



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS

DIANA DUARTE DE LIRA

BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES POR FUNGOS FILAMENTOSOS

RECIFE

2019

DIANA DUARTE DE LIRA

BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES POR FUNGOS FILAMENTOSOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos do Departamento de Micologia do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutora em Biologia de Fungos.

Área de Concentração Micologia
Aplicada

Orientador Profa. Dra. Norma Buarque de Gusmão
Coorientadoras:
Profa. Dra. Leonor Alves de Oliveira Silva
Profa. Dra. Rita de Cássia M. de Miranda

RECIFE

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Claudina Queiroz, CRB4/1752

Lira, Diana Duarte de
Biodegradação de efluentes por fungos filamentosos / Diana
Duarte de Lira - 2019.
116 folhas: il., fig., tab.

Orientadora: Norma Buarque de Gusmão
Coorientadoras: Leonor Alves de Oliveira Silva
Rita de Cássia M. de Miranda

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro
de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos.
Recife, 2019.

Inclui referências.

1. Fungos filamentosos 2. Biorremediação 3. Índigo carmim
I. Gusmão, Norma Buarque de (Orientadora) II. Silva, Leonor Alves
de Oliveira (Coorientadora) III. Miranda, Rita de Cássia M. de Miranda
(Coorientadora) IV. Título

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2020-038

DIANA DUARTE DE LIRA

BIODEGRADAÇÃO DE FLUENTE POR FUNGOS FILAMENTOSOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos do Departamento de Micologia do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de doutora.

Aprovada em: 25/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Norma Buarque de Gusmão (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Cristina Maria de Souza Motta (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Keila Aparecida Moreira (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (Unidade Acadêmica em Garanhuns - UFRPE)

Prof^ª. Dr^ª. Luciana de Oliveira Franco (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^º. Dr. Marcos Antônio Barbosa de Lima (Examinador externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Às minhas filhas, Beatriz e Letícia, as
razões que me fez continuar meus esforços
para atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus.

Às minhas filhas Beatriz e Leticia, meus amores!

A minha orientadora Professora Norma, por me ajudar a crescer como pessoa e pesquisadora, professora Leonor e Rita que ajudaram a desenvolver minhas pesquisas, se dedicaram a solucionar os problemas enfrentados nesse processo experimentos e resultados.

Aos meus amigos que compartilharam todos os momentos que passei no desenvolvimento deste trabalho e que direta ou indiretamente contribuíram para obter estes resultados Manú, Pérsio, Hugo, Patricia, Erik, Augusto, Sarah, Thales, Eduardo, Vitória, Nelânia, Luana, Wellma, Flávia, Helton, Camila, Raphael, Raul, Valéria.

Aos meus amigos e companheiros que venho compartilhando todos os momentos difíceis da minha vida e também aqueles momentos de conquistas Milka, Jessé, Lidiana e Wal.

Ao CNPq por provimento da bolsa para desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação Biologia de Fungos da Universidade Federal de Pernambuco.

RESUMO

Efluentes provenientes de lavanderias indústrias de jeans são potencialmente prejudiciais quando descartados em corpos hídricos sem o devido tratamento. Dentre os métodos utilizados para seu tratamento, técnicas de biorremediação por micro-organismos tem demonstrado eficiência para descolorir e detoxificar estes efluentes. Diante disto o objetivo deste trabalho visou avaliar o potencial de cepas de fungos em descolorir e detoxificar efluentes têxteis. Cem cepas fúngicas foram inoculadas em meio de cultivo contendo extrato de levedura e corante índigo carmim (50 mg/L), incubadas em condição estática. As cepas que obtiveram melhores índices de descoloração do corante foram submetidas a experimento de descoloração do efluente têxtil em meio composto por efluente e extrato de levedura. Nesta etapa foi analisado o percentual de descoloração e determinação de atividade enzimática das enzimas lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase. As cepas selecionadas nesta etapa foram submetidas ao planejamento experimental do tipo delineamento composto central rotacional (DCCR), com quatro variáveis independentes (2^4) sendo estas: as concentrações de extrato de levedura, de sulfato de manganês, de sulfato de cobre e de sulfato de ferro, e como variáveis dependentes o percentual de descoloração do efluente têxtil, as atividades enzimáticas (Lac, LiP e MnP) e fitotoxicidade. As cepas *Aspergillus japonicus* (F18), *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79), F17 (NI), *Penicillium fellutanum* (F04), *Aspergillus foetidus* (F16), *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F98), *Aspergillus japonicus* (F23), *Aspergillus fumigatus* (F53), *Penicillium* sp. (F14) e *Scytinostroma duriusculum* URM 6974 (F84) apresentaram os seguintes percentuais de descoloração 98,76%, 95,26%, 89,70%, 87,14%, 87,87%, 86,70%, 86,93%, 86,37%, 78,71%, 76,10% e 71,15%, respectivamente. As cepas F22 e F53 apresentaram os percentuais de descoloração 71,96% e 67,91% do efluente têxtil, respectivamente, e também as melhores atividades enzimáticas para MnP com 52,64 UI^{-1} e 40,84 UI^{-1} , respectivamente. Já a cepa F79 apresentou 67,49% de descoloração e a melhor atividade para Lac com 15,09 UI^{-1} . Dos 27 ensaios do planejamento experimental, o 17 (condições 0,08 g de $MnSO_4$, 0,025 g de $CuSO_4$, 0,03 g de $FeSO_4$ e ausência de extrato de levedura) apresentou as melhores condições para obtenção dos melhores percentuais de descoloração *Aspergillus fumigatus* (F53) com 93,75%, *Penicillium fellutanum* (F22) com 83,33% e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) com 77,08%. Com os resultados do planejamento experimental não houve aumento significativo da atividade enzimática, entretanto, os resultados da fitotoxicidade apresentou potencial de

