



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES

**SELEÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO GÊNERO *Aspergillus* COM  
POTENCIALIDADE PARA A BIORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTES  
CONTAMINADOS COM CORANTES TÊXTEIS**

Recife  
2020

ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES

**SELEÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO GÊNERO *Aspergillus* COM  
POTENCIALIDADE PARA A BIORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTES  
CONTAMINADOS COM CORANTES TÊXTEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas.

**Área de concentração:** Biotecnologia.

**Orientadora:** Profa. Dra. Márcia Vanusa da Silva.

**Coorientadora:** Profa. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Porto.

Recife

2020

Catálogo na fonte  
Elaine C Barroso  
(CRB4 1728)

Neves, Anna Gabrielly Duarte

Seleção de fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* com potencialidade para a biorremediação de efluentes contaminados com corantes têxteis / Anna Gabrielly Duarte Neves – 2020.

132 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Márcia Vanusa da Silva

Coorientadora: Ana Lúcia Figueiredo Porto

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2020.

Inclui referências e apêndices.

1. Biodegradação 2. Fungos filamentosos 3. Corantes têxteis I. Silva, Márcia Vanusa da (orient.) II. Porto, Ana Lúcia Figueiredo (coorient.) III. Título

620.11223

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2020-188

ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES

**SELEÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO GÊNERO *Aspergillus* COM  
POTENCIALIDADE PARA A BIORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTES  
CONTAMINADOS COM CORANTES TÊXTEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 13/ 02 /2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

PROF<sup>o</sup>. DRA. MÁRCIA VANUSA DA SILVA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

---

PROF<sup>o</sup>. DRA. ANA LÚCIA FIGUEIREDO PORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

---

PROF<sup>o</sup>. DR. ROMERO MARCOS PEDROSA BRANDÃO COSTA  
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

## **AGRADECIMENTOS**

Eu cresci dentro de uma formação cristã, que me possibilitou muitas vezes ouvir frases (versículos) que ecoaram durante toda minha vida como impulsionadores de crescimento, amadurecimento, força e coragem. Um deles relaciona o amor e o medo, onde o amor lança fora o medo. Ao decidir tentar uma pós-graduação em outro estado, mesmo ansiosa e temerosa, escolhi lançar o medo fora e amar essa profissão de pesquisadora e bióloga, e todas as possibilidades que essa escolha poderiam me trazer, bem como trouxeram.

Sou grata a todas as portas que se abriram, de forma especial a minha professora e orientadora Márcia Vanusa, uma pessoa extremamente humana, correta, decidida e forte, por me acolher como aluna e principalmente por confiar na minha capacidade de concluir um trabalho tão lindo. Um verdadeiro presente que ela me apresentou e deu. Nesse caminho, e a partir desse projeto, tive ainda a oportunidade de aumentar minha admiração pela professora Ana Porto, que antes conhecia por sua excelência em publicações e por seu extenso currículo (“Mina seu currículo é da hora” como dizia a paródia do “lab”), mas que se mostrou uma profissional acessível, acolhedora, que confia no trabalho e na capacidade de seus alunos e que nos dá a oportunidade de nos tornamos pessoas e profissionais melhores.

Nesse contexto, agradeço ainda, ao professor Romero, por ter me escutado, discutido resultados e possibilidades, por todo apoio, por todo trabalho que me atribuiu, por todas as vezes que me acalmou e disse “simbora” ou por todos os “conta teu estresse” que me faziam pensar, correr pra escrever ou ir atrás de quem pudesse nos ajudar. O senhor é 10!

Todo meu carinho a todos do nosso “Grupo de Biorremediação” que iniciou numa ideia maluca e cheia de esperança em conjunto com Raphael, e que hoje nos orgulha o quanto cresceu. E a todos que fazem o LABTECBIO, que me acolheram, me incentivaram e foram mais que colegas de laboratório, foram realmente grupo de pesquisa, que trabalharam junto e em conjunto nesse tempo de mestrado.

Não menos importante agradeço aqueles que foram meu principal suporte pessoal no dia-a-dia e nas agonias, a minha família de sangue (minha base e exemplo), a minha família escolhida (os amigos que me escutaram e sonharam comigo), ao meu parceiro e amigo (um refúgio em muitos momentos), e por fim, segundo minha crença e fé, ao meu Deus.

Agradeço ainda, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por toda estrutura de formação profissional e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo uso de sua estrutura física, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, sem o qual seria impossível me manter em outro estado, dedicando-me exclusivamente ao que amo fazer. aguardo esperançosamente que muitos outros pesquisadores tenham o prazer e o privilégio de serem bolsistas de pós-graduação, e que possam se dedicar a pesquisas que contribuam a saúde humana e animal, a tecnologia, a educação, ao meio ambiente e a tantas outras áreas que colaboram no desenvolvimento nacional e da ciência.

*“As pessoas que não fazem perguntas permanecem  
ignorantes para o resto de suas vidas”  
(Neil DeGrasse Tyson)*

## RESUMO

O setor têxtil é um dos segmentos industriais que mais polui o meio ambiente durante seus processos, sobretudo pela liberação de efluentes. Caracterizados quanto sua toxicidade, potencial carcinogênico, mutagênico e bioacumulativo, tornando-se assim um problema ambiental e de saúde pública. Por isso, esse estudo investigou a capacidade de fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir efluentes contaminados com corantes têxteis, sobretudo o corante *Direct Black 22*, quanto a eficiência no uso de biomassa viva e morta, a influência da concentração do corante na biorremediação, o potencial de reutilização da biomassa fúngica e a otimização do processo de descoloração. Das 15 cepas testadas foram selecionadas *A. niger* URM 5741, *A. japonicus* URM 5620 e *A. niger* URM 5838. A eficiência de descoloração da biomassa viva foi maior que a morta, atingindo entre 87-91% e 32-46%, respectivamente. O fungo que descoloriu mais rápido o DB22 foi o *A. niger* URM5741, chegando a 92%, 94% e 81% de descoloração do corante com 50m/L, 150mg/L e 300mg/L, respectivamente, após 120min, havendo uma relação inversa do aumento da concentração e da descoloração. Na otimização do processo, o corante foi testado com 1, 3 e 5g de biomassa, possibilitando conhecer a capacidade de reutilização do bioissorvente, e sua eficiência total, onde durante a descoloração os fungos atingiram 90% de eficiência antes dos primeiros 50min, mesmo com 1g. *A. niger* URM5741 chegou a descolorir completamente o corante mesmo após duas reutilizações. *A. niger* URM5741 também descoloriu eficientemente (>90%) o 78GR Turquesa, um corante residual obtido através do ITEP, em até 120min. E ainda, o efluente têxtil de uma lavanderia de Toritama/PE, descolorindo 81% e 94% do efluente com 1g e 4g de biomassa, respectivamente, em 24h de experimento. Esses dados mostram uma alta eficiência da aplicação da biomassa peletizada como bioissorvente de corantes têxteis, possibilitando sua aplicação numa escala maior, com baixo custo e fácil operação.

Palavras-chave: Biorremediação. Fungos filamentosos. água residuais têxteis. corantes têxteis.

## ABSTRACT

Textile sector is one of the industrial segments that most pollutes the environment during its processes, mainly due to the release of effluents. Characterized as to their toxicity, carcinogenic, mutagenic and bioaccumulative potential, thus becoming an environmental and public health problem. Therefore, this study investigated the ability of *Aspergillus* to discolor effluents contaminated with textile dyes, especially the dye Direct Black 22, as for efficiency in the use of live and dead biomass, the influence of the dye concentration in the bioremediation, the potential reuse of the fungal biomass and the optimization of the decolorization process. Of the 15 strains tested, *A. niger* URM 5741, *A. japonicus* URM 5620 and *A. niger* URM 5838 were selected. The decolorization efficiency of live biomass was higher than the dead biomass, getting between 87-91% and 32-46%, respectively. The *A. niger* URM5741 was the fungus that fastest discolored the DB22, reaching 92%, 94% and 81% of dye discoloration with 50 m.L<sup>-1</sup>, 150 m.L<sup>-1</sup> and 300 m.L<sup>-1</sup>, respectively, after 120min, with an inverse ratio of increased concentration and discoloration. In the process optimization, the dye was tested with 1, 3 and 5 g of biomass, making possible to know the reuse capacity of the biosorbent, and its total efficiency. During the discoloration the fungi reached 90% efficiency before the first 50min, even with 1g. *A. niger* URM5741 discolored the dye completely even after two reuses. *A. niger* URM5741 also discolored efficiently (> 90%) the 78GR Turquoise, a residual dye obtained through ITEP, in up to 120min. And yet, the textile effluent from a laundry of Toritama/PE, discoloring 81% and 94% of the effluent with 1g and 4g of biomass, respectively, in 24h of experiment. These data, show a high efficiency in the application of pelleted biomass as a biosorbent for textile dyes, enabling its application on a larger scale, with low cost and easy operation.

Keywords: Bioremediation. Filamentous fungi. Textile wastewater. textile dyes.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** — Representação da nomenclatura de corantes segundo o *Colour Index*<sup>TM</sup> .....22
- Figura 2** — Classificação de corantes azo segundo a quantidade de ligações azo. a – Corante monoazo Acid Orange 7; b – Corante diazo Acid Red 151; c – Corante poliazo Solophenyl Red 3BL; d – Corante triazo Direct Blue 71.....27
- Figura 3** — Fluxograma simplificado da cadeia produtiva da indústria têxtil e de confecções.....29
- Figura 4** — Delimitação do Agreste pernambucano .....30
- Figura 5** — Municípios que compõem o Polo de Confecções do Agreste pernambucano .....31
- Figura 6** — Descarga de efluentes têxteis no Rio Capibaribe por lavanderias do município de Caruaru, Pernambuco, Brasil.....32
- Figura 7** — Sequência de eventos a partir da liberação de efluentes têxteis no meio ambiente.....36
- Figura 8** — Técnicas mais utilizadas para o tratamento de efluentes têxteis. ...42
- Figura 9** — Métodos de tratamento de corantes têxteis .....43
- Figura 10** — Especificações do corante tetra azo Direct Black 22 .....47
- Figura 11** — Processo de triagem dos fungos filamentosos para descoloração do DB22 .....48
- Figura 12** — Processo de descoloração do DB22 com biomassa viva (I). Ciclo de reaproveitamento da biomassa viva para nova descoloração do DB22 (II).....51
- Figura 13** — Processo de descoloração do DB22 com biomassa morta (I). Ciclo de reaproveitamento da biomassa morta para nova descoloração do DB22 (II).....51
- Figura 14** — Sobrenadante da descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* a 50mg/L por fungos filamentosos, após 2 horas de monitoramento. Imagens usadas como critério de pré-seleção visual. 1 = *A. niger* (5838); 2 = *A. japonicus* (5620); 3 = *A. carbonarius* (5012); 4 = *A. sclerotiorum* (5792); 5 = *A. phoenicis* (4953); 6 = *A. parasiticus* (5778); 7 = *A. niger* (5741); 8 = *A. terreus* (5896); 9 = *A. terreus* (5864); 10 =

- A. terreus* (5093); 11 = *A. niger* (5837); 12 = *A. janus* (4456); 13 = *A. niger* (5654); 14 = *A. niveus* (5930) e 15 = *A. niger* (5863).....61
- Figura 15** — *Screening* para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (50mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo Czapek.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....62
- Figura 16** — *Screening* para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (50mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo Sabouraud.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....62
- Figura 17** — *Screening* para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (1000 mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo Czapek (a) e em caldo Sabouraud (b) após 24 horas de monitoramento.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....63
- Figura 18** — Eficiência da descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* com a biomassa viva e morta dos fungos selecionados com maior potencial para biorremediação do corante (50mg/L). a e b correspondem a descoloração e reutilização da biomassa viva, c e d correspondem a descoloração e reutilização da biomassa morta, respectivamente.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....65
- Figura 19** — Descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* pelos fungos selecionados com maior potencial para biorremediação do corante nas concentrações 150 mg/L e 300 mg/L. a e b correspondem a descoloração e reutilização da biomassa no tratamento com o corante a 150 mg/L; c e d correspondem a descoloração e reutilização da biomassa no tratamento com o corante a 300 mg/L.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....66
- Figura 20** — Descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* no primeiro minuto de observação. a – descoloração e reutilizações no processo com 1 g de biomassa; b- descoloração e reutilizações no processo com 3 g de biomassa; c – descoloração e reutilizações no processo com 5 g de biomassa.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....69
- Figura 21** — Descoloração do corante *Direct Black 22* com 1g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min,

c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....70

**Figura 22 —** Descoloração do corante *Direct Black 22* com 3g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min, c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....71

**Figura 23 —** Descoloração do corante *Direct Black 22* com 5g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min, c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\text{maxDB22}} = 475 \text{ nm}$  .....72

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> — Classificação de corantes quanto a sua estrutura química. ....	22
<b>Quadro 2</b> — Classificação de corantes quanto aos métodos de aplicação. ....	24
<b>Quadro 3</b> — Efeitos adversos de produtos químicos presentes nos efluentes têxteis, sobretudo corantes e metais pesados. ....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> — Principais produtos químicos utilizados pela indústria têxtil .....	33
<b>Tabela 2</b> — Características típicas de efluentes têxteis não tratados.....	34
<b>Tabela 3</b> — Valores em reais devidos a título de TFAPE, por estabelecimento e por trimestre .....	40
<b>Tabela 4</b> — Descrição das cepas de fungos filamentosos testadas na descoloração do corante têxtil Direct Black 22.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
APLs	Arranjos Produtivos Locais
BDA	Batata Dextrose Agar
CI	Colour Index
CL <sub>50</sub>	Concentração Letal (média)
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DB22	Direct Black 22
DBO	Demanda Bioquímica De Oxigênio
DP	Desvio Padrão
DQO	Demanda Química De Oxigênio
ETAs	Estações De Tratamento De Água
ETAD	The Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigment Manufacturers
<i>et al.</i>	E outros/ E colaboradores
g	Gramas
GU	Grau De Utilização De Recursos Ambientais
h	Horas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IET	Índice de Estado Trófico
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IQA	Índice de Qualidade das Águas
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
L	Litro

LTDA	Limitada
Min	Minuto
mg	Miligrama
ml	Mililitro
MPPE	Ministério Público de Pernambuco
nm	Nanômetros
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
PP	Potencial de Poluição
ppm	Partes por Milhão
RPM	Rotações por Minuto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TACs	Termos De Ajustamento De Conduta
TFAPE	Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental do Estado de Pernambuco
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UV	Radiação ultravioleta
µL	Microlitro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>19</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1	CORANTES .....	20
2.1.2	<b>Corantes têxteis .....</b>	<b>21</b>
2.1.2.1	Azo corantes e seus efeitos tóxicos .....	26
2.2	INDÚSTRIA TÊXTIL.....	28
2.2.2	<b>Parque industrial têxtil no Brasil .....</b>	<b>29</b>
2.2.2.1	Polo têxtil de Pernambuco .....	30
2.3	EFLUENTES INDUSTRIAIS TÊXTEIS .....	32
2.4	REGULAMENTAÇÃO DOS EFLUENTES NO BRASIL .....	37
2.5	REMEDIAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS .....	41
2.5.2	<b>Remediação por métodos físicos e químicos .....</b>	<b>41</b>
2.5.3	<b>Remediação por métodos biológicos.....</b>	<b>42</b>
2.5.3.1	Aplicação de fungos na biorremediação .....	46
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
3.1	REAGENTES.....	47
3.2	PREPARAÇÃO DO CORANTE .....	47
3.3	MICROORGANISMOS .....	48
3.4	SCREENING DE FUNGOS FILAMENTOSOS PARA DESCOLORAÇÃO DO DB22.....	48
3.5	CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO DOS FUNGOS PARA ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO.....	49
3.6	PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO DO DB22 .....	49
3.6.2	<b>Análise da reutilização da biomassa para descoloração .....</b>	<b>49</b>

3.7	OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA PARA DESCOLORAÇÃO .....	50
3.8	SCREENING DE DESCOLORAÇÃO PARA CORANTES RESIDUAIS DAS LAVANDERIAS DE CARUARU .....	52
3.9	TESTE DA DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL.....	52
<b>3.9.2</b>	<b>Efluente têxtil.....</b>	<b>52</b>
<b>3.9.3</b>	<b>Processo de Descoloração .....</b>	<b>52</b>
3.10	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA DESCOLORAÇÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA .....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A — Artigo publicado no livro Semiárido Brasileiro...</b>	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE B — Artigo publicado na revista Brazilian Journal of Development.....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE D – PRODUÇÕES E DIVULGAÇÕES ACADÊMICAS ..</b>	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um dos segmentos mais importantes no mundo, no entanto, o crescimento desse setor sem um planejamento e fiscalização fez com que se tornasse um dos maiores poluidores do planeta, sobretudo de corpos hídricos (Choudhary e Islam, 2017), de forma que são usados entre 50 e 100 L de água para finalização do quilo de tecido (Almeida e Corso, 2019). Despejadas no ambiente como efluentes, contendo uma enorme variedade de químicos, incluindo metais pesados, compostos orgânicos clorados e alta carga de corantes (Aziz *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017), o que faz com que sejam tóxicos para o meio ambiente e para a saúde humana (Lellis *et al.*, 2019).

Aproximadamente 20% dos corantes utilizados são perdidos durante a descarga de efluentes, e alguns são visíveis com uma concentração de apenas 1ppm, o que afeta principalmente a produção do ecossistema (Mani *et al.*, 2019). Além disso, esses compostos apresentam, pelo menos um grupo aromático (benzenos, xilenos, toluenos, naftalenos e outros), tornando a molécula dos corante recalcitrantes e reativas, resistentes a luz, umidade e ação de agentes oxidantes podendo ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e bioacumulativos com uma concentração de apenas 3%, mesmo após tratamento (Przystaś *et al.*, 2018).

Diante dos problemas ecológicos e à saúde pública associados a liberação de efluentes, tecnologias vêm sendo desenvolvidas para serem aplicadas na remoção desses contaminantes. Dentre as técnicas testadas para tratamento das águas residuais têxteis, destaca-se a utilização de microrganismos, por possibilitarem a bioconversão completa de contaminantes (Kong *et al.*, 2016).

Apesar de atualmente haver um predomínio na aplicação de bactérias para o biotratamento de efluentes, os fungos filamentosos têm despertado grande interesse como agentes biorremediadores, devido seu baixo custo de aplicação, a presença cosmopolita desses microrganismos, por apresentarem rápida adaptação metabólica a diversas fontes de carbono e nitrogênio, incluindo resíduos (Solís *et al.*, 2012), por realizarem auto peletização (que aumenta a razão superfície-volume e conseqüentemente o contato com os contaminantes) (Khan e Fulekar, 2017), por possuírem a capacidade de tratar compostos insolúveis e recalcitrantes através de enzimas extracelulares (Dewi *et al.* 2018), e ainda, por poderem biodegradar, bioacumular e/ou bioissorver os poluentes (variando de acordo com o metabolismo, tolerância e outras características dos fungos) (Przystaś *et al.*, 2018).

A busca por organismos que metabolizem todos os processos, ou acelerem etapas, possibilita a aplicação de unidades experimentais, que podem favorecer a formação e consolidação de processos de tratamento mais eficientes, menos onerosos e sustentáveis, além de contribuir para a manutenção das atividades locais. Dessa forma, esse trabalho investigou a capacidade de fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir efluentes contaminados com corantes têxteis, extensivamente utilizados no Polo Têxtil do Agreste Pernambucano, selecionando as melhores cepas para aplicações experimentais tecnológicas de tratamento.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Investigar a capacidade de fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em descolorir efluentes contaminados com corantes têxteis extensivamente utilizados no Polo Têxtil do Agreste Pernambucano.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade dos fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir o corante em meio líquido.
- Selecionar a(s) melhor(es) cepas de *Aspergillus* para descoloração de corantes têxteis
- Verificar a influência da concentração do corante no processo de descoloração
- Comparar a eficiência de descoloração entre a biomassa viva e a biomassa morta.
- Analisar a eficiência da reutilização da biomassa
- Produzir uma metodologia de inovação para aplicação industrial

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CORANTES

Segundo a *The Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigment Manufacturers* (ETAD) os corantes são substâncias orgânicas que atribuem cor a um substrato por adsorção de luz de forma seletiva, sendo fortemente coloridos ou fluorescentes. Essas substâncias fornecem cor, temporariamente ou de forma definitiva, a partir da compatibilidade com o substrato, que pode ocorrer por ligações químicas (iônicas e/ou covalentes), por adsorção física ou por retenção mecânica (*Colour Index™*; Manage, 2017).

As estruturas moleculares dos corantes têm um padrão estrutural, sendo compostos por duas partes: Uma contendo grupos auxiliares e outra contendo grupos cromóforos. Os grupos auxiliares ou laterais são responsáveis pela fixação do corante à fibra, ou seja, são aqueles que propiciam a afinidade do composto à fibra. Enquanto o grupo cromóforo é responsável pela cor emitida pelo composto, absorvendo luz visível e na região UV (Gürses *et al.*, 2016a). Podem conter ainda, substituintes auxocromos, receptores ou doadores de elétrons, responsáveis pela emissão de cor dos cromóforos ou pelo aumento de sua capacidade, intensificando a cor emitida. Os auxocromos mais comuns são:  $-NH_3$ ,  $-COOH$ ,  $-SO_3H$  e  $-OH$  (Sandhya, 2010).

Essa estrutura faz com que os corantes possuam pelo menos um grupo aromático em sua molécula, dentre eles: benzenos, xilenos, toluenos, naftalenos e outros, o que faz com que sejam recalcitrantes e reativos, resistentes a luz, umidade e a ação de agentes oxidantes, podendo ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e bioacumulativos com uma concentração de apenas 3%, mesmo após tratamento (Przystaś *et al.*, 2018). A toxicidade dos corantes atinge tanto a flora como a fauna aquática, podendo ainda atingir humanos e outros animais, seja através da exposição direta ou indireta (Mounguengui *et al.*, 2014).

Os corantes são de forma abrangente, divididos em naturais e sintéticos, e são utilizados, segundo registros históricos, desde o início da civilização, por volta de 3500 a.C. Os primeiros corantes eram de origem natural, extraídos sobretudo de plantas e animais, aplicados principalmente no tingimento de peles e tecidos (Clark, 2011). Dentre esses, destacam-se o índigo natural, obtido da planta *Indigofera tinctoria*, o *Woad*, obtido da planta *Isatis tinctoria* (Humphrey, 2017), e um corante extraído da secreção de glândulas hipobranquiais de gastrópodes, sobretudo os da família

*Muricidae* (Yusuf *et al.*, 2017). Esses corantes foram amplamente utilizados até o século XIX, quando surgiram os corantes sintéticos (Almeida *et al.*, 2014).

Em 1771, tratando um corante índigo com ácido cítrico, Wolfe descobriu o ácido pícrico, produzindo um tom de amarelo, posteriormente utilizado para tingimento de seda. No entanto, em sua época, não obteve atenção do mercado. Por outro lado, a *Mauvine* ou malveína, um corante violeta produzido a partir da oxidação de anilinas, foi descoberto por William H. Perkin em 1856, tornando-se o primeiro corante sintético produzido, e estimulando a corrida para descoberta de outras substâncias colorantes, sendo produzidos mais de 10 mil corantes sintéticos até o fim do século XIX (Kant, 2012).

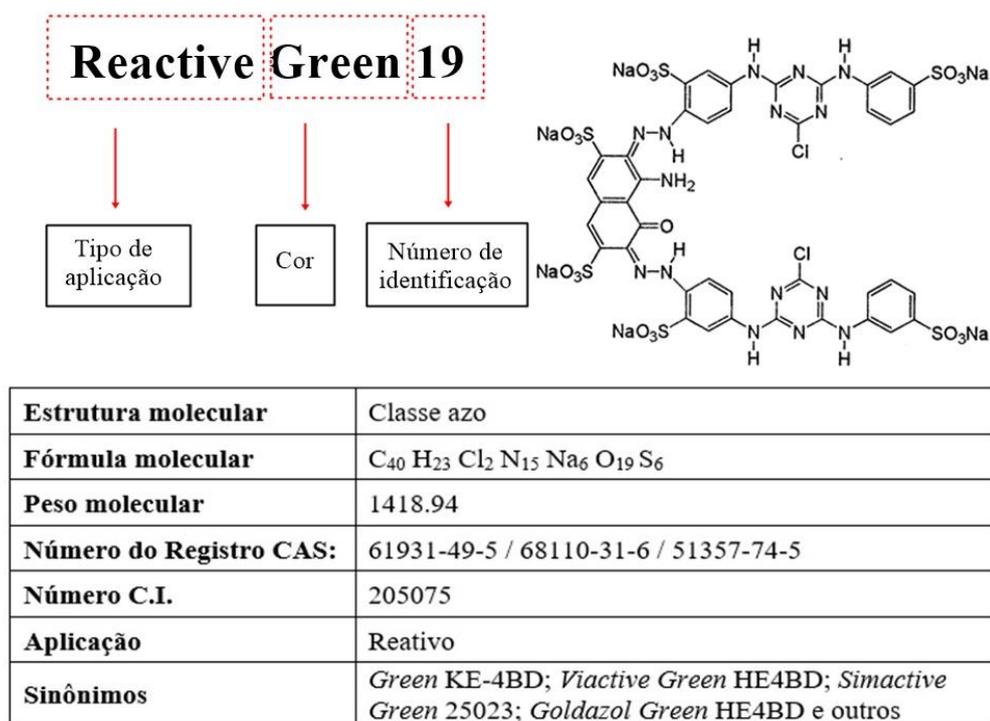
Os corantes naturais passaram a ser aplicados principalmente na indústria alimentícia, enquanto os corantes sintéticos foram extensivamente explorados na indústria têxtil, sobretudo, devido à alta gama de cores disponíveis, menor custo, maior resistência e outras propriedades (Jadhav *et al.*, 2016).

### **2.1.2 Corantes têxteis**

Os Corantes sintéticos são largamente produzidos para aplicações industriais, não sabendo-se exatamente quantas toneladas se produz e quanto se perde durante produção e aplicação desses compostos. O número de corantes criados e conhecidos de forma oficial chegou a 100 mil tipos em 2017, sendo aplicados sobretudo na indústria têxtil, que utiliza pelo menos dois terços da produção total de corantes sintéticos ao ano (Garg e Tripathi, 2017; Santos *et al.*, 2017). Em geral, reativos, resistentes a degradação fotolítica, química, biológica e a temperatura (Manage, 2017).

Devido a quantidade de corantes existentes, foi necessária a criação de um sistema de classificação. Atualmente, a lista de corantes obedece a um padrão estabelecido pelo *Colour Index*<sup>TM</sup>, que numera cada corante com um "CI", um nome genérico e um número de sua composição química (Gürses *et al.*, 2016b) (Figura 1). Os corantes podem ainda, receber nome de complexos, a exemplo o composto de *Reactive Black 5*, *Reactive Red 198* e *Remazol Golden Yellow 3* que formam o complexo *Navy 106* (Sandhya, 2010).

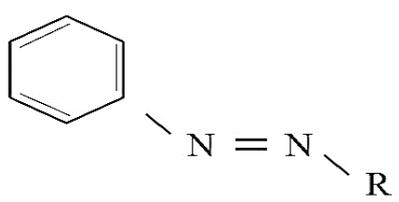
Figura 1 — Representação da nomenclatura de corantes segundo o *Colour Index*<sup>TM</sup>

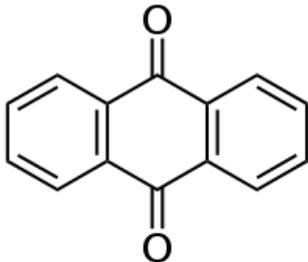
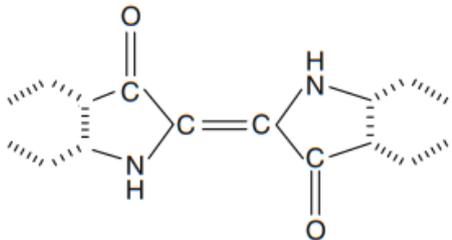
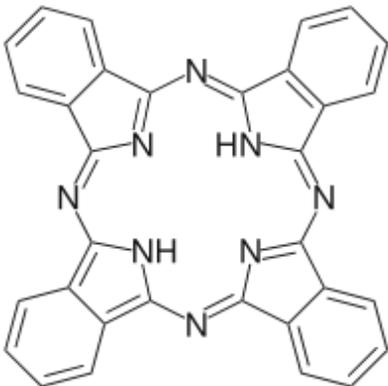


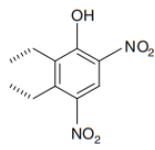
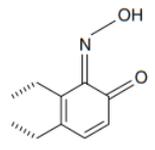
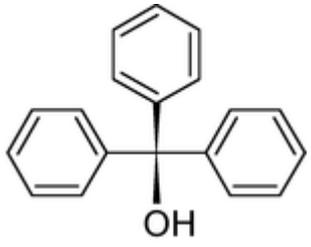
Fonte: Baseado em Gürses e colaboradores (2016b).

Esses corantes são então classificados, segundo uma série de fatores, como estrutura química, solidez, solubilidade, cor, fonte/fabricante, aplicação e outras, destacando-se as classificações quanto a estrutura molecular e seu tipo de aplicação. Onde a classificação química está ligada principalmente aos grupos cromóforos da molécula, sendo extremamente complexa, preferindo-se assim, a classificação quanto aos métodos de aplicação (Clark, 2011; Gürses *et al.*, 2016b). Ambas classificações são apresentadas de forma simplificada nos Quadros 1 e 2.

**Quadro 1** — Classificação de corantes quanto a sua estrutura química.

Azo	
Definição	Estrutura química
<p>Essa classe de corantes tem origem unicamente sintética. São sintetizados a partir de uma reação de acoplamento com substituição eletrofílica, que em quase sua totalidade, ocorrem por diazotização de uma amina aromática primária, em sequência acoplada ao sal de diazônio. Sua estrutura contém pelo menos uma</p>	

ligação dupla entre nitrogênios e seus grupos auxiliares têm ao menos um composto aromático.	
<b>Antraquinona</b>	
Definição	Estrutura química
Compostos dessa classe podem ser extraídos de diversas fontes naturais ou produzidos sinteticamente. Representam o maior grupo de corantes carbonílicos, e sua estrutura tem como base a antraquinona, com os grupos auxiliares ligados ao seu redor. Sua síntese ocorre a partir de uma substituição eletrofílica de antraquinona não substituída ou pela síntese do núcleo. As substituições podem acontecer na posição $\alpha$ ou $\beta$ e ocorrem, respectivamente, pelos métodos de sulfonação e nitração, e pela síntese do núcleo a partir de anidrido ftálico e um derivado de benzeno.	
<b>Indigóides</b>	
Definição	Estrutura química
Atualmente essa classe é quase totalmente representada pelo corante Índigo, apesar de outros indigóides haverem existido. O corante índigo foi inicialmente obtido de fontes naturais e passou ao fim do século XIX a ser sintetizado. A síntese ocorre numa sequência de reações que inicia com uma reação entre anilina, formaldeído e cianeto de hidrogênio. Ao fim das reações obtém-se o indoxil, que então sofre uma dimerização oxidativa para formar o corante índigo.	
<b>Ftalocianina</b>	
Definição	Estrutura química
Essa é uma classe formada por compostos macrocíclicos aromáticos que possuem um sistema $\pi$ -elétron altamente conjugado. Formam complexos com a maior parte dos elementos, principalmente com cobre (Cu), ferro (Fe), Silício (Si), Germânio (Ge) e Arsênio (As) e outros, utilizados em diversos corantes. Corantes dessa classe são sintetizados principalmente pelo aquecimento do ftalonitrilo ou do anidrido ftálico através de ciclotetramerização, sendo necessário o efeito de molde proporcionado por um cátion metálico.	

<b>Nitro ou Nitrosos</b>	
Definição	Estrutura química
Os compostos nitrosos não possuem propriedade de tingimento, a menos que formem compostos metálicos ou se tiverem grupos hidrofílicos. Essa classe de corantes possui em sua composição mais de um grupo nitro ou nitroso, que formam conjugados com doadores de elétrons num sistema aromático.	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>Nitro</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>Nitroso</b></p> </div> </div>
<b>Trifenilmetano</b>	
Definição	Estrutura química
Essa classe é formada por compostos cujas cores refletidas são vivas, e variam de acordo com as formas trifenilmetano e tritilo, sendo este último formado quando o trifenilmetano é exposto a radiação UV (244nm). De forma que o trifenilmetano não é fluorescente, mas o tritilo é fracamente fluorescente em solventes de baixa viscosidade, e apresenta fluorescente mais forte em solventes viscosos ou em baixa temperatura.	

Fonte: Baseado em Sandhya (2010); Clark (2011); Gürses e colaboradores (2016b); Zheng e colaboradores (2017)

**Quadro 2** — Classificação de corantes quanto aos métodos de aplicação.

<b>Classes</b>	<b>Definição</b>
<b>Corantes solúveis em água</b>	
<b>Reativos</b>	Esse tipo de corante é utilizado principalmente no tingimento de celulose e de algodão. Possuem em sua estrutura um ou mais grupos eletrofílicos reativos, que podem formar ligações covalentes durante o processo de aplicação (propriedade exclusiva dessa classe de corantes) com hidroxilas, grupamentos amino ou/e tióis das fibras têxteis. E que está, em geral, ligado a partir de pontes (-NH-, -CO- E SO <sub>2</sub> -) ao grupo cromóforo, que são principalmente das classes azo e antraquinona.
<b>Ácidos</b>	Corantes dessa classe contém geralmente grupos sulfonados em sua estrutura, o que os faz hidrossolúveis. Podem ser subdivididos em metálicos, onde um metal mordente está incorporado na estrutura do corante, e não-metálicos, que possuem baixa massa molecular e são aplicados a pH mais baixos. São utilizados principalmente para o

	tingimento de lã, seda, polipropileno e outras. E possuem diversos grupos cromóforos como azo, nitro e/ou nitroso, antraquinona e outros.
<b>Básicos</b>	Conhecidos como corantes catiônicos, corantes dessa classe são solúveis em água e produzem cátions coloridos quando estão em solução aquosa. Essas propriedades fazem com que a duração do corante seja relativa à presença de porções aniônicas na molécula, para formação de ligações covalentes. São em geral utilizados para o tingimento de fibras acrílicas, de nylon, papel, poliéster e outras.
<b>Diretos</b>	Esses são corantes aniônicos solúveis em água, geralmente aplicados no tingimento de fibras de celulose. Essa é a maior das classes de corantes. Sua aplicação ocorre, geralmente a partir de uma solução do corante num banho aquecido contendo eletrólitos, não necessitando da utilização de mordentes. Os grupos cromóforos desses corantes são variados, podendo ser dos grupamentos azo, ftalocianina, antraquinona, estilbenos, oxazinas, formazan, quinolona e outros.
<b>Corantes insolúveis em água</b>	
<b>Dispersos</b>	Os corantes dessa classe são aplicados a fibras hidrofóbicas como poliéster, nylon, fibras acrílicas e outras. Em geral são insolúveis e compostos dos grupamentos azo, antraquinona ou nitro. Sua aplicação ocorre a partir de uma dispersão aquosa onde é necessária a aplicação de uma redução de compensação ou “redução clara” após o tingimento, que evita manchas no substrato tingido das partículas corantes não fixadas. No entanto essa etapa de limpeza das partículas dispersas, aumenta tempo, custo e produção de águas residuais no processo.
<b>Cuba</b>	Esses são corantes com propriedades de resistência a luz e umidade, insolúveis em água e compostos de ao menos dois grupos carbonila (C=O) em sua estrutura. A presença desses grupamentos carbonila, fazem com que o corante seja reduzido para um composto leuco solúvel, o que proporciona o tingimento da fibra, que posteriormente é oxidado, voltando a sua forma insolúvel e permitindo a maior fixação à fibra. São aplicados principalmente a fibras celulósicas. Um dos principais corantes dessa classe apresentam como cromóforos o índigo, mas àqueles que tem substituintes, como o bromo, ou seja, os halogenados, podem ser ainda do tipo antraquinona e tioindigóide.
<b>Azóicos</b>	Corantes dessa classe são usados para colorações brilhantes e vivas, principalmente nos tons laranja, vermelho e escarlate, apresentando alguns compostos de tons azul marinho e/ou preto, cuja tonalidade é definida pela reação de formação. São formados pela interação entre um composto diazônio e um componente de acoplamento, principalmente as arilamidas do ácido 2,3-hidroxinaftóico, enquanto o

	componente diazo são aminas aromáticas primárias, que quando diazotadas resultam em cloridrato, forma base livre, sulfato, e/ou compostos estáveis de diazônio. Esses são corantes insolúveis em água que têm como característica a formação dentro da fibra do algodão, permitindo que não necessitem de secagem intermediária.
<b>De enxofre</b>	Corantes dessa classe não são bem definidos estruturalmente e nem em composição química. São sintetizados, em geral, a partir de tionação de intermediários aromáticos, ou seja, do aquecimento de aminas, fenóis ou compostos nitro aromáticos com enxofre, ou/e ainda, polissulfetos alcalinos. Seu sistema cromóforo é baseado em tiazol, tiazona, tiantrenos e fenotiazonaetioantrona, composto de ligações de enxofre numa mistura de espécies moleculares poliméricas, com grandes proporções de ligações de sulfeto (–S–), dissulfeto (–S – S–) e polissulfeto (–Sn–) em anéis heterocíclicos. Os corantes de enxofre são em geral utilizados no tingimento de fibras celulósicas, fornecendo cores terciárias, especialmente tons de preto.

