

II-313 – TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TÊXTIL EM REATORES FÚNGICOS OPERADOS EM SÉRIE

Igor do Nascimento Barreto ⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Andreza Dnarla Oliveira Santos

Mestranda em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Alana Mayara Ximenes de Souza

Mestranda em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Glória Maria Marinho Silva Sampaio

Doutora em Saneamento Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa

Doutora em Saneamento Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

Endereço ⁽¹⁾: Avenida dos Expedicionários, 3622 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60411-136 - Brasil - e-mail: igorbarreto36@gmail.com

RESUMO

Dos compostos responsáveis pela contaminação dos corpos hídricos, os corantes têxteis são os que causam mais danos ao meio ambiente. Pesquisas apontam para a utilização de agentes biológicos como uma solução para problemas com efluentes têxteis, sendo os fungos os micro-organismos utilizados neste tratamento, por serem capazes de degradar compostos recalcitrantes. Neste trabalho foram avaliadas condições de remoção do corante Índigo Carmim com uso de sacarose nas concentrações de 0,5 g/L e 1,0 g/L para os reatores R2 e R1, respectivamente. Além deste cossubstrato e da água de efluente têxtil *in natura*, o reator também foi alimentado com adição de antibiótico e solução de micronutrientes e sua operação realizada num tempo reacional de 4 ciclos/h em cada reator. Os melhores valores de remoção para o corante foram de 0,57 mg/L no efluente em R1 e 0,72 mg/L no efluente em R2. Em termos de DQO, o reator R1 apresentou melhor eficiência com 90,6% de remoção correspondendo a 289 mg/L de matéria orgânica total no efluente. O aumento dos valores de pH, relacionados à liberação de subprodutos do metabolismo fúngico, relacionou-se com a baixa remoção do corante e possivelmente com a pouca quantidade de fonte de carbono, especialmente em R2 que apresentou menos eficiência quando comparado a R1. Assim, o fungo *Aspergillus niger* nas condições em que foi estudado apresentou potencial considerável para a remoção do corante Índigo, sendo necessário avaliar diferentes concentrações da fonte de carbono para otimização do processo e garantir contínuas melhoras nas formas de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Índigo, *Aspergillus niger* AN 400, Sacarose.

INTRODUÇÃO

O setor têxtil atrai muita atenção no que se diz respeito à poluição ambiental devido ao volume de água consumido e a quantidade de efluente gerado, que vem carregado de substâncias complexas e recalcitrantes que dificultam o tratamento (ASGHER *et al.*, 2013).

Visando minimizar os danos gerados no corpo hídrico ao receber esse aporte de efluente sem tratamento apropriado, são utilizados para este tipo de efluente são utilizados vários tipos de tratamentos físicos e químicos que são caros e apresentam baixas eficiências na remoção do corante (KHELIFI *et al.*, 2008).

Tratamento biológicos vem se mostrando como uma alternativa viável e com maior eficiência que métodos convencionais de tratamento (KARIMINIAAE-HAMEDANI *et al.*, 2007), uma vez que conseguem degradar quase que completamente os compostos poluentes (YANG *et al.*, 2008).

Por serem considerados os principais responsáveis pelos processos naturais de degradação de matéria orgânica, os fungos são a escolha mais assertiva já que possuem um arsenal enzimático que otimiza o processo de total mineralização do corante (YANG *et al.*, 2008).

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema de biorreatores em série na remoção de corante índigo, matéria orgânica carbonácea (DQO) sob faixa ótima de pH com sacarose como cossustrato na concentração de 1 g/L para o primeiro reator e 0,5 g/L para o segundo, utilizando a espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dois reatores confeccionados em vidro com capacidade de 5 L, os quais foram montados e operados em bateladas sequenciais, sendo dispostos em série. Os reatores foram inoculados com a espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400. A presente pesquisa foi dividida em: cultivo e contagem dos esporos dos fungos, imobilização da biomassa em material suporte, montagem e operação dos reatores e análise dos dados obtidos.

