

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA PETROQUÍMICA EM REATORES EM BATELADA COM BIOMASSA DISPERSA E IMOBILIZADA COM *Aspergillus niger* AN 400

Eloiza PINHEIRO DAMASCENO (1); Zuleika BEZERRA PINHEIRO (2); Glória Maria MARINHO SILVA SAMPAIO (3); Kelly RODRIGUES (4); Rinaldo dos SANTOS ARAÚJO (5)
(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Rua Dom Sebastião Leme, 699, ap 501, (85)3257.6891, e-mail:

eloizadamasceno@yahoo.com.br

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: zuleikabpinheiro@bol.com.br

(3) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: gloriamarinho@cefetce.br

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: kelly@cefetce.br

(5) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: rinaldo@cefetce.br

RESUMO

O refino do petróleo acarreta a geração de uma quantidade significativa de resíduos potencialmente poluidores. Ao serem lançados em corpos d'água, os efluentes das indústrias petrolíferas provocam desequilíbrio no ambiente, por transportarem compostos de difícil degradação. No intuito de minimizar os impactos causados pelos despejos dos efluentes desta atividade industrial, torna-se prioritário estudar a biodegradabilidade e a toxicidade de tais resíduos. O objetivo deste trabalho foi estudar a remoção de fenol de água residuária de uma refinaria de petróleo por *Aspergillus niger* AN400 em reatores em batelada sem agitação e com aeração artificial. Para o estudo foram utilizados quatro reatores, sendo: um de controle (C), contendo apenas o efluente, dois reatores contendo o efluente mais a biomassa fúngica dispersa (F), sendo um deles acrescido de açúcar refinado na concentração de 0,5 mg/L (FA), e um quarto reator contendo efluente e biomassa fúngica imobilizada (FiA), adicionado de 0,5 mg/L de açúcar refinado. Os tempos de reação investigados correspondem a períodos de 12 horas, 2 dias, 4 dias, 8 dias, 14 dias, 18 dias, 23 dias e 29 dias. Para o acompanhamento do processo foram analisadas as variáveis de: demanda química de oxigênio, fenol, pH e sólidos suspensos voláteis. Os resultados mostraram que o fenol não foi detectado no efluente bruto da indústria petroquímica, por meio do método descrito em Merck (1972) enquanto o pH manteve-se entre 7,5 e 8,5 para todos os tempos de reação estudados. Todos os reatores, com exceção do controle, apresentaram remoção significativas de DQO, correspondentes a 82% no reator FiA, 85% no reator FA, e 95,5% no reator F. Oportunamente, o emprego da espécie *Aspergillus niger* AN400 sinaliza como uma tecnologia viável para o tratamento de efluentes de indústria petroquímica.

Palavras-chave: *Aspergillus niger* AN 400, reatores em batelada, fenol, tratamento biológico.

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma mistura complexa de compostos orgânicos e possui um alto conteúdo energético, que pode conter desde moléculas simples como o metano a até moléculas com alto peso molecular (ROSATO, 1997), este é um combustível fóssil de grande importância para a economia mundial, por representar a principal fonte de energia para diversas atividades em todo o mundo. A Agência Nacional de Petróleo (ANP) classificou os combustíveis energéticos derivados do petróleo como sendo os produtos utilizados para produzir energia (¹ANP, 2001 *apud* Mendonça, 2006).

Entretanto, o manejo e o aproveitamento deste produto, com larga utilização industrial, representam riscos ambientais. Vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento de petróleo e seu derivados são problemas com os quais as indústrias petrolíferas lidam diariamente.

As águas residuárias geradas pelas indústrias petroquímicas apresentam os mesmos constituintes tóxicos e de difícil degradação (recalcitrantes) que o petróleo e seus derivados, fazendo com que o lançamento dos resíduos, ou o derramamento de combustíveis, nos corpos d'água receptores ou no solo venham causando graves contaminações. Por este motivo, a contaminação do solo e das águas por estes produtos tem sido alvo de extensas pesquisas nos últimos anos (²MANOHAR et al. 1998 *apud* CALLADO et al. 2006).

O refino do petróleo acarreta a geração de uma quantidade significativa de resíduos potencialmente poluidores. Potencial este, provocado pela presença de frações de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos e também compostos organoclorados. Os compostos aromáticos são acumulados nos corpos receptores devido às suas características recalcitrantes, causando o aumento da demanda de oxigênio dissolvido no meio (³STEPNOWSKI et al. 2002 *apud* FELIX et al. 2006). Atualmente é crescente a busca pela remoção deste tipo de composto recalcitrante do ambiente, e neste contexto a atividade microbiana destaca-se como importante fator na eliminação de poluentes químicos. Apesar da composição do petróleo (óleos refinados e resíduos petroquímicos) ser muito variável, as estratégias utilizadas para a biodegradação têm sido muito similares (ROSATO, 1997).