Fonte: Baseado em Sandhya (2010); Clark (2011); Gürses e colaboradores (2016b); Benkhaya e colaboradores (2017).

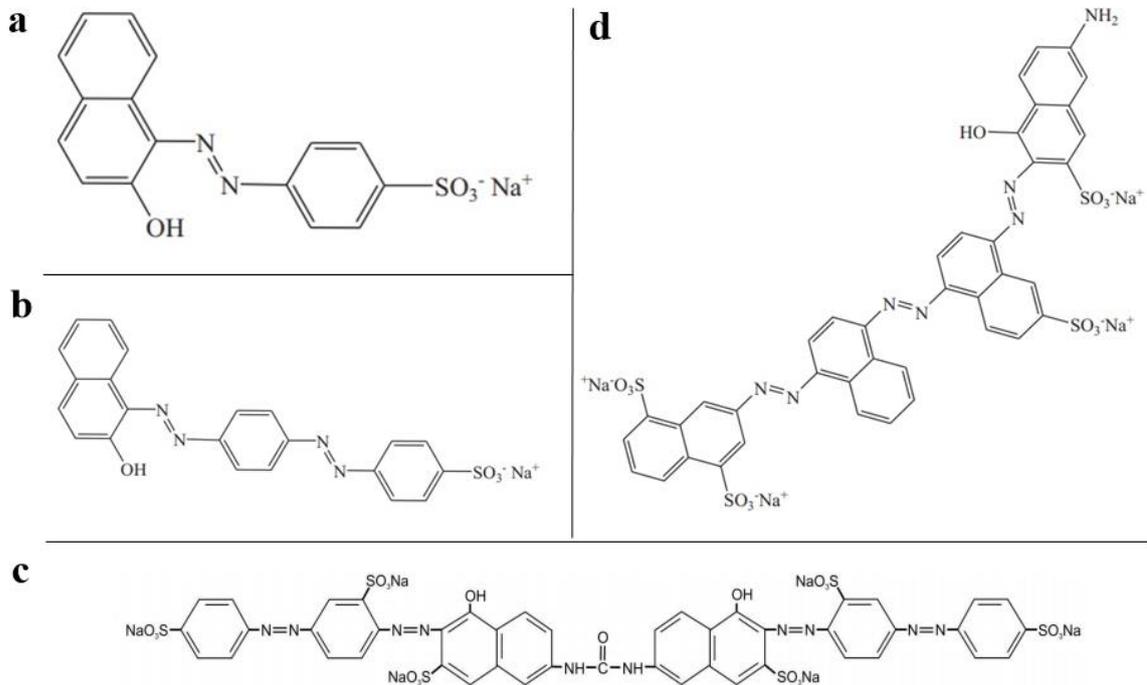
#### 2.1.2.1 Azo corantes e seus efeitos tóxicos

Os corantes azo são compostos orgânicos que correspondem a maior classe de corantes utilizados pela indústria, aplicados no tingimento de borracha, cosméticos, tintas, plásticos e principalmente no setor têxtil, onde representam entre 60 e 70% de todos os corantes utilizados (Garg e Tripathi, 2017; Brüscheiler e Merlot, 2017). Os compostos azo surgiram em 1859, a partir da descoberta de Griess de uma estrutura diazo que não necessitava de um mordente, ou seja, não necessitava de um agente de fixação. No entanto, o primeiro corante azo foi obtido somente em 1863, chamado de *Bismark Brown* e em 1884 surgiu o Vermelho Congo, um dos corantes mais utilizados até a atualidade, por permitir a aplicação direta à fibra (Clark, 2011).

Essa classe de corantes é composta por uma variedade de estruturas químicas, caracterizadas por conter no mínimo uma ligação azo (-N = N-), e pela presença de pelo menos um grupo aromático como radical, o que lhes confere uma ampla diversidade de cor, uma vez que os tons e sua intensidade são determinados por esses grupos laterais (Jadhav *et al.*, 2016).

A quantidade das ligações azo na estrutura química do corante é utilizada para sua classificação, conforme apresentado na Figura 2. De forma que os corantes monoazo são os mais representativos (Geng *et al.*, 2015).

**Figura 2** — Classificação de corantes azo segundo a quantidade de ligações azo. a – Corante monoazo *Acid Orange 7*; b – Corante diazo *Acid Red 151*; c – Corante poliazo *Solophenyl Red 3BL*; d – Corante triazo *Direct Blue 71*.



Fonte: Estruturas químicas retiradas de Garcia-Segura e colaboradores (2011) e Goscianska e colaboradores (2017).

A produção anual de azo corantes é de aproximadamente  $9 \times 10^6$  toneladas ao ano, no entanto são perdidos cerca de 15% dos corantes durante o processo de tingimento. E a liberação desses corantes a partir do efluente final varia entre  $7 \times 10^5$  e  $4,5 \times 10^6$  toneladas ao ano (Maganha de Almeida *et al.*, 2018).

Apesar de sua vasta aplicação industrial, os azo corantes têm um alto potencial tóxico para o ambiente e para humanos, sendo conhecidos como aerobióticos, possivelmente recalcitrantes, além de apresentarem potencial mutagênico, carcinogênico e bioacumulativo, uma vez que perpassam toda teia trófica, num processo de biomagnificação (Sandhya, 2010).

Os azo corantes podem ter sua estrutura química modificada por variação de temperatura, transformações sistêmicas e ação de microrganismos, sobretudo por ações enzimáticas, liberando principalmente aminas aromáticas - compostos utilizados como intermediários na síntese dos corantes dessa classe - e compostos fenólicos, ambos com baixa biodegradabilidade (Sen *et al.*, 2016).

Uma das aminas aromáticas comprovadamente liberada por corantes azo, nesse caso o corante *Acid Red 85*, é a benzidina, conhecida pelos seus efeitos

carcinogênicos (Tang *et al.*, 2018). Entretanto, um estudo recente utilizando 896 corantes azo, mostrou que todos produziram aminas aromáticas ou compostos similares após degradação, onde 48% eram aminas ou compostos regulados e 52% de não reguladas, ainda nesse estudo, foram identificadas quarenta aminas aromáticas, comprovadas como carcinogênicas através do teste de Ames, em diversos corantes azo (Brüschweiler e Merlot, 2017).

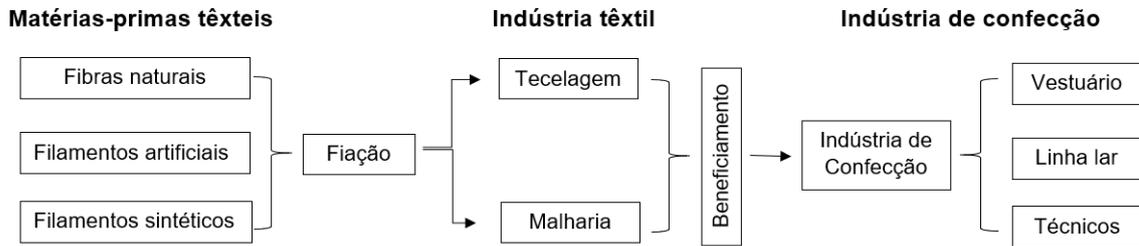
A produção aumentada de corantes dessa classe, bem como de outras classes, acompanhou a revolução industrial e o aumento de consumo devido ao crescimento populacional. A grande problemática é que a liberação desses compostos e das demais substâncias liberadas nos resíduos industriais podem causar problemas ecológicos e de saúde pública, contaminando corpos hídricos e solos, tornando-os frágeis e menos férteis (Santos *et al.*, 2017).

## 2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil é um dos segmentos industriais mais antigos no mundo, que acompanhou o desenvolvimento e crescimento das civilizações, além de ter sido um dos precursores da Revolução Industrial (Silva e Almeida, 2017). Somente em 2010 foram consumidos cerca de 80 milhões de toneladas de fibras no mundo, no Brasil foram aproximadamente 11,6 kg/habitante, enquanto a produção de peças como fios, tecidos e confecções foi de 76 milhões de toneladas (Associação Brasileira da Indústria Têxtil, 2013). A maior problemática quanto a essa produção crescente é que seguindo os padrões de consumo capitalista, além da quantidade de peças utilizadas ter aumentado por pessoa, há um exponencial encurtamento em tempo de vida útil dessas peças, intensificando a demanda produtiva e conseqüentemente, os impactos gerados (Baruque-Ramos *et al.*, 2017).

Essa indústria é estruturada numa cadeia de produção, distribuição e confecção que compreende desde a produção de fibras têxteis até o produto final confeccionado, distribuído e comercializado. E abrange principalmente três setores: a fiação, a tecelagem e malharia, e por fim, o beneficiamento. Onde este último inclui a tinturaria, estamparia, customização, lavagens e outros (Mendes Júnior, 2017). Um esquema simplificado da estrutura produtiva da indústria têxtil é apresentação na figura 3.

**Figura 3** — Fluxograma simplificado da cadeia produtiva da indústria têxtil e de confecções.



Fonte: Adaptada de Mendes Júnior (2017).

Diante do cenário mundial têxtil, o Brasil tem um importante destaque, de forma que é um dos únicos países com uma cadeia produtiva têxtil que fabrica das fibras até as confecções, ou seja, um parque produtivo completo (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2013), se tornando a maior cadeia integrada do hemisfério ocidental (Confederação Nacional da Indústria e Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2017). Além de ter um parque que ocupa mundialmente a quarta posição dentre os produtores de vestuário e é a quinta maior indústria têxtil do mundo (produção de manufaturas) (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção e Confederação Nacional da Indústria, 2012).

### 2.2.2 Parque industrial têxtil no Brasil

A indústria têxtil brasileira se estabeleceu na Bahia entre 1830 e 1860, com a instalação de diversas fábricas, tornando-se o primeiro e mais forte centro desse setor no país. A partir de 1860, no entanto, houve uma centralização do setor têxtil nas regiões Sudeste e Sul, com uma concentração produtiva principalmente em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, e posteriormente em Porto Alegre (Fujita e Jorente, 2015).

Esses pontos produtivos avançaram conforme o país desenvolveu e formaram o que atualmente se conhece por Arranjos Produtivos Locais (APLs), chamados ainda polos produtivos, no caso da indústria têxtil, os polos têxteis. Atualmente o parque têxtil brasileiro alcança todos os estados do país, com cerca de 30 mil empresas formais reconhecidas, com as maiores concentrações em Santa Catarina (Região Sul), São Paulo e Minas Gerais (Região Sudeste) Pernambuco, Bahia e Ceará (Região Nordeste) (Confederação Nacional da Indústria e Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2017).

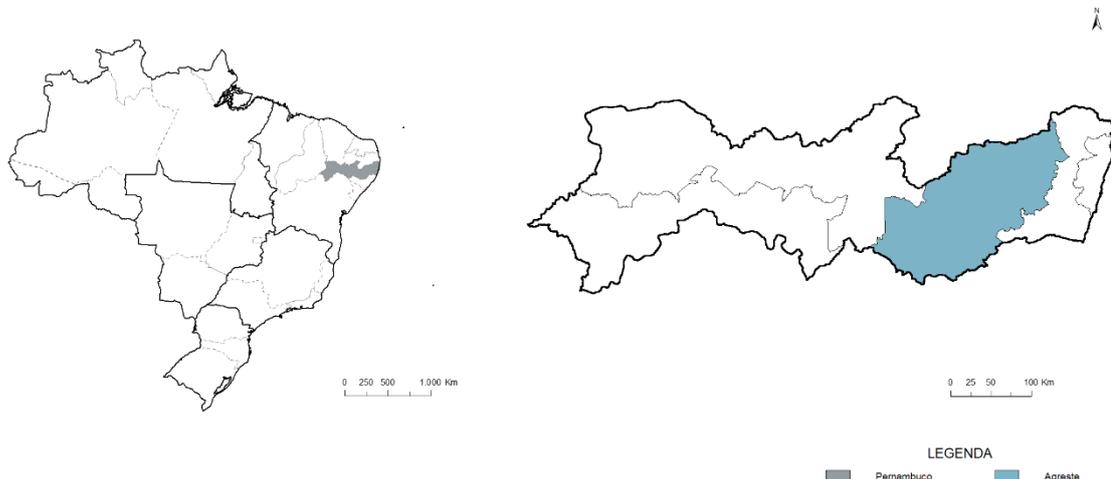
No caso de Pernambuco, o polo da indústria têxtil e de confecções tem destaque não somente pela geração de renda e pela quantidade de peças produzidas, mas principalmente por alcançar diversos segmentos têxteis, dentre eles: Tinturaria, estampa, texturização, bordados e customização do jeans (sobretudo a partir de lavagens) (Araujo *et al.*, 2019).

#### 2.2.2.1 Polo têxtil de Pernambuco

O Agreste é uma mesorregião localizada em todo Nordeste, intermediária a Zona da Mata e o Sertão (Figura 4). Em Pernambuco essa região abriga um importante ponto de desenvolvimento comercial e econômico: o Polo têxtil de Pernambuco ou o Polo de Confecções do Agreste (De Lima *et al.*, 2014).

O desenvolvimento do setor têxtil nessa região iniciou, por volta de 1960, em resposta as condições, muitas vezes inóspitas, causadas principalmente pelo déficit hídrico, que levaram, juntamente às questões sociais, como o apoderamento dos minifúndios pelos grandes produtores, ao declínio da agricultura. Favorecendo assim, o setor de confecção e manufaturas têxteis, se tornando a principal atividade industrial da região (Dos Santos e Helal, 2018).

**Figura 4 —** Delimitação do Agreste pernambucano



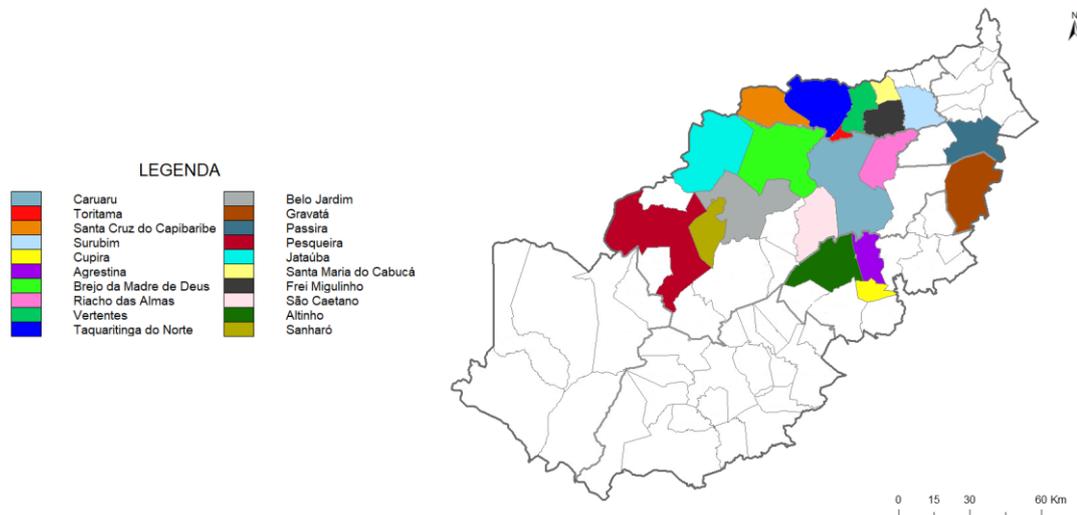
Fonte: Imagem adaptada de Mapas do Brasil/Mapas para colorir. Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) (2012)

Esse, é o terceiro maior polo de confecções do Brasil, composto principalmente pelos municípios de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, que juntos produzem 77% do PIB de todo o polo (Figura 5). E está organizado num Arranjo

Produtivo Local (APL), cuja especialização é a confecção de jeans, sendo responsável por aproximadamente 16% da produção nacional dessas peças, sendo o Brasil o segundo maior mercado de jeans do mundo (De Lima *et al.*, 2014; Viana *et al.*, 2018).

Para produção de peças de jeans é essencial um material diferenciado, atendendo as demandas populares. Para isso sua transformação é responsabilidade das lavanderias, em processos de lavagens que resultam numa cor, maciez, textura e leveza final do tecido. No entanto, esses processos consomem um grande volume de água, que resultam em águas residuais contaminadas por diversos compostos (Amaral *et al.*, 2012).

**Figura 5** — Municípios que compõem o Polo de Confecções do Agreste pernambucano



Fonte: Imagem adaptada de Mapas do Brasil/Mapas para colorir. Dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) (2012)

Na região onde estão inseridos os principais municípios do arranjo produtivo, passam dois grandes rios: O Rio Ipojuca e o Rio Capibaribe. Ambos receptores de uma quantidade alarmante de resíduos têxteis (Da Silva *et al.*, 2015). Desses, o principal rio atingido pelas lavanderias é o Ipojuca, atualmente classificado como poluído em toda sua extensão, com Índice de Qualidade das Águas (IQA) ruim e Índice de Estado Trófico (IET) supereutrófico, uma vez que contém elevada concentração de amônia, fósforo e coliformes termotolerantes, elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e uma concentração zero de Oxigênio Dissolvido (OD). Onde a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) associa essa poluição, principalmente, ao lançamento de esgotos domésticos e de resíduos industriais (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019).

No entanto, o Rio Capibaribe também é afetado pela descarga de efluentes, sobretudo pelas lavanderias clandestinas da região, que não utilizam nenhum tipo de tratamento ou tratamentos ineficientes, antes da liberação de suas águas residuais (Figura 6) (Amaral *et al.*, 2012). A principal preocupação quanto a contaminação do Capibaribe, está ligada a saúde pública, de animais e da manutenção da agricultura, uma vez que um dos principais reservatórios do estado, o Reservatório de Jucazinho, está inserido na bacia do Capibaribe (Da Silva *et al.*, 2015).

Além disso, as cidades dessa mesorregião passam por rigorosas privações de abastecimento, obedecendo a um calendário de distribuição de água (De Lima *et al.*, 2014; Companhia Pernambucana de Saneamento, 2019). Fazendo com que a implantação do setor têxtil na região se torne um verdadeiro paradoxo, e um desafio para as lavanderias e empresas instaladas no polo de confecções, havendo um estímulo ao reuso de água, já comprovado como um importante redutor dos custos, sobretudo quanto a compra de carros-pipa, para manutenção das atividades (Lima *et al.*, 2016; Viana *et al.*, 2018).

**Figura 6** — Descarga de efluentes têxteis no Rio Capibaribe por lavanderias do município de Caruaru, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Amaral e colaboradores (2012).

### 2.3 EFLUENTES INDUSTRIAIS TÊXTEIS

A indústria têxtil é comumente citada como o setor ou um dos setores industriais que mais polui o meio ambiente. As liberações de resíduos provenientes da cadeia

produtiva dessa indústria incluem emissões atmosféricas (partículas de materiais, compostos orgânicos voláteis, poeira e óxidos de nitrogênio e enxofre), resíduos sólidos (restos de fios e tecidos, embalagens e lodo têxtil) e águas residuais, geralmente chamadas de efluentes têxteis (Choudhary e Islam, 2017; Lellis *et al.*, 2019).

A liberação desses efluentes está ligada a quantidade de processos realizados pela cadeia produtiva têxtil (mecânicos, fiação, tecelagem, malharia, tingimento, lavagem, impressão, customização e outros.) que consomem um grande volume de água, entre 50-100 L por quilo de produto finalizado, e utilizam uma enorme variedade de produtos químicos, como enzimas, detergentes, corantes, ácidos, sais e outros (Aziz *et al.*, 2017; Almeida e Corso, 2019).

A tabela 1 lista parte dos produtos químicos e quantidades utilizadas na indústria têxtil, baseadas em Kant (2012). Deve-se, no entanto, levar em consideração o crescimento da indústria ao longo dos anos e o desconhecimento real quanto a utilização desses químicos, sendo ainda assim, alarmante e mostrando a potencial toxicidade desses efluentes.

**Tabela 1** — Principais produtos químicos utilizados pela indústria têxtil

<b>Produto químico</b>	<b>Quantidade em Kg/mês</b>
Ácido acético	1611
Sulfato de amônia	858
Acetato de polivinila	954
Agente umectante	125
Hidróxido de sódio	6212
Amaciante	856
Solventes orgânicos	247
Resina orgânica	5115
Ácido fórmico	1227
Sabão	154
Hidrosulfito	6563
Ácido clorídrico	309
Peróxido de hidrogênio	1038
Agentes de nivelamento e dispersão	547
Solvente 1425	321
Ácido oxálico	471
Emulsão de polietileno	1174
Ácido sulfúrico	678

Corantes dispersos (poliéster)	1500
Corantes de cuba (viscose)	900
Corantes de enxofre	300
Corantes reativos	45

Fonte: Adaptado de Kant (2012)

Além dos compostos listados acima, os efluentes ainda contêm naftol, compostos de cromo, metais pesados (cobre, arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, níquel e cobalto), agentes de fixação à base de formaldeído, mordentes, corantes de outras classes (azoicos, pré-metálicos, branqueadores e outros), tensoativos, aditivos, detergentes, percloroetileno e permanganato de potássio (Kant, 2012; Lima *et al.*, 2016).

Todos esses compostos fazem dos efluentes resíduos extremamente impactantes ao ambiente, uma vez que afetam os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, perturbando a produtividade desses ecossistemas, atingindo a faixa fotossintética da água e os organismos da coluna d'água. Esses efeitos ocorrem principalmente pelo aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), variação do pH, variação de temperatura, presença de sólidos suspensos, presença de compostos recalcitrante e bioacumulativos, especialmente corantes e metais pesados (Santos *et al.* 2017; Choudhary e Islam, 2017; Rose e Devi, 2018; Przystaś *et al.*, 2018). As características gerais dos efluentes têxteis estão expostas na tabela 2.

**Tabela 2** — Características típicas de efluentes têxteis não tratados

Parâmetros	Variação
pH	6 - 10
Temperatura	35 - 45
Sólidos Totais Dissolvidos	8000 - 12000
Demanda Bioquímica de Oxigênio	80 - 6000
Demanda Química de Oxigênio	1000 - 12000
Cloro	1000 - 6000
Sódio	70%
Oligoelementos (mg/L)	<10
Óleo e graxa (mg/L)	10 - 30
Amônia livre	<10
Sulfato	600 -1000

Sílica (mg/L)	<15
Nitrogênio total (mg/L)	70 - 80
Cor (Pt-Co)	50 – 2500

Fonte: Adaptado de Mani e colaboradores (2019).

Por alguns dos compostos presentes nos efluentes serem persistentes na cadeia alimentar, ou seja, por sofrerem biomagnificação, organismos de níveis tróficos mais elevados (incluindo seres humanos) têm maior exposição aos contaminantes quando comparados aos de nível trófico inferior, como é o caso da entrada de cátions de metais pesados através das brânquias de peixes, possibilitando o acúmulo em tecidos (Lellis *et al.*, 2019). Os peixes, assim como outros organismos da biota aquática são sensíveis a pequenas variações do ecossistema, o CL<sub>50</sub> para esses organismos (quanto a diversos corantes) é de até 1mg/L, mas a concentração observada nos corpos hídricos é maior que 100mg/L, assim são expostos a contaminantes em concentrações muito superiores ao suportado (Berradi *et al.*, 2019).

Além dos efeitos ecológicos, os químicos utilizados pela indústria têxtil colocam em risco a saúde humana, sobretudo das comunidades ribeirinhas (Saroj *et al.*, 2015), sendo relatados efeitos tóxicos, mutagênicos, cancerígenos e genotóxicos, associados principalmente a carga de corantes nas águas residuais. Alguns desses efeitos são: câncer de rim, câncer de bexiga, câncer de fígado, dermatite de contato, alergias nos olhos, irritação na pele, urticária, doenças respiratórias, irritação de mucosas, distúrbios no sistema nervoso central e outros (Tang *et al.*, 2018; Mani *et al.*, 2019). Outros efeitos de compostos presentes nos efluentes têxteis podem ser observados no Quadro 3.

**Quadro 3** — Efeitos adversos de produtos químicos presentes nos efluentes têxteis, sobretudo corantes e metais pesados.

<b>Cânceres ou efeitos mutagênicos</b>	Formação de sarcomas (células reticulares na vagina, útero, ovário e bexiga), tumores no fígado (nódulos hepáticos neoplásicos, hepatocarcinoma), bexiga, glândulas mamárias e sistema hemotopoiético e atrofia ovariana em ratos.
	Formação de tumores em peixes
	Aumento da frequência de micronúcleos em células de linfócitos humanos e hepatoma humano (HepG2)
	Acúmulo anormal de metáfases em óvulos e hamster
<b>Inibição de proteínas</b>	Inibe a monoamina oxidase A (MAO-A) podendo causar distúrbios de comportamento
	Substituição de cofatores enzimáticos

	Inibição da glutatona redutase, afetando a homeostase redox celular
<b>Efeitos de toxicidade aguda (em humanos)</b>	Dermatites
	Irritação nos olhos e pele
	Conjuntivite alérgica
	Rinite
	Asma ocupacional
	Irritação do trato digestivo
	Insuficiências respiratória
	Insuficiência renal
<b>Efeitos genotóxicos</b>	Aberrações cromossômicas em <i>Allium cepa</i>
	Intercalação da estrutura helicoidal do DNA
	Formação de RNA dúplice
<b>Outros</b>	Danos à assimilação de CO <sub>2</sub> em plantas e ao processo fotossintético, afetando o crescimento e desenvolvimento
	Apoptose
	Cistite química em humanos

Fonte: Baseado em Lellis *et al.* (2019).

Os efeitos da poluição causada pela indústria têxtil obedecem a uma sequência de eventos interligados, apresentados na figura 7, que podem afetar todos os níveis tróficos, tanto do ecossistema aquático quanto do solo.

**Figura 7** — Sequência de eventos a partir da liberação de efluentes têxteis no meio ambiente.



Fonte: Baseado em Kant (2012); Hasan e Miah (2014); Buss e colaboradores (2015).

## 2.4 REGULAMENTAÇÃO DOS EFLUENTES NO BRASIL

A limitação da água doce para potabilidade e uso nas mais diversas atividades têm despertado a atenção dos governantes há algumas décadas, a ONU buscando pela adequação do uso sustentável dos recursos naturais têm estabelecido metas globais em suas agendas, sobretudo na Agenda 21 e na Agenda 30, devido principalmente a tendência a escassez e ao efeito das mudanças climáticas, voltando o interesse ao uso e reuso das águas de forma ecológica (Molla e Khan, 2018).

Diante dessas preocupações mundiais, os órgãos públicos brasileiros precisaram adequar a legislação para proteger o ecossistema (principalmente a água), a partir do monitoramento e fiscalização ambientais, incluindo a determinação dos parâmetros aceitáveis de descarte de efluentes nos corpos de água brasileiros, surgindo assim a principal lei quanto a gestão de águas, a Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, ou a Lei das águas.

Além da Lei das águas, outros documentos contribuem para manutenção de águas superficiais e do meio ambiente. Desses documentos, alguns lidam diretamente com os efeitos potenciais da liberação de águas residuais, incluindo efluentes têxteis. São eles:

1. Decreto-Lei Nº 152/97 - Relativo ao tratamento de águas residuais urbanas, definindo as normas de qualidade a que as águas superficiais devem obedecer, em função dos seus respectivos usos.

Quando relativo ao descarte de águas residuais industriais, alguns dos requisitos que esse decreto prevê incluem:

- 1- Esses efluentes devem ser pré-tratados antes de incorporados a sistemas de drenagem e estações urbanas de tratamento;
- 2- Proteção da saúde dos trabalhadores dos sistemas coletores e de estações de tratamento
- 3- Garantia do funcionamento das estações de tratamento das águas residuais e o tratamento das lamas;
- 4- Garantia que as descargas das estações de tratamento não deteriorem o ambiente ou não impeçam as águas receptoras de cumprir o disposto noutras directivas comunitárias;
- 5- Garantir que as lamas possam ser eliminadas em segurança e de um modo ecologicamente aceitável.

- II. Resolução Nº 48, de 21 de março de 2005 - Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Cujas cobranças, tem como um dos seus objetivos, estimular o investimento em despoluição, reuso, proteção e conservação, bem como a utilização de tecnologias limpas e poupadoras dos recursos hídricos, de acordo com o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes. O que juntamente com outras políticas, favorece a reutilização de águas residuais, principalmente as de rejeitos industriais.
- III. Resolução Nº 430/11 – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Onde exige que haja um tratamento adequado baseado nos índices apresentados e proibindo o lançamento de compostos como os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), como: Aldrin, Clordano, Mirex, Dieldrin, DDT, Dioxinas, Furanos, PCBs, Endiin, Heptacloro, HCB e toxafeno.
- IV. Resolução Nº 140, de 21 de março de 2012 - Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais.
- V. Resolução Nº 184, de 07 de dezembro de 2016 – Estabelece diretrizes e critérios gerais para definição das derivações e captações de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e lançamentos de efluentes em corpos de água e acumulações de volumes de água de pouca expressão, considerados insignificantes, os quais independem de outorga de direito de uso de recursos hídricos, e dá outras providências. Indicando que se deve considerar os efeitos cumulativos, no mesmo corpo hídrico, das derivações, captações, lançamentos e acumulações até dos considerados insignificantes. Além de indicar que as vazões ou volumes destinados à diluição de cargas de fósforo ou nitrogênio contidas nos efluentes lançados em reservatório, lago ou trecho de curso

d'água que estejam em processo de eutrofização ou eutrofizados, não poderão ser considerados insignificantes.

- VI. Resolução Nº 181, de 7 de dezembro de 2016 - Aprova as Prioridades, Ações e Metas do Plano Nacional de Recursos Hídricos para 2016-2020. Dentre as prioridades, está a promoção da melhoria da disponibilidade das águas em quantidade e qualidade, visando a observação e adequação aos diversos usos, incluindo a ação de definir uma metodologia para a estimativa do lançamento das cargas difusas em corpos d'água. E ainda, desenvolver ações para a promoção do uso sustentável e reuso da água.
- VII. Lei Nº 13.361, de 13 de dezembro de 2007 - institui o cadastro técnico estadual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais e a taxa de controle e fiscalização ambiental do estado de Pernambuco - TFAPE, e dá outras providências.

Segundo a Lei 13.361/07, dentre as descrições das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais sob fiscalização da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, a indústria Têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, que inclui: Beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos; fabricação e acabamento de fios e tecidos; tingimento, estamperia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos; fabricação de calçados e componentes para calçados, possuem um PP/GU (Potencial de poluição/ grau de utilização de recursos ambientais) médio e de acordo com essa classificação, as empresas devem responder a TFAPE, por trimestres, os valores mostrados na tabela 3.

Em Pernambuco, os principais órgãos de combate à poluição ambiental são a CPRH, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o ITEP, e ainda, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). Em conjunto, esses órgãos promovem fiscalizações nas lavanderias do APL de confecções de PE, fazendo com que as instituições infratoras possam ser interditadas, voltando ao funcionamento exclusivamente após a adequação normativa. Somente em Caruaru, em outubro de 2009, foram interditadas

quatorze lavanderias infratoras segundo a lei estadual 12.916/05, responsabilizadas pelo não tratamento de seus efluentes corretamente, despejando produtos químicos do beneficiamento do tecido e corantes, prejudiciais ao meio ambiente (Amaral *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2014).

**Tabela 3** — Valores em reais devidos a título de TFAPE, por estabelecimento e por trimestre

Potencial de Poluição / Grau de Utilização de Recursos Ambientais	Pessoa Física	Microempresa	Empresa de Pequeno Porte	Empresa de Médio Porte	Empresa de Grande Porte
<b>Pequeno</b>	-	-	67,50	135,00	270,00
<b>Médio</b>	-	-	108,00	216,00	540,00
<b>Alto</b>	-	30,00	135,00	270,00	1.350,00

Fonte: Lei 13.361/07

Assim, em outubro de 2012, o Ministério Público de Pernambuco (MPPE) firmaram Termos de ajustamento de conduta (TAC) com diversas lavanderias do Polo têxtil de PE, conforme publicado no Diário Oficial do MPPE nº 187. Os TACs tiveram como objetivo a adoção de medidas para cessar a poluição sonora e a poluição ambiental, especialmente a atmosférica e quanto ao lançamento de efluentes líquidos de natureza bruta, onde o não cumprimento das cláusulas implica na aplicação de multa no valor de R\$ 5.000,00 (mil reais) por cada evento de descumprimento, aplicável cumulativamente, e em caso de reincidência, o valor da multa é aplicado em dobro.

Além da questão quanto a poluição ambiental e sonora, as lavanderias firmaram ainda, o compromisso de instalar estações de tratamento de água (ETAs) até julho de 2015. Apesar disso, as vistorias mostram que muitas lavanderias evitam o uso dos sistemas de tratamento, ou utilizam apenas parcialmente, para poupar produtos químicos, energia e água. No entanto, infrações por falta de tratamento de suas águas residuais, podem resultar em detenções (de 1 a 3 anos) ou ainda em multas que podem ser de R\$ 50,00 (cinquenta reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais), conforme a Lei ambiental N° 9.605/98, especialmente, se o despejo resultar na morte de espécies aquáticas de águas jurisdicionais brasileiras (Lima *et al.*, 2016).

Apesar da legislação existente diminuir o impacto da liberação bruta de efluentes nos corpos hídricos, não regulamenta poluentes emergentes como os corantes sintéticos e não determina suas concentrações limitantes em nenhum índice. Por isso muitos estudos têm sugerido novas formas de tratamentos físicos, químicos e biológicos que descoloram os efluentes liberados e diminuem a formação de intermediários durante os tratamentos.

## 2.5 REMEDIAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS

### 2.5.2 Remediação por métodos físicos e químicos

Diante dos efeitos deletérios dos efluentes têxteis, diversos tratamentos têm sido testados e aplicados para diminuição da toxicidade desses resíduos, incluindo tratamentos específicos para corantes têxteis, que culminam na mineralização parcial ou total desses contaminantes. Dentre os tratamentos utilizados estão os físicos, químicos, bioquímicos e os híbridos, mas em geral, são conhecidos apenas como tratamentos físico-químicos e tratamentos biológicos (Kant, 2012). Alguns dos tratamentos mais utilizados são apresentados na figura 8.

