

TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO-AERÓBIO PARA REMOÇÃO DE CORANTE DE ÁGUA RESIDUÁRIA TÊXTIL SINTÉTICA

Bárbara Chaves Aguiar Barbosa
Av. Tenente Lisboa, nº2535, Carlito Pamplona.
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
barbara.cefetce@gmail.com

Carla Bastos Vidal
Universidade Federal do Ceará - UFC
Mestrado em Saneamento Ambiental
carlab_vidal@hotmail.com

Carlos Ronald Pessoa Wanderley
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
Curso de Enga. Ambiental – Campus Maracanaú
ronald@ifce.edu.br

Glória Marinho
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental
Campus Fortaleza
gloriamarinho@ifce.edu.br

Kelly Rodrigues
Instituto Federal do Ceará (IFCE)
Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental
Campus Fortaleza
kelly@ifce.edu.br

RESUMO

Com a perspectiva de minimizar os impactos gerados pelos efluentes das indústrias têxteis, o presente estudo combinou processos biológicos anaeróbios e aeróbios para tratamento de água residuária sintética, tendo como objetivo a diminuição da concentração do corante azo Vermelho do Congo. Utilizou-se filtro anaeróbio seguido por reator de leito fixo, inoculado com a espécie fúngica *Aspergillus niger* AN400, na concentração de 2×10^4 esporos/mL, e operado com escoamento ascendente. As análises realizadas foram: cor real e cor aparente, corante, demanda química de oxigênio (amostra bruta e filtrada), alcalinidade (na entrada do filtro anaeróbio) e pH. No reator com fungos, foram variadas duas condições de alimentação: adição de 0,5 g/L de sacarose e aumento do TDH de 6 h para 8 h. O percentual médio de remoção do corante, alcançado pelo filtro anaeróbio e pelo reator com fungos, foi similar (63%). Para matéria orgânica particulada, foram obtidas remoções médias de 71% e de 71,6%, respectivamente, para o filtro anaeróbio e para o reator com fungos. Em relação à matéria orgânica dissolvida foi encontrada remoção de 57%, para o filtro anaeróbio, e de 73%, para o reator com fungos. O sistema (anaeróbio/aeróbio) apresentou remoção média de 76% e 66,6% para matéria orgânica da amostra bruta e da amostra filtrada, respectivamente. Os resultados apontaram para a viabilidade do tratamento de efluentes têxteis em uni-

dades anaeróbias com pós-tratamento em reatores com fungos.

Palavras-chave: *Aspergillus niger*, filtro anaeróbio, reator aeróbio com fungos e remoção de corante.

ABSTRACT

With the perspective of minimizing the impacts generated by textile wastewaters, the present study combined biological anaerobic and aerobic processes to treatment of synthetic wastewater in order to reduce the concentration of azo red Congo tracer. An anaerobic filter was used followed by a reactor operated with ascensional flow regime and inoculated with fungal specie *Aspergillus niger* AN400 in the concentration of 2×10^4 spores/mL. It was done the analyses of: true and apparent color, dye concentration, chemical oxygen demand (raw and filtered sample), alkalinity (in the input of the anaerobic filter) and pH. It was varied two feeding conditions: addition of 0,5 g/L of saccharose and increase of HDT from 6 h to 8 h in the reactor containing fungi. The average percentual of dye removal achieved by the anaerobic filter and reactor containing fungi was similar (63%). To the particulate organic matter, it was obtained average removals of 71% and 71,6% to the anaerobic filter and reactor containing fungi, respectively. In relation to dissolved organic matter, it was noted removal of 57% to the anaerobic filter and of 73% to the reactor with fungi. The system anaerobic/aerobic presented mean removal of organic matter of 76% and 66,6% of raw and filtered sample, respectively. The results indicated the feasibility of the textile wastewater treatment in anaerobic units with post-treatment in reactors with fungi.

Keywords: *Aspergillus niger*, anaerobic filter, aerobic reactor containing fungi and dye removal.

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos corantes sintéticos, seja em alimentos ou vestimentas, tem sido amplamente disseminada, podendo-se visualizar sua aplicação na indústria de papel, de alimentos, ou na têxtil [3]. O diferencial em relação aos tipos de corantes e a quantidade de efluente gerada individualmente pela indústria é o que vai determinar o risco que seus resíduos oferecem.

As águas residuárias têxteis são caracterizadas por apresentarem coloração devido à presença dos corantes que não são aderidos ao tecido durante o processo de tingimento. Além da poluição visual, os corantes interferem negativamente na demanda química de oxigênio e na fotossíntese de algas, além de alguns possuírem propriedades carcinogênicas e serem pouco biodegradáveis [1].

Muitos tratamentos têm sido propostos visando à remoção de corantes têxteis destes efluentes, como adsorção e floculação, coagulação, ozonização, dentre outros. No entanto, esses tratamentos não são economicamente viáveis. Processos químicos como, por exemplo, adsorção em carvão ativado e coagulação geram alta quantidade de lodo, sendo dispendiosos financeiramente, já que o lodo produzido nesses processos precisa de

tratamento adequado para disposição final ao solo [2].

Em relação ao tratamento biológico desses efluentes, o mesmo se apresenta como solução viável e de baixo custo de implementação. A utilização de tratamentos conjugados (anaeróbio/aeróbio) tem resultado em boa solução para obtenção de melhores eficiências de remoção de corante, cor e matéria orgânica, especificamente, no caso de unidades anaeróbias, que ao tratarem efluentes têxteis, liberam, mediante a clivagem do corante, aminas aromáticas cancerígenas, as quais exigem para sua adequada remoção do meio o pós-tratamento desse efluente em unidades aeróbias [4].

Os estudos sobre o papel desempenhado pelos fungos no tratamento de efluentes industriais têm crescido amplamente, isso porque esses microrganismos possuem grande potencial para degradar moléculas de alto peso molecular, como as presentes em águas residuárias de beneficiamento da castanha de caju [5,25], de pesticidas [6,27] e de petróleo [7,26], entre outras. A capacidade dos fungos para remover corantes da classe azo se relacionada ao fato desses microrganismos secretarem *exoenzimas*, tais como *peroxidases* e *fenolxidasas* que agem para a ruptura dos grupamentos das ligações azo [8].

A presente pesquisa, na perspectiva de apresentar alternativa para o tratamento de efluentes têxteis, utilizou filtro anaeróbio com pós-tratamento em reator fúngico, inoculado com a espécie *Aspergillus niger* AN400. O uso do sistema anaeróbio/aeróbio buscou diminuir a concentração do corante azo Vermelho do Congo e de matéria orgânica de água residuária têxtil sintética.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram montados e operados dois reatores de leito fixo e escoamento ascendente, filtro anaeróbio seguido de reator biológico com fungos, em escala laboratorial, para tratamento biológico de água residuária sintética têxtil. Os reatores foram operados no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IF-Ce), durante período de sete meses, abrangendo um total de 197 coletas.