As águas residuárias constituem um meio de crescimento ideal para um grande número de microrganismos, os quais desempenham papel primordial em todos os estágios do tratamento biológico das águas residuárias. Neste meio, geralmente, estão presentes: fungos, protozoários, bactérias e vírus. (HORAN, 1990).

A maioria dos processos de tratamento biológico são baseados em atividades das bactérias, embora exista uma limitação intrínseca ao metabolismo bacteriano que faz com que muitos destes processos não sejam eficientes na remoção de compostos persistentes. Embora a maior parte do conhecimento sobre rotas metabólicas da degradação desses compostos encontre-se fundamentada em bactérias, estudos têm mostrado que fungos atuam como decompositores importantes de compostos aromáticos na biosfera, entre eles, os fenóis (⁴SANTOS e LINARDI, 2004 *apud* RODRIGUES, 2006). Têm-se estudado a utilização de fungos para degradar tais compostos, com obtenção de bons resultados (SAMPAIO, 2006).

Os fungos têm sido amplamente empregados em processos biológicos para remoção de compostos de difícil degradação, como os fenóis, pois são capazes de reciclar compostos como lignina, celulose, quitina, melanina e queratina, além de serem altamente versáteis no metabolismo de xenobióticos (PRENAFETA BOLDU, 2002), produzindo enzimas extracelulares que quebram moléculas grandes e as tornam assimiláveis ao seu metabolismo.

Um mesma espécie de fungo tem a capacidade de produzir diferentes tipos de enzimas, tornando-os microrganismos interessantes para este tipo de tratamento (RODRIGUES, 1999). A atividade fúngica pode ser intensificada com a adição de um substrato primário, facilmente assimilável, como a glicose (GRIFFIN, 1994; ⁵ASSADI e JAHANGIRI, 2000 *apud* FELIX et al. 2006).

¹ ANP – Agência Nacional de Petróleo (INSS 0101-3874). O Petróleo: principais combustíveis energéticos. Anuário Estatístico da Indústria Brasileira do Petróleo do anos 1990 a 1997. Disponível em :<http://www.cepetro.unicamp.br/petroleo/energeticos.html>. Acesso em 10 nov. 2001.

² MONOHAR, S. KAREGOUDAR, T.B. Degradation of naphthalene by cells of *Pseudomonas* sp. Strain NGK 1 immobilized in alginate, agar and polycrylamine. Applied microbial biotechnology. V. 49: 785-792. 1998.

³ STEPNOWSKI, P. et al. Enhanced photo-degradation of contaminants in petroleum refinery wastewater. Water Research. V. 36, p. 2167-2172. 2002.

⁴ SANTOS, V. L., LINARDI, V. R. (2004). Biodegradation of phenol by a filamentous fungi isolated from industrial effluents – identification and degradation potential. Process Biochemistry. 39:1001 – 1006.

⁵ ASSADI, M.M.; JAHANGIRI, M. R. Textile wastewater treatment by *Aspergillus niger*. Desalination. V. 141, p. 1-6. 2001

Além disso, os fungos têm a capacidade de suportar possíveis choques na concentração de carga orgânica e hidráulica às quais são submetidos, e são tolerantes a variações de escassez de umidade, oxigênio e nutrientes — vantagens do emprego de fungos como inoculo de reatores biológicos (GRIFFIN, 1994).

De acordo com Rodrigues (2006) a remoção de poluentes de um meio por fungos ocorre pelo processo conhecido como bioissorção, dividido em duas fases distintas. Segundo Del Rio (2004), a adsorção é a primeira etapa deste processo (remoção passiva) e não depende da atividade metabólica do microrganismo, e a assimilação é segunda etapa do processo (remoção ativa) que é dependente do metabolismo.

A espécie estudada nesta pesquisa foi *Aspergillus niger*, por possuir eficiência comprovada para degradação de compostos recalcitrantes e remoção de DQO (⁶MIRANDA *et al.*, 1996; ⁷VASSILEV *et al.*, 1997; ⁸GARCÍA *et al.*, 2003 *apud* FELIX *et al.* 2006). De acordo com Carlile e Watkinson (1994), a faixa inicial de pH para a germinação dessa espécie é de 5 a 7, sendo que, devido à produção e acúmulo de ácidos orgânicos como o cítrico, o pH pode chegar a 2, inibindo naturalmente a crescimento de outros microrganismos.