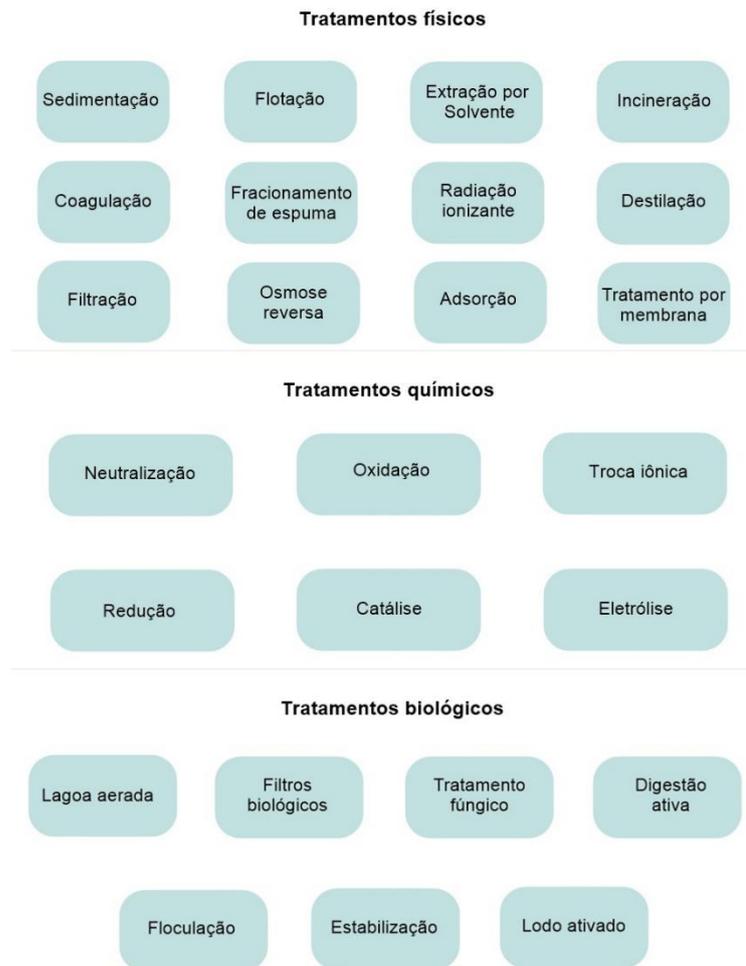
No Brasil, os processos mais comumente empregados para o tratamento de efluentes são os físicos e químicos, de forma que a coagulação se tornou um dos processos mais facilmente aplicados para descoloração, no entanto, mostrou-se limitada, por sua baixa eficiência e por resultar em grande quantidade de lodo (Holkar *et al.*, 2016). Já as ETAs utilizam comumente os lodos ativados, que apesar de tratares alguns contaminantes não são eficientes na diminuição da cor, ou seja, não atuam na remediação dos corantes, sendo necessárias metodologias, além de produzirem diversos resíduos (Santos *et al.*, 2017).

Uma atenção significativa foi dada a utilização de adsorventes, principalmente quanto a adsorção de corantes, uma vez que apresentam maior eficiência de remoção de cor para uma grande variedade de moléculas, além de ser mais rápida que outras técnicas. Dentre os adsorventes testados estão: Resíduos agroindustriais, turfa, argila, cinzas, resinas poliméricas, sementes, carvão de cascas de vegetais e legumes, carvão ativado e outros (Almeida *et al.*, 2014; Holkar *et al.*, 2016).

Apesar da difundida aplicação dessas técnicas, conhecidas como práticas convencionais de tratamento, não são capazes de resolver totalmente os efeitos dos efluentes, por não serem específicas, pouco eficientes, onerosas (alto custo de eletricidade, insumos e operação), e ainda, por resultarem em lodos e subprodutos

tóxicos. Assim, principalmente na última década, as pesquisas têm se voltado a busca por alternativas biológicas de tratamento, que sejam sustentáveis, menos custosas, mais eficientes, que não produzam subprodutos e lodos, e que não tenham efeito negativo sobre o ecossistema e à saúde humana (Molla e Khan, 2018; Lellis *et al.*, 2019).

**Figura 8** — Técnicas mais utilizadas para o tratamento de efluentes têxteis.



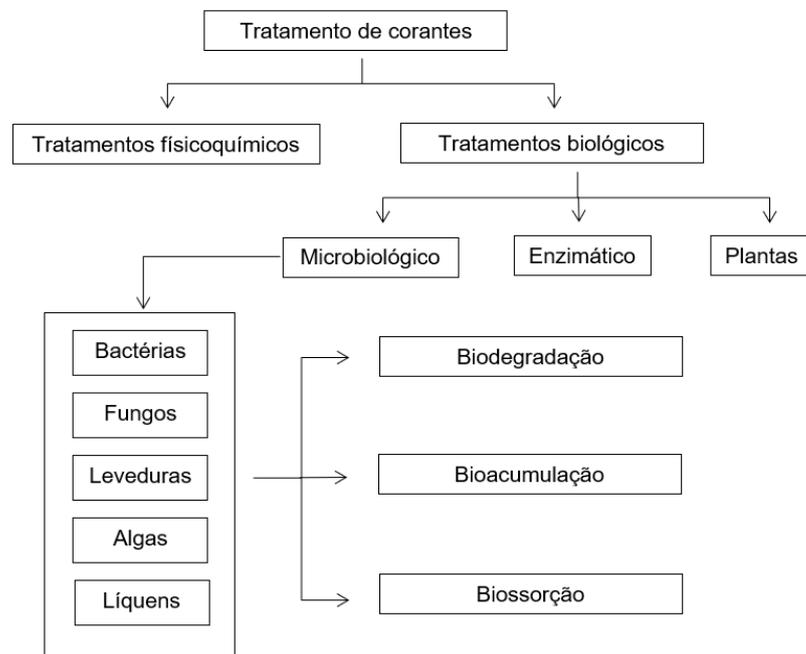
Fonte: Baseado em Jadhav e colaboradores (2016).

### 2.5.3 Remediação por métodos biológicos

A biorremediação ou remediação biológica inclui um conjunto de processos utilizados para remover, decompor, neutralizar e ou reduzir contaminantes e sua toxicidade em ambientes poluídos (Menezes *et al.*, 2017). As técnicas aplicadas são em geral, dependentes do metabolismo de organismos, a partir de processos que utilizam energia, como oxidação, redução, acumulação, precipitação e outros (Varjani *et al.*, 2018).

Esses processos são considerados mais específicos, eficientes, ecológicos e menos dispendiosos em energia, além de resultar na bioconversão parcial ou completa dos contaminantes. Os corantes, especialmente os do tipo azo, têm sido degradados por diferentes organismos incluindo bactérias, fungos, leveduras e algas, podendo mineralizar completamente o corante, de acordo com as condições ambientais (pH, temperatura, disponibilidade nutritiva, umidade, salinidade e outros) (Sandhya, 2010). Alguns contaminantes são tratados ainda, por plantas, num processo conhecido como fitorremediação (Rather *et al.*, 2018) (Figura 9).

**Figura 9 — Métodos de tratamento de corantes têxteis**



Fonte: Baseado em Garg e Tripathi (2017); Rather e colaboradores (2018)

Os organismos utilizados para o tratamento de efluentes têxteis biorremediam os contaminantes, principalmente os corantes, a partir dos processos de bioaugmentação, biodegradação, bioacumulação e/ou biossorção, com os três últimos sendo os mais comuns e importantes (Kumar *et al.*, 2018). Esses processos consistem em:

#### I- Biodegradação

A degradação biológica consiste na decomposição ou quebra de algum contaminante, onde o microrganismo usa o mesmo, como fonte de carbono para obtenção de energia (Poznyak *et al.*, 2019). Assim, há a conversão do tóxico, em

geral, recalcitrante e xenobiótico, numa molécula mais simples (Almeida e Corso, 2014).

Esse processo pode ocorrer em condições aeróbicas ou anaeróbicas, cujos principais microrganismos responsáveis são bactérias e fungos, e é baseada na utilização de enzimas redutoras e/ou oxidativas (Poznyak *et al.*, 2019). Dentre as enzimas mais utilizadas estão: lacase, tirosinase, lignina peroxidase, manganês peroxidase, azoredutases, trifenilmetano redutase, álcool veratril oxidase e outras (Kumar *et al.*, 2018; Karim *et al.*, 2018).

Diversos organismos têm sido descritos como produtores de enzimas capazes de degradar corantes, dentre eles estão: 1- Bactérias como *Pseudomonas* spp., *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium* spp., *Mycobacterium* spp., *Rhodococcus* spp. e outras; 2- Fungos filamentosos como *Phanerochaete chrysosporium*, *Bjerkandera adusta*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus oryzae* e outros; 3- Microalgas como: *Spirogyra* spp., *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*, e outras; 4 – Leveduras como *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichosporon beigeli*, *Candida tropicalis*, *Candida zeylanoides*, *Galactomyces geotrichum* e outras (Rather *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2018).

Embora a biodegradação apresente vantagens sobre diversas técnicas de tratamentos físicos e químicos, seja considerada barata, ecológica e eficiente, apresenta desvantagens que fazem com que processos secundários precisem ser utilizados. A principal desvantagem é a formação de intermediários como Naftaleno, Bifenilamina, 1-naftol, aminas aromáticas e outros, que podem ser mais tóxicos que o contaminante inicial (Almeida e Corso, 2019). Além disso, o processo precisa ser controlado quanto a variáveis ambientais como oxigenação, pH, temperatura, salinidade, disponibilidade nutritiva e concentração do corante, essa dependência faz com que muitos microrganismos não possam ser aplicados industrialmente ou *in situ* devido sua complexidade (Garg e Tripathi, 2017; Karim *et al.*, 2018).

## II- Bioacumulação

Consiste em um processo de acumulação de poluentes por uma biomassa viável, ou seja, a partir do crescimento ativo das células. Esse método é baseado na capacidade de absorção da biomassa, e em sua tolerância (saturação) a concentrações do poluente, de forma que o crescimento celular é inibido em concentrações muito altas (Kumar *et al.*, 2018), esse efeito foi observado na

descoloração de corantes reativos com *Aspergillus lentulus*, onde em concentrações entre 50 e 100mg/L a remoções foi maior que 95%, enquanto o aumento da concentração para 500mg/l resultou numa eficiência de 13 a 35% após 72 horas (Mathur *et al.*, 2018).

Esse processo é limitado principalmente pela demora em retirar os corantes e demais contaminantes do efluente, uma vez que é dependente de energia metabólica para transportar o contaminante para o interior celular (Rose e Devi, 2018). Além de ser caro, devido a dependência da manutenção de condições ótimas para viabilidade das células.

### III- Biossorção

Esse é um processo que não depende da utilização de energia metabólica, que ocorre pela adsorção na superfície da célula ou nos sítios ativos do biossorvente, que permitem a ligação de diversos tipos de moléculas, e como não são limitados pela toxicidade ou concentração, podem ser reutilizados em diversos ciclos, existindo ainda, a possibilidade de recuperação do contaminante após adsorção (Beni e Esmaeili, 2019).

Na biossorção não ocorre a formação de metabólitos intermediários, e o processo pode ser realizado com a biomassa viável ou inviabilizada, ou seja, com a biomassa ativa ou morta. Ocorre a partir da interação entre os grupos funcionais do biossorvente e os corantes ou demais contaminantes, formando complexos a partir de interações físicas e/ou químicas, sobretudo troca iônica (Almeida e Corso, 2019).

A biossorção, diferentemente dos demais processos de biorremediação, não é diretamente dependente de condições ambientais ótimas para sua realização. No entanto, chega a um platô conforme variação de condições, assim: 1 - a capacidade de adsorção aumenta com o aumento da temperatura, até atingir um patamar onde a descoloração começa a diminuir em eficiência, em resposta a degradação de sítios ativos de ligação na superfície do biossorvente; 2 – A biossorção é inversamente proporcional a concentração do corante (Silva *et al.*, 2018). Além disso, são proporcionais ainda, ao tempo de reação, a quantidade de biossorvente aplicada, agitação e tamanho e forma do biossorvente (Beni e Esmaeili, 2019).

### 2.5.3.1 Aplicação de fungos na biorremediação

A utilização de fungos para biorremediar áreas contaminadas é chamada micorremediação, e esta é uma metodologia considera extremamente eficiente, que ocorre através dos mecanismos de biodegradação, bioacumulação e/ou bioissorção de compostos, variando de acordo com o metabolismo, tolerância e outras características dos fungos (Przystas *et al.*, 2018; Rose e Davi, 2018).

A recente preferência pela aplicação de fungos na biorremediação ocorreu principalmente por: 1- Dificuldade no isolamento de bactérias; 2- Custo de manutenção de nutrientes para cepas bacterianas com baixo rendimento de biomassa; 3- Alta eficiência na aplicação de fungos em diversas classes de corantes; 4 – Eficiência fúngica na produção de enzimas extracelulares, sobretudo as lignolíticas inespecíficas; 5- Possibilidade de mineralização de diversos contaminantes (metais, corantes, metaloides e outros químicos) (Bankole *et al.*, 2018).

Além disso, esses organismos são capazes de sobreviver em diferentes condições, incluindo condições de estresse, se adaptando facilmente a diversas fontes nutritivas, o que faz deles ótimos agentes para biorremediação. Ou seja, a micorremediação é uma tecnologia barata, sustentável e passível de modificação, seja ela genética, a partir do melhoramento, ou bioquímica a partir da indução de estresse e modificação de variáveis controláveis (Singh *et al.*, 2020).

Dentre os fungos utilizados como agentes biorremediadores, destacam-se os do gênero *Aspergillus*, capazes de degradar corantes de diversas classes, podendo ser mais eficientes que fungos lignolíticos como o *Phanerochaete chrysosporium* (fungo considerado padrão comparativo para descoloração) (Rather *et al.*, 2018). No entanto, fungos desse gênero são aplicados principalmente na bioissorção de corantes, o que permite utilizar a biomassa viva ou morta como bioissorvente, cujo processo varia conforme a estrutura e complexidade do corante (Przystas *et al.*, 2018).

Assim, diante da problemática ambiental da liberação de corantes em águas residuais têxteis e da possibilidade de mineralização, retirada ou transformação desses contaminantes, a partir da aplicação de fungos, sobretudo os do gênero *Aspergillus*, o presente trabalho buscou a aplicação experimental desses organismos em processos de biorremediação de efluentes contaminados com corantes extensivamente usados no Polo Têxtil e de Confecções do Agreste pernambucano, buscando desenvolver uma inovação industrial e tecnológica.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 REAGENTES

Para o cultivo e manutenção dos fungos foram utilizados os meios Czapek Dox Broth (Himedia®), Czapek Dox Agar (Himedia®), Sabouraud Dextrose Broth (Himedia®) e o caldo glicosado, composto de 20g de glicose (g/L), 10g de extrato de carne (g/L) e 3g de peptona (g/L).

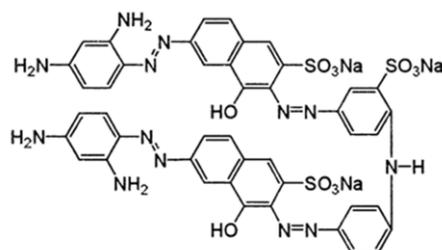
Para preparo dos corantes e aplicação da biomassa na biorremediação foram necessários: Hidróxido de sódio (NaOH), Ácido clorídrico (HCL), o surfactante Polisorbato 80 (Tween 80) e cloreto de sódio (NaCl), utilizados conforme descrito na metodologia a seguir.

#### 3.2 PREPARAÇÃO DO CORANTE

O corante comercial (Exatacor Araquímica Indústria e Comércio de Corantes, Brasil) tetra azo *Direct Black 22* (CI 35435; CAS 6473-13-8) (Figura 10), foi utilizado nas concentração de 50mg/L nos ensaios de descoloração, no entanto, durante a seleção foram testadas ainda, as concentrações 150mg/L e 300mg/L para confirmar a eficiência das cepas utilizadas. Seu preparo foi feito por hidrólise e ajuste do pH, onde a solução de corante foi submetida ao ajuste para  $11,0 \pm 0,05$  com NaOH 20%, e então aquecido à 80°C por 1 hora, posteriormente resfriado e ajustado o pH para neutralização ( $\text{pH } 7,0 \pm 0,05$ ) com HCL (Dos Santos, 2005).

**Figura 10** — Especificações do corante tetra azo *Direct Black 22*

#### Direct Black 22



Classe química	Grupo azo
Classe de aplicação	Direto
Fórmula molecular	C <sub>44</sub> H <sub>32</sub> N <sub>13</sub> Na <sub>3</sub> O <sub>11</sub> S <sub>3</sub>
Peso molecular	1083.97
Número do Registro CAS	6473-13-8
Número C.I.	35435
Sinônimos	<i>Direct Black L-2BG, Direct Black VSF, Direct Fast Black GF, Direct Fast Black GGB, Solophenyl Black FGE e outros</i>

Fonte: Adaptado de *World dye variety*

### 3.3 MICRORGANISMOS

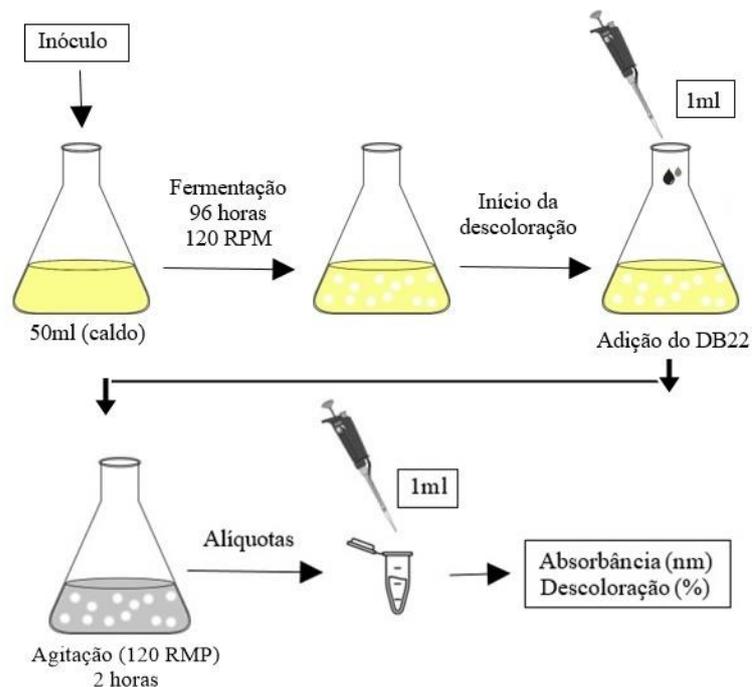
Foram utilizadas quinze cepas de fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* obtidas junto à coleção da Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, Brasil, e mantidas em *Czapek Dox Agar* (Himedia®).

### 3.4 SCREENING DE FUNGOS FILAMENTOSOS PARA DESCOLORAÇÃO DO DB22

As quinze cepas de fungos filamentosos foram inoculadas, sem padronização da concentração de esporos (inóculo de 1 *pellet* de fungo reativado), em fracos tipo *erlenmeyers* de 125ml contendo 50ml de meio *Czapek Dox Broth* (Himedia®) e em fracos com caldo *Sabouraud Dextrose Broth* (Himedia®), e incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas, para triagem de potenciais descolorantes do DB22.

Respeitado o tempo de crescimento, foi retirado 1ml do meio e adicionado 1ml do corante tetra-azo *Direct Black 22* na concentração de 50mg/L no frasco e observados durante 2 horas, retirando-se alíquotas a cada 30 minutos para análise espectrofotométrica (Figura 11).

**Figura 11** — Processo de triagem dos fungos filamentosos para descoloração do DB22



Fonte: Próprio autor.

Ao fim do período monitorado, foi feita uma seleção prévia dos fungos que melhor descoloriram o DB22. Esses, foram submetidos a uma realimentação do corante na concentração de 1000mg/L, e colocados em agitação (120 RPM) por 24 horas, também analisado por espectrofotometria UV-VIS. Os fungos selecionados foram submetidos a novos testes em triplicata para confirmar sua eficiência de descoloração.

### 3.5 CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO DOS FUNGOS PARA ENSAIO DE DESCOLORAÇÃO

Os fungos foram inoculados em tubos de ensaio contendo meio *Czapek Dox Agar* (Himedia®), incubados a 30°C durante 120 horas. Após completamente esporulados, parte dos esporos foi retirada e ressuspendida em uma solução contendo 5ml de salina (0,9%) estéril e 20 µL de *Tween 80*, para padronização na concentração de 10<sup>4</sup> UFC/µL. Os esporos foram então, inoculados em *erlenmeyers* de 125ml contendo 50ml de caldo *Czapek Dox Broth* (Himedia®) e incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas. Passado o tempo de crescimento, a biomassa foi aplicada como agente biorremediadora do corante *Direct Black 22*.

### 3.6 PROCESSO DE DESCOLORAÇÃO DO DB22

Após crescimento, os fracos foram retirados de agitação e foi aplicado 1mL do corante DB22 em cada *erlenmeyer*, e colocados novamente em agitação (120RPM) em mesa agitadora (modelo TE – 1401, Tecnal®) sendo retiradas alíquotas de 1ml a cada 10 minutos durante a primeira hora, a partir da aplicação do corante, e a cada 30 minutos durante a segunda hora de monitoramento (Figura 12). No caso da biomassa morta, os frascos foram autoclavados e comprovada a inatividade da biomassa de duas formas: 1- pesagem dos frascos após esterilização e após reincubação; 2- Cultivo do *pellet* em placa de Petri com caldo ágar batata (BDA) (Figura 13). Todos os ensaios foram realizados em triplicata e analisados por espectrofotometria.

#### 3.6.2 Análise da reutilização da biomassa para descoloração

Para testar a reutilização dessa biomassa, 1mL do corante foi realimentado nas concentrações estudadas, e monitorados novamente por 2 horas, retirando-se

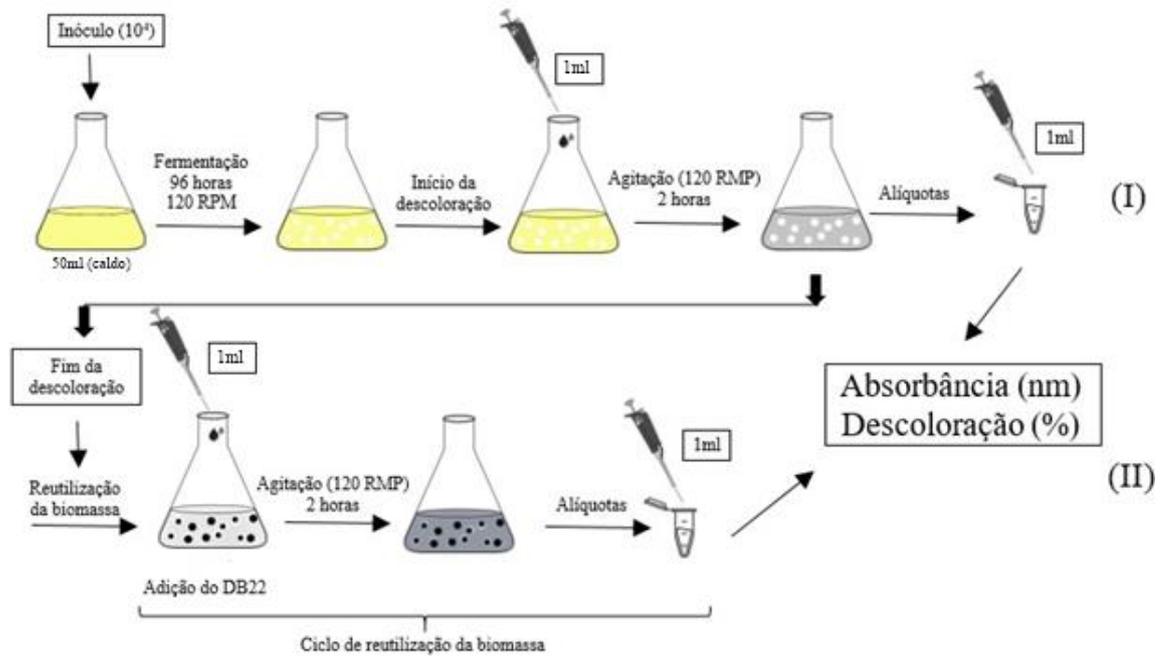
alíquotas a cada 10 minutos durante a primeira hora, a partir da aplicação do corante, e a cada 30 minutos durante a segunda hora de monitoramento (Figura 12 e 13).

### 3.7 OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA PARA DESCOLORAÇÃO

Para adequação da metodologia para processo de inovação de produto e processo foi necessária a otimização da metodologia para uso industrial. Assim, foram feitas as seguintes adequações: 1- visando a maior obtenção de biomassa, o crescimento da biomassa fúngica passou a ser feita em caldo glicosado (10g/L de extrato de carne, 3g/L de peptona e 20g/L de glicose) em frascos de 250ml, seguindo os demais parâmetros utilizados anteriormente para fermentação; 2- A biomassa passou a ser retirada dos frascos após crescimento, lavada com água deionizada para retirada dos resquícios de meio de cultura, posteriormente seca em bomba à vácuo e pesadas em balança analítica, para obter-se uma estimativa de peso utilizado; 3- A descoloração passou a ser feita em água destilada; 4- A secagem da biomassa possibilitou ainda sua estocagem por congelamento, sem danos ao processo.

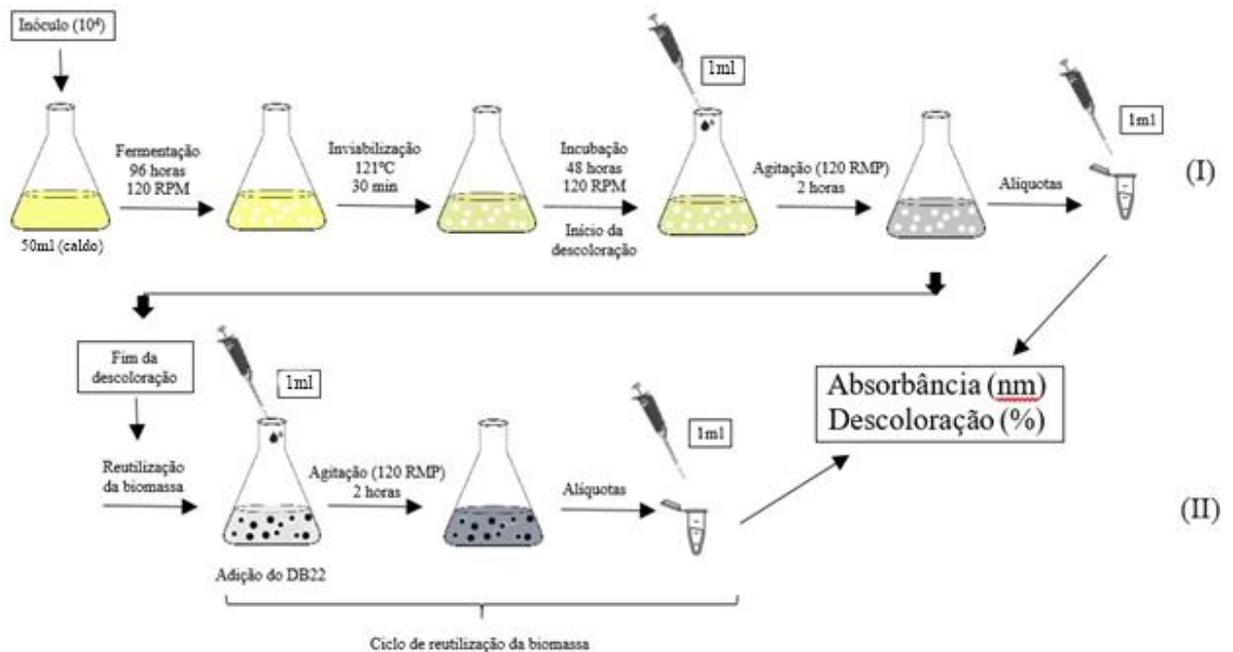
Assim, os discos de biomassa seca foram colocados em frascos de 250mL contendo 90mL de água deionizada e colocados em agitação de 20-30min para reidratação dos *pellets*. Após esse processo a biomassa pôde ser aplicada em processos de descoloração, onde foram adicionados 10mL do corante DB22 em cada *erlenmeyer*, e colocados novamente em agitação (120RPM) em mesa agitadora sendo retiradas alíquotas de 1ml a cada 10 minutos de monitoramento.

**Figura 12** — Processo de descoloração do DB22 com biomassa viva (I). Ciclo de reaproveitamento da biomassa viva para nova descoloração do DB22 (II).



Fonte: Próprio autor.

**Figura 13** — Processo de descoloração do DB22 com biomassa morta (I). Ciclo de reaproveitamento da biomassa morta para nova descoloração do DB22 (II).



Fonte: Próprio autor.

### 3.8 SCREENING DE DESCOLORAÇÃO PARA CORANTES RESIDUAIS DAS LAVANDERIAS DE CARUARU

Além do corante DB22, o melhor fungo utilizado selecionado foi aplicado na descoloração de resíduos de corantes de lavanderias de Caruaru, obtidos junto ao ITEP. Os corantes obtidos foram: Preto Direct Dye 2400% PQVIRK, 78GR turquesa CORAFIX, Amarelo coralin BR (Reativo) CORATEX, Azul marinho coralin BR (Reativo) CORATEX e o Vermelho coralin BR (reativo) CORATEX, todos nomeados segundo o ITEP. Os corantes foram preparados na concentração de 50mg/L em água destilada e aplicados segundo o processo de descoloração.

### 3.9 TESTE DA DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL

#### 3.9.2 Efluente têxtil

O efluente têxtil real utilizado, foi coletado de uma lavanderia localizada em Toritama município do Estado de Pernambuco no Brasil, sendo o efluente constituído por detergente, amaciante, metabissulfito, abrasivo, permanganato, polímero, cal e outros químicos (conforme informado pelo responsável da lavanderia), e pelo corante *Blue BlackLeve 303* da Jolitex LTDA. Após coletado, o efluente foi transportado em recipiente plástico para o laboratório e mantido em refrigeração a 6°C para evitar sua degradação e proliferação bacteriana.

#### 3.9.3 Processo de Descoloração

O melhor fungo utilizado para seleção do DB22 foi aplicado no teste de descoloração do efluente têxtil real. Para isso, após fermentada (conforme metodologia de otimização), a biomassa foi pesada para estimar o peso seco de 1g e 4g e distribuída em frascos de 250ml, onde foram adicionados 100ml de efluente real e colocados em agitação a 120 RPM, sendo monitorados a cada 15min durante as primeiras 2 horas, e posteriormente a cada 24 horas durante 48 horas. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e expressos em termos de porcentagem.

### 3.10 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA DESCOLORAÇÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA

Para identificar o comprimento de onda com máxima absorbância do corante *Direct Black 22* foi feita a varredura através de espectrofotometria UV/VIS no Ultrospec

™ 7000 (Ge Healthcare), entre os comprimentos de  $\lambda = 330-1000$  nm e utilizando água deionizada como referência.

As alíquotas, retiradas durante os processos de descoloração com biomassa viva ou morta, foram centrifugadas à 10000 RPM durante 10 minutos o sobrenadante foi analisado por espectrofotometria UV-VIS de onda simples no comprimento de máxima absorvância do corante bruto. E a eficiência de descoloração foi apresentada em percentual, através da fórmula (Govindwar *et al.*, 2014):

$$Descoloração(\%) = \left[ \frac{(Absorbância\ inicial - Absorbância\ observada)}{Absorbância\ inicial} \right] 100$$

#### 4 DESCOLORAÇÃO DO CORANTE AZO DIRECT BLACK 22 A PARTIR DA BIOMASSA DE FUNGOS DO GÊNERO *Aspergillus*

Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>1</sup>; Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>2</sup>; Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>2</sup>; Raphael Luiz Andrade Silva<sup>2</sup>; Nayara Vitória dos Santos Cruz<sup>2</sup>; Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>2</sup>; Juanize Matias da Silva Batista<sup>2</sup>; Ana Lúcia Figueiredo Porto<sup>2</sup>; Márcia Vanusa da Silva<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, CEP: 50670-901, Recife – PE, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil.

#### RESUMO

Aproximadamente 20% dos corantes utilizados no processamento têxtil são perdidos nos efluentes, podendo ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e bioacumulativos. Os fungos são uma alternativa viável para o tratamento desses compostos por poderem biodegradar, bioacumular e/ou bioconverter os corantes. Esse estudo investigou a capacidade de fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir o corante tetra-azo *Direct Black 22* (DB22), quanto a eficiência no uso de biomassa viva e morta, a influência da concentração do corante na biorremediação, o potencial de reutilização da biomassa fúngica e a otimização do processo de descoloração. Foram testadas 15 cepas e selecionados *A. niger* URM 5741, *A. japonicus* URM 5620 e *A. niger* URM 5838. A eficiência de descoloração da biomassa viva foi maior que a morta, atingindo entre 87-91% e 32-46%, respectivamente. O fungo que melhor descoloriu o DB22 em 50 mg/L, 150 mg/L e 300 mg/L foi o *A. niger* URM5741, e foi observada uma relação inversa entre aumento da concentração do corante e descoloração. Na otimização do processo o corante foi testado com 1, 3 e 5g de biomassa, possibilitando conhecer a capacidade de reutilização do bioconversor, e quanto a sua eficiência total, onde durante a descoloração os fungos atingiram 90% de eficiência antes dos primeiros 50min, mesmo com 1g. *A. niger* URM5741 chegou a descolorir completamente o corante mesmo após duas reutilizações. O que mostra alta eficiência da aplicação da biomassa peletizada como bioconversor de corantes têxteis, mesmo com pouca biomassa e sem alteração de condições físico-químicas, possibilitando uma aplicação industrial com baixo custo, fácil operação e alta eficiência.

Palavras-chave: Bioconversão. Corante azo. Biotratamento. Indústria têxtil.

## INTRODUÇÃO

Aproximadamente 20% dos corantes utilizados são perdidos durante a descarga de efluentes, e alguns são visíveis com uma concentração de apenas 1ppm, o que afeta principalmente a produção do ecossistema (Mani *et al.*, 2019). Além disso, esses compostos apresentam, pelo menos um grupo aromático (benzenos, xilenos, toluenos, naftalenos e outros), tornando a molécula dos corante recalcitrantes e reativas, resistentes a luz, umidade e ação de agentes oxidantes podendo ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e bioacumulativos com uma concentração de apenas 3%, mesmo após tratamento (Przystaś *et al.*, 2018).

Os corantes mais largamente utilizados na indústria têxtil são os da classe azo, devido a enorme diversidade de cores e intensidade adquiridos. Essa classe é composta por corantes sintéticos caracterizados pela presença de pelo menos uma ligação azo ( $-N = N-$ ) e de pelo menos um grupo aromático como radical (Jadhav *et al.*, 2016). Apesar de suas vantagens industriais, quando modificadas, as estruturas desses corantes se tornam extremamente tóxicas, liberando aminas aromáticas e compostos fenólicos, ambos de baixa biodegradabilidade e associados a cânceres (Sen *et al.*, 2016; Brüscheweiler e Merlot, 2017).

A produção anual de azo corantes é de aproximadamente  $9 \times 10^6$  toneladas ao ano, no entanto são perdidos cerca de 15% dos corantes durante o processo de tingimento. E a liberação desses corantes a partir do efluente final varia entre  $7 \times 10^5$  e  $4,5 \times 10^6$  toneladas ao ano (Maganha de Almeida *et al.*, 2018).

