R1, R2 e R3 foram adicionados LES e diferentes concentrações de OL, conforme as proporções apresentadas na Tabela 1. Os reatores após serem alimentados, passaram a receber oxigenação através de bombas de ar, instalados na parte superior. O oxigênio era introduzido no reator através de mangueiras colocadas dentro do reator. Aeração era mantida durante um intervalo de 15 horas por dia, controlada por um temporizador digital que garantia uma concentração de oxigênio dissolvido em média de 5 mg.L⁻¹. A temperatura usada durante a investigação experimental foi a ambiente. As amostras do substrato foram coletadas duas vezes por semana. Os três reatores foram monitorados durante 65 dias.

Tabela 1 – Configurações dos reatores usados na pesquisa.

Reatores	Composição do Substrato		
	Concentração de LES (kg)	Concentração de OL (g)	Volume de água destilada (L)
R1	1,94	17,60	4,00
R2	1,94	35,20	4,00
R3	1,94	52,80	4,00

2.2 – Análises Realizadas

Os parâmetros físicos e químicos empregados para caracterização do LES, OL e do substrato foram baseados nos princípios analíticos estabelecidos por APHA et al (1995). Já as curvas termogravimétricas (TG) foram obtidas através de um sistema de termobalança da marca SHIMADZU, em atmosfera de ar com vazão constante de 30 mL.min⁻¹ e faixa de temperatura de 25 – 1000°C com razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹. Utilizou-se um cadinho de alumina e foram tomadas amostras com massa média de 10,3±0,2 mg.

3. Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os dados obtidos das análises físicas e químicas realizada nas amostras de LES, OL e no substrato presente nos reatores R1, R2 e R3, antes e depois do tratamento biológico aeróbio.

Tabela 2 – Caracterizações físicas e químicas das amostras de LES, OL e do substrato dos reatores R1, R2 e R3 antes e depois do tratamento biológico aeróbio.

Parâmetros	LES	OL	R1		R2		R3	
			Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Umidade (%)	6	± 0,5	8,37	6,98	10,59	7,62	5,00	7,50
pH	7,9	± 7	7,73	7,20	7,44	7,56	7,80	7,71
Demanda química de oxigênio (mg.L)	8.786	-	22.400	8.000	32.000	11.732	38.400	14.200

Na Figura 2 é mostrada a eficiência do sistema de tratamento aeróbio aplicado na biodegradação da matéria orgânica (DQO) do substrato presente nos reatores R1, R2 e R3. Pode-se verificar que nos primeiros 16 dias de operação do sistema aeróbio, ocorreu uma redução de 29, 54 e 49% da matéria orgânica respectivamente. Durante os 16 dias iniciais de operação do reator 1 ocorreu falha no sistema de aeração, que foi responsável pela baixa eficiência observada na remoção da matéria orgânica. Porém, depois de solucionado o problema pode-se verificar um aumento significativo no seu desempenho.

Observou-se que após 65 dias decorridos do início do experimento foram removidos 64% da matéria orgânica presente no substrato do reator R1, 63% no substrato do reator R2 e 62% no substrato do reator R3. As diferentes concentrações de óleo adicionados em cada reator não influenciaram na biodegradação da matéria orgânica pelos microrganismos.

Viera et al (2004) aplicou um tratamento biológico anaeróbio em tratamento de água de produção de petróleo que concentra altos níveis de óleos. O experimento foi realizado em escala de bancada, onde em um frasco com capacidade para um litro foi adicionada uma cultura com microrganismos nativos e água contaminada com óleo. Através do tratamento biológico anaeróbio ele obteve uma eficiência de 57% com relação a DQO, que foi próxima à

obtida no processo aeróbio. Desta maneira, o óleo lubrificante presente no substrato foi passivo de biodegradação pelos microrganismos.