A pesquisa foi dividida em duas etapas; na primeira: cultivo e a contagem de esporos de *Aspergillus niger* AN 400; e na segunda, montagem e operação do filtro anaeróbio e do reator biológico com fungos. O corante utilizado foi escolhido por sua ampla utilização e formulação conhecida, como apresentado na Figura 1.

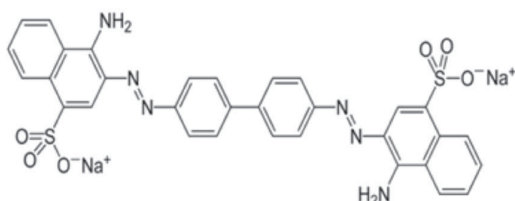


Figura 1- Estrutura do corante Vermelho do Congo.

2.1. ÁGUA RESIDUÁRIA SINTÉTICA

A água residuária têxtil sintética utilizada na alimentação do reator anaeróbio durante toda a pesquisa foi preparada com água de torneira, acrescida de 0,25 g/L de Vermelho do Congo e de macro nutrientes (g/L): NH_4Cl (0,28), K_2HPO_4 (0,25), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,10), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,01). Foi adicionado ainda ao meio, 1 mL de solução de micro nutrientes (g/L): H_3BO_3 (0,05), $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2), ZnCl_2 (0,05), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,5), $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,04), $\text{AlCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (0,09), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (2). O substrato primário empregado foi sacarose, na concentração de 0,5 g/L.

2.2. FILTRO ANAERÓBIO (FA)

O filtro anaeróbio era cilíndrico, com 100 cm de comprimento, construído em policloreto de vinila (PVC) com volume útil de 4,3 L. O meio suporte utilizado no reator foi espuma de poliuretano, cortada em matrizes cúbicas com

1,5 cm de aresta. A água residuária sintética têxtil foi recalçada mediante uso de bomba peristáltica com vazão máxima de 1,6 L/h.

Inóculo

O material empregado como inóculo do filtro anaeróbio foi lodo biológico obtido de reator UASB da Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Ceará (CAGECE), o qual tratava despejos domésticos. A imobilização do lodo nas espumas de poliuretano foi realizada de acordo com a metodologia desenvolvida por Zaiat [9].

Após a imobilização do lodo, este foi adicionado manualmente, ao FA através da abertura superior do reator, a qual foi posteriormente vedada com CAP de PVC.

Partida e operação do FA

O recalque da água residuária sintética foi realizado mantendo-se as mesmas condições operacionais (carga orgânica volumétrica - COV e tempo de detenção hidráulica - TDH) do reator UASB, de onde foi originado o inóculo. Este procedimento teve o objetivo de minimizar o choque da coleta e transporte do lodo, facilitando sua aclimação.

O afluente e o efluente do FA foram armazenados em reservatórios, os quais tinham capacidade de 60 L de água residuária.

2.3. REATOR BIOLÓGICO COM FUNGOS (RBF)

O reator aeróbio de leito fixo e escoamento ascendente foi confeccionado em acrílico, com volume total de 5 L, e diâmetro interno de 90 mm e 80 cm de altura. A unidade possuía

dispositivos de entrada e saída da água residuária a ser tratada e ainda um dispositivo para entrada de ar, cujo fornecimento foi realizado por três mini compressores de ar com vazão de 150L/h e potência de 5W.

O meio suporte empregado foi manta de polietileno, cortada em quadrados de 2 x 2 cm, pesada e acomodada dentro do reator em redes de polietileno.

Cultivo, produção e contagem de esporos da espécie fúngica

O cultivo e produção da espécie fúngica foi realizado de acordo com os procedimentos descritos em Sampaio [6]. A espécie *Aspergillus niger* AN400 foi cultivada em placas de petri com meio de cultura *Agar Sabouraud Dextrose*, acrescido de 1mL da solução de Vishniac por litro de meio de cultura e 0,05 g/L de cloranfenicol, sendo a utilização deste último com objetivo de minimizar o crescimento das bactérias.

As placas foram mantidas à temperatura de $\pm 28^{\circ}\text{C}$, pelo período de sete dias. Os esporos de *Aspergillus niger* foram removidos das placas de petri com 4 mL solução de Tween 80 e transferidos para tubos de ensaio. Para contagem dos esporos foi preparada solução utilizando 50 μL da suspensão de esporos, previamente agitada em agitador tipo Vórtex, acrescido de 950 μL de solução Tween 80, resultando em diluição de 1:20. Em seguida, foram transferidos para câmara de Neubauer, 20 μL da solução preparada, tendo-se procedido à contagem dos esporos em microscópio óptico. Para o cálculo do número de esporos foi utilizada a Equação 1.

$$\text{esporos/mL} = \text{esporos contados} \times \text{diluição} \times 2,5 \times 10^5 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Imobilização dos fungos no meio suporte

O reator foi preenchido com o material suporte e, em seguida, com meio de crescimento adaptado de Rodrigues [29], sendo acrescido de 0,05 g/L de cloranfenicol.

A concentração de inóculo semeada no reator foi de 2×10^4 esporos/mL, permanecendo em aeração por 24 h. O reator foi alimentado continuamente, com recirculação, do mencionado meio de crescimento, durante 4 dias, até a formação do biofilme na superfície do material suporte. Após este período, o reator foi operado em regime de escoamento contínuo, sem recirculação, quando se iniciou a alimentação com o efluente oriundo do filtro anaeróbio.

Operação do RBF

O reator foi alimentado com o efluente do filtro anaeróbio. Ao longo da operação do reator com fungos, o mesmo foi alimentado sem adição de substrato primário (Fase I) e com

adição de substrato primário (Fase II). O substrato primário utilizado foi 0,5 g/L de sacarose.

2.4. CICLOS DE OPERAÇÃO

O filtro anaeróbio foi operado com tempo de detenção hidráulica (TDH) constante de 8 horas ao longo de todo o experimento. A operação do reator com fungos começou com TDH de 6 h e, posteriormente, com TDH de 8 h, abrangendo, respectivamente, 104 dias e 93 dias de operação. No tempo de detenção de 6 h, o reator com fungos foi alimentado sem sacarose (Fase I) e com sacarose (Fase II) no afluente. Ao ser submetido ao TDH de 8 h, a alimentação do reator com fungos ocorreu com adição de sacarose no afluente. Desta forma, o sistema FA – RBF foi operado em dois ciclos: 8 h – 6 h (Fases I e II) e 8 h – 8 h. Na Figura 2 é apresentado em detalhe o sistema FA/RBF utilizado.

