



---

**Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Ciências Biológicas  
Departamento de Antibióticos  
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia**

---

**RAPHAEL LUIZ ANDRADE SILVA**

**BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS FLUVIAIS CONTAMINADAS COM CORANTES  
DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR FUNGOS FILAMENTOSOS ISOLADOS DO BIOMA  
CAATINGA**

**RECIFE**

**2017**

**RAPHAEL LUIZ ANDRADE SILVA**

**BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS FLUVIAIS CONTAMINADAS COM CORANTES  
DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR FUNGOS FILAMENTOSOS ISOLADOS DO BIOMA  
CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Vanusa da Silva

**RECIFE**

**2017**

**Silva, Raphael Luiz Andrade**

**Biorremediação de águas fluviais contaminadas com corantes da indústria têxtil por fungos filamentosos isolados do bioma Caatinga. / Recife: O Autor, 2017.**

**71 folhas: il., fig., tab.**

**Orientadora: Márcia Vanusa da Silva**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
Centro de Biociências. Biotecnologia, Recife, 2017.**

Inclui referências

- 1. Biorremediação 2. Rizosfera 3. Fungos filamentosos I. Silva, Márcia Vanusa da (orient.) II. Título**

**620.11223**

**CDD (22.ed.)**

**UFPE/CCB-2017- 563**

**RAPHAEL LUIZ ANDRADE SILVA**

**BIORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS FLUVIAIS CONTAMINADAS COM CORANTES  
DA INDÚSTRIA TÊXTIL POR FUNGOS FILAMENTOSOS ISOLADOS DO BIOMA  
CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Aprovada em: 23/02/2017

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Márcia Vanusa da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Porto  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Recife, 23 de Fevereiro de 2017

*Aos meus maiores incentivadores  
na jornada chamada vida profissional,  
meus pais Ismael Celestino e Vasti Andrade.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de compartilhar esse título com todos que de forma muito especial contribuíram para além deste trabalho. Agradecer pelo incentivo e apoio que me foi oferecido durante essa intensa caminhada.

Primeiramente gostaria de tributar a Deus toda honra, glória e louvor e agradecer por tamanha oportunidade de ter chegado até aqui, por sempre estar ao meu lado durante esta árdua caminhada, tanto nos momentos difíceis quanto nos de alegrias, conquistas e êxitos! “Porque dEle, por Ele, e para Ele são todas as coisas; glória pois a Ele eternamente, amém! ”.

Aos meus guerreiros, meus eternos incentivadores e amigos, meus pais Ismael Celestino e Vasti Andrade, por sempre acreditarem no meu potencial e criar em mim essa vontade de ir mais além, sempre ensinando que Deus está guiando todos os meus passos! Obrigado por todo cuidado, zelo e amor! Sim, eles são os meus maiores torcedores e eu o maior fã deles! Amo vocês! Vocês são partes fundamentais das minhas vitórias!

A uma pessoa mais que especial que não passa uma hora sequer sem entrega nas mãos de Deus em oração, minha vida em todos os seguimentos, muito obrigado Senhoar Anita Celestina, amo a senhora, voinha!

A toda minha família, que direta ou indiretamente, fizeram parte da minha conquista, orando e incentivando. Meus irmãos, Matheus e Rebeca pelo enorme carinho.

A minha linda noiva Estéfane Hermano, por ser uma pessoa que acredita no meu potencial, nos meus sonhos e se possível batalha minhas lutas comigo para me ver vitorioso! Eu agradeço a Deus por sua vida, minha linda! Pela paciência e todo amor que você tem demonstrado. Te amo.

À minha orientadora Márcia Vanusa, pela competência, profissionalismo e firmeza na condução do trabalho. Por acreditar em mim e despertar em mim a verdadeira paixão pela pesquisa, muito obrigado!

Ao professor Romero Brandão por me aguentar todo esse tempo no laboratório! Muito obrigado pela paciência e por me ensinar um mundo novo dentro da área científica! Pode ter certeza que o senhor ganhou um fã!

À professora Ana Porto, que com tanto carinho disponibilizou o espaço físico do LABTECBIO para o desenvolvimento do projeto. Muito obrigado!

Aos meus amigos da pós-graduação em Biotecnologia Industrial, por dois anos de convivência e intensa amizade! Em especial aos amigos Henrique Teles e Italo Batista, pelas risadas, conversas, noites acordadas, seminários atrás de seminários, crises... é amigos... já passamos por muita coisa! Muito obrigado, amigos! Também não posso deixar de citar minha amiga Kaka, por todo incentivo e apoio, com certeza essa é uma amizade que quero levar para sempre!

Aos amigos do LABTECBIO, que me apoiaram direta e indiretamente na elaboração do projeto! Em especial a Patyenne Correia por vestir a camisa do projeto comigo, muito obrigado Paty! Ao grande Pajeú e os seus ensinamentos gráficos! A Juanize pela ótima recepção no laboratório! A Eliz, por me aguentar nessa reta final e sempre prestativa me ajudar com tanta paciência. Meu muitíssimo obrigado!

Ewerton Siqueira, não poderia deixar de citar seu nome! Obrigado pela ajuda, amigo! Por cada dia que saímos super tarde do laboratório!

Ao coordenador do curso da pós-graduação Will Barros, bem como ao secretário Klayton por toda instrução, paciência e profissionalismo.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigado!

*“Suba o primeiro degrau com fé.  
Não é necessário que você veja toda a escada.  
Apenas dê o primeiro passo”.*

Martin Luther King

## RESUMO

A indústria têxtil é um consumidor substancial de água produzindo, então, enormes volumes de efluentes gerando em contrapartida um dos principais problemas ambientais associados diretamente à poluição dos rios. Os contaminantes mais importantes são os corantes azo, os quais apresentam grandes quantidades de anéis aromáticos, aminas e grupos sulfônicos, conferindo a esses compostos difícil processo de biodegradação, bem como toxicidade ambiental. O uso de agentes microbianos para o tratamento de águas residuais da indústria tem a vantagem de ser rentável, sustentável e de produzir menos lodo e dessa forma, micro-organismos adaptados para sobreviver em condições adversas são os mais promissores para o tratamento de águas residuais. A seleção de fungos isolados da rizosfera do bioma Caatinga é uma alternativa promissora para substituir ou complementar os tratamentos convencionais. Os mecanismos de ação dos micro-organismos utilizados na biorremediação pode ocorrer por biossorção, degradação enzimática ou uma ação combinada de ambos. Sendo assim, a presente dissertação aborda a seleção de fungos isolados do bioma caatinga com potencialidades para a biorremediação de ambientes contaminados com corantes de indústria têxtil. A análise dos resultados obtidos apresentou o biopotencial de três espécies de fungos filamentosos (*Mucor subtilissimus*, *Cunninghamella phaeospora* e *Aspergillus sp* UCP1279), testados na descoloração do corante Direct Black 22. No presente estudo, o fungo *Aspergillus sp* UCP1279 apresentou maior capacidade de tratamento da água, uma vez que apresentou forte habilidade para descolorir o corante em diferentes concentrações, sob condições fixas de agitação (120 rpm) e temperatura (30°C), alcançando eficiências de 100, 97 e 63, nas concentrações de 50, 125 e 250 mg/L, respectivamente, e em diferentes intervalos de tempo de 75, 180 e 180 min. Além disso, ensaios de descoloração para avaliar o potencial da biomassa foram realizados com o micro-organismo ativo e inativo, medindo-se a influência do oxigênio no processo de descoloração, bem como o potencial redox, visando elucidar a atividade de biossorção. Os resultados demonstraram que a biomassa viva apresentou uma maior eficiência no processo quando comparada com a biomassa morta, justificando dessa forma, o uso do micro-organismo vivo na capacidade de tratamento de água. Análises toxicológicas com *Artemia Salina* foram realizadas no corante bruto e pós tratamento. Foi apresentado ausência de toxicidade para ambos. Assim, este fungo se apresenta como um potencial agente na biorremediação de efluentes têxteis.

Palavras chave: Corantes azo. Descoloração. Biorremediação. Rizosfera da Caatinga.

## ABSTRACT

The textile industry is a substantial consumer of water, producing enormous volumes of effluents, generating, on the other hand, one of the main environmental problems directly associated with water pollution. The most important contaminants are azo dyes, which contain large amounts of aromatic rings, amines and sulfonic groups, giving these compounds a difficult process of biodegradation as well as environmental toxicity. The use of microbial agents for the treatment of industrial wastewater has the advantage of being cost-effective, sustainable and producing less sludge, and microorganisms adapted to survive under adverse conditions are the most promising for wastewater treatment. Selection of fungi isolated from the rhizosphere of the Caatinga biome is a promising alternative to replace or complement conventional treatments. The mechanisms of action of the microorganisms used in bioremediation may occur by biosorption, enzymatic degradation or a combined action of both. Thus, the present dissertation approaches the selection of isolated fungi of the Caatinga biome with potentialities for the bioremediation of environments contaminated with dyes from the textile industry. The analysis of the results obtained showed the biopotential of three species of filamentous fungi (*Mucor subtilissimus*, *Cunninghamella phaeospora* and *Aspergillus* sp UCP1279), tested in the discoloration of the dye Direct Black 22. In the present study, the fungus *Aspergillus* sp UCP1279 presented greater capacity of treatment of the (120 rpm) and temperature (30 ° C), reaching efficiencies of 100, 97 and 63%, at concentrations of 50, 125 and 250 mg / L, respectively, and at different time intervals of 75, 180 and 180 min. In addition, discoloration tests to evaluate biomass potential were performed with the active and inactive microorganism (autoclaved, dead biomass), measuring the influence of oxygen in the discoloration process, as well as the redox potential, in order to elucidate the Biosorption activity. The results demonstrated that the living biomass presented a greater efficiency in the process when compared to the dead biomass, thus justifying the use of the living microorganism in the water treatment capacity. Toxicological analyzes with *Artemia* saline were performed on crude dye and post treatment. No toxicity was reported for both. Thus, this fungus presents itself as a potential agent in the bioremediation of textile effluents.

Keywords: Azo dyes. Decolorization. Biorremediation. Caatinga.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Localização do pólo de confecções do Agreste de Pernambuco, Brasil .....	21
<b>Figura 2</b> - Fluxograma do processo de beneficiamento do jeans nas lavanderias de Caruaru-PE .....	23
<b>Figura 3</b> - Divisão da estrutura molecular de um corante: parte A grupo cromóforo e parte B estrutura de fixação a fibra .....	26
<b>Figura 4</b> - Representação da estrutura química básica de um corante azo .....	28
<b>Figura 5</b> - Vários métodos de degradação de corantes azo (RM = Mediador redox; ED = Doador de elétrons; b = bactéria) .....	38
<b>Figura 6</b> - Mecanismo proposto da degradação de corantes azo por azoredutase .....	39
<b>Figura 7</b> - Abrangência do semiárido brasileiro .....	42
<b>Figura 8</b> - Estrutura química do corante tetra-azo Direct Black 22 .....	44
<b>Figura 9</b> - A: Máximo comprimento de onda da solução do corante Direct Black 22; B: Varredura de comprimentos de ondas da solução do corante pós tratamento .....	50
<b>Figura 10</b> - Descoloração do corante azo Direct Black 22 em diferentes concentrações por <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 sob agitação (120 rpm) à 30°C .....	51
<b>Figura 11</b> - Descoloração do corante azo Direct Black 22 em diferentes concentrações por <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 sob condições estáticas à 30°C .....	53
<b>Figura 12</b> - Descoloração do Direct Black 22 pela biomassa viva e biomassa morta (autoclavada) de <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 (180h; 30°C; sob agitação de 120 rpm; corante 125 mg/l) .....	55
<b>Figura 13</b> - Consumo de oxigênio ao longo do processo de decoloração do Direct Black 22 no pela biomassa do <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 viva e morta .....	56
<b>Figura 14</b> - Monitoramento do potencial redox ao longo do processo de decoloração do Direct Black 22 no pela biomassa do <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 viva e morta .....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Classificação e utilização de corantes industriais .....	27
<b>Tabela 2</b> – Aplicação de vários fungos na descoloração de corantes .....	41
<b>Tabela 3</b> - Screening de fungos isolados da Caatinga e suas eficiências quanto ao intervalo de tempo na descoloração do corante .....	49
<b>Tabela 4</b> - Ensaio de toxicidade aguda com o microcrustáceo <i>Artemia salina</i> após 48 h de incubação em diferentes concentrações da solução do corante bruto e pós tratamento .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil

APLCP – Arranjo Produtivo Local de Confeções de Pernambuco

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRH – Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ed. – Edição

f. – Folha

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OD – Oxigênio Dissolvido

p. - Página

pH – potencial hidrogeniônico

COT – Carbono Orgânico Total

UCP – Universidade Católica de Pernambuco

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 JUSTIFICATIVA .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	19
1.2.1 Objetivo geral .....	19
1.2.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL .....	20
2.2 A INDÚSTRIA TÊXTIL EM PERNAMBUCO.....	21
2.3 O PROCESSO INDUSTRIAL TÊXTIL.....	22
2.4 EFLUENTES TÊXTEIS .....	24
2.5 CORANTES TÊXTEIS.....	25
2.6 TOXICIDADE DOS CORANTES .....	29
2.7 TRATAMENTO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS TÊXTEIS .....	30
2.7.1 Métodos Físico-químicos .....	31
2.7.1.1 <i>Coagulação e Floculação</i> .....	31
2.7.1.2 <i>Adsorção</i> .....	31
2.7.1.3 <i>Filtração</i> .....	32
2.7.1.4 <i>Oxidação</i> .....	32
2.7.1.5 <i>Ozonização</i> .....	32
2.7.1.6 <i>Oxidação através da reação do Reagente Fenton</i> .....	33
2.7.1.7 <i>Eletrólise</i> .....	33
2.7.2 Métodos Biológicos.....	34
2.8 MECANISMOS DE DESCOLORAÇÃO MICROBIANA.....	35
2.8.1 Biossorção .....	36
2.8.2 Degradação enzimática.....	38
2.9 DESCOLORAÇÃO DE CORANTES AZO USANDO FUNGOS FILAMENTOSOS... 40	
2.10 POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE FUNGOS DO BIOMA CAATINGA.....	42
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	44
3.1 REAGENTES.....	44
3.2 CORANTE TETRA-AZO <i>DIRECT BLACK 22</i> .....	44
3.3 MICRO-ORGANISMOS .....	45
3.4 CONDIÇÕES DAS CULTURAS PARA OS EXPERIMENTOS DE DESCOLORAÇÃO.....	45

3.5 SCREENING DE FUNGOS FILAMENTOSOS COM POTENCIALIDADES PARA A DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22 .....	45
3.6 ESPECTRO DE VARREDURA DO CORANTE PARA DETERMINAÇÃO DE MÁXIMA ABSORÇÃO .....	46
3.7 ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO. ....	46
3.8 ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO POR BIOMASSA MICROBIANA VIVA/MORTA. ....	47
3.9 DETERMINAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DO POTENCIAL REDOX NO ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO POR BIOMASSA VIVA/MORTA.....	47
3.10 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM <i>Artemia salina</i> .....	48
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	49
4.1 SCREENING DOS ISOLADOS FÚNGICOS.....	49
4.2 COMPRIMENTO DE ONDAS DA ESTRUTURA QUÍMICA DO CORANTE TETRA-AZO DIRECT BLACK 22 .....	50
4.3 DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22 POR <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 .....	51
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE A BIOMASSA DO <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 VIVA E MORTA NA DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22.....	54
4.5 INFLUÊNCIA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DO POTENCIAL REDOX NA DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22 NO PELA BIOMASSA DO <i>Aspergillus sp</i> UCP1279 VIVA E MORTA.....	55
4.6 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM <i>ARTEMIA SALINA</i> .....	57
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população e o aumento alarmante da industrialização, ao longo do século passado, resultaram na degradação de vários ecossistemas dos quais a qualidade de vida depende. No caso da qualidade das águas de rios e oceanos, a poluição é causada principalmente pela descarga de efluentes industriais tratados inadequadamente (KHAN *et al.*, 2013). Dentre os segmentos industriais, a indústria têxtil encontra-se em evidência como a principal contribuinte da poluição em corpos hídricos (PHUGARE *et al.*, 2011).

As indústrias têxteis são consumidoras de grandes quantidades de água que são devolvidos ao ambiente, como águas residuais. De acordo com uma estimativa, cerca de 40-65 L de águas residuais são descarregadas por kg de tecido durante o processo de tingimento. Esta água contém uma grande quantidade de corantes sintéticos com diversas concentrações residuais no efluente, dependendo do tipo de molécula de corante (IMRAN *et al.*, 2015).

Durante décadas, milhões de toneladas de corantes vêm sendo gerados pela indústria. Cerca de 700 mil toneladas e 10 mil tipos de corantes e pigmentos são produzidos anualmente em todo mundo. Estes corantes apresentam estruturas moleculares complexas de difícil degradação, que podem envolver, durante seu processo de síntese, até 500 reações intermediárias (BANAT *et al.* 1996; ZANONI; CARNEIRO, 2001).

A cor produzida pela quantidade de corantes por minuto na água é considerada preocupante, visto que além de desencadear possíveis efeitos deletérios, a cor na água é esteticamente desagradável (PHUGARE *et al.*, 2011). A contaminação hídrica causada pela descarga de corantes residuais por indústrias têxteis gera um grave problema ambiental devido ao seu efeito inibitório sobre a fotossíntese aquática, capacidade de esgotar o oxigênio dissolvido, toxicidade para a flora e fauna e da sua potencial toxicidade humana (SAROJ *et al.*, 2015).

