



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-107 – REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FENOL EM ÁGUA RESIDUÁRIA SINTÉTICA EM REATORES BIOLÓGICOS COM FUNGOS

Kelly de Araújo Rodrigues⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Marcelo Zaiat⁽²⁾

Prof. Dr. Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP).

Glória Maria Marinho Silva Sampaio⁽³⁾

Farmacêutica graduada pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP).

Sandra Tédde Santaella⁽⁴⁾

Química e Mestre em Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). Professora Adjunta do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Fernão Dias, no.70 ap.33. Jardim Centenário – São Carlos – SP – CEP: 13000-000 – Brasil – Tel: (16) 2715956

 kellyar@sc.usp.br

RESUMO

Fenóis são encontrados em diversos tipos de águas residuárias industriais e são responsáveis pela geração de alta carga poluente. O descarte inadequado dessas águas residuárias pode acarretar graves problemas ao meio ambiente e ao homem, devido aos efeitos carcinogênicos e mutagênicos que os compostos fenólicos possuem. Este trabalho teve por objetivo avaliar a redução da concentração de fenol pelo uso de fungos em reatores em batelada e a influência da adição de glicose como fonte primária de carbono na eficiência do processo. *Aspergillus niger* foi empregado como inóculo dos reatores, embora ao final do experimento tenha se constatado a presença de *Fusarium sp.* e de leveduras. Ao longo da batelada foram realizadas análises de fenol, sólidos suspensos voláteis (SSV), pH, oxigênio dissolvido e temperatura. Dados obtidos no experimento mostraram que os fungos utilizaram fenol tanto nos reatores que receberam adição de glicose (RFG) como nos que não possuíam fonte primária de carbono (RF). Verificou-se redução em relação ao primeiro lote desmontado (1 dia) de 57% e 69%, respectivamente, para os reatores RFG e RF e a concentração de fenol chegou a níveis não detectáveis pelo cromatógrafo no 18º dia.

PALAVRAS-CHAVE: Fungos, Fenol, Tratamento Biológico, Reatores Batelada.

INTRODUÇÃO

Fenóis são compostos recalcitrantes que estão presentes em diversos despejos industriais, como os das indústrias

farmacêuticas e têxteis, em pesticidas (Iniesta *et al.*, 2001), na fabricação de resinas (fenólicas, epóxicas e poliamidas) e de papel, em efluentes de fundições de metais, conversão de carvão, refinarias de petróleo (Caza *et al.*, 1999) e do beneficiamento da castanha de caju (Santaella, 1999). Os compostos fenólicos são considerados, entre os resíduos orgânicos, os de maior potencial poluidor, devido suas características ácida, tóxica e bactericida, e exigem tratamento antes de seu lançamento em corpos receptores (Bolaños – Rojas, 2001).

Compostos fenólicos são encontrados em águas residuárias industriais nas mais diferentes concentrações e despejos sanitários possuem fenol em concentrações traço pouco acima de 1000 μ g/L, nível este considerado tóxico (Rao e Viraraghavan, 2002). Nas águas residuárias domésticas, os fenóis são provenientes, principalmente, do uso de germicidas e desinfetantes; e são detectados na urina e nas fezes (Bolanhões – Hojas, 2001).

Contudo, a contaminação de água destinada ao consumo por compostos fenólicos, à concentração de 1 μ g/L, além de acarretar problemas de gosto e odor, pode causar sérios danos à saúde humana e levar à morte (Rao e Viraraghavan, 2002).

Fungos têm sido amplamente empregados na biotecnologia de muitos processos, incluindo produção de enzimas, de ácidos industriais, antibióticos e de produtos alimentícios (Carlile e Watkinson, 1994). Porém, nas duas últimas décadas cresceu o interesse na utilização destes versáteis microrganismos na área de Saneamento Ambiental, particularmente no que se refere aos processos de biorremediação e tratamento de efluentes industriais, como se observa nos trabalhos de Kapoor *et al.* (1999), Fu e Viraraghavan (2001) e Rao e Viraraghavan (2002).

O uso de fungos desponta como nova tecnologia de biotratamento de efluentes líquidos. Apesar dos poucos trabalhos existentes na área (Kotterman, 1998; Santaella, 1999; Al Malah *et al.*, 2000; Sampaio, 2002, Rodrigues e Santaella, 2003), particularmente no Brasil, os resultados obtidos são bastante positivos quanto à utilização desses microrganismos no tratamento de diversos efluentes, incluindo os que possuem em sua composição substâncias recalcitrantes.