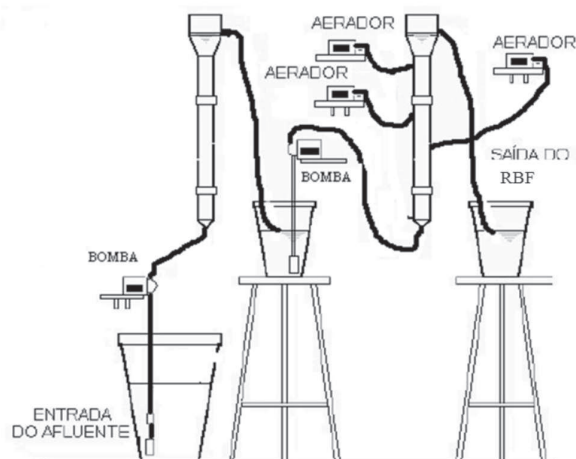


Figura 2 – Esquema do sistema, filtro anaeróbio com pós-tratamento com reator biológico com inóculo de *Aspergillus niger* AN400.

Fonte: Adaptado de Santos et al. [5].

2.5. VARIÁVEIS DETERMINADAS

Para o monitoramento do sistema (FA – RBF) foram determinadas as variáveis DQO, pH e corante, sendo que para o afluente e efluente do filtro anaeróbio foram ainda realizadas análises de alcalinidade e de ácidos graxos voláteis. Todas as análises físicas e químicas foram executadas segundo métodos descritos em APHA [10].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. FILTRO ANAERÓBIO (FA)

A água residuária sintética que alimentou o filtro anaeróbio tinha as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características da água residuária sintética que foi utilizada na alimentação do filtro anaeróbio (FA).

Variável	Valor Médio
DQO Bruta (mg /L)	577 ± 113
DQO Filtrada (MG /L)	469 ± 163
Corante (mg /L)	12 ± 4
Cor real (mg-PT/L)	408 ± 237
Cor aparente (mg-PT/L)	549 ± 182
pH	7,1 ± 0,8

Ao comparar com efluentes têxteis utilizados em outras pesquisas, conforme apresentado na Tabela 2,

Tabela 2: Características de águas residuárias têxteis estudadas.

Autor	Natureza da água residuária	Variável	Valor médio ± DP
ZANOTELLI, C. T. et al. (2004)	Bruta	pH	10 ± 0,46
		DQO (mg/l)	1636 ± 134,57
TUNUSSI e SOBRINHO (2003)	Bruta	Cor aparente mg-PT/L	1344 ± 173,91
		DQO bruta (mg/L)	1018 ± 83
SOMASIRI et al. (2007).	Bruta	pH	9,2 ± 0,2
		Cor real mg - PT/L	35 ± 4
		DQO bruta (mg/L)	832 ± 52
MUSTAFA e DELIA (2007)	Sintética	pH	8,83 ± 0,11
		DQO bruta (mg/L)	4214 ± 241

verificou-se que as características da água sintética deste estudo, em termos de variáveis físicas e químicas, foram, em média, de duas a três vezes menores que as encontradas em efluentes brutos. Esta diferença foi atribuída à adição nestas águas residuárias de aditivos utilizados para melhor fixação do corante ao tecido como, por exemplo, fixadores, espessantes, antiestáticos e resinas [24].

Em relação à eficiência do tratamento, os valores de remoção de corante, matéria orgânica e de cor alcançados pelo filtro anaeróbio foram bons (Tabela 3), e se mantiveram próximos aos encontrados na literatura existente sob a operacionalização de filtros anaeróbios [2, 11, 23].

Tabela 3: Remoção de corante, material orgânica, em termos de DQO, e cor alcançada pelo filtro anaeróbio durante o experimento.

Variável analisada	Concentração média removida	Percentual de remoção (%)
Corante	7,8 mg/L	63
DQO bruta	352 mg/L	71
DQO filtrada	171 mg/L	57
Cor real	56 mg- PT/L	35
Cor aparente	296 mg- PT/L	58

A eficiência do filtro anaeróbio na remoção de cor aparente foi comparada com o estudo desenvolvido por Frijters [11] que utilizou reator anaeróbio de leito fluidizado com pós-tratamento em reator aeróbio visando tratar efluente têxtil. O tratamento inicial com reator anaeróbio teve por objetivo minimizar a toxicidade do efluente para bactérias bioluminescentes do gênero *Vibrio fischeri*, presentes no pós-tratamento aeróbio. Aparentemente, a remoção de cor aparente registrada por aquele autor foi melhor, cerca de 80%, enquanto, nesta pesquisa, foi de 58%. Esta diferença de percentuais de remoção pode ser atribuída à presença de outros tipos de corantes, que não só os da classe azo, na água residuária, utilizada por Frijters[11], como os pertencentes ao grupo dos indigóides, sulfúricos e dispersos. Visto que a água residuária utilizada pelo autor era in natura, esses corantes podem ter contribuído com o maior percentual de remoção, já que possuem ligações mais susceptíveis ao ataque das enzimas produzidas pelos micro-organismos.

Ao observar as remoções de corante e de matéria orgânica bruta, registradas nesta pesquisa, pelo filtro anaeróbio, verificou-se proximidade entre estes valores, na maior parte do

experimento, sendo importante mencionar que nos dias em que as remoções de corante e de matéria orgânica, em termos de DQO, estavam relativamente distantes, pode ter ocorrido a presença de subprodutos como aminas aromáticas cancerígenas que teriam contribuído com o menor percentual de remoção de matéria orgânica, registrado nestes dias.

Na Figura 4 é apresentada a variação da remoção de corante e de DQO bruta no filtro anaeróbio.

Os percentuais médios de remoção de matéria orgânica dissolvida e bruta foram de 64% e 71%, respectivamente, tendo-se constatado contaminação do recipiente que armazenava a água residuária com bactérias, de modo que a diferença entre os valores de DQO bruta e filtrada se tornou maior, já que a determinação de matéria orgânica dissolvida é feita com amostra sem interferência de material suspenso.

Com relação à carga orgânica volumétrica (COV) foi aplicada ao filtro anaeróbio, carga média de 18 kg DQO/m³dia, resultando em eficiência média de remoção de matéria orgânica dissolvida de 57%.