Os corantes azo representam a maior classe de corantes sintéticos comerciais, mostrando uma ampla variedade de estruturas e cores que representam até 70% do total de corantes têxteis utilizados (LANG *et al.*, 2013). Tais corantes pertencem à classe dos compostos aromáticos e/ou heterocíclicos que são caracterizadas pela presença de um ou mais grupos azo ( $-N=N-$ ), e os seus produtos de degradação são geralmente tóxicos e mesmo cancerígenos para os

organismos aquáticos. Portanto, a remoção eficaz de corantes azo de efluentes antes da descarga no meio ambiente é de extrema importância (TAN *et al.*, 2014).

Na cidade de Caruaru, Pernambuco, Brasil, uma das principais preocupações ambientais é a poluição da água relacionada com a descarga dos efluentes corados gerados como consequência das atividades da indústria têxtil local. Estes efluentes são descarregados nos rios após o tratamento convencional. Uma vez que a reutilização da água tratada é uma alternativa comum para minimizar a escassez de água na região, a garantia da qualidade ambiental da água tratada é crucial (RITA DE CÁSSIA *et al.*, 2013).

Muitas indústrias têm usado métodos físico-químicos convencionais, tais como precipitação química, filtração por membrana, coagulação, adsorção, e eletrólise, para o tratamento de águas residuais da indústria têxtil. Estes métodos não são destrutivos, todavia eles apenas transferem os contaminantes de uma forma para outra, gerando, portanto, um novo e diferente tipo de problema de poluição (KADAM, *et al.*, 2011). Além de serem métodos dispendiosos e produzirem grandes quantidades de lodo após o tratamento (SINGH *et al.*, 2015).

Atualmente, os métodos biológicos são vistos como específicos, de baixa intensidade energética, eficazes e seguros em termos ambientais uma vez que eles resultam em bioconversão parcial ou completa dos poluentes orgânicos para produtos finais estáveis e não tóxicos. Muitas espécies de bactérias, fungos e algas têm a capacidade de adsorver e/ou degradar os corantes azo (KHAN, *et al.*, 2013). Tal habilidade de descolorir corantes têm sido objeto de estudo em alguns micro-organismos. De acordo com Rita de Cássia *et al.* (2013), a eficácia da descoloração microbiana depende da atividade e adaptação celular.

A aplicação de fungos filamentosos no processo de descoloração é uma alternativa atraente devido ao baixo custo e a possibilidade de mineralização total do corante. Uma vez que, tais fungos estão presentes em todos os ambientes, bem como a adaptação rápida do seu metabolismo com várias fontes de carbono e nitrogênio é importante para a sua sobrevivência. (SOLÍS *et al.*, 2012). Entretanto, existem poucos estudos sobre o potencial descolorante de fungos filamentosos em regiões de condições extremas, como as do bioma Caatinga, havendo a hipótese de que tais micro-organismos também desenvolvem mecanismos de adaptação para sobrevivência às condições adversas, assim como as plantas dessa região. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar uma eficiente descoloração de corantes provenientes da indústria têxtil desta região por fungos isolados da rizosfera do bioma Caatinga.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em contraste com a realidade do agreste pernambucano, que sofre com a escassez de água, a implantação das indústrias têxteis, grandes consumidoras desse recurso, torna-se um verdadeiro paradoxo na região. Durante todas as etapas de produção e beneficiamento do setor têxtil são gerados resíduos inerentes ao processo industrial. Estes são, em sua maioria, efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, que, sem o devido controle e mitigação, possuem potencial de geração de impactos ambientais

A indústria têxtil é uma das maiores geradoras de efluentes líquidos, dentre os diversos segmentos industriais. Desta forma, os efluentes oriundos da indústria têxtil merecem atenção adequada devido aos corantes sintéticos que são amplamente aplicados. Os principais poluentes das águas residuárias têxteis são os corantes sintéticos, adicionados no processo industrial de tingimento, prejudicando a qualidade do ambiente aquático e a saúde da população que utiliza os corpos d'água em que esses efluentes são despejados.

Devido à alta variabilidade dos poluentes e de suas concentrações nos efluentes industriais, estes são de difícil tratamento e, dessa forma, devem ser estudados a fundo os processos físico-químicos e biológicos envolvidos.

A falta de controle sobre as dosagens utilizadas nas indústrias locais também se torna uma barreira para o conhecimento dos constituintes presentes nos efluentes, bem como para a plena aplicação de um sistema efetivo de tratamento. Assim, é de extrema importância a aplicação de unidades experimentais que promovam o maior conhecimento sobre a descoloração de corantes e contribuam para a sua otimização, fornecendo alternativas de tratamento de baixo custo operacional, de forma a contribuir para a manutenção da atividade econômica local, reduzindo seus impactos no meio ambiente e na saúde pública.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Investigar a capacidade de fungos isolados do bioma Caatinga em descolorir corantes utilizados nos processos de tingimento pela indústria têxtil.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade de fungos em descolorir o corante Direct Black 22.
- Verificar a influência da concentração de oxigênio na descoloração do corante azo.
- Comparar a eficiência na descoloração entre o uso da biomassa viva e o uso da biomassa morta na descoloração.
- Realizar avaliação toxicológica da solução do corante bruta e pós tratamento

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL

Na área industrial, o setor têxtil destaca-se como um dos mais antigos do mundo, sendo um dos precursores ao período da Revolução Industrial no final do século XVIII. Com o desenvolvimento da tecnologia química, mudanças significativas ocorreram, tanto no âmbito produtivo como comercial. Isso foi causado principalmente, pela incorporação de novos métodos de produção e novas tecnologias no processo produtivo, ao desenvolvimento de novos produtos de fibras sintéticas e à segmentação da cadeia além do aumento da concorrência (COSTA, 2008).

A indústria têxtil tem crescido bastante nas últimas décadas. Em 2014, o mercado têxtil mundial esperava negociar cerca de US \$ 800 bilhões de dólares, com 25% de aumento na produção têxtil mundial, de 2010 para 2014 (AMARAL, 2014). Além disso, de acordo com Amaral (2014), o setor é considerado um dos segmentos industriais que ocupa posição de destaque na economia dos países mais desenvolvidos e é carro-chefe do desenvolvimento de muitos dos chamados países emergentes.

Em 2010, o consumo per capita mundial de fibras era de 11,6 kg/habitante. Além disso, foram consumidas 80 milhões de toneladas de fibras, sendo 62% de fibras químicas e 38% de fibras naturais, como o algodão. Já a produção mundial de fios, tecidos, malhas e confeccionados foi de 76 milhões de toneladas. O mapa da produção mundial começou a mudar na década de 80, saindo dos EUA, Europa e Japão para países emergentes da Ásia e, mais recentemente, Leste Europeu, Norte da África e Caribe. Atualmente, a Ásia é responsável por 73% dos volumes totais produzidos no mundo, com destaque, por ordem, para: China, Índia, Paquistão, Coreia do Sul, Taiwan, Indonésia, Malásia, Tailândia e Bangladesh, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT, 2015).

No Brasil, a importância do mercado têxtil não é menor, tendo desempenhado um papel de grande relevância no processo de desenvolvimento do país. Atualmente a indústria têxtil brasileira, representa um extraordinário valor econômico-social que de acordo com ABIT (2015), o país ocupa a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de artigos de vestuário e a quinta posição entre os maiores produtores de manufaturas têxteis. No território

nacional há cerca de 5.000 indústrias têxteis, sendo 11% indústrias de grande porte, 21% pequeno porte e 68% microempresas (GONDIM et al., 2007), distribuídas pela região sul (Santa Catarina), sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e nordeste (Pernambuco, Bahia e Ceará).

## 2.2 A INDÚSTRIA TÊXTIL EM PERNAMBUCO

De acordo com Trindade (2013), o agreste de Pernambuco se encontra em pleno desenvolvimento econômico, sendo observado um grande número de indústrias têxteis por toda região. O Arranjo Produtivo Local de Confeções de Pernambuco (APLCP), como é conhecido, é um importante pólo de confecções de tecido do agreste especializado em *jeans*, onde estão inseridos quatro municípios, dentre os dezesseis que compõe o agreste do estado: Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Riacho das Almas (Figura 4.1).



**Figura 1** - Localização do pólo de confecções do Agreste de Pernambuco, Brasil.  
**Fonte:** TRINDADE et al., 2013.

A região é a segunda maior produtora de peças para vestimentas do país, somando um total de 700 milhões por ano. O número de habitantes de cada município é 314.912 em Caruaru, 87.582 em Santa Cruz do Capibaribe, 35.554 em Toritama e 19.162 em Riacho das Almas, com total de 457.210 habitantes nos quatro municípios. (TRINDADE, 2013).

As atividades associadas ao beneficiamento de “jeans”, realizadas pelas empresas de lavanderia promoveram o crescimento econômico da região. Entretanto, o desenvolvimento não foi acompanhado de ações de controle ambiental; e os impactos ambientais provenientes da atividade têxtil são notados na qualidade das águas dos rios Ipojuca e Capibaribe, que passam por essa região (FIEMG, 2014).

Contudo, segundo Amaral (2015), a maior parte dos empresários dessa região é formada por pequenos produtores que têm privações gerenciais e por isso desconhecem a necessidade de controle interno do próprio processo industrial, principalmente, quanto ao consumo de insumos químicos, energia e água. Não se trata de um episódio industrial isolado no tempo, mas de uma realidade de longo prazo que deve ser considerada, uma vez que a atividade é geradora de renda e emprego, motor econômico de sustentação da região.

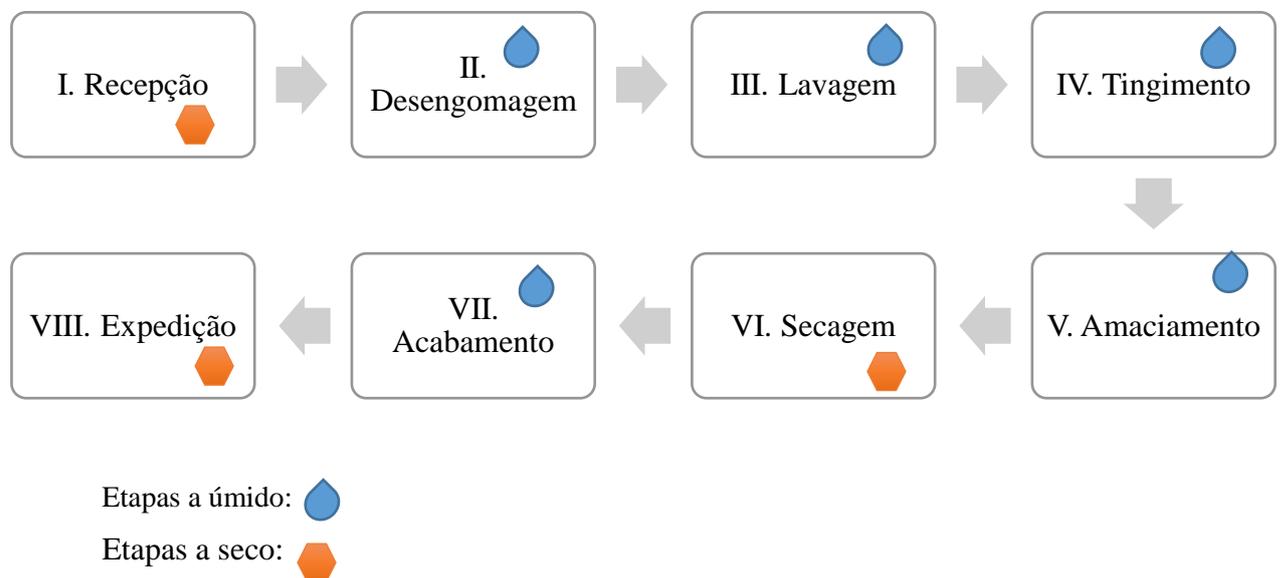
O aumento nas atividades industriais, por sua vez, trouxe consigo inúmeros problemas ambientais. Nos últimos anos, uma especial atenção tem sido voltada às grandes quantidades de efluentes geradas pelas indústrias (RITA DE CÁSSIA et al., 2013). Os efluentes industriais têxteis têm se tornado uma das maiores fontes de poluição, devido à grande demanda por produtos têxteis, causando assim um impacto prejudicial ao ecossistema aquático (BALAPURE et al., 2015).

### 2.3 O PROCESSO INDUSTRIAL TÊXTIL

Em Caruaru, o segmento têxtil realiza principalmente a lavagem de “jeans”, com a etapa de confecção das peças de “jeans” sendo realizada em Toritama. Em Santa Cruz do Capibaribe a confecção predominante é de malhas. (AMARAL, 2015). Nas lavanderias de “jeans” de Caruaru, as peças em tecido cru ganham efeitos diferenciados, uma vez que poderão passar por diferentes etapas de acabamento. Cada peça ou produto possui uma determinada receita de

lavagem e um procedimento específico de beneficiamento, com objetivo de sempre agregar valor e estilo ao produto final (FIEMG, 2014).

Segundo Ferraz (2011), as lavanderias da região são classificadas pela Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos (CPRH) como indústrias de beneficiamento têxtil estando associadas aos processos de beneficiamento das peças confeccionadas proporcionando-as um melhor aspecto visual, toque e estabilidade dimensional. A Figura 4.2 apresenta um fluxograma contendo os processos de produção da maioria das lavanderias da cidade de Caruaru-PE.



**Figura 2** - Fluxograma do processo de beneficiamento do jeans nas lavanderias de Caruaru-PE.

**Fonte:** O autor.

De forma geral, os processos de beneficiamento de jeans que ocorrem normalmente em indústrias têxteis no APLCP são compreendidos por:

- I. **Recepção:** local onde as peças são pesadas e separadas de acordo com o tipo de lavagem e tingimento solicitado pelo cliente.
- II. **Desengomagem:** primeira etapa úmida, cujo objetivo é a eliminação da goma contida no tecido engomado.
- III. **Lavagem:** É a segunda etapa úmida. A lavagem consiste no processo de limpeza que utiliza água, juntamente com produtos de higienização da linha líquida,

proporcionando um tratamento mais adequado para cada um dos diferentes tipos de artigos têxteis (FIEMG, 2014).

- IV. **Tingimento:** De acordo com Amaral (2015), o processo de tingimento é uma das etapas determinantes do sucesso comercial dos produtos têxteis e ocorre de acordo com a solicitação do cliente e a tendência da moda. Divide-se em três partes, migração, absorção e difusão; e fixação do corante.
- V. **Amaciamento:** etapa subsequente à lavagem ou tingimento; é também a fase final do processo úmido, onde a adição de amaciante confere às peças a suavidade desejada.
- VI. **Secagem:** etapa a seco, normalmente realizada em “tumbler de secagem”. Nessa etapa, atenção especial é dada ao fator temperatura, pois, quando superior a 90°C o encolhimento nas peças pode ser observado (Ferraz, 2011).
- VII. **Acabamento:** etapa parcialmente úmida, pois, a água neste processo encontra-se na forma de vapor. É realizada com o objetivo de eliminar as rugas das peças.
- VIII. **Expedição:** nessa etapa as peças passam por um controle de qualidade a fim de verificar alguma anormalidade no lavado e/ou tingimento além da integridade do jeans.

## 2.4 EFLUENTES TÊXTEIS

A indústria têxtil é conhecida por ser uma das principais fontes de poluição da água. A quantidade de águas residuais das indústrias têxteis tem aumentado juntamente com a crescente demanda por produtos têxteis (TÜRGAY et al., 2011). A composição de efluentes têxteis depende dos diferentes compostos orgânicos à base de produtos químicos e corantes utilizados no processo industrial. (PRATO-GARCIA et al., 2013). O lançamento de efluentes têxteis no ambiente pode causar graves problemas na saúde pública e ambientais.

Devido à grande diversidade e quantidade de corantes utilizados no setor têxtil, estes são responsáveis por conferir cor aos efluentes têxteis (VAN DER ZEE, 2002). Os efluentes coloridos gerados estão associados principalmente à perda do corante durante o processo de coloração. Águas residuais têxteis contém uma quantidade considerável de sólidos em suspensão e substâncias fracamente biodegradáveis tais como aditivos, detergentes, agentes

tensoativos e corantes. Os parâmetros físico-químicas do efluente têxtil apresentam variabilidade significativa como pH, a alta temperatura e concentração de demanda química de oxigênio (DQO) (PHUGARE, 2011).

O lançamento de compostos coloridos em corpos de água afeta diretamente a qualidade da água, tornando o efluente prejudicial devido ao seu impacto sobre a fotossíntese das plantas aquáticas, a natureza cancerígena de muitos desses corantes e seus produtos de degradação (SENTHILKUMAR et al., 2011). Além de que a presença de cor em meio líquido, seja por fontes naturais ou não, provoca repulsa psicológica devido a fatores estéticos, uma vez que a cor na água sempre estará associada à fonte de contaminação (FERRAZ JR. et al., 2011).