A potencialidade de se empregar fungos para o tratamento de substâncias recalcitrantes é devido à produção de grande número de enzimas extracelulares como proteases, celulasas, ligninases, lactases, entre outras cuja ação torna os organopoluentes mais acessíveis para biodegradação (García-Peña *et al.*, 2001).

Pode-se também citar como indicadores de viabilidade do processo de tratamento por fungos a capacidade desses microrganismos de suportarem possíveis choques na concentração da carga orgânica a eles submetida, sua tolerância a grandes variações de pH e temperatura e ao fato de se adequarem a variações e escassez de umidade e oxigênio (Santaella, 1999).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁGUA RESIDUÁRIA

A água residuária foi preparada em laboratório com a seguinte composição por litro de água: 0,25 g de fenol, 2,00 g de sulfato de amônia (NH_4SO_4), 1,00 g de nitrato de sódio (NaNO_3), 0,20 g de fosfato dihidrogeno de potássio (KH_2PO_4), 0,01 g de cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 0,25 g de sulfato de magnésio (MgSO_4) e 1 mL de solução de elementos traço. A água empregada foi oriunda da companhia de abastecimento de água da cidade de São Carlos/SP. A solução de elementos traço foi preparada com 0,08 g/L de sulfato de cobre hexahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 0,05 g/L de ácido molibídico (H_2MoO_4), 0,043 g/L de sulfato de zinco (ZnSO_4) e 0,05 g/L de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, diluídos em 1L de água destilada. O pH do meio foi reduzido de 6,35 para 4,80 pela adição de ácido sulfúrico (5N) para deixar o meio mais adequado ao desenvolvimento pleno dos fungos.

REATORES EM BATELADA

Cinquenta e quatro recipientes cilíndricos de vidro, com volume de 1,5L, foram vedados com tampa plástica e empregados como reatores, os quais foram divididos em seis lotes. Cada reator recebeu 1,2 L de água residuária contendo fenol. A partida do experimento ocorreu de forma simultânea e o desmonte dos reatores foi efetuado de acordo com o cronograma apresentado na Tabela 1. Cada lote possuía 9 reatores, sendo 3 de controle (RC), 3 com inóculo de *A. niger* (RF) e 3 com inóculo de *A. niger* e adição de glicose (RFG) na concentração 500 mg/L. Foi

fornecido oxigênio ao meio pelo uso de aeradores de aquário.

Primeiramente, montou-se os 18 reatores com função de controle, a fim de minimizar possível contaminação durante esta etapa do experimento. Este procedimento foi realizado em capela. Assim, os reatores de controle foram preenchidos com o volume correspondente da água residuária (1,2L) e, em seguida, vedados com tampa plástica que possuía orifício para passagem da mangueira de aeração. O orifício foi mantido lacrado com algodão hidrofóbico até a introdução da mangueira que ocorreu durante a partida dos reatores.

Tabela 1: Cronograma de desmonte dos reatores.

Lote	Tempo de duração (dias)	Composição	Número reatores/Lote
I	1	RC	3
II	5		
III	11	RF	3
IV	18		
V	29	RFG	3
VI	36		

A montagem dos reatores com fungos ocorreu após a dos reatores de controle, na seguinte ordem: os 18 reatores RF e depois os 18 reatores RFG. Os procedimentos de montagem foram semelhantes aos do controle, excetuando-se o que se refere à manipulação e distribuição do inóculo que será abordada no próximo item.

INÓCULO

Aspergillus niger foi escolhido por ter apresentado bons resultados no tratamento de efluentes similares (García et al, 2000). O inóculo foi preparado e doado pelo Instituto de Botânica de São Paulo (IBt-SP), através da Profa. Dra. Iracema Schoenlein-Crusius. A linhagem, inicialmente mantida em meio de cultura batata-dextrose-ágar, foi dividida e transferida assepticamente para placas-de-Petri contendo meio de cultura Czapek, ideal para o crescimento da espécie, permanecendo incubada em estufa BOD (23°C) durante 7 dias para verificação do vigor das colônias. Em seguida, promoveu-se a peletização do micélio em erlenmeyers de 500mL, com 250mL do referido meio de crescimento, os quais foram mantidos sob agitação orbital (150rpm) por 10 dias. Após este período, as pelotas foram assepticamente transferidas para tubos Whatman de 100mL contendo 50mL de água destilada e acondicionadas para transporte até o local do experimento.