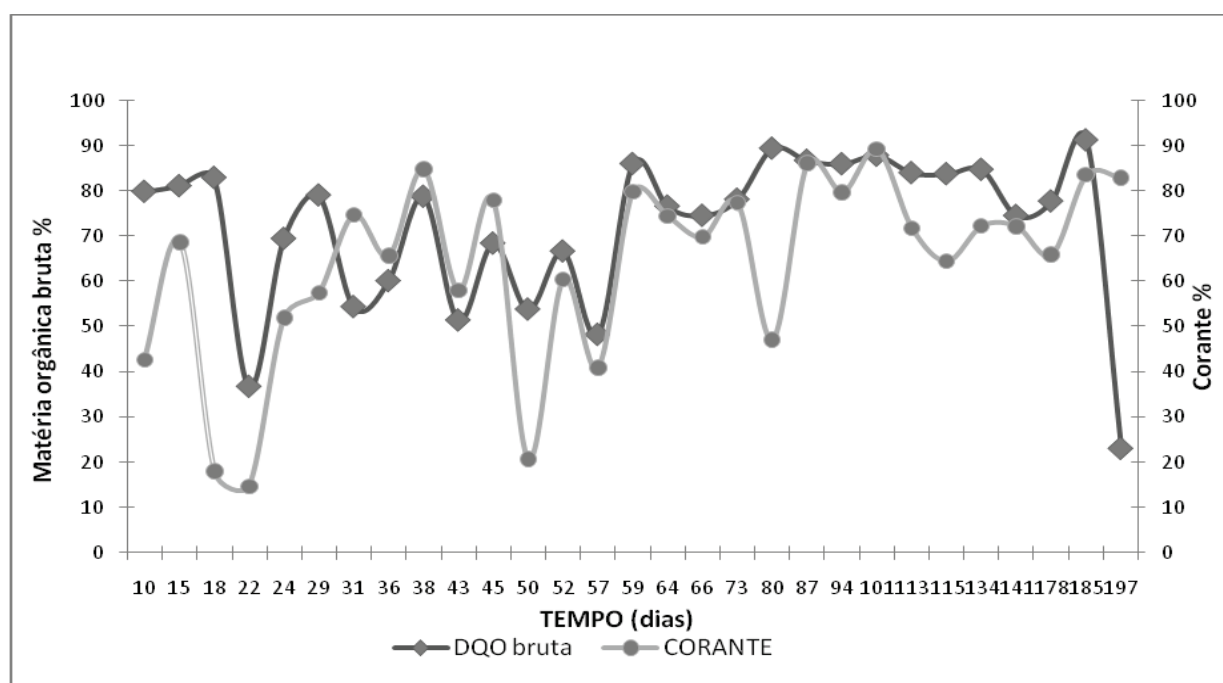


Figura 4 – Variação da remoção de matéria orgânica bruta, medida em DQO, e da remoção de corante no filtro anaeróbio.

Toledo [12] avaliou o desempenho de biorreator aeróbio sob variação de carga orgânica volumétrica, de 4,1 kgDQO/m³dia à 12,4 kgDQO/m³dia e relatou que não houve perda da eficiência de tratamento até submeter o reator a 8,0 kgDQO/m³dia, de modo que a remoção de matéria orgânica, a partir deste valor, não atingiu eficiência superior a 50%, indicando assim a existência de COV limite a ser suportada pelos micro-organismos envolvidos no processo, sem que esta resultasse em perda de eficiência.

É importante frisar que, na presente pesquisa, houve perda de eficiência quando o sistema foi submetido à COV superior de 1,5 a 4,5 vezes às estudadas por Toledo [12].

Observou-se também que, ao diminuir a COV aplicada, ocorreu

aumento do percentual de remoção de matéria orgânica dissolvida, registrando-se, para a COV de 4,5 kgDQO/m³dia, 4,9 kgDQO/m³dia e 6 kgDQO/m³dia, eficiências de, respectivamente, 91%, 87% e 81%.

Assim como na presente pesquisa, Cabello et al. [28] perceberam que o aumento da COV influenciou negativamente a remoção de DQO total. Os autores trataram vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidizado, com carga orgânica média afluenta de 19,5 kgDQO/m³dia. O percentual mais alto de remoção de DQO encontrado pelos autores foi de 85%, quando aplicada COV de 3 kg DQO/m³dia, sendo a média de remoção de DQO total, 57%, assim como observado no presente estudo.

Deste modo, o filtro anaeróbio conseguiu suportar cargas orgânicas superiores às estudadas por Toledo [12] e Cabello et al. [28] e a eficiência apenas diminuiu quando o reator foi submetido à carga orgânica volumétrica elevada (18 kg DQO/m³dia).

A relação entre COV e matéria orgânica foi feita, em termos de DQO filtrada, para que o desprendimento de biomassa não interferisse em aumento da matéria orgânica, sendo a variação dessa relação apresentada na Figura 5.

Mustafa e Esponza [19], utilizando tratamento seqüencial anaeróbio/aeróbio, formado por reator UASB e reator aeróbio, para tratamento de água residuária sintética têxtil, conseguiram, ao aplicarem COV de 3,2 kgDQO./m³dia, remoção de DQO bruta de 74%, percentual este próximo ao alcançado nesta pesquisa (71%), e 94% de remoção de cor

aparente, tendo-se registrado no presente trabalho 58% de remoção, diferença essa atribuída a presença de biomassa no efluente do FA, provavelmente pela liberação da microbiota inativa. Os autores concluíram que apenas o reator anaeróbio seria suficiente para retirada da cor do efluente, porém as amins aromáticas não foram degradadas no ambiente anaeróbio, necessitando o efluente de pós-tratamento.

No presente estudo, a diminuição da COV aplicada para 5 kgDQO/m³dia resultou em melhores percentuais de remoção de matéria orgânica dissolvida e de corante, 93% e 83% respectivamente.

Foi verificada ainda a estabilidade do FA de acordo com Speece [18] que sugeriu o valor de 0,3 para a relação entre ácidos graxos voláteis e alcalinidade total (AGV/AT).

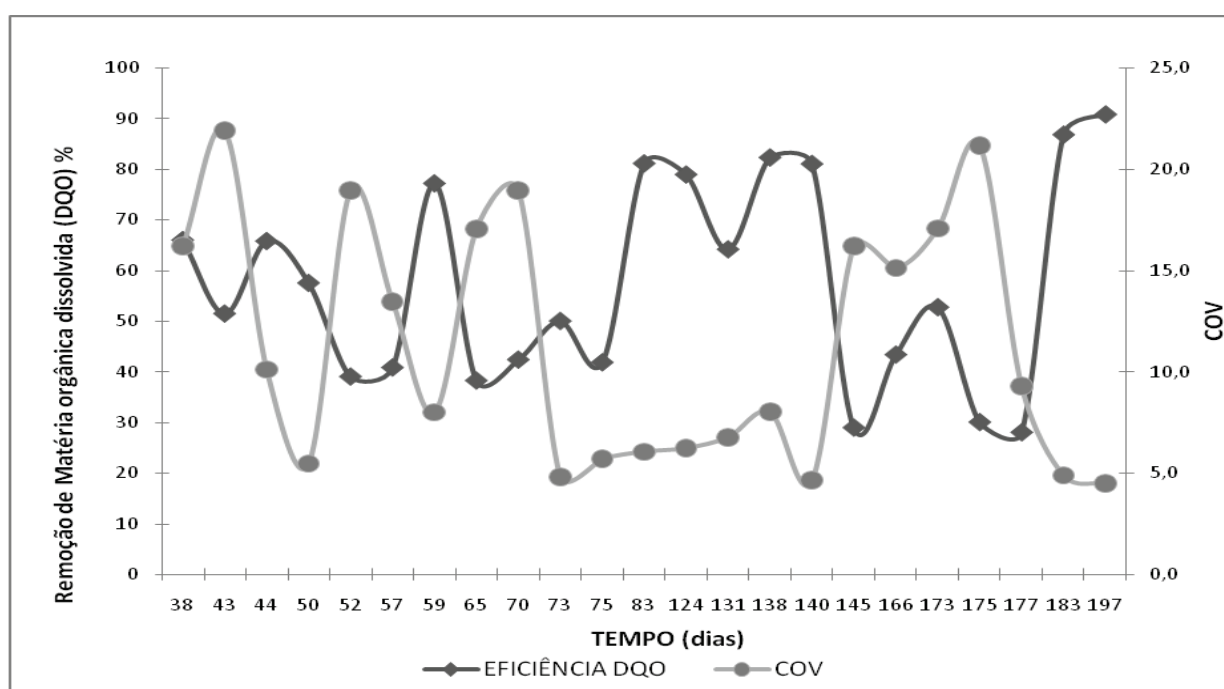


Figura 5 – Remoção de matéria orgânica (DQO) e aplicação de COV ao filtro anaeróbio.