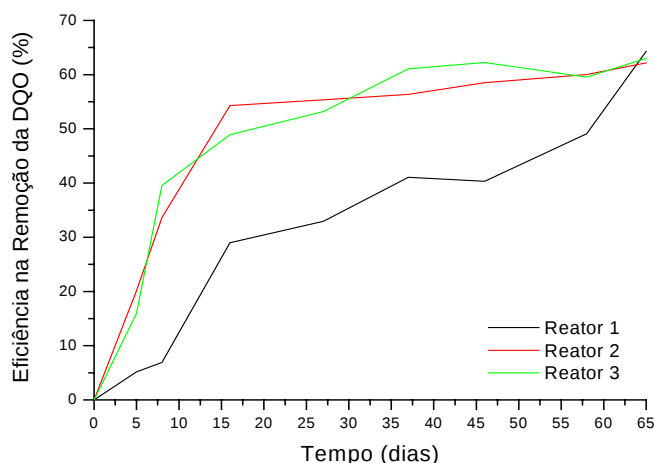


Figura 1. Eficiência na remoção da matéria orgânica (DQO) dos reatores R1, R2 e R3.

O estudo termogravimétrico realizado teve como finalidade comprovar a possibilidade de biodegradação do OL por microrganismos presente no LES. A decomposição térmica destes materiais se deram em 3 eventos para o OL e 4 eventos para o LES. Já os substratos apresentaram decomposição em 3 eventos. Na Tabela 3, são apresentados os dados termogravimétrico do LES e do OL.

Tabela 3 – Dados da decomposição térmica do LES e OL, a razão de aquecimento de 10°C. min⁻¹.

Amostras	Parâmetros	Eventos				
		1º	2º	3º	4º	Resíduo
LES	Intervalo de temp. (°C)	33-164	164-422	422-618	-	>618
	Temp. de Pico (°C)	75	307	495	-	-
	Perda de massa (mg)	0,793	3,539	1,896	-	4,232
	Perda de massa (%)	7,58	33,84	18,13	-	40,45
OL	Intervalo de temp. (°C)	26-391	391-416	416-490	490-587	>587
	Temp. de Pico (°C)	371	400	451	533	-
	Perda de massa (mg)	9,041	0,258	0,553	0,582	0,166
	Perda de massa (%)	85,29	2,44	5,22	5,49	1,56

Para o LES pode-se verificar que o processo de decomposição térmica ocorreu em três eventos, tendo no primeiro evento verificado uma perda de massa de 7,58% na faixa de temperatura de 33 °C -164°C. A perda de massa verificada no primeiro evento está ligada principalmente à presença de moléculas de água na amostra. Já no segundo evento foi observada a maior perda de massa da amostra de LES (33,84%) na faixa de temperatura de 164-422°C, com temperatura de pico de 307°C. O material decomposto nesta faixa de temperatura é basicamente formado por carbono orgânico. Também, pode-se determinar a concentração de material mineralizado presente na amostra de 39,15%. Esta parte mineralizada é constituída basicamente por compostos inorgânicos e compostos minerais.

O processo de decomposição térmica do OL apresentou quatro eventos. O primeiro evento ocorreu na faixa de temperatura de 26-391°C, onde foi observada a maior perda de massa da amostra de 85,29%. A perda de massa verificada é composta provavelmente de hidrocarbonetos biodegradável. Já o segundo terceiro e quarto eventos foram observados perdas de massas variando de 2,44; 5,22 e 5,49%. O resíduo obtido na amostra de OL a temperatura superior a 618°C foi de 1,56%. Este resíduo é provavelmente composto por cinzas e contaminantes minerais que possivelmente possam estar contidos na amostra. A presença de água na amostra de OL foi insignificante.

Na Tabela 4 é apresentado os dados da decomposição térmica das curvas TG realizada com os substratos dos reatores R1, R2 e R3 antes e depois do tratamento biológico aeróbio.

Tabela 4 – Dados da decomposição térmica dos substratos antes e depois do tratamento biológico aeróbio dos R1, R2 e R3. a razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹.