detoxificação do efluente têxtil nos ensaios otimizados com as cepas fungicas analisadas além de promover a sua descoloração. Os fungos *Penicillium fellutanum*, *Aspergillus fumigatus* e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 são capazes de descolorir e detoxificar o efluente têxtil analisado proveniente de indústria de jeans.

Palavras-chave: Biorremediação. Índigo carmim. *Aspergillus* sp. *Fomitopsis cupreorosea*. fitotoxicidade.

ABSTRACT

Effluent from jeans laundry industry is potentially harmful when released untreated into water bodies. Among the methods used for its treatment, microorganism bioremediation techniques have shown efficiency on discolor and detoxify these wastes. Therefore, the aim of this work was to evaluate the potential of fungal strains to discolor and detoxify textile effluents. One hundred fungal strains were inoculated into culture medium containing yeast extract and indigo carmine (50 mg / L), under static condition. The strains who showed the best dye discoloration rates were submitted to a textile effluent discoloration experiment in a medium composed by effluent and yeast extract. At this stage the percentage of discoloration and determination of enzymatic activity of lacase, lignin peroxidase and manganese peroxidase enzymes were performed. The strains selected at this stage were submitted to a central rotational composite experimental design (DCCR), with four independent variables (2^4): yeast extract, manganese sulfate, copper sulfate and iron sulfate concentrations. As dependent variables the percentage of discoloration of the textile effluent, the enzymatic activities (Lac, LiP and MnP) and phytotoxicity were evaluated. The strains *Aspergillus japonicus* (F18), *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79), F17 (NI), *Penicillium fellutanum* (F04), *Aspergillus foetidus* (F16), *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F98), *Aspergillus japonicus* (F23), *Aspergillus fumigatus* (F53), *Penicillium* sp. (F14) and *Scytinostroma duriusculum* URM 6974 (F84) showed the following discoloration percentages 98.76%, 95.26%, 89.70%, 87.14%, 87.87%, 86.70%, 86.93 %, 86.37%, 78.71%, 76.10% and 71.15%, respectively. The strains F22 and F53 showed the respective textile effluent discoloration percentages 71.96% and 67.91%, followed by the best enzymatic activities for MnP with 52.64 IU⁻¹ and 40.84 IU⁻¹. Moreover, 67.49% of discoloration was obtained from F79 strain besides the best activity for Lac with 15.09 IU⁻¹. Of the 27 experimental design trials, the number 17 (conditions 0.08 g MnSO₄, 0.025 g CuSO₄, 0.03 g FeSO₄ and absence of yeast extract) presented the best conditions for obtaining the best discoloration percentage *Aspergillus fumigatus* (F53) with 93.75%, *Penicillium fellutanum* (F22) with 83.33% and *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) with 77.08%. The fungi *Penicillium fellutanum*, *Aspergillus fumigatus* and *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 are able to discolor and detoxify the analyzed textile effluent from the jeans laundry industry.