Inóculo

O *Aspergillus niger* AN 400 foi cultivado em placas de Petri com meio de cultura Agar-Saboraud. A cultura foi mantida em estufa microbiológica sob 28°C, durante sete dias. Posteriormente, os esporos foram removidos com ajuda de solução isotônica Tween 80 e foram armazenados em frasco estéril, para posterior contagem microscópica em Câmara de Neubauer. Para o inóculo do reator, foi utilizada a concentração de 2×10^6 esporos/mL.

Imobilização da Biomassa em Meio de Suporte

O material utilizado para o crescimento aderido da biomassa foi espuma de poliuretano, tendo-se utilizado ainda redes de polietileno para agrupar as espumas e facilitar a fixação futura do suporte no interior do reator em bateladas sequenciais. O material foi previamente lavado e esterilizado em autoclave a 121°C durante 20 minutos para remoção de possíveis impurezas.

Cada reator continha 3 redes de polietileno, com 5 gramas de espuma em cada uma, perfazendo total de quinze gramas de espuma em cada reator. Depois que as espumas foram colocadas nas redes, estas foram transferidas para o reator, no qual foi colocado meio nutritivo com macro nutrientes de composição (em mg/L): MgSO₄ (0,25), K₂HPO₄ (0,2), CaCl₂.2H₂O (0,01), CuSO₄.7H₂O (0,08), H₂MoO₄ (0,05), MnSO₄.5H₂O (0,05), Fe₂(SO₄)₃ (0,05), ZnSO₄.7(H₂O) (0,04) e solução de *Vishniac* de composição (em mg/L): H₃BO₃ (50), FeCl₂. 4H₂O (0,20), ZnCl₂ (50), MnCl₂. 4H₂O (0,50), CuCl₂. 2H₂O (0,38), AlCl₃.H₂O (0,90) e o Cl₂.6H₂O (0,20). O meio nutritivo foi mantido durante 24 horas sem aeração, com o objetivo de promover a fixação dos esporos fúngicos no material suporte. Após esse período foi ligada a aeração durante 7 dias.

Configuração dos Reatores em Bateladas Sequenciais em Série

Os reatores utilizados no estudo eram de vidro e possuíam volume total de 5 L, tendo sido operados com ciclos cujo tempo reacional era de 4 ciclos h, em cada reator. O sistema foi operado em série, onde o primeiro reator (R1) recebeu o efluente têxtil *in natura* de indústria localizada na região metropolitana de Fortaleza, o qual foi previamente diluído a 20% (v/v), recebendo ainda adição de antibiótico (0,1 g/L), solução de micronutrientes *Vishniac* (1mL/L) e sacarose, cossustrato empregado nas concentrações 1 g/L para o primeiro reator (R1) e 0,5 g/L, para o segundo reator (R2). O efluente gerado no reator R1, após 48 h de tratamento, servia como afluente para o segundo reator (R2) com o objetivo de proporcionar pós-tratamento ao efluente de R1.

Procurou-se manter o pH afluente aos reatores em torno de 5, pois de acordo com GRIFFIN (1994) e KAVANAGH (2005) para o pleno desenvolvimento do metabolismo fúngico o meio deve possuir pH entre 4 e 6.

Para facilitar a compreensão, foram utilizadas as seguintes nomenclaturas:

- ER1: Afluente (entrada) do primeiro reator (R1);

- SR1: Efluente (saída) do primeiro reator (R1);
- ER2: Afluente (entrada) do segundo reator (R2);
- SR2: Efluente (saída) do segundo reator (R2).

No presente trabalho são apresentados os dados dos 17 ciclos que compuseram o estudo. Houve caracterização do afluente e efluente para cada um dos reatores através das análises físicas e químicas de DQO – amostra bruta e centrifugada –, pH e corante. A análise de DQO seguiu os procedimentos descritos por APHA (2005), o pH foi obtido através de leitura em potenciômetro e a análise de corante no comprimento de onda de 610 nm, de acordo com os métodos de Rodrigues *et al* (2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O reator R1 atingiu o maior percentual de remoção do corante índigo no nono ciclo, com 96,7%, o que correspondeu a 0,57 mg/L de corante no efluente, sendo a menor eficiência registrada no sexto ciclo (69,2%), equivalendo a uma concentração média de 11,16 mg/L no efluente, e remoção média de 89%, considerando os 17 ciclos estudados (Tabela 1).

