

## REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM REATOR ANAERÓBIO ALIMENTADO COM ÁGUA DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO PRÉ-OZONIZADA

João Paulo Siqueira <sup>1\*</sup>, Emmanuelle Leite Wanderley <sup>2</sup>, Clyvia Roberta Souza <sup>3</sup> Nélia Henriques Callado <sup>4</sup>

**Resumo** – Esta pesquisa propõe uma alternativa de tratamento para água de produção de petróleo em reator biológico sob condição anaeróbia precedida de tratamento por pré-ozonização. A água de produção pré-ozonizada (APPOz) foi misturada a um substrato sintético simulando esgoto sanitário (SES) em proporções crescentes. Um reator anaeróbio com biomassa imobilizada operado em bateladas sequenciais (RBSBIan) com ciclos de 24 horas era alimentado diariamente com 8 L da mistura (APPOz+SES). Os resultados mostraram um valor médio de 75% de remoção de matéria orgânica em termos de DQO, para a fase 1 (sem adição de APPOz). Nas fases subsequentes verificou-se que a eficiência decrescia com o aumento do percentual de adição de APPOz, com valores de 73%, 64%, 47% e 23% para as fases 2, 3, 4 e 5, respectivamente. O estudo cinético de degradação de matéria orgânica, mostraram que o decaimento da DQO se ajustaram a curvas exponenciais com constante de decaimento  $k_1$  de primeira ordem, cujos valores decresciam à medida que se aumentava o percentual de APPOz ao SES. A inibição do processo anaeróbio pode ser atribuída ao estresse osmótico causado pela elevada salinidade, que nas fases 4 e 5 eram respectivamente de  $7,9 \text{ gCl}^- \text{L}^{-1}$  e  $11,7 \text{ gCl}^- \text{L}^{-1}$ .

**Palavras-Chave** – Água de produção de petróleo, pré-ozonização e tratamento anaeróbio.

## REMOVAL OF ORGANIC MATTER IN ANAEROBIC REACTOR POWERED WITH WATER OIL PRODUCTION PRE-OZONATED

**Abstract** – This research proposes an alternative treatment for water oil production in biological reactor under anaerobic condition treatment preceded by pre-ozonation. The water production pre-ozone (WPPOz) was mixed with a synthetic substrate simulating sewage (SSS) in increasing proportions. An anaerobic reactor with immobilized biomass operated sequencing batch (RBSBIan) with 24 hour cycles was fed daily with 8 L of the mixture (WPPOz + SSS). The results showed an average of 75% removal of organic matter in terms of COD for stage 1 (no addition of WPPOz). In subsequent steps it was found that the efficiency decreased with the increase of the percentage addition WPPOz, with values of 73%, 64%, 47% and 23% for stages 2, 3, 4 and 5, respectively. The kinetics of degradation of organic matter showed that the decrease in the COD adjusted with exponential curves decay constant  $k_1$  of the first order, the values decreased as it increased the percentage of WPPOz the SSS. The inhibition of anaerobic process may be attributed to osmotic stress caused by high salinity, which 4 and 5 phases were respectively  $7.9 \text{ gCl}^- \text{L}^{-1}$  and  $11.7 \text{ gCl}^- \text{L}^{-1}$ .

**Keywords** – anaerobic treatment, pre-ozonation and water oil production.

<sup>1</sup> Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas, jpsiqueira.ce@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas.

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Alagoas.

<sup>4</sup> Prof<sup>ª</sup> Dra. do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

## INTRODUÇÃO

O lançamento de rejeitos líquidos domésticos ou industriais são formas caracterizadas de degradação de corpos hídricos, portanto é de suma importância reduzir a quantidade e/ou melhorar a qualidade dos efluentes lançados nos corpos aquáticos.

Normalmente, uma importante parcela do processo de contaminação dos recursos naturais pode ser atribuída às atividades de extração e refino de petróleo (FREIRE et al., 2000). Entre os rejeitos líquidos gerados pela indústria do petróleo a água de produção recebe uma preocupação pela quantidade gerada a partir da extração do óleo do poço (AHMADUN et al., 2009). Podendo a quantidade gerada, de água de produção, alcançar dez vezes mais a quantidade de óleo gerado (MCCORMACK et al., 2001).

A água produzida pode ser descartada em corpos receptores ou ser utilizada na injeção de poços de petróleo. Porém, para essas disposições, faz-se necessário o adequado tratamento da corrente líquida (THOMAS, 2004).