Key-words: Bioremediation. Índigo carmine. *Penicillium fellutanum*. *Aspergillus* sp. *Fomitopsis cupreorosea*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura química do corantes C.I. Vat yellow.....	20
Figura 2 -	Estrutura química do corante preto reativo 5.....	20
Figura 3 -	Estrutura química do corante Orange disperse 30.....	20
Figura 4 -	Estrutura química do corantes vermelho congo.....	21
Figura 5 -	Estrutura química do corante C.I. Acid blue 47.....	21
Figura 6 -	Estrutura química do corante Dismark brown (C.I. basic brown 1).....	21
Figura 7 -	Estrutura química de corantes sulfúricos.....	22
Figura 8 -	Formação de complexo do corante do grupo hidroxila azo e água.....	22
Figura 9 -	Estrutura química do corante: A – índigo e B – índigo carmim.....	24
Figura 10 -	Estrutura química dos isômeros: cis-índigo (azul); isoíndigo (índigo marrom); cí-indirubina (isso-indirubina, vermelho).....	24
Figura 11 -	Reação de oxidação do indol formando o índigo.....	25
Figura 12 -	Estabilização do índigo por interação de Van der Walls.....	25
Figura 13 -	Principais etapas do beneficiamento do processamento têxtil	31
Figura 14 -	Panorama geral de entrada e saída de águas e efluentes com cargas de DBO.....	33
Figura 15 -	Rejeitos de fábricas de jeans nas águas do Rio Capibaribe (01/2017).....	35
Figura 16 -	Aspecto do lodo proveniente da estação de tratamento após processo de secagem.....	37
Figura 17 -	Fluxograma Modificado de MARCONDES, 2012 e FREIRE et a., 2000.....	39
Figura 18 -	Esquema de tratamento geralmente utilizado em ETE utilizando lodo ativado.....	42
Figura 19 -	Mecanismo de degradação do corante Índigo (A) por <i>Phormidium</i> . e do índigo carmim (B) pela enzima lacase produzida por <i>Trametes hirsuta</i> ..	45
Figura 20 -	a) obtenção da isatina e ácido sulfônico isatina por processo oxidativo. b) obtenção do ácido sulfônico indolino por processo reutivo.	46
Figura 21 -	Ciclo catalítico de Lacase.....	48
Figura 22 -	Ciclo catalítico Lacase.....	48
Figura 23 -	Estrutura hipotética da lignina.....	49
Figura 24 -	Ciclo catalítico de LiPs	50
Figura 25 -	Ciclo catalítico de MnPs	51
Figura 26 -	A- Varredura do índigo carmim; B- Varredura do efluente têxtil.....	64

Figura 27 - Porcentagem de descoloração do corante índigo carmim.....	64
Figura 28 - Atividade das enzimas Lac, LiP e MnP dos ensaios com corante índigo carmim em unidades internacionais por miligrama de proteína (UI/mg) por litro.....	66
Figura 29 - Descoloração do efluente têxtil.....	68
Figura 30 - Atividade enzimática de Lac, LiP e MnP do experimento de descoloração do efluente têxtil pelos fungos investigados.....	70
Figura 31 - Percentual de descoloração do efluente têxtil dos ensaios do planejamento experimental DCCR pelas cepas <i>Penicillium fellutanum</i> (F22), <i>Aspergillus fumigatus</i> (F53) e <i>Fomitopsis cupreorosea</i> URM 6830 (F79).....	72
Figura 32 - Modificações no espectro de absorção do efluente têxtil inicial e do ensaio 17 da otimização após tratamento com os fungos.....	73
Figura 33 - Atividade enzimática das enzimas Lac, LiP e MnP dos ensaios do planejamento experimental produzidas pelos fungos A - <i>Penicillium fellutanum</i> (F22), B - <i>Aspergillus fumigatus</i> (F53) e C - <i>Fomitopsis cupreorosea</i> URM 6830 (F79).....	74
Figura 34 - Índice de germinação das três cepas testadas no planejamento experimental composto.....	77
Figura 35 - Gráfico de Pareto da cepa <i>Penicillium fellutanum</i> (F22). A – Influencia do extrato de levedura e o FeSO ₄ na descoloração do efluente têxtil; B – Influencia do MnSO ₄ na atividade da enzima manganês peroxidase...	78
Figura 36 - Gráfico de Pareto da cepa <i>Aspergillus fumigatus</i> . A – Influencia do extrato de levedura na descoloração do efluente têxtil; B – Influencia do FeSO ₄ na atividade da Lac; C – Influencia da interação entre extrato de levedura e MnSO ₄ na atividade da atividade LiP; D - Influencia da interação entre extrato de levedura e MnSO ₄ na atividade da atividade da MnP; E – Influencia da interação entre CuSO ₄ e FeSO ₄ no índice de fitotoxicidade.....	79
Figura 37 - Gráfico de Pareto <i>Fomitopsis cupreorosea</i> URM 6830 (F79). Influencia da interação entre extrato de levedura e CuSO ₄ na atividade da manganês peroxidase.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Grupos de cromóforos e auxocromos.....	18
Tabela 2 -	Estruturas de grupos cromóforos de corantes.....	19
Tabela 3 -	Características dos corantes utilizados nas operações de tingimento.....	23
Tabela 4 -	Estruturas precursoras do índigo carmim: inigotina, indirubina e outras moléculas.....	25
Tabela 5 -	Perfil do setor têxtil no Brasil segundo a Abit (dados atualizados em dezembro de 2017).....	27
Tabela 6 -	Tipos de processos e efluentes gerados.....	32
Tabela 7 -	Despejos em cada etapa do processamento têxtil.....	34
Tabela 8 -	Parâmetros exigidos para descarte de efluentes segundo legislação (CPRH, 2001).....	35
Tabela 09 -	Etapas do processo de tratamento de efluente têxtil.....	40
Tabela 10 -	Micro-organismos com capacidade de descolorir corantes.....	44
Tabela 11 -	Valores estabelecidos no Planejamento experimental.....	60
Tabela 12 -	Caracterização do efluente em estudo e características típicas de efluente têxteis.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFPEDA	Universidade Federal de Pernambuco Departamento de Antibióticos
CPRH	Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
CNAE	Classificação Nacional de Atividade
ETENE	Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ADMI	American Dye Manufacturer Institute
ST	Sólidos Totais
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
LiP	Lignina peroxidase
MnP	Manganês peroxidase
Lac	Lacase
USEPA	United States Environmental Protection agency
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
USFDA	Food and Drug Administration (fda) is an Agency within the U.S.
EPA	Environmental Protection Agency
ATSM	American Society for Testing and Materials
UNICHIM	Unificazione del settore dell'industria chimica
SAB	Ágar sabouraud