Tabela 1. Eficiências de remoção de corante índigo nos reatores R1 e R2 eficiência total.

Ciclo	Reator 1 (%)	Reator 2 (%)	Total (%)
1	94,7	83,3	99,1
2	89,1	39,8	93,5
3	86,6	73,6	92,9
4	94,8	-	92,8
5	90,6	87,9	95,0
6	69,2	83,6	94,2
7	93,6	-	97,4
8	72,7	40,6	83,2
9	96,7	-	92,9
10	96,2	-	96,5
11	96,6	60,2	95,7
12	93,6	-	85,4
13	87,2	78,1	93,9
14	91,0	-	91,7
15	78,6	-	72,3
16	93,2	-	84,7
17	88,6	-	87,9
Médias	89,0	68,4	91,1

O reator R2 apresentou alguma eficiência na remoção em apenas oito dos ciclos trabalhados atingindo maior índice de remoção no quinto ciclo com 87,9%, o que correspondeu a 0,72 mg/L no efluente, e menor eficiência de remoção no segundo ciclo (39,8%), equivalente a uma concentração de 1,60 mg/L, tendo-se como eficiência média de remoção para esse reator percentual de 32,2%.

Nos últimos quatro ciclos o segundo reator não apresentou remoção do corante índigo, esse resultado coincidiu com picos nos valores de pH, acima de 7,34. Esse acúmulo se deve muito provavelmente a liberação de subprodutos elevando o pH, fugindo da sua faixa ótima que reside entre 4 e 6 (GRIFFIN, 1994).

O pH é influenciado pela produção ácidos orgânicos como metabólitos secundários, processo esse de grande importância para a degradação do corante através de uma produção enzimática eficiente (MORE *et al*, 2010). Segundo Rodrigues (2006), alguns desses subprodutos podem ser proteases, lactases, ligninases e celulasas, fato este comprovado nos estudos de Cuzzi *et al* (2011).

O sistema alcançou remoção média global de 91,1% ao final do estudo, o que correspondeu a uma concentração média de 1,5 mg/L de corante presente no efluente final.