Além de apresentar compostos tóxicos, a água de produção apresenta alta salinidade (FAKSNES, GRINI & DALING, 2004), o que pode dificultar tratamentos específicos para este resíduo, como por exemplo, o biológico.

O desenvolvimento de métodos alternativos de tratamento de águas de produção, que aliem índices cada vez menores de substâncias tóxicas e baixo custo, é de extrema importância.

Desta forma essa pesquisa tem como foco estudar uma alternativa de tratamento de um resíduo líquido que in natura é altamente tóxico, combinando processos químicos e biológicos, com intuito de oferecer uma opção mais econômica. O processo contará com uma pré-ozonização da água de produção, onde será oxidado apenas parcialmente, e posteriormente será misturado com um efluente sintético e conduzido a um tratamento anaeróbio.

## METODOLOGIA

### Reator biológico

Será operado um reator construído em acrílico no volume de 8 litros com ciclos de 24 horas. O RBSBIan (Reator em batelada sequencial biológico anaeróbio), é ainda dotado de quatro pontos, dois inferiores, sendo um para a entrada de efluente bruto e outro para a circulação do efluente; um terceiro espaçado de 12 cm acima do ponto de entrada destinado à saída do efluente tratado, e o quarto localizado na parte superior para saída do efluente a ser recirculado. Esse reator será preenchido com espuma de poliuretano, cortada em cubos de 1 cm de lado, até a altura do ponto de descarte do efluente. O reator foi coberto com sacos pretos para evitar a fotodegradação e o crescimento de algas.

### Resíduos utilizados

#### Esgoto Sintético

O efluente será preparado segundo a descrição de TORRES (1992). A água residual sintética é composta por proteínas (na forma de extrato de carne), carboidratos de fácil e difícil degradação (nas formas de sacarose, amido e celulose) e lipídeos (na forma de óleo de soja).

A composição do substrato sintético está apresentada na Tabela 1, onde são descritas as contribuições, em percentual de DQO, dos compostos orgânicos utilizados (proteínas, carboidratos e lipídeos).

Tabela 1: Composição do esgoto sintético preparado

Composto	% DQO	Fonte
Proteínas	50%	Fígado bovino, 50%.
Carboidratos	40%	Sacarose, 20% Amido Comercial, 60% Celulose, 20%
Lipídios	10%	Óleo de soja, 10%. (emulsionado com 3 gotas de detergente/L)

Fonte: Adaptado de TORRES, 1992

### Água de produção de petróleo

O resíduo líquido a ser submetido a tratamento era de origem da Unidade de Processamento de Petróleo– UNSEAL, localizada a 36 km de Maceió, na cidade de Pilar, no estado de Alagoas.

O rejeito líquido foi coletado sempre quando houve necessidade, não ultrapassando o período um mês de estocagem. A água de produção foi coletada em bobonas de 15 a 20 litros, previamente limpa e estocada em geladeira para a refrigeração, com o objetivo de manter a uniformidade dos componentes presentes na água de produção.

### Operação do sistema de ozonização

Será utilizado um ozonizador modelo KHT- 15g da marca Z-Ozone, que produzirá ozônio a partir do oxigênio comercial. A pressão de geração do ozônio foi controlada em 5 kgf/cm<sup>2</sup> através de uma válvula reguladora localizada antes do gerador de ozônio. O tempo de contato do resíduo líquido com o gás ozônio foi fixado em 15 minutos, tempo este estudado por Schneider (2010), onde o autor constatou em seus estudos que o contato da água de produção de petróleo com o ozônio neste tempo é suficiente para aumentar a degradabilidade do resíduo para um pós-tratamento biológico.

O ozônio produzido entrará no tanque de contato através da placa difusora de aço inox, para distribuição uniforme na massa líquida. O sistema de ozonização funcionará por batelada.

### Operação do sistema biológico

O RBSBIan foi operado a temperatura ambiente (em torno de 27°C), tratando 8,0 L de resíduo por batelada, com introdução da água de produção pré-ozonizada. O sistema contou com operação de 5 fases: fase 1: Partida, alimentado somente com ESS (43 dias); fase 2: Sistema alimentado com 02% de APPO e 98% de SES (38 dias); fase 3: Sistema alimentado com 05% de APPO e 95% de SES (45 dias); fase 4: Sistema alimentado com 08% de APPO e 92% de SES (36 dias) e fase 5: Sistema alimentado com 10% de APPO e 90% de SES (43 dias).

