

Uso de reator com fungos para tratamento de água residuária têxtil e viabilidade de reuso do efluente final em reuso macrointerno

Fungal reactor use for treatment of textile wastewater and reuse feasibility of the final effluent in macro-internal reuse

- **Data de entrada:**
25/10/2017
- **Data de aprovação:**
24/07/2018

Gustavo Evangelista dos Santos*/Patricia Celestino Carvalho de Oliveira/Carlos Ronald Pessoa Wanderley/
Glória Marinho/Kelly Rodrigues

DOI: 10.4322/dae.2019.022

Resumo

A demanda elevada de água na indústria têxtil gera grande volume de águas residuárias, fazendo com que o reuso de águas seja uma ferramenta indispensável em face da escassez deste recurso. Um reator em bateladas sequenciais com biomassa imobilizada de *Aspergillus niger* AN400 foi alimentado com água residuária têxtil sintética. Foi verificada a viabilidade do uso do efluente tratado em atividades de reuso macrointerno. A água residuária sintética continha corante índigo carmim (100 mg.L^{-1}). No efluente final havia 14 mg.L^{-1} do corante, o que resultou em eficiência média de remoção de 86%. Para matéria orgânica solúvel e particulada, foram observadas no efluente final 1303 mg.L^{-1} e 1167 mg.L^{-1} , com percentuais de remoção 52% e 43%, respectivamente. O valor médio de turbidez no efluente final foi de 51,5 UT e, com exceção dos primeiros 4 ciclos, o pH manteve-se estável, com valor em torno de 3,64. O levantamento das diferentes atividades de produção têxtil e da qualidade requerida para a água de reuso indicou a possibilidade do uso do efluente obtido nas atividades de lavagem de equipamentos do processo têxtil.

Palavras-chave: Fungos. Índigo carmim. Reuso de águas. Tratamento biológico.

Abstract

*The high demand for water in the textile industry generates a large volume of wastewaters, making reuse of water an indispensable tool in the face of this resource. A reactor sequencing batch with immobilized biomass of *Aspergillus niger* AN400 was fed with textile wastewater. It was verified the feasibility of the use of treated wastewater in macro-internal reuse activities. The synthetic wastewater had dye indigo carmine (100 mg.L^{-1}). In the final effluent was 14 mg L^{-1} dye, which resulted in an average removal efficiency of 86%. For soluble organic matter and particulate were*

Gustavo Evangelista dos Santos – Discente de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Patricia Celestino Carvalho de Oliveira – Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Programa de pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do IFCE. Professora do Departamento de Química e Meio Ambiente (IFCE).

Carlos Ronald Pessoa Wanderley – Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor do Departamento do Eixo da Química e Meio Ambiente (IFCE).

Glória Marinho – Farmacêutica pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). Professora do Departamento de Química e Meio Ambiente e do Programa de pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do IFCE.

Kelly Rodrigues – Engenheira Civil pela Universidade Federal do Maranhão (UEMA). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). Professora do Departamento de Química e Meio Ambiente e do Programa de pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do IFCE.

***Endereço para correspondência:** Rua Olga Barroso, 372 - Mucuripe - Fortaleza - Ceará - CEP: 60175390. Telefone: (85) 3109-3834 / (85) 98632-1139. E-mail: gustavosantos.ev@gmail.com

observed in the final effluent 1303 mg.L^{-1} and 1167 mg.L^{-1} , with a percentage removal of 52% and 43%, respectively. The average turbidity value in the final effluent was 51.5 UT and, except for the first 4 cycles, the pH remained stable, with value around 3,64. The survey of the different activities of textile production and quality required for reuse of water indicated the possibility of using the effluent obtained in the laundering activity equipment of the textile process.

Keywords: Fungal. Indigo carmine. Reuse of water. Biological treatment.

1 INTRODUÇÃO

A água é o insumo básico de quase todos os processos industriais. o setor industrial têxtil consome aproximadamente 15% da água, sendo a tinturaria e o acabamento os processos de produção que mais apresentam contaminantes em seus efluentes, em comparação com outras etapas. (TOLEDO, 2004; FUJISAWA; LAMAS, 2011)

O tratamento dos efluentes têxteis é de suma importância, tanto pela presença de corantes como também de outras substâncias contidas no meio. Os corantes, por serem recalcitrantes, não são degradados facilmente em técnicas convencionais de degradação, e ao longo do tempo diversas pesquisas têm mostrado a versatilidade de fungos e bactérias em decompor estes compostos por meio do tratamento biológico (ERDUNLU et al., 2012; ALMEIDA et al., 2012).

Os fungos são conhecidos por possuírem a capacidade de degradar substâncias persistentes, como fármacos, pesticidas, corantes e outros compostos recalcitrantes, por meio do auxílio de enzimas que são produzidas por eles (DULLIUS, 2004).

A problemática ambiental causada pelas indústrias têxteis e a quantidade elevada de água utilizada em seus processos têm estimulado a prática do “Reúso de águas” dentro do setor industrial, em atividades de reúso macrointerno, de forma que um efluente potencialmente poluidor pode ser tratado e reutilizado para fins específicos. O reúso macrointerno é definido como sendo o tipo de reúso que se dá quando há o uso interno de efluentes na indústria, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indús-

tria (WEBER, CYBIS, BEAL, 2010; RESENDE, 2012; MANCUSO; SANTOS, 2007).

O reúso industrial de águas pode se dar de diversas maneiras, tais como a utilização da mesma para resfriamento, processamento, alimentação de caldeiras, lavagem, transporte de material, entre outros, de modo que os critérios de qualidade da água irão depender da função à que esse reúso se aplicará, sendo que, 75% do reúso industrial destina-se à refrigeração (VITORATTO e SILVA, 2004; MANCUSO e SANTOS, 2007).