Diante dos problemas ecológicos e à saúde pública associados a liberação desses efluentes, tecnologias vêm sendo desenvolvidas para serem aplicadas na remoção desses contaminantes. Dentre as técnicas testadas para tratamento das águas residuais têxteis, destaca-se a utilização de microrganismos, por possibilitarem a bioconversão completa de contaminantes (Kong *et al.*, 2016).

Nesse sentido, os fungos filamentosos têm despertado grande interesse como agentes biorremediadores, devido seu baixo custo de aplicação, a presença cosmopolita desses microrganismos, por apresentarem rápida adaptação metabólica a diversas fontes de carbono e nitrogênio, incluindo resíduos (Solís *et al.*, 2012), por realizarem auto peletização (que aumenta a razão superfície-volume e conseqüentemente o contato com os contaminantes) (Khan e Fulekar, 2017), por possuírem a capacidade de tratar compostos insolúveis e recalcitrantes através de enzimas extracelulares (Dewi *et al.* 2018), e ainda, por poderem biodegradar,

bioacumular e/ou bioconverter os poluentes (variando de acordo com o metabolismo, tolerância e outras características dos fungos) (Przystaś *et al.*, 2018).

Esse estudo investigou a capacidade de fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir o corante tetra-azo *Direct Black 22*, um dos corantes têxteis mais extensivamente utilizados no Polo têxtil de Pernambuco, o terceiro maior arranjo produtivo têxtil do Brasil, buscando selecionar as melhores cepas para aplicações experimentais, verificar a influência da concentração do corante na biorremediação e avaliar o potencial de reutilização da biomassa fúngica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Preparação do Corante*

O corante comercial (Exatacor Araquímica Indústria e Comércio de Corantes, Brasil) tetra azo *Direct Black 22* (CI 35435; CAS 6473-13-8) (Figura 10), foi utilizado nas concentrações de 50mg/L, 150mg/L e 300mg/L nos ensaios de descoloração. Seu preparo foi feito por hidrólise e ajuste do pH, onde a solução de corante foi submetida ao ajuste para  $11,0 \pm 0,05$  com NaOH 20%, e então aquecido à 80°C por 1 hora, posteriormente resfriado e ajustado o pH para neutralização ( $\text{pH } 7,0 \pm 0,05$ ) com HCL (Dos Santos, 2005).

### *Seleção de fungos para descoloração do corante Direct Black 22*

As quinze cepas de fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* foram obtidas na coleção da Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, Brasil, e mantidas em Czapek Dox Agar (Himedia®). Foram inoculadas, em frascos tipo *erlenmeyers* de 125ml contendo 50ml de meio *Czapek Dox Broth* (Himedia®) e em frascos com caldo *Sabouraud Dextrose Broth* (Himedia®), incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas, para triagem de potenciais descolorantes do DB22. Respeitado o tempo de crescimento, 1ml do corante tetra-azo *Direct Black 22* na concentração de 50mg/L foi adicionado nos frascos e observados durante 2 horas, retirando-se alíquotas a cada 30 minutos para análise espectrofotométrica.

Ao fim do período monitorado, foi feita uma seleção prévia dos fungos que melhor descoloriram o DB22. Esses, foram submetidos a uma realimentação do corante na concentração de 1000mg/L, e colocados em agitação (120 RPM) por 24 horas, também analisado por espectrofotometria UV-VIS. Os fungos selecionados

foram submetidos a novos testes com biomassa viva e morta e nas demais concentrações do corante, para medir sua eficiência.

#### *Preparação da biomassa para ensaio de descoloração*

Os fungos foram inoculados em tubos de ensaio contendo meio *Czapek Dox Agar* (Himedia®), incubados a 30°C durante 120 horas. Após completamente esporulados, foram inoculados, na concentração de  $10^4$  UFC/ $\mu$ L, em *enlenmeyers* de 125ml contendo 50ml de caldo *Czapek Dox Broth* (Himedia®) e incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas. Passado o tempo de crescimento, a biomassa foi aplicada como agente biorremediadora do corante *Direct Black 22*. No caso da biomassa morta, os frascos foram autoclavados e comprovada a inatividade da biomassa de duas formas: 1- pesagem dos frascos após esterilização e após reincubação; 2- Cultivo do *pellet* em placa de Petri com caldo ágar batata (BDA).

#### *Processo de descoloração*

Nos frascos contendo biomassa vivi ou biomassa morta foi aplicado 1mL do corante DB22 a 50mg/L, e colocados novamente em agitação (120RPM) em mesa agitadora (modelo TE – 1401, Tecnal®) sendo retiradas alíquotas de 1ml a cada 10 minutos durante a primeira hora, a partir da aplicação do corante, e a cada 30 minutos durante a segunda hora de monitoramento. De acordo com a eficiência da biomassa viva ou morta, a descoloração foi testada ainda, nas concentrações de 150mg/L e 300mg/L.

#### *Análise da reutilização da biomassa para descoloração*

Para testar a reutilização dessa biomassa, 1mL do corante foi realimentado nas concentrações estudadas, e monitorados novamente por 2 horas, retirando-se alíquotas a cada 10 minutos durante a primeira hora, a partir da aplicação do corante, e a cada 30 minutos durante a segunda hora de monitoramento.

#### *Otimização da utilização de biomassa para descoloração*

Para esse processo, a biomassa obtida foi lavada e seca em bomba a vácuo, para estimar o peso seco de 1g, 3g e 5g, afim de medir a influência da quantidade de biossorvente na descoloração. Essa biomassa foi colocada em frascos de 250 mL, posteriormente hidratada em 90mL de água deionizada e colocada em agitação (120 RPM) durante 15min. Foram adicionados então, 10mL do corante preparado e

colocados em agitação (120 RPM). O processo foi monitorado durante 120 min, numa cinética observada a cada 10min, em triplicata. As alíquotas, retiradas durante os processos foram centrifugadas a 12000 RPM durante 5 minutos e o sobrenadante analisado por espectrofotometria UV-VIS de onda simples no comprimento de máxima absorbância do corante (475nm), e os resultados apresentados em porcentagem, segundo a fórmula de Govindwar e colaboradores (2014):

Onde, Descoloração (%) =  $(\text{Absorbância inicial} - \text{Absorbância observada}) / \text{Absorbância inicial} \times 100$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de seleção dos fungos filamentosos com maior potencial de descoloração do azo corante DB22, foi feito em solução aquosa a uma concentração de 50mg/L durante 120 minutos. A determinação da concentração do corante foi baseada na concentração observada nos efluentes têxteis, onde tipicamente apresentam entre 10 a 50 mg/L (Karim *et al.*, 2018).

Para seleção foram testadas 15 cepas de fungos do gênero *Aspergillus*, escolhidas aleatoriamente da coleção da micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco. As cepas selecionadas para os testes de descoloração estão descritas na tabela 4.

Dentre as espécies de *Aspergillus* testadas para descoloração do DB22, algumas são descritas na literatura como biorremediadoras de corantes, no entanto, *A. niger* foi o mais citado em trabalhos com fungos desse gênero, provavelmente pela sua facilidade adaptativa, baixo custo de cultivo, por sua distribuição ambiental e rápido crescimento (Li *et al.*, 2019).

Os quinze fungos obtidos foram então inoculados em dois tipos de caldos, em Czapek e em Sabouraud, o primeiro, um caldo menos nutritivo, mas rico em sais e íons, enquanto o segundo é um meio nutritivo a base de peptona. Apesar de ambos os cultivos terem sido mantidos nas mesmas condições (30°C, 120RPM a 96h) foi possível observar clara diferença na biomassa obtida.

Fungos do gênero *Aspergillus* podem apresentar, em geral, três morfologias miceliais (biomassa utilizada para descoloração), são elas: suspensão de micélios, onde as hifas ficam dispersas livremente; aglomerados, micélios não densamente agregados; e os *pellets*, aglomerados bem definidos, densos, esféricos, elipsoidais ou ovais, formados por um centro de hifas entrelaçadas e compactadas, envolto de uma

formação mais dispersa que assemelha-se a pelos ou vilosidades, que corresponde a faixa de crescimento dos micélios (Espinosa-Ortiz *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2019).

**Tabela 4** — Descrição das cepas de fungos filamentosos testadas na descoloração do corante têxtil *Direct Black 22*

<b>Código</b>	<b>Identificação</b>	<b>Local de isolamento</b>	<b>Data de depósito</b>
4456	<i>Aspergillus janus</i>	Solo da praia de bairro novo	2002
4953	<i>Aspergillus aculeatus</i>	Solo	2005
5012	<i>Aspergillus carbonarius</i>	Solo da praia de Candeias	2005
5093	<i>Aspergillus terreus</i>	Solo	2005
5620	<i>Aspergillus japonicus</i>	Torta de Mamona industrial	2007
5654	<i>Aspergillus niger</i>	Torta de Girassol	2007
5741	<i>Aspergillus niger</i>	Torta de Mamona industrial	2008
5778	<i>Aspergillus parasiticus</i>	Torta de mamona laboratorial	2008
5792	<i>Aspergillus sclerotiorum</i>	Torta de mamona industrial desengordurada por bioprocessos	2008
5837	<i>Aspergillus niger</i>	Torta de mamona industrial desengordurada por bioprocessos	2008
5838	<i>Aspergillus niger</i>	Torta de mamona industrial desengordurada por bioprocessos	2008
5863	<i>Aspergillus niger</i>	Torta de Mamona industrial	2008
5864	<i>Aspergillus terreus</i>	Torta de Mamona industrial	2008
5896	<i>Aspergillus terreus</i>	Torta de mamona desengordurada	2009
5930	<i>Aspergillus niveus</i>	-	2009

Fonte: Próprio autor.

No caldo *Sabouraud* os micélios dos fungos apresentaram morfologias variadas, com aglomerados não peletizados e extremamente longo, *pellets* e hifas livres, o que pode ter reduzido a eficiência na descoloração de alguns fungos, uma vez que a bioadsorção é proporcional a relação superfície-volume, assim a maior área de contato pode favorecer a biorremediação. Enquanto no caldo *Czapek* foi observado, em geral, um crescimento de *pellets* bem definidos, o que favorece a adesão do corante a estrutura do fungo (Almeida e Corso, 2019). A conformação peletizada dos micélios é conhecida ainda, como auto imobilização, uma vez que esses aglomerados são estáveis, possibilitam a separação sólido-líquido, apresentam resistência mecânica e maior área superficial, tornando essa biomassa extremamente atraente como alternativa ao biotratamento de corantes e efluentes industriais (Lu *et al.*, 2017).

### *Seleção das cepas com maior potencialidade para descoloração do DB22*

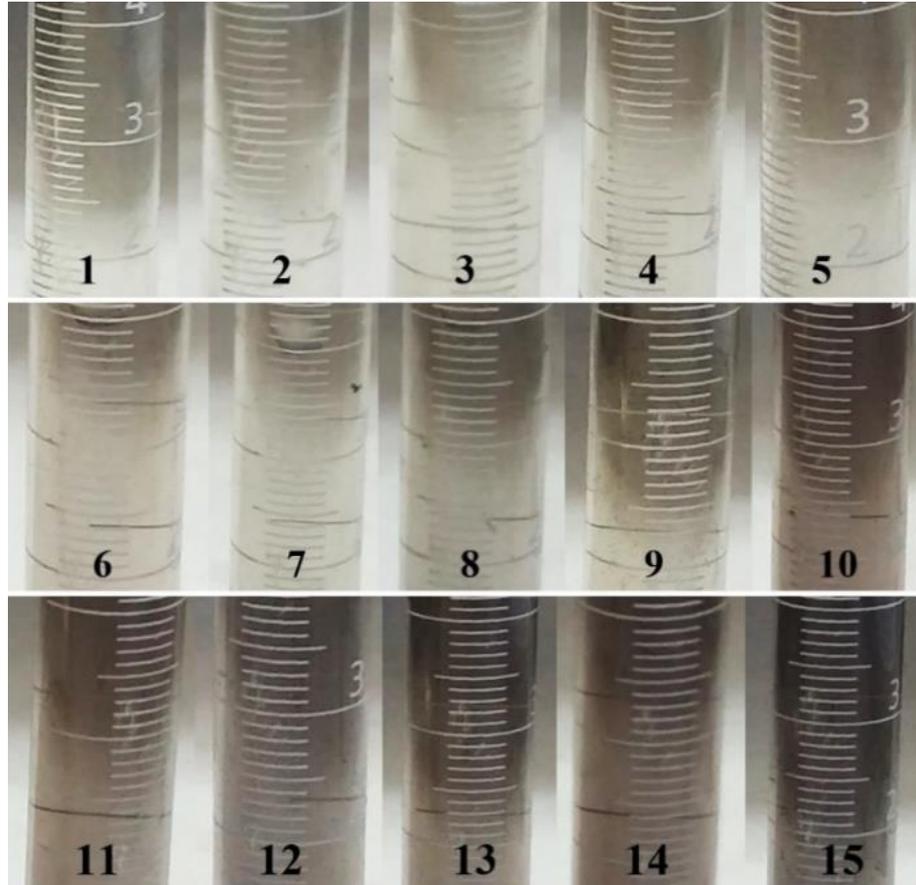
Os critérios utilizados para seleção foram primeiramente visuais, baseados na observação do sobrenadante e da biomassa fúngica. Foram eles: 1-Sobrenadantes mais descoloridos; 2- Biomassa com maior captura de corante; 3- Biomassa menos degradada pela agitação (Figura 14). Esses critérios foram usados principalmente na primeira fase da seleção, após 2h de descoloração, no entanto, os resultados foram confrontados aos dados espectrofotométricos (Figuras 15 e 16), determinando os fungos que passariam para segunda fase de seleção.

Os fungos pré-selecionados foram então submetidos a uma segunda descoloração do corante na concentração de 1000mg/L por 24 horas. Sendo selecionados aqueles que mostraram maior percentual de descoloração do DB22, em ambas as fermentações (em caldo *Czapek* e em *Sabouraud*), foram eles: *Aspergillus japonicus* (5620), *Aspergillus niger* (5741) e *Aspergillus niger* (5838) (Figura 17).

*Aspergillus japonicus* é um fungo bastante conhecido pela produção enzimática de amilases, lipases, celulases e outras (Herculano *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2017; Pasin *et al.*, 2017), no entanto já foi descrito como excelente adsorvente para o tratamento de áreas contaminadas com metais pesados (cromo, níquel, ferro e mercúrio) (Binupriya *et al.*, 2006), e ainda, no tratamento de aminas aromáticas, a partir de N-acetilação (Lima *et al.*, 2017).

E *Aspergillus niger* foi descrito com alta eficiência na descoloração dos corantes azo *Procion Red MX-5B* e *Acid Blue 161* (Almeida e Corso, 2019), e de *Acid Blue 40*, *Acid Orange 56* e *Acid Blue 93* (Li *et al.*, 2019), o que indica que pode ser aplicado para diversas classes de corantes, sejam catiônicos ou aniônicos.

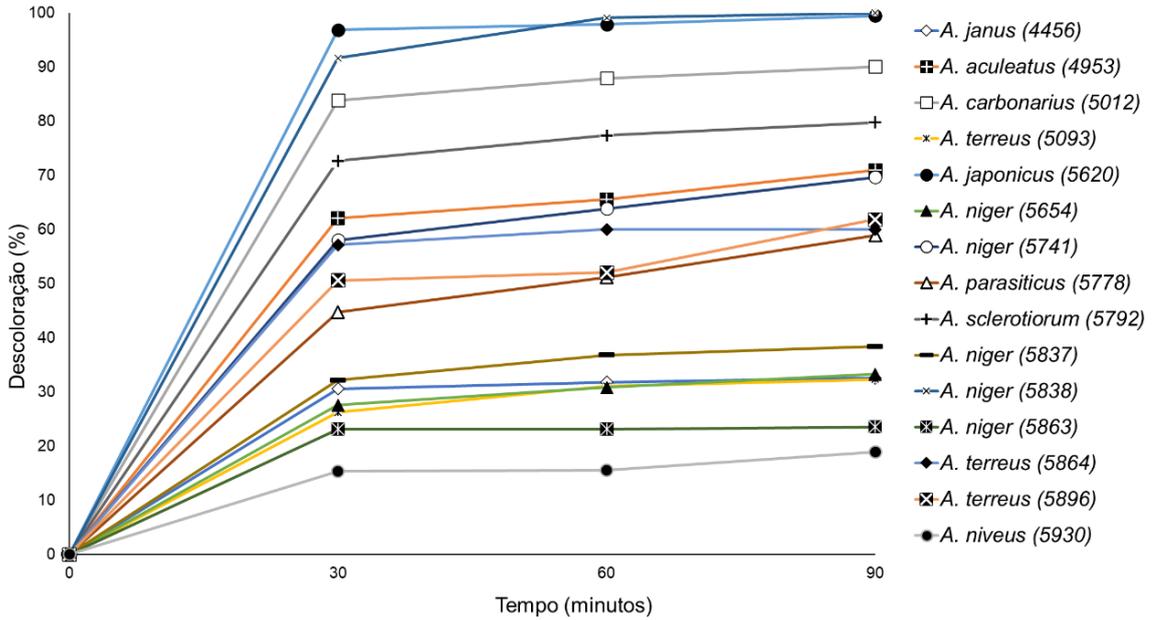
**Figura 14** — Sobrenadante da descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* a 50mg/L por fungos filamentosos, após 2 horas de monitoramento. Imagens usadas como critério de pré-seleção visual. 1 = *A. niger* (5838); 2 = *A. japonicus* (5620); 3 = *A. carbonarius* (5012); 4 = *A. sclerotiorum* (5792); 5 = *A. phoenicis* (4953); 6 = *A. parasiticus* (5778); 7 = *A. niger* (5741); 8 = *A. terreus* (5896); 9 = *A. terreus* (5864); 10 = *A. terreus* (5093); 11 = *A. niger* (5837); 12 = *A. janus* (4456); 13 = *A. niger* (5654); 14 = *A. niveus* (5930) e 15 = *A. niger* (5863).



Fonte: Próprio autor.

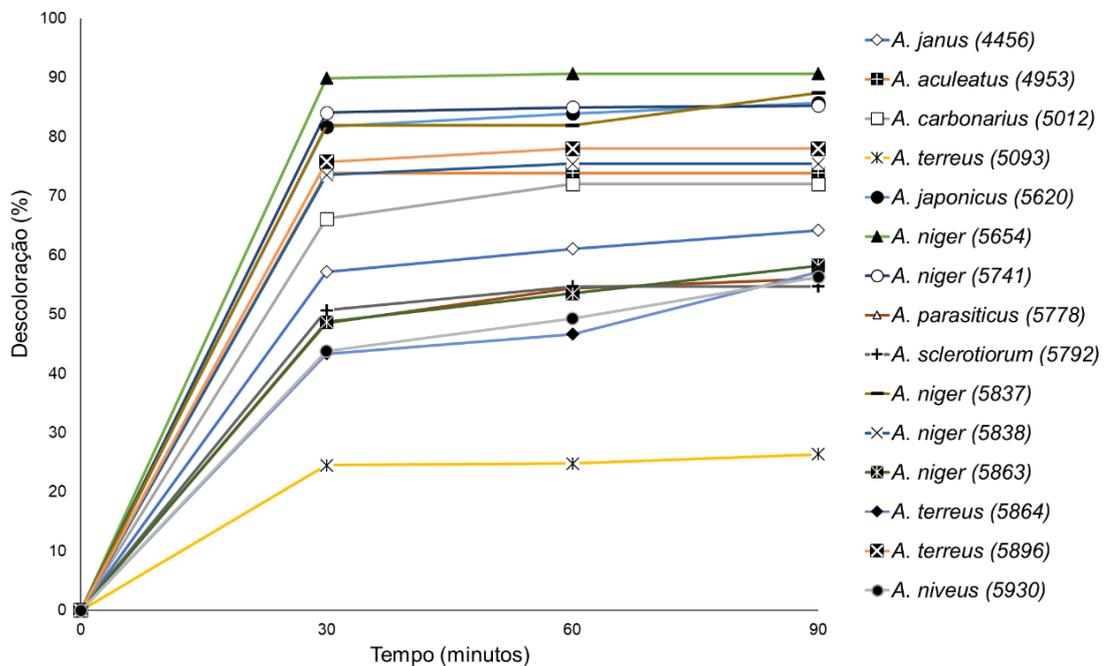
Além disso, suporta altas concentrações de corantes, como mostraram Mahmoud e colaboradores (2017), aplicando uma cepa de *A. niger* isolada de efluente têxtil na descoloração do corante diazo *Direct Red 81* na concentração de 1000mg/L. No entanto, a eficiência de descoloração chegou a apenas 58,6% após sete dias. Diferentemente, neste estudo, todas as cepas de *A. niger* analisadas durante a segunda fase de seleção, com a concentração de 1000mg/L, descoloriram acima de 90% o corante tetra-azo DB22 em 24 horas. Isso mostra que apesar de lidarmos com a mesma espécie, cada cepa tem características intrínsecas que podem favorecer o processo de biorremediação.

**Figura 15** — Screening para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (50mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo *Czapek*.  $\lambda_{\max}$  DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

**Figura 16** — Screening para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (50mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo *Sabouraud*.  $\lambda_{\max}$  DB22 = 475 nm

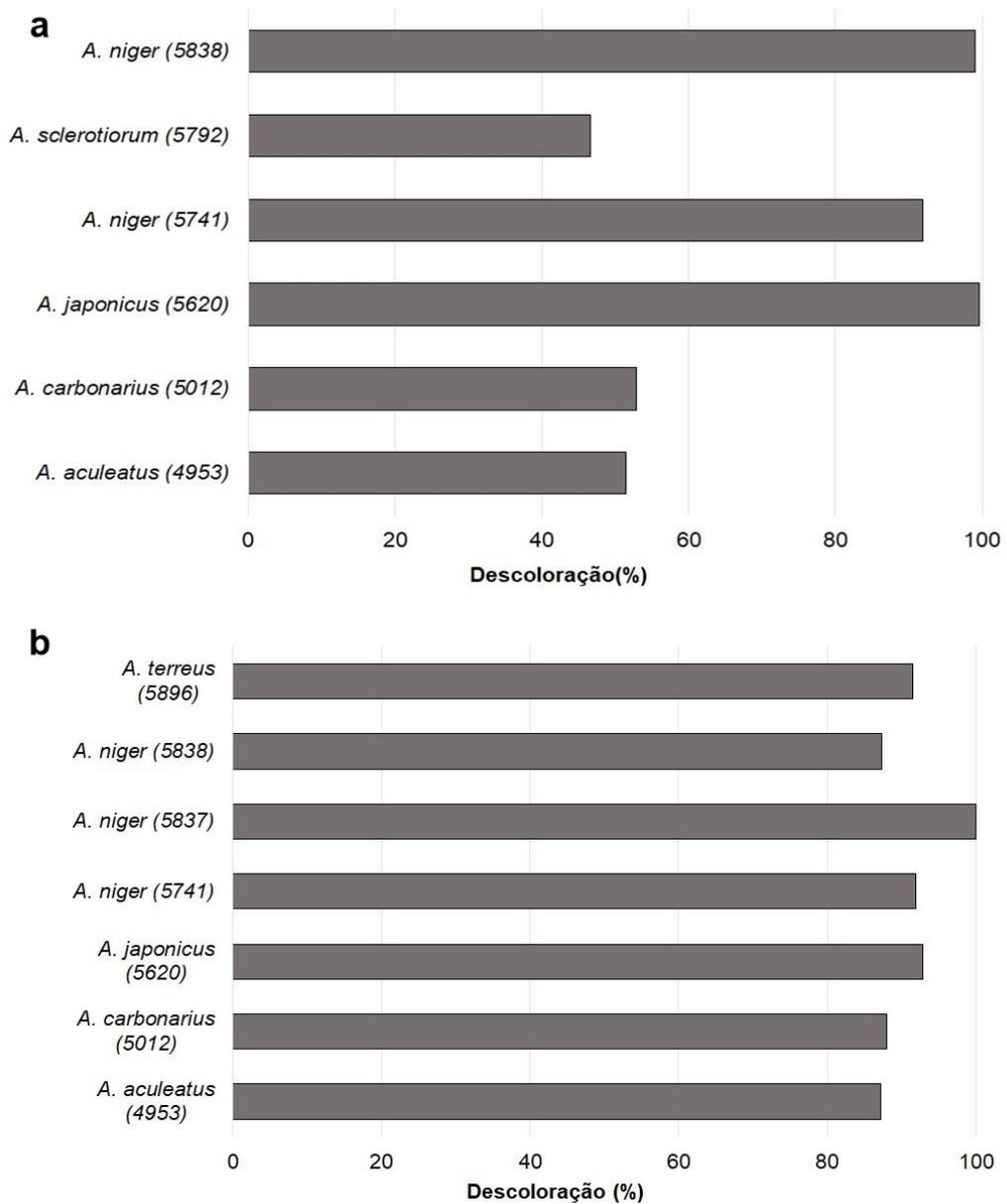


Fonte: Próprio autor.

É válido ainda, ressaltar que a estrutura química do corante, ou seja, a molécula, influi sobre a eficiência da descoloração, resultando em diferentes

interações entre corante-biossorvente (Eman, 2018), de forma que os azo corantes que tem baixo peso molecular e estruturas mais simples (monoazo e diazo, por exemplo) são mais fáceis de descolorir que os que apresentam massa molecular elevada e estruturas químicas complexas (Garg e Tripathi, 2017). Reafirmando assim, a eficiência da descoloração pelas cepas selecionadas nesse estudo, uma vez que o DB22 apresenta massa molecular de 1083,97 g/mol, enquanto a massa do corante *Direct Red 81* é de 675,6 g/mol (Mahmoud *et al.*, 2017).

**Figura 17** — *Screening* para descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* (1000mg/L) por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* em caldo Czapek (a) e em caldo *Sabouraud* (b) após 24 horas de monitoramento.  $\lambda_{\max}$  DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

### *Eficiência da descoloração do DB22 com biomassa viva e biomassa morta*

A eficiência de adsorção de corantes por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Rhizopus* foi por muito tempo avaliada quanto a aplicação da biomassa morta, uma vez que evita a necessidade de suprimento nutritivo durante utilização do bioissorvente e por não ser afetada pela toxicidade dos contaminantes. No entanto, atualmente as pesquisas têm se voltado a comparação entre a eficiência da biomassa morta e viva, mostrando maior interesse na aplicação desta última, devido sua maior eficiência (Lu *et al.*, 2017).

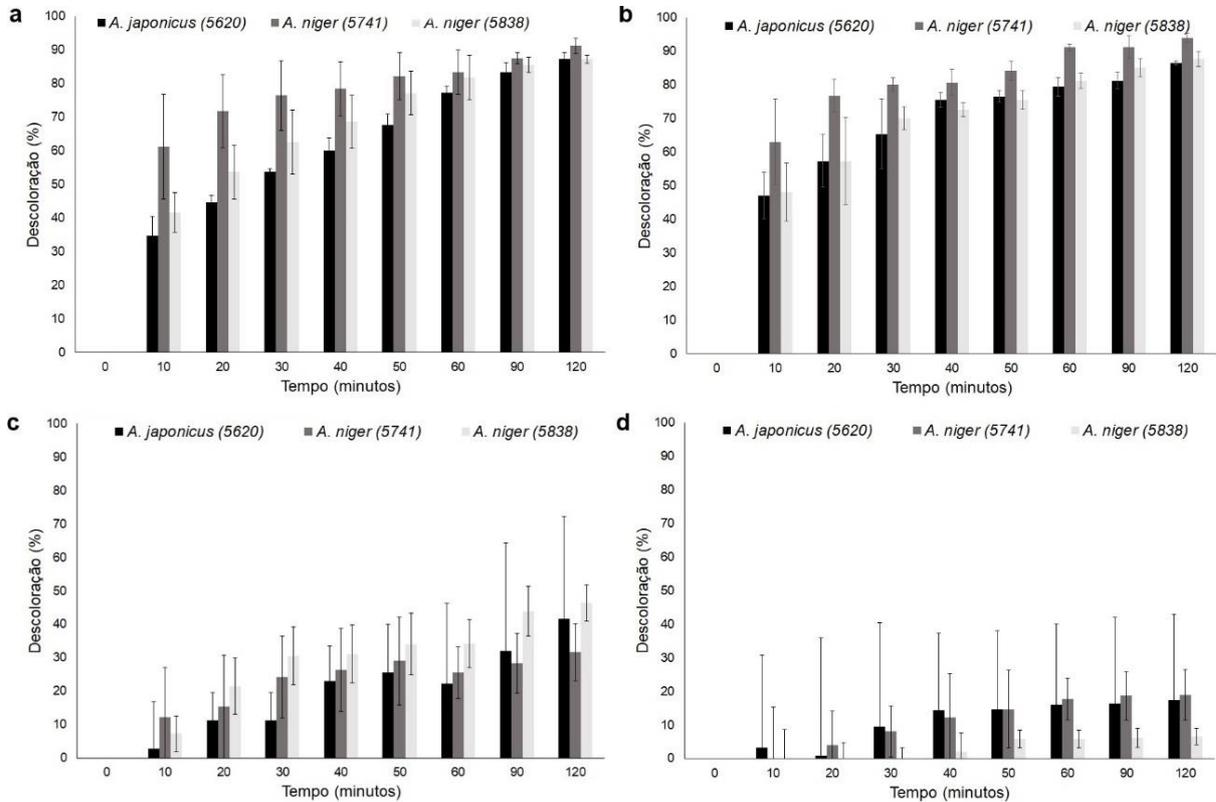
Este trabalho avaliou a descoloração do DB22 tanto com a biomassa viva quanto com a biomassa morta. Onde foi possível observar maior eficiência da biomassa viva, entre 87% a 91%, enquanto a biomassa morta descoloriu entre 32% e 46%, após os 120min de tratamento (Figura 18). O mesmo foi descrito por Przystaś e colaboradores (2018), avaliando a descoloração do corante *Brilliant green* com biomassa imobilizada, onde a biomassa morta removeu os corantes com menor eficiência. Enquanto o corante foi descolorido entre 64% e 85% em diferentes suportes com biomassa viva em 24h, a biomassa morta variou de 0 a 80% de descoloração após 40h de tratamento.

Ainda que a biomassa morta tenha apresentado menor eficiência de descoloração que a viva, foi mais eficiente que a biomassa morta aplicada em outros estudos, como na descoloração do *Reactive yellow 17*, um corante diazo, a partir de *A. tamaritii* isolado de lodo têxtil. Onde o fungo foi capaz de descolorir apenas 15.1% do corante numa concentração de 100mg/L (Singh *et al.*, 2018).

A redução da eficiência da descoloração por biomassa morta pode ter ocorrido devido sua preparação num processo de esterilização térmica, podendo ter alterado as propriedades físicas e químicas superficiais das células fúngicas, ou seja, alterando os sítios de ligação disponíveis para o corante, diminuindo a interação corante-bioissorvente (Przystaś *et al.*, 2018).

Por outro lado, a biomassa viva demonstrou alta descoloração chegando a 94% de eficiência com o fungo *A. niger* URM5741 mesmo na sua reutilização, quando houve a reaplicação o corante na concentração de 50mg/L (figura 18, quadro b). Como a capacidade adsortiva da biomassa viva se mostrou maior que a da biomassa morta, os testes de influência da concentração do corante foram feitos apenas na biomassa ativa (figura 19).

**Figura 18** — Eficiência da descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* com a biomassa viva e morta dos fungos selecionados com maior potencial para biorremediação do corante (50mg/L). a e b correspondem a descoloração e reutilização da biomassa viva, c e d correspondem a descoloração e reutilização da biomassa morta, respectivamente.  $\lambda_{\max}$ DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

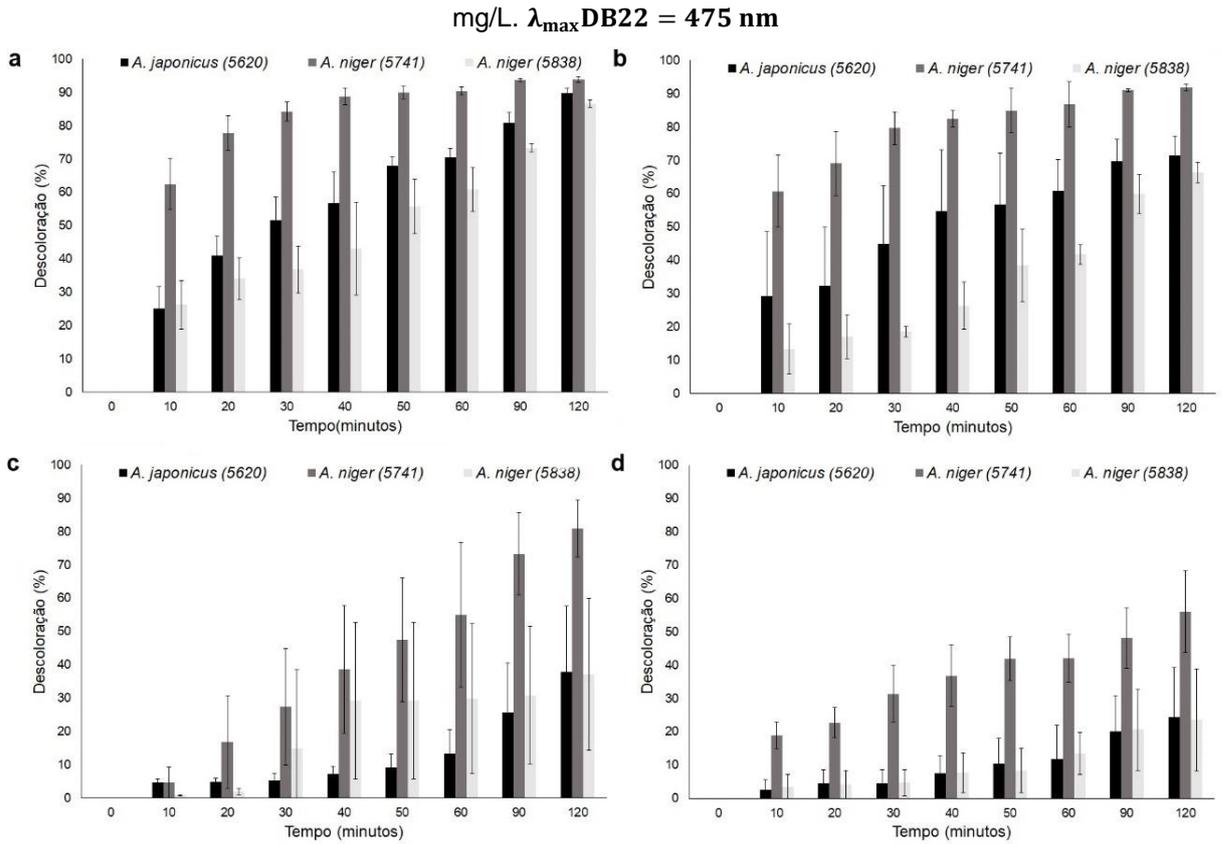
#### *Eficiência da descoloração do DB22 em diferentes concentrações iniciais*

Em geral, a remoção de corantes é dependente de algumas variáveis, dentre elas, estão o tempo de contato entre o corante e o bioissorvente, e ainda, a concentração inicial do corante (Singh *et al.*, 2018). A variação da concentração inicial pode determinar qual a capacidade adsortiva da biomassa para aquele corante (Eman, 2018), assim, neste trabalho as cepas de fungos selecionadas (5620, 5741 e 5838) foram aplicadas na descoloração do DB22 nas concentrações de 50mg/L, 150mg/L e 300mg/L durante 120min, com uma reutilização da biomassa com igual concentração e tempo de descoloração.