### Lodo de inóculo

Para a partida do RBSBIan foi utilizado 1,0 L de lodo proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo que trata esgoto sanitário em um bairro residencial no município de Barra de São Miguel/AL.

### Variáveis analisadas

O monitoramento do sistema será feito através análises físico-químicas dos parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO) e cloretos.

As análises de alcalinidade foram realizadas pelo método proposto por Ripley et al (1986), e os demais exames e análises conforme os Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (APHA,1999).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Caracterização da água de produção**

Na ozonização foi obtida uma remoção de matéria orgânica em termos de DQO de 34,1 % e 43,6 % respectivamente para DQO bruta e solúvel, e 26% de DBO.

A relação  $DBO_5/DQO$  da AP bruta é muito baixa 0,068. Com a ozonização esta cresceu 124%, passando para 0,153, indicando aumento da biodegradabilidade, mas esse valor ainda é baixo, menor que 0,3, mostrando que esse resíduo ainda é de difícil biodegradação.

A remoção de DQO pode ter sido influenciada pela sedimentação da fração particulada ozonizada presente na APPOz, podendo-se comprovar tal fato através do menor valor de sólidos obtidos após a ozonização, como também pelo não aumento da fração biodegradável, conseqüentemente da relação  $DBO_5/DQO$ .

A remoção de sólidos fixos deveu-se a principalmente a remoção de sais, visto que a concentração de cloretos caiu de 106,3  $g.L^{-1}$  para 79,9  $g.L^{-1}$  (25 %).

O decréscimo do pH na ozonização foi de 5,83 para 4,98 acompanhada pelo consumo de alcalinidade, que caiu de 53  $mg.L^{-1}$  para 18  $mg.L^{-1}$ .

### **Partida do reator biológico**

Durante a partida do reator verificou-se que o pH manteve-se próximo a neutralidade, no entanto o pH do efluente apresentou valores sempre inferiores a do afluente, com valores médios de 6,9 e 6,5 para o afluente e efluente respectivamente. Mesmo havendo queda do pH, os valores mantiveram-se na faixa favorável à metanogênese, considerada como a mais sensível do processo anaeróbio.

Foi observada a variação de matéria orgânica em termos de DQO bruta e solúvel do afluente e efluente ao longo dos dias de operação e suas respectivas eficiências de remoção. Pode-se inferir dos resultados que a DQO bruta afluente apresentou valor médio de 875  $mg.L^{-1}$  e 220  $mg.L^{-1}$  para o efluente com remoção média de 75% e remoção máxima de 79% em 18 dias de operação, depois estabilizando em valores próximo a remoção média.

Para a DQO solúvel foi obtido uma média de 242  $mg.L^{-1}$  e 131  $mg.L^{-1}$  para o afluente e efluente, apresentando percentual removido de 44% apresentando remoção máxima de 61% em 18 e 37 dias de operação. O baixo percentual médio de remoção da DQO solúvel é explicado pela baixa remoção deste parâmetro nos primeiros dias de operação, em seguida estabilizou, alcançando valores próximos à remoção máxima.

A partir do 22º ciclo, percebeu-se que o processo anaeróbio começava a estabelecer sua estabilidade, com valores constantes de remoção da matéria orgânica (medida como DQO). A estabilização da fase de partida indica que os microrganismos inoculados adaptaram-se bem ao sistema de tratamento, bem como ao substrato oferecido e material suporte utilizado no trabalho. Logo o 44º ciclo foi considerado o final do período de partida do reator.

### **Operação do reator biológico**

As variáveis utilizadas para avaliar a interferência da adição de APPOz na eficiência de remoção de matéria orgânica do RBSBIan, foram DQO bruta e filtrada (solúvel),  $DBO_5$  e TOC.

A DQO do afluente do reator anaeróbico apresentou valores crescentes, a medida que se aumentou o percentual de APPOz no SES, como mostra as Figuras 1 e 2 para DQO bruta e solúvel respectivamente.