Dentro deste contexto, estudou-se neste trabalho o tratamento de água residuária têxtil sintética, simulando a água do processo de tingimento, em reator operado em batelada sequencial contendo inóculo fúngico de *Aspergillus niger* AN400, verificando a viabilidade do uso do efluente final em atividade de reúso macrointerno, ou seja, dentro da própria indústria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Cultivo, produção e contagem dos esporos de *Aspergillus niger* AN 400

Conforme procedimentos descritos em Rodrigues e Marinho (2012), o *Aspergillus niger* AN400 foi repicado em placas de Petri estéreis para produção de esporos. As placas continham 15 mL de meio de cultura *Agar Sabouraud Dextrose*, previamente esterilizados a 121°C durante 15 minutos, e foram acrescidas de 1 mL.L^{-1} da solução de Vishniac constituída por: EDTA (10 g.L^{-1}), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ($4,4 \text{ g.L}^{-1}$), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1 g.L^{-1}), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($0,32 \text{ g.L}^{-1}$), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ($0,22 \text{ g.L}^{-1}$), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(1,47 g.L⁻¹), FeSO₄·7H₂O (1g.L⁻¹), como fonte de micronutrientes para os fungos, e ainda de 0,05 g.L⁻¹ de Megacilin Superplus, a fim de evitar crescimento bacteriano.

2.2 Imobilização da biomassa

O procedimento de imobilização dos fungos no material suporte ocorreu fora do reator, tendo sido a espécie de *Aspergillus niger* AN400 imobilizada em espuma de poliuretano cortada em cubo de 1 cm de aresta e acondicionadas em seis frascos (*Erlenmeyers*) de 250 mL, contendo 1g.L⁻¹ de glicose e meio sintético: (NH₄)₂SO₄ (0,5g.L⁻¹), NaNO₃ (0,25g.L⁻¹), KH₂PO₄ (0,20g.L⁻¹), MgSO₄ (0,25g.L⁻¹), CaCl₂·2H₂O (0,01g.L⁻¹), CuSO₄·7H₂O (0,08g.L⁻¹), H₂MoO₄ (0,05g.L⁻¹), MnSO₄·5H₂O (0,05g.L⁻¹), Fe₂(-SO₄)₃ (0,05g.L⁻¹), ZnSO₄(0,04g.L⁻¹) e antibiótico-Megacilin SuperPlus (0,5g.L⁻¹).

Foram adicionados 2,5 g de espuma de poliuretano em cada *Erlenmeyer* e 150 mL do meio com nutrientes, todos estes previamente esterilizados em autoclave a 121°C por 15 minutos. Ao atingir a temperatura ambiente de 26°C, os *Erlenmeyers* foram inoculados com suspensão de esporos do fungo na concentração de 2x10⁶ esporos.mL⁻¹.

Os *Erlenmeyers* foram então mantidos em mesa agitadora horizontal, sob agitação de 150 rpm, durante 72 h, e após este período, o meio sintético era renovado por um meio recém preparado. Todo o procedimento de imobilização levou cerca de 7 dias, quando então as espumas foram transferidas para o reator em batelada para o início da operação.

2.3 Montagem e operação do reator em batelada sequencial com biomassa imobilizada

O reator era cilíndrico, em vidro, e possuía volume total de 5 L e volume reacional (TR) de 4 L, além de vedação na parte superior que consistia de tampa plástica rosqueável (Figura1), com passagem para mangueira – com diâmetro interno de 4 mm – para

fornecimento de ar, o qual foi provido no meio por uso de mini-compressor com vazão de 250 L.h⁻¹ (Figura 1). O reator ficava envolto por sacola plástica na cor preta, para evitar possível fotodegradação.

Figura 1 – Reator com biomassa fúngica imobilizada em espuma de poliuretano.



Fonte: Autor (2017).

O reator foi alimentado com água residuária sintética contendo corante índigo carmim (100 mg.L⁻¹), simulando o efluente oriundo da etapa de lavagem de tecidos do processamento têxtil, tendo sido preparada com água de torneira e adicionada de 2 g.L⁻¹ de glicose, Vishiniac (1mL.L⁻¹) e antibiótico Megacilin SuperPlus (0,5g.L⁻¹).

A operação do reator ocorreu durante 40 dias, por 10 ciclos, sob tempo reacional (TR) de 48 h. É importante mencionar que antes de o reator ser operado nessas condições, o mesmo foi estudado quanto à remoção de corante com adição de 1 g.L⁻¹ e 1,5 g.L⁻¹ de glicose, ao longo de 1 ano (dados não apresentados).

O volume amostral retirado em cada ciclo para a realização das análises foi de apenas 10% do volume útil do reator, realizando-se, no afluente e efluente, a determinação das variáveis: pH; matéria orgânica bruta e dissolvida, em termos de DQO, concentração de corante e turbidez.

As variáveis foram obtidas utilizando os métodos descritos por APHA (2005), exceto corante, que ocorreu segundo método descrito por Rodrigues et al. (2011), com uso de espectrofotômetro UV VIS e leitura de absorvância a 610 nm (cor real). A leitura de turbidez foi feita com o emprego de um turbidímetro de bancada DLT – WW.

2.4 Levantamento das atividades e requisitos de qualidade para o água de reúso

No presente estudo, foi realizado levantamento bibliográfico sobre as principais atividades de reúso na indústria e das características necessárias para a água a ser empregada nas referidas atividades, buscando-se obter valores requeridos de DQO (Demanda Química de Oxigênio), turbidez e pH.

Posteriormente, fez-se comparação entre a qualidade do efluente final produzido pelo reator com fungos no tratamento da água residuária têxtil e os valores obtidos para verificação da possibilidade de se reutilizar o efluente final do estudo em alguma atividade de reúso macro-interno, utilizando parâmetros estabelecidos por Hart (1994), EPA (1992), RD 1620 (2007) e Vajnhandl (2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água residuária sintética que alimentou o reator biológico durante o período estudado tinha as características apresentadas na Tabela 1.

As características do efluente sintético utilizado no estudo são comuns às de efluentes têxteis, ainda que alguns parâmetros possam variar de efluente para efluente, assim como relatado por Hassemer

e Sens (2002). Os valores de parâmetros como turbidez e matéria orgânica originalmente no meio foram de acordo com o encontrado em outros efluentes da mesma natureza, como reportado nos trabalhos de Hassemer e Sens (2002) e Alexandre et al. (2014), que reportaram encontrar valores de turbidez de 270 UT e 140 UT, respectivamente.