Estudos do tratamento de águas residuárias fazem uso de biomassa viva ou morta para a remoção de compostos poluentes. Segundo Sekhar *et al.* (1998) o uso de biomassa morta elimina problemas de toxicidade e a adição de nutrientes para a manutenção dos microrganismos, baseando-se em forças de adsorção químicas e físicas, independente do metabolismo. Em contrapartida, de acordo com Rodrigues, (2006) com emprego de biomassa morta, o poluente fica apenas adsorvido ao micélio do fungo, não ocorrendo sua assimilação e transformação em material celular, podendo não haver uma solução real do problema, a não ser que o poluente envolvido possa ser recuperado e posteriormente reutilizado para fins específicos.

Pouco ainda se sabe sobre o comportamento metabólico dos fungos quando aplicados em reatores para o tratamento de águas residuárias, tornando-se necessário estudos para a otimização dos reatores com estes microrganismos, o que conduz a buscar maiores esclarecimentos sobre a utilização ou não de co-substrato, o emprego ou não de meio suporte e o melhor tempo de detenção hidráulica (RODRIGUES, 2006).

Assim, é de grande importância a criação de tecnologias eficientes no processo de tratamento com fungos em reatores biológicos. As tecnologias produzidas devem resultar em uma considerável remoção das variáveis apontadas e proporcionar uma minimização do lançamento de compostos persistentes em corpos hídricos receptores; o efluente gerado precisa ser de boa qualidade e custo para produzi-lo deve ser baixo.

Este trabalho teve como objetivos avaliar o emprego da espécie *Aspergillus niger* AN400 para tratar efluente de indústria petrolífera.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Cultivo e produção dos esporos de *Aspergillus niger* AN400

Os esporos de *Aspergillus niger* AN400 foram cultivados, em placas de Petri estéreis (Figura 1), no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM) do CEFETCE, contendo 15 mL de meio de cultura Sabouraud, meio específico para crescimento dos fungos (mistura de peptonas, agar-agar, 2% de dextrose e glicose).

O meio foi previamente esterilizado a 122°C, durante, aproximadamente, 15 minutos. Adicionou-se ainda às placas, solução de Vishiniac (solução de nutrientes), na concentração de 1 mL/L de meio de cultura, como fonte de nutrientes para os fungos. Após a solidificação do meio de cultura, os esporos foram inoculados nas placas e estas foram mantidas sob temperatura de 28°C por 7 dias.

A remoção dos esporos foi realizada com solução extratante de Tween 80, e a suspensão de esporos formada foi removida com uso de pipeta automática, previamente esterilizada, e transferida para frasco de 200 mL, permanecendo em condições de refrigeração (0°C) até o momento dos tratamentos biológicos.

⁶MIRANDA, M. P. *et al.* Color elimination from molasses wastewater by *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*. V. 57, p.229-235. 1996.

⁷VASSILEV, *et al.* Olive mill waste water treatment by immobilized cell of *Aspergillus niger* and its enrichment with soluble phosphate. *Process Biochemistry*. V. 32, n 7, p. 617-620. 1997.

⁸GARCIA, G. *et al.* Removal of phenol compounds from olive Mill wastewater using *Phanerochaete chrysosporium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*. *Process Biochemistry*. V. 35, p. 751-758. 2000.
indústria de fermentação para a produção de ácido cítrico, empregado na conservação de bebidas

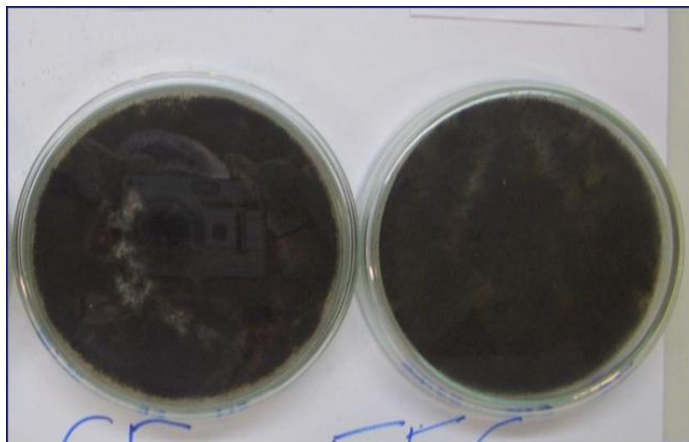


Figura 1- Culturas de *Aspergillus niger* AN400.

2.2. Contagem dos esporos

A suspensão de esporos foi descongelada e agitada para melhor homogeneização. A contagem dos esporos foi efetuada em microscópio óptico, com aumento de 45 vezes, retirando-se do frasco 50 μL da suspensão de esporos, a qual foi diluída em solução Tween 80, na diluição de 1:20. Em seguida foi removido de 20 μL da suspensão de esporos e transferido para câmara de Neubauer para contagem (Figura 2).