Foi possível observar que em todas as descolorações e nas reutilizações, nas três concentrações estudadas, o fungo que descoloriu mais rápido o DB22 foi o *A. niger* URM5741, chegando a 61% e a 63% de descoloração nos primeiros 10min de tratamento com 50m/L (Figura 18 a) e 150mg/L (Figura 19 a), respectivamente, e

atingindo 92% e 94% após 120min. Para a concentração de 300mg/L o fungo descoloriu 81% do corante após as 2h de descoloração (Figura 19 c).

**Figura 19** — Descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* pelos fungos selecionados com maior potencial para biorremediação do corante nas concentrações 150mg/L e 300mg/L. a e b correspondem a descoloração e reutilização da biomassa no tratamento com o corante a 150 mg/L; c e d correspondem a descoloração e reutilização da biomassa no tratamento com o corante a 300 mg/L.  $\lambda_{\max}$ DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

Apesar da eficiência observada na descoloração do DB22 ser maior, assim como no trabalho de Eman (2018), foi observado que o aumento da concentração do corante requer maior tempo de contato para adsorção, sobretudo para as cepas 5620 e 5838. O que ficou ainda mais claro após a reutilização da biomassa (figura 19).

É importante ressaltar ainda, que todos esses processos foram feitos nos fungos recém fermentados e sem pesagem inicial de biomassa. Assim, após as descolorações, os fungos foram secos em bomba a vácuo e posteriormente em estufa de secagem a 100°C e então pesados em balança semianalítica, onde apresentaram peso médio de 145mg entre todas as réplicas utilizadas. O que mostra que esses

fungos são adsorventes promissores para a biorremediação de efluentes coloridos, sobretudo, os efluentes têxteis.

#### *Otimização do processo de descoloração do DB22*

Após a seleção dos fungos com maior potencial para descoloração do DB22, foi feita uma otimização do processo, para melhor observação da descoloração em água e para análise da influência da quantidade de bioissorvente no processo. Foram realizadas descolorações com 1g, 3g e 5g de biomassa, e reutilizadas duas vezes consecutivas.

Para observar o ponto de equilíbrio da descoloração, o processo passou a ser analisado a cada 10 minutos, o tempo zero passou a ser o corante, foram feitos controles para cada processo (o corante sem biomassa), além disso, no momento que o corante foi adicionado ao frasco, uma alíquota foi coletada, o tempo 1 (1min), isso porquê imediatamente a aplicação do corante, havia interação com o bioissorvente, fazendo com que a eficiência em tempo de descoloração fosse subestimada (Figura 20).

Na descoloração com 3g a eficiência dos fungos é muito similar, atingindo 100% de descoloração em 80min com o *A. niger* URM5741, em 90min com *A. japonicus* URM5620 e em 100min com o *A. niger* URM5838 (figura 22, quadro a). No entanto, com 5g de biomassa o fungo *A. niger* URM5838 descoloriu de forma mais rápida o DB22, atingindo 100% de remoção com 40min, seguido por *A. niger* URM5741 e *A. japonicus* URM5620 em 70min (Figura 23).

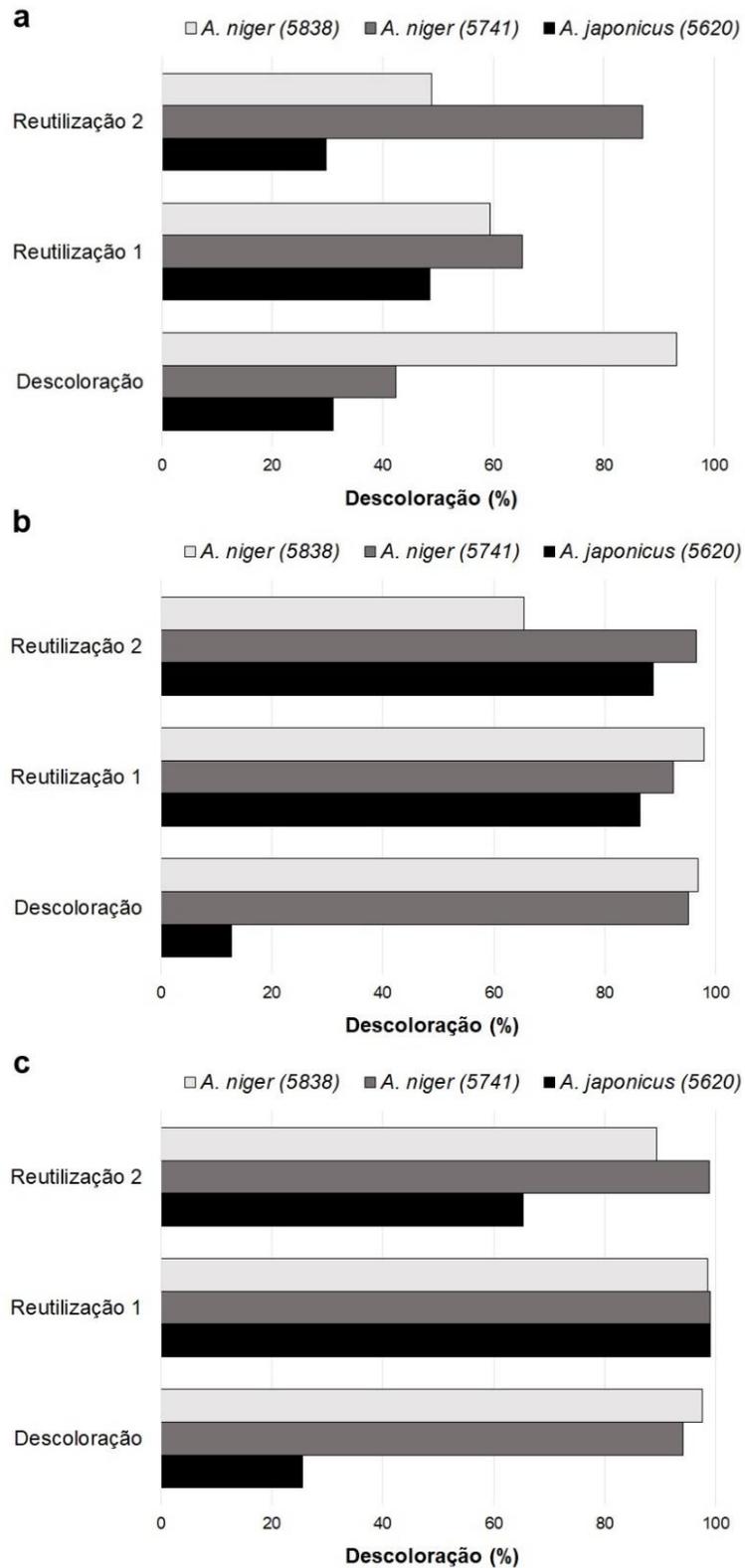
A utilização de bateladas de reaplicação do corante, possibilita conhecer a capacidade de reutilização do bioissorvente, o que o caracteriza como aplicável em maior escala, e quanto a sua eficiência total. Lu e colaboradores (2017) indicam que a porcentagem de remoção de corantes durante as reutilizações de biomassa está atrelada a suplementação de nutrientes, no entanto, no presente trabalho não foi necessária aplicação de suplementos para manter a eficiência das cepas utilizadas, de forma que mesmo com 1 g de biomassa os fungos descoloriram entre 84% e 93% na primeira reutilização e entre 46% e 97% na segunda reutilização. Diferentemente, na aplicação em batelada sem suplementação de nutrientes com o fungo *A. niger* isolado de ambiente marinho, a eficiência foi diminuindo à medida que a biomassa foi reutilizada, de forma que na primeira descoloração atingiu 99,1%, 91,7% na primeira

reutilização e 89,8% na segunda reutilização, mesmo com 4g de biomassa (Lu *et al.*, 2017).

Foi possível observar que o aumento da quantidade de biomassa acelerou o processo de descoloração, e na segunda reutilização de biomassa, ou seja, na terceira aplicação de corante, os três fungos descoloriram 99% da solução em apenas 10 min. Os fungos apresentaram uma eficiência similar, principalmente os *A. niger* URM 5741 e URM5838, sendo possível observar diferentes eficiências apenas nos tratamentos feitos com 1g (Figura 21), onde é possível determinar que o fungo que melhor descoloriu o DB22 nas três bateladas de aplicação do corante foi o *A. niger* URM5741. O que indica que esse fungo pode suportar uma grande concentração de corante.

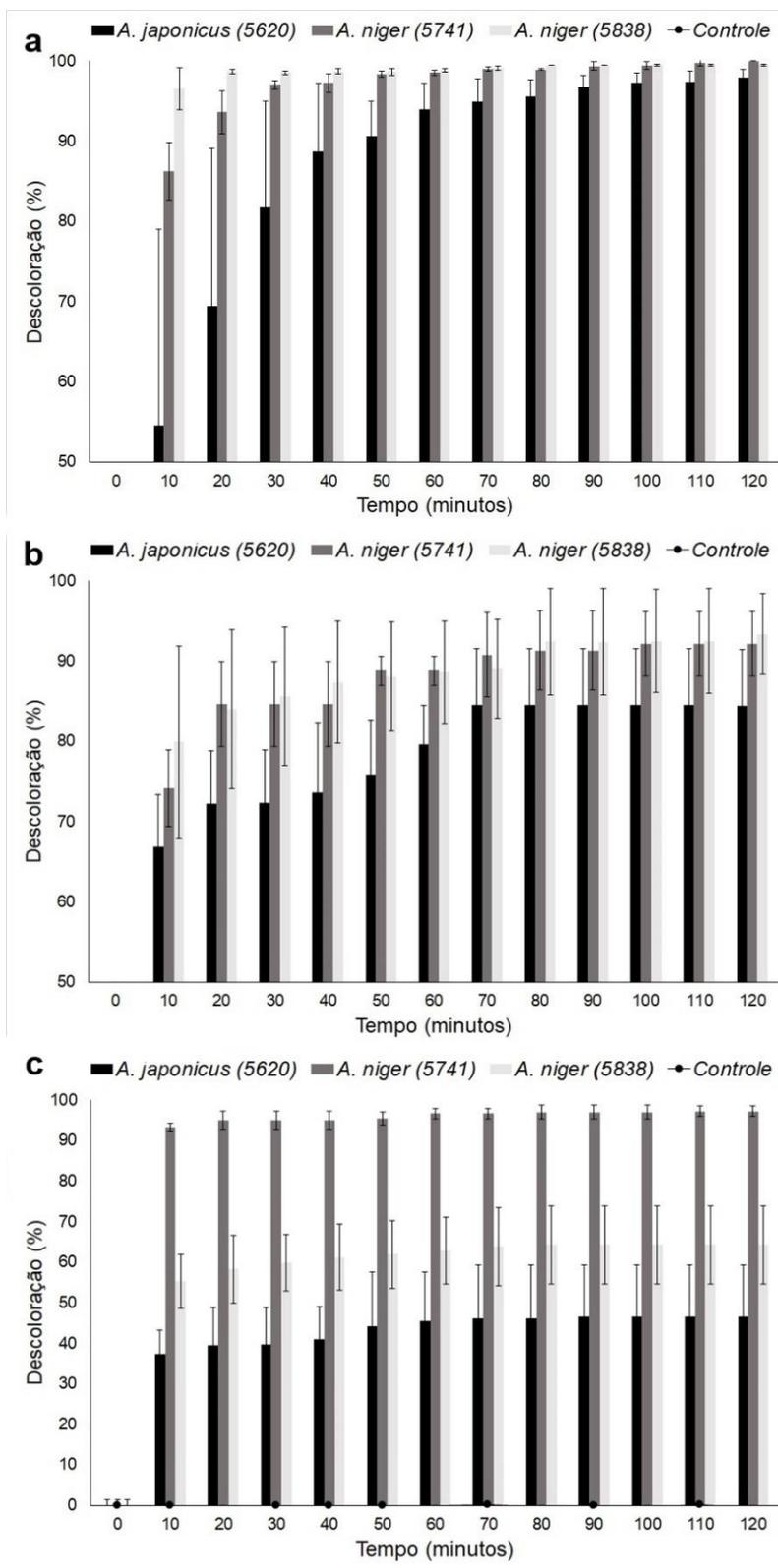
Assim como discutido por Almeida e Corso (2019), a descoloração foi diretamente proporcional a quantidade de biossorvente aplicada. No entanto, a eficiência observada no presente trabalho foi maior que a dos fungos *A. niger*, *A. terreus* e *Rhizopus oligosporus* aplicados na descoloração dos corantes *Acid Blue* 161, *Procion Red* MX-5B e de uma solução contendo ambos os corantes. Onde o *A. niger* foi o melhor adsorvente, descolorindo aproximadamente 20% do *Acid Blue* 161, 15% do *Procion Red* MX-5B e 25% da solução binária, com 1g de biomassa, e aproximadamente 55%, 45% e 55%, respectivamente, com 5g de biomassa, após 3h de descoloração (Almeida e Corso, 2019).

**Figura 20** — Descoloração do corante têxtil *Direct Black 22* no primeiro minuto de observação. a – descoloração e reutilizações no processo com 1 g de biomassa; b- descoloração e reutilizações no processo com 3 g de biomassa; c – descoloração e reutilizações no processo com 5 g de biomassa.  $\lambda_{\max} \text{DB22} = 475 \text{ nm}$



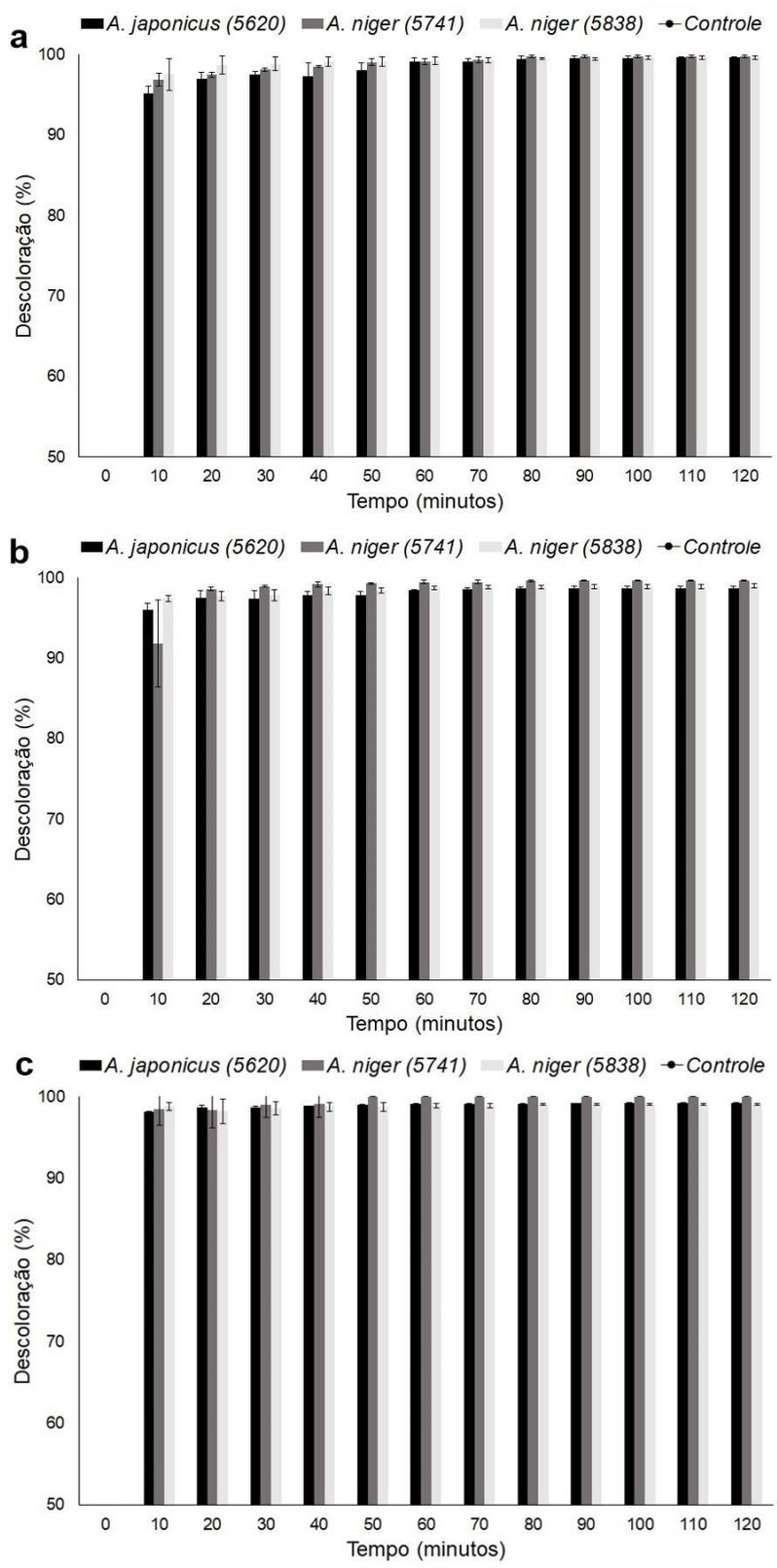
Fonte: Próprio autor.

**Figura 21** — Descoloração do corante *Direct Black 22* com 1g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min, c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\max}$ DB22 = 475 nm



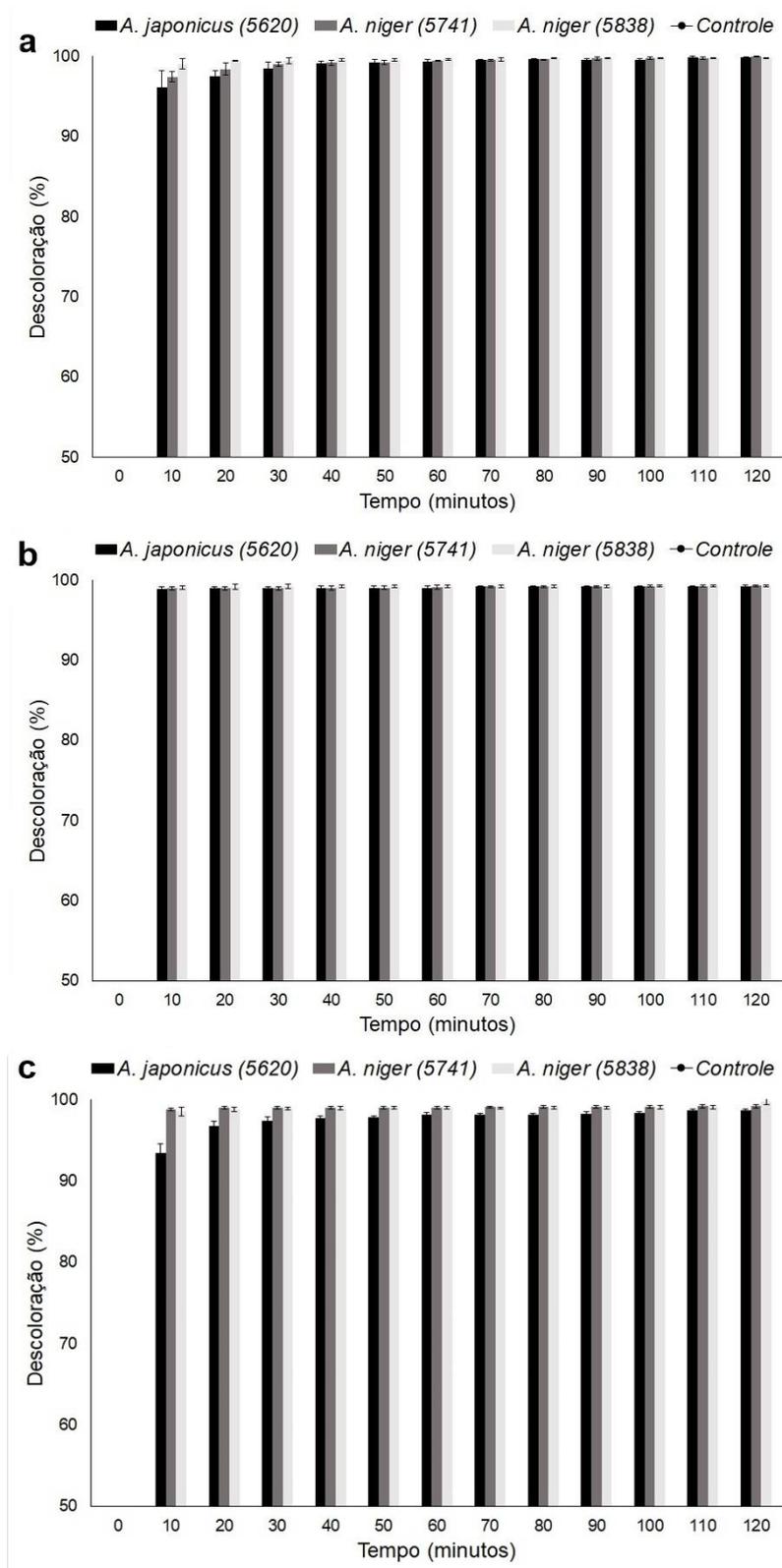
Fonte: Próprio autor.

**Figura 22** — Descoloração do corante *Direct Black 22* com 3g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min, c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\max}$ DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

**Figura 23** — Descoloração do corante *Direct Black 22* com 5g de biomassa dos fungos selecionados. a – descoloração do DB22 após 120min, b- reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min, c – segunda reutilização da biomassa para processo de descoloração em 120min.  $\lambda_{\max}$ DB22 = 475 nm



Fonte: Próprio autor.

## CONCLUSÃO

Diante da preocupação ambiental quanto a liberação de efluentes coloridos, principalmente aqueles contaminados com corantes azo, a busca por novas tecnologias de biorremediação tem se voltando especialmente a microrremediação. Analisando a utilização de *Aspergillus* na descoloração do corante tetra azo *Direct Black 22*, fica clara a eficiência da aplicação da biomassa peletizada como bioissorvente de corantes têxteis. Neste estudo, foi possível observar que a biomassa viva apresentou maior eficiência que a biomassa morta, e que a eficiência de descoloração foi inversamente proporcional ao aumento da concentração do corante, enquanto foi diretamente proporcional ao aumento da quantidade de bioissorvente aplicada. O fungo *Aspergillus niger* URM5741 foi o que melhor descoloriu o DB22, com biomassa viva e morta, em todas as concentrações, e na reutilização da biomassa. Os fungos aqui aplicados não dependeram da alteração de pH, temperatura, suplementação nutritiva e outras condições, o que possibilita sua aplicação numa escala maior, com baixo custo, fácil operação e alta eficiência, atingindo a remoção completa do corante em poucos minutos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*. **Chemosphere**, v. 112, p. 317-322, 2014.
- BINUPRIYA, A. R. *et al.* Biosorption of metal ions from aqueous solution and electroplating industry wastewater by *Aspergillus japonicus*: phytotoxicity studies. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 77, n. 2, p. 219, 2006.
- BRÜSCHWEILER, B. J.; MERLOT, C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 88, p. 214-226, 2017.
- DEWI, R. S. *et al.* Bioremediation of Indigosol Blue 04B Batik Effluent by Indigenous Fungal Isolates, *Aspergillus spp.* **Omni-Akuatika**, v. 14, n. 2, p. 11-20, 2018.
- DOS SANTOS, A. B. *et al.* The transformation and toxicity of anthraquinone dyes during thermophilic (55 C) and mesophilic (30 C) anaerobic treatments. **Journal of biotechnology**, v. 115, n. 4, p. 345-353, 2005.

EMAN, S. A. The Effect of *Aspergillus flavus* ES Isolate on the Decolourisation of Crystal Violet, Titan Yellow and Congo Red. **Microbiology Research Journal International**, p. 1-14, 2018.

ESPINOSA-ORTIZ, E. J. *et al.* Fungal pelleted reactors in wastewater treatment: applications and perspectives. **Chemical Engineering Journal**, v. 283, p. 553-571, 2016.

GARG, S. K.; TRIPATHI, M. Microbial strategies for discoloration and detoxification of azo dyes from textile effluents. **Research Journal Microbiology**, v. 12, p. 1-19, 2017.

GOVINDWAR, S. 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.

HERCULANO, P. N. *et al.* Cellulase production by *Aspergillus japonicus* URM5620 using waste from castor bean (*Ricinus communis* L.) under solid-state fermentation. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 165, n. 3-4, p. 1057-1067, 2011.

JADHAV, I. *et al.* Microorganism-based treatment of azo dyes. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 188, 2016.

KARIM, M. E.; DHAR, K.; HOSSAIN, M. T. Decolorization of textile reactive dyes by bacterial monoculture and consortium screened from textile dyeing effluent. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 375-380, 2018.

KHAN, R.; FULEKAR, M. H. Mineralization of a sulfonated textile dye Reactive Red 31 from simulated wastewater using pellets of *Aspergillus bombycis*. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 23, 2017.

KONG, L. *et al.* Removal of brilliant green from aqueous solutions based on polyurethane foam adsorbent modified with coal. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 51-59, 2016.

KUMAR, N. V. *et al.* Lipase production using *Aspergillus japonicus* MF-1 through biotransformation of agro-waste and medicinal oil effluent. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 6, n. 4, p. 2005-2020, 2017.

LI, S. *et al.* In vivo and in vitro efficient textile wastewater remediation by *Aspergillus niger* biosorbent. **Nanoscale Advances**, v. 1, n. 1, p. 168-176, 2019.

LIMA, D. P. *et al.* N-Acetylation of Aromatic Amines by the Soil Fungus *Aspergillus japonicus* (UFMS 48.136). **Letters in Organic Chemistry**, v. 14, n. 4, p. 227-230, 2017.

LU, T.; ZHANG, Q.; YAO, S. Efficient decolorization of dye-containing wastewater using mycelial pellets formed of marine-derived *Aspergillus niger*. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 25(3), 330–337, 2017.

MAGANHA DE ALMEIDA, A. C.; BACKHAUS, J.; CORSO, C. R. Recycling food waste to clean water: the use of a biodigester's residual liquid inoculum (RLI) to decolourise textile azo dyes. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 2, p. 398-408, 2018.

MAHMOUD, M. S. *et al.* Bioremediation of red azo dye from aqueous solutions by *Aspergillus niger* strain isolated from textile wastewater. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 5, n. 1, p. 547-554, 2017.

MANI, S.; CHOWDHARY, P.; BHARAGAVA, R. N. Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches. *In: Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management*. **Springer**, Singapore, p. 219-244, 2019.

PASIN, T. M. *et al.* Purification and functional properties of a novel glucoamylase activated by manganese and lead produced by *Aspergillus japonicus*. **International journal of biological macromolecules**, v. 102, p. 779-788, 2017.

PRZYSTAŚ, W.; ZABŁOCKA-GODLEWSKA, E.; GRABIŃSKA-SOTA, E. Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 285-295, 2018.

SEN, S. K. *et al.* Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, p. 112-133, 2016.

SINGH, A.; GHOSH, A.; DASTIDAR, M. G. Decolorization of Reactive Yellow 17 Dye Using *Aspergillus tamaritii*. *In: Environmental Pollution*. **Springer**, Singapore, 2018. p. 309-316.

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

## 5 CONCLUSÃO

Diante da preocupação ambiental quanto a liberação de efluentes coloridos, principalmente aqueles contaminados com corantes azo, a busca por novas tecnologias de biorremediação tem se voltando especialmente a microrremediação. Neste trabalho, foi analisada a capacidade de fungos do gênero *Aspergillus* em descolorir corantes têxteis, ficando clara a eficiência da aplicação da biomassa peletizada como bioissorvente desses contaminantes.

Os processos aplicados mostraram que a biomassa viva apresentou maior eficiência que a biomassa morta, e que a eficiência de descoloração foi inversamente proporcional ao aumento da concentração do corante, enquanto foi diretamente proporcional ao aumento da quantidade de bioissorvente aplicada.

Dentre os fungos analisados, *Aspergillus niger* URM5741 foi o que melhor descoloriu o DB22, com biomassa viva e morta, em todas as concentrações, e na reutilização da biomassa. Por isso foi testado ainda, na descoloração de um corante residual disponibilizado pelo ITEP, o 78GR turquesa (Corafix), de forma que foi capaz de descolorir esse corante mesmo com apenas 1g de biomassa, assim como observado para o DB22. Além dos corantes o *A. niger* URM5741 foi aplicado ainda, na descoloração de efluente de uma lavanderia de Toritama/PE, onde apresentou significativo resultado de remoção desses compostos em apenas 24 horas.

Os fungos aqui aplicados não dependeram da alteração de pH, temperatura, suplementação nutritiva e outras condições, o que possibilita sua aplicação numa escala maior, com baixo custo, fácil operação e alta eficiência, atingindo a remoção completa do corante em poucos minutos. A metodologia empregada, resultou no depósito da patente BR 10 2019 025957 4, correspondente a um filtro biológico baseado na utilização da biomassa peletizada de fungos do gênero *Aspergillus*.

Espera-se que os resultados aqui encontrados corroborem na diminuição do impacto ambiental e a saúde pública de corantes têxteis a partir de efluentes coloridos, e ainda, que a aplicação de uma metodologia simplificada e barata possa favorecer o crescimento das atividades locais, sobretudo do Polo Têxtil de Pernambuco.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. Têxtil e Confecção: Inovar, desenvolver e sustentar. Brasília: CNI/ABIT, p. 74, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira: Cenários, desafios, perspectivas e demandas. Brasília, junho de 2013.

ALMEIDA, É. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. Ministério Público Federal, p. 1-18 2014. Disponível em: < <http://www.mpf.mp.br> >.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*. **Chemosphere**, v. 112, p. 317-322, 2014.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Decolorization and removal of toxicity of textile azo dyes using fungal biomass pelletized. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 3, p. 1319-1328, 2019.

AMARAL, M. V. *et al.* A questão ambiental no Pólo de Confecções de Caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental. **Estudos do CEPE**, n. 35, p. 108-132, 2012.

ARAUJO, W. C. *et al.* Estudo socioeconômico do Polo de Confecções no Agreste de Pernambuco: uma análise descritiva e exploratória/Socioeconomic study of the clothing pole from the Agreste Pernambucano: a descriptive and exploratory analysis. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26812-26826, 2019.

AZIZ, H. A. *et al.* Solidification and stabilization of the incinerated wastewater sludge from textile industry. *In: AIP Conference Proceedings*. **AIP Publishing**, p. 040029, 2017.

BANKOLE, P. O. *et al.* Biodegradation and detoxification of Scarlet RR dye by a newly isolated filamentous fungus, *Peyronellaea prosopidis*. **Sustainable Environment Research**, v. 28, n. 5, p. 214-222, 2018.

BENI, A. A.; ESMAEILI, A. Biosorption, an efficient method for removing heavy metals from industrial effluents: A Review. **Environmental Technology & Innovation**, 2019.

BENKHAYA, S.; EL HARFI, S.; EL HARFI, A. Classifications, properties and applications of textile dyes: A review. **Applied Journal of Environmental Engineering Science**, v. 3, n. 3, p. 311-320, 2017.

BERRADI, M. *et al.* Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, v. 5, n. 11, p. e02711, 2019.

BINUPRIYA, A. R. *et al.* Biosorption of metal ions from aqueous solution and electroplating industry wastewater by *Aspergillus japonicus*: phytotoxicity studies. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 77, n. 2, p. 219, 2006.

BRÜSCHWEILER, B. J.; MERLOT, C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 88, p. 214-226, 2017.

BUSS, M. V. *et al.* Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 2-10, 2015.

CHOUDHARY, M. P.; ISLAM, S. Assessment of Environmental Impacts during Operational Phase of a Textile Industry. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 04, p. 22-26, 2017.

CLARK, M. Fundamental principles of dyeing. *In*: **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes**. Elsevier, v. 1, p. 3-28, 2011.

COLOUR INDEX™. Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists. Disponível em: <<https://colour-index.com>>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. Brasília, p. 102, 2017.

COSTA, R. F. *et al.* Um Estudo Quanto a Possível Redução dos Custos Operacionais nas Lavanderias Têxteis que Adotam Processos Sustentáveis. *In*: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2014.

DA SILVA, V. A. F.; DE OLIVEIRA, R. A.; DE QUEIRÓZ, É. W. L. Instrumentos econômicos ambientais: estudo de caso em municípios pertencentes ao pólo de confecções da região agreste do estado de Pernambuco. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 31-48, 2015.

DE LIMA, L. R. *et al.* Um Estudo Sobre a Gestão Ambiental e Operacional das Lavanderias Têxteis do Pólo de Confecções do Agreste de Pernambuco. **Veredas Favip-Revista Eletrônica de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2014.

DEWI, R. S. *et al.* Bioremediation of Indigosol Blue 04B Batik Effluent by Indigenous Fungal Isolates, *Aspergillus spp.* **Omni-Akuatika**, v. 14, n. 2, p. 11-20, 2018.

DOS SANTOS, A. B. *et al.* The transformation and toxicity of anthraquinone dyes during thermophilic (55 C) and mesophilic (30 C) anaerobic treatments. **Journal of biotechnology**, v. 115, n. 4, p. 345-353, 2005.

DOS SANTOS, E. C.; HELAL, D. H. O moderno e o tradicional no Agreste de pernambuco. **Ciência & Trópico**, v. 42, n. 1, 2018.

EMAN, S. A. The Effect of *Aspergillus flavus* ES Isolate on the Decolourisation of Crystal Violet, Titan Yellow and Congo Red. **Microbiology Research Journal International**, p. 1-14, 2018.

ESPINOSA-ORTIZ, E. J. *et al.* Fungal pelleted reactors in wastewater treatment: applications and perspectives. **Chemical Engineering Journal**, v. 283, p. 553-571, 2016.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra e-periódico**, n. 15, p. 153-174, 2015.

GARG, S. K.; TRIPATHI, M. Microbial strategies for discoloration and detoxification of azo dyes from textile effluents. **Research Journal Microbiology**, v. 12, p. 1-19, 2017.

GARCIA-SEGURA, S. *et al.* Comparative decolorization of monoazo, diazo and triazo dyes by electro-Fenton process. **Electrochimica acta**, v. 58, p. 303-311, 2011.

GENG, J. *et al.* 2-Amino-4-chloro-5-formylthiophene-3-carbonitrile derived azo dyes. **Dyes and Pigments**, v. 117, p. 133-140, 2015.

GOSCIANSKA, J.; FATHY, N. A.; ABOELENIN, R. MM. Adsorption of solophenyl red 3BL polyazo dye onto amine-functionalized mesoporous carbons. **Journal of colloid and interface science**, v. 505, p. 593-604, 2017.

GOVINDWAR, S. 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.

GÜRSES, A. *et al.* Dyes and pigments: their structure and properties. *In: Dyes and Pigments*. Springer, Cham, p. 13-29, 2016a.

GÜRSES, A. *et al.* Classification of dye and pigments. *In: Dyes and Pigments*. Springer, Cham, p. 31-45, 2016b.

HASAN, K.; MIAH, M. Impacts of textile dyeing industries effluents on surface water quality: A study on Araihasar Thana in Narayanganj District of Bangladesh. **Journal of environment and human**, v. 1, n. 3, p. 8-23, 2014.

HERCULANO, P. N. *et al.* Cellulase production by *Aspergillus japonicus* URM5620 using waste from castor bean (*Ricinus communis* L.) under solid-state fermentation. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 165, n. 3-4, p. 1057-1067, 2011.

HOLKAR, C. R. *et al.* A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. **Journal of environmental management**, v. 182, p. 351-366, 2016.

HUMPHREY, P. I. The Use of Mass Spectrometry to Differentiate Blue Dyes From Indigo and Woad. **McNair Scholars Research Journal**, v. 10, n. 1, p. 7, 2017.