Tabela 1: Características da água residuária sintética que foi utilizada na alimentação do reator biológico

Variável	Concentração média ± Desvio padrão
Corante (mg.L ⁻¹)	100 ± 1,41
DQO bruta (mg.L ⁻¹)	2570,4 ± 282
DQO solúvel (mg.L ⁻¹)	2386,4 ± 159
Turbidez (UT)	205 ± 19
pH	5,03 ± 0,05

Contudo, Silva (2007), ao realizar estudo de caracterização de efluentes proveniente da etapa de tingimento de tecidos, encontrou valores de 1838,91 mg.L⁻¹ e 5310 UT para DQO e turbidez, respectivamente, o que demonstrou a grande variação das características dessas águas residuárias, as quais estão intrinsecamente relacionadas aos processos e às etapas de produção, requerendo a utilização de sistema de tratamento resistente a essa oscilação a fim de não haver perda da eficiência para a produção de água de qualidade.

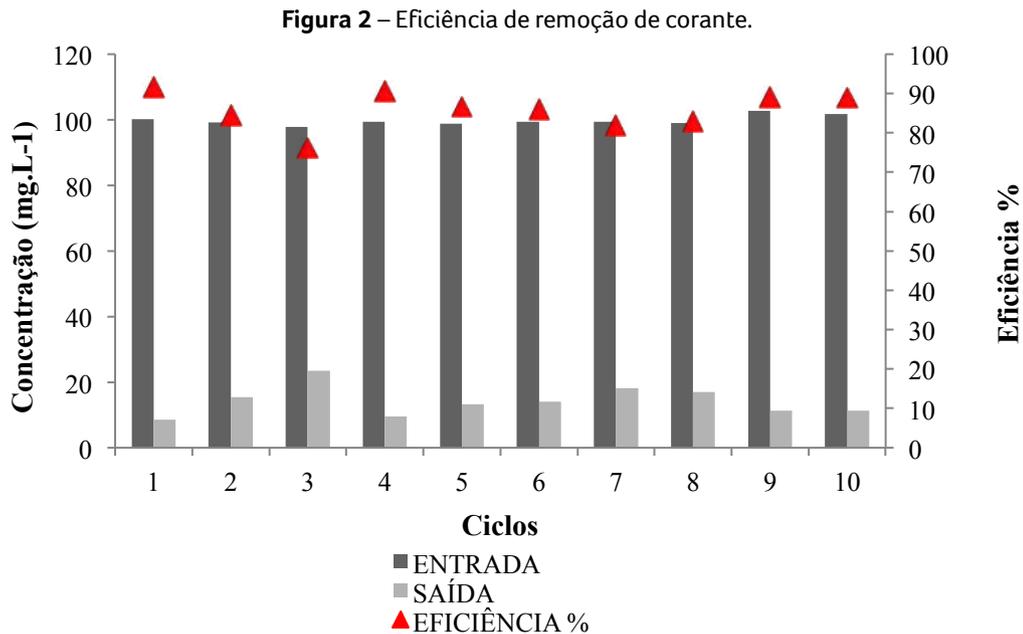
A produção do efluente final, seja para lançamento final em corpo hídrico receptor ou como insumo na atividade de reúso, exige tanto adequação aos requisitos de emissão e de qualidade como constância de suas características. O efluente do reator fúngico, durante o período estudado apresentou as características mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Características do efluente final do reator com fungos no final dos ciclos Estudados

Variável	Concentração média ± Desvio padrão
Corante (mg.L ⁻¹)	14 ± 4,5
DQO bruta (mg.L ⁻¹)	1303 ± 83
DQO solúvel (mg.L ⁻¹)	1167 ± 81
Turbidez (UT)	51,5 ± 40
pH	3,64 ± 1,2

Dentro desta perspectiva, houve boa remoção de corante em todos os ciclos operacionais (Figura 2), com remoção média acima de 80%, tendo ocorrido pouca variação das características

do efluente final produzido. A maior eficiência de remoção foi registrada no ciclo 1, enquanto a menor eficiência ocorreu no ciclo 3, com valores de 91,4% e 76%, respectivamente.



Fonte: Autor (2017).

Contudo, o efluente final apresentou coloração, ainda que discreta, para a presença do índigo na concentração obtida após a ação fúngica ($14 \pm 4,5 \text{ mg.L}^{-1}$). Isso ocorreu porque mesmo a adição de pequenas concentrações de corante em água é suficiente para resultar em coloração do meio, uma vez que, devido à sua natureza, os corantes são detectáveis pelo olho humano mesmo em concentrações baixas, em torno de 1 mg.L^{-1} , sendo que corantes reativos são detectáveis em concentrações inferiores a esse valor (BERTAZZOLI; PELEGRINI, 2002).

Assim, levando-se em consideração a concentração inicial de 100 mg.L^{-1} presente no afluente, houve boa remoção, ainda que as concentrações obtidas no efluente tratado tenham sido superiores a 1 mg.L^{-1} , o que fez com que o mesmo ainda se apresentasse com discreta coloração.

Araújo et al. (2013) realizaram estudo sobre a descoloração do corante têxtil índigo carmim pelas espécies fúngicas *Aspergillus terreus* e *Aspergillus sclerotiorum*. Os autores utilizaram no estudo concentração de corante em torno de 50 mg.L^{-1} . Os fungos foram inoculados em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo extrato de malte e corante. Os autores operaram os reatores com tempo reacional de 10 dias, sendo que no quinto dia de experimento, a espécie *Aspergillus terreus* descoloriu 100% do corante têxtil, enquanto que *Aspergillus sclerotiorum* descoloriu 87%, chegando a descolorir 100% no último dia de operação.