Segundo aqueles autores a relação é parâmetro importante de avaliação em sistemas anaeróbios, pois fornece reposta sobre a capacidade do meio de neutralizar os ácidos presentes ao indicar a possível tendência de alterações nos valores de pH, de modo que quanto maior a relação AGV/AT, maior a porcentagem de ácidos orgânicos no meio e, consequentemente, maiores serão os requerimentos de alcalinidade pelo sistema.

Assim, quando os ácidos orgânicos são produzidos pelas bactérias acidogênicas em quantidade superior à capacidade de sua utilização pelas bactérias metanogênicas, há seu acúmulo no meio e ocorrerá o “azedamento” do reator, ou seja, o meio tornar-se-á impróprio ao desenvolvimento das metanogênicas, a fim de que as mesmas possam finalizar o processo de digestão anaeróbia, resultando assim na falência do sistema [13].

O pH do afluente do filtro anaeróbio permaneceu entre 5,3

e 8,7, sendo que o pH do efluente variou de 6,5 a 8,0. Embora Speece [18] indique que a melhor faixa de pH para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas esteja entre 6,2 e 6,5, nesta pesquisa valores de pH registrados fora desta faixa não foram determinantes para diminuição dos percentuais de remoção das variáveis acompanhadas.

Quando da diminuição do valor pH do efluente do FA, possivelmente pela maior produção de ácidos orgânicos, obteve-se diminuição do valor expresso pela relação AGV/AT, com os menores valores de 0,01 e 0,03, fato atribuído ao maior consumo da alcalinidade para neutralização dos ácidos no meio.

Nos dias em que a relação AGV/AT foi superior a 0,3 (14°, 72° e 177° dia), a remoção de matéria orgânica bruta foi boa, 80%, 75% e 88%, indicando que não há valor ideal fixo para esta relação. Comparativamente, com a diminuição do valor da relação

AGV/AT, ocorria aumento da alcalinidade total.

Foram registradas remoções significativas de matéria orgânica bruta, sendo observado nos dias em que a relação foi de 0,22 e de 0,1, remoções de matéria orgânica bruta de 94 % e de 92%, respectivamente. Esses resultados demonstraram que a alcalinidade total do sistema foi suficiente para neutralizar os ácidos formados durante o processo de digestão anaeróbia, e manter assim, o equilíbrio do sistema.

Mustafa e Esponza [14] ao estudarem a remoção de Vermelho do Congo (76 mg/L) por uso de reator UASB, com relação AGV/AT de 1,6, verificaram que, semelhantemente ao observado nesta pesquisa, o consumo da alcalinidade não influenciou significativamente na remoção da matéria orgânica. Esses autores conseguiram 84% de diminuição de DQO bruta e 99% de remoção

de cor e relataram que apenas o carbono presente no corante foi suficiente para sua degradação total, sem necessidade de substrato primário; porém, a remoção de matéria orgânica em geral, bem como, especificamente, de aminas aromáticas formadas foi influenciada pela adição de substrato primário, de modo que, quanto maior a concentração de glicose adicionada, sendo esta variada de 0 a 3 g/L, melhores remoções foram alcançadas, como por exemplo, a remoção de DQO total foi aumentada de 25%, sem adição de glicose, para 85%, quando adicionada glicose na concentração de 0,5 g/L. Quanto à remoção das aminas formadas, a adição de co-substrato facilitou sua degradação até a concentração de 0,25 g/L, já que quando se aumentou o valor da concentração de glicose, o percentual de remoção caiu 10% em relação ao melhor percentual removido (80% com adição de 0,25 g/L de glicose).

Figura 5 – Percentuais de remoção alcançados nas diferentes condições de operação do RBF..

Variável analisada	TDH 6 h		TDH 8 h
	Sem sacarose	Com sacarose (0,5 g/L)	Com sacarose (0,5 g/L)
	Fase I	Fase II	
Corante	62 %	74%	53%
DQO bruta	46%	84%	71,6%
DQO filtrada	55%	82%	73%
Cor real	-	78%	40%
Cor aparente	-	80%	53%

Na Fase II, observou-se que os valores de matéria orgânica, bruta e dissolvida, ficaram muito próximos: respectivamente, 84% e 82%, o que indicou a boa fixação dos fungos sobre a superfície da manta de polietileno, de forma que este material suporte mostrou ser viável para o estabelecimento do biofilme, permanecendo a biomassa bem aderida durante a operação do reator.

A adição da sacarose ao efluente do RBF resultou no aumento dos percentuais de remoção, expressos em pontos percentuais, de matéria orgânica, em termos de DQO, e de corante, em 30 p.p e 12 p.p, respectivamente, sendo então registrado o melhor desempenho do reator na Fase II, o que foi atribuído à necessidade de fonte primária de carbono para satisfazer os requisitos de energia pela espécie fúngica quando da degradação de possíveis aminas aromáticas, resultantes da degradação anaeróbia do corante.

Eltaif et al.[3] avaliaram a influência de substratos primários na eficiência de remoção de cor de água residuária contendo os corantes Índigo e Vermelho do Congo pela espécie *Aspergillus alliaceus*. As fontes de carbono analisadas (glicose, amido, glicerol e lactose) ofereceram aumento na eficiência de remoção da cor, excetuando-se a lactose que não influenciou significativamente as remoções devido à falta de afinidade do micro-organismo com o referido substrato, uma vez que, mesmo com aumento de sua concentração no meio, não houve melhor degradação do corante.

Parshetti et al. [15] estudaram a influência da glicose (10 mg/L) sobre a degradação de 0,5 g/L do corante têxtil Reative blue-25, pela espécie fúngica *Aspergillus ochraceus*, e constataram que o tempo de descoloração do corante diminuiu com a adição da fonte primária de carbono. Os autores verificaram

que as enzimas lignina peroxidase, lacase e tirosinase foram responsáveis pela quebra das ligações do corante.