JADHAV, I. *et al.* Microorganism-based treatment of azo dyes. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 188, 2016.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, n. 1, p. 22-26, 2012.

KARIM, M. E.; DHAR, K.; HOSSAIN, M. T. Decolorization of textile reactive dyes by bacterial monoculture and consortium screened from textile dyeing effluent. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 375-380, 2018.

KHAN, R.; FULEKAR, M. H. Mineralization of a sulfonated textile dye Reactive Red 31 from simulated wastewater using pellets of *Aspergillus bombycis*. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 23, 2017.

KONG, L. *et al.* Removal of brilliant green from aqueous solutions based on polyurethane foam adsorbent modified with coal. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 51-59, 2016.

KUMAR, N. V. *et al.* Lipase production using *Aspergillus japonicus* MF-1 through biotransformation of agro-waste and medicinal oil effluent. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 6, n. 4, p. 2005-2020, 2017.

KUMAR, M. A. *et al.* Role of Bacterial Consortia in Bioremediation of Textile Recalcitrant Compounds. *In: Waste Bioremediation*. **Springer**, Singapore, 2018. p. 165-183.

LELLIS, B. *et al.* Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. **Biotechnology Research and Innovation**, 2019.

LI, S. *et al.* In vivo and in vitro efficient textile wastewater remediation by *Aspergillus niger* biosorbent. **Nanoscale Advances**, v. 1, n. 1, p. 168-176, 2019.

LIMA, L. R. *et al.* Um Estudo Inferencial dos Custos Ambientais e das Estações de Tratamento de Água nas Lavanderias do Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, v. 11, n. 3, 2016

LIMA, D. P. *et al.* N-Acetylation of Aromatic Amines by the Soil Fungus *Aspergillus japonicus* (UFMS 48.136). **Letters in Organic Chemistry**, v. 14, n. 4, p. 227-230, 2017.

LU, T.; ZHANG, Q.; YAO, S. Efficient decolorization of dye-containing wastewater using mycelial pellets formed of marine-derived *Aspergillus niger*. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 25(3), 330–337, 2017.

MAGANHA DE ALMEIDA, A. C.; BACKHAUS, J.; CORSO, C. R. Recycling food waste to clean water: the use of a biodigester's residual liquid inoculum (RLI) to decolourise textile azo dyes. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 2, p. 398-408, 2018.

MAHMOUD, M. S. *et al.* Bioremediation of red azo dye from aqueous solutions by *Aspergillus niger* strain isolated from textile wastewater. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 5, n. 1, p. 547-554, 2017.

MANAGE, P. M. Decolorization of CI *Direct Blue* 201 Textile dye by native bacteria. **International Journal of Multidisciplinary Studies**, v. 4, n. 1, 2017.

MANI, S.; CHOWDHARY, P.; BHARAGAVA, R. N. Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches. *In: Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management*. Springer, Singapore, p. 219-244, 2019.

MATHUR, M. *et al.* Performance evaluation of two *Aspergillus* spp. for the decolourization of reactive dyes by bioaccumulation and biosorption. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 1, p. 345-352, 2018.

MENDES JÚNIOR, B. O. Setor têxtil. **Caderno Setorial ETENE**, ano 2, nº 16, 2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Diagnóstico ambiental - Plano ambiental de conservação e uso do entorno do reservatório artificial Ipojuca. Projeto São Francisco – Água, futuro e cidadania para mais brasileiros. Brasília (DF), 2019.

MOLLA, A. H.; KHAN, H. I. Detoxification of textile effluent by fungal treatment and its performance in agronomic usages. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 11, p. 10820-10828, 2018.

MOUNGUENGUI, S. *et al.* Discoloration and biodegradation of two dyes by white-rot fungi *Perreniporia tephropora* MUCL 47500 isolated in Gabon. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, n. 6, p. 731-741, 2014.

PASIN, T. M. *et al.* Purification and functional properties of a novel glucoamylase activated by manganese and lead produced by *Aspergillus japonicus*. **International journal of biological macromolecules**, v. 102, p. 779-788, 2017.

POZNYAK, T. I.; CHAIREZ ORIA, I.; POZNYAK, A. S. Biodegradation. *In: Ozonation and Biodegradation in Environmental Engineering*. Elsevier, p. 353-388, 2019.

PRZYSTAŚ, W.; ZABŁOCKA-GODLEWSKA, E.; GRABIŃSKA-SOTA, E. Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 285-295, 2018.

RATHER, L. J.; AKHTER, S.; HASSAN, Q. P. Bioremediation: green and sustainable technology for textile effluent treatment. *In: Sustainable Innovations in Textile Chemistry and Dyes*. Springer, Singapore, p. 75-91, 2018.

ROSE, P. K.; DEVI, R. Heavy metal tolerance and adaptability assessment of indigenous filamentous fungi isolated from industrial wastewater and sludge

samples. **Beni-Suef University journal of basic and applied sciences**, v. 7, n. 4, p. 688-694, 2018.

SANDHYA, S. Biodegradation of Azo Dyes Under Anaerobic Condition: Role of Azoreductase. *In: Biodegradation of Azo Dyes*. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer, Berlin, v. 9, p. 39–57, 2010.

SANTOS, E. M. A. *et al.* Anaerobic reactor type UASB conjunction with process Fenton to remove color and chemical oxygen demand textile industry of synthetic wastewater. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017.

SAROJ, S. *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.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Estudo econômico do Arranjo Produtivo Local de confecções do Agreste pernambucano. Recife (PE), 2012.

SEN, S. K. *et al.* Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, p. 112-133, 2016.

SILVA, A. N.; ALMEIDA, H. A. Diagnostico do uso e reuso da água nas lavanderias têxtil de Toritama, PE. *In: II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido*. Editora Realize, v. 1, 2017.

SILVA, R. L. A. *et al.* Fungi of Biotechnological Interest in the Decolouration of Textile Effluents. **Ann Biomed Technol Eng**. 1 (1), v. 1002, 2018.

SINGH, A.; GHOSH, A.; DASTIDAR, M. G. Decolorization of Reactive Yellow 17 Dye Using *Aspergillus tamarii*. *In: Environmental Pollution*. Springer, Singapore, 2018. p. 309-316.

SINGH, R. K. *et al.* Fungi as potential candidates for bioremediation. *In: Abatement of Environmental Pollutants*. Elsevier, 2020. p. 177-191.

TANG, A. Y. L.; LO, C. K. Y.; KAN, C. Textile dyes and human health: a systematic and citation network analysis review. **Coloration Technology**, v. 134, n. 4, p. 245-257, 2018.

VARJANI, S. J. *et al.* Introduction to waste bioremediation. *In: Waste Bioremediation*. Springer, Singapore, 2018. p. 1-5.

VIANA, M. A. *et al.* Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p. 061-068, 2018.

YUSUF, M.; SHABBIR, M.; MOHAMMAD, F. Natural colorants: Historical, processing and sustainable prospects. **Natural products and bioprospecting**, v. 7, n. 1, p. 123-145, 2017.

ZHENG, Y. *et al.* Photoactivatable aggregation-induced emission of triphenylmethanol. **Chemical Communications**, v. 53, n. 81, p. 11130-11133, 2017.

## APÊNDICE A — Artigo publicado no livro *Semiárido Brasileiro*

### DESCOLORAÇÃO DE CORANTE TÊXTIL UTILIZANDO O FUNGO FILAMENTOSO *Aspergillus* sp. URM 5741

Nayara Vitória dos Santos Cruz<sup>1</sup>; Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>2</sup>; Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>1</sup>; Raphael Luiz Andrade Silva<sup>1</sup>; Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>1</sup>; Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>1</sup>; Márcia Vanusa da Silva<sup>2</sup>; Ana Lúcia Figueiredo Porto<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, CEP: 50670-901, Recife – PE, Brasil.

Publicação: Livro *Semiárido Brasileiro* – Volume 5/Organização Editora Poisson – Belo Horizonte - MG: Poisson, 2020

DOI: 10.36229/978-65-86127-03-4.CAP.20

ISBN: 978-65-86127-03-4

#### RESUMO

Corantes sintéticos são os mais usados nas fábricas têxteis e de tinturarias, devido a facilidade de uso, custo-benefício e quantidade de cores, em comparação com corantes naturais. Sua utilização desmedida tem causado impactos devido a liberação em efluentes das indústrias têxteis, portanto, sendo necessário alternativas para remoção desses compostos antes de serem lançados em conjunto com os efluentes nos diversos ambientes. Dessa maneira, o presente trabalho objetivou realizar a descoloração do corante comercial têxtil 78GR Turquesa, a fim de avaliar sua remoção através do emprego do fungo filamentoso do gênero *Aspergillus* sp. URM 5741. A partir da utilização da biomassa fúngica em quantidade de 1 g, 4 g e 8 g para descoloração do corante em agitação (120 RPM) durante 2 horas. Foi observado que a porcentagem de descoloração aumentou em relação ao tempo e a quantidade de biomassa, sendo obtido 69% de descoloração do corante com apenas 1g, 92% com 4g e 98% com 8g de biomassa, apenas nos primeiros 15 min de experimento. Conclui-se assim que o microrganismo *Aspergillus* sp., apresentou capacidade em descolorir esse corante, em pequenas quantidades de biomassa e pouco tempo. Portanto, o gênero *Aspergillus* é um potencial microrganismo a ser empregado no tratamento de áreas contaminadas por corantes têxteis, de forma barata, rápida e eficiente.

Palavras-chave: Biorremediação, Corante sintético, Fungos filamentosos.

## INTRODUÇÃO

Com a crescente urbanização e industrialização, diversos compostos químicos, incluindo compostos orgânicos, como os corantes, têm sido extensivamente produzidos e utilizados diariamente (Rani *et al.*, 2014). Os corantes se aderem ao substrato por compatibilidade, fornecendo cor pelo menos temporariamente, a partir de retenção mecânica, ligações iônicas, ligações químicas covalentes ou por adsorção física (Manage, 2017). Os corantes sintéticos são os mais usados nas fábricas têxteis e de tinturarias, devido a características como: facilidade de uso, custo-benefício e quantidade de cores, quando comparados aos corantes naturais (Namdhari *et al.*, 2012).

Atualmente são conhecidos mais de 100 mil corantes sintéticos, no entanto, não se conhece a quantidade exata em toneladas da produção desses corantes, sabendo-se, entretanto, que dois terços equivalem a corantes têxteis (Garg e Tripathi, 2017; Santos *et al.*, 2017). Do equivalente de corantes utilizados nas indústrias, aproximadamente 15% é perdido durante o processamento, por não se aderirem às fibras de têxteis, sendo descartados nos efluentes ou tornando-se lodos (Maganha de Almeida *et al.*, 2018).

A molécula dos corantes apresenta, em geral, pelo menos um grupo aromático, podendo conter benzenos, xilenos, toluenos, naftalenos e outros compostos aromáticos, o que pode lhes conferir características tóxicas, mutagênicas, carcinogênicas e bioacumulativas com uma concentração de apenas 3%, mesmo após tratamento (Przystaś *et al.*, 2018).

Segundo Faryal e Hameed (2005) as águas residuais das indústrias que atingem os corpos hídricos superficiais, são provavelmente a maior fonte de contaminação tóxica no meio ambiente, acarretando em riscos à saúde dos ecossistemas de forma principal aos animais e seres humanos (Asgher *et al.*, 2013). Além disso a presença de corantes nos corpos de água interfere de modo negativo na sua estética, solubilidade de gases, turbidez e na transparência, mesmo em pequenas concentrações (Dharajiya *et al.*, 2016), sendo assim é essencial o tratamento das águas residuais antes de seu descarte no meio ambiente.

Com o disseminado uso de corantes sintéticos, a problemática ambiental mais difícil de reparar é justamente remover esses corantes dos efluentes, onde alguns métodos são usados como tratamento (Gül e Dönmez, 2012),

classificados como procedimentos físicos, químicos e/ou biológicos. Segundo El-Rahim e colaboradores (2017) os métodos químicos são os mais utilizados pelas indústrias, e muitas vezes dão origem a outros componentes químicos, ou seja, subprodutos que também são poluentes. Tratamentos físicos e químicos tais como, troca iônica, filtração por membrana, utilização de reagentes de Fenton, osmose reversa, fotoquímica, carvão ativado e ozonização, são geralmente utilizados, entretanto esses métodos acabam originando compostos secundários na forma de lodo, os quais possuem componentes químicos prejudiciais, causando um problema de descarte (Singh *et al.*, 2018).

A partir das desvantagens das técnicas físico-químicas e seus elevados custos para o tratamento, os métodos biológicos surgem como uma alternativa bastante viável. Os tratamentos biológicos têm sido atrativos, principalmente por causarem baixíssimo impacto no ecossistema, por apresentarem ótima relação custo-benefício, além de converter componentes de origem orgânica em produtos não tóxicos (Karim *et al.*, 2017; Ameen e Alshehrei, 2017).

A descoloração de corantes têxteis por meio do método biológico, pode ser realizada por diversos microrganismos, como bactérias, fungos e algas (Telke *et al.*, 2010). Destacando-se os fungos filamentosos, que de acordo com Khan e Fulekar (2017) são atrativos para a biorremediação sobretudo pela capacidade de realizar auto peletização. Além disso os fungos são os microrganismos mais eficazes para tratar resíduos têxteis e realizar a descoloração, pois possuem vantagens em relação aos seres unicelulares, pois seus micélios são capazes de dissolver substâncias insolúveis através da síntese de enzimas extracelulares (Dewi *et al.* 2018).

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo realizar a descoloração do corante comercial têxtil 78GR Turquesa (Corafix) da Coratex®, obtido das lavanderias do Polo de Confecções de Pernambuco, utilizando o fungo filamentoso *Aspergillus sp.* URM 5741, avaliando sua capacidade de descoloração ao longo do tempo e a relação da quantidade de biomassa e a eficiência do processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Preparação do Corante*

O corante comercial têxtil 78GR Turquesa (Corafix) da Coratex®, foi fornecido pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), obtido das lavanderias do Polo de Confeções de Pernambuco. Para aplicação experimental, foi feita uma solução de corante em água deionizada. A concentração final utilizada nos experimentos foi de 50 mg/L.

### *Preparação da biomassa fúngica*

O fungo filamentosso utilizado como agente biorremediador foi o *Aspergillus sp.* URM 5741, obtido na coleção da Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, Brasil, e mantidas em Czapek Dox Agar (Himedia®).

Para fermentação e obtenção da biomassa, o fungo foi inoculado em tubos de ensaio contendo meio Batata Dextrose Ágar (BDA) (KASVI®), incubados a 30°C durante 120 horas. Após completamente esporulados, os esporos foram ressuspensos em uma solução contendo 5ml de salina (0,9%) estéril e 20µL de *Tween* 80, e inoculados em frascos de 250ml contendo 90ml de caldo glicosado (10g/L de extrato de carne, 3g/L de peptona e 20g/L de glicose), na concentração de 10<sup>4</sup> UFC/mL, incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas.

### *Processo de descoloração*

Para esse processo, a biomassa obtida foi lavada e seca em bomba a vácuo, para estimar o peso seco de 1g, 4g e 8g. Essa biomassa foi colocada em frascos de 250 mL, posteriormente hidratada em 90mL de água deionizada e colocada em agitação (120 RPM) durante 15min. Foram adicionados então, 10mL do corante preparado e colocados em agitação (120 RPM). O processo foi monitorado durante 120 min, numa cinética observada a cada 15min, em triplicata. As alíquotas, retiradas durante os processos foram centrifugadas a 12000 RPM durante 5 minutos e o sobrenadante analisado por espectrofotometria UV-VIS de onda simples no comprimento de máxima absorbância do corante (627nm), e os resultados apresentados em porcentagem, segundo a fórmula de Govindwar e colaboradores (2014):

Onde, Descoloração (%) = (Absorbância inicial - Absorbância observada)/  
Absorbância inicial x 100

#### *Curva de calibração do corante e determinação da capacidade de sorção dos micélios*

Para determinar a concentração final após a descoloração foi construída uma curva de calibração do corante de zero a 50 mg/L, analisada em espectrofotometria UV-VIS conforme o comprimento de máxima absorbância do corante. Para determinar a capacidade adsorptiva da biomassa dos fungos foi utilizada metodologia adaptada de Santhi e colaboradores (2009), conforme a equação:  $q = (C_0 - C_f)V/W$ , onde  $q$  expressa a quantidade de corante adsorvido pelo biosorvente (mg/g),  $C_0$  é a concentração inicial do corante (mg/L),  $C_f$  a concentração final do corante (mg/L),  $V$  o volume da solução de corante (L) e  $W$  o peso do biosorvente utilizado (g).

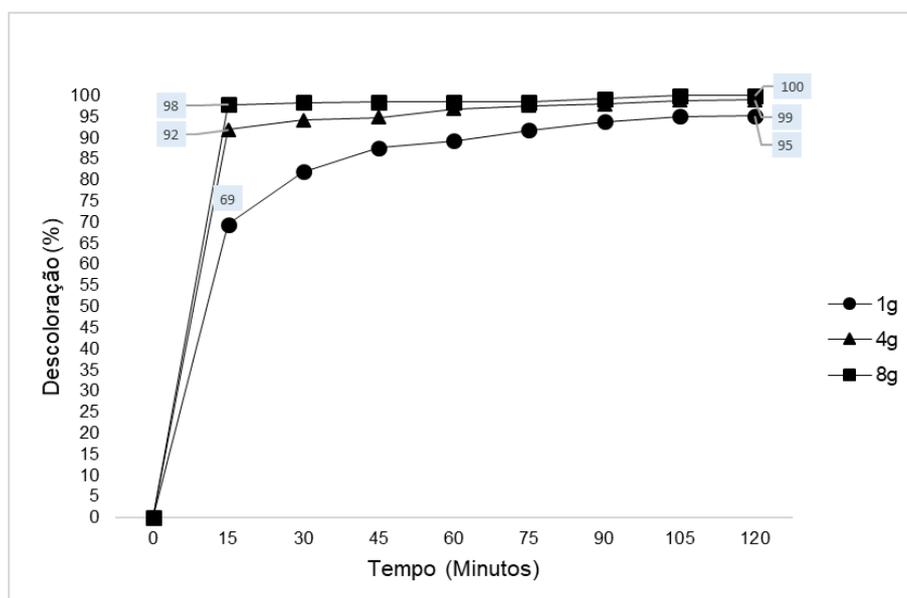
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fermentação submersa permite aos fungos filamentosos, sobretudo fungos do gênero *Aspergillus* uma formação de pellets de micélio que favorecem o processo adsorptivo, chamado ainda de biossorção. Em geral, a adsorção ocorre por interações entre a molécula do corante e a parede celular do fungo, assim, a quantidade de biomassa influi na razão superfície/volume e consequentemente no tempo de descoloração do corante em solução (Vijayaraghavan e Yun, 2007).

A porcentagem de descoloração observada foi aumentada em relação ao tempo e a quantidade de biomassa utilizada (Fig. 1). Onde foi possível obter 69% de descoloração do corante nos primeiros 15 min com apenas 1g de biomassa viva do fungo *Aspergillus sp.* URM 5741, bem como 92% com 4 g de biomassa e 98% com 8 g. Em todos os casos, foi possível observar uma porcentagem de descoloração maior que 60%, em curto período de tempo. Uma eficiência similar foi observada no trabalho de Almeida e Corso (2019), na descoloração de um composto dos corantes *Acid Blue 161* e *Procion Red MX-5B* que utilizou 5 g da biomassa viva de *A. niger*, com um monitoramento de 180 min, onde chegou à descoloração máxima.

Ainda em relação a concentração de biomassa e capacidade de descoloração, o corante *Reactive Red 31* foi descolorido por *Aspergillus bombycis*, onde a máxima descoloração foi atingida pela amostra contendo 12 g de biomassa fúngica (99,58%), mas ótimos resultados também foram encontrados utilizando 10 g e 8 g apresentando respectivamente 99,37% e 98,18% em um período de 12 horas com o corante na concentração de 20 mg/L (Khan e Fulekar, 2017). Entretanto ao comparar com o presente estudo, observa-se uma melhor eficiência da cepa *Aspergillus sp. URM 5741* que descoloriu de forma máxima o corante (50 mg/L) com 8 g de biomassa em apenas 2 horas.

**Figura 1**— Taxa em porcentagem de descoloração, em relação ao tempo do processo, utilizando diferentes quantidades de biomassa.



Fonte: Próprio autor.

Diversas espécies do gênero *Aspergillus* já foram estudadas em processos de descoloração, na Tabela 1. Podem ser verificados dados relativos a outros estudos demonstrando a relação da concentração do corante com o tempo da descoloração, onde a eficiência varia de acordo com a concentração do corante, porém ao comparar com o presente estudo, todos os demais trabalhos apresentam uma distinta eficiência de acordo com a cinética, pois todos os trabalhos levaram no mínimo 24 horas para o processo de descoloração.

**Tabela 1** — Descoloração de corantes sintéticos por diferentes espécies de *Aspergillus*

Microrganismo	Corante	Concentração do corante (mg/L)	Tempo	Taxa de descoloração	Referências
<i>A. flavus</i>	Reactive Red 198	50 mg/L	24 horas	99,11%	Esmaili e Kalantari (2011)
<i>A. flavus</i> A5p1	Direct Blue 71	1000 mg/L	8 dias	75,8%	Ning <i>et al</i> (2018)
	Direct Blue 86	1000 mg/L		89,8%	
	Reactive Blue 19	500 mg/L		72,5%	
<i>A. allhabadii</i> <i>A. sulphureus</i> <i>A.s niger</i>	Reactive Blue MR	200 mg/l	10 dias	95,13%	Namdkari <i>et al</i> (2012)
<i>A. sp. URM 5741</i>				82,62%	
<i>A. sp. URM 5741</i>	78GR Turquesa (Corafix)	50 mg/L	2 horas	100%	Presente estudo

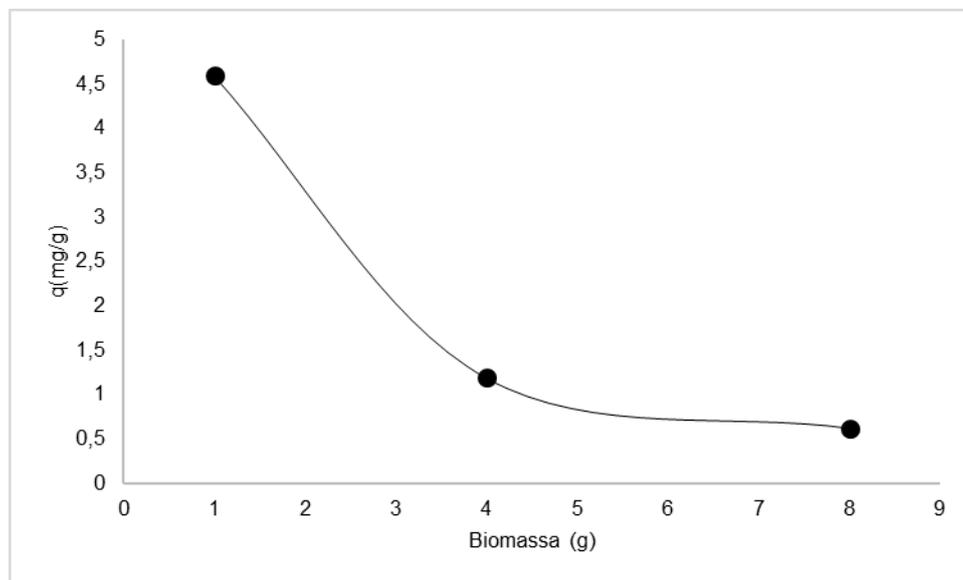
Fonte: Próprio autor.

Na presente investigação a descoloração máxima foi atingida em 120 min com 8 g de biomassa, chegou, também nesse tempo, a 99% com 4 g, no entanto ao calcular uma previsão linear com base nos valores da equação linear média (y) e R2 nota-se que a previsão indica uma descoloração máxima em aproximadamente 114 min. Essa diferença de eficiência entre a previsão e o resultado obtido, ocorreu possivelmente, por mesmo após a centrifugação, partículas de micélio interferirem nas leituras de absorbância. Isso é verificado através da uniformidade dos dados, calculada pelo desvio padrão (DP) entre as absorbâncias, onde para o corante bruto o DP observado foi de 0,007, enquanto ao aproximar-se do período entre 60-90 minutos, aumenta exponencialmente de forma a apresentar os seguintes DPs: 0,026 em 60min, 0,033 em 75min e 0,061 em 90min.

Quando analisada a capacidade adsorptiva da biomassa é possível notar que a mesma diminui à medida que se aumenta a biomassa utilizada (Fig. 2). O mesmo foi observado por Almeida e Corso (2019), que observam que apesar da descoloração ter sido mais rápida e eficiente com o aumento da massa do biosorvente, há uma diminuição da capacidade de sorção dos pellets do fungo, possivelmente ocorrendo pela diminuição da superfície de contato da biomassa com o meio, por não permitir a descompactação das hifas. É possível ainda, relacionar esse efeito a maior disponibilidade de superfície de contato, que faz com que rapidamente o corante se fixe a pellets diferentes, fazendo com que não se utilize totalmente a capacidade da biomassa, isso fica claro quando

observado que nos primeiros 15 min a concentração do corante no meio era apenas de 1,6 mg/L no tratamento com 8 g, enquanto apresentou 26,3 mg/L no tratamento com 1g.

**Figura 2:** Capacidade de adsorção da biomassa do fungo *Aspergillus sp.* URM 5741



Fonte: Próprio autor.

## CONCLUSÃO

Com a problemática atual relacionada ao descarte inadequado de corantes sintéticos nos corpos hídricos, e com o elevado custo dos métodos químicos e físicos, a biorremediação surge como uma vantajosa alternativa. A partir deste estudo foi possível constatar que, a cepa

*Aspergillus sp.* URM 5741 possui a habilidade em descolorir o corante têxtil 78GR Turquesa (Corafix), mesmo em pequenas quantidades de biomassa, como foi constatado no experimento contendo apenas 1 g, além de ter demonstrado máxima descoloração, durante o processo de apenas 2 horas na utilização de 4 e 8 g de biomassa. Mesmo tendo obtido os promissores resultados, entende-se que ainda são necessários mais estudos a fim de verificar possíveis condições que possam favorecer o processo de descoloração, como temperatura, pH e tempo, além de realizar demais experimentos utilizando diversos tipos de corante verificando assim a possibilidade de descoloração pela cepa fúngica em questão.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, Decolorization and removal of toxicity of textile azo dyes using fungal biomass pelletized. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 3, p. 1319- 1328, 2019

AMEEN, F.; ALSHEHREI, F. Biodegradation optimization and metabolite elucidation of Reactive Red 120 by four different *Aspergillus* species isolated from soil contaminated with industrial effluent. **Annals of microbiology**, v. 67, n. 4, p. 303-312, 2017.

ASGHER, M. *et al.* Enhanced decolorization of Solar brilliant red 80 textile dye by an indigenous white rot fungus *Schizophyllum commune* IBL-06. **Saudi journal of biological sciences**, v. 20, n. 4, p. 347-352, 2013.

DEWI, R. S. *et al.* Bioremediation of Indigosol Blue 04B Batik Effluent by Indigenous Fungal Isolates, *Aspergillus spp.* **Omni-Akuatika**, v. 14, n. 2, p. 11-20, 2018.

DHARAJIYA, D.; SHAH, M.; BAJPAI, B. Decolorization of Simulated Textile Effluent by *Phanerochaete chrysosporium* and *Aspergillus fumigatus* A23. **Nature Environment & Pollution Technology**, v. 15, n. 3, 2016.

EL-RAHIM, W. M. A. *et al.* Optimization of conditions for decolorization of azo-based textile dyes by multiple fungal species. **Journal of biotechnology**, v. 260, p. 11-17, 2017.

ESMAEILI, A.; KALANTARI, M. Bioremoval of an azo textile dye, Reactive Red 198, by *Aspergillus flavus*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 3, p. 11251131, 2012.

FARYAL, R. A. N. I.; HAMEED, A. Isolation and characterization of various fungal strains from textile effluent for their use in bioremediation. **Pakistan Journal of Botany**, v. 37, n. 4, p. 1003-1008, 2005.

GARG, S. K.; TRIPATHI, M. Microbial strategies for discoloration and detoxification of azo dyes from textile effluents. **Research Journal Microbiology**, v. 12, p. 1-19, 2017.

GOVINDWAR, S. P. *et al.* Decolorization and degradation of xenobiotic azo dye Reactive Yellow-84A and textile effluent by *Galactomyces geotrichum*. **Chemosphere**, v. 109, p. 234238, 2014.

GÜL, Ü. D.; DÖNMEZ, G. Effects of dodecyl trimethyl ammonium bromide surfactant on decolorization of Remazol Blue by a living *Aspergillus versicolor* strain. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 15, n. 6, p. 797-803, 2012.

KARIM, M. E.; DHAR, K.; HOSSAIN, M. T. Co-metabolic decolorization of a textile reactive dye by *Aspergillus fumigatus*. **International journal of environmental science and technology**, v. 14, n. 1, p. 177-186, 2017.

KHAN, R.; FULEKAR, M. H. Mineralization of a sulfonated textile dye Reactive Red 31 from simulated wastewater using pellets of *Aspergillus bombycis*. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 23, 2017.

KUMAR, C. G. *et al.* Decolorization and biodegradation of triphenylmethane dye, brilliant green, by *Aspergillus sp.* isolated from Ladakh, India. **Process biochemistry**, v. 47, n. 9, p. 1388-1394, 2012.

MAGANHA DE ALMEIDA, A. C.; BACKHAUS, J.; CORSO, C. R. Recycling food waste to clean water: the use of a biodigester's residual liquid inoculum (RLI) to decolourise textile azo dyes. **Water Science and Technology**. v. 77, n. 2, p. 398-408, 2018.

MANAGE, P. M. Decolorization of CI Direct Blue 201 Textile dye by native bacteria. **International Journal of Multidisciplinary Studies**. v. 4, n. 1, 2017.

NAMDHARI, B. S. *et al.* Decolorization of reactive blue MR, using *Aspergillus* species isolated from textile waste water. **ISCA J Biol Sci**, v. 1, n. 1, p. 24-29, 2012.

NING, C. *et al.* Decolorization of a variety of dyes by *Aspergillus flavus* A5p1. **Bioprocess and Biosystems Engineering**. v. 41, n. 4, p. 511-518, 2018.

OLUFUNKE, F. O. T. *et al.* Isolation, characterization and decolorization of textile dyes by fungal isolates from textile effluents. **International Journal of Biological Research**. v. 4, n.1, p. 46-51. 2016.

PRZYSTAŚ, W.; ZABŁOCKA-GODLEWSKA, E.; GRABIŃSKA-SOTA, E. Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 285-295, 2018.

RANI, B. *et al.* Bioremediation of dyes by fungi isolated from contaminated dye effluent sites for bio-usability. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 3, p. 1055-1063, 2014.

SANTHI, T. *et al.* Uptake of cationic dyes from aqueous solution by bioadsorption onto granular *Cucumis sativa*. **Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation**, v. 4, n. 1, p. 29-35, 2009.

SANTOS, E. M. A. *et al.* Anaerobic reactor type UASB conjunction with process Fenton to remove color and chemical oxygen demand textile industry of synthetic wastewater. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017.

SINGH, A. *et al.* Decolorization of Reactive Yellow 17 Dye Using *Aspergillus tamarii*. **Environmental Pollution**. v. 77, p. 309- 316, 2018.

TELKE, A. A. *et al.* Biochemical characterization and potential for textile dye degradation of blue laccase from *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 15, n. 4, 2010.

VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y.-S. 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.

## APÊNDICE B — Artigo publicado na revista *Brazilian Journal of Development*

DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE DE UMA LAVANDERIA DE BENEFICIAMENTO TÊXTIL LOCALIZADA EM TORITAMA/PE POR FUNGO FILAMENTOSO / EFFLUENT DECOLORATION OF A TEXTILE BENEFITING LAUNDRY LOCATED IN TORITAMA / PE BY FILAMENT FUNGUS

Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>1</sup>; Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>2</sup>; Nayara Vitória dos Santos Cruz<sup>1</sup>; Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>1</sup>; Raphael Luiz Andrade Silva<sup>1</sup>; Thiago Pajeú Nascimento<sup>1</sup>; Débora Cristina Silva Nascimento<sup>2</sup>; Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>1</sup>; Márcia Vanusa da Silva<sup>2</sup>; Ana Lúcia Figueiredo Porto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N - Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife-PE, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, CEP: 50670-901, Recife – PE, Brasil.

Publicado em 23/01/2020 na *Brazilian Journal of Development*

DOI: 10.34117/bjdv6n1-240

Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 1, p.3338- 3350 jan. 2020. ISSN 2525-8761

### RESUMO

Durante a atividade do setor industrial têxtil grandes quantidades de efluentes são gerados, configurados por sua forte coloração, condição que tem levantado preocupações devido os impactos causados por esses efluentes como, processo de eutrofização e redução da taxa fotossintética nos corpos hídricos, além de apresentarem potencial tóxicos bioacumulativo. Dessa maneira, o presente trabalho teve por objetivo analisar a potencialidade do fungo *Aspergillus* sp. URM 5741 no biotratamento de efluente têxtil, especialmente na descoloração do efluente de acordo com a variação da massa do adsorvente. Foram utilizadas 1g e 4g da biomassa do fungo no processo de tratamento do efluente têxtil real sob condições de agitação (120 RPM) durante 48 horas de ensaio, analisados em cinética de 120 min a cada 15 min, e posteriormente a cada 24 horas. Verificou-se que a biomassa foi capaz de descolorir 81% e 92% com 1g e 4g, respectivamente, durante 24 horas de experimento. Após 48 horas houve um aumento na absorvância observada para o tratamento com 4g, indicando que além de descolorir, outros compostos do efluente estão sendo particulados. Em síntese, o *Aspergillus* utilizado se mostrou como microrganismo com potencial capacidade de aplicação para o tratamento biológico de ambientes contaminados com efluentes do setor têxtil.

Palavras-chave: Efluente têxtil, Fungo filamentoso, Tratamento biológico.

## INTRODUÇÃO

Uma das consequências do crescimento populacional, aumento nas taxas de consumo e conseqüente crescimento das atividades industriais é a geração de grandes quantidades de resíduos de diferentes compostos, havendo a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento desses resíduos, de forma a mitigar os impactos existentes (Ozturk *et al.*, 2016).

Embora exista a preocupação em evitar a contaminação ambiental, esta ocorre continuamente através das atividades industriais, onde há geração de resíduos cuja destinação é o lançamento no meio ambiente. Dentre os segmentos industriais, a indústria têxtil apresenta significativa importância no cenário econômico, sendo considerado uma atividade de grande impacto ambiental, dessa forma, o beneficiamento do jeans tem sido evidenciado como contribuinte da poluição do solo e de corpos hídricos, por empregar substâncias químicas em suas etapas que dificultam o tratamento dessas águas residuais, que por sua vez, apresentam uma composição complexa, contendo uma grande quantidade de corantes sintéticos, surfactantes, ácidos, bases, sais, aditivos, entre outras substâncias tóxicas, além de consumir elevadas quantidades de água que retornam ao ambiente como efluente (Aquino Neto, 2011; Imran *et al.*, 2015; Arikan *et al.*, 2019).