Em outro trabalho, Almeida et al. (2012) também avaliaram a remoção de cor por fungos filamentosos em meio contendo índigo carmim. Nesse estudo, trinta e sete fungos foram isolados do solo de um Rio em Pernambuco para selecionar os que

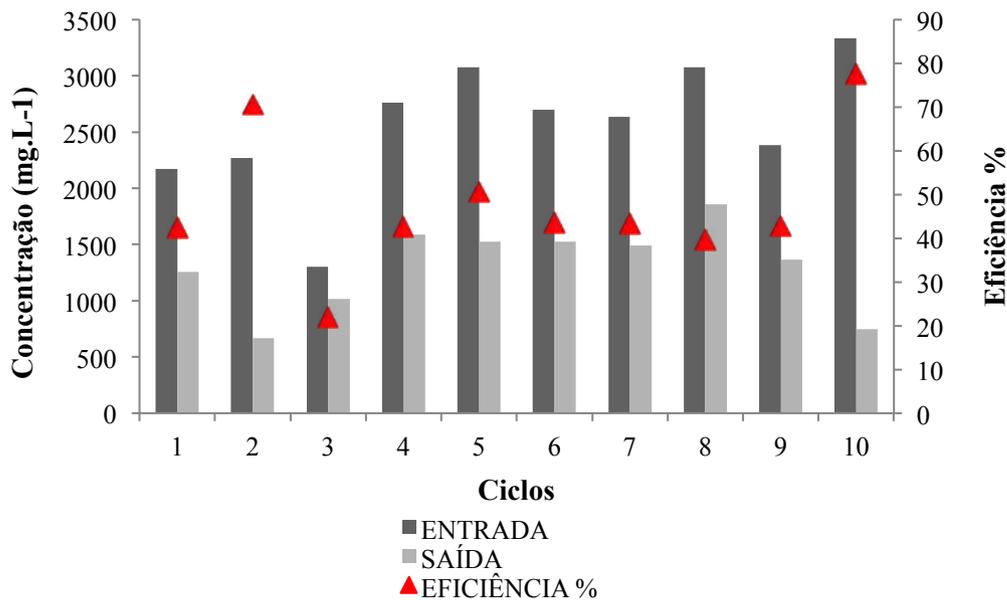
apresentassem maior capacidade para descolorir o corante. O gênero *Penicillium sp.* conseguiu em 120 horas consumir 3 mg.L⁻¹ do corante inicialmente presente no meio.

Tendo em vista que os autores acima citados, em seus estudos, operaram reatores em tempos reacionais superiores ao desta pesquisa (48 h), respectivamente, 5 e 2,5 vezes, e com concentrações de índigo carmim menores que 100 mg.L⁻¹, nesta pesquisa foi alcançada boa eficiência de remoção de corante a partir de adição superior do índigo no meio e em menor tempo de reação, o que mostrou a capacidade do *Aspergillus niger* AN400 em tratar

este tipo de efluente com concentração elevada de corante.

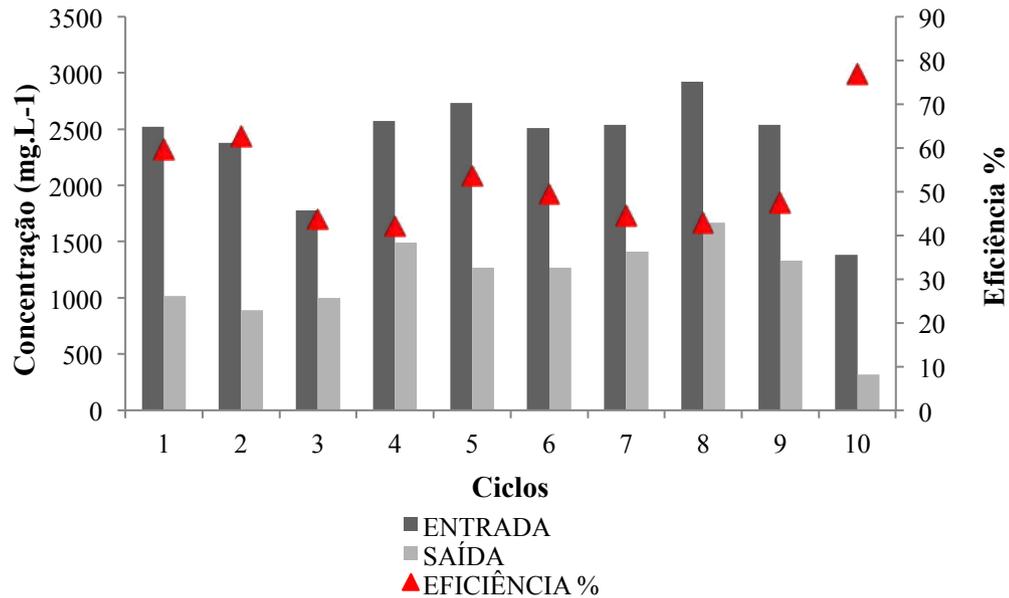
Em relação à remoção de matéria orgânica, verificou-se que no ciclo 10 ocorreram os maiores percentuais, de 77,6%, em relação à DQO bruta, e de 76,9% para DQO solúvel. O ciclo 3 apresentou a menor eficiência de remoção em relação a DQO bruta (21,9%); já em relação à DQO solúvel, a menor eficiência foi registrada no ciclo 4 (41,9%), tendo-se chegado à eficiência média de remoção de matéria orgânica bruta de 43% e para a solúvel, de 52%. Porém, a concentração final de matéria orgânica ainda foi elevada, variando de 667 mg.L⁻¹ à 1855 mg.L⁻¹ para a fração bruta e de 319 mg.L⁻¹ a 1665 mg.L⁻¹ para a solúvel (Figura 3 e 4).

Figura 3 – Eficiência de remoção de DQO bruta.



Fonte: Autor (2017).

Figura 4 – Eficiência de remoção de DQO Solúvel.



Fonte: Autor (2017).

Os valores mais elevados de DQO em relação aos de corante podem ser justificados pelo fato de os fungos utilizarem a fonte de carbono, na síntese de biomassa, produzindo energia e metabólitos que podem ser acumulados no interior da célula ou excretados, formando subprodutos que são contabilizados na DQO (WITTEVEEN, 1993; RODRIGUES, 2006).

Além disso, é importante mencionar ainda que em alguns ciclos, como os ciclos 2, 3 e 4, foi observado o acúmulo de subprodutos aromáticos, o que foi verificado pelas varreduras, nos com-

primentos de onda de 200 nm a 1000nm, realizadas no afluente e efluente do reator ao longo da sua operação (Figura 5, 6 e 7).

As varreduras realizadas no início e no final de cada ciclo mostraram a diminuição do comprimento de onda em 610 nm, relativa ao grupo cromóforo do corante, o que ficou refletido na descoloração da água residuária; no entanto, a mineralização do índigo carmim não foi completa pela presença dos subprodutos decorrentes da ruptura da molécula inicial do corante, particularmente o benzeno.