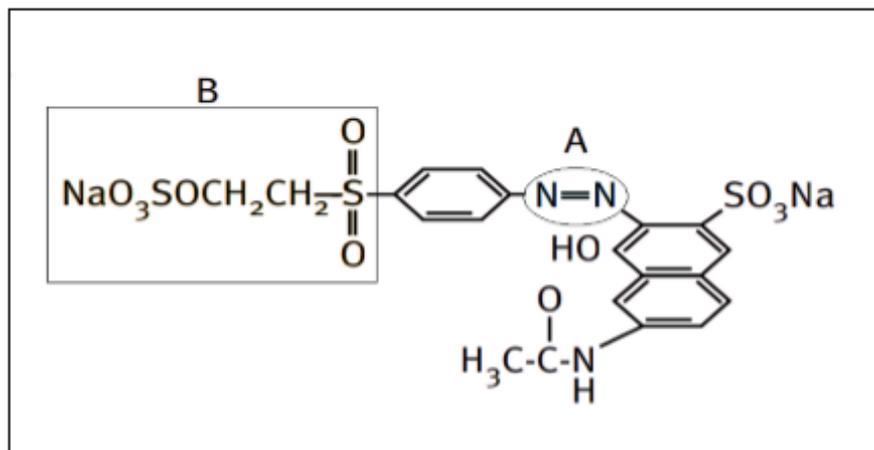
## 2.5 CORANTES TÊXTEIS

Corantes e pigmentos orgânicos podem ser definidos como substâncias intensamente coloridas que, quando aplicadas a um material lhe conferem cor. São substâncias intensamente empregadas para coloração de vários substratos, tais como: alimentos, cosméticos, plásticos, materiais têxteis, etc. Especificamente os corantes têxteis, são compostos orgânicos cuja finalidade é conferir a certa fibra (substrato) determinada cor, sob condições de processo pré-estabelecidas (ABIQUIM, 2012).

Além disso são fontes significativas de poluição estética e afetam diretamente a vida aquática (PRATO-GARCIA et al., 2013); são projetados para serem recalcitrantes em condições de utilização, como exposição à luz solar, lavagem e ataque microbiano e essas propriedades, posteriormente, tornam o processo de tratamento difícil (JONSTRUP et al., 2011).

Estima-se que mais de 80.000 toneladas/ano de corantes consumidos em processos de tingimento têxtil, o que requer 70 - 150 dm<sup>3</sup> de água e 40 g de corantes reativos, por kg de algodão. A quantidade de água consumida e liberada varia também dependendo dos tipos de tecidos utilizados. Portanto, as composições das águas residuais coloridas variam com o tipo de tecido produzido. A entrada destes poluentes em cursos d'água representa um perigo ecotoxicológico grave e introduz o perigo potencial de bioacumulação que podem vir a afetar os seres humanos através da cadeia alimentar (BALAPURE et al., 2016).

A molécula de um corante é dividida em duas partes principais (Figura 4.3). Geralmente apresentam um grupo cromóforo - que dá cor ao composto pela absorção de uma parte de energia radiante - classificado como azo, antraquinona, nitro, indigoides, etc., e a outra parte da molécula é composta de grupos auxiliares, que propiciam sua afinidade pela fibra têxtil - natural ou sintética (ZANONI;CARNEIRO, 2001).



**Figura 3** – Divisão da estrutura molecular de um corante: parte A grupo cromóforo e parte B estrutura de fixação a fibra. **Fonte:** Adaptado de ZANONI;CARNEIRO, 2001

Tendo em vista a complexidade dos corantes, muitas vezes é impossível traduzi-los por uma fórmula química – alguns são misturas de vários compostos e outros não possuem estrutura definida. Para identificar os mesmos corantes, comercializados com diferentes nomes, utiliza-se o Colour Index (CI), que contém uma lista organizada para designar os diversos tipos (ABIQUIM, 2012).

A classificação dos corantes de acordo com a sua utilização está disposta na Tabela 4.1, contendo os principais substratos, métodos de aplicação, bem como as classes químicas representantes de cada corante

**Tabela 1** – Classificação e utilização de corantes industriais.

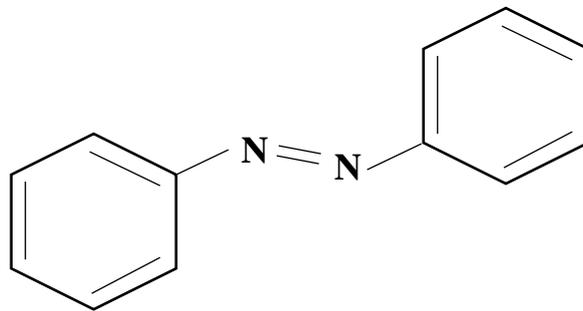
<b>Classe</b>	<b>Substrato</b>	<b>Método de aplicação</b>	<b>Estrutura química</b>
<b>Ácido</b>	Nylon, lã, seda, poliamida sintética, tintas e couro	Geralmente a partir do neutro a ácido	Azo, antraquinona, trifenilmetano, azina, xanteno, nitro e nitros
<b>Azóico</b>	Algodão, rayon, poliéster	Impregnado na fibra com acoplamento e tratado com uma solução salina	Azo
<b>Básico</b>	Papel, nylon modificado, poliéster e tinta	Aplicado a partir de banho de corantes ácidos	Azo, azina, xanteno, acridina, antraquinona, difenilmetano, caianina
<b>Direto</b>	Algodão, viscose, papel, couro e nylon	Aplicado a partir de banho neutro ou ligeiramente alcalino contendo eletrólito	Azo, ftalocianina, estilbeno, oxazine
<b>Disperso</b>	Polyester, poliacrilonitrila, nylon e acetato celulose	Frequentemente aplicado em temperaturas elevadas	Azo, antraquinona, estirilo, nitro
<b>Reativo</b>	Algodão, lã, seda e nylon	O sítio ativo do corante reage com o grupo funcional da fibra covalentemente sob a influência de calor e de pH (alcalino)	Azo, antraquinona, ftalocianina, formazano, oxazina e de base Solvente
<b>Solvente</b>	Plástico, gasolina, vernizes, lacas, tintas, gorduras, óleos e ceras	Dissolução no substrato	Azo, antraquinona, trifenilmetano e ftalocianina
<b>Enxofre</b>	Algodão e rayon	Aplicados após pré-redução em banho de ditonito de sódio	Estrutura indeterminada
<b>Cuba</b>	Algodão, rayon e lã	Insolúveis em água, solubilizados em hidrossulfito de sódio	Antraquinona, índigo e tioindigoides

**Fonte:** Adaptado de HUNGER (2003); ZANONI; CARNEIRO (2001).

Entre todos os tipos de corantes sintéticos comerciais, corantes azo compõem a maior classe que apresenta uma ampla variedade de cores e estruturas e representa até 70% das corantes têxteis totais utilizados (TAN et al., 2014). Eles são amplamente utilizados na indústria

têxtil, por causa da sua estabilidade, variedade de cor e facilidade de aplicação (XIE et al., 2016).

Segundo Jonstrup et al. (2011), corantes azo são compostos aromáticos contendo grupos azo (-N=N-) e substituintes, tais como amino (-NH<sub>2</sub>), cloro (-Cl), hidroxil (-OH), metil (-CH<sub>3</sub>), nitro (-NO<sub>2</sub>), e ácido sulfônico sal de sódio (-SO<sub>3</sub>Na). A cor dos corantes azóicos é atribuída à ligação azo, os auxocromos associados e um sistema de ligações duplas conjugadas (ZHANG et al., 2010). A figura 4.3 representa a estrutura básica de um azocorante.



**Figura 4** - Representação da estrutura química básica de um corante azo. **Fonte:** O autor

Os rendimentos de fixação são, no entanto, baixos, entre 50 e 90%, devido à hidrólise nos banhos de corantes. Efluentes contêm, assim, uma mistura de corantes, com concentrações entre 0,01 e 0,8 g L<sup>-1</sup>. Corantes azo podem ser reduzidos a aminas aromáticas potencialmente cancerígenas em condições deficientes em oxigênio. Isto representa uma ameaça para a agricultura e para a saúde das pessoas que vivem nas áreas circundantes (JONSTRUP et al., 2011).

O lançamento inadequado de efluentes têxteis contendo corantes azo e seus metabólitos em ecossistemas aquosos é esteticamente desagradável e leva a uma redução na penetração da luz solar, que por sua vez diminui a atividade fotossintética, a concentração de oxigênio dissolvido, e a qualidade da água, e proporciona efeitos tóxicos agudos sobre a flora e fauna aquática, causando graves problemas ambientais em todo o mundo. Além disso, os corantes azo também têm um impacto negativo em termos de carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Muitos corantes azo sintéticos e seus metabólitos são tóxicos, cancerígenos e mutagênicos (SARATALE et al., 2011).

Além disso, de acordo com Saratale (2011), os corantes têxteis e efluentes têm efeitos tóxicos sobre as taxas de germinação e de biomassa de diversas espécies de plantas que têm importantes funções ecológicas, tais como fornecer um habitat para a vida selvagem, proteger o solo contra a erosão e fornecer a matéria orgânica que é tão significativo à fertilidade. Portanto, a remoção eficaz de corantes azo de efluentes antes da descarga no meio ambiente é de importância prática (TAN *et al.*, 2014).

## 2.6 TOXICIDADE DOS CORANTES

Os corantes do tipo azo apresentam maior toxicidade, pois o meio redutor se apresenta como um ambiente propício para a clivagem redutiva dos anéis aromáticos e consequente formação de amins aromáticas com potencial carcinogênico e mutagênico (PINHEIRO; TOURAUD; THOMAS, 2004). Estima-se que, durante a fabricação e a aplicação desses corantes, cerca de 10 a 15% seja liberado ao meio ambiente através, principalmente, dos despejos de efluentes.

A avaliação da toxicidade de corantes têxteis é de extrema importância, devido aos efeitos nocivos que estes compostos podem vir a causar ao ambiente e aos organismos a eles expostos. Os efeitos deletérios da presença de azo corantes nos corpos d'água vão muito além da poluição visual (KUNZ *et al.*, 2002; PEREIRA; FREIRE, 2005), pois os corantes à base de benzidina e amins podem liberar estas substâncias como metabólitos, as quais são potencialmente cancerígenas. Estudos realizados com micro-organismos e células de mamíferos apontaram que várias dessas substâncias apresentavam atividade mutagênica e genotóxica (AL-SABTI, 2000; GOTTLIEB *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2005).

Essas substâncias possuem alta persistência no meio aquático pelo fato de apresentarem em sua composição química uma grande quantidade de anéis aromáticos, ligações azóicas, amins e grupos sulfônicos. Estas características conferem aos efluentes contendo corante lento processo de biodegradação, além disso, os resíduos destes compostos possuem alto potencial tóxico para os organismos a eles expostos (VITOR; CORSO, 2008; CARNEIRO *et al.*, 2004).

Em 2005, no Brasil, foi publicada a Resolução CONAMA nº 357, que estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes industriais, inclusive quanto ao potencial para provocar efeitos tóxicos no corpo receptor. Ainda, a Resolução nº 430 do CONAMA,

publicada em maio de 2011, altera e complementa a Resolução nº 357, estabelecendo critérios para a cobrança do atendimento aos parâmetros de toxicidade pelos órgãos ambientais estaduais. Com isto, estes órgãos já estão exigindo, por meio de Portarias e Resoluções, que as empresas atendam aos limites de toxicidade estabelecidos para efluentes (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

A aplicação de testes toxicológicos fornece informações sobre a potencialidade de uma substância química apresentar ou não efeitos tóxicos, a natureza desses efeitos e o seu grau de toxicidade. Com esse conhecimento prévio é possível definir em quais condições um produto potencialmente perigoso, mas de grande utilização pode ser empregado com o mínimo de risco para o meio ambiente.

## 2.7 TRATAMENTO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS TÊXTEIS

A principal causa da poluição envolvendo indústrias têxteis é a durabilidade dos corantes em águas residuais. Portanto é necessário desenvolver tratamentos e tecnologias eficazes para a descoloração de corantes em efluentes. Há muitos relatos sobre o uso de métodos físico-químicos para remoção de cor de corantes. Nas últimas décadas, vários métodos físico-químicos têm sido desenvolvidos para a remoção de corantes oriundos de efluente têxtil, mas estes métodos não são adequados devido à produção de grandes quantidades de lodos tóxicos, aminas aromáticas, e os produtos secundários residuais, além de serem métodos onerosos. No entanto, no cenário atual, métodos de tratamento biológico têm sido mais adequados e amplamente utilizados devido à sua relação custo-benefício, capacidade de produzir menos lodo, e a natureza sustentável (SARALATE, et al., 2011; GOVINDWAR et al., 2014; SINGH et al., 2015).

## 2.7.1 Métodos Físico-químicos

### 2.7.1.1 *Coagulação e Floculação*

Métodos físicos baseados na coagulação-floculação de corantes são eficazes para a remoção principalmente, de enxofre e corantes dispersos, porém mostra baixa capacidade de coagulação-floculação para corantes ácidos, diretos, reativo e em cuba. Além disso, baixa eficiência na remoção da cor e grande quantidade de lodo produzido limitam a aplicação dessas técnicas (VANDEVIVERE et al., 1998).

### 2.7.1.2 *Adsorção*

Métodos de adsorção têm atraído, consideravelmente, o interesse através de sua alta eficiência na remoção de um amplo alcance de corantes. A seleção de um adsorvente é baseada em características tais como, alta afinidade, capacidade de marcar compostos e possibilidade de regeneração adsorvente (SUBRAMANIAM et al., 2009). Embora o carvão ativado seja um adsorvente eficaz para vários tipos de corantes, não é frequentemente usado por causa do seu alto custo (ROBINSON et al., 2001).

Tornar o processo mais economicamente possível, muitas pesquisas usam materiais adsorventes de baixo custo como turfas, argila bentonita, cinzas volantes, resinas poliméricas, trocadores iônicos e muitos materiais biológicos tais como, milho/espigas de milho, caule de milho e palha de trigo para remoção de corantes de águas residuais (RAMAKRISHNA E VIRARAGHAVAN, 1997). Todavia, a aplicação prática desses adsorventes tem sido limitada por problemas associados à sua regeneração ou disposição, alta produção de lodo, baixa eficiência em considerar um amplo alcance de corantes e altos custos (ANJANEYULU et al., 2005; KARCHER et al., 2001).

### 2.7.1.3 Filtração

Métodos de filtração, tais como ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa têm sido usados para reuso da água e recuperação química. Na indústria têxtil, o uso de membranas fornece possibilidades interessantes para a separação de corantes hidrolisados e corantes auxiliares que simultaneamente reduzem a cor, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e DQO de águas residuais. Com esta abordagem, a seleção do tipo e porosidade do filtro depende da composição química de águas residuais e de temperaturas específicas requeridas para o processo (DOS SANTOS et al., 2007). Contudo, membranas têm inconveniências significantes, incluindo alto custo de investimento, entupimento da membrana e a produção de fluxos de resíduos secundários os quais precisam de tratamentos adicionais (DOS SANTOS et al., 2007; ROBINSON et al., 2001).

### 2.7.1.4 Oxidação

Oxidação é o método químico de descoloração comumente mais usado (SLOKAR & LE MARECHAL, 1997). Isto se deve principalmente devido a simplicidade de sua aplicação (ROBINSON et al., 2001). A oxidação química caracteristicamente envolve o uso de agentes oxidantes como o ozônio ( $O_3$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e permanganato ( $MnO_4$ ) para a mudança química dos compostos ou grupos de corantes. (DOS SANTOS et al., 2007).

### 2.7.1.5 Ozonização

O ozônio é um agente oxidante ( $E_0 = 2,08$  V) poderoso e veloz, devido a sua alta instabilidade quando se compara a outros agentes como o peróxido de hidrogênio ( $E_0 = 1,78$  V), permitindo que esta espécie reaja com uma numerosa classe de compostos. Pode reagir com várias espécies contendo múltiplas ligações (ZILLE, 2005), o que para o tratamento de efluentes têxteis se mostra muito atrativo. Geralmente, os grupos cromóforos dos corantes são compostos orgânicos com ligações duplas conjugadas que podem ser quebradas formando moléculas

menores, resultando na redução da coloração (PERALTAZAMORA et al., 1999; KUNZ et al.; 2002).

#### *2.7.1.6 Oxidação através da reação do Reagente Fenton*

Um dos processos de oxidação mais interessantes usa o Reagente Fenton (peróxido de hidrogênio ativado com sais de Ferro II). O sistema de oxidação baseado no Reagente Fenton tem sido usado para o tratamento de substâncias orgânicas e inorgânicas. Este é baseado na formação de compostos oxidantes reativos, capazes de degradar eficientemente os poluentes dos efluentes (ZILLE, 2005). O processo de oxidação Fenton pode descolorir uma ampla faixa de corantes quando comparado ao processo de ozonização. Este processo é relativamente mais barato e resulta geralmente numa larga redução da DQO. Este método é limitado pelo fato dos efluentes têxteis usualmente possuírem pH alcalino, não sendo então eficaz, pois o processo de oxidação Fenton requer pH ácido, grande volume de lodo são gerados pela precipitação dos sais de íon férrico, e o processo perde sua eficácia (ZILLE, 2005).

#### *2.7.1.7 Eletrólise*

A eletrólise é baseada na aplicação de uma corrente através dos efluentes a ser tratado por meio de eletrodos, usualmente usando o ferro para produzir hidróxido ferroso nas soluções. Em vários estudos, métodos eletroquímicos têm sido aplicados eficientemente para descoloração de efluentes coloridos. No entanto, este processo é caro devido à grande demanda de energia e ao tempo de vida limitado dos eletrodos. Além disso, como reações radicais estão envolvidas, a formação descontrolada de produtos de decomposição pode ocorrer (VAN DER ZEE, 2002).

### 2.7.2 Métodos Biológicos

Biorremediação, ou uso de técnicas microbianas para lidar com a poluição, é uma área chave de pesquisa nas ciências ambientais. Nesta abordagem, micro-organismos aclimatam-se aos resíduos tóxicos e novas cepas resistentes desenvolvem-se naturalmente, que, então, transformam diversos produtos químicos tóxicos em formas menos nocivas. O mecanismo por trás da biodegradação de compostos recalcitrantes no sistema microbiano é baseado na ação da biotransformação enzimática (SARATALE et al, 2007). Vários estudos mostram a degradação de substâncias orgânicas complexas que pode ser provocada por mecanismos enzimáticos.