A partir da concentração resultante da suspensão mãe de esporos ($2,9 \times 10^9$ esporos/mL), foram calculados os volumes a serem adicionados aos reatores, na concentração de 2×10^6 esporos/mL.

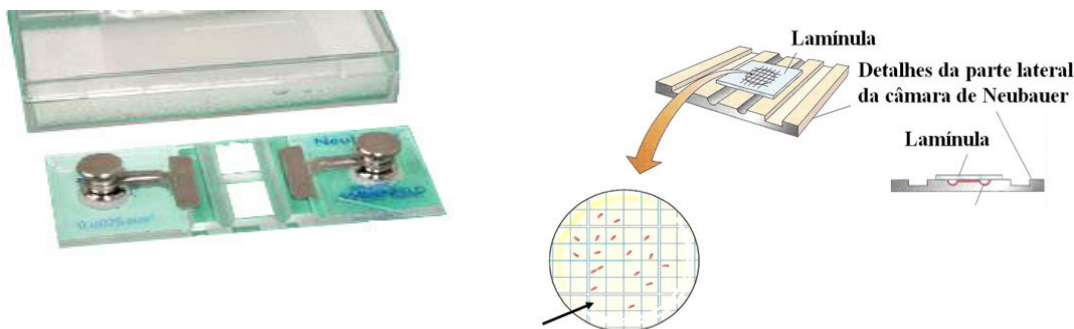


Figura 2- Câmara de Neubauer.

2.3. Produção de biomassa imobilizada

O meio suporte utilizado consistiu de quadrados de 2x2 cm de manta agulhada de poliamida acondicionados em um tubo cilíndrico em acrílico com 5 L de volume total (Figura 3), com dois orifícios nas partes inferior e superior, para entrada e saída de fluxo, respectivamente, e duas entradas para aeração. O tubo foi preenchido e recirculado com meio de cultura caldo Sabouraud até que se formasse biofilme espesso.



Figura 3 - Biomassa imobilizada.

2.4. Água residuária

A água residuária utilizada foi preparada com o efluente bruto da refinaria de petróleo LUBNOR, localizada em Fortaleza-CE, adicionada de 1 mL/L de Vishiniac (solução de nutrientes) e 50 mg/L de cloranfenicol.

2.5. Reatores em batelada

Foram usados 4 reatores constituídos de recipientes cilíndricos em plástico, com tampa e com volume total de 40 L (Figura 4). Dos quatro reatores, três receberam inoculo fúngico, e um não recebeu, funcionando como controle (C). Entre os reatores com fungo, o primeiro continha biomassa dispersa (F), o segundo, biomassa dispersa e 1 g/L de açúcar refinado (FA), e o terceiro continha biomassa previamente imobilizada em meio suporte de manta de poliamida e 1 g/L de açúcar refinado (FiA). Foram testados os seguintes tempos de reação: 12 horas, 2 dias, 4 dias, 8 dias, 14 dias, 18 dias, 23 dias e 29 dias.



Figura 4 – Reatores em batelada.

2.6. Variáveis monitorados

As variáveis analisadas foram: DQO, fenóis, SSV e pH, executadas de acordo com APHA (1998), exceto fenóis, cuja determinação foi realizada de acordo com a metodologia descrita em Merk (1975).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DQO, crescimento da biomassa fúngica (SSV) e variação do pH para os reatores C, F, FA e FiA estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7. Na determinação de fenol, feita através da metodologia descrita em Merck (1975), este composto não foi detectado no efluente bruto da indústria.

3.1. Variação de pH

Com exceção do reator FA, no segundo dia de reação, que apresentou pH de 5,82, todos os reatores mantiveram-se com uma faixa de pH variando entre 7,36 e 8,48 (Figura 5). Segundo ⁹Wheller et al. (1991) *apud* RODRIGUES (2006) o gênero *Aspergillus niger* desenvolve-se bem em faixas de pH variando entre 3,30 e 7,50. Cai et al. (2007), ao avaliar a degradação de fenol por *Fusarium* sp. sob diferentes valores de pH verificou que esta espécie foi capaz de degradar completamente 420 mg/L de fenol em oito dias de incubação com pH de 4 a 8, enquanto que com pH 2 a degradação completa levou mais tempo e com pH 10 não houve crescimento do fungo. Em outros estudos, Oliveira et al. (2006) e Félix et al. (2006), o pH foi ajustado artificialmente no início do experimento a uma faixa propícia ao crescimento do fungo que é em torno de 4 a 5. Neste trabalho, optou-se em não realizar o ajuste do pH, principalmente a fim de avaliar a eficiência do fungo sob condições naturais, reduzindo os custos do tratamento. A diminuição do valor do pH apresentado no reator FA ocorreu, provavelmente, pela absorção de ânions ou cátions, durante o transporte de substratos, ou pela produção de ácidos orgânicos, próprios do metabolismo do fungo (GRIFFIN, 1994).