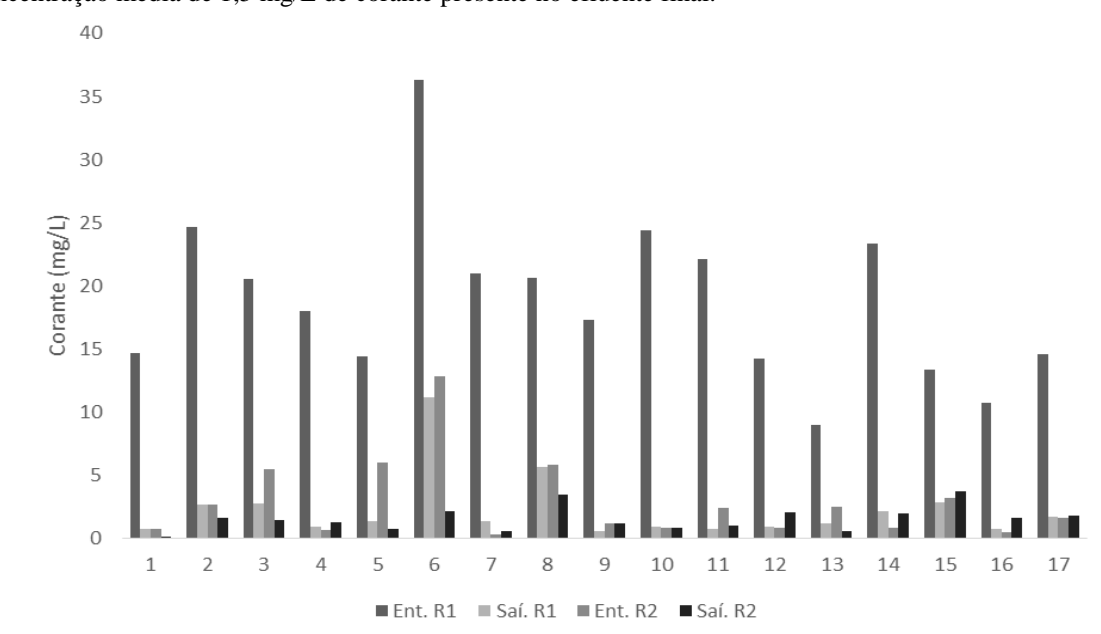


Figura 1. Variação da concentração de corante índigo nos ciclos operacionais.

O valor do pH na entrada no reator R1 foi mantido em torno de 5 para todos os ciclos. O valor médio do efluente do reator R1 foi de 4,66, média de 4,73 para o afluente do reator R2, e média de 5,58 para o efluente final do sistema.

Ocorreram picos no valor de pH nos ciclos 3, 5, 14, 15, 16 e 17 com valores a partir de 7,18 para o efluente do reator R2, isso ocorreu muito provavelmente devido à produção de substâncias tamponantes resultantes do metabolismo dos fungos para adaptar o meio às suas necessidades (SAMPAIO, 2004).

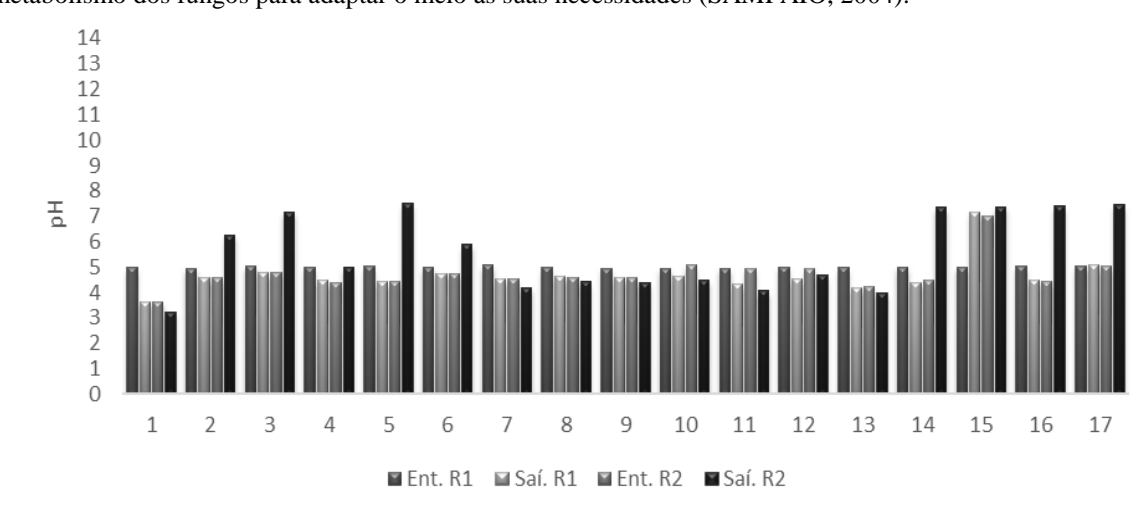


Figura 2. Variação dos valores de pH durante os ciclos operacionais.

Em relação à matéria orgânica, em termos de DQO, o reator R1 apresentou em média, remoção de DQO total de 57,7% (Tabela 1), equivalendo a uma concentração média de 699 mg/L no efluente, tendo atingindo maior percentual de eficiência no ciclo 11, com 90,6%, o que correspondeu a 289 mg/L de matéria orgânica total no efluente desse reator.

Tabela 2. Eficiências de remoção de DQO nos reatores R1 e R2 das parcelas bruta e dissolvida.