Em outro estudo sobre a influência da adição de substrato primário sobre a remoção de cor de efluentes têxteis, Xian-Chun Jin et al. [8] utilizaram sacarose (10 g/L) em água residuária têxtil in natura, tratada em sistema de batelada, contendo corantes reativos. Os autores observaram que a adição de sacarose aumentou a remoção de cor pela linhagem *Aspergillus fumigatus* XC 6, atingindo-se eficiência próxima a 100%. O efeito de outras fontes primárias de carbono sobre a otimização do processo também foi estudado, tendo-se empregado com substrato primário: celulose (52,1 %), maltose (87,6%) e glicose (78,8%).

No presente trabalho, a maior eficiência registrada na Fase II pode ser explicada pela importância de os fungos terem à sua disposição substratos de fácil assimilação ao serem expostos à compostos de estrutura complexa, podendo ser necessário, então, a presença de substrato de mais fácil assimilação que auxilie sua degradação dentro do mecanismo de nutrição utilizado pelos micro-organismos que é chamado cometabolismo [3].

Por outro lado, Dos Santos et al. [16] relataram que a adição de glicose não interferiu no metabolismo do *Aspergillus niger* quando utilizado no tratamento de efluente têxtil bruto. Foi adicionada glicose, nas concentrações de 0,5 g/L e 0 g/L, na alimentação de dois reatores de leito fixo e escoamento ascendente, porém os autores concluíram que a adição de glicose não foi determinante para melhoria dos resultados.

É válido observar que Dos Santos et al. [16] utilizaram a espécie no tratamento secundário da água residuária contendo corantes e não no pós-tratamento, como investigado na pre-

sente pesquisa. Assim, o efluente tratado pelos autores, que era in natura, deveria possuir compostos de fácil degradação, e, provavelmente continha corantes e aditivos utilizados no beneficiamento do tecido e mesmo contribuição de despejos sanitários oriundos da própria indústria, os quais podem ter auxiliado na degradação do corante, não sendo pois necessária a presença da glicose necessária.

Na Figura 6 está apresentada a comparação entre a adição

de sacarose durante a operação do RBF, em termos de remoção de matéria orgânica dissolvida.

Verificou-se também que, no TDH de 6 h (Fase II), assim como no filtro anaeróbio, os valores de remoção de corante e DQO bruta ficaram próximos, 74% e 84%, respectivamente, podendo indicar que a matéria orgânica degradada foi oriunda das amins aromáticas derivadas da clivagem corante presente no meio.

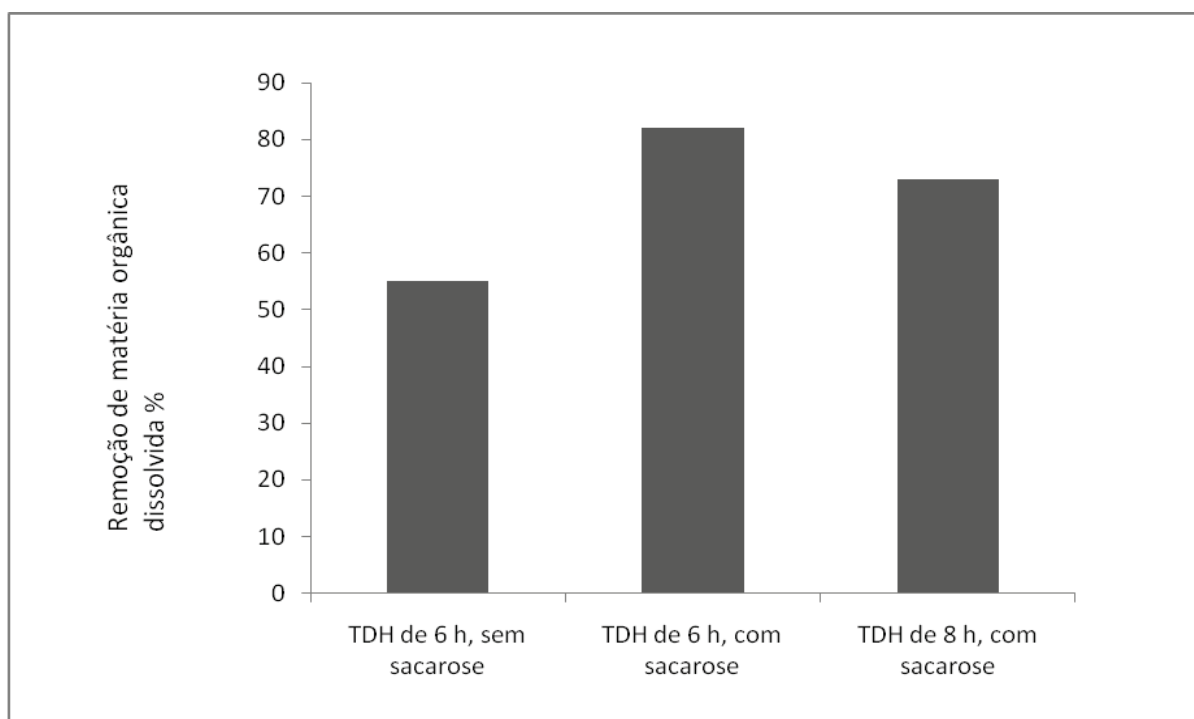


Figura 6 – Remoção de matéria orgânica dissolvida ao longo da operação do reator biológico com fungos (RBF).

Em contra partida à adição de sacarose no efluente do RBF, o aumento do TDH de 6 h para 8 h não proporcionou maiores percentuais de remoção, ainda que, no TDH de 8 h, tenha ocorrido maior tempo de contato entre os micro-organismos e o substrato, foi registrado diminuição da eficiência de remoção de corante em 21 p.p; de matéria orgânica bruta e filtrada, em 13,6 p.p e 9 p.p, respectivamente; de cor real em 38 p.p e de cor aparente em 27 p.p. As menores eficiências obtidas no TDH 8 h, possivelmente, estão relacionadas à quantidade maior de compostos de excreta liberados pelos fungos, devido ao maior tempo de contato entre os microrganismos e o afluente, resultando assim no incremento da concentração de matéria orgânica e da cor.

Dos Santos et al. [16], ao avaliarem a influência do TDH em reatores com *Aspergillus niger* no tratamento de efluente têxtil bruto, obtiveram maior eficiência com o aumento do tempo de detenção hidráulica, que passou de 8 h para 12 h, e observaram perda das eficiências, respectivas, de cor real de 90% para 30% e de cor aparente, de 98% para 70%. Assim, verificou-se que no presente trabalho o melhor TDH para remoção das variáveis em questão foi o de 6 h, tempo de detenção este menor em relação ao empregado por Dos Santos, de modo que se conseguiram percentuais de remoção semelhantes, e, em menor tempo de trata-

mento, menores custos para implementação do sistema.

Já Tunussi e Sobrinho [2], com TDH de 10 h, ao tratar efluente têxtil de reator UASB, obtiveram diminuição de apenas 50% (UASB + lodos ativados), de cor utilizando pós-tratamento em sistema de lodos ativados. Deve-se ressaltar que essa baixa remoção foi atribuída às características da água residuária bruta utilizada pelos autores (Tabela 2).