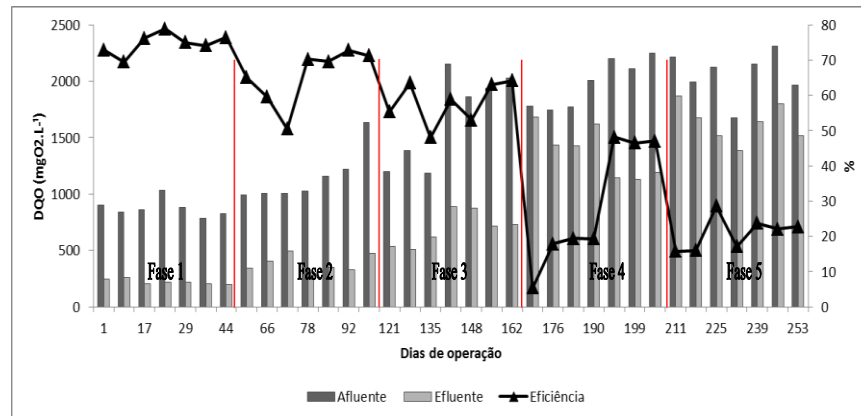


Figura1: Variação da concentração de DQO bruta ao longo do tempo.

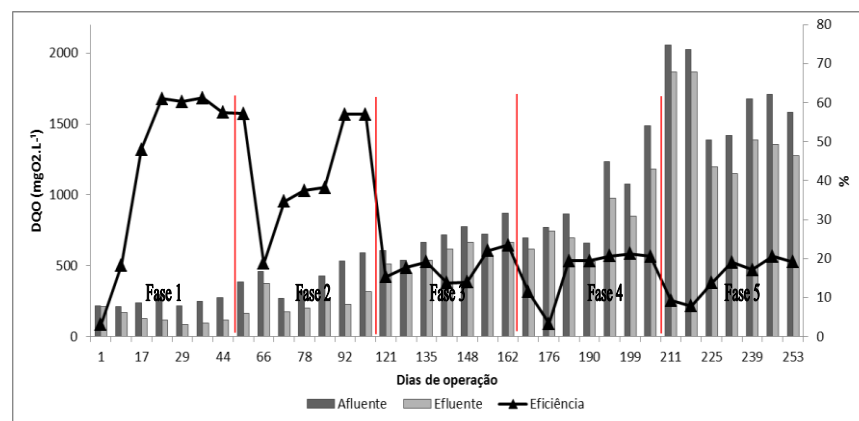


Figura 2: Variação da concentração de DQO solúvel ao longo do tempo.

Nos tratamentos biológicos a remoção de DQO pode sofrer interferências, pois nesses processos há despreendimento de biomassa, causando interferências nas análises. Esses acontecimentos ocorrem principalmente em reatores que trabalham com aclimação de matéria orgânica, pois os microrganismos estão suscetíveis a choques de carga orgânica, bem como de outros compostos presentes no meio a ser tratado.

A fim de minimizar essas interferências foi realizada a análise de matéria orgânica solúvel a qual foi filtrada eliminando as partículas. A mistura de água de produção e substrato simulando esgoto sanitário apresentou muito material particulado, acarretou em uma DQO solúvel inicial muito inferior a DQO bruta.

É observada que ao ser adicionada a água de produção a eficiência de remoção de DQO é reduzida nos primeiros ciclos analisados retornando gradativamente, ou se estabilizando próximo de um valor em um determinado tempo. A estabilização deste parâmetro foi o que possuiu maior peso na tomada de decisão para seguir para a fase seguinte. Desta forma a fase 2 com 2% de água de produção ozonizada estabilizou-se com 38 dias, a fase 3 com 42 dias, a fase 4 com 36 dias e por fim a fase 5 com 43 dias.

Ao apresentar-se estável a fase 2 apresentou remoção de DQO particulada de até 73% em seus ciclos finais. A fase 3 obteve percentual de remoção com 64%, já nas fases 4 e 5 a eficiência de remoção foi de 47% e 23%, respectivamente.

Na fase 2 a remoção de DQO solúvel no último ciclo foi de 57%, decrescendo essa remoção para 23% na fase 3 e chegando a 21% e 19% nas fases 4 e 5, respectivamente.

Dias *et al.* (2009) obtiveram resultado semelhante, em estudo sobre tratamento anaeróbio em reator UASB de efluente contendo óleo lubrificante. Foram utilizados dois reatores, em um primeiro, foi utilizado uma concentração de 0,05% de óleo e de surfactante, e no segundo uma concentração de 0,1% de óleo e de surfactante. O reator 1 teve eficiência de remoção de DQO próxima a 47%, enquanto que o 2 de apenas 20%. Os autores comentam que a baixa remoção de DQO no tratamento 2 pode está associada a maior concentração de surfactante utilizado neste tratamento.