Ciclo	Reator 1 (%)		Reator 2 (%)		Total (%)	
	Bruta	Filtrada	Bruta	Filtrada	Bruta	Filtrada
1	83,2	78,2	-	-	76,6	76,9
2	69,1	72,2	-	-	60,5	66,3
3	26,3	-	-	-	70,9	64,7
4	58,4	59,1	64,8	61,1	69,4	69,5
5	49,3	46,3	47,3	71,1	53,6	75,1
6	71,2	56,0	53,0	65,7	84,4	80,8
7	58,0	65,0	46,2	60,8	72,6	79,6
8	14,6	-	6,6	11,3	-	-
9	64,4	37,1	46,8	-	56,9	15,3
10	61,3	70,1	34,3	33,5	31,8	51,8
11	90,6	71,1	15,1	-	70,9	32,1
12	59,9	60,1	18,8	6,6	37,5	26,2
13	68,3	70,2	50,0	53,1	58,1	59,5
14	44,1	30,4	29,2	20,8	23,3	-
15	41,8	48,6	65,1	66,4	53,3	61,0
16	62,4	69,2	25,6	65,7	43,9	74,0
17	58,6	62,3	60,1	66,8	63,9	69,9
Médias	57,7	52,7	33,1	34,3	54,6	53,1

Já para a fração dissolvida obteve eficiência média de 52,7%, resultando em um efluente final com média de 611 mg/L de matéria orgânica, sendo que o ápice de remoção ocorreu no primeiro ciclo, de 78,2%. Os ciclos 3 e 8 não apresentaram remoção de matéria orgânica particulada (Figura 3).

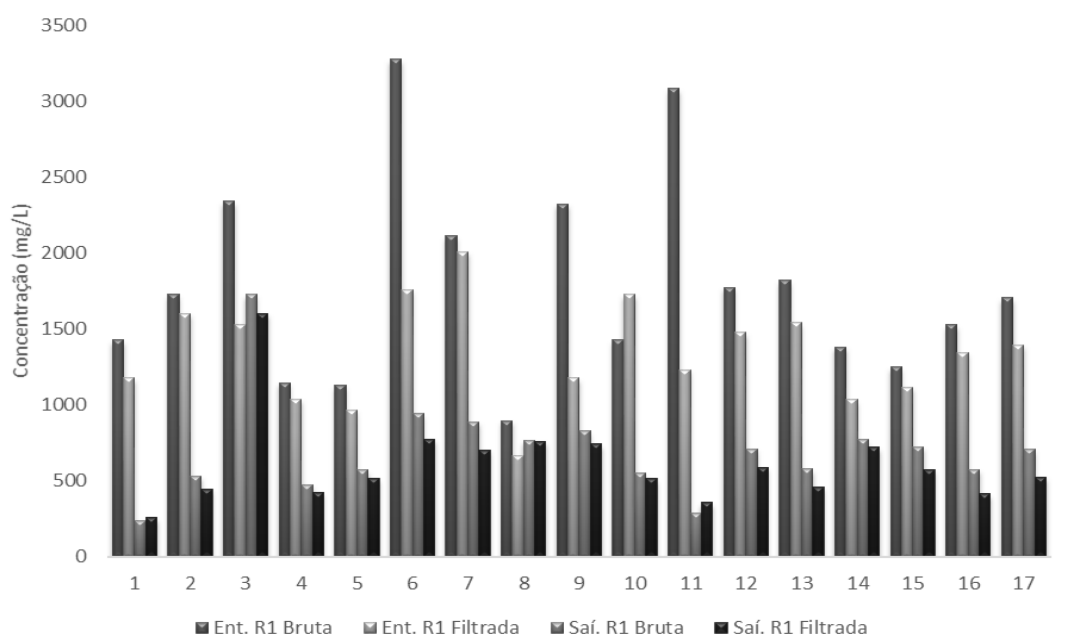


Figura 3. Variação da concentração de matéria orgânica nos ciclos operacionais no reator R1.