As pelotas de *Aspergillus niger*, de peso úmido de aproximadamente 4,00 g, foram separadas da água destilada com auxílio de peneira de inox esterilizada e liquidificadas uma a uma, em 200 mL da água residuária proposta. Em seguida, foram transferidos para seu respectivo reator. O processo de liquidificação e transferência ocorreu próximo à chama do bico de Bunsen, para minimizar a contaminação.

VARIÁVEIS INVESTIGADAS

Foram investigadas as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, glicose e fenol. A variação da concentração de fenol, ao longo da batelada, foi obtida por cromatografia gasosa (HP INNOWAX – 30 M X 0,25 MM X 0,25 µ m); a determinação de glicose no meio através de método colorimétrico e as demais variáveis, de acordo com a metodologia descrita em APHA (1995).

Verificou-se ainda a existência de fenol adsorvido nas paredes da biomassa fúngica. A partir de massa de peso úmido determinado, foi adicionado em tubo "racker" 1 mL de hidróxido de sódio (1N) e 1mL de ácido sulfúrico (1N). Em seguida, os tubos com biomassa referente a cada reator, foram submetidos a ultrassom durante aproximadamente 30 minutos. Após este tempo, adicionou-se 100µ L do padrão interno (2-clorofenol), 100µ L de ácido sulfúrico e 0,60 mL de éter. Os tubos foram agitados em agitador de tubos vórtex AP 56, sob agitação máxima por 1 minuto, centrifugados em centrífuga Fanem 215 a 1200 rpm durante 1 min para injeção (1µ L) no cromatógrafo.

Biomassa presente nos reatores do lote 6 foi submetida à microscopia óptica para confirmação das espécies fúngicas

envolvidas.

Com relação à padronização dos dados experimentais, haja vista terem sido obtidos em triplicata, utilizou-se o método das medianas, ou seja, adotou-se, em ordem crescente, o valor intermediário.

RESULTADOS

No primeiro lote desmontado (1º dia), foi obtida redução de 69% nos reatores desprovidos de fonte primária de carbono (RC e RF) e de 57% nos reatores que receberam adição de glicose (RFG). No 18º dia, a concentração de fenol atingiu valores não detectáveis pelo cromatógrafo (concentração menor que 1,00 mg/L) e permaneceu assim até o final da batelada, conforme apresentado nas Figuras 1, 2 e 3, onde é mostrada a variação da concentração de fenol nos reatores RC, RF e RFG, respectivamente.

É interessante notar que os reatores empregados como controle apresentaram mesmo percentual de redução de fenol que os reatores RF após 1 dia de experimento, o que foi atribuído a contaminação dos reatores de controle por fungos. Apesar de não terem sido inoculados com fungos, ao proceder desmonte do terceiro lote, dos reatores de controle, verificou-se existência de massa fúngica.

A contaminação dos reatores que inicialmente tinham função de controle pode ter ocorrido durante a montagem, apesar de os reatores terem sido montados antes da manipulação do inóculo e próximos à chama do bico de Bunsen. Também é provável que, durante o experimento tenha ocorrido contaminação através do espalhamento de esporos oriundos dos reatores com fungos, que não estavam hermeticamente fechados.

Biomassa presente nos reatores do terceiro lote, reatores RC, RF e RFG, foi levada ao IBt-SP e identificada como sendo de *Aspergillus niger* e *Fusarium sp.*. Constatou-se também a existência de leveduras, as quais não foram possíveis de serem identificadas.

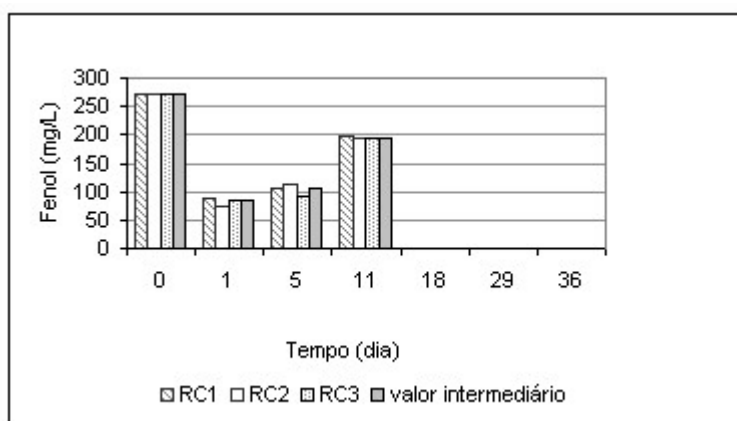


Figura 1 – Variação concentração de fenol nos reatores de controle (RC).