Figura 5 – Varredura realizada em amostras do afluente e efluente do reator (Ciclo 2)

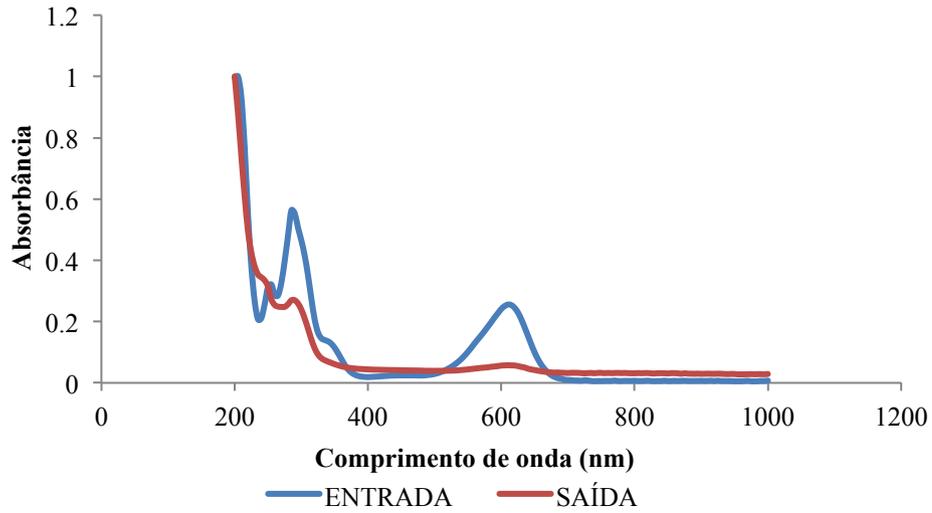


Figura 6 – Varredura realizada em amostras do afluente e efluente do reator (Ciclo 3)

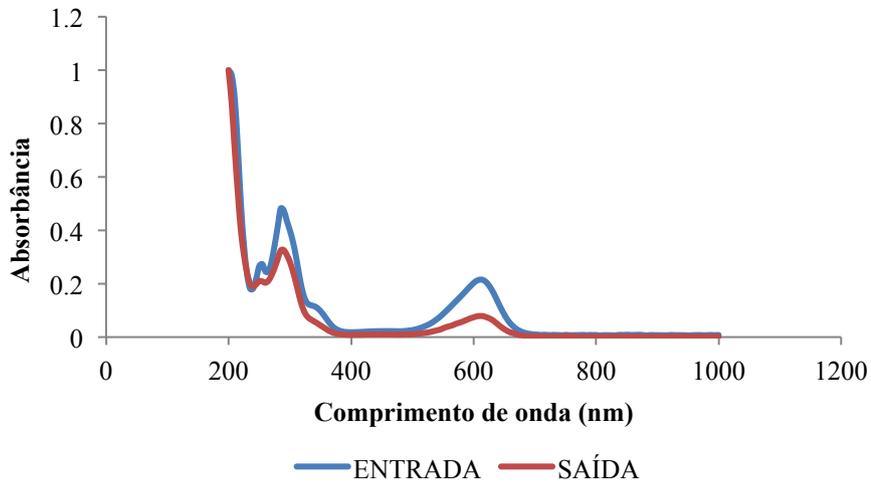
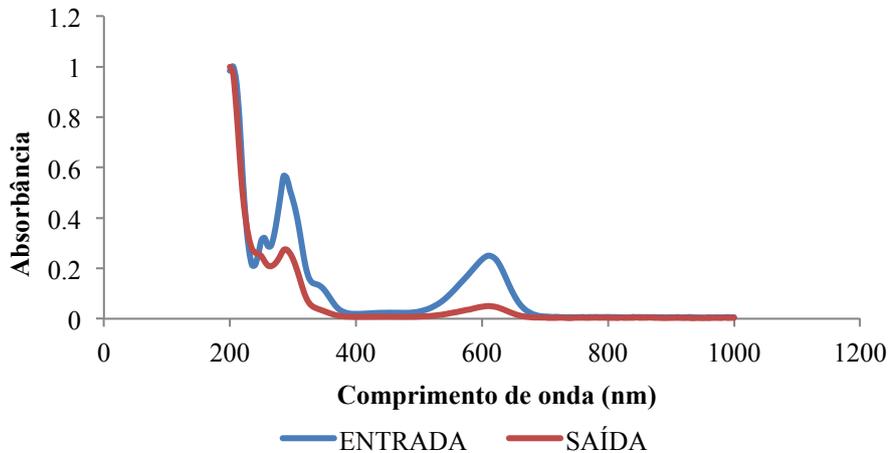


Figura 7 – Varredura realizada em amostras do afluente e efluente do reator (Ciclo 4)



Um estudo da degradação de corante índigo carmim *in natura* foi realizado por Silva et al. (2015). Os autores efetuaram as varreduras no afluente e efluente e observaram a presença de compostos aromáticos, tais como o benzeno, sendo a presença desse composto verificada no comprimento de onda de 205 nm e outros compostos aromáticos no comprimento de 265 nm. Neste último, os autores observaram decréscimo da banda no efluente em relação ao afluente.

No presente estudo, as varreduras realizadas mostraram diminuição nesse comprimento de onda (205 nm) em todos os ciclos, sendo que para os ciclos 2, 3 e 4, esta diminuição foi superior a 15%, como observado na Figura 5. Já em relação ao comprimento de 265 nm, a diminuição média dos valores das absorvâncias medidas no afluente e efluente do reator foi de 33%, com máxima de 44,4% (ciclo 4) e a mínima de 18% (ciclo 2).