Uma série de abordagens biotecnológicas tem atraído o interesse no que diz respeito ao combate à poluição de corante azo de uma forma ecoeficiente. Corantes azo são xenobióticos na natureza e recalcitrante para a biodegradação, e a utilização microbiana ou método de tratamento enzimático para a descoloração e degradação completa de tais corantes de efluente têxtil tem as seguintes vantagens: (1) ser sustentável, (2) ter um menor custo, (3) a produção de menos lodo, (4) obtenção de produtos finais que são não tóxicos ou que tenham mineralização completa; e (5) que requer um menor consumo de água em comparação com métodos físico-químicos (BANAT et al, 1996; RAI et al, 2005).

Há vários relatórios sobre as desvantagens do uso de técnicas físico-químicas convencionais e, portanto, a remediação usando micróbios podem desempenhar um papel central. Descoloração microbiana envolvendo bactérias (PANDEY et al, 2007;. SILVEIRA et al, 2009; WAGHMODE et al, 2011a, 2011b.), leveduras (TAN et al, 2013.) e fungos (CHAKRABORTY et al., 2013;. BARRASA et al., 2014; TAHA et al., 2014) emergiu como uma abordagem autossustentável.

A eficácia de descoloração microbiana depende da capacidade de adaptação e a atividade dos micro-organismos selecionados. Por conseguinte, um grande número de espécies foi testado para a descoloração e a mineralização de diversos corantes nos últimos anos (PANDEY et al., 2007). O isolamento de espécies potentes e assim a sua degradação é um dos aspectos interessantes biológicos de tratamento de efluentes (CHEN et al., 2008). A descoloração microbiológica pode ocorrer através de biossorção, degradação enzimática ou uma combinação de ambos. A eficácia das técnicas de descoloração para a remoção de corantes azóicos, depende da classe de corante, bem como os seus grupos substituintes variados e as

características físico-químicas do efluente, tais como pH, temperatura, teor de sal e a presença de poluentes orgânicos (SOLIS, 2012).

Ao longo das últimas décadas, a capacidade dos fungos para a degradação de tais compostos tóxicos tem sido estudada extensivamente. O sistema fúngico é conhecido por abrigar uma ampla gama de sistema de enzimas óxido-redutases, tais como a lacase, peroxidases, NADP-redutase, DCIP, tirosinase, etc que são capazes de oxidar uma grande variedade de corantes estruturalmente diferentes devido ao seu carácter não-específico e diversificado. Vários estudos sobre descoloração de corantes têxteis por aplicação de várias espécies de fungos da podridão branca (WESENBERG et al., 2003; SINGH E PAKSHIRAJAN., 2010; BARRASA et al., 2014), *Penicillium* (YANG et al., 2011; JASINSKA et al., 2012), *Aspergillus sp.* (JIN et al., 2007; ILYAS E REHMAN., 2013) etc. tem sido relatada. Eles são conhecidos por apresentar uma maior capacidade para atuar sobre um amplo espectro de corantes sintéticos com o seu sistema de enzima lignina-degradante extracelular não específica.

Várias interações físico-químicas envolvendo mecanismos, tais como adsorção, deposição e troca iônica permite uma taxa de aplicação mais rápida. As diferentes espécies fúngicas têm sido investigadas para a sua capacidade de bioadsorção longo de uma vasta gama de corantes diferentes estruturalmente (SINHA et al., 2016). O uso de *Aspergillus niger* e *Thermomucor indicae-seudaticae* como bioadsorvente, foi demonstrado por KHALAF, 2008 e TAHA et al., 2014, respectivamente.

## 2.8 MECANISMOS DE DESCOLORAÇÃO MICROBIANA

Os micro-organismos são sensíveis à presença de substâncias químicas, tais como corantes, alta salinidade, variações de pH e teor elevado de compostos orgânicos (DUA et al., 2002; ANG, et al., 2005; MEGHARAJ et al., 2011). Para processos de biorremediação, os micro-organismos mais úteis são os isolados de ambientes contaminados à indústria têxtil, incluindo solo, efluentes e lodos provenientes de estações de tratamento de águas residuais, porque eles estão adaptados para crescer em condições extremas (YANG et al., 2009; OLA et al., 2010; AYED et al., 2011) O processo biodescoloração é dependente dos seguintes fatores:

a estrutura fontes corante azo, de carbono e azoto, salinidade, pH, temperatura, concentração de corante e a presença ou ausência de oxigênio.

A descoloração microbiana pode ocorrer por dois mecanismos principais: bioissorção e degradação enzimática, ou uma combinação de ambos (PHUGARE et al., 2010; WU et al., 2012). A eficiência das técnicas de descoloração para a remoção de corantes azo, depende da classe do corante, bem como os seus grupos substituintes variados e as características físico-químicas do efluente, tais como pH, temperatura, teor de sal e a presença de poluentes orgânicos (SOLIS et al., 2012).

### 2.8.1 Bioissorção

A biomassa de algas, leveduras, fungos filamentosos e bactérias tem sido usada para remover corantes por bioissorção (BHATNAGAR e SILLANPÄÄ, 2010). A capacidade de bioissorção de um micro-organismo é atribuída aos componentes heteropolissacarídeos e lipídicos da parede celular, que contêm diferentes grupos funcionais, incluindo grupos amino, carboxil, hidroxil, fosfato e outros grupos carregados, causando fortes forças de atração entre o corante azo e a parede celular (AKSU e DÖNMEZ, 2003; VITOR e CORSO, 2008; SRINIVASAN e VIRARAGHAVAN, 2010; CHARUMATHI e DAS, 2012).

Segundo Aksu (2005), diversos mecanismos complexos como quelação, complexação, adsorção química e física, microprecipitação, permuta iônica e interação eletroestática estão envolvidos na descoloração de corantes por biomassa. Todavia, poucas informações estão disponíveis sobre essas interações, necessitando-se mais estudos para confirmá-las (SANGUI e VERMA, 2013).

O mecanismo de bioissorção envolve duas fases: uma fase sólida (bioissorvente) e uma fase líquida (solvente) que contêm as substâncias a serem adsorvidas (corantes, metais, etc.). Como o adsorvente apresenta maior afinidade para os produtos de adsorção, ocorre uma atração desses compostos para a superfície desses materiais. Assim, o processo prossegue até atingir o equilíbrio entre a quantidade de substâncias ligadas aos sólidos e a sua porção restante na solução (RAMACHANDRA et al., 2009). O processo se inicia com a difusão do composto adsorvido para a superfície da célula microbiana. Em seguida, de acordo com a afinidade

química, ocorre a ligação desse composto à superfície celular. Esse processo normalmente ocorre de forma rápida e é reversível (AKSU e TEZER, 2000).

A aplicação de fungos em processos de biossorção tem sido bastante empregada devido a sua alta disponibilidade de material biológico e seu baixo custo, podendo ser produzido de forma simples e através de meios de crescimento mais acessíveis (CRINI, 2006). A capacidade de regeneração da biomassa microbiana também é uma vantagem quando comparado a outras fontes de adsorventes não renováveis como a turfa ou o carvão ativado granular (GALLAGHER et al., 1997).

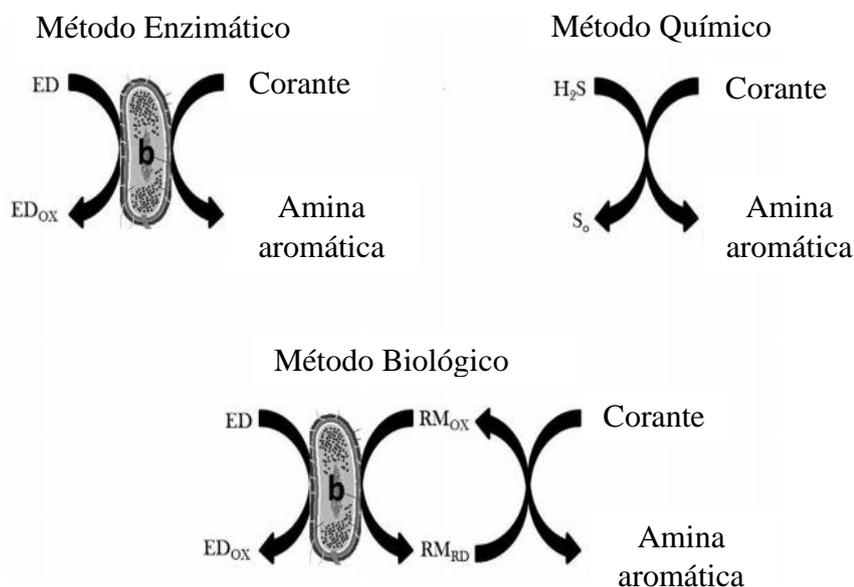
Sumathi e Phatak (1999) verificaram que a descoloração máxima de vários corantes azo usando *Aspergillus foetidus* é alcançada na presença de fontes de carbono e durante o crescimento exponencial. Alguns processos de pré-tratamento podem modificar a capacidade de adsorção da biomassa, tais como autoclavagem (LIM et al., 2010), como a alta temperatura faz com que haja a ruptura celular com um aumento consecutivo da área superficial (FU e VIRARAGHAVAN, 2001), e tratamento com ácido (SRINIVASAN e VIRARAGHAVAN, 2010), formaldeído (AMBRÓSIO et al., 2012), NaOH, NaHCO<sub>3</sub> ou CaCl<sub>2</sub> (FU e VIRARAGHAVAN, 2000; VIJAYARAGHAVAN e YUN, 2007), que alteram a superfície do microrganismo e aumentam ou diminuem a capacidade dos locais de ligação. A eficiência da biossorção depende das seguintes condições: pH, temperatura, força iônica, tempo de contato, do adsorvente e da concentração do corante, bem como da sua estrutura e do tipo de microrganismo (SOLIS et al., 2012).

O tratamento dos efluentes pela técnica de biossorção é mais vantajoso quando comparado a sistemas de tratamento que utilizam enzimas isoladas, uma vez que a purificação dessas enzimas apresenta custo elevado. Nesse método a célula pode ainda oferecer proteção para as enzimas durante todo o processo. Além disso, os resultados obtidos a partir da utilização das células inteiras no tratamento dificilmente seriam encontrados ao se utilizar enzimas extraídas individualmente (PEARCE et al., 2003).

## 2.8.2 Degradação enzimática

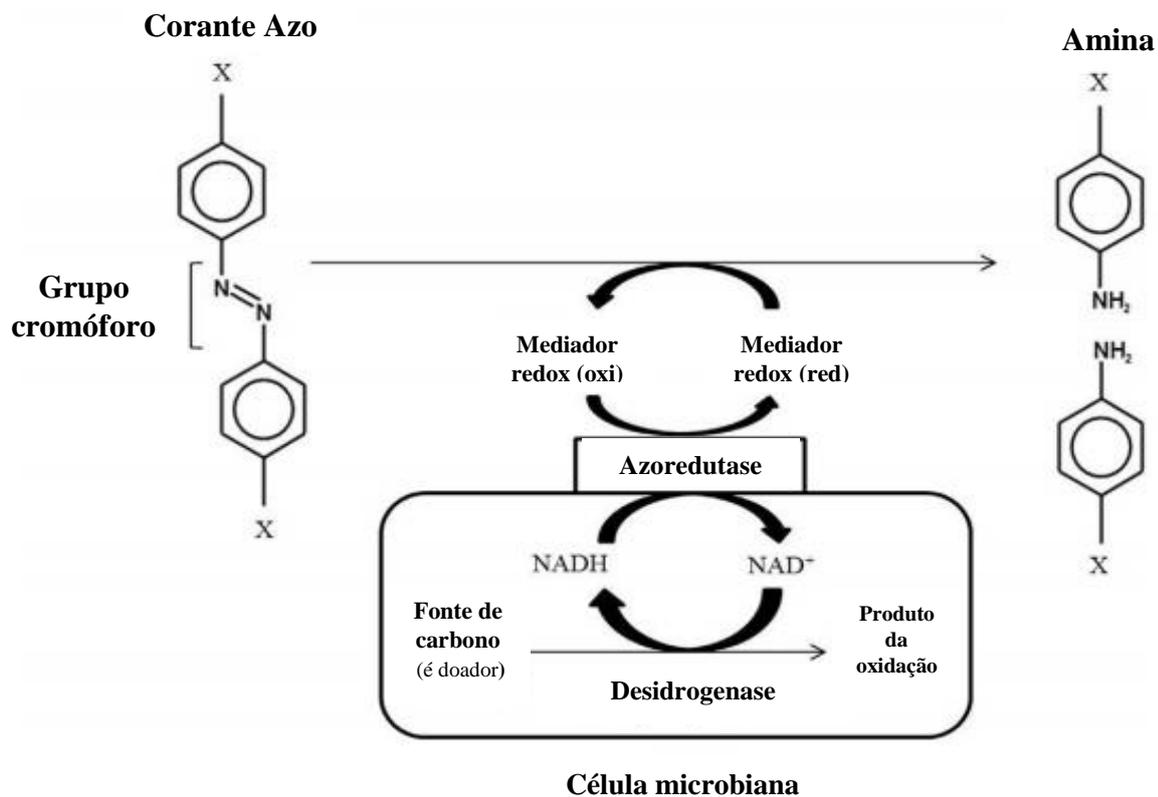
De acordo com Singh et al. (2015), o primeiro passo na descoloração de corantes azo microbiana, quer em condições aeróbicas ou anaeróbicas, é a redução da ligação azo ( $-N=N-$ ) do grupo cromóforo. Esta redução pode envolver vários mecanismos, tais como enzimas, mediadores redox de baixo peso molecular, redução química por redutores biogénicas como sulfeto, ou uma combinação destes e a localização dessas reações podem ser intracelulares ou extracelulares (Figura 4.4).

Em caso de descoloração enzimática e degradação de corantes azo, duas famílias de enzimas, Azoreductases e lacases parecem ter mostrado um grande potencial. Lacases têm grande potencial para descolorir uma extensa gama de corantes industriais conhecidos (RODRIGUEZ et al, 1999; REYES et al, 1999). Há certas enzimas como Manganês peroxidase (MnP), lignina peroxidase (LIP), polifenol oxidase (PPO) etc. também são promissores na descoloração e degradação de corantes azo.



**Figura 5** - Vários métodos de degradação de corantes azo (RM = Mediador redox; ED = Doador de elétrons; b = bactéria). Adaptado de Singh et al. (2015)

Azoredutases são o maior grupo de enzimas utilizadas na descoloração/degradação de corantes azo por bactérias e fungos. Pode descolorir corantes azo nas suas correspondentes aminas aromáticas (produtos incolores) através de clivagem reductiva de azo ligação (PANDEY et al., 2007). Azoredutases catalisam a reação apenas na presença de agentes como NADH, NADPH e FADH<sub>2</sub> redução. Estas moléculas redutoras atuam como um doador de elétrons e envolvem a quebra da ligação azo no local intracelular ou extracelular da membrana da célula microbiana. Como as azoredutases em alguns microrganismos podem catalisar a clivagem de grupos azo, elas têm grande importância na concepção de processo de biotratamento de águas residuais contendo corantes azo (SINGH et al., 2015). A figura 4.5 mostra o mecanismo proposto para a redução dependente do mediador redox de corantes azóicos com células microbianas inteiras, sob condições anaeróbicas.



**Figura 6** - Mecanismo proposto da degradação de corantes azo por azoredutase. Adaptado de Singh et al. (2015).

As lacases são os membros mais comuns da família de proteínas multicobre oxidase (MCO) (BIRHANLI E YESILADA, 2006; ARORA E SHARMA, 2010; GIARDINA et al, 2010). Essa enzima foi descoberta pela primeira vez na seiva da árvore japonesa *Rhus vernicifera*, e sua característica como uma oxidase contendo metal foi descoberto por Bertrand em 1985 (GIARDINA et al., 2010). Husain (2006) revelou que a lacase tem atraído interesse significativo na descoloração de efluentes têxteis. Lacases são oxirredutases que têm grande importância em diferentes processos biotecnológicos, principalmente por causa de sua capacidade de biorremediação, devido às suas características distintas, como a capacidade de oxidação não específica, sem exigência de co-fatores e também eles não utilizam o oxigênio prontamente disponível como um receptor de elétrons (TELKE et al, 2011; KALYANI et al, 2012).

## 2.9 DESCOLORAÇÃO DE CORANTES AZO USANDO FUNGOS FILAMENTOSOS

Os micro-organismos são sensíveis na presença de substâncias químicas, tais como corantes, alta salinidade, variações de pH e teor elevado de compostos orgânicos (DUA et al, 2002; ANG et al., 2005; MEGHARAJ et al, 2011). Para processos de biorremediação, os micro-organismos mais usados são os isolados de ambientes contaminados pela indústria têxtil, incluindo solo, efluentes e lodos das estações de tratamento de águas residuais, porque eles estão adaptados a crescer em condições extremas (YANG et al., 2009; OLA et al., 2010; AYED et al., 2011).

Vários parâmetros operacionais físico-químicos, tais como o nível de agitação, oxigênio, temperatura, pH, a estrutura do corante, a concentração do corante, a suplementação de diferentes fontes de carbono e azoto, doador de elétrons e um mediador redox, influenciam diretamente no desempenho da descoloração microbiana de corantes azóicos, em processo de tratamento biológico.