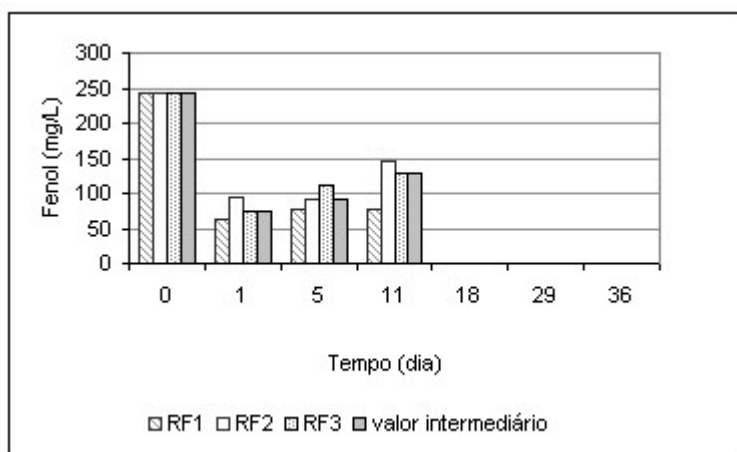
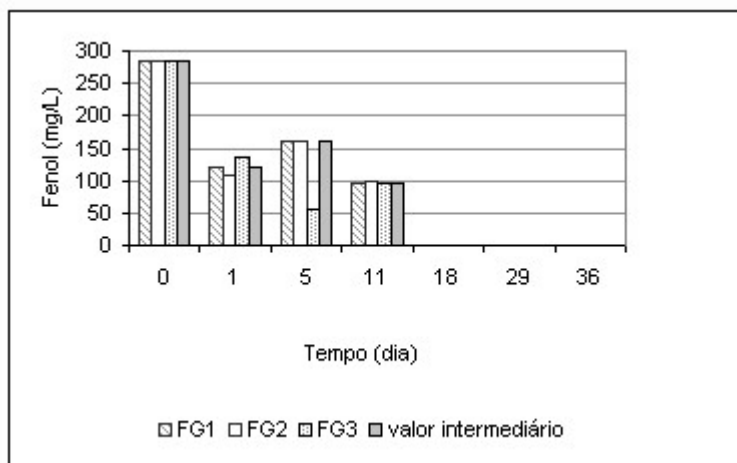


Figura 2 – Variação da concentração de fenol nos reatores com fungos (RF).**Figura 3 - Variação da concentração de fenol nos reatores com fungos (RFG).**

A rápida redução da concentração de fenol, após um dia de experimento, poderia indicar adsorção do composto pelos microrganismos. Observa-se que nos reatores RC e RF, dos lotes 2 e 3, e RFG, do lote 2, houve elevação da concentração de fenol e, assim, supõe-se que o aumento da concentração do poluente tenha decorrido de liberação da parcela que se encontrava adsorvida ao micélio.

Análises da concentração de fenol presente na biomassa fúngica do lote 6, mostraram que não havia fenol aderido às paredes do micélio fúngico no último dia do experimento (36º dia), porém como não foi possível realizar este procedimento com biomassa dos reatores dos lotes anteriores, não se pode afirmar que não houve adsorção ao longo da batelada, bem como avaliar em que grau teria ocorrido. Como no 18º dia foi alcançada a maior redução de fenol e a concentração no meio era inferior a 1,00 mg/L, ainda que este composto se encontrasse adsorvido às paredes fúngicas, poderia haver seu consumo por parte dos microrganismos, haja vista não se ter detectado fenol durante a extração na biomassa.