Para o segundo reator a média de remoção de matéria orgânica total foi de 33% sendo 734 mg/L a concentração média no efluente, com maior percentual de eficiência no ciclo 15 com 65% de eficiência,

equivalente a 584 mg/L de DQO total nesse reator. No que se refere a parcela particulada da matéria orgânica carbonácea o maior percentual de remoção se deu no quinto ciclo com 71%, sendo 241 mg/L de DQO no efluente final do reator R2 (Figura 4).

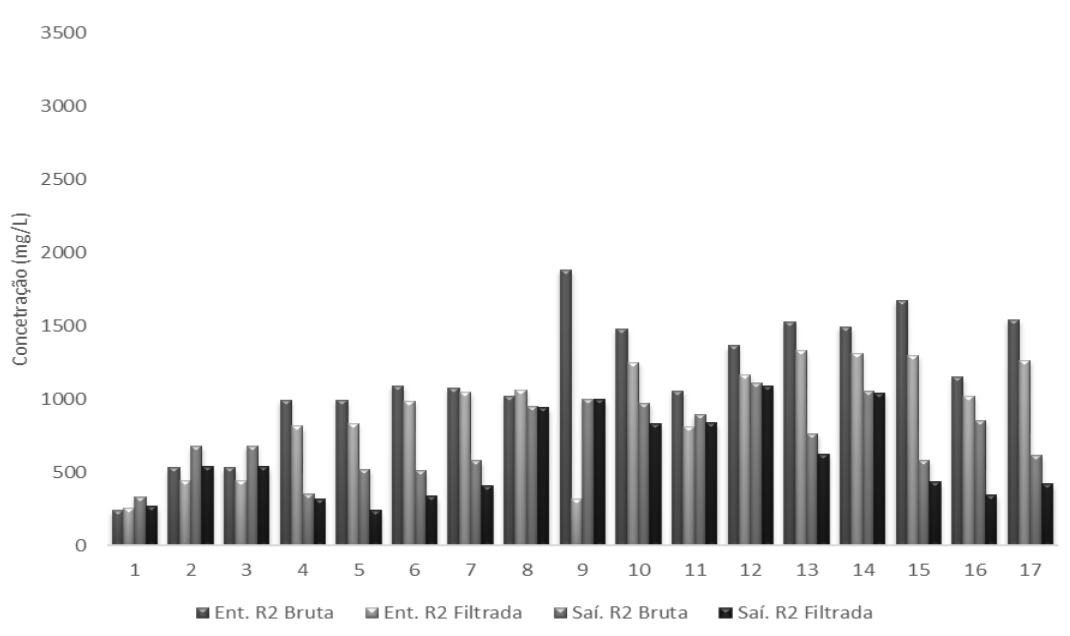


Figura 4. Variação da concentração de matéria orgânica nos ciclos operacionais no reator R2.

Ainda segundo Rodrigues (2011), o *Aspergillus niger* produz ácidos orgânicos a partir do consumo de formas de carbono, como a sacarose, que tendem a causar um decréscimo no pH do meio para faixa que varia de 2 até 4. Quando há uma elevação do pH a partir da faixa de neutralidade, a atividade enzimática da espécie fúngica pode ser afetada, diminuindo assim, a degradação do poluente.

Rodrigues (2006) afirmou que a concentração baixa de fonte de carbono de fácil assimilação (0,5 g/L de sacarose) interfere no metabolismo do fungo, de modo que este fato pode ter causado a menor eficiência encontrada no segundo reator, ocasionando menor geração de ácidos orgânicos e outros compostos que tendem a diminuir valor do pH, o que resultou na elevação desta variável no efluente do reator R2

Ao utilizar uma fonte de carbono de fácil assimilação o fungo produz metabolitos que podem se acumular no interior da célula ou ser excretados. Esses metabolitos que são excretados têm poder oxidativo capaz de quebrar compostos aromáticos em compostos facilmente assimiláveis ao seu metabolismo (GRIFFIN, 1994; IKEDA et al, 2006). A baixa eficiência do segundo reator pode ter sido causada pelo acumulo desses metabolitos no meio, já que o fungo pode ter dado preferência em metabolizar a fonte de carbono de fácil assimilação ao invés do poluente.