Com relação a DBO, que permite avaliar a fração biodegradável do resíduo frente aos processos biológico, os valores obtidos durante a operação do RBSBIan estão ilustrados na Figura 5.8.

Diante das análises de DBO pode ser constatado que ao adicionar APPOz no SES, a DBO do afluente diminui com o aumento do percentual da APPOz, acentuando-se na fase 5 com 10% de APPOz. A água de produção, além de compostos recalcitrantes, possui alta quantidade de sais, interferindo nos resultados dos ensaios de DBO.

Na fase 2, com apenas 2% de APPOz, a salinidade não interferiu na determinação da DBO, e verificou-se que a eficiência de remoção de DBO foi de cerca de 80%. Nas fases 3, 4 e 5 a salinidade já apresenta interferência da determinação da DBO inibindo a atividade microbiana nos frascos e consequentemente o consumo de oxigênio, resultando em menores valores na leitura final da DBO, tanto do afluente quanto do efluente, que resultou num aparente aumento da eficiência de remoção de DBO, atindo quase 100%.

Com o intuito de avaliar como ocorria a degradação da matéria orgânica durante o tempo de reação do ciclo do RBSBIan, foram calculados os parâmetros cinéticos aparente ( $K_1$ ) para cada fase operacional nas primeiras 12 horas. Os dados deste estudo foram ajustados para o modelo de primeira ordem, que permitiram o melhor ajuste.

o estudo dos valores do parâmetro  $k_1$  corrobora na avaliação da biodegradabilidade de cada fase da pesquisa atual, já que quanto maior o valor da constante, mais biodegradável o substrato, desde que as mesmas condições experimentais sejam mantidas (MORAIS E PAULA JR, 2004). Os valores das constantes cinéticas ( $k_1$ ) e da velocidade de reação ( $r_{obs}$ ), obtidos em cada fase operacional.

Nos ensaios desta pesquisa foram obtidos valores de  $9,9 \times 10^{-2}$ ;  $8,7 \times 10^{-2}$ ;  $7,5 \times 10^{-2}$ ;  $5,1 \times 10^{-2}$  e  $3,2 \times 10^{-2}$  mgDQO.h<sup>-1</sup> para as fases 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, indicando uma tendência de decréscimo deste parâmetro a partir da adição e aumento do volume de APPOz a cada fase. Em termos percentuais, o decréscimo comentado anteriormente, foi de 68% entre a fase 1 e a última fase (fase 5). Estes resultados vêm solidificar discussões anteriores, onde a adição da APPOz a SES tem interferência no sistema de tratamento em uso

Observando os valores de  $K_1$  na Tabela 5.5, é observado uma tendência de decréscimo deste parâmetro a partir da adição e aumento do volume de APPOz a cada fase. Em termos percentuais, o decréscimo comentado anteriormente, foi de 68% entre a fase 1 e a última fase (fase 5). Estes resultados vêm solidificar discussões anteriores, onde a adição da APPOz a SES tem interferência no sistema de tratamento em uso.

No entanto a velocidade de remoção apresentou valores crescentes no decorrer da operação das fases, o que vai de encontro com todos os resultados obtidos por essa pesquisa, contudo vale

ressaltar que a velocidade de remoção é diretamente proporcional a quantidade de DQO afluente. Considerando que a cada fase a quantidade de matéria orgânica inicial em termos de DQO era maior que a fase anterior, o que corroborou no aumento da velocidade de remoção, não caracterizando, assim, que ao aumentar o volume de APPOz a ser tratada o sistema removia maior parcela de DQO por hora.

A redução da biodegradabilidade, apontada por  $K_1$ , pode ser atribuída ao aumento do volume da APPOz ao sistema de tratamento, que acarretou no crescente valor do substrato inicial (DQO) observado a cada mudança de fase de operação do RBSBIan, e que, segundo Morais e Paula Jr (2004) influencia diretamente na quantificação da constante de velocidade.

## pH

No pH, verificou-se constância entre os valores afluentes e efluentes de cada fase como mostra a a Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão do pH.