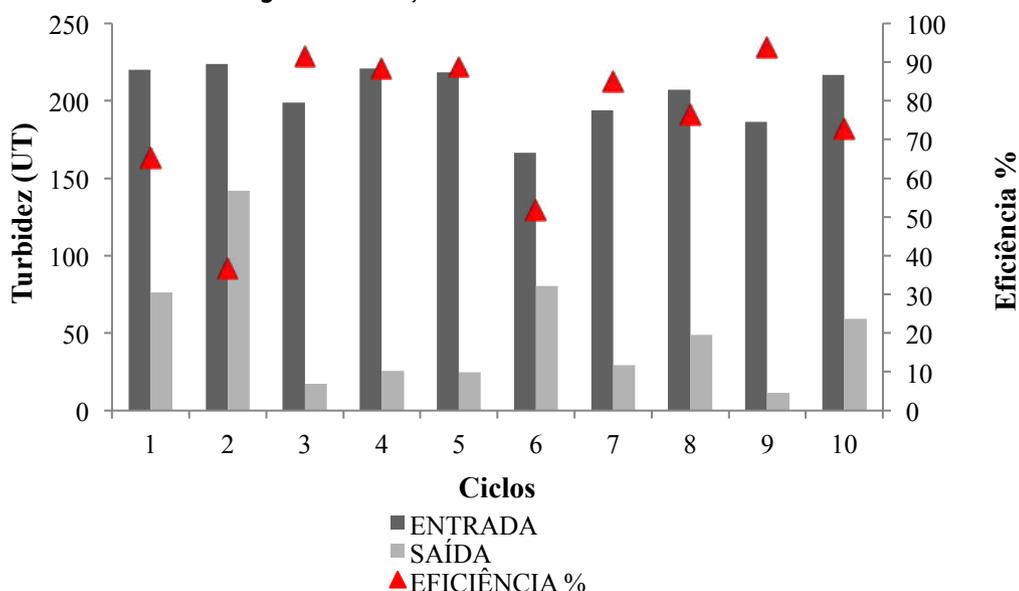
De acordo com Campos et al. (2001), a rota de biodegradação do corante índigo envolve a formação de ácido antranílico. Segundo os autores, em uma primeira etapa, dois átomos de hidrogênio são subtraídos da molécula de índigo e, em seguida, ocorre a clivagem do anel de índigo em dois anéis, formando a isantina, que é hidrolisada produzindo ácido

antranílico. Antes da degradação total do índigo, a atividade catalítica das lacases promove a formação de dehidroíndigo, que é facilmente assimilado por nucleófilos, conduzindo a uma incorporação de átomos de oxigênio, formando dois compostos oxidados, com um ou dois átomos de oxigênio. A molécula do ácido antranílico consiste em um anel benzênico com dois grupos funcionais adjacentes.

Segundo Costa (2009) e Carvalho (2014), o benzeno é um tipo de hidrocarboneto monoaromático de reconhecida toxicidade e de difícil biodegradação. A Resolução CONAMA 430 de 2011 estabeleceu o valor de 1,2 mg.L⁻¹ de benzeno para padrão de lançamento de efluente em corpos hídricos, porém na presente pesquisa não foi possível determinar a concentração desse composto no efluente final devido à ausência de equipamento capaz de realizar a detecção deste composto.

Em relação à turbidez, todos os ciclos apresentaram eficiência de remoção superior a 50%, com exceção do ciclo 2 (37%), sendo que a máxima remoção foi observada no ciclo 9, de 94% (Figura 8). O valor de turbidez na saída do ciclo 2, que foi de 142 UT, foi atribuído ao desprendimento de pedaços de biomassa do reator.

Figura 8 – Variação da turbidez nos ciclos estudados.

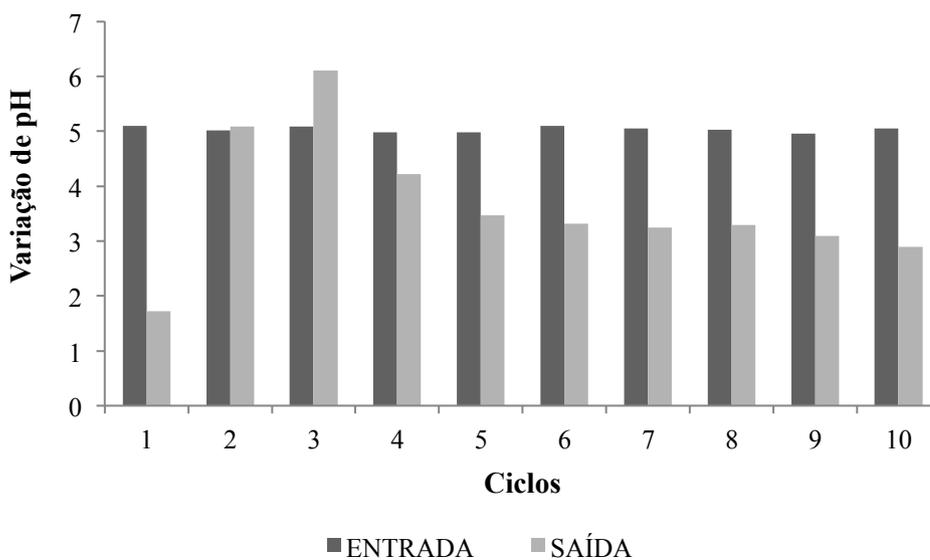


Fonte: Autor (2017).

Já o pH do efluente manteve-se na faixa característica de meio ácido, com valores mais elevados nos ciclos 2 e 3, de 5,09 e 6,11, respectivamente (Figura 9). O valor médio do pH na saída foi de 3,64, sendo o valor mínimo de 1,72 (Ciclo 1) e o valor máximo de 6,11 (Ciclo 3).

Pela Resolução CONAMA nº 430/2011, o valor de pH para lançamento de efluente em corpos hídricos deve estar entre 5 e 9. Contudo, esses valores podem ser facilmente ajustados para atender aos padrões de lançamento ou de reúso, sendo esse ajuste, em caso de reutilização do efluente, dependente da finalidade da água de reúso.

Figura 9 – Variação do pH nos ciclos estudados.



Fonte: Autor (2017).

Com base nos resultados obtidos, não houve degradação total de corante índigo carmim, fazendo com que o efluente final ainda apresentasse cor, além de considerável presença de matéria orgânica. Portanto, torna-se inviável para o lançamento em um corpo hídrico de acordo com a legislação.

Ainda assim, há a possibilidade de esse efluente ser reutilizado em atividade de reúso dentro da própria indústria têxtil, conforme características de qualidade estabelecidas por Hart (1994) na Tabela 3.