De acordo com Carlile e Watkinson (1994), a maioria dos fungos pode utilizar glicose, a qual ocupa posição central em seu metabolismo e pode causar inibição de suas atividades enzimáticas, dependendo da concentração e da espécie fúngica. A literatura relata que os fungos, em meio que possua glicose e outra fonte de carbono, tendem a usar primeiramente a glicose e não há assimilação do outro substrato até que a glicose seja totalmente consumida do meio (Griffin, 1994).

Neste trabalho, verificou-se redução simultânea da concentração de glicose e fenol no lote 1, com diminuição da concentração de glicose de 500,00 mg/L para 270,00 mg/L e de fenol de 285,00 mg/L para 122,00 mg/L, o que reforça a hipótese de que a redução de fenol tenha ocorrido através de processo de adsorção.

Verifica-se ainda que nos reatores que receberam glicose (RFG), o período em que houve aumento de fenol, supostamente através de desorção, foi menor em relação aos demais reatores. No final do experimento, os reatores desprovidos de glicose e os que receberam este composto apresentaram a mesma eficiência de remoção, de modo que o fenol atingiu concentração menor que 1,00 mg/L.

Houve crescimento visual de massa fúngica no interior dos reatores. A redução de fenol foi acompanhada pelo aumento de SSV. Nas Figuras 4, 5 e 6, o perfil de crescimento de biomassa, medido através da determinação de SSV, e a redução de fenol são mostrados, respectivamente, em RC, RF e RFG.

Nos reatores que receberam inóculo fúngico, tanto RF como RFG, o crescimento exponencial ocorreu até o 11º dia. Em contrapartida, nos reatores que tinham finalidade de controle, verificou-se crescimento exponencial dos fungos até o 18º dia, quando a biomassa apresentou concentração de 62 mg/L. Faz-se importante ressaltar que, no caso dos reatores RF e RFG, os fungos adicionados eram oriundos de processo de cultivo, portanto já se encontravam em crescimento quando da partida dos reatores.

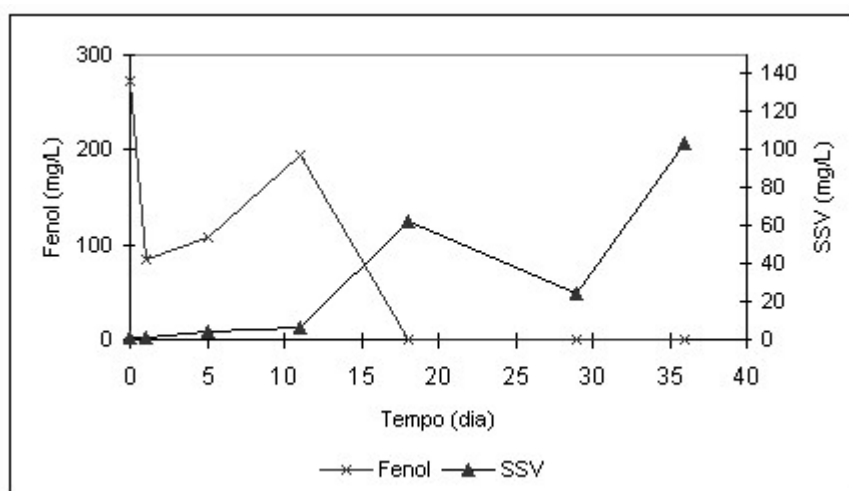


Figura 4 – Variação de sólidos suspensos voláteis (SSV) e redução de fenol nos reatores de controle (RC) com base nos valores intermediários.

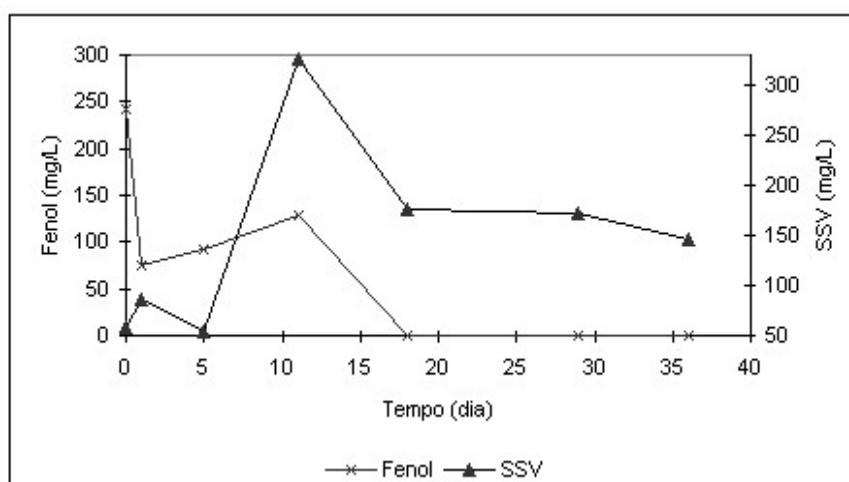


Figura 5 – Variação de sólidos suspensos voláteis (SSV) e redução de fenol nos reatores com fungos (RF) com base nos valores intermediários.