⁹ WHELLER, K.A. *et al.* Influence of pH on the growth of some toxigenic species of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium*. International Journal of Food Microbiology. N. 12. p. 141-150. 1991.

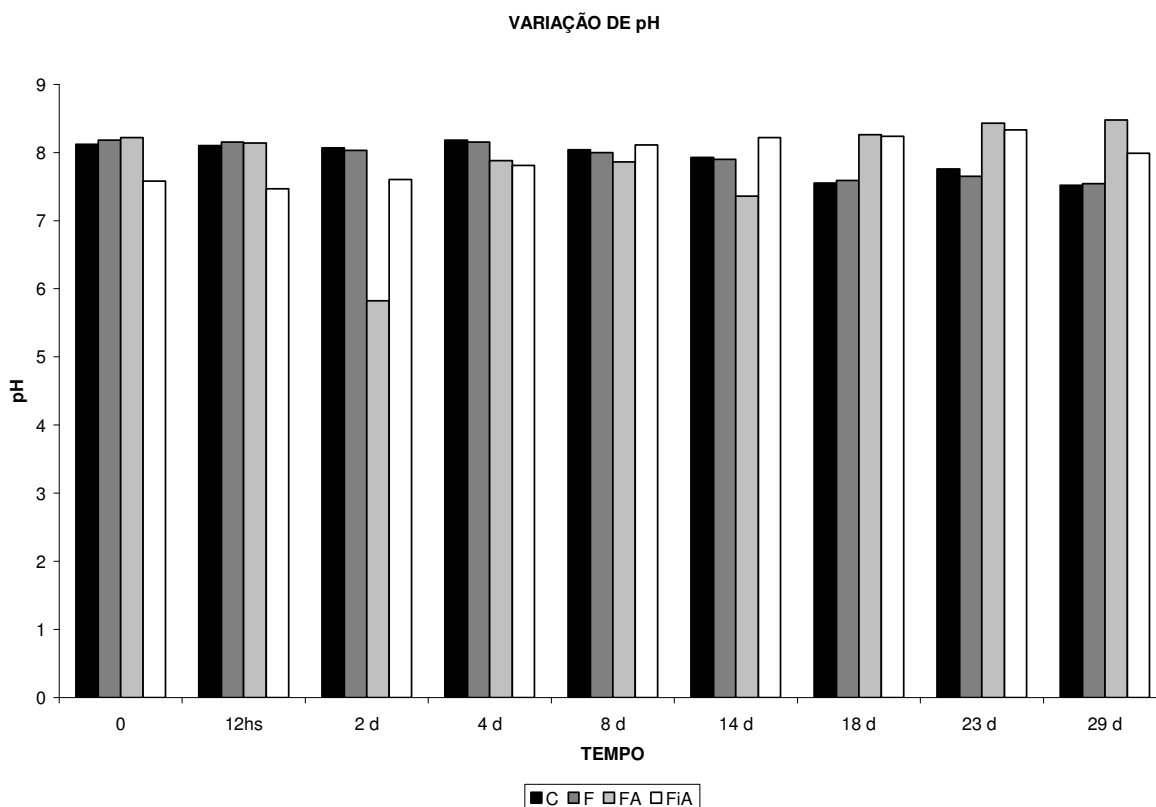


Figura 5 – Valores do pH nos reatores biológicos C, F, FA e FiA para cada tempo de reação investigados.

3.2. Variação de SSV

No reator C, a contração inicial de SSV foi de 22 mg/L, sofrendo uma diminuição no quarto dia de reação e chegando a um valor de 27 mg/L no vigésimo nono dia de reação. Dentre os reatores com massa fúngica dispersa, o reator FA apresentou um aumento significativo de crescimento de biomassa, atingindo 76 mg/L de SSV com dois dias de reação. Neste reator também houve uma diminuição do valor de SSV, apresentando-se com 35 mg/L de SSV ao final do experimento, mas apresentou sempre valores superiores aos do reator F, que manteve uma média entre 12 mg/L e 35 mg/L de SSV. Essa diminuição da biomassa após alcançar um crescimento máximo ocorreu, provavelmente, devido à exaustão de nutrientes no meio (RODRIGUES, 2006). É possível que, a presença do açúcar tenha promovido uma adaptação do fungo à água residuária, o que possibilitou melhores condições para que o crescimento da biomassa fosse maior no reator FA do que no reator F. O reator FiA apresentou valores aproximados, variando entre 42 mg/L e 48 mg/L de SSV, durante os primeiros quatro dias de reação. Nos tempos de oito dias e quatorze dias, houve uma queda acentuada dos valores deste parâmetro, para 14 mg/L e 5 mg/L de SSV no reator FiA, respectivamente, e tornou a subir, chegando a 25 mg/L de SSV (Figura 6), o que era de se esperar, haja vista os sólidos ficarem retidos no meio suporte para formação do biofilme.