Comparando os valores da Tabela 3 com os dados do presente trabalho, verificou-se que, em termos de DQO, as concentrações na saída apresentaram valores dentro dos parâmetros estabelecidos por Hart (1994) para os setores que utilizam fios acrílicos, nylon e algodão, malhas 100% algodão e tecido plano 100% algodão, uma vez que o efluente do reator apresentou concentração média de 1167 mg.L⁻¹, em relação à DQO filtrada, estando dentro do valor máximo estabelecido por Hart (1994).

Tabela 3: Parâmetros de água utilizados em diversos setores da Indústria Têxtil

Parâmetros do efluente	Unidade	Setores da Indústria Têxtil				
		Fios acrílicos e nylon	Fios acrílicos, nylon e algodão	Malhas 100% algodão	Tecido plano 100% algodão	Tecido plano, seda e viscose
pH		03 - 05	08 - 11	09 - 11	08 - 11	08 - 10
DBO5	mg.L ⁻¹	100 - 200	400 - 600	401 - 600	800 - 1500	100 - 300
DQO	mg.L ⁻¹	500 - 200	800 - 1200	800 - 1200	800 - 1200	300 - 600
Dureza Total	CaCO ₃	40 - 10	40 - 50	40 - 60	50 - 100	30 - 70
Óleos / Graxas	mg.L ⁻¹	15 - 70	20 - 120	20 - 70	10 - 80	40 - 150
Sólidos Suspensos	mg.L ⁻¹	40 - 100	100 - 200	200 - 300	200 - 300	100 - 200
Sólidos Sedimentáveis	mg.L ⁻¹	01 - 10	01 - 10	0,1 - 5	0,1 - 5	0,1 - 2
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	2000 - 3000	2000 - 3000	2500 - 4000	2000 - 3000	3000 - 4500
Cor	mg pt/CO	200 - 300	300 - 400	500 - 700	200 - 400	500 - 7000
Condutividade	U S/cm	1200 - 1600	1500 - 2500	1500 - 3000	1500 - 4000	1500 - 4000

Fonte: Hart (1994)

Em relação à turbidez, a maioria dos ciclos analisados apresentou valores adequados ao reúso de água destinada ao sistema de resfriamento, que de acordo com EPA (1992) não devem ser superiores a 50 UT, sendo que os ciclos 1, 2, 6 e 10 apresentaram valores superiores ao recomendado.

Já de acordo com a RD 1620 (2007), a turbidez é um parâmetro físico-químico importante para o reúso de água residuária têxtil, sendo que o mesmo aponta como limite máximo 66,75 UT. Considerando esse limite proposto, apenas três dos ciclos estudados apresentaram valores acima do limite permitido para tal finalidade, sendo a média efluente 51,5 UT, como máxima de 142 UT no ciclo 2 e mínima de 11,6 no ciclo 9, havendo assim a necessidade de uma etapa de polimento no efluente afim de assegurar as características que são pré-requisito para o reúso do mesmo

Com os dados obtidos para DQO e Turbidez, há a necessidade de uma etapa de polimento no efluente, como membrana de filtração ou carvão ativado, a fim de assegurar as características que são pré-requisito para o reúso do mesmo.

Vajnhandl (2014) estabeleceu valores de DQO, cor e pH para reúso em lavagem de equipamentos. Em relação à DQO da água de reúso, os valores devem estar entre 500 e 2000 mg.L⁻¹, logo o efluente do

processo estudado poderia ser reutilizado, uma vez que não ultrapassou os limites exigidos.

O pH da água de reúso para o referido processo deve estar entre 7 e 8, sendo assim, para o efluente apresentado neste trabalho há a necessidade de ajustar o pH para os valores desejáveis no caso de um efluente final que apresente valores na faixa ácida. No que diz respeito à cor da água de reúso, esta deve ser virtualmente ausente; portanto, para esse parâmetro, é necessário um pós-tratamento que remova a cor excedente, tornando o efluente viável tanto para reúso como para o lançamento em um corpo hídrico. Na Tabela 4 se encontram os parâmetros que foram utilizados para comparação.

Tabela 4 – Parâmetros de água de reúso utilizados para comparação

Fonte	Turbidez		
	DQO mg.L ⁻¹	Turbidez	pH
Hart (1994)	200 - 1200	-	7 e 8
EPA (1992)	-	50	-
RD (2007)	-	66,7	-
Vajnhandl (2014)	500 - 2000	-	7 e 8

Dos parâmetros apresentados, aqueles estabelecidos por Vajnhandl (2014) para lavagem de equipamentos seria a atividade de reúso macrointerno mais adequada para a utilização do efluente ob-

tido neste estudo, uma vez que não trata de valores específicos de turbidez e a concentração de DQO do efluente se encontra na faixa recomendada. Para a utilização efetiva do efluente nesta atividade, é necessário avaliar os demais parâmetros recomendados, como concentração de ferro, cobre, cromato, assim como a utilização de pós-tratamento, a fim de eliminar a cor excedente do efluente final.

Devido ao seu caráter tóxico e recalcitrante, é importante salientar que o benzeno pode ser danoso a alguns processos de reúso, principalmente àqueles em que o homem tem contato direto com a água. É importante mensurar o grau de risco da presença do benzeno em águas de reúso, levando em consideração a atividade prevista e a concentração máxima admissível deste composto a fim de não comprometer a atividade.

No caso do reúso da água para lavagem de equipamentos, é vital estabelecer a concentração de benzeno cujo limite não possa ocasionar danos ao processo, como possíveis corrosões, sendo que não foi observada literatura pertinente aos efeitos negativos da presença e concentração limite do mesmo em águas para esta e outras finalidades dentro do processamento têxtil.

4 CONCLUSÃO

O reator em bateladas sequenciais com fungos apresentou boa eficiência na remoção do corante sintético (86%). Porém, a degradação do índigo não foi total e ocorreu a geração de subprodutos aromáticos, como o benzeno, o que ficou refletido na menor eficiência de remoção de matéria orgânica e nas varreduras realizadas.