Os fungos filamentosos estão presentes em todos os ambientes, bem como a adaptação rápida do seu metabolismo com várias fontes de carbono e nitrogênio é importante para a sua sobrevivência. A aplicação de fungos filamentosos no processo de descoloração é uma alternativa atraente devido ao baixo custo e a possibilidade de mineralização total do corante (HUSAIN e HUSAIN, 2007; ASGHER et al., 2008). A Descoloração pode ser conseguido por

adsorção ou degradação enzimática. A tabela 4.1 mostra exemplos de fungos na descoloração de corantes.

Adsorção é melhor em pH 2-3, que é provavelmente devido à atração eletrostática entre as moléculas de corante carregadas e a superfície celular carregado (KAUSHIK e MALIK, 2009; ERDEN et al., 2011). A capacidade de adsorção da biomassa fúngica aumenta com a temperatura, como resultado do aumento da atividade superficial e energia cinética do corante (BAKSHI et al., 2006; ERDEN et al., 2011). No entanto, a descoloração é diminuída a temperaturas muito elevadas, o que é possivelmente devido a desativação da superfície do adsorvente ou a destruição de alguns locais ativos. Além disso, a adsorção do corante é dependente da concentração de corante; em concentrações mais elevadas, a adsorção é diminuída (SOLIS et al, 2012).

**Tabela 2** – Aplicação de vários fungos na descoloração de corantes.

<b>Micro-organismo</b>	<b>Corantes</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Referências</b>
<i>Aspergillus foetidus</i>	Drimarene red, Drimarene blue	Biossorção	Sumathi and Manju (2000)
<i>Aspergillus niger</i>	Congo red	Biossorção	Fu and Viraraghavan (2001)
<i>Thelephora sp</i>	Orange G, congo red, amido black 10B	Biodegradação	Selvam et al. (2003)
<i>Trametes versicolor</i>	Remazol black B	Biodegradação	Aksu et al. (2007b)
<i>Trametes versicolor</i>	Direct blue 1, direct red 128	Biossorção	Bayramoglu and Arica (2007)
<i>Funalia trogii</i>	Astrazon red	Biodegradação e Biossorção	Yesilada et al. (2002)
<i>Perenniporia tephropora</i>	Remazol brilliant blue R, neolane blue, neolane pink	Biodegradação	Younes et al. (2007)
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Gryfalan black RL	Biossorção	Aksu and Karabayir (2008)

## 2.10 POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE FUNGOS DO BIOMA CAATINGA

O Brasil possui em seu território uma diversidade de ecossistemas cujas riquezas não são ainda totalmente conhecidas, como a Caatinga na região semiárida. O semiárido, segundo Medeiros et al. (2014), é composto por oito estados da região nordeste, além da região setentrional do estado de Minas Gerais, conforme figura 4.6. A região ocupa 18,2% do território nacional, abrange 20% dos municípios e representa 11,44% da população brasileira, isto é, em quase 1 milhão de km<sup>2</sup> e nos 1135 municípios vivem mais de 22,5 milhões de pessoas, segundo os dados para 2010 (MENDES, 2016).



**Figura 7** - Abrangência do semiárido brasileiro. **Fonte:** Medeiros et al., 2014.

Segundo Barbosa (2010), a Caatinga é o único bioma essencialmente brasileiro, apresentando diversas espécies endêmicas. Atualmente, devido à elevada degradação das áreas nativas, a caatinga representa um patrimônio natural ameaçado, sendo que apenas entre os anos de 2002 e 2008 quase 16,6 mil km<sup>2</sup> foram desmatados, o que já significa uma perda de mais de 50% da área original, segundo o IBAMA (2010), o que afeta na manutenção do clima da região, na ocorrência de chuvas, na qualidade dos solos, na desertificação, na sobrevivência de animais e plantas e principalmente na qualidade de vida.

Nas regiões do semiárido, presente em países tropicais, países esses onde grande parte da diversidade fúngica está presente, geralmente os fungos apresentam ampla capacidade de resistência osmótica e adaptabilidade a condições específicas de pH e salinidade, sendo assim fungos destas regiões tornam-se alvos promissores de bioprospecção (GIULIETTI & QUEIROZ, 2006) e além disso, podem desenvolver mecanismos de adaptação para possível aplicação em biorremediação de áreas contaminadas por efluentes têxteis e outras substâncias recalcitrantes.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

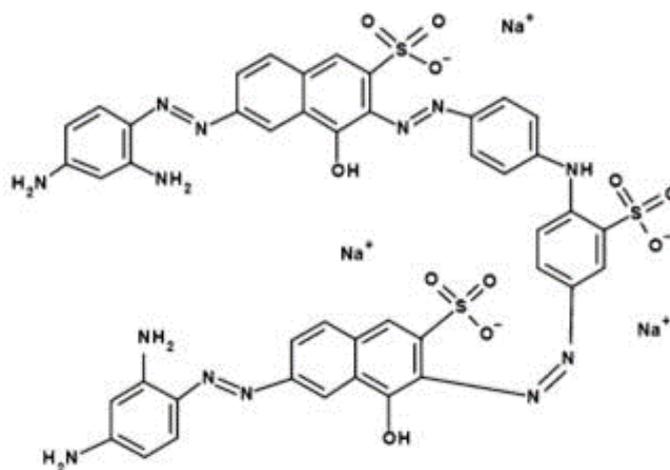
#### 3.1 REAGENTES

O meio líquido utilizado para o crescimento do fungo para posterior ensaio de bioadsorção continha (g/l de água deionizada): 10g de extrato de carne, 3g de peptona e 20g de glicose.

#### 3.2 CORANTE TETRA-AZO *DIRECT BLACK 22*

O corante utilizado foi o tetra-azo *Direct Black 22* (C. I. 35435; CAS 6473-13-8) (Figura 5.1) de qualidade comercial (Exatacor Araquímica Indústria e Comércio de Corantes, Brasil), por ser o corante azo mais aplicado nas lavanderias de jeans da região do agreste pernambucano.

O corante foi submetido sempre a hidrólise antes de ser usado no experimento. Esta etapa apresentou o ajuste do pH da solução do corante, preparada em água deionizada para  $11,0 \pm 0,05$  com o emprego de NaOH 20%, seguido por 1h de aquecimento à  $80^{\circ}\text{C}$ ; após o resfriamento da solução, a mesma será neutralizada a  $\text{pH } 7,0 \pm 0,05$  com HCl (DOS SANTOS, 2005). Foram ratificados procedimentos de hidrolisação similares no estudo de Albuquerque et al. (2005).



<b>Fórmula Molecular</b>
$\text{C}_{44}\text{H}_{32}\text{N}_{13}\text{Na}_3\text{O}_{11}\text{S}_3$
<b>Peso Molecular</b>
1083,97 [g/mol]

**Figura 8** - Estrutura química do corante tetra-azo *Direct Black 22*. Fonte: CAS 6473-13-8.

### 3.3 MICRO-ORGANISMOS

As cepas de fungos filamentosos foram obtidas da coleção de micro-organismos da Universidade Católica de Pernambuco (UCP), Recife, Pernambuco, Brasil. As espécies fúngicas foram isoladas do solo do bioma Caatinga (Região Nordeste do Brasil) e mantidas em meio Czapek agar.

### 3.4 CONDIÇÕES DAS CULTURAS PARA OS EXPERIMENTOS DE DESCOLORAÇÃO

Os esporos obtidos das cepas da coleção de micro-organismos foram inoculados em tubos contendo meio Czapek agar e incubados a uma temperatura de 30°C durante 5 dias. Depois desse período de tempo, de um tubo completamente esporulado, foram retiradas porções de esporos para produzir uma solução de esporos ressuspensos (0,05% de meio de Tween 80), devidamente autoclavado.

Para uma melhor padronização, a contagem dos esporos foi realizada enchendo com 20µl da solução ressuspensa a câmara de Neubauer com fator de concentração 10<sup>4</sup>. Para determinar a contagem dos esporos por ml, foram apurados os esporos presentes no quadrante central e em suas extremidades sob microscópio óptico. Por fim, foi calculado com a razão entre o volume final trabalhado (75 ml) e o número de esporos multiplicado por 5 (quantidade de quadrantes observados).

### 3.5 SCREENING DE FUNGOS FILAMENTOSOS COM POTENCIALIDADES PARA A DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22

Três espécies de fungos filamentosos foram testadas na descoloração do corante Direct Black 22. Foi realizado um teste randômico com o objetivo de selecionar visualmente o fungo com maior potencialidade na descoloração do corante em estudo em um menor tempo para testes posteriores.

Enlenmeyers de 250 ml contendo 60 ml de meio líquido (caldo glicosado) foram inoculados com diferentes células de fungos cada, provenientes da suspensão de esporos. Após o inóculo, os frascos foram incubados à 30°C em mesa agitadora (120 rpm) por 2 dias. Ao término do prazo de tempo estabelecido, foi adicionado em cada frasco 15 ml da solução do Direct Black 22 numa concentração de 50 mg/L<sup>-1</sup>. Depois de adicionado o corante, os frascos foram incubados novamente à 30°C em mesa agitadora (120 rpm) e monitorados em diferentes intervalos de tempo.

### 3.6 ESPECTRO DE VARREDURA DO CORANTE PARA DETERMINAÇÃO DE MÁXIMA ABSORÇÃO

A máxima absorção dos corantes bruto e tratado foram obtidos através de varredura espectral, em duplicata, entre os comprimentos de onda de  $\lambda = 280-600$  nm em espectrofotômetro. As interpretações espectrais foram qualitativas e relativas à comparação entre o espectro obtido das soluções do corante antes e após o tratamento realizado. Em todas as determinações as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 10.000 RPM e avaliados em espectrofotômetro, utilizando água destilada como referência.

### 3.7 ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO.

O ensaio de descoloração do Direct Black 22 foi realizado em condições estáticas, bem como em condições de agitação (120 rpm), ambos à 30° C em frascos de Erlenmeyer contendo 80 ml de caldo glicosado com o fungo selecionado há 48h crescido e 20 ml do corante Direct Black 22. Todas as experiências de descoloração foram realizadas em triplicatas e a expressas em termos de porcentagem. Diferentes concentrações do corante foram testadas (50 g/L; 125 g/L; 250 g/L) com a finalidade de estudar o desempenho da descoloração.

Alíquotas (2 mL) de cada frasco foram retiradas em intervalos de tempo de 15min durante 3 horas, centrifugadas à 10000 rpm durante 10 minutos e o sobrenadante foi usado para determinar a eficiência da descoloração espectrofotometricamente. A descoloração foi

monitorada pela medida da absorbância do sobrenadante à 475 nm e segundo Govindwar et al. (2014), calculada com a seguinte fórmula:

$$\text{Descoloração (\%)} = [(A_i - A_t) / A_i] \times 100 \quad (I)$$

Onde  $A_i$  é a absorbância inicial do corante e  $A_t$  a absorbância ao longo do tempo.

### 3.8 ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO POR BIOMASSA MICROBIANA VIVA/MORTA

Após a seleção do fungo a ser trabalhado, bem como a definição dos parâmetros de melhores condições de descoloração, foram utilizadas culturas vivas e mortas (autoclavadas) para avaliar a eficiência de descoloração entre elas.

Diferentes frascos de enlarmeyers de 250 ml contendo 60 ml de caldo glicosado foram utilizados uns contendo o fungo há 48h crescido e outros o fungo autoclavado a 121°C por 20 min, após o crescimento. Posteriormente foi adicionado aos frascos 15 ml do corante Direct Black 22 a uma concentração de 125 mg/L e colocados sob agitação (120 rpm) à 30° C. Frascos com 60 ml de água deionizada e 15 ml do corante (125 mg/L) foram usados como controle.

Amostras de 2 ml foram coletadas num intervalo de tempo de 15 min para mensuramento da absorbância. Todo o experimento foi realizado em triplicata.

### 3.9 DETERMINAÇÃO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DO POTENCIAL REDOX NO ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO POR BIOMASSA VIVA/MORTA

Todo o ensaio foi monitorado por meio da análise dos parâmetros oxigênio dissolvido e potencial redox pelo método analítico potenciométrico de acordo com Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

### 3.10 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM *Artemia salina*

Os ensaios de toxicidade da solução do corante bruto e tratada sobre *Artemia salina* foram realizados de acordo com metodologia proposta por Meyer et al. (1982), com adaptações, utilizando água do mar previamente autoclavada, para eclosão dos ovos de *Artemia* e no preparo das demais diluições. Os ovos foram colocados para eclodir em um béquer contendo água do mar e mantidos sob iluminação, a 25° C por um período de 48 horas.

Após a eclosão dos ovos, o teste foi realizado em placas de 24 poços, onde cada análise foi feita com dez náuplios de *Artemia sp.* As reações ocorreram adicionando 0,5 ml da solução do corante bruto em diferentes concentrações (0,250, 0,125, 0,062, 0,031 mg/mL) e do corante tratado (0,050 mg/mL e 0,125 mg/mL) em diferentes poços a 2 mL de água do mar. Os ensaios foram realizados em triplicata e temperatura constante a 25° C, durante 24 horas, sendo o controle negativo em água do mar conduzido paralelamente. Após o período de exposição foi efetuada a contagem do número de larvas vivas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SCREENING DOS ISOLADOS FÚNGICOS

Três cepas de fungos isolados da rizosfera do bioma Caatinga foram selecionados para avaliar suas capacidades quanto à remoção total do corante Direct Black 22 (50 mg/l) em um menor intervalo de tempo. Os resultados mostraram que apenas duas das cepas testadas foram capazes de remover a cor num intervalo de tempo menor que 120 min. (Tabela 6.1). A cepa UCP1279 apresentou maior eficiência na descoloração em 60 minutos, menor período de tempo em estudo, portanto, foi selecionada para os estudos posteriores. Muitos estudos apresentam bons resultados na descoloração de corantes usando o fungo pertencente ao gênero *Aspergillus* (IMRAN et al., 2015).

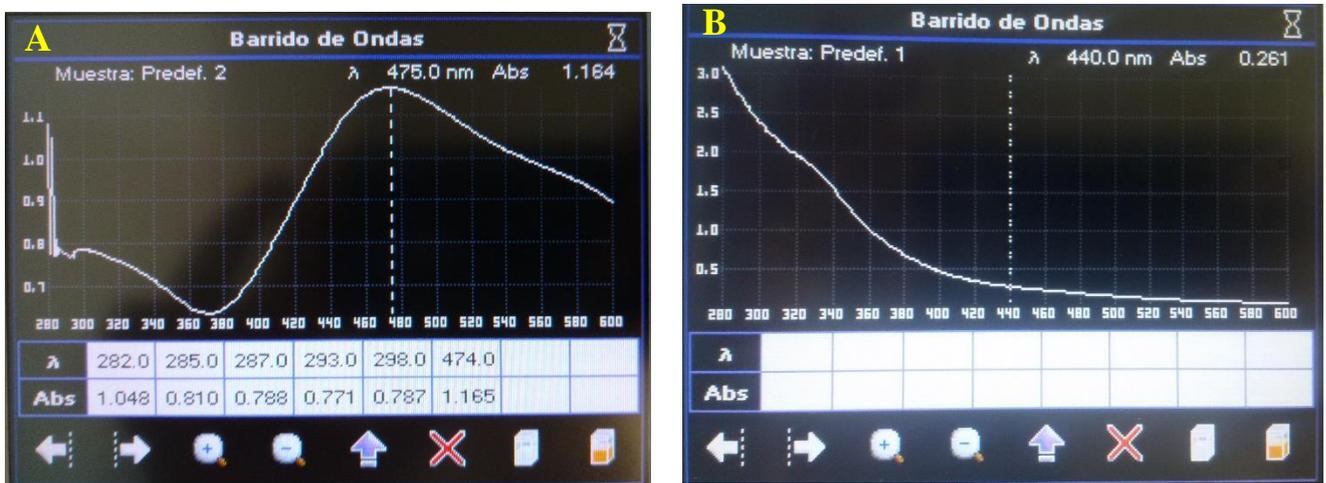
*Mucor subullissimus* UCP 1262 apresentou uma descoloração mais eficaz num intervalo de tempo maior que 60 minutos e menor que 120 minutos. *Cunninghamella phaeospora* UCP1303, por sua vez, não apresentou descoloração completa num período de tempo menor que 180 minutos. Sendo assim o *Aspergillus sp* UCP1279, se apresentou como um fungo de melhor potencial descolorante, quando comparado com os demais citados.

**Tabela 3** – Screening de fungos isolados da Caatinga e suas eficiências quanto ao intervalo de tempo na descoloração do corante.

Identificação	Micro-organismos teste	Tempo de descoloração (min)		
		60	60-120	120-180
UCP1279	<i>Aspergillus sp</i>	+		
UCP1262	<i>Mucor subullissimus</i>	-	+	
UCP1303	<i>Cunninghamella phaeospora</i>	-	-	-

## 4.2 COMPRIMENTO DE ONDAS DA ESTRUTURA QUÍMICA DO CORANTE TETRA-AZO DIRECT BLACK 22

Poucos espectros eletrônicos são reproduzidos na literatura científica, a maioria é descrita por indicações de comprimento de onda de máxima absorção e absortividades dos principais picos de absorção (PAVIA et al., 2010). Através da análise do espectro da solução do corante Direct Black 22 preparado foi possível identificar o comprimento de onda de maior absorção em 475 nm, conforme Figura 6.1A.