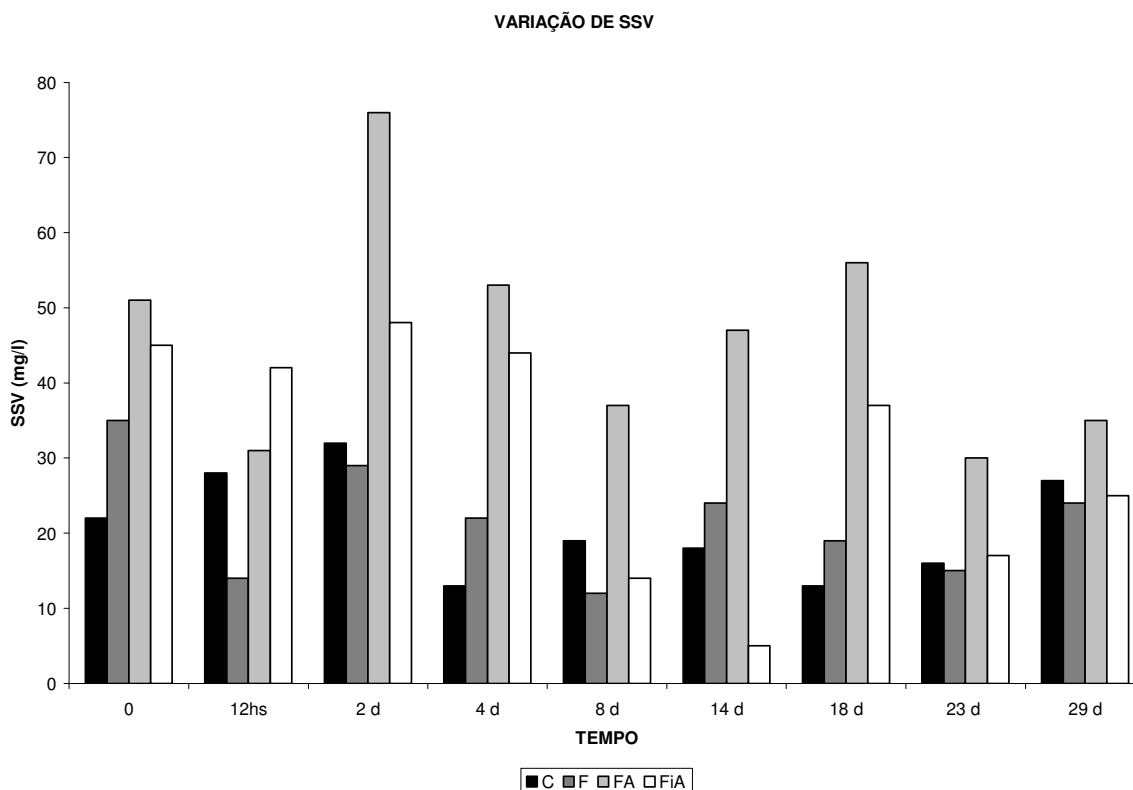


Figura 6 - Variação de SSV nos reatores biológicos C, F, FA e FiA para cada tempo de reação investigados.

3.3. Remoção de DQO

Os valores de DQO iniciais foram de: 192,5 mg/L para o reator C; 216,3 mg/L para o reator F; 432,6 mg/L para o reator FA; 332,4 mg/L para o reator FiA (Figura 7). Os resultados mostraram remoções de matéria orgânica no reator C de 65% com dois dias de reação e 61% ao final do experimento, provavelmente decorrente da ação dos microrganismos autóctones do próprio efluente.

No reator F, onde houve inoculação de fungo, a remoção da DQO foi gradual ao longo do experimento, e ao final do vinte e nove dias, atingiu o maior percentual de remoção, que foi de 95% (Tabela 1).

Tabela 1 – Eficiência de remoção de DQO (%) nos reatores biológicos C, F, FA e FiA para cada tempo de reação investigados.