Os efluentes têxteis gerados nas indústrias e lavanderias apresentam uma forte coloração característica, devido a presença de corantes que não se fixam à fibra durante a etapa de tingimento. Almeida e Corso (2019) estimam que 10 a 15% da carga de corantes seja liberada durante o processamento têxtil, assim, o lançamento de efluentes, sem tratamento prévio, no meio ambiente, ocasiona desequilíbrio ambiental e compromete o ecossistema aquático que, decorrente da eutrofização do meio, dificulta a penetração da luz solar nas camadas mais profundas, acarretando na redução da taxa fotossintética e conseqüente efeitos negativos à fauna e flora aquática, além disso, tais compostos possuem a característica bioacumulativa nos organismos, podendo ocasionar danos à saúde humana como efeitos alergênicos e mutagênicos (Carneiro *et al.*, 2010; Song *et al.*, 2017). O lançamento de efluentes sem tratamento prévio adequado, afeta também a disponibilidade de água doce, devido alterações na qualidade da água dos corpos hídricos que recebem esses

compostos, tornando essa água imprópria para atividades, assim como para consumo humano (Unesco, 2017).

Segundo a Resolução nº 430 de maio/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor após tratamento prévio, obedecendo às condições e padrões previstos na resolução, como por exemplo, pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40°C tendo uma variação máxima de 3°C na zona de mistura entre o corpo receptor e o efluente, não devendo esse efluente causar ou possuir potencial para causar efeito tóxico aos organismos aquáticos no corpo receptor.

Ainda são em menor proporção as empresas do setor têxtil que fazem o tratamento de seus efluentes. Algumas corporações têxteis têm usado métodos físico-químicos convencionais para o tratamento de águas residuais, 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; Yesilada *et al.*, 2018). 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 em geral não tóxicos. Dessa forma, a biorremediação tem sido destaque frente a outros métodos por ser efetivo e menos oneroso, consistindo na aplicação de microrganismos - como algas, bactérias e fungos - de forma que utilizem sua capacidade intrínseca para atuar na remoção de compostos (Khan *et al.*, 2013; Rather *et al.*, 2018). Assim, há uma acentuada busca por microrganismos que apresentem maior capacidade para biorremediar os resíduos dos efluentes, de forma que o processo confira baixo custo e este seja eficiente.

A aplicação de fungos filamentosos no processo de biotratamento de efluentes têxteis é uma alternativa atraente devido a possibilidade de mineralização parcial ou total de contaminantes, sobretudo de corantes sintéticos. Uma vez que, tais fungos estão presentes em todos os ambientes, e geralmente se adaptam rapidamente a diferentes condições e a várias fontes de carbono e nitrogênio, essenciais a sua sobrevivência (Solís *et al.*, 2012; Karim *et al.*, 2017).

Órgãos ambientais e pesquisadores enfrentam o gargalo atual da poluição nos cursos de água em conjunto com a crescente demanda por recursos hídricos, sendo assim, é necessário adotar novas posturas sobre a gestão das águas. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho objetivou analisar o processo de descoloração de efluentes têxteis de uma lavanderia de Toritama-PE, a partir da biomassa do fungo *Aspergillus* sp. URM 5741, afim de avaliar seu desempenho em descolorir o efluente ao longo do tempo, bem como analisar a relação entre a quantidade de biomassa e eficiência do processo, sendo esta, uma forma de atestar a atuação positiva desse microrganismo no tratamento do efluente têxtil, proporcionando assim, benefícios ambientais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Efluente Têxtil*

O efluente têxtil real, apresentado na figura 1, foi coletado da lavanderia, localizada em Toritama município do Estado de Pernambuco no Brasil, sendo o efluente constituído por detergente, amaciante, metabissulfito, abrasivo, permanganato e pelo corante *Blue BlackLeve 303* utilizado pela Jolitex LTDA. Após coletado, o efluente foi transportado em recipiente plástico para o laboratório e mantido em refrigeração a 6°C para evitar sua degradação e proliferação bacteriana.

**Figura 1** — Efluente contendo corante *Blue BlackLeve 303*, coletado de uma lavanderia de Toritama, município do Estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: Próprio autor.

### *Obtenção da Biomassa Fúngica*

A estirpe fúngica de *Aspergillus* sp. URM 5741, foi obtida da coleção da Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil. Sendo mantidas em Czapek Dox Agar (Himedia®).

Para o crescimento, o fungo foi reativado em meio Batata Dextrose Ágar (BDA) (KASVI®) e incubado em câmara BOD (Biochemical Oxygen Demand) a 30°C durante 120 horas. Após completamente esporulados, os esporos foram ressuspensos em solução NaCl a 0,9% (m.v-1) contendo *Tween* 80, em seguida foram inoculados na concentração de 10<sup>4</sup> UFC/μL em erlenmeyers de 250mL contendo caldo glicosado (20g.L<sup>-1</sup> de glicose, 10g.L<sup>-1</sup> de extrato de carne, 3g.L<sup>-1</sup> de peptona) incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas.

### *Processo de Descoloração*

Após quatro dias de fermentação, a biomassa foi lavada com água deionizada, e filtrada em papel filtro, como representado na figura 2, por meio de uma bomba a vácuo.

Posteriormente a biomassa foi pesada para estimar o peso seco de 1g e 4g, sendo transferidas para erlenmeyers de 250mL, onde foram adicionados 100ml de efluente real contendo o corante *Blue BlackLeve*, em seguida foram colocados em incubadora de agitação a 120 RPM, sendo monitorados durante 48 horas. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e expressos em termos de porcentagem.

**Figura 2 — Biomassa do fungo *Aspergillus* sp. URM 5741 após filtração na bomba a vácuo.**



Fonte: Próprio autor.

Foram retiradas alíquotas de 1mL a cada 15 minutos na primeira e segunda hora, e posteriormente em 24h e 48h do experimento. Os sobrenadantes das amostras foram analisados por espectrofotometria UV-VIS em comprimento de onda simples a partir da absorbância máxima do efluente, a taxa de descoloração do efluente foi determinada segundo Govindwar e colaboradores (2014), calculada seguindo a fórmula:

$$\text{Descoloração (\%)} = [ (A_i - A_t) / A_i ] \times 100 \quad (1)$$

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

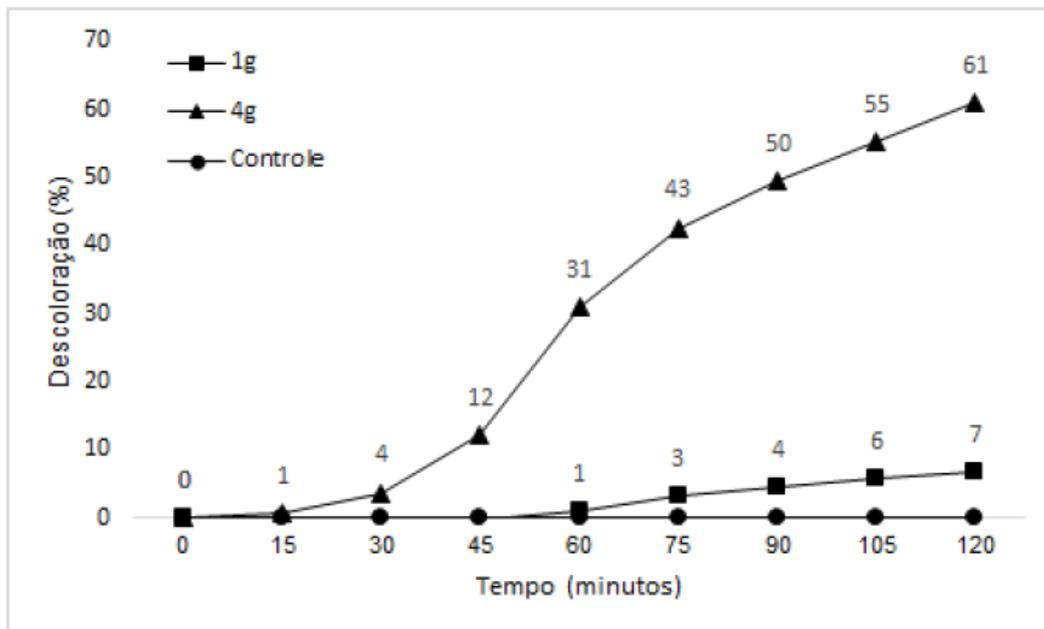
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O setor têxtil detém dois terços do mercado total de corante, sendo responsável pela maior parte da fabricação, uso e descarte dessas substâncias em forma de efluentes (Azevedo *et al.*, 2019). O lançamento de efluentes têxteis, contendo corantes, nos ambientes aquáticos, gera impactos negativos em termos de carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), pH e turbidez comprometendo a qualidade da água e a fauna e flora local (Arikan *et al.*, 2019). No entanto, por serem poluentes emergentes, os corantes não são fiscalizados quanto à liberação e concentração nos efluentes (Bittencourt *et al.*, 2016), nem mesmo pelo Índice de Qualidade das Águas (IQA) do Brasil, por isso a preocupação inicial deste trabalho foi em torno da retirada das partículas de corantes do efluente têxtil.

O efluente utilizado apresentou máxima absorbância inicial de 2.474, mostrando-se extremamente concentrado, apresentando comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 649nm, correspondente à faixa de luz visível referente a coloração complementar a qual foi apresentada. A maior porcentagem de descoloração (61%) desse efluente foi observada utilizando 4g de biomassa do fungo, em 120 min de ensaio. Havendo uma clara diferença entre a eficiência de descoloração do tratamento com 1g e 4g de biomassa, nos primeiros 120 min, onde 1g de biomassa chegou a descolorir apenas 7% do efluente, como ilustrado na figura 3. Arikan e colaboradores (2019), também relataram a influência da quantidade de biomassa na remoção da cor do efluente, ao observarem máximas taxas de

descoloração de 73,7% do efluente (100mL) de indústria têxtil, no terceiro dia de experimento, pelo *Aspergillus carbonarius* M333 (3cm<sup>3</sup>) imobilizado em Esponja Polimérica Macroporosa (MPPS), e ao aumentarem para 9cm<sup>3</sup> de *Aspergillus c.* imobilizado, obtiveram uma máxima taxa de descoloração de 85,7%, no terceiro dia de ensaio.

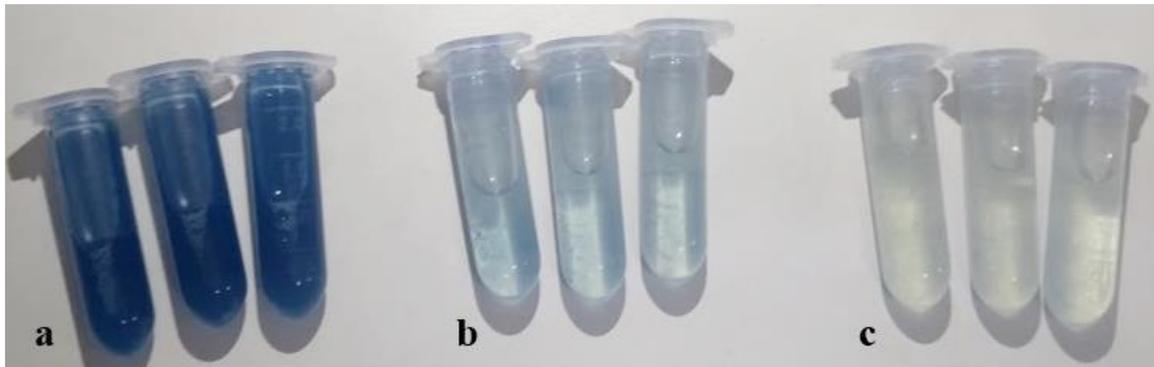
**Figura 3** — Descoloração do efluente coletado no município de Toritama, PE, por *Aspergillus* sp. (1g e 4g) sob agitação (120 RPM) a 30°C, durante 2 horas de experimento.



Fonte: Próprio autor.

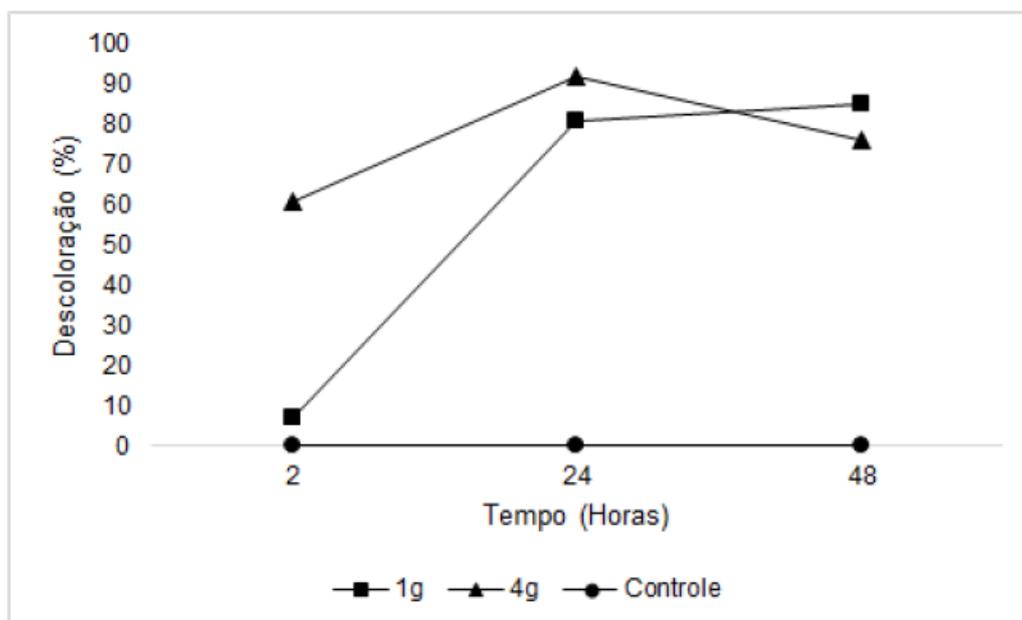
No entanto, ao observar a descoloração em 24h essa diferença diminuiu, como ilustrado na figura 4, atingindo 81% de remoção da cor com 1g e 92% com 4g de biomassa, como apresentado na figura 5. O aumento da porcentagem de descoloração, acontece porque houve um maior tempo de contato entre o bioissorvente e o efluente, possibilitando assim, maior tempo de interação entre as moléculas da parede e membrana celulares e as moléculas do efluente colorido (Ettelaie e Akinshina, 2014). Isso mostra que na análise com 4g, a biomassa pode ter saturado ou ter iniciado uma produção enzimática fazendo com que haja um aumento de sólidos particulados no meio, o que é indicado, inclusive pela mudança de coloração do tratamento, como pode ser observado na figura 4.

**Figura 4** — Descoloração do efluente contendo o corante *Blue BlackLeve 303*, por *Aspergillus* sp. URM 5741 após 24 horas de experimento. a- Controle, b- tratamento com 1g de biomassa, c- tratamento com 4g de biomassa.



Fonte: Próprio autor.

**Figura 5** — Descoloração do efluente contendo o corante *Blue BlackLeve 303*, por *Aspergillus* sp. URM 5741 (1g e 4g) sob agitação (120 RPM) a 30°C, durante 48 horas de experimento.



Fonte: Próprio autor.

Quando analisada a decoloração do tratamento com 48h, conforme a figura 5, é possível notar uma diminuição da taxa de decoloração com biomassa de 4g e um aumento da taxa de decoloração com 1g de biomassa. Essa observação indica que possivelmente, além de descolorir o efluente num processo adsortivo, processo mais comum em estudos com fungos do gênero *Aspergillus* sp. (Almeida e Corso, 2019), o fungo pode estar biotratando outros componentes, ou ainda, produzindo enzimas oxidativas, uma vez que esses

processos levam a quebra de partículas, e assim, o aumento da absorvência observada.

## CONCLUSÃO

Novas buscas por produtos industriais vem sendo requerido, essa demanda tem elevado os níveis do consumo de água para produção, sendo destaque o setor têxtil por consumir exorbitantes quantidades de água utilizadas em seus processos, dessa forma, é de fundamental importância que nos processos produtivos sejam implementadas intervenções referente à gestão da água, tendo em vista a perspectiva de amenizar a crise hídrica devido ao gerenciamento inadequado desse recurso, sendo necessário uma consonância entre a disponibilidade hídrica e as correspondentes demandas.

Dessa maneira, o presente trabalho se mostrou como uma eficiente alternativa frente a problemática da poluição em cursos de água contendo corantes do setor têxtil, apresentando significativo resultado de remoção desses compostos em apenas 24 horas pelo emprego do fungo filamentososo do gênero *Aspergillus*, com diferentes valores de biomassa. Tal microrganismo tem grande potencial para a aplicação prática no âmbito biotecnológico ambiental como a descoloração de diferentes efluentes que contenham corantes.

Em síntese, a metodologia utilizada neste trabalho, para o processo de tratamento de efluente têxtil a partir do emprego do microrganismo, pode corroborar como uma importante ferramenta mitigadora dos impactos causados pelo lançamento de forma inadequada desse efluente, possibilitando a reutilização de água do setor têxtil, beneficiando, não somente o meio ambiente, como também as indústrias, que ao fazer o reuso, reduzem custos com a obtenção da água, e a comunidade local que está situada no agreste pernambucano, cuja região sofre com a escassez de água, dessa forma, sendo de fundamental importância água de boa qualidade para utilização em diversos fins. Portanto, os próximos passos são as análises quanto ao tratamento de outros compostos no efluente, a fim de se estabelecer condições como DQO, DBO, turbidez, pH entre outros padrões previstos na resolução do CONAMA pela aplicação do fungo do gênero *Aspergillus*, permitindo a reutilização da água.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Decolorization and removal of toxicity of textile azo dyes using fungal biomass pelletized. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 3, p. 1319-1328, 2019.

AQUINO NETO, S. *et al.* Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química Nova**, v.34, n.8, p.1468-1471, 2011.

ARIKAN, E. B. *et al.* Investigation of immobilized filamentous fungi for treatment of real textile industry wastewater using up flow packed bed bioreactor. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100197, 2019.

ARIKAN, E. B. *et al.* Investigation of immobilized filamentous fungi for treatment of real textile industry wastewater using up flow packed bed bioreactor. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100197, 2019.

AZEVEDO, P. H. A. *et al.* Avaliação do potencial do bagaço de caju como adsorvente na remoção de corantes em efluentes industriais. 2019.

BITTENCOURT, S. *et al.* Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 43-53, 2016.

CARNEIRO, P. A. *et al.* Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. **Journal of hazardous materials**, v. 174, n. 1-3, p. 694-699, 2010.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. 2011. Resolução Nº 430. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 28 set. 2019.

ETTELAIE R.; AKINSHINA A. Colloidal interactions induced by overlap of mixed protein + polysaccharide interfacial layers. **Food Hydrocolloids**, v. 42, p. 106–117, 2014.

GOVINDWAR, S. 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.

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

KADAM, A. 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.

KARIM, M. E. *et al.* Co-metabolic decolorization of a textile reactive dye by *Aspergillus fumigatus*. **International journal of environmental science and technology**, v. 14, n. 1, p. 177-186, 2017.

KHAN, R. *et al.* Microbial decolorization and degradation of synthetic dyes: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 75-97, 2013.

OZTURK, E. *et al.* Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill. **Journal of cleaner production**, v. 130, p. 92-102, 2016.

RATHER, L. J. *et al.* Bioremediation: green and sustainable technology for textile effluent treatment. In: **Sustainable Innovations in Textile Chemistry and Dyes**. Springer, Singapore, 2018. p. 75-91.

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

SONG, L. *et al.* Performance of a newly isolated salt-tolerant yeast strain *Pichia occidentalis* G1 for degrading and detoxifying azo dyes. **Bioresource technology**, v. 233, p. 21-29, 2017.

UNESCO. 2017. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. **The United Nations world water development report, 2017: Wastewater: an untapped resource**. Fatos e Números. 12p. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552\\_por?posInSet=2&queryId=b376daf3-3636-4387-920e-5dabd7f5088d](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_por?posInSet=2&queryId=b376daf3-3636-4387-920e-5dabd7f5088d). Acesso em: 26 set. 2019.

YESILADA, O. *et al.* Bioremediation and decolorization of textile dyes by white rot fungi and laccase enzymes. In: **Mycoremediation and environmental sustainability**. Springer, Cham, 2018. p. 121-153.

**APÊNDICE C– Depósito de patente número BR 10 2019 025957 4****FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR  
BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E  
RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO****RELATÓRIO DESCRITIVO****Campo da Invenção**

**[001]** A invenção é referente a um filtro biológico compreendendo um cartucho de biomassa de fungos filamentosos, para tratamento por bioissorção, independente de condições ambientais, realizado em até 120min, de efluentes coloridos. Esta invenção está situada no campo da Biotecnologia, aplicável ao tratamento de águas residuais coloridas, principalmente de efluentes industriais e de lavanderias têxteis.

**Antecedentes da Invenção**

**[002]** O segmento têxtil é um dos setores industriais que mais gera poluição e impactos ambientais no mundo, sobretudo a partir da produção de águas residuais, estimando-se que 17-20% da poluição industrial da água seja causada por esse segmento industrial (Jegatheesan *et al.*, Bioresource technology, v. 204, p. 202-212, 2016). Uma vez que para cada quilo de tecido são despejados entre 40 a 65 litros de efluentes, durante o processo de tingimento (Imran *et al.*, Reviews in Environmental Science and BioTechnology, v. 14, n. 1, p. 73-92, 2015). Esses efluentes apresentam variabilidade significativa quanto a pH, temperatura e concentração de demanda química de oxigênio (DQO), isso por conterem um elevado teor orgânico, sólidos suspensos, aditivos, detergentes, agentes tensoativos e alta carga de corantes sintéticos (Phugare, Ecotoxicology and environmental safety, v. 74, n. 5, p. 1288-1296, 2011; Santos *et al.*, Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017).

**[003]** São conhecidos mais de 100 mil corantes comerciais, divididos em classes, de acordo com sua estrutura química (Garg & Tripathi, *Research Journal Microbiology*, v. 12, p. 1-19, 2017). A molécula dos corantes é composta por duas partes: grupos auxiliares, que propiciam a afinidade do corante pela fibra têxtil, seja ela natural ou sintética; e um grupo cromóforo, que é responsável pela cor visível que o composto apresenta. Os cromóforos podem ser do tipo azo, trifenilmetano, indigo, nitro, antraquinona e outros, e assim, a molécula pode conter benzenos, xilenos, toluenos, naftalenos e outros compostos aromáticos (Gürses *et al.*, *Dyes and Pigments*. Springer, Cham, p. 13-29, 2016). Essa composição faz com que sejam recalcitrantes e reativos, resistentes a luz, umidade e a ação de agentes oxidantes, podendo ser tóxicos, mutagênicos, carcinogênicos e bioacumulativos com uma concentração de apenas 3%, mesmo após tratamento (Przystaś *et al.*, *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 49, n. 2, p. 285-295, 2018; Maganha de Almeida *et al.*, *Water Science and Technology*, v. 77, n. 2, p. 398-408, 2018).

**[004]** Entre todos os tipos de corantes sintéticos comerciais, os azo corantes compõem a maior classe, representando até 70% dos corantes têxteis totais utilizados (Tan *et al.*, *Bioresource technology*, v. 158, p. 321-328, 2014).

**[005]** Apesar de sua estabilidade e das diversas estruturas, os corantes azo, assim como os das demais classes são perdidos em grandes escalas durante os processos de tingimento. Os rendimentos de fixação são baixos, variando entre 50 e 90%, devido à hidrólise nos banhos. Efluentes contêm, assim, uma mistura de corantes, com concentrações entre 0,01 e 0,8 g.L<sup>-1</sup> (Jonstrup *et al.*, *Desalination*, v. 280, n. 1, p. 339-346, 2011). As águas coloridas contêm, apenas de corantes do tipo azo, entre 7x10<sup>5</sup> e 4,5x10<sup>6</sup> toneladas de partículas que não se ligaram às fibras de tecido, correspondendo a cerca de 15% do utilizado anualmente (Maganha de Almeida *et al.*, *Water Science and Technology*, v. 77, n. 2, p. 398-408, 2018).

**[006]** O lançamento de compostos coloridos em corpos hídricos afeta diretamente a qualidade da água, tornando o efluente prejudicial devido ao seu impacto ecossistêmico, sobretudo a diminuição da capacidade fotossintética, pela presença de particulados, afetando assim, toda a produção do corpo aquático (Garg & Tripathi, *Research Journal Microbiology*, v. 12, p. 1-19, 2017), e pelo seu impacto a saúde pública por serem bioacumulativos (Sen *et al.*, *Fungal Biology Reviews*, v. 30, n. 3, p. 112-133, 2016), pela natureza cancerígena de muitos desses corantes e seus produtos de degradação (Senthilkumar *et al.*, *Chemical Engineering Journal*, v. 166, n. 1, p. 10-14, 2011.). Além de que a presença de cor em meio líquido, provoca repulsa psicológica devido a fatores estéticos, uma vez que a cor na água sempre estará associada à fonte de contaminação (Ferraz *et al.*, *Water Sci. Technol.* 64, 1581–1589, 2011.).

**[007]** O tratamento adequado para as águas residuais é essencial para diminuir os problemas ecológicos e estéticos produzidos pelos efluentes coloridos. Esses tratamentos são em sua maioria métodos físicos e químicos, como coagulação química/floculação, ozonização, oxidação, filtração, troca iônica, irradiação, precipitação, métodos eletroquímicos e outros. É o que mostra o depósito BR1020170021220A2 que descreve a utilização de um “REATOR FOTOCATALÍTICO APLICADO AO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS” realizando a mineralização do corante em 90% a partir da catalise das ligações. Assim também, a patente US5639379A trata de processo para remover corantes e odor de efluentes contaminados, utilizando para este fim permanganato de metal alcalino, peróxido de hidrogênio, floculação, e precipitação em fases sequenciais. Esses tipos de tratamentos, no entanto, resultam, em sua maioria, em subprodutos tóxicos, principalmente pela quebra de suas estruturas aromáticas, são onerosos, apresentam diversos problemas operacionais e necessitam de energia intensiva, além de muitas vezes apresentarem especificidade, necessitando-se aplicar mais de um método para tratar toda a gama de colorantes do efluente.

**[008]** A presente patente difere de BR1020170021220A2 e de US5639379A por conseguir eliminar os corantes significativamente a partir do uso de biomassa fúngica no processo de biossorção, sem a necessidade de adição de materiais químicos para alcance do objetivo, reduzindo assim o número de processos e com isso o tempo e custo do tratamento.

**[009]** Na busca por uma alternativa sustentável para remediação de efluentes com corantes industriais, as pesquisas voltaram-se a utilização de diversos processos biológicos (Sen et al., *Fungal Biology Reviews*, v. 30, n. 3, p. 112-133, 2016), destacando-se os que utilizam como agentes biorremediadores os microrganismos, sejam espécies bacterianas ou fúngicas, que apresentam alto potencial de remoção de corantes através da biodegradação, bioacumulação e/ou biossorção desses compostos (Przystaś *et al.*, *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 49, n. 2, p. 285-295, 2018).

**[010]** Muitas destas metodologias precisam estar associadas a integração de processos físico-químicos e biológicos, principalmente a partir de reatores (Santos *et al.*, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 285-292, 2017). Como é o caso do exposto no depósito BR102018007850-0A2 que descreve um “SISTEMA MODULAR E COMPACTO DE REATOR ANAERÓBICO E/OU AERÓBICO BIOLÓGICO OU NÃO, INTEGRADO POR VASOS COMUNICANTES PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES COM PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA”, que utiliza de um tratamento enzimático a partir de lodos, cuja interação está ligada a um processo de decantação e precipitação da matéria. A presente patente difere de BR102018007850-0A2 por utilizar biomassa fúngica para processo de biossorção, obtendo remoção significativa dos corantes sem a necessidade de tratamentos adicionais.

**[011]** Em contrapartida, a patente BR102016013902-3A2 descreve um “PROCESSO DE REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO BIOMASSA FÚNGICA COMO LEITO FIXO EM UM SISTEMA DE BIORREATOR EM BATELADA”, que utiliza a biomassa fúngica de *Agaricus bisporus*, bem como, seu complexo enzimático, seguido das etapas de repouso, floculação (sem aditivos químicos) e filtração com eficiência de remoção de até 93%. A presente patente além de também não utilizar aditivos químicos durante o processo, difere de BR102016013902-3A2 por não fazer necessário o uso de agentes floclantes.

**[012]** O processo pode ainda, ser feito apenas a partir de complexos enzimáticos, utilizando enzimas oxidativas produzidas pelo metabolismo do microrganismo. Os principais fungos utilizados para esse tipo de processo são os fungos lignolíticos pertencentes ao grupo dos Basideomicetos. Um dos fungos utilizados nesse tipo de biorremediação é o *Pleurotus pulmonarius* reconhecido como agente biorremediador de corantes reativos no depósito PI0409'736-0A, onde o corante azul-bf-r foi 95% descolorido em 4 dias.

**[013]** Os processos descritos acima, em geral produzem subprodutos tóxicos, sobretudo ao degradar corantes aromáticos (Hunger, CHIMIA International Journal for Chemistry, v. 48, n. 11, p. 520-522, 1994; Husain, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 9, n. 2, p. 117-140, 2010), no caso dos tratamentos baseados em degradação química, podem produzir reações paralelas, formando íons inorgânicos, cloro, radicais hidroxila e outras reações indesejáveis como a formação de amins aromáticas, as quais podem ser mais tóxicas do que o próprio corante inicial, contido no efluente. Em geral, a descoloração de efluentes é mais eficiente em meio líquido, assim a formação de lodos contendo corante, apenas dificulta seu tratamento. Além disso, são processos demorados que duram dias, além de serem dependentes de condições ambientais reguladas, principalmente pH, temperatura e oxigenação (Teixeira e Jardim, Caderno Temático, vol. 3. Universidade Estadual de Campinas–UNICAMP, p. 6-13, 2004).

**[014]** Por outro lado, os métodos de adsorção são atrativos devido à sua elevada eficiência na remoção de vários tipos de corantes, de forma que se utilizam de processos economicamente mais viáveis e fazem uso de materiais de baixo custo (Saratale *et al.*, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 42, n. 1, p. 138-157, 2011).

**[015]** O método de adsorção biológico é conhecido como biossorção, definida como uma absorção passiva, que pode ser feita por materiais biológicos vivos ou mortos, ou materiais derivados de organismos, que ocorre essencialmente na parede celular (Vijayaraghavan e Yun, Journal of Hazardous Materials, v. 141, n. 1, p. 45-52, 2007). Sendo um processo vantajoso por não depender de energia ou condições estabelecidas, além de ser um método rápido de tratamento (Rose e Devi, Beni-Suef University journal of basic and applied sciences, v. 7, n. 4, p. 688-694, 2018). Assim, a biossorção pode ser empregada, alternativamente, para tratar efluentes têxteis, porque combina as vantagens da adsorção com o uso de biossorbentes naturais, de baixo custo, ecológicos e renováveis.

**[016]** Nos processos de biossorção utilizando fungos filamentosos, a biomassa é utilizada para adsorver os contaminantes tóxicos dos efluentes (Dotto *et al.*, Green chemistry for dyes removal from wastewater: Research trends and applications, p. 295-329, 2015). O uso de biomassas tem sido incentivado em vista da abundância e baixo custo desses materiais, aumentando a atratividade deste processo na remoção de contaminantes de efluentes. A biomassa de fungos tem mostrado boa capacidade de sorção de diferentes contaminantes de meios aquosos (Li *et al.*, Ecotoxicology and environmental safety, v. 147, p. 357-366, 2018). Em particular, algumas biomassas fúngicas apresentam um grande potencial bioabsorvente, pois são compostas por quitina, glucanos e proteínas, que por sua vez, possuem grupos funcionais como amina, hidroxila e carbonila. Esses grupos fornecem ativos para absorver moléculas diferentes (Escudero *et al.*, Environmental Chemistry Letters, v. 17, n. 1, p. 409-427, 2019), causando fortes forças atrativas entre o corante e a parede celular (Solis *et al.*, Process Biochemistry, v. 47, n. 12, p. 1723-1748, 2012).

**[017]** Dentre os fungos utilizados para biorremediação de efluentes coloridos destacam-se os do gênero *Aspergillus*, onde as espécies *A. niger*, *A. terreus*, *A. oryzae*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. alabamensis* e outras já foram testadas na descoloração de uma gama de corantes, como o *direct violet*, *fast green*, vermelho congo, *Reactive Red 198*, *Brilliant Green* e outros (Esmaeili e Kalantari, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 28, n. 3, p. 1125-1131, 2012; Kumar *et al.*, *Process biochemistry*, v. 47, n. 9, p. 1388-1394, 2012; El-Rahim *et al.*, *Journal of biotechnology*, v. 260, p. 11-17, 2017). Onde a biossorção dos corantes *Basic Blue 9*, *Acid Blue 29*, Vermelho Congo e do *Disperse Red 1* a partir da biomassa de *A. niger* foram ligadas principalmente a interações eletrostáticas, mas com atuação de outras forças, além de uma adsorção física e química (Sen *et al.* *Fungal Biology Reviews*, v. 30, n. 3, p. 112-133, 2016).

**[018]** A patente US7935257B2 faz uso do fungo *Rhizomucor pusillus* para tratamento de águas residuais provenientes de indústrias, contaminadas com corantes, especialmente do tipo azo. A presente patente difere de US7935257B2 por utilizar a biomassa de *Aspergillus sp.* para remoção de diversos tipos de corantes, de classes diferentes, como azo, nitro, indigóides e outros, bem como otimizar o processo de tratamento com o uso de biorreator para aplicação num filtro biológico, e ainda, por ser um processo rápido.

**[019]** A patente WO2008104997A2 descreve processo de adsorção biológica para redução de cor, DBO, DQO e TDS de efluentes de destilarias, utilizando biomassa de *Aspergillus oryzae*, podendo estar em combinação com outros materiais biológicos, físicos e químicos. A presente invenção difere de WO2008104997A2 por não haver necessidade do uso adicional de materiais no processo, diluição do meio e fazer uso de biorreator, otimizando ainda mais o tratamento, além de ser aplicado a diversos tipos de efluentes que contenham corantes.

[20] Assim, a criação de um filtro biológico baseado no processo de bioadsorção da biomassa de fungos do gênero *Aspergillus*, para tratamento de efluentes têxteis surge como uma alternativa para diminuição dos impactos ambientais e de saúde pública gerados pelas águas residuais, contaminadas por uma série de corantes sintéticos. Além disso, um processo de biorremediação num tempo curto e sem condições específicas para realização (temperatura, pH, aeração e outras), possibilita um tratamento acelerado e de maior vazão, assim como a reutilização da água tratada, sendo aplicável a diversos segmentos da indústria.

[021] Um filtro biológico é uma tecnologia de baixo custo, simples de operar e, conseqüentemente, adequada para aplicações de pequeno e médio porte, usando um equipamento simples e prontamente disponível. Além de não usar aditivos químicos durante o processo, uma vez que para descoloração do efluente têxtil em questão, é desnecessário a calibração de pH, a utilização de solventes orgânicos ou agentes floculantes. Esse método possui várias vantagens de engenharia de processo, incluindo operações de alta eficiência e escalabilidade relativamente fácil a partir de um procedimento em escala de laboratório. Não foram encontrados documentos que antecipem as informações descritas, conforme observado na técnica citada. Acredita-se assim que a invenção atende à demanda industrial, por apresentar um processo eficiente, simples e de baixo custo.

### **Descrição da Invenção**

[022] Invenção referente a um filtro biológico para tratamento de efluentes industriais coloridos e de seu respectivo processo de tratamento, baseado na bioadsorção de partículas a partir da biomassa fúngica sem necessidade de controle de condições ambientais ou de viabilidade celular, assim reduzindo o número de processos e conseqüentemente o tempo e custo em comparação as metodologias encontradas no atual estado da técnica.

### **Descrição detalhada da Invenção**

**[023]** A presente invenção fornece um sistema filtrante ou filtro, composto por um cartucho, material filtrante ou refil biológico cujo processo utiliza da propriedade de bioissorção da biomassa fúngica de espécies de fungos filamentosos, preferencialmente do gênero *Aspergillus*, para o tratamento de águas residuais que apresentam contaminação por corantes, permitindo o contato da biomassa com o efluente para o tempo de contato necessário para máxima descoloração e redução da toxicidade do efluente.