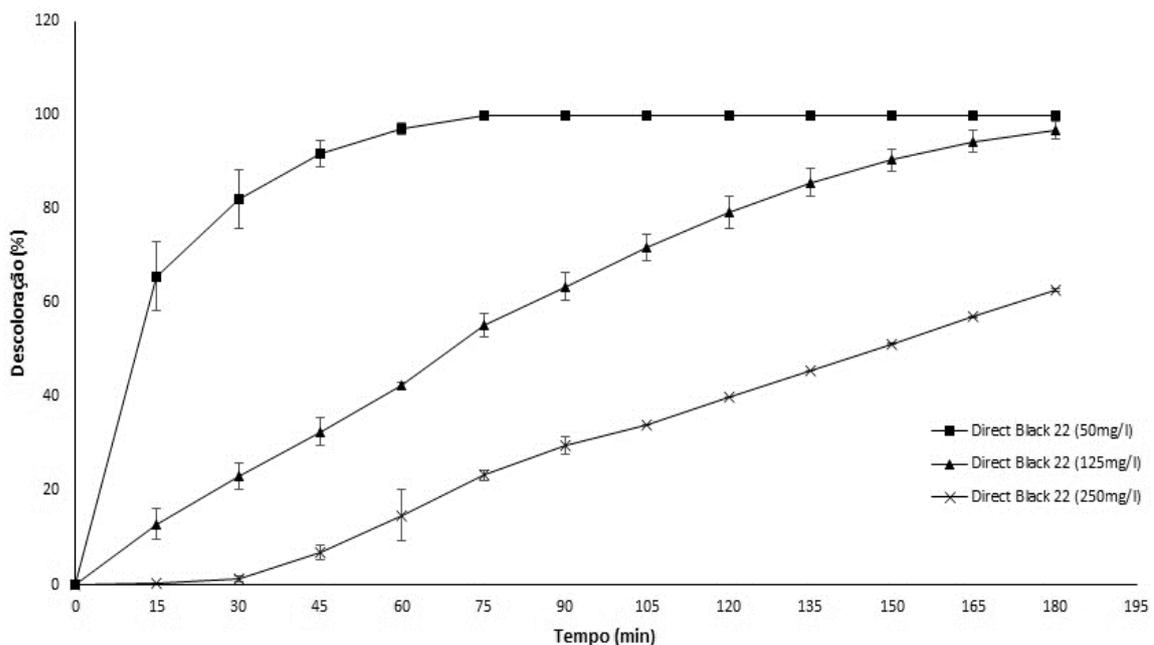
**Figura 9** – A: Máximo comprimento de onda da solução do corante Direct Black 22; B: Varredura de comprimentos de ondas da solução do corante pós tratamento.

De acordo com Pedrosa (2009) o surgimento de uma cor em determinada substância se deve à existência ou à formação, na molécula, de um ou mais grupos cromóforos, sendo necessário que estes sejam ligados a substância rica em átomos de carbono. Introduzindo-se um cromóforo na molécula de um composto aromático a absorção se realiza na direção da parte visível do espectro e se obtém uma substância mais ou menos colorida, perceptível ao olho humano.

Conforme pode ser observado na Figura 6.1B, houve um decréscimo máximo das absorbâncias, comprovando a ausência de coloração e corroborando a eficiência do biotratamento.

#### 4.3 DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22 POR *Aspergillus sp* UCP1279

Foi avaliado o desempenho do *Aspergillus sp* UCP1279 na descoloração do corante azo Direct Black 22. O processo de descoloração foi realizado sob agitação (120 rpm) e em condições estáticas. Como mostrado na Figura 6.2, depois que o Direct Black 22 em diferentes concentrações foi adicionado às culturas de *Aspergillus sp* UCP1279 crescidas a 48h em caldo glicosado, o corante de menor concentração (50 mg/l) teve uma eficiência de 100% na descoloração em um intervalo de tempo de 75 min. Enquanto que com o aumento das concentrações do Direct Black 22, as eficiências da descoloração depois de 75 min diminuiram. As taxas de descoloração dos corantes com concentrações de 125 mg/l e 250 mg/l, num período de tempo de 180 minutos foram de 97% e 63%, respectivamente.



**Figura 10** – Descoloração do corante azo Direct Black 22 em diferentes concentrações por *Aspergillus sp* UCP1279 sob agitação (120 rpm) à 30°C

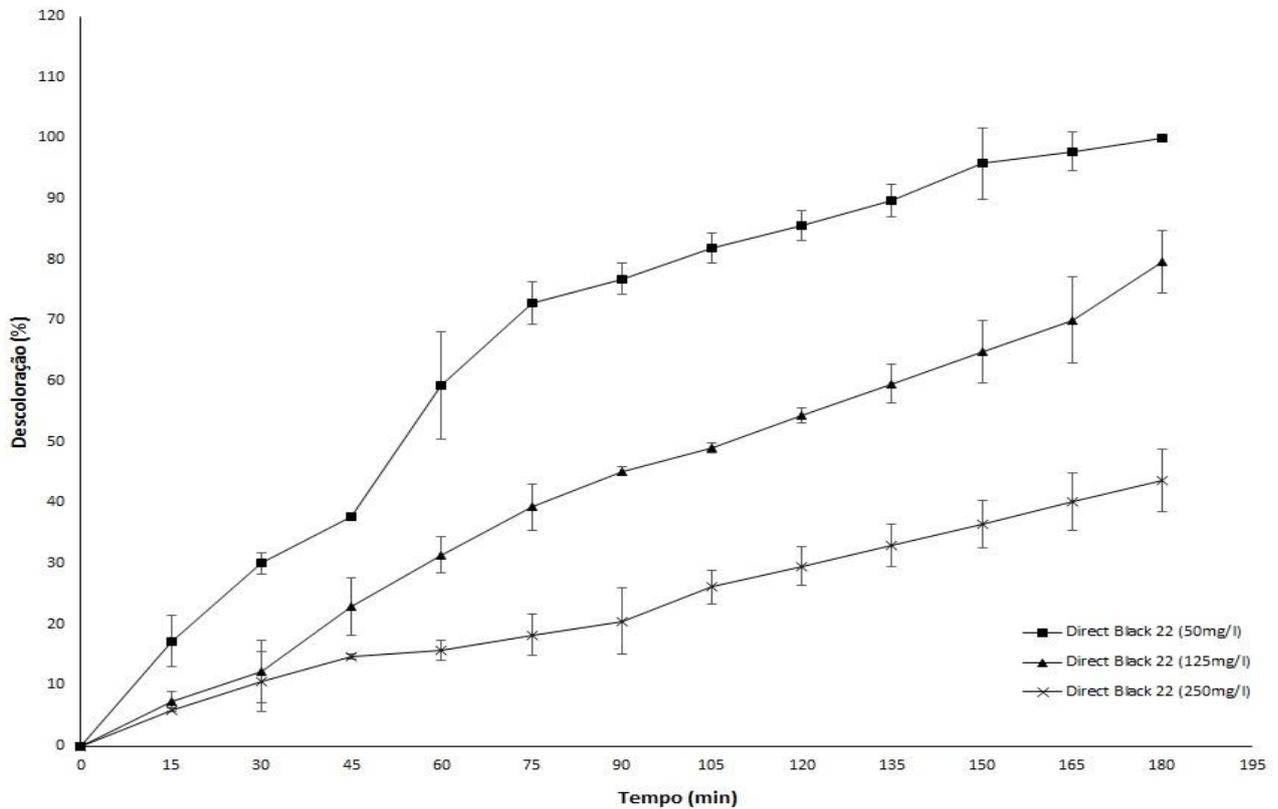
O presente estudo sugeriu que altas concentrações do corante Direct Black 22 podem ser efetivamente descolorizado pelo fungo *Aspergillus sp* UCP1279 sob agitação (120 rpm) à 30°C. *Aspergillus sp* UCP1279 tem forte adaptabilidade e tolerância a altas concentrações do

*Direct Black 22*. Logo, no ponto de vista da aplicação prática, o uso do fungo é mais eficaz e econômico.

Foi reportado na literatura que fungos do mesmo gênero (*Aspergillus*) têm a capacidade de descolorir corantes do tipo Black. Porém, as eficiências das descolorações através desses fungos foram relativamente baixas quando comparadas aos resultados do presente estudo. Uma taxa de 22% na descoloração do Reactive Black a uma concentração de 200 mg/l durante 48h do processo por *Aspergillus sulphureus* (SALAR et al., 2012). *Aspergillus flavus* apresentou eficiências de 98% e 58% na descoloração dos corantes Acid Red 151 e Orange II, respectivamente a uma concentração de 20 mg/l e temperatura de 30°C em um período de 24 h de processo, segundo Ali et al. (2010). Fu e Viraraghavan (2001), apresentaram uma taxa de 80% de descoloração do corante Acid Blue 9 com concentração de 50 mg/l numa faixa temporal de 30h por *Aspergillus niger*. *Aspergillus flavipes* apresentou um percentual de descoloração de 100% do corante Reactive Black a 20 mg/l em 80h, segundo Aydogan e Arslan (2015).

Mesmo com uma eficiência inferior, quando comparado com o corante de concentração 50 mg/L, o presente resultado mostrou que o corante com concentração de 125 mg/L, apresentou uma eficiência significativa quando comparada com outros trabalhos. De acordo com Aydogan e Arslan (2015), *Aspergillus flavipes* apresentou eficiência menor que 10% no processo de descoloração envolvendo o corante Reactive Black 5 a uma concentração de 100 mg/L sob agitação (120 rpm) e temperatura de 20°C, durante 110h. Srinivasan e Viraraghvan (2010), apresentou uma taxa de descoloração de 75%, durante um período de tempo de 24h, utilizando o Reactive Black a 100 mg/L em culturas de *Aspergillus sp.*

Em comparação com os resultados apresentados na figura 6.2, foi observado na figura 6.3 um declínio na taxa de descoloração ao longo do tempo quando o processo ocorreu sob condições estáticas. A 50 mg/l, o Direct Black 22 mostrou 100% de descoloração apenas após 180 minutos do processo. No entanto, o corante nas concentrações 125 mg/l e 250 mg/l apresentou taxa de descoloração de 79% e 43% no período de tempo de 180 minutos, respectivamente.



**Figura 11** - Descoloração do corante azo Direct Black 22 em diferentes concentrações por *Aspergillus sp UCPI279* sob condições estáticas à 30°C

Um percentual de descoloração de 77% sob condições estáticas foi reportado de acordo com Salar et al (2012). O estudo utilizou *Aspergillus sulphureus* na descoloração do Reactive Black HFGR a 200 mg/l durante um período de 10 dias. Além disso o mesmo estudo apresentou uma taxa de 10% de descoloração, sob igual condição estática e concentração do corante durante 2 dias de processo. Sendo assim, o estudo citado apresentou uma menor eficiência na descoloração quando comparado com o presente estudo, em relação ao período de tempo de descoloração.

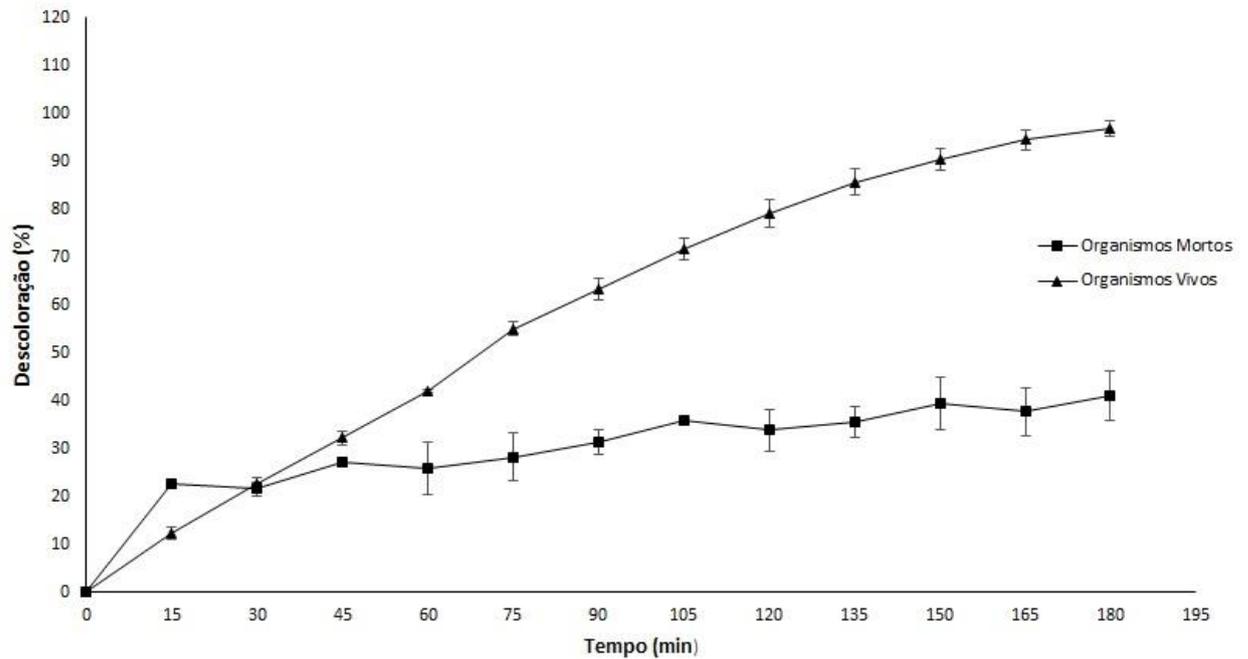
*Aspergillus allhabadii*, por sua vez apresentou um percentual de descoloração do corante Reactive Black (150 mg/l) menor que 10% em um período de 48h e uma taxa de descoloração de 76% em 10 dia, ambos sob condições estáticas (ROHILLA et al., 2012).

Os resultados indicaram que condições de agitação têm um impacto mais significativo sob a descoloração, quando comparado com condições estáticas. Segundo Salar, et al (2012) A porcentagem de descoloração foi maior por tratamento sob agitação, pois facilita a transferência e distribuição de nutrientes e de oxigênio entre o meio e as células microbianas. Além disso, como relatado em estudos prévios, a concentração do corante afetou diretamente a eficiência da descoloração (KAUSHIK e MALIK, 2010; AYDOGAN e ARSLAN, 2015). Todavia, foi observado que as maiores concentrações do corante estudadas não foram tóxicas para as atividades metabólicas do fungo.

Rigas e Dritsa (2006) relataram uma maior eficiência na remoção do corante Poly R-478 em condições de agitação em comparação com condições estáticas. Em culturas em agitação, a eficiência de remoção de corante variou de 50% a 93%, enquanto em culturas estáticas variaram de 26% a 52,95. Além disso, Parshetti et al. (2007) relataram que as condições de agitação são melhores para a descoloração (20 dias) do corante Reactive Blue-25 (100 mg/l), em comparação com condições estáticas (25 dias para descoloração) pelo fungo *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146.

#### 4.4 COMPARAÇÃO ENTRE A BIOMASSA DO *Aspergillus sp* UCP1279 VIVA E MORTA NA DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22

O objetivo deste teste foi investigar outras alternativas no processo de descoloração do Direct Black 22 a 125mg/L. As biomassas fúngicas viva e morta (autoclavada, e sempre com semeio e crescimento negativo para garantir a veracidade dos resultados) foram comparadas e as suas respectivas eficiências foram calculadas. Como resultado apresentado na figura 6.3, a descoloração através da biomassa viva do *Aspergillus sp* UCP1279 foi maior quando comparada com a descoloração pela biomassa morta (autoclavada). Em um período de tempo de 180 minutos os percentuais de descoloração entre as biomassas viva e morta foram 97% e 41%, respectivamente.



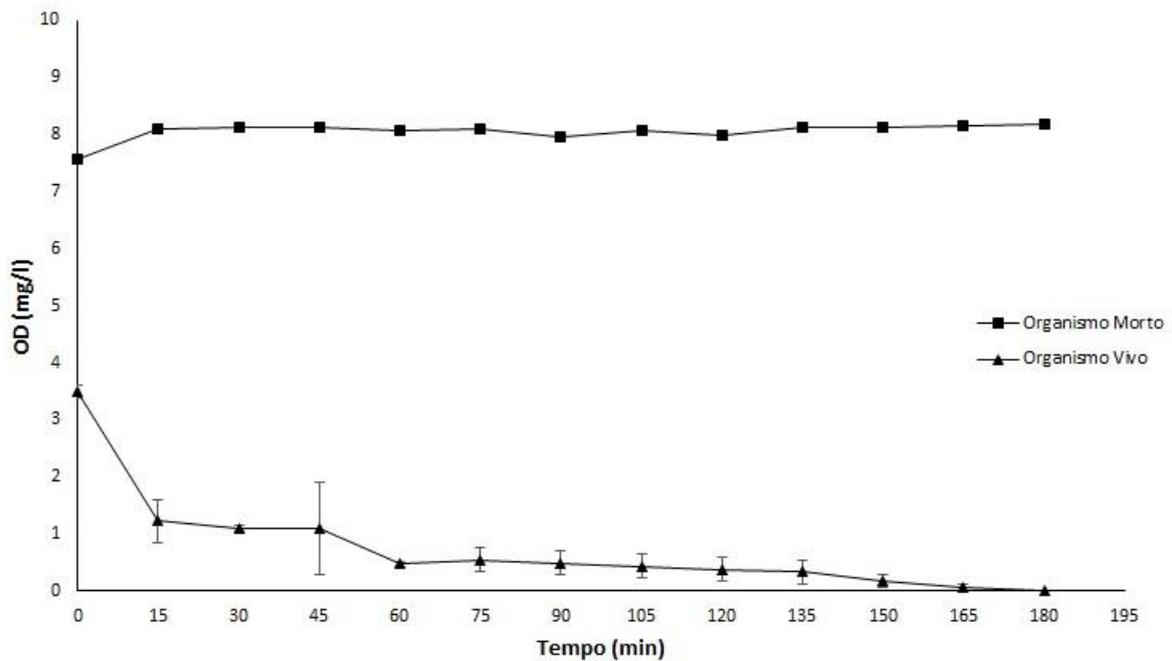
**Figura 12** - Descoloração do Direct Black 22 pela biomassa viva e biomassa morta (autoclavada) de *Aspergillus sp* UCP1279 (180h; 30°C; sob agitação de 120 rpm; corante 125 mg/l)

48% e 37% de descoloração foi observado com *Aspergillus niger* em estudo realizado por Seyis e Subasioglu (2008) entre biomassas viva e morta, respectivamente, durante 5 dias sob agitação e a uma temperatura de 30°C, utilizando o corante Methil Orange. A literatura não enfatiza ensaios com micro-organismos mortos, porém os resultados do presente estudo comprovam que mesmo o micro-organismos morto ele tem um potencial descolorante maior quando comparado com outros trabalhos.