Os reatores com fungos (RF e RFG) e de controle (RC), após, respectivamente, o 11º e 18º dia, apresentaram decaimento de biomassa típico da fase endógena, a qual é resultado de exaustão de nutrientes no meio (Carlile e Watkinson, 1994).

O aumento no valor de SSV, observado no último dia da batelada nos reatores de controle (RC) e com fungos e glicose (RFG) poderia indicar novo ciclo de crescimento dos fungos, motivado pela liberação de nutrientes durante a fase de endogenia.

Com relação à produção de biomassa, os maiores valores foram alcançados pelos reatores que receberam adição de glicose. No 11º dia (lote 3), ao atingir o máximo valor da fase de crescimento exponencial, os reatores RFG apresentaram 30% a mais de biomassa em relação aos reatores RF. Paralelamente, neste lote, os reatores que receberam glicose obtiveram 66% de redução de fenol, enquanto os reatores RF e RC obtiveram redução de 47,00% e 28,50%, respectivamente.

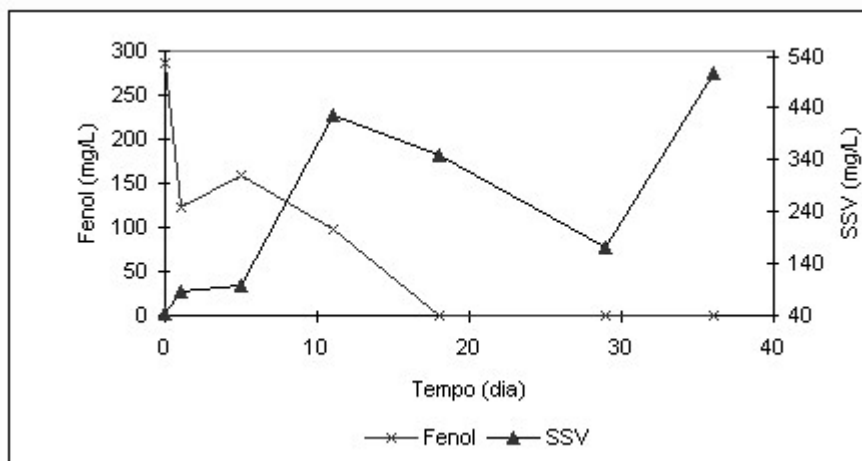


Figura 6 – Variação de sólidos suspensos voláteis (SSV) e redução de fenol nos reatores com fungos e glicose (RFG) com base nos valores intermediários.

Verificou-se também que a biomassa presente em RFG mostrava-se mais compacta, com o micélio aglutinado, formando uma só massa dentro do reator. Nos reatores RF, a biomassa encontrava-se dispersa no meio líquido. Supõe-se que o uso de glicose poderia ter favorecido a aglutinação dos microrganismos.

A temperatura durante o experimento em batelada variou de 18 a 24°C. Na Figura 7, apresenta-se a variação do pH nos reatores RC, RF e RFG ao longo da batelada, tendo-se como base os valores intermediários. O pH do meio diminuiu até o 18º dia (quarto lote), quando a concentração de fenol atingiu níveis não detectáveis pelo cromatógrafo. Em todos os reatores, o pH chegou a valores muito baixos (entre 3,00 e 3,50), como resultado do metabolismo fúngico durante a utilização dos compostos presentes na água residuária. Verifica-se que nos reatores que receberam glicose a queda do pH foi mais rápida nos três primeiros lotes em relação aos outros reatores.

Na Figura 8, mostra-se a variação do oxigênio dissolvido (OD). Nos reatores desprovidos de fonte primária de carbono, o oxigênio dissolvido variou, respectivamente, para RC e RF, de 8,10 a 7,10 mg/L e de 8,4 a 6,5 mg/L. Para os reatores RFG, o oxigênio dissolvido no meio apresentou variação de 8,10 a 6,60 mg/L. O menor valor de OD (6,5 mg/L) ocorreu quando da maior redução da concentração de fenol, indicando o uso de compostos pelos microrganismos.