	Amostras	Parâmetros	Eventos			
			1º	2º	3º	Resíduo
REATOR 1	Antes do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	27-143	143-422	422-678	>678
		Temp. de Pico (°C)	60	297	497	-
		Perda de massa (mg)	0,959	4,564	1,272	3,485
		Perda de massa (%)	9,33	44,40	12,37	33,90
	Depois do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	33-169	169-391	391-618	>618
		Temp. de Pico (°C)	74	312	450	-
		Perda de massa (mg)	0,952	3,368	2,152	3,808
		Perda de massa (%)	9,26	32,76	20,93	37,05
REATOR 2	Antes do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	28-138	138-441	441-691	>691
		Temp. de Pico (°C)	55	306	500	-
		Perda de massa (mg)	1,178	4,862	0,968	3,271
		Perda de massa (%)	11,46	47,30	9,42	31,82
	Depois do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	37-177	177-374	374-679	>691
		Temp. de Pico (°C)	72	302	451	-
		Perda de massa (mg)	1,021	3,133	2,544	3,582
		Perda de massa (%)	9,93	30,48	24,75	34,84
REATOR 3	Antes do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	25-147	147-435	435-701	>701
		Temp. de Pico (°C)	72	300	502	-
		Perda de massa (mg)	0,640	5,026	1,161	3,453
		Perda de massa (%)	6,23	48,89	11,29	33,59
	Depois do tratamento	Intervalo de temp. (°C)	25-195	195-371	371-625	>675
		Temp. de Pico (°C)	80	303	496	-
		Perda de massa (mg)	1,076	2,985	2,445	3,774
		Perda de massa (%)	10,47	29,04	23,78	36,71

As curvas TG dos substratos do R1, R2 e R3 apresentaram três eventos de decomposição térmica distintos, tanto antes, como depois do tratamento biológico.

Através dos dados contidos na Tabela 3 e 4, pode-se determinar o percentual de OL nos reatores R1, R2 e R3, de 6,55%, 8,63% e 6,86% respectivamente.

Analisando-se os dados obtidos das curvas de TG das amostras dos substratos antes do tratamento, podemos observar que no primeiro evento na faixa de temperatura média de 29-143°C em ambos os reatores ocorreram perdas de massa médias de 9%. Nesta faixa de temperatura a perda de massa observada é basicamente devido a presença de água na amostra. No segundo evento foi observada a maior perda de massa na faixa de temperatura média de 143-433°C, devido à presença de alta concentração de carbono orgânico do LES e OL. A perda no R1 foi de 44,40%, no R2 de 47,30% e no R3 de 48,89% respectivamente. A diferença observada no percentual da perda de massa das amostras dos reatores R1, R2 e R3 são ocasionadas pela diferentes concentrações de OL presente em cada reator. O terceiro evento aconteceu na faixa de temperatura média de 433-690°C. Nesta faixa de temperatura a perda de massa observada foi de 12,37% no R1; 9,42% no R2 e 11,29% no R3.

Após 65 dias do tratamento biológico aeróbio nos substrato dos reatores R1, R2 e R3 verificou-se que durante o primeiro evento ocorreu modificações significativas na temperatura final e de pico das amostras em todos os reatores. Ocorreu um aumento na temperatura e na temperatura de pico para todos os reatores. Este aumento na temperatura não significou em uma maior perda de massa e sim uma modificação na estrutura molecular dos compostos presente no substrato que se tornou mais resistente termicamente à decomposição.

Já durante o segundo evento verificaram-se modificações na faixa de temperatura inicial e final. No R1 a temperatura inicial foi de 143°C antes do tratamento, para 169°C depois do tratamento. Já a temperatura final antes do tratamento foi de 422°C para 391°C após o tratamento. Da mesma forma foi observado no R2 e no R3 este mesmo comportamento. O tratamento aeróbio aplicado ao substrato produziu modificações nas estruturas das amostras, ocasionando a biodegradação de parte da matéria orgânica, e formação de compostos mais resistente à decomposição térmica nesta faixa de temperatura, reduzindo assim, a perda de massa verificada nas amostras depois do tratamento comparadas com as perdas verificadas no mesmo evento antes do tratamento. A perda de massa observada no segundo evento após o tratamento biológico foi de 32,76% no reator R1, 30,48% no reator R2 e de 29,04% no reator R3. Já as perdas de massas antes do tratamento foram respectivamente de 44,40% no reator R1, de 47,30 no reator R2 e de

48,89% no reator R3. Esta diferença se deu pela biodegradação da matéria orgânica do LES e da quebra das cadeias carbônicas do OL em cadeias menores.

Outro fato observado nos dados de TG após o tratamento biológico é que ocorreu um aumento na perda de massa durante o terceiro evento e uma diminuição na temperatura de pico do reator R1 e R2 de aproximadamente 50°C. A perda de massa ocorrida na faixa de temperatura média de 379°C-641°C durante o terceiro evento após o tratamento foi respectivamente de 20,93%, 24,75% e 23,78% no reator R1, R2 e R3. Este fato se deu pela quebra de estruturas das moléculas orgânicas presente no segundo evento. A comprovação da ocorrência de biodegradação tanto do LES e OL foi verificada pelo aumento do resíduo depois do tratamento.