FASE	pH Afluente		pH Efluente	
	Média	DP	Média	DP
1 (sem APPOz)	6,85	0,22	6,45	0,13
2 (2% APPOz)	6,45	0,10	6,50	0,20
3 (5% APPOz)	6,43	0,10	6,36	0,10
4 (8% APPOz)	6,42	0,10	6,42	0,10
5 (10% APPOz)	6,12	0,30	6,14	0,20

A variação de pH ocorrida permaneceu dentro da faixa em que as bactérias metanogênicas têm um bom desempenho (pH entre 6,0 e 7,5), quase não houve variação entre o pH afluente e efluente, demonstrando a capacidade de tamponamento do sistema em estudo, pela adição de bicarbonato de sódio.

## Cloretos

A análise de cloretos foi realizada apenas nas fases contendo água de produção. A quantidade de cloretos foi semelhante para o afluente e efluente para quase todos os ciclos, apontando que não havia retenção destes íons no reator.

A quantidade média presente no afluente para cada fase foi de 2,4  $\text{gCl}^- \cdot \text{L}^{-1}$ , 4,5  $\text{gCl}^- \cdot \text{L}^{-1}$ , 7,9  $\text{gCl}^- \cdot \text{L}^{-1}$  e 11,7  $\text{gCl}^- \cdot \text{L}^{-1}$  para as respectivas fases 2 (2% de APPOz), 3 (5% APPOz), 4 (8% APPOz) e 5 com 10% de APPOz.

Um dos fatores limitantes, no desempenho do RBSBIan foi a salinidade no meio (quantificada em teores de cloretos), pois quando a concentração de sal foi aumentada no RBSBIan uma redução significativa na eficiência da biotransformação da matéria orgânica do RBSBIan (de 75% na fase 1 sem APPOz, para 23% na fase 5 com 10% de APPOz) muito provavelmente devido a redução das atividades enzimáticas, causadas pelo *stress* osmótico.

## CONCLUSÕES

- A pré-ozonização da AP apresentou eficiência de remoção de matéria orgânica medida como DQO de 34,1% com relação ao efluente bruto e de 43,6% com relação ao efluente filtrado. A relação DBO5/DQO da AP é muito baixa, contudo a pré-ozonização aumentou essa relação em 124%, com valor de 0,153, no entanto a APPOz ainda é um resíduo de difícil degradação.

- A partida do RBSBIan ocorreu em 44 dias (ciclos), sendo que partir do 22º ciclo, percebeu-se que o processo anaeróbio já começava a apresentar estabilidade, pois foram observados valores constantes das concentrações remanescentes da matéria orgânica (medida como DQO).
- O estudo cinético de degradação de matéria orgânica, mostraram que o decaimento da DQO se ajustaram a curvas exponenciais com constante de decaimento  $k_1$  de primeira ordem, cujos valores decresciam à medida que se aumentava o percentual de APPOz ao SES.
- A adição da APPOz resultou no aumento gradual de cloretos na mistura APPOz+SES, com valores crescentes de 2,4; 4,5; 7,9 e 11,7 mg.Cl<sup>-1</sup> respectivamente para as fases 2, 3, 4 e 5. Possivelmente essa elevada salinidade foi a responsável pela queda do desempenho do tratamento biológico anaeróbio.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADUN, F. R.; PENDASHTEH, A.; ABDULLAH, L. C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 170, p. 530-551, 2009.

FAKSNESS, L.G.; GRINI, P.G. e DALING, P.S. Partitioning of semi-soluble organic compounds between the water phase and oil droplets in produced water. *Marine Pollution Bulletin*. vol. 48. p. 731-742, 2004.

FREIRE, D. D. C. & SANT'ANNA JR., G. L. A Proposed Method Modification for the Determination of COD in Saline Water. *Environmental Technology*, vol.19, p.1243- 1247, 2000.

MCCORMACK, P.; JONES, P.; HETHERIDGE, M.J.; ROWLAND, S.J. Analysis of oilfield produced waters and production chemicals by electrospray ionisation multistage mass spectrometry (ESI-MSn), *Water Resourch*, v. 35 p. 3567-3578, 2001.

MORAES, L. M. E PAULA JUNIOR, D. R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 445-454, 2004.

RIPLEY L. E., BOYLE W. C., CONVERSE L.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal of Water Pollution Control Federation*, vol. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

SCHNEIDER, E. E. Avaliação de um reator de leito móvel com biofilme para tratamento de efluente da indústria do petróleo, com posterior ozonização acoplada a carvão ativado granular com biofilme. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2 ed. Rio de Janeiro. Editora Interciência: Petrobrás. 2004.

TORRES, P. Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 1992.