Reator	<i>Tempos de Reação</i>								
	0 h	12 h	2 d	4 d	8 d	14 d	18 d	23 d	29 d
C	-	65	32	55	47	49	52	61	-
F	18	54	43	43	53	74	61	95	18
FA	-	-	-	-	-	24	63	85	-
FiA	-	-	-	28	70	49	78	82	-

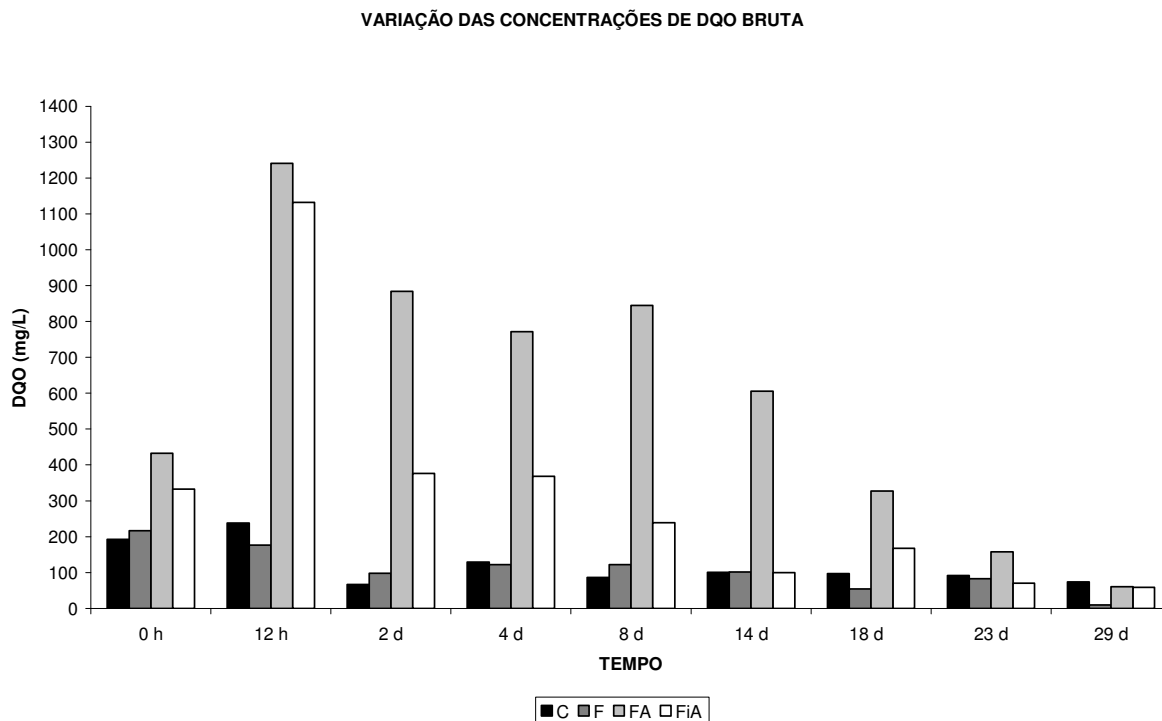


Figura 7 - Variação da DQO nos reatores biológicos C, F, FA e FiA para cada tempo de reação investigados.

No reator FA, que recebeu adição de açúcar, em doze horas de tratamento verificou-se um aumento significativo da DQO, que segundo Oliveira et al. (2006) deve-se ao grande crescimento de massa fúngica no meio, e como a determinação foi de DQO bruta, a massa fúngica somou para este valor, além da presença do açúcar. Em seguida, a concentração de DQO neste reator diminuiu gradativamente até atingir um valor de 60,63 mg/L de DQO no vigésimo nono dia de reação, resultando em uma remoção de 85% (Tabela 4). O reator FiA, com um tempo de doze horas de reação, comportou-se de forma similar ao reator FA, chegando a 82% de remoção no final do experimento.

Provavelmente, a quantidade de açúcar adicionado aos reatores FA e FiA tenha promovido uma leve inibição por excesso de substrato (LEVENSPIEL, 1974).

Ohmomo et al. (1985) ao tratar água residuária de melaço com biomassa imobilizada de *C. versicolor* chegou a 48% de remoção de DQO em 16 dias de reação, semelhante ao resultado encontrado neste trabalho em 18 dias de reação, que foi de 49% (Tabela 4).

Cereti et al. (2004), assim como neste trabalho, também utilizaram *Aspergillus niger* como inóculo (10^6 esporos/mL), em um reator “*arlift*”, de volume útil de 4 L, usado para tratamento de água residuária de fábrica de azeite de oliva, com matéria orgânica na concentração de 36000 mg DQO/L e pH de 5,25. A operação ocorreu no regime de batelada repetida, sendo que a cada 48 h, parte do líquido foi removido (90%) e o reator realimentado, perfazendo o total de 5 ciclos. A capacidade dos fungos em remover os poluentes do meio aumentou com o tempo e a maior remoção de matéria orgânica (64%), medida em DQO, ocorreu no quarto ciclo.