#### 4.5 INFLUÊNCIA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DO POTENCIAL REDOX NA DESCOLORAÇÃO DO DIRECT BLACK 22 NO PELA BIOMASSA DO *Aspergillus sp* UCP1279 VIVA E MORTA

De acordo com os resultados apresentados na figura 6.4, houve um consumo total de oxigênio do meio pela biomassa viva do *Aspergillus sp* UCP1279, enquanto que o oxigênio permanece praticamente constante no meio do teste com a biomassa morta do fungo. Segundo Solis et al. (2012), a transferência de oxigênio entre as células e o meio depende do oxigênio se

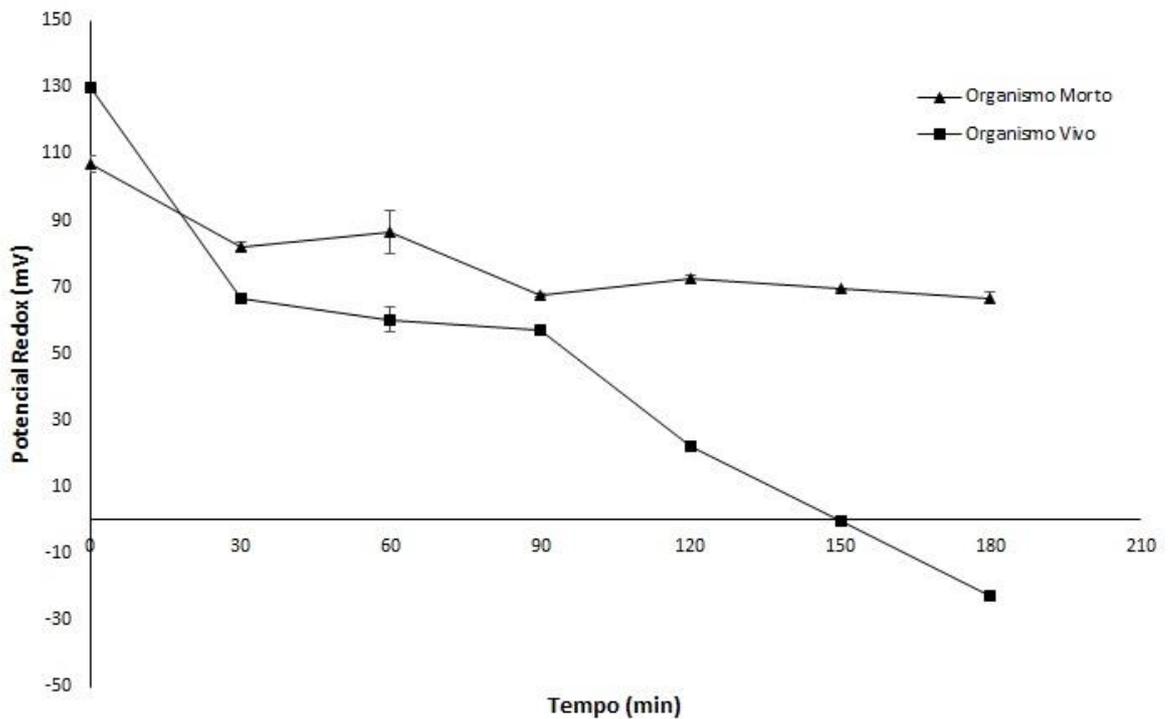
o mecanismo for aeróbio. O resultado apresentado elucidou a atividade de bioissorção, demonstrando que para uma absorção mais ágil, conseqüentemente melhor descoloração em um menor intervalo de tempo, a biomassa precisa estar metabolicamente viável.



**Figura 13** - Consumo de oxigênio ao longo do processo de descoloração do Direct Black 22 no pela biomassa do *Aspergillus sp* UCP1279 viva e morta

Durante todo o período experimental os valores do potencial redox foram medidos. Geralmente o potencial redox é afetado pela concentração de oxigênio dissolvido. Conforme a diminuição do potencial redox em águas, observa-se uma diminuição na concentração do oxigênio dissolvido e a redução de íons e moléculas importantes a nutrição de micro-organismos.

A figura 6.5 mostrou os valores do potencial redox encontrados no experimento com as biomassas viva e morta. O ensaio de descoloração com a biomassa viva mostrou a rápida diminuição no potencial redox, em virtude da queda de oxigênio dissolvido no meio, enquanto que os valores do potencial redox no ensaio com a biomassa morta indicam a presença de oxigênio no meio.



**Figura 14** - Monitoramento do potencial redox ao longo do processo de descoloração do Direct Black 22 no pela biomassa do *Aspergillus sp* UCP1279 viva e morta

#### 4.6 ENSAIOS DE TOXICIDADE COM ARTEMIA SALINA

O resultado referente ao teste de toxicidade aguda usando o microcrustáceo *Artemia salina* foi baseado na quantidade de larvas mortas durante 48 horas de exposição ao corante. Os resultados obtidos da solução de corante antes e após o biotratamento em diferentes concentrações estão apresentados na Tabela 6.2.

**Tabela 4** Ensaios de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Artemia salina* após 48 h de incubação em diferentes concentrações da solução do corante bruto e pós tratamento.

Concentração da Solução do corante bruto (mg/mL)	Mortalidade (%)	
	Solução do corante bruto	Solução do corante pós tratamento
0,25	0	-
0,125	0	-
0,062	0	-
0,031	0	-

Concentração da Solução do corante pós tratamento (mg/mL)	Mortalidade (%)	
	Solução do corante bruto	Solução do corante pós tratamento
0,05	-	0
0,125	-	0

O estudo da toxicidade da solução do corante tratado buscou avaliar a eficiência do biotratamento em relação à toxicidade aguda do corante frente à organismos vivos, bem como avaliar se o tratamento empregado poderia gerar compostos mais tóxicos que o efluente in natura. O estudo da toxicidade da solução do corante bruto, por sua vez, buscou verificar o grau de toxicidade que ele representa.

Conforme pode ser observado, as concentrações do corante não causaram a mortalidade dos organismos, igualmente aconteceu na solução do corante após tratamento utilizando o fungo *Aspergillus sp.* Estes resultados demonstram que o corante bruto nas concentrações estudadas não é tóxico. A ausência de toxicidade observada antes do tratamento pode ser atribuída a ausência da quebra das ligações aminas que liberam a toxicidade ao meio.

Os resultados apresentados confirmam a aplicação de uma promissora tecnologia, visando uma biorremediação sem danos ao meio ambiente, quando comparada com as tecnologias usadas na maioria das estações de tratamento de efluentes têxteis.

## 5 CONCLUSÃO

O fungo filamentososo *Aspergillus sp* UCP1279 isolado da rizosfera do bioma Caatinga apresentou uma forte habilidade na descoloração do corante Direct Black 22 em diferentes concentrações. O fungo tem grande potencial para a aplicação prática no campo da biotecnologia ambiental como a descoloração de diferentes corantes industriais e efluentes têxteis.

Parâmetros físico-químicos como concentração de corante, agitação, temperatura e fonte de carbono tiveram um efeito significativo sobre a descoloração do corante. O *Aspergillus sp* UCP1279 se mostrou mais eficiente no processo de descoloração sob agitação quando comparado com condições estáticas, elucidando a condição de agitação como um fator importante na descoloração do corante. A temperatura, bem como a fonte de carbono contantes deram condições necessárias para o crescimento e adaptação fúngica.

A biomassa do *Aspergillus sp* UCP1279 viva no ensaio de descoloração, apresentou maior agilidade e eficiência quando comparada à metodologia de uso da biomassa morta (autoclavada), porém não se descarta o potencial de descoloração usando a biomassa morta, podendo tornar o processo economicamente mais viável. Um futuro estudo detalhado focando no conhecimento dos mecanismos da parece celular do *Aspergillus sp* UCP1279 pode auxiliar em um melhor entendimento do mecanismo.

O consumo de oxigênio pela biomassa viva, bem como o decréscimo no potencial redox confirmam que para uma eficaz biooxidação do corante pelo fungo, a biomassa precisa estar metabolicamente ativa.

O nível de toxicidade da solução do corante bruto frente a *Artemia salina* foi nulo, assim como para a solução tratada, devido a ausência da quebra das ligações aminas, que por sua vez são altamente tóxicas.

Poucos estudos descrevem a capacidade de fungos isolados da Caatinga no processo de descoloração de corantes têxteis. Porém, suas atividades podem ser otimizadas com a realização de estudos que estabeleçam condições mais específicas.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química. Corantes e pigmentos. Disponível em: [www.abiquim.org.br/corantes](http://www.abiquim.org.br/corantes). Acesso em 08/06/2016.

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções. 2015. Disponível em: <http://www.abit.org.br/Home.aspx>. Acessado em 08 de agosto de 2016.

AKSU, Zümriye. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 3, p. 997-1026, 2005.

AKSU, Zümriye; DÖNMEZ, Gönül. A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye. **Chemosphere**, v. 50, n. 8, p. 1075-1083, 2003.

AKSU, Zümriye; TEZER, Sevilay. Equilibrium and kinetic modelling of biosorption of Remazol Black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch system: effect of temperature. **Process Biochemistry**, v. 36, n. 5, p. 431-439, 2000.

ALBUQUERQUE, M. G. E., Lopes, A. T., Serralheiro, M.L. Biological Sulphate Reduction and Redox Mediator Effects on Azo Dye Decolourisation in Anaerobic-Aerobic Sequencing Batch Reactors. **Enzyme and Microbial Technology**, v 36, p. 790–799, 2005.

ALI, Naeem; HAMEED, Abdul; AHMED, Safia. Role of brown-rot fungi in the bioremoval of azo dyes under different conditions. **Brazilian journal of Microbiology**, v. 41, n. 4, p. 907-915, 2010.

AL-SABTI, K. Chlorotriazine Reactive Azo Red 120 textile dyes induces micronuclei in fish. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 147, p. 149-155, Maryland Heights, 2000.

AMARAL, F. M. et al. Color, organic matter and sulfate removal from textile effluents by anaerobic and aerobic processes. **Bioresource technology**, v. 163, p. 364-369, 2014.

AMBRÓSIO, Sandra T. et al. A biosorption isotherm model for the removal of reactive azo dyes by inactivated mycelia of *Cunninghamella elegans* UCP542. **Molecules**, v. 17, n. 1, p. 452-462, 2012.

ANG, Ee Lui; ZHAO, Huimin; OBBARD, Jeffrey P. Recent advances in the bioremediation of persistent organic pollutants via biomolecular engineering. **Enzyme and microbial technology**, v. 37, n. 5, p. 487-496, 2005.

ANJANEYULU, Y., N. SREEDHARA CHARY, AND S. S. D. RAJ, “Decolourization of Industrial Effluents-Available Methods and Emerging Technologies—A Review,”

APHA. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21sted. Washington DC, USA: American Water Works Association/ Water Environment Federation, 2005.

ARORA, Daljit Singh; SHARMA, Rakesh Kumar. Ligninolytic fungal laccases and their biotechnological applications. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 160, n. 6, p. 1760-1788, 2010.

ASGHER, Muhammad et al. Recent developments in biodegradation of industrial pollutants by white rot fungi and their enzyme system. **Biodegradation**, v. 19, n. 6, p. 771-783, 2008.

AYDOGAN, Mehmet Nuri; ARSLAN, Nazli Pinar. Removal of textile dye reactive black 5 by the cold-adapted, alkali-and halotolerant fungus *Aspergillus flavipes* MA-25 under non-sterile conditions. **Desalination and Water Treatment**, v. 56, n. 8, p. 2258-2266, 2015.

AYED, Lamia et al. Decolorization and degradation of azo dye Methyl Red by an isolated *Sphingomonas paucimobilis*: biotoxicity and metabolites characterization. **Desalination**, v. 274, n. 1, p. 272-277, 2011.

BAKSHI, D. K. et al. Use of *Phanerochaete chrysosporium* biomass for the removal of textile dyes from a synthetic effluent. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 22, n. 8, p. 835-839, 2006.

BALAPURE, Kshama et al. Exploring bioremediation strategies to enhance the mineralization of textile industrial wastewater through sequential anaerobic-microaerophilic process. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 106, p. 97-105, 2016.

BALAPURE, Kshama; BHATT, Nikhil; MADAMWAR, Datta. Mineralization of reactive azo dyes present in simulated textile waste water using down flow microaerophilic fixed film bioreactor. **Bioresource technology**, v. 175, p. 1-7, 2015.

BANAT, Ibrahim M. et al. Microbial decolorization of textile-dyecontaining effluents: a review. **Bioresource technology**, v. 58, n. 3, p. 217-227, 1996.

BARBOSA, Antônio G. Sociedade civil na construção de políticas de convivência com o semiárido. Recife: ASA, 2010.

BARRASA, José M. et al. Wood and humus decay strategies by white-rot basidiomycetes correlate with two different dye decolorization and enzyme secretion patterns on agar plates. **Fungal Genetics and Biology**, v. 72, p. 106-114, 2014.

BHATNAGAR, Amit; SILLANPÄÄ, Mika. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—a review. **Chemical Engineering Journal**, v. 157, n. 2, p. 277-296, 2010.

BIRHANLI, Emre; YESILADA, Ozfer. Increased production of laccase by pellets of *Funalia trogii* ATCC 200800 and *Trametes versicolor* ATCC 200801 in repeated-batch mode. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, n. 6, p. 1286-1293, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005, 2012.

CARNEIRO, P. A.; OSUGI, M. E.; FUGIVARA, C. S.; BORALLE, N.; FURLAN, M.; ZANONI, M. V. B. Evaluation of different electrochemical methods on the oxidation and degradation of Reactive Blue 4 in aqueous solution. **Chemosphere**, v.59, p. 431-439, Kidlington, 2004.

CHAKRABORTY, Samayita et al. Decolorization and biodegradation of congo red dye by a novel white rot fungus *Alternaria alternata* CMERI F6. **Bioresource technology**, v. 147, p. 662-666, 2013.

CHARUMATHI, D.; DAS, Nilanjana. Packed bed column studies for the removal of synthetic dyes from textile wastewater using immobilised dead *C. tropicalis*. **Desalination**, v. 285, p. 22-30, 2012.

CHEN, Bor-Yann et al. Revealing azo-dye decolorization of indigenous *Aeromonas hydrophila* from fountain spring in Northeast Taiwan. **Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers**, v. 39, n. 5, p. 495-501, 2008.

COSTA, AF de S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP, 87p.

CRINI, Gregorio. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. **Bioresource technology**, v. 97, n. 9, p. 1061-1085, 2006.

DOS SANTOS, A. B., BISSCHOPS, I. A. E., CERVANTES, F. J., VAN LIER, J. B. The transformation and toxicity of anthraquinone dyes during thermophilic (55°C) and mesophilic (30°C) anaerobic treatments. **J. Biotechnol.**, 115, 345, 2005a.

DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; VAN LIER, J.B. Review paper on current Technologies for decolourisation of textile wastewater: Perspectives for anaerobic biotechnology. **Bioresource Technology**, 98, 2369-2385, 2007.

DUA, M. et al. Biotechnology and bioremediation: successes and limitations. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 59, n. 2-3, p. 143-152, 2002.

ERDEN, Emre; KAYMAZ, Yasin; PAZARLIOGLU, Nurdan Kasikara. Biosorption kinetics of a direct azo dye Sirius Blue K-CFN by *Trametes versicolor*. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 2, p. 3-3, 2011.

FERRAZ, A.D.N., KATO, M.T., FLORENCIO, L., GAVAZZA, S. Textile effluent treatment in a UASB reactor followed by submerged aerated biofiltration. **Water Sci. Technol.** 64, 1581–1589, 2011.

FIEMG. **Guia técnico Ambiental Da indústria Têxtil**. Disponível em: [http://www7.fiemg.com.br/Cms\\_Data/Contents/central/Media/Documentos/Produtos/Cartilha-Producao-Mais-Limpa.pdf](http://www7.fiemg.com.br/Cms_Data/Contents/central/Media/Documentos/Produtos/Cartilha-Producao-Mais-Limpa.pdf) Acesso em: 09 de agosto de 2016. 2014.

Fu, Y., Viraraghavan, T.. Removal of Acid Blue 29 from an aqueous solution by *Aspergillus niger*. **Am.Assoc. Text. Chem. Color. Rev.** 1 (1), 36e40, 2001.

FU, Yuzhu; VIRARAGHAVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. **Bioresource technology**, v. 79, n. 3, p. 251-262, 2001.