Nesta pesquisa, em menor tempo de contato (6 h), o reator com fungos alcançou percentuais médios de remoção de DQO bruta superior (84%) ao encontrado por Tunussi e Sobrinho (69%), indicando ser o uso de fungos em reatores um diferencial para aplicação em tratamentos de águas residuárias, pois o emprego de menor TDH irá refletir em menor custo operacional.

Na Figura 7 é apresentada a remoção de corante nas fases de operação do RBF.

As remoções de cor aparente e cor real também foram muito boas no TDH de 6 h (Fase II) de operação do RBF, enquanto que houve diminuição da eficiência de remoção de cor no TDH para 8 h, tendo sido atribuída ao crescimento da biomassa no reator, que visivelmente colmatou o leito suporte, de modo que parte da biomassa morta foi expelida do reator e contribuiu para o aumento da coloração do efluente.

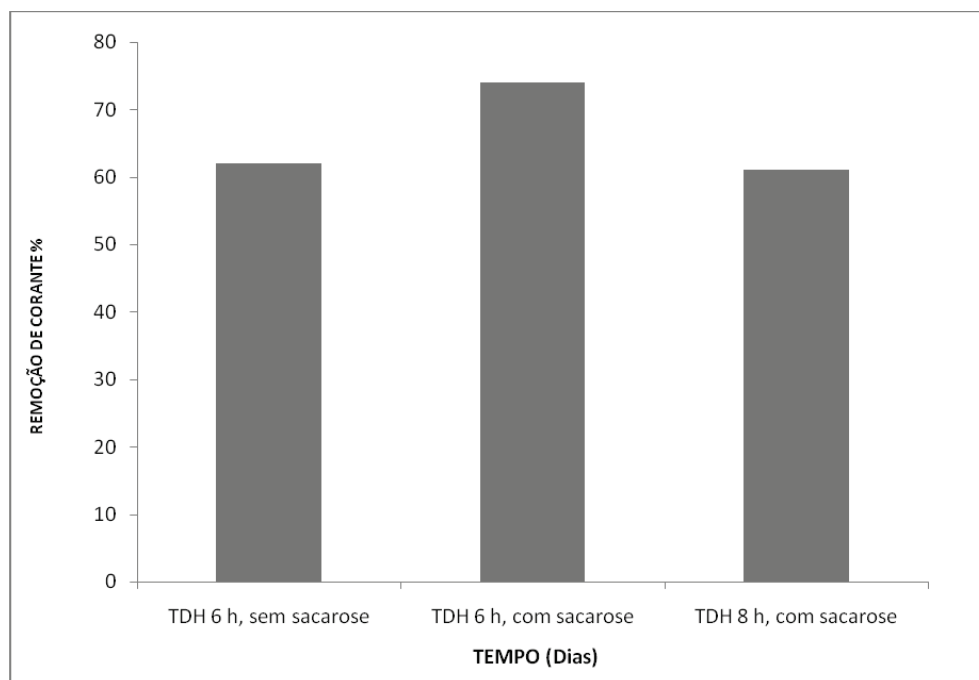


Figura 7 – Percentual de remoção de corante nas fases de operação do reator biológico com fungos (RBF).

Em relação à carga orgânica média aplicada ao RBF, esta foi de 15 kg DQO/L.dia, tendo variado de 3,6 kg DQO/L.dia a 43,4 kgDQO/L.dia. Semelhantemente ao filtro anaeróbio, a COV influenciou, a remoção de matéria orgânica carbonácea e foi fator limitante para o alcance de melhores resultados. A pior remoção de matéria orgânica bruta ocorreu à carga orgânica volumétrica de 64,6 kg DQO/L.dia (9%) e mostrou que os fungos não responderam bem sob estas condições.

3.3. EFICIÊNCIA GLOBAL DO SISTEMA

As remoções médias de matéria orgânica, em termos de DQO, alcançadas pelo sistema FA/RBF, foram de 76% (amostra bruta), 59% (amostra filtrada). Foi registrada, ainda, remoção de corante (86%) e de cor real (87%) e de cor aparente (70%). Estes percentuais apontaram para o bom funcionamento do sistema proposto, com tempo de detenção hidráulica de 8 h.

A diferença entre as remoções de matéria orgânica dissolvida e corante observadas no efluente final do sistema pode ser resultado da possível presença das aminas aromáticas formadas no ambiente anaeróbio e que não teriam sido degradadas totalmente pelo reator com fungos. Quanto à remoção de cor real e aparente, esta foi relevante, sendo que o efluente final não apresentou coloração, levando-se em consideração seu aspecto visual (Figura 8), característica esta predominante em despejos têxteis.

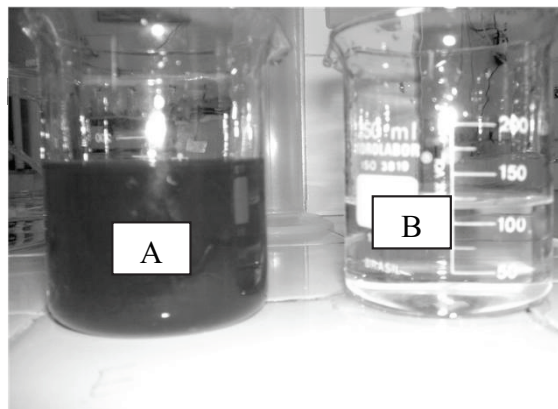


Figura 8 – Comparação entre o afluente do Filtro Anaeróbio (A) e efluente do Reator Biológico com Fungos (B).

O efluente final do tratamento sequencial da presente pesquisa atendeu aos padrões da legislação vigente (Resolução CONAMA 397/2008), com valores de cor verdadeira e pH dentro dos padrões para lançamento. Na Figura 9 são apresentados os valores de remoção das variáveis estudadas para o sistema sequencial (anaeróbio/aeróbio).