CONCLUSÕES

Apesar de o reator R2 apresentar eficiências notoriamente menores que no reator R1, o sistema se mostrou viável, com eficiência global de 91,1% de corante índigo, remoções acima de 50% para as parcelas dissolvida e particulada de matéria orgânica de ambos os reatores, mantendo-se sempre na faixa de pH ideal ao metabolismo dos fungos.

Pode-se aferir esses resultados a diferença de concentração de cossubstrato em cada reator sendo 1 g/L de sacarose para o reator R1 e 0,5 g/L para o reator R2. Mostrando que a espécie fúngica *Aspergillus niger* atinge melhores índices na biodegradação de efluente têxtil com concentração de sacarose em torno da concentração utilizada no primeiro reator.

Diante disso faz-se necessária a continuação dos estudos para que seja atingido o potencial máximo de tratamento de efluentes têxteis com a espécie fúngica utilizada, afim de que o mesmo possa ser ampliado para a escala industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apha. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20^a Edição. American Water Work Association, Water Environment Federation. Washington: 2005. 953p.
2. ASGHER, M.; YASMEEN, Q.; IQBAL, H. M. N. Enhanced decolorization of Solar brilliant red 80 textile dye by an indigenous white rot fungus *Schizophyllum commune* IBL-06. *Soudi Journal of Biological Sciences*, 2013.
3. GRIFFIN, D. H. Fungal physiology. 2nd ed. New York: Wiley-Liss, 458p., 1994.
4. CUZZI, C.; LINK, S.; VILANI, A.; ONOFRE, S. B.; Enzimas extracelulares produzidas por fungos endofíticos isolados de *Baccharis dracunculifolia* D.C. (ASTERACEAE). *Global Science and Technology*, v. 04, n. 02, p.47 – 57, 2011.
5. IKEDA, Y.; PARK, E.Y.; OKUDA, N. Bioconversion of waste office paper to gluconic acid in a turbine blade reactor by the filamentous fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology* 97, 1030–1035, 2006.
6. KARIMINIAAE-HAMEDANI, H., SAKURAI, A., SAKAKIBARA, M., (2007). Decolorization of synthetic dyes by a new manganese peroxidase-producing white rot fungus. *Dyes and Pigments* 72 (2007) 157e162.
7. KAVANAGH, K. Fungi: Biology and Applications. Ireland: Wiley, 293p., 2005.
8. KHELIFI, E., GANNOUN, H., TOUHAMI, Y., BOUALLAGUI, H., HAMDI, M.. Aerobic decolourization of the indigo dye-containing textile wastewater using continuous combined bioreactors. *Journal of Hazardous Materials*, v. 152, n. 2, p. 683-689, 2008.
9. MORE, T. T., YAN, S., TYAGI, R. D., SURAMPALLI, R.Y. Potential use of filamentous fungi for wastewater sludge treatment. *Bioresource Technology* 101, 7691–7700, 2010.
10. RODRIGUES, K. A. Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água residuária sintética. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, área de concentração em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
11. RODRIGUES, K., SILVA, K. M. L., SILVA, G. M. M., LIMA, P. C. C., WANDERLEY, R. P., SILVA, G. Remoção de corante por uso de *Aspergillus niger* AN400 em reator em bateladas sequenciais. *Química Nova*, v. 34, n.7, p. 1119-1123, 2011.
12. SAMPAIO, G. M. M. S., SANTOS, E. M. A., LEITÃO, R. C., FACÓ, A. M., MENEZES, E. A., SANTAELLA, S. T., Pós-tratamento de efluente de um reator UASB através de um reator biológico com fungos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 9 - Nº 1 - jan/mar 2004, 73-81.,2004.
13. YANG, Q., TAO, L., YANG, M., ZHANG, H. Effects of glucose on the decolorization of Reactive Black 5 by yeast isolates. *Journal of Environmental Sciences*, v. 20, n. 1, p. 105-108, 2008.