Em outros trabalhos, comparou-se o tratamento de águas residuárias com e sem a adição de glicose (co-substrato) sobre a eficiência do tratamento observando-se que a biodegradação de matéria orgânica foi mais significativa quando do uso deste sacarídeo. Rodrigues (2006) relata remoções de DQO de 27% sem o uso da glicose e 100% com a utilização do substrato primário, e Félix et al. (2006) conseguiu valores de remoção de 59% sem glicose e 82% com glicose. Particularmente, neste estudo em que se optou pela utilização do açúcar refinado como substrato primário, o reator F com meio disperso e sem nenhuma adição deste substrato apresentou os melhores resultados, atingindo um valor de 10 mg/L de DQO (95% de remoção) ao final do experimento.

4. CONCLUSÕES

O reator que mostrou melhor eficiência na remoção de matéria orgânica, expressa em DQO, foi o reator F, onde houve apenas adição de fungo, alcançou um percentual de 95% de remoção ao final do experimento.

Os reatores que receberam a adição de açúcar, além da adição do fungo, tiveram percentuais de remoção próximos. O reator FA, cuja biomassa encontrava-se dispersa, removeu 85% de DQO, enquanto que o reator FiA, com biomassa imobilizada, removeu 82% de DQO, também no 29º dia de reação. Portanto, a imobilização da biomassa não resultou em melhor eficiência de remoção de DQO.

Portanto, há viabilidade do processo de tratamento quando do uso de *Aspergillus niger* AN 400, sem adição de substrato primário, o que resulta também em redução de custos para a remoção de DQO de efluente de indústria petroquímica.

REFERÊNCIAS

APHA – AWWA – WEF Standard methods for the examination of water and wastewater 19th, Washington DC, USA, 1999.

CAI, W. *et al.*, The characteristics and mechanisms of biodegradation by *Fusarium* sp. J. Hazard. Mater. (2007), doi: 1.1016/j.jhazmat.2007.02.002.

CALLADO N. H. et al. Levantamento das fontes geradoras de resíduos de petróleo no Estado de Alagoas. 1ª coletânea de trabalhos técnicos – Reline, p. 15 -30. 2006.

CARLILE, M. J., WATKINSON, S. C. *The Fungi*. Academic Press – Harcourt Brace & Company, San Diego. 1994

DEL RIO, D. T. *Biossorção de cádmio por leveduras Saccharomyces cerevisiae*. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo). Piracicaba, 54p. 2004

FELIX, J.P.L. *et al.* Remoção de DQO e Fenóis totais presentes em efluentes de indústria petrolífera utilizando reatores de leito fixo e fluxo contínuo inoculados com *Aspergillus niger* AN400. 1ª coletânea de trabalhos técnicos – Reline. p. 183-198. 2006.

GRIFFIN, D. H. *Fungal Physiology*. 2. ed. Wiley-Liss, New York. 1994.

LEVENSPIEL, O. *Engenharia das reações químicas*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1974. v. 2.

MENDONÇA, M. C. M. et al. O gerenciamento e tratamento de resíduos líquidos em um terminal de armazenamento de derivados de petróleo em Suape/PE. 1ª coletânea de trabalhos técnicos – Reline, p. 1 -14. 2006.

MERCK DARMSTADT. *The testing of water*, 9th edition. P. 161-166. Germany, 1972.

OLIVEIRA, E.C. *et al.* Degradação de fenóis por leveduras presentes em águas residuárias de refinarias de petróleo. 1ª coletânea de trabalhos técnicos – Reline, p. 134 -148. 2006.

OHMOMO S., Aoshima, I., Tozawa Y., Ueda K.. 1985. Production of decolorizing activity for molasses pigment by *Coriolus versicolor* Ps4a. *Agric. Biol. Chem.* 49(7) : 2041-2045.

PRENAFETA BOLDÚ, F. X. Growth of on aromatic hydrocarbons: Environmental technology perspectives. Thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2002.

RODRIGUES, K. de A. Tratamento biológico de água residuária sintética de laticínios por decomposição fúngica. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil. 1999.

RODRIGUES, K. de A. Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água residuária sintética. São Carlos, 2006. Tese de doutorado-Escola de engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo. 2006.

ROSATO, Y. B. Biodegradação de petróleo. In:Microbiologia ambiental. Embrapa, Jaguariúna, SP, 440p. 1997.

SEKHAR, K. C., SUBRAMANIAN, S., MODAK, J. M, NATARAJAN, K. A.
Removal of metal ions on industrial biomass with reference to environmental control.
International Journal of Mineral Processing, 53: 107 – 120. 1998.