**[024]** A redução de cor e outros parâmetros do efluente ocorre pela bioissorção de partículas de corante e outras substâncias orgânicas e inorgânicas do efluente, na parede celular do fungo. A biomassa fúngica é utilizada até o nível de saturação das células fúngicas para adsorção.

**[025]** As etapas do filtro, de acordo com a invenção, compreendem: a entrada do efluente bruto, um tratamento primário, um tratamento secundário e a saída do efluente tratado, como pode ser observado na figura 1.

**[026]** Figura 1 Processo do Biofiltro para tratamento de efluentes têxteis.

Inicialmente, o biofiltro recebe o efluente bruto armazenado, podendo compreender o uso de uma bomba acoplada para aumento de vazão, promove a distribuição e homogeneização do efluente no sistema de tratamento de acordo com sua capacidade. Em seguida, compreende uma etapa de tratamento onde a filtração do efluente a ser tratado é realizada (tratamento primário). Trata-se de uma etapa de pré-filtração, encarregada de remover os componentes sólidos dispostos no efluente através de um pré-filtro de areia, onde os resíduos sólidos podem ser manipulados. Posteriormente, o efluente previamente tratado é transportado para uma etapa de filtração biológica (tratamento secundário) onde entra em contato com um meio filtrante biológico (biomassa fúngica). Esta unidade de tratamento biológica é composta por um compartimento que abriga a biomassa, a qual permite a bioissorção do corante presente no efluente. Por fim, o efluente tratado é liberado, podendo ser reutilizado, uma vez que não apresenta cor ou toxicidade.

**[027]** Para o processo de tratamento foram seguidas as etapas de preparação da biomassa (crescimento, secagem e pesagem) e biotratamento (aplicação da biomassa pesada no efluente industrial colorido), permitindo o contato da biomassa com o efluente por até 2 horas, observando-se o tempo de contato necessário para máxima descoloração do efluente.

**[028]** A presente invenção é melhor descrita de acordo com os exemplos a seguir:

Exemplo 1: Inóculo e preparação da biomassa

**[029]** Os fungos foram inoculados em tubos de ensaio contendo meio *Czapek Dox Agar* (Himedia®), incubados a 30°C durante 120 horas. Após completamente esporulados, foram inoculados em *enlenmeyers* de 250ml contendo 80ml de caldo glicosado (10g/L de extrato de carne, 3g/L de peptona e 20g/L de glicose) e incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 96 horas.

**[030]** A biomassa obtida foi seca em bomba à vácuo e pesada em balança analítica, para mensurar a quantidade de biomassa a ser utilizada para o tratamento do efluente. Após a pesagem, essa biomassa foi reidratada em 90ml de água deionizada sob agitação a 120RPM por pelo menos 15min, e feitos ensaios de descoloração com diferentes corantes industriais nas concentrações de 50mg/L, 150mg/L e 300mg/L. Para isso, foram adicionados 10ml de solução corante aos frascos contendo a biomassa reidratada, o processo foi monitorado a cada 10 minutos durante a primeira hora e a cada 30min durante a segunda hora. Terminado o tempo de monitoramento, o corante foi retroalimentado, para medir a saturação do fungo em descolorir a solução, também monitorados durante 2h. Assim, a cada retroalimentação a concentração foi dobrada, utilizando-se concentrações acima de 1g/L.

**[031]** O processo foi repetido ainda, com efluentes contaminados com corantes, utilizando a biomassa seca, independentemente de viabilidade celular ou condições ambientais. Para o tratamento a biomassa seca e pesada foi colocada num frasco tipo *erlenmeyer* e foram adicionados 100mL do efluente. A descoloração do efluente foi observada no processo de 120min e o biotratamento foi acompanhado por 120h, observando variáveis como pH, temperatura, carbono total e outras.

#### Exemplo 2: Processo em biorreator

**[032]** Após otimização do processo descrito, a etapa de preparação da biomassa passou por um escalonamento, e passou a ser produzida em biorreator, para incorporação no filtro biológico. Para o inóculo em biorreator, os esporos foram primeiramente inoculados em *erlenmeyers* de 250ml contendo 80ml de caldo glicosado e incubados a 30°C em agitação (120 RPM) durante 24 horas. Posteriormente, esse fermentado foi inserido em biorreator num volume final de 800ml de caldo glicosado, aeração de 1 ATM, temperatura de 25°C e agitação de 300 RPM durante 24h, produzindo-se aproximadamente 60g a cada fermentação. A biomassa produzida por escalonamento foi acondicionada em um compartimento no interior do filtro.

**[033]** A otimização dos parâmetros do processo de descoloração do efluente têxtil utilizando biomassa fúngica mostra forte propriedade de adsorção para as partículas de cor e pode adsorver a cor do efluente sem necessidade de qualquer diluição, assim como pôde reduzir alguns parâmetros importantes de poluição.

#### Exemplo 3: Análise dos resultados

**[034]** Para análise da descoloração do efluente em todos os ensaios foi feita a varredura espectral, a partir do espectrofotômetro Ultrospec 7000 (entre os comprimentos de onda de  $\lambda = 330-1000$  nm e utilizando água destilada como referência). Os resultados foram expressos em porcentagem de descoloração.

[035] As análises de descoloração foram feitas de acordo com a fórmula segundo Govindwar e colaboradores, 2014:

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

Com  $A_i$  sendo a absorvância inicial da amostra e  $A_t$  a absorvância ao longo do tempo ou a absorvância final.

[036] Os resultados visuais das descolorações de corantes e de efluentes podem ser observados nas Figuras 2, 3 e 4.

[037] Figura 2 Descoloração do corante azo *Direct Black 22* em concentração 50mg.L<sup>-1</sup>. a – Descoloração com o fungo *Aspergillus tamarii* Kita UCP 1279 em 75 minutos; b - Descoloração com o fungo *Aspergillus niger* URM 5838 em 120 minutos.

[038] Figura 3 Descoloração de corantes industriais, obtidos justo as lavanderias de Caruaru, Pernambuco, Brasil, com o fungo *Aspergillus tamarii* Kita UCP 1279 em concentração 50mg.L<sup>-1</sup>, em 60min, com biomassa viva. a - 78GR Turquesa – Corafix; b - Amarelo Coralín BR (Reativo) – Coratex; c - Vermelho Coralín BR (Reativo) – Coratex.

[039] Figura 4 Descoloração de efluente têxtil de lavanderia de Toritama, Pernambuco, Brasil, com o fungo *Aspergillus niger* URM 5838 em 120 minutos.

[040] As análises das descolorações podem ser observadas nas Figuras 5 e 6.

[041] Figura 5 Descoloração do corante azo *Direct Black 22* em concentração 50mg.L<sup>-1</sup> com o fungo *Aspergillus japonicus* URM 5620, com diferentes massas, em 120 minutos. a – Primeira Descoloração; b – Primeira reutilização da biomassa e retroalimentação de corante; c – Segunda reutilização da biomassa e retroalimentação de corante.

[041] Figura 6 Descoloração do corante azo *Direct Black 22* com os fungos *Aspergillus japonicus* URM 5620, *Aspergillus niger* URM 5741 e *Aspergillus niger* URM 5838, em concentração 50mg.L<sup>-1</sup>(a), 150mg.L<sup>-1</sup>(b) e 300mg.L<sup>-1</sup>(c) em 120 minutos, com 200mg de biomassa.

## REININDICAÇÕES

[001] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO, **caracterizado por** compreender um cartucho, elemento filtrante ou refil de biomassa fúngica.

[002] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** conter um cartucho, elemento filtrante ou refil biológico envasado em um recipiente, contendo pelo menos um canal para entrada de efluente e pelo menos um canal para saída de água tratada.

[003] TRATAMENTO POR BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES, **caracterizado por** compreender a utilização da biomassa de fungos filamentosos, preferencialmente do gênero *Aspergillus*.

[004] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** descolorir efluentes contendo corantes do grupamento azo, indigoides, nitro e outros a partir da biossorção de partículas.

[005] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** descolorir todos os corantes em até 120 minutos, a depender da quantidade de biomassa utilizada, sendo necessários 4g para descolorir 100% do corante em 10min, num volume de 100ml e concentração de 50mg.L<sup>-1</sup>.

[006] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** permitir a reutilização da biomassa.

[007] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** adotar o processo com a biomassa viva ou morta do fungo filamentosos.

[008] FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR BIOSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO PROCESSO DE TRATAMENTO de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado por** ocorrer em quaisquer condições ambientais, alterando apenas o tempo de contato entre o biossorvente e o contaminante.

## DESENHO

Figura 1.

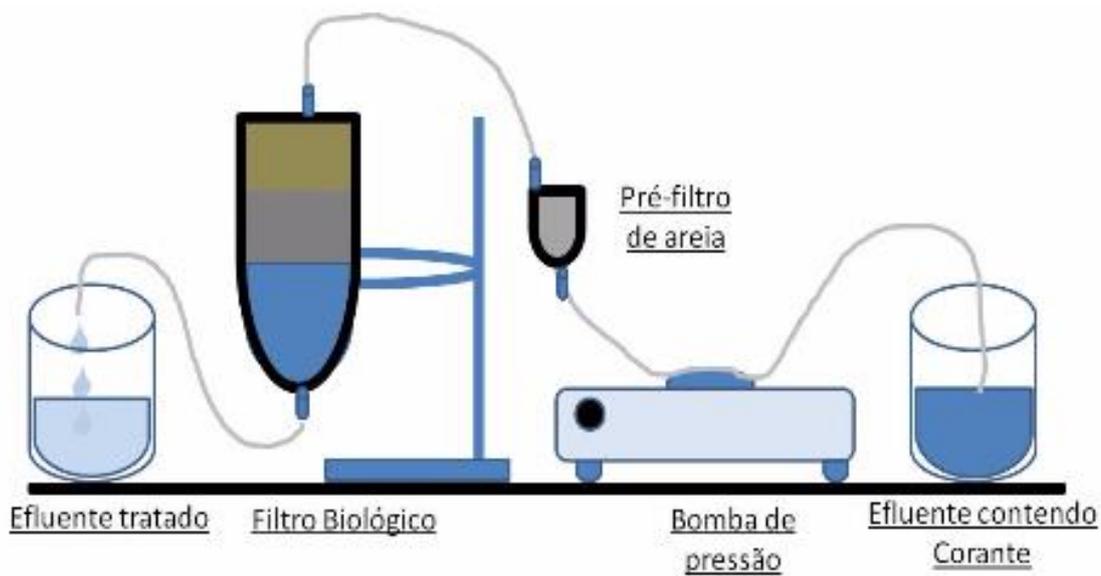


Figura 2.

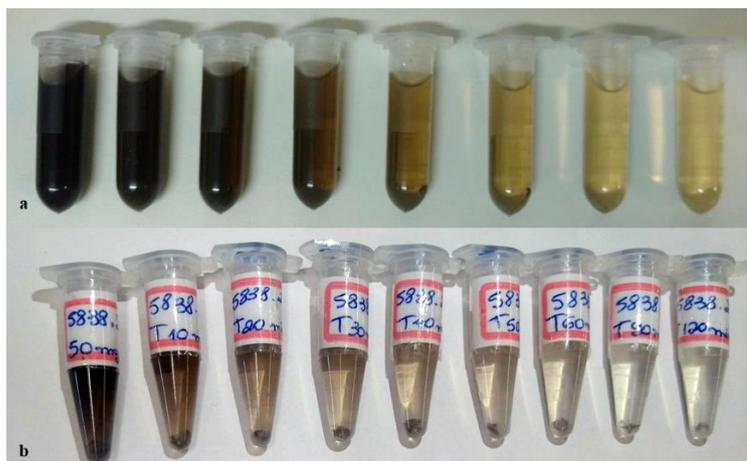


Figura 3.

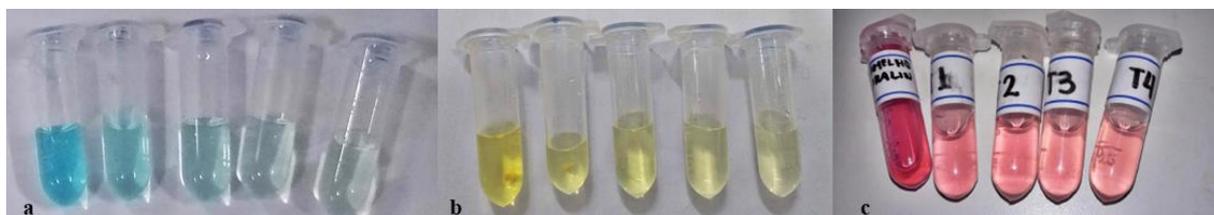


Figura 4.

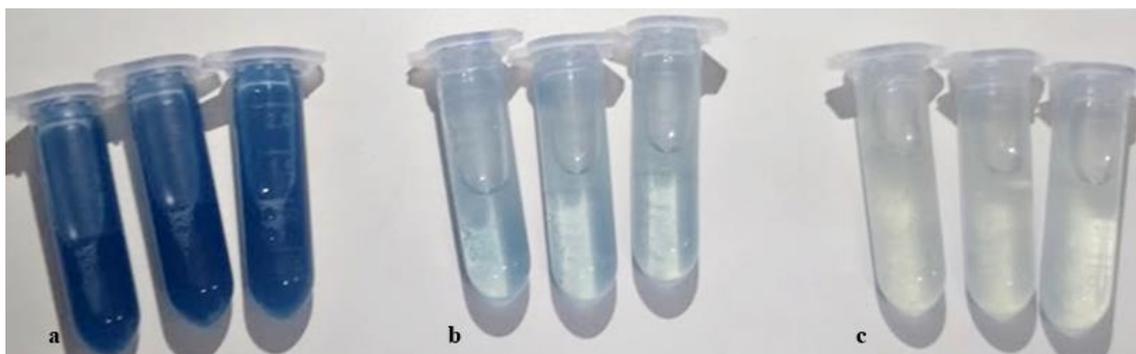


Figura 5.

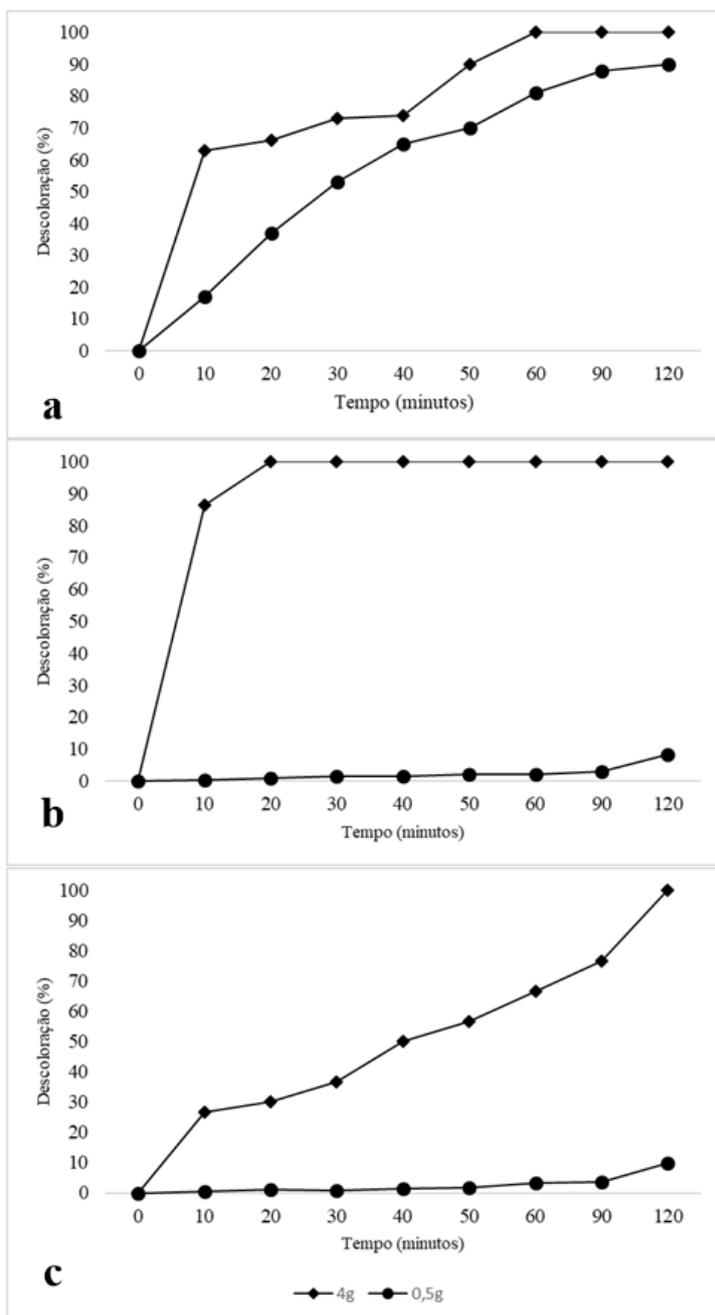
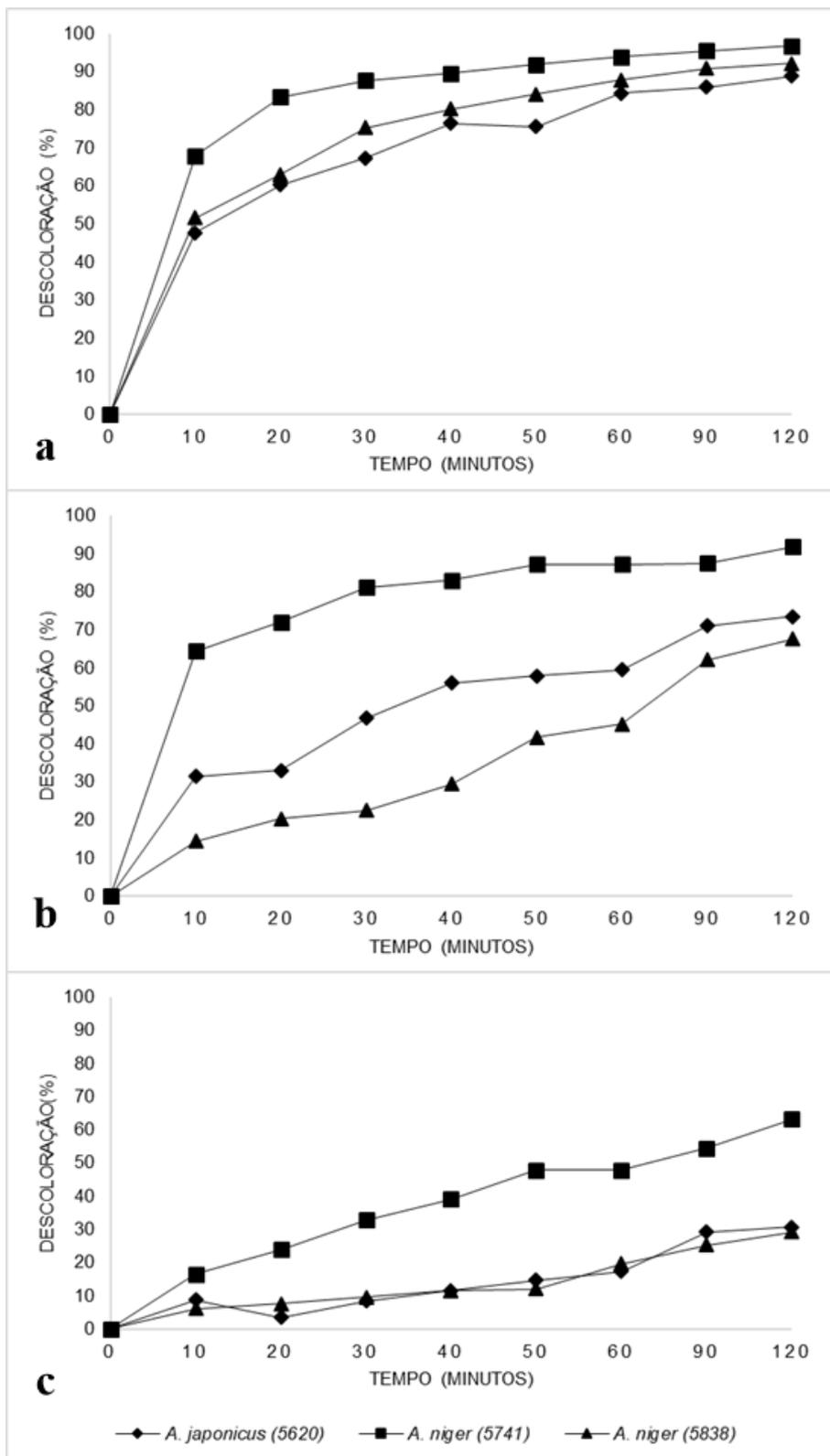


Figura 6.



**RESUMO**

**FILTRO BIOLÓGICO DE BIOMASSA FÚNGICA PARA TRATAMENTO POR  
BIOSSORÇÃO DE EFLUENTES COM CARGA DE CORANTES E RESPECTIVO  
PROCESSO DE TRATAMENTO**

Esta invenção proporciona um filtro biológico que consiste na utilização de um cartucho, material filtrante ou refil de biomassa de fungos filamentosos, preferencialmente do gênero *Aspergillus*, para tratamento de efluentes coloridos através do processo de bioissorção. O cartucho permite o contato da biomassa com o efluente em quaisquer condições ambientais, independentemente de viabilidade celular, num processo de até 120min para máxima descoloração e redução de toxicidade do efluente. A água tratada pode ser reciclada ou eliminada conforme legislação. Assim, a presente invenção fornece um método e um produto seguro, econômico, compacto, fácil de aplicar, rápido, sem liberação de subprodutos, e conseqüentemente, ecologicamente correto, para o problema do tratamento e disposição de efluentes industriais coloridos.

## APÊNDICE D – PRODUÇÕES E DIVULGAÇÕES ACADÊMICAS

1.

### BIOSSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS COMO MECANISMO DE DESCOLORAÇÃO POR FUNGOS: UMA REVISÃO

Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>2</sup>, Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>1</sup>, Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>2</sup>, Raphael Luiz Andrade Silva<sup>2</sup>, Juanize Matias da Silva Batista<sup>2</sup>, Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>2</sup>, Ana Lucia Figueiredo Porto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

<sup>2</sup> UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

#### RESUMO

A indústria têxtil é um consumidor substancial de água e produz enormes volumes de água contaminada. Os corantes liberados pelas indústrias têxteis representam uma ameaça à segurança ambiental. Recentemente, a descoloração de corantes através de meios biológicos ganhou força, uma vez que estes são baratos e podem ser aplicados a uma vasta gama de corantes. Os processos fúngicos para o tratamento de águas residuais têxteis têm a vantagem de serem rentáveis, sustentáveis e de produzirem menos lodo. Este artigo de revisão enfoca a descoloração de águas residuais de corante através de fungos via processo de biossorção e discute o efeito de vários parâmetros de processo como pH, temperatura, concentração de corante etc. no corante, removendo a eficiência de diferentes fungos. Os estudos apresentados neste artigo indicam que a descoloração fúngica tem um grande potencial a ser desenvolvida como uma tecnologia de tratamento de águas residuais para unidades têxteis. No entanto, mais pesquisas são necessárias para estudar a toxicidade dos metabólitos da degradação do corante e o possível destino da biomassa utilizada, a fim de garantir o desenvolvimento de uma tecnologia ecologicamente correta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fungos; Corantes; Biossorção; Descoloração.



2.

## POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE *Aspergillus* NA DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>2</sup>, Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>1</sup>, Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>2</sup>, Raphael Luiz Andrade Silva<sup>2</sup>, Juanize Matias da Silva Batista<sup>2</sup>, Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>2</sup>, Márcia Vanusa da Silva<sup>1</sup>, Ana Lucia Figueiredo Porto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco  
<sup>2</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco

### RESUMO

**Introdução:** Os efluentes descartados pelas indústrias têxteis acarretam problemas ao meio ambiente, principalmente nos corpos hídricos. Os corantes são um dos resíduos presente nesses efluentes, e por serem tóxicos e de difícil degradação constituem uma ameaça ambiental e a saúde humana. **Objetivo:** Há uma variedade de técnicas para tratamento desses compostos, entretanto, este trabalho objetivou avaliar o método biológico com utilização fúngica, por sua aplicação ter cunho sustentável e menos oneroso. **Metodologia:** A metodologia adotada trata-se de uma busca em plataformas de bases de dados (*Pubmed*, *ScienceDirect* e *Springer Link*) por artigos publicados entre 2010 e 2019, onde foram selecionados treze artigos. **Revisão:** Esta revisão enfoca a remoção de corantes de águas residuais de indústrias têxteis a partir do gênero fúngico *Aspergillus*, avaliando parâmetros físico-químicos, enzimáticos, e outras metodologias para otimização do processo de descoloração. Os artigos abordados nessa revisão indicam que a taxa de remoção de cor pode ser influenciada pelos parâmetros físico-químicos e operacionais, assim como a presença de enzimas produzidas pela biomassa fúngica. **Conclusão:** Dessa maneira, conclui-se que a aplicação de fungos do gênero *Aspergillus* na biorremediação é uma alternativa promissora aos sistemas de tratamento de efluentes têxteis, no entanto, estudos de otimização sistemáticos, bem como testes metabólicos de toxicidade devem ser realizados para cada sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biorremediação; Fungo filamentosos; Águas residuais.



## II CURSO DE INVERNO EM BIOCIÊNCIAS

### CERTIFICADO

Certificamos que **Karolaine da Conceição Gama Santos** apresentou com êxito o trabalho na modalidade pôster intitulado **POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE *Aspergillus* NA DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS** de autoria de Karolaine da Conceição Gama Santos, Anna Gabrielly Duarte Neves, Arthur Filipe Ferreira Pequeno, Raphael Luiz Andrade Silva, Juanize Matias da Silva Batista, Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa, Márcia Vanusa da Silva e Ana Lucia Figueiredo Porto durante as atividades do II Curso de Inverno em Biociências, realizado no período de 23 a 26 de Julho de 2019, pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.



Dra. Márcia Vanusa da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

Recife, 26 de julho de 2019



Wêndeo Kennedy Costa  
Comissão Organizadora



## POTENCIAL DO MECANISMO DE BIOACUMULAÇÃO FÚNGICA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS CONTAMINADOS COM METAIS PESADOS

Karolaine da Conceição Gama Santos<sup>2</sup>, Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>1</sup>, Arthur Filipe Ferreira Pequeno<sup>2</sup>, Raphael Luiz Andrade Silva<sup>2</sup>, Kethylen Barbara Barbosa Cardoso<sup>2</sup>, Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>2</sup>, Márcia Vanusa da Silva<sup>1</sup>, Ana Lucia Figueiredo Porto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

<sup>2</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

### RESUMO

**Introdução:** A sociedade moderna apresenta um desenvolvimento cada vez maior do ponto de vista tecnológico, econômico e industrial, dessa forma tem surgido o desafio de minimizar os danos causados ao meio ambiente devido aos rejeitos gerados pelas indústrias. **Objetivo:** O trabalho trata de uma revisão bibliográfica, cujo objetivo é elucidar como a bioacumulação fúngica pode atuar no tratamento de metais pesados presentes em efluentes industriais. **Metodologia:** Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados eletrônicas como *Pubmed*, *ScienceDirect* e *Springer Link*, cujos critérios eram a abordagem de fungos no processo de bioacumulação de metais pesados. **Revisão:** Foram encontrados diversos gêneros de fungos sendo aplicados a biorremediação de metais pesados, sobretudo a partir da bioacumulação. Destacando-se os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, e tendo grande influência do pH na eficiência e duração do processo. **Conclusão:** Através dos artigos apresentados é possível afirmar que a bioacumulação é um processo eficiente na remoção de metais pesados do meio, em contrapartida, estudos futuros devem ser realizados *in situ* para avaliar o real desempenho de tais microrganismos em bioacumular esses resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioacumulação; Metais pesados; Fungos filamentosos; Biorremediação.



### CERTIFICADO

Certificamos que **Karolaine da Conceição Gama Santos** apresentou com êxito o trabalho na modalidade pôster intitulado **POTENCIAL DO MECANISMO DE BIOACUMULAÇÃO FÚNGICA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS CONTAMINADOS POR METAIS PESADOS** de autoria de Karolaine da Conceição Gama Santos, Anna Gabrielly Duarte Neves, Arthur Filipe Ferreira Pequeno, Raphael Luiz Andrade Silva, Kethylen Barbara Barbosa Cardoso, Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa, Márcia Vanusa da Silva e Ana Lucia Figueiredo Porto durante as atividades do II Curso de Inverno em Biociências, realizado no período de 23 a 26 de Julho de 2019, pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Dra. Márcia Vanusa da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

Recife, 26 de julho de 2019

Wêndeo Kennedy Costa  
Comissão Organizadora







## DESCOLORAÇÃO DE CORANTE TÊXTIL UTILIZANDO O FUNGO FILAMENTOSO *Aspergillus* sp. URM

Nayara Vitória dos Santos Cruz<sup>1</sup>  
 Anna Gabrielly Duarte Neves<sup>2</sup>  
 Romero Marcos Pedrosa Brandão Costa<sup>3</sup>  
 Márcia Vanusa da Silva<sup>4</sup>  
 Ana Lucia Figueiredo Porto<sup>5</sup>

### RESUMO

Corantes sintéticos são os mais usados nas fábricas têxteis e de tinturarias, devido a facilidade de uso, custo-benefício e quantidade de cores, em comparação com corantes naturais. Sua utilização desmedida tem causado impactos devido a liberação em efluentes das indústrias têxteis, portanto, sendo necessário alternativas para remoção desses compostos antes de serem lançados em conjunto com os efluentes nos diversos ambientes. Dessa maneira, o presente trabalho objetivou realizar a descoloração do corante comercial têxtil 78GR Turquesa, a fim de avaliar sua remoção através do emprego do fungo filamentoso do gênero *Aspergillus* sp URM 5741. A partir da utilização da biomassa fúngica em quantidade de 1 g, 4 g e 8 g para descoloração do corante em agitação (120 RPM) durante 2 horas. Foi observado que a porcentagem de descoloração aumentou em relação ao tempo e a quantidade de biomassa, sendo obtido 69% de descoloração do corante com apenas 1g, 92% com 4g e 98% com 8g de biomassa, apenas nos primeiros 15 min de experimento. Conclui-se assim que o microrganismo *Aspergillus* sp., apresentou capacidade em descolorir esse corante, em pequenas quantidades de biomassa e pouco tempo. Portanto, o gênero *Aspergillus* é um potencial microrganismo a ser empregado no tratamento de áreas contaminadas por corantes têxteis, de forma barata, rápida e eficiente.

**Palavras-chave:** Biorremediação, Corante sintético, Fungos filamentosos.





# V Encontro Pernambucano de Micologia

Diversidade Fúngica do Nordeste

*A micologia Pernambucana nos quatro cantos do Brasil*

## APLICAÇÃO FÚNGICA NA BIORREMEDIAÇÃO: UMA TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

KAROLAINÉ DA CONCEIÇÃO GAMA SANTOS<sup>1</sup>; ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES<sup>2</sup>; NAYARA VITÓRIA DOS SANTOS CRUZ<sup>1</sup>; ROMERO MARCOS PEDROSA BRANDÃO COSTA<sup>1</sup>; MÁRCIA VANUSA DA SILVA<sup>2</sup> & ANA LUCIA FIGUEIREDO PORTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, DMFA, UFRPE Recife, Pernambuco

<sup>2</sup>Centro de Biociências, CB, UFPE, Recife, Pernambuco

karolainecgsantos@gmail.com





# V Encontro Pernambucano de Micologia

Diversidade Fúngica do Nordeste

*A micologia Pernambucana nos quatro cantos do Brasil*

## POTENCIAL APLICAÇÃO DE FUNGOS NO TRATAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR AGROTÓXICOS

KAROLAINE DA CONCEIÇÃO GAMA SANTOS<sup>1</sup>; ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES<sup>2</sup>; NAYARA VITÓRIA DOS SANTOS CRUZ<sup>1</sup>; ROMERO MARCOS PEDROSA BRANDÃO COSTA<sup>1</sup> & ANA LUCIA FIGUEIREDO PORTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal, DMFA, UFRPE, Recife, Pernambuco

<sup>2</sup>Centro de Biociências, CB, UFPE, Recife, Pernambuco

*karolainecgsantos@gmail.com*

**V Encontro Pernambucano de Micologia**  
Diversidade Fúngica do Nordeste  
*A micologia Pernambucana nos quatro cantos do Brasil*

**20-22 NOV 2019**

### CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho intitulado "POTENCIAL APLICAÇÃO DE FUNGOS NO TRATAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR AGROTÓXICOS" sob autoria de KAROLAINE DA CONCEIÇÃO GAMA SANTOS; ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES; NAYARA VITÓRIA DOS SANTOS CRUZ; ROMERO MARCOS PEDROSA BRANDÃO COSTA & ANA LUCIA FIGUEIREDO PORTO, foi apresentado na forma de Pôster no Eixo Fungos na Biotecnologia, durante o V Encontro Pernambucano de Micologia, realizado no período de 20 a 22 de novembro de 2019.

Recife, 22 de novembro de 2019

*Gladstone da Silva Alves*  
Gladstone da Silva Alves  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos

Pós - Graduação em Biologia de Fungos

UFPE PROEXC PROPESQ Centro de Biociências



# CERTIFICADO

Certificamos que **Anna Gabrielly Duarte Neves**, ministrou a palestra intitulada **Biorremediação de efluentes industriais por fungos filamentosos**, com carga horária de 4 horas, na III Jornada de Inovação e Pesquisa da UNISÃO MIGUEL e FOCCA.

Recife, 06 de novembro de 2019.

*Juliano N. do O.*  
MSC. JULIANO NEVES  
PROFESSOR ACADÊMICO UNISÃO MIGUEL

*Juliana P. Correia*  
DRA. JULIANA MENDES CORREIA  
PRESIDENTE DA JORNADA DE INOVAÇÃO E PESQUISA UNISÃO MIGUEL




9.



## CERTIFICADO

Certificamos que **ANNA GABRIELLY DUARTE NEVES** ministrou o minicurso **“Biotecnologia de fungos na biorremediação de efluentes industriais”** realizado no dia 24 de julho de 2019, com carga horária de 15h, no II Curso de Inverno em Biociências, promovido pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, realizado em Recife, Pernambuco.

Recife, 26 de julho de 2019

*Márcia Vanusa da Silva*  
Dra Márcia Vanusa da Silva  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

*Wêndeo Costa*  
Wêndeo Kennedy Costa  
Comissão Organizadora



10.

# CERTIFICADO

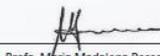
**JEPEX** 2018  
XVIII  
ciência e tecnologia para o  
fortalecimento da educação

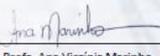
Certificamos que **Ana Lucia Figueiredo Porto** participou como **MINISTRANTE** do minicurso **“Fungos de Interesse Biotecnológico”**, com **COLABORAÇÃO** de Anna Gabrielly Duarte Neves, Karolline Mirella Soares de Souza, na XVIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2018, realizada no dia 16 - 17 de outubro de 2018, das 08:00 às 13:00.

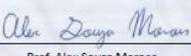
Carga horária total da atividade: 10 horas.

Recife, 18 de outubro de 2018

  
Profa. Maria do Socorro de Lima Oliveira  
Pró-reitora de Ensino de Graduação

  
Profa. Maria Madalena Pessoa Guerra  
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

  
Profa. Ana Virginia Marinho  
Pró-reitora de Extensão

  
Prof. Alex Souza Moraes  
Comissão Organizadora JEPEX



REALIZAÇÃO

APOIO