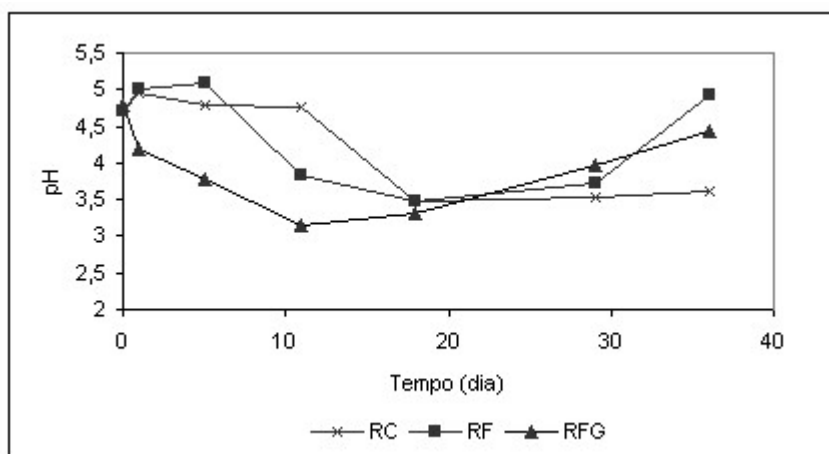


Figura 7 – Variação de pH nos reatores de controle (RC), com fungos (RF) e com fungos e glicose (RFG) com base nos valores intermediários.

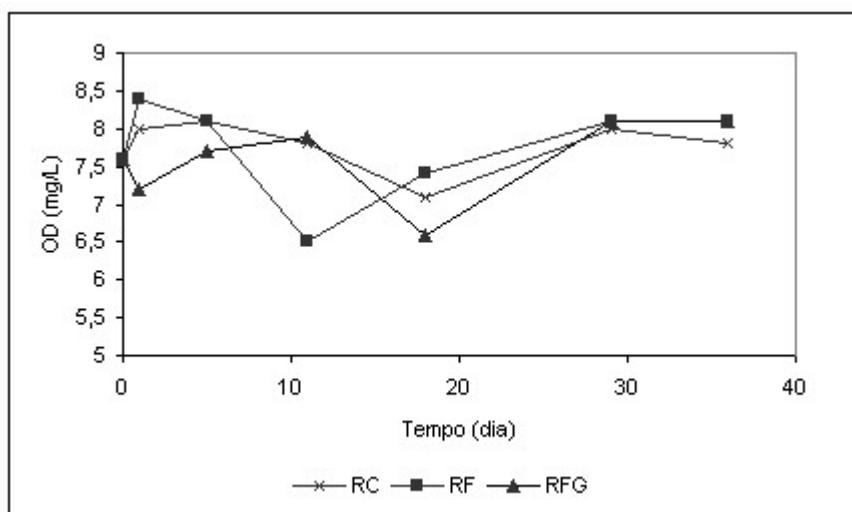


Figura 8 – Variação de OD nos reatores de controle (RC), com fungos (RF) e com fungos e glicose (RFG) com base nos valores intermediários.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Foi observada redução da concentração de fenol em todos os reatores empregados (RC, RF e RFG);

Houve contaminação dos reatores com fungos (RF e RFG) por outras espécies que não *Aspergillus niger*, tendo-se identificado entre elas *Fusarium sp.* Verificou-se também presença de leveduras, as quais não foram possíveis de serem identificadas. Os reatores de controle (RC) também apresentaram em seu interior as referidas espécies, embora as mesmas não tenham sido inoculadas nestes reatores;

Como a pesquisa encontra-se em fase laboratorial, a fim de se minimizar os riscos de contaminação, há necessidade de empregar sistemas de vedação mais eficientes, bem como utilizar água esterilizada para preparo da água residuária, recomendando-se ainda disposição dos reatores em câmara de fluxo laminar e realização da batelada em separado para os reatores com função de controle;

Verificou-se crescimento de biomassa fúngica, observando-se fases de seu crescimento ao longo do experimento e ocorreu diminuição de SSV, após a remoção da maior parcela de fenol;

A redução de fenol observada no lote 1 pode ser atribuída à adsorção, a qual foi seguida de desorção e assimilação do fenol pelos microrganismos.