O aumento na massa de resíduos foram em média de 3,10% em ambos os reatores.

Os dados obtidos das curvas de TG comprovaram que o tratamento biológico aeróbio aplicado nos substrato (LES+OL) provocou biodegradação da matéria orgânica presente no substrato, como também modificações na estrutura dos compostos presente.

6. Conclusões

O experimento realizado comprovou que é possível degradar OL conjuntamente com LES em reatores aeróbio. Através dos dados obtidos de DQO e dos dados termogravimétricos podem-se constatar que ocorreu biodegradação da matéria orgânica tanto do LES como do OL durante o tratamento aeróbio. O tratamento produziu modificações significativas na estrutura química das substâncias orgânicas, principalmente no OL com a quebra das cadeias carbônicas em cadeias menores e mais resistentes a decomposição térmica. Este fenômeno foi observado através do deslocamento das faixas de temperaturas de decomposição como na temperatura de pico durante o primeiro, segundo e terceiro evento, como também na diminuição da perda de massa durante o segundo evento e o aumento no terceiro evento em ambos os reatores.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, a EXTRABES, DEMA/UFCG e o LTM/UFPB por ter cedido os seus laboratórios para realização das análises de rotina deste trabalho.

8. Referências

- APHA, A. W. Standard methods for the examination of water waste, 19th ed. American Public Health Association. American Water Works Associations, Water Environmental Federaion. Washington, DC, p. 1134, 1995.
- GÜLENSOY, N., ALVAREZ, J. J. Diversity and correlation of specific aromatic hydrocarbon biodegradation capabilities. *Biodegradation*, v. 10, p. 331-340, 1999.
- HAUS, F., BOISSEL, O., JUNTER, G. A. Primary and ultimate biodegradabilities of mineral base oils and their relationships with oil viscosity. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v. 54, p. 189-192, 2004.
- NETTO, A. D. P., MOREIRA, J. C., DIAS, A. E., ARBILLA, G., FERREIRA, L. F. V., OLIVEIRA, A. S., BAREK, J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAS) e seus derivados nitrados (NHPAS): Uma revisão metodológica. *Química Nova*. v. 23, n. 6, p. 765-773.
- PRPICH, G. P., DAUGULIS, A. J. Enhanced biodegradation of phenol by a microbial consortium in a solid-liquid two phase partitioning bioreactor. *Biodegradation*, v. 16, p. 329-339, 2005.
- SALMINEN, J. M., TUOMI, P. M., SUORTTI, A., JORGENSEN, K. S. Potencial for aerobic and anaerobic biodegradation of petroleum hydrocarbons in boreal subsurface. *Biodegradation*. v. 15, p. 29-39, 2004.
- SILVA, R. L. B., BARRA, C. M., MONTEIRO, T. C. N., BRILHANTE, O. M. Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis conseqüências para a saúde pública no município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, v. 18, n. 6, p. 1599-1607, 2002.
- YERUSHALMI, L., ROCHELEAU, S., CIMPOIA, R., SARRAZIN, M., SUNAHARA, G., PEISAJOVICH, A., LECLAIR, G., GUIOT, S. R. Enhanced biodegradation of petroleum hydrocarbons in contaminated soil. *Bioremediation Journal*, v. 7, n. 1, p. 37-51, 2003.
- VENDRAMEL, M., DEZOTTI, G. L., SANT'ANNA, Jr. Tratamento de efluente de refinaria de petróleo em bio-reator aeróbio de leito fixo submerso. XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Química. Cd-rom, p. 8, 2004.
- VIERA, D. S., CAMMAROTA, M. C., SÉRVULO, E. F. C. Tratamento biológico anaeróbio de compostos potencialmente tóxicos em água de produção. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Cd-rom, p. 8, 2004.
- VILAÇA, A. G., SOUZA, C. S., MIRANDA, R. C. M., SOUSA, M. F. V. Q., LOPES, C. E., PEREIRA, N. Jr. Seleção de bactérias degradadoras de petróleo e de seus derivados. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Cd-rom, p. 8, 2004.