FU, Yuzhu; VIRARAGHAVAN, T. Removal of Congo Red from an aqueous solution by fungus *Aspergillus niger*. **Advances in Environmental Research**, v. 7, n. 1, p. 239-247, 2002. GALLAGHER, K. A.; HEALY, M. G.; ALLEN, S. J. Biosorption of synthetic dye and metal ions from aqueous effluents using fungal biomass. **Studies in Environmental Science**, v. 66, p. 27-50, 1997.

GIARDINA, Paola et al. Laccases: a never-ending story. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 67, n. 3, p. 369-385, 2010.

GIULIETTI, A.M.; QUEIROZ, L.P., eds. Diversidade e caracterização dos fungos do semi-árido brasileiro. Recife: Associação de Plantas do Nordeste, 2006. 219 p. il. v. 2.

GONDIM, A. L. N.; BARBOSA, A. P. A.; PAZ, M. C. F. Remoção biológica de corantes têxteis através do consórcio bacteriano entre *Pseudomonas aeruginosa* e *Geobacillus stearothermophilus* UCP 986. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, n. 2, 2007, João Pessoa, PB.

GOTTILIEB, A.; SHAW, C.; SMITH, A., WHEATLEY, A.; FORSYTHE, S.; The toxicity of textile reactive azo dyes after hydrolysis and decolourisation. **Journal of Biotechnology, Amsterdam**, v. 101, p. 49-56, 2003.

GOVINDWAR, Sanjay P. et al. Decolorization and degradation of xenobiotic azo dye Reactive Yellow-84A and textile effluent by *Galactomyces geotrichum*. **Chemosphere**, v. 109, p. 234-238, 2014.

HUSAIN, Maroof; HUSAIN, Qayyum. Applications of redox mediators in the treatment of organic pollutants by using oxidoreductive enzymes: a review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 1-42, 2007.

HUSAIN, Qayyum. Potential applications of the oxidoreductive enzymes in the decolorization and detoxification of textile and other synthetic dyes from polluted water: a review. **Critical reviews in biotechnology**, v. 26, n. 4, p. 201-221, 2006.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ecosistemas. Caatinga. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/desmatamento-na-caatinga-ja-destruiu-metade-da-vegetacao-original>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

ILYAS, Sidra; REHMAN, Abdul. Decolorization and detoxification of Synozol red HF-6BN azo dye, by *Aspergillus niger* and *Nigrospora* sp. **Iranian journal of environmental health science & engineering**, v. 10, n. 1, p. 1, 2013.

IMRAN, Muhammad et al. Microbial biotechnology for decolorization of textile wastewaters. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 14, n. 1, p. 73-92, 2015.

IMRAN, Muhammad et al. Microbial biotechnology for decolorization of textile wastewaters. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 14, n. 1, p. 73-92, 2015.

JASIŃSKA, Anna et al. Malachite green decolorization by non-basidiomycete filamentous fungi of *Penicillium pinophilum* and *Myrothecium roridum*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 73, p. 33-40, 2012.

JIN, Xian-Chun et al. Decolorization of a dye industry effluent by *Aspergillus fumigatus* XC6. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 1, p. 239-243, 2007.

JONSTRUP, Maria et al. Sequential anaerobic–aerobic treatment of azo dyes: decolourisation and amine degradability. **Desalination**, v. 280, n. 1, p. 339-346, 2011.

KADAM, Avinash A. et al. Decolorization of adsorbed textile dyes by developed consortium of *Pseudomonas* sp. SUK1 and *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146 under solid state fermentation. **Journal of hazardous materials**, v. 189, n. 1, p. 486-494, 2011.

KALYANI, Dayanand et al. Characterization of a novel laccase from the isolated *Coltricia perennis* and its application to detoxification of biomass. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 4, p. 671-678, 2012.

KARCHER, Silke; KORNMÜLLER, Anja; JEKEL, Martin. Screening of commercial sorbents for the removal of reactive dyes. **Dyes and pigments**, v. 51, n. 2, p. 111-125, 2001.

KAUSHIK, Prachi; MALIK, Anushree. Alkali, thermo and halo tolerant fungal isolate for the removal of textile dyes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 81, n. 1, p. 321-328, 2010. KAUSHIK, Prachi; MALIK, Anushree. Fungal dye decolourization: recent advances and future potential. **Environment International**, v. 35, n. 1, p. 127-141, 2009.

KHALAF, Mahmoud A. Biosorption of reactive dye from textile wastewater by non-viable biomass of *Aspergillus niger* and *Spirogyra* sp. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 14, p. 6631-6634, 2008.

KHAN, Razia; BHAWANA, P.; FULEKAR, M. H. Microbial decolorization and degradation of synthetic dyes: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 75-97, 2013.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 01, p. 78-82, São Paulo, 2002.

LANG, Weeranuch et al. Characterization of a new oxygen-insensitive azoreductase from *Brevibacillus laterosporus* TISTR1911: Toward dye decolorization using a packed-bed metal affinity reactor. **Bioresource technology**, v. 150, p. 298-306, 2013.

LIM, Sing-Lai; CHU, Wan-Loy; PHANG, Siew-Moi. Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 19, p. 7314-7322, 2010.

MEDEIROS, Salomão de Souza, et al. Abastecimento urbano de água: Panorama para o semiárido brasileiro. Campina Grande/PB: INSA, 2014. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/livros/registrados/pdfs/978-85-64265-07-3.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2016.

MEGHARAJ, Mallavarapu et al. Bioremediation approaches for organic pollutants: a critical perspective. **Environment International**, v. 37, n. 8, p. 1362-1375, 2011.

MENDES, Michel; DOS SANTOS FENNER, Roniere; ROSA, Marcelo Prado Amaral. Meio Ambiente, Economia e Educação no Semiárido Brasileiro. **ÁGORA Revista Eletrônica**, v. 1, n. 22, 2016.

OLA, I. O. et al. Aerobic decolourization of two reactive azo dyes under varying carbon and nitrogen source by *Bacillus cereus*. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 5, 2010.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 59, 73-84, 2007.

PÁVIA, Donald, L. et al; 2010. Introdução a espectroscopia. Tradução da 4ª edição norte americana. Editora Cengage Learning. p. 699, 2010

PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T. 2003. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. **Dyes and Pigments**. 58: 179-196.

PEDROSA, Israel; Da cor à cor existente. 10 edição. Rio de Janeiro, SENAC Nacional – SENAC Editoras, p. 256, 2009.

PERALTA-ZAMORA, P., KUNZ, A., GOMEZ DE MORALES, S., PELEGRINI, R., DE CAPOS MOLEIRO, P., REYES, J., DURAN, N. Degradation of reactive dyes I. A comparative

study of ozonation, enzymatic and photochemical processes. **Chemosphere**, 38, 835-852, 1999.

PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Revista Química Nova**, v.28, p. 130-136, São Paulo, 2005.

PHUGARE, Swapnil et al. Exploitation of yeast biomass generated as a waste product of distillery industry for remediation of textile industry effluent. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n. 8, p. 716-726, 2010.

PHUGARE, Swapnil S. et al. Ecofriendly degradation, decolorization and detoxification of textile effluent by a developed bacterial consortium. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 74, n. 5, p. 1288-1296, 2011b.

PHUGARE, Swapnil S. et al. Textile dye degradation by bacterial consortium and subsequent toxicological analysis of dye and dye metabolites using cytotoxicity, genotoxicity and oxidative stress studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 1, p. 713-723, 2011a.

PINHEIRO H. M., TOURAUD E., THOMAS O. Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. **Dyes and Pigments**. 61: 121–139, 2004.

PRATO-GARCIA, Dorian; CERVANTES, Francisco J.; BUITRÓN, Germán. Azo dye decolorization assisted by chemical and biogenic sulfide. **Journal of hazardous materials**, v. 250, p. 462-468, 2013.

RAI, Harpreet Singh et al. Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 35, n. 3, p. 219-238, 2005.

RAMACHANDRA, T.; AHALYA, N.; KANAMADI, R. Biosorption: techniques and mechanisms. In: **CES Technical Report 110**. Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science Bangalore, 2005.

RAMAKRISHNA, K. R. AND T. VIRARAGHAVAN, "Dye Removal Using Low Cost Adsorbents," **Water Sci. Technol.**, 36, 189, 1997  
Rev. **Environ. Sci. Biotechnol.**, 4, 245, 2005.

REYES, Pilar; PICKARD, Michael A.; VAZQUEZ-DUHALT, Rafael. Hydroxybenzotriazole increases the range of textile dyes decolorized by immobilized laccase. **Biotechnology Letters**, v. 21, n. 10, p. 875-880, 1999.

RIGAS, F.; DRITSA, V. Decolourisation of a polymeric dye by selected fungal strains in liquid cultures. **Enzyme and microbial technology**, v. 39, n. 1, p. 120-124, 2006.

RITA DE CÁSSIA, M. et al. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularia lunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. **Bioresource technology**, v. 142, p. 361-367, 2013.

ROBINSON, T., G. MCMULLAN, R. MARCHANT, AND P. NIGAM, "Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative," **Bioresour. Technol.**, 77, 247, 2001.

RODRIGUEZ, Elizabeth; PICKARD, Michael A.; VAZQUEZ-DUHALT, Rafael. Industrial dye decolorization by laccases from ligninolytic fungi. **Current microbiology**, v. 38, n. 1, p. 27-32, 1999.

ROHILLA, S. K.; SALAR, R. K.; KUMAR, J. Optimization of physiochemical parameters for decolorization of Reactive Black HFGR using soil fungus, *Aspergillus allhabadii* MTCC 9988. **Journal of Bioremediation & Biodegradation**, v. 2012, 2012.

SALAR, Raj Kumar; ROHILLA, Suresh Kumar; ROHILLA, Jitender Kumar. Decolorization of reactive black HFGR by *Aspergillus sulphureus*. **Ann Biol Res**, v. 3, p. 3811-3817, 2012.  
SANGHI, Rashmi; VERMA, Preeti. Decolorisation of aqueous dye solutions by low-cost adsorbents: a review. **Coloration Technology**, v. 129, n. 2, p. 85-108, 2013.

SARATALE, Ganesh et al. Biodegradation of kerosene by *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. **Journal of basic microbiology**, v. 47, n. 5, p. 400-405, 2007.

SARATALE, Rijuta Ganesh et al. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 42, n. 1, p. 138-157, 2011.

SAROJ, Samta et al. Evaluation of the efficacy of a fungal consortium for degradation of azo dyes and simulated textile dye effluents. **Sustainable Water Resources Management**, v. 1, n. 3, p. 233-243, 2015.

SELVAM K, SWAMINATHAN K, CHAE KS. Decolourization of azo dyes and a dye industry effluent by a white rot fungus *Thelephora* sp. **Bioresour Technol** 2003.

SENTHILKUMAR, M. et al. Treatment of textile dyeing wastewater using two-phase pilot plant UASB reactor with sago wastewater as co-substrate. **Chemical Engineering Journal**, v. 166, n. 1, p. 10-14, 2011.

SEYIS, Isil; SUBASIOGLU, Tugba. Comparison of live and dead biomass of fungi on decolorization of methyl orange. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 12, 2008.

SILVEIRA, E. et al. Selection of *Pseudomonas* for industrial textile dyes decolourization. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 2, p. 230-235, 2009.

SINGH, Ram Lakhan; SINGH, Pradeep Kumar; SINGH, Rajat Pratap. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes—A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 104, p. 21-31, 2015.

SINGH, Ram Lakhan; SINGH, Pradeep Kumar; SINGH, Rajat Pratap. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes—A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 104, p. 21-31, 2015.

SINGH, Sukhwinder; PAKSHIRAJAN, Kannan. Enzyme activities and decolourization of single and mixed azo dyes by the white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n. 2, p. 146-150, 2010.

SINHA, Astha; OSBORNE, W. Jabez. Biodegradation of reactive green dye (RGD) by indigenous fungal strain VITAF-1. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, p. 176-183, 2016.

SLOKAR, Y.M.; LE MARECHAL, M. Methods of Decolorization of Textile Wastewater. **Dyes and Pigments**, 37, 335-356, 1998.

SOLÍS, Myrna et al. Microbial decolouration of azo dyes: a review. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p. 1723-1748, 2012.

SRINIVASAN, Asha; VIRARAGHAVAN, Thiruvengkatachari. Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: a review. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 10, p. 1915-1929, 2010.

SUBRAMANIAM, S., S. SIVASUBRAMANIAN, K. SWAMINATHAN, AND F. H. LIN, "Metabolically Inactive *Trichoderma harzianum* Mediated Adsorption of Synthetic Dyes: Equilibrium and Kinetic Studies," **J. Taiwan Inst. Chem. Engrs.**, 40, 394, 2009.

SUMATHI S, MANJU BS. Uptake of reactive textile dyes by *Aspergillus foetidus*. **Enzyme Microb Technol**: 27:347–55, 2000.

SUMATHI, S.; PHATAK, V. Fungal treatment of bagasse based pulp and paper mill wastes. **Environmental technology**, v. 20, n. 1, p. 93-98, 1999.

TAHA, Mostafa et al. Azo and anthraquinone dye mixture decolorization at elevated temperature and concentration by a newly isolated thermophilic fungus, *Thermomucor indiciae-seudaticae*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 415-423, 2014.

TAN, Liang et al. Aerobic decolorization and degradation of azo dyes by growing cells of a newly isolated yeast *Candida tropicalis* TL-F1. **Bioresource technology**, v. 138, p. 307-313, 2013.

TAN, Liang et al. Aerobic decolorization and degradation of azo dyes by suspended growing cells and immobilized cells of a newly isolated yeast *Magnusiomyces ingens* LH-F1. **Bioresource technology**, v. 158, p. 321-328, 2014.

TELKE, Amar A. et al. Biochemical characteristics of a textile dye degrading extracellular laccase from a *Bacillus* sp. ADR. **Bioresource technology**, v. 102, n. 2, p. 1752-1756, 2011.

TRINDADE, B., KATO, M.T., FLORENCIO, L., GAVAZZA, S. Effect of starch and ethanol as electron donors, and sulfate on the reductive decolorisation of azo dye Direct Black 22. 13th World Congress on Anaerobic Digestion. Santiago de Compostela. Spain, 2013.

TÜRGAY, Orçun et al. The treatment of azo dyes found in textile industry wastewater by anaerobic biological method and chemical oxidation. **Separation and Purification Technology**, v. 79, n. 1, p. 26-33, 2011.

VAN DER ZEE, F. Anaerobic azo dye reduction. **Environmental Technology**. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2002.

VANDEVIVERE, P. C., R. BIANCHI, AND W. VERSTRAETE, "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-processing Industry: Review of Emerging Technologies," **J. Chem. Technol. Biotechnol.**, 72, 289, 1998.

VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Yeoung-Sang. Utilization of fermentation waste (*Corynebacterium glutamicum*) for biosorption of Reactive Black 5 from aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, n. 1, p. 45-52, 2007.

VITOR, Vivian; CORSO, Carlos Renato. Decolorization of textile dye by *Candida albicans* isolated from industrial effluents. **Journal of industrial microbiology & biotechnology**, v. 35, n. 11, p. 1353-1357, 2008.

WAGHMODE, Tatoba R. et al. A sequential aerobic/microaerophilic decolorization of sulfonated mono azo dye Golden Yellow HER by microbial consortium GG-BL. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 65, n. 7, p. 1024-1034, 2011b.

WAGHMODE, Tatoba R.; KURADE, Mayur B.; GOVINDWAR, Sanjay P. Time dependent degradation of mixture of structurally different azo and non azo dyes by using *Galactomyces geotrichum* MTCC 1360. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 65, n. 3, p. 479-486, 2011a.

WANG, L.; YAN, J.; HARDY, W.; MOSLEY, C.; WANG, S.; YU, H. Light-induced mutagenicity in *Salmonella* TA102 and genotoxicity/cytotoxicity in human T-cells by 3,3'-dichlorobenzidine: a chemical used in the manufacture of dyes and pigments and in tattoo inks. **Toxicology**, v. 207, p. 411-418, Amsterdam, 2005.

WESENBERG, Dirk; KYRIAKIDES, Irene; AGATHOS, Spiros N. White-rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnology advances**, v. 22, n. 1, p. 161-187, 2003.

WU, Yonghong; LI, Tianling; YANG, Linzhang. Mechanisms of removing pollutants from aqueous solutions by microorganisms and their aggregates: a review. **Bioresource technology**, v. 107, p. 10-18, 2012.

XIE, Xuehui et al. Comparison of microbial community in hydrolysis acidification reactor depending on different structure dyes by Illumina MiSeq sequencing. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 111, p. 14-21, 2016.

YANG, Qingxiang et al. Degradation of synthetic reactive azo dyes and treatment of textile wastewater by a fungi consortium reactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 43, n. 3, p. 225-230, 2009.

YANG, Yuyi et al. Decolorization of malachite green by a newly isolated *Penicillium* sp. YW 01 and optimization of decolorization parameters. **Environmental Engineering Science**, v. 28, n. 8, p. 555-562, 2011.

YESILADA O, SING S, ASMA D. Decolourization of textile dye Astrazon Red FBL by *Funalia trogii* pellets. **Bioresour Technol** 2002.

ZANONI, Maria V. B.; CARNEIRO, Patricia A.; O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**. v. 9, n. 174, p. 61-64, agosto 2001.

ZHANG, Meng-Meng et al. Comparative study on characteristics of azo dye decolorization by indigenous decolorizers. **Bioresource technology**, v. 101, n. 8, p. 2651-2656, 2010.

ZILLE, Andrea et al. Degradation of azo dyes by *Trametes villosa* laccase over long periods of oxidative conditions. **Applied and environmental microbiology**, v. 71, n. 11, p. 6711-6718, 2005.