Após o primeiro dia de experimento, nos reatores RFG, o período em que houve aumento de fenol foi menor em relação aos demais reatores;

Nos reatores com fungos que receberam adição de glicose (RFG) foi maior a produção de biomassa, a qual apresentou-se aglutinada e formou massa compacta, enquanto nos que não receberam glicose, a biomassa encontrava-se dispersa no reator.

No final do experimento, os reatores desprovidos de glicose (RC e RF) e os que receberam este composto (RFG) apresentaram a mesma eficiência de redução de fenol, de modo que o poluente atingiu concentração menor que 1,00 mg/L (18º dia).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-MALAH, K., AZZAM, M. O. J., ABU-LAIL, N. Olive mills effluent (OME) wastewater post-treatment using activated clay. *Separation and Purification Technology*, 20:225-234, 2000.
2. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19a. ed. Washington: American Public Health Association, 1995.
3. BOLANHÕES - HOJAS, M. L. Tratamento de fenol em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (HALF) sob condições mesofílicas. São Carlos, 2001. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP), 2001.
4. CARLILE, M. J., WTKINSOM, S. C. The fungi. London: Academic Press Inc. , 1994. 482p.
5. CAZA, N., BEWTRA, J.K., BISWAS, N., TAYLOR, K.E. Removal of phenolic compounds from synthetic wastewater using soybean peroxidase. *Wat. Res.*, v. 33, no. 13, pp. 3012-3018, 1999.
6. FU, Y., VIRARAGHAVAN, T. Fungal decolorization of dyewastewaters: a review. *Bioresource Technology*, n.79, pp. 251 – 262, 2001.
7. GARCIA, I. G., PEÑA, P. R. J., VENCESLADA, J. L. B., MARTIN, A. M., MARTIN, M. A. S., GÓMEZ, E. R. Removal of phenol compounds from olive Mill wastewater using *Phanerochaete chrysosporium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*. *Process Biochemistry*, v. 35, pp. 751 – 758, 2000.
8. GARCÍA-PEÑA, E. I.; HERNÁNDEZ, S.; FAVELA-TORRES, E.; AURIA R. REVAH S. Toluene biofiltration by the fungus *Scedosporium apiospermum* TB1. *Biotechnology and Bioengineering*, v.76, n.1, pp.61-69, 2001.
9. GRIFFIN, D. H. Fungal physiology. 2nd ed. New York: Wiley-Liss, 1994. 458p.
10. INIESTA, J. GONZÁLES – GARCIA, J. EXPÓSITO, E. MONTIEL, V. ALDAZ, A. Influence of chloride ion on eletrochemical degradation of phenol in alkaline medium using bismuth doped and pure PbO₂ anodes. *Water Resource*, v. 35, n. 14, pp. 3291 – 3300, 2001.
11. KAPOOR, A., VIRARAGHAVAN, T. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. *Bioresorce Technology*, n. 70, pp. 95 – 104, 1999.
12. KOTTERMAN, M. J. J. Polycyclic aromatic hydrocarbon degradation by the White rot fungus *Bjerkandera* sp. Strain BOS55. Wageningen, Netherlands, 1998. 104p. Thesis Wageningen Agricultural University, 1998.
13. RAO, J. R., VIRARAGHAVAN. Biosorption of phenol from na aqueous solution by *Aspergillus niger* biomass. *Bioresource Technology*, n. 85, p. 165 – 171, 2002.
14. RODRIGUES, K. A., SANTAELLA, S. T. Remoção de DQO por biodegradação fúngica em água residuária sintética de laticínios. In: WETLAND, E., SCHALCH, V. Pesquisas em meio ambiente: subsídios para gestão de políticas públicas, v. 2, São Carlos: Rima, 2003.
15. SAMPAIO, G. M. M. S. Remoção de DQO em água residuária industrial através de sistema em escala laboratorial composto por reator UASB seguido por filtro biológico com fungos. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
16. SANTAELLA, S. T. Estudos de tecnologias apropriadas para tratamento de tecnologias apropriadas para tratamento de efluentes da castanha de caju. Fortaleza: UFC, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. 1999. 31p. (Relatório Institucional de Pesquisa).