Apesar disso, o efluente no final do processo apresentou valores favoráveis ao reúso de água para lavagem de equipamentos, dentro dos parâmetros estudados, ainda que seja necessária a avaliação de outros parâmetros estabelecidos, parti-

cularmente de benzeno, sendo que não há relatos na literatura para valores limites a fim de que o mesmo não ocasione problemas para as atividades de reúso, comprometendo o funcionamento de máquinas e a qualidade do produto final.

Os valores apresentados mostram que a tecnologia pode ser uma ferramenta importante para a produção de efluente a ser reutilizado, apesar da presença do benzeno no efluente final, podendo ser necessário o emprego de pós-tratamento, conforme avaliação dos requisitos da atividade de reúso.

5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D.G.; SILVA, M.G.C.; MENDONÇA, R.C.; MACIEL, C.C.S.; GUSMÃO, N.B. Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos. *Scientia Plena*. Vol. 8, nº 5, 2012.
- ALEXANDRE, J.E.C.; PARENTE, T.C.; RIBEIRO, J.P.; MAIA, L.G.C.; ABDALLA NETO, E.F.; do NASCIMENTO, R.F. **Avaliação da Deficiência da Eletrocoagulação-Flotação na Descoloração de Efluente Têxtil**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, 2014.
- APHA. **Standard Methods for examination of Water and Wastewater American Water Works Association**, Walter Environment Federation, 20ª edição, 2005.
- ARAÚJO, G.R.; BEZERRA, J.D.P.; FREIRE, K.T.L.S.; PAIVA, L.M.; SOUZA MOTTA, C.M.; MALOSSO, E.; SILVA, D.C.V. **Descoloração do Corante Têxtil Índigo Carmine por Espécies de Aspergillus**. I Conicbio, Recife, vol. 2, 2013.
- BERTAZOLLI, R.; PELEGRINI, R. **Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através de processo fotoeletroquímico**. Química Nova, São Paulo, vol. 15, n. 3, p. 477-482, 2002.
- CAMPOS, R., KANDEBAUER, K., ROBRA, K., CAVACO-PAULO, A. and GUBITZ. Indigo degradation with purified laccases from *Trametes hirsute* and *Sclerotium rolfsii*. *Journal of Biotechnology*. 89 (2-3), 131-139, 2001.
- CARVALHO, E.S. **Reúso do Mesocarpo de Coco na remoção de contaminação derivados de Petróleo presentes em corpos d'água, utilizando sistema de adsorção em leito diferencial**. Monografia – Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 2011. Resolução Conama nº 430. Disponível em: www.mma.gov.br/conama Acesso em 31/05/2016.
- COSTA, D.F; **Prevenção da exposição ao benzeno no Brasil**. Tese (Doutorado em Patologia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 31-33p., 2009.
- DULLIUS, C. H. **Utilização de fungos para biodegradação de corantes têxteis sintéticos**. Dissertação (Mestrado em em Desenvolvimento Regional). Universidade Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2004.
- [EPA] Environmental Protection Agency. Guidelines for water reuse. **Technology transfer manual** n. EPA/625/R-92/004. September, Washington, D.C.USA; 1992.
- ERDUNLU, N. Reuse of effluent water obtained in different textile finishing processes. **Autex Research Journal**. Vol. 12, Issue 1, Pages 23–28, março 2012.
- HART, E. Reciclagem de Água, um Programa Economicamente Viável e Tecnicamente Inovativo. Tecnologia Meio Ambiente. **Química Têxtil**, p.07-10, fevereiro de 1994.
- HASSEMER, M.E.N; SENS, M.L. **Tratamento do Efluente de uma Indústria Têxtil. Processo Físico-Químico com Ozônio e Coagulação/Floculação**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 7 - Nº 1 - jan/mar 2002 e Nº 2 - abr/jun 2002
- FUJISAWA, R.S; LAMAS, W.Q. Reuse of effluent from dyeing polyester fibers by thermal fixation using acid-based colors. Universidade Nove de Julho, **Exacta**, vol. 9, núm. 2, 2011, pp. 241-250.
- MANCUSO, P.C.S; SANTOS, H.F. **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2007.
- Real Decreto RD 1620/2007 (**Spanish Normativa for wastewater reclamation and reuse**), 2007.
- RESENDE, L. Reúso na Indústria Têxtil e Lavanderias. **Hydro**, abril, 2012.
- RODRIGUES, K.A. **Uso de reatores biológicos com fungos para remoção de fenol de água residuária sintética**. 130f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- RODRIGUES, K; SILVA, K.M.L; SILVA, G.M.M; LIMA, P.C.C. Remoção de corante por uso de *Aspergillus niger* AN400 em reator em bateladas sequenciais. **Química Nova**. Vol. 34, Nº. 7, p. 1119-1123, 2011.
- RODRIGUES e SAMPAIO, 2012- RODRIGUES, K.; MARINHO, G. **Fungos e Águas Residuárias Industriais: uma nova tecnologia**. Fortaleza, Editora Imprima, 414p, 2012.
- SILVA, K.M.L; WANDERLEY, C.L.P; MARINHO, G; OLIVEIRA, J.C; SANTOS, A.D.O; RODRIGUES, K. Influência do excesso de nitrogênio amoniacal no tratamento de efluente têxtil em reator de bateladas sequenciais com *Aspergillus niger* AN 400. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.4, pág 635-643, outubro/dezembro, 2015.
- SILVA, Kesia Karina de Oliveira Souto. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil**. 2007. 177 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- TOLEDO, R. A. S., Tecnologia da Reciclagem. **Química Têxtil**, p.8-14, Março de 2004.
- VAJNHANDL, S. VALH, J.V. The status of water reuse in European textile. **Journal of Environmental Management**. March, 2014.
- VITORATTO, E; SILVA, J.O.P. Reúso da Água na Indústria, **Informativo CRQ IV Conselho Regional de Química 4ª região**, Páginas and Letras Editora e Gráfica Ltda., p. 10 e 11, São Paulo, 2004.
- WEBER, C.C; CYBIS, L.F; BEAL, L.L. **Reúso da água como ferramenta de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol. 15, n. 2, junho. 2010.
- WITTEVEN, C.F.B. **Gluconate formation and polyolmetabolismo in *Aspergillus niger***. 1993.128f. Thesis. Wageningen University. Wageningen, 1993.