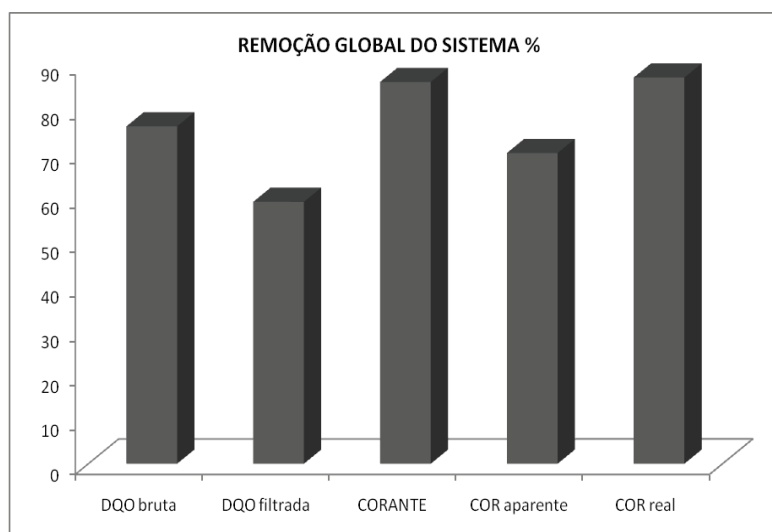


Figura 9 - Percentual de remoção global do sistema filtro anaeróbio/reator biológico com fungos para as variáveis: matéria orgânica bruta, matéria orgânica dissolvida, corante, cor aparente e cor real no TDH 8 h – 6 h.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, verificou-se que o tratamento sequencial (anaeróbio/aeróbio com fungos) de águas residuárias têxteis mostrou-se viável, pois foram alcançados valores de concentração de corante que se enquadram na legislação vigente (CONAMA, resolução 397/2008), sendo então de relevante importância ambiental o resultado obtido nesta pesquisa, visto que o interesse na preservação do meio ambiente, em especial dos corpos hídricos, é o impulsionador desta pesquisa. Tais resultados apontam para a utilização do sistema proposto em escala real, a fim de minimizar os impactos causados pelas indústrias têxteis.

5. REFERÊNCIAS

- [1] I.NILSSON,A.MÖLLER,B.MATTIASSON, M.S.T RUBINDAMAYUGI, U. WELANDER. Decolorization of synthetic and real textile wastewater by the use of white-rot fungi. Science direct.2005.
- [2] TUNUSSI, J.L; SOBRINHO, P.A. Remoção de cor e nitrificação de efluentes de tinturaria têxtil através de processos biológicos anaeróbio aeróbio. AIDIS.2003.
- [3] ELTAIEF KHELIFI, LAMIA AYED, HASSIB BOUALLAGUI, YOUSSEF TOUHAMI, MOKTAR HAMDÍ . Effect of nitrogen and carbon sources on Indigo and Congo red Decolorization by *Aspergillus alliaceus* strain 121C. Science direct. 2008.
- [4] VAN DER ZEE, F., VILLAVERDE, S. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies. Water Research, v. 39, p.1425-1440. 2005.
- [5] SANTOS, E. M. A et al. Influência do tempo de detenção hidráulica em um sistema UASB seguido de um reator biológico com fungos para tratar efluentes de indústria de castanha de caju . Artigo técnico – Engenharia Sanitária e ambiental- 2006.
- [6] SAMPAIO, G. M. M. S. Remoção de metil paration e atrazina em reatores com fungos. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo). São Carlos. 2005.
- [7] FÉLIX, J.P.L et al . Remoção de DQO e fenóis totais presentes em efluentes de indústria petrolífera utilizando reatores de leito fixo e fluxo continuo inoculado com *Aspergillus niger* AN400. Gestão e tratamento de resíduos líquidos gerados na cadeia produtiva do petróleo: 1a Coletânea de trabalhos técnicos /coordenador Mário Takayuki Kato; prefácio Antônio Fernando de Souza Queiroz. – Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2006.
- [8] XIAN-CHUN JIN,GAO-QIANG LIU , ZHENG-HONG XU ,WEN-YI TAO. Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6. Environmental Biotechnology . 2006.
- [9] ZAIAT, M . Desenvolvimento de reator anaeróbio horizontal de leito fixo para tratamento de águas residuárias. Dissertação (D. Sc) – Escola de Engenharia de São Carlos/ USP, São Paulo.1996.
- [10] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a. ed. Washington: American Public Health Association.1998.
- [11] FRIJTERS C.T.M.J; R.H.VOS, G.SCHEFFER, R.MULDER. Decolorizing and detoxifying textile wastewater, containing both soluble and insoluble dyes, un a full scale combined anaerobic/aerobic system. Science direct .2006.

- [12] TOLEDO, A.G et al. Efeito da carga orgânica no desempenho de um bioreator de leito fluidizado trifásico. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997.
- [13] CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte Volume 5. 10ª ed .1997.
- [14] MUSTAFA, ISIK ; DELIA, TEREZA SPONZA. Effects of alkalinity and co-substrate on the performance of an up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor through decolonization of Congo Red azo dye. *Bioresource Technology* . 2004.
- [15] PARSHETTI, G.K; S.D. KALME, S.S. GOMARE, S.P. GOVINDWAR. Biodegradation of Reactive blue-25 by *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. *Science Direct* .2007.
- [16] Dos SANTOS, E. V. M et al . Avaliação de dois TDH no tratamento biológico de efluente têxtil em reatores com fungos. II Congresso de Pesquisa e Inovação tecnológica da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa – PB. 2007.
- [17] MAHMOUD A. KHALAF .Biosorption of reactive dye from textile wastewater by non-viable biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp. *Science direct* . 2007.
- [18] SPEECE, R.E., *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*.Archae press, Nashville, Tennessee, USA. 1996.
- [19] MUSTAFA, ISIK ; DELIA, TEREZA SPONZA. Anaerobic/aerobic treatment of a simulated textile wastewater. *Biore-source Technology* . 2007.
- [20] SPONZA, TEREZA DELIA; MUSTAFA, ISIK. Reactor performances and fate of aromatic amines through decolorization of Direct Black 38 dye under anaerobic/aerobic sequential. *Bioresource Technology* – 2003.
- [21] ZANOTELLI, C. T.; MEDEIROS, R.; DESTEFANI, A.; MIRANDA, L.M.4; MORATELLI JR, A.FISCHER, M. Sistema de tratamento de efluentes da indústria têxtil. -2004.
- [22] SOMASIRI, WIJETUNGA; LI, XIU-FEN; RUAN, WEN-QUAN; CHEN JIAN . Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater. *Bioresource Technology*. 2007.
- [23] OˆZER C, INARA., SEMRA YAS,AR, METIN KERTMEN, KEVSER DEMIROˆZ, NEVZAT OˆZGUˆYIGIT B, MEHMET KITIS. Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor.
- [24] FERREIRA, O. P. Desenvolvimento de materiais porosos biodimensionais, à base de Al³⁺ e M²⁺ (Zn, Mg), para uso na remediação de efluentes de indústrias têxteis. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Laboratório de Química do Estado Sólido – LQES, Universidade Estadual de Campinas. 2001.
- [25] Da SILVA, F. J .A et al. Degradação de efluente de indústria de castanha de caju por fungos decompositores em reator de fluxo contínuo – dco e sistema carbônico. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.2001.
- [26] J. S. YADAV e C. A. REDDY. Degradation of Benzene, Toluene, ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) by the Lignin-Degrading Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and environmental microbiology* .1993.
- [27] COLLA, L. M. et al. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação a partir de solo contaminado com herbicidas triazínicos. *Revista Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 3, p. 809-813, maio/jun., 2008.
- [28] CABELLO, P. E; SCOGNAMIGLIO F. P; TERÁN F. J. C. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 6, n. 1, p. 321-338, jan/abr 2009.
- [29] 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.