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	CORANTES TÊXTEIS.....	17
2.1.1	Classificação de corantes de acordo com o método de aplicação.....	19
2.1.2	Corante índigo.....	23
2.2	INDÚSTRIA TÊXTIL.....	26
2.2.1	Setor têxtil no Brasil.....	26
2.2.2	Setor têxtil em Pernambuco (PE).....	29
2.3	EFLUENTE TÊXTIL.....	30
2.4	TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS.....	37
2.5	ENZIMAS LIGNOLÍTICAS.....	47
2.5.1	Lacase EC 1.10.3.2 – Lac.....	47
2.5.2	Lignina peroxidase EC 1.11.1.14 – LiP.....	49
2.5.3	Mangânes peroxidase EC 1.11.1.13 – MnP.....	50
2.5.4	Enzimas em processos de descoloração.....	51
2.6	TOXICIDADE.....	52
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
3.1	CORANTE E EFLUENTE TÊXTIL.....	57
3.1.2	Curva de absorção.....	57
3.2	MICRO-ORGANISMOS.....	57
3.3	SELEÇÃO DE CEPAS FÚNGICAS QUANTO A DESCOLORAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO CARMIM.....	58
3.4	QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA.....	58
3.5	DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL.....	59
3.6	QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO EFLUENTE TÊXTIL.....	60
3.7	OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO PARA DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL.....	60

3.8	TOXICIDADE.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL.....	62
4.2	SELEÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS QUANTO À DESCOLORAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO CARMIM.....	64
4.3	QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO TRATAMENTO DO CORANTE ÍNDIGO CARMIM.....	66
4.4	DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL.....	67
4.5	QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO EFLUENTE TÊXTIL.....	69
4.6	PLANEJAMENTO FATORIAL EXPERIMENTAL DO TIPO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL.....	71
4.6.1	Análise do processo de descoloração do efluente têxtil.....	71
4.6.2	Análise da atividade enzimática do experimento de Planejamento experimental DCCR.....	73
4.6.3	Fitotoxicidade.....	75
4.6.4	Diagrama de Pareto evidenciando as interações das variáveis.....	77
5	CONCLUSÕES.....	82
	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICE A – Trabalho apresentado no CONGRESSO BIOMICROWORLD 2017, MADRID (SPAIN).....	103
	APÊNDICE B - Trabalho apresentado no CONGRESSO IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE MICOLOGIA 2017.....	111
	APÊNDICE C - Trabalho apresentado no CONGRESSO IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE MICOLOGIA 2017.....	113
	APÊNDICE D - TRABALHO APRESENTADO NO CONGRESSO XXIV ALAM 2018 – XL SOMICH – II ASOCHIN – IX SLAMTB.....	115

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil utiliza em seu processo de tingimento diversos tipos de corantes e consome grandes volumes de água para lavagem dos tecidos. Além do mais os tecidos que são customizados, como o jeans, no processo de lavagem geram efluentes com diversos corantes com destaque para o índigo. Estes corantes mesmo em pequenas quantidades apresentam potencial poluidor podendo mudar a coloração de um corpo hídrico impedindo que os raios solares sejam transmitidos para os seres vivos existentes nestes ambientes aquáticos levando-os a morte (SHANMUGAM et al., 2017; KRISTANTI et al., 2016; KAUR et al., 2015).

Em alguns casos a toxicidade destes efluentes é atribuída à presença de compostos recalcitrantes, como ácidos, alcalinos, metais e sólidos solúveis, os quais são de difícil degradação e quando lançados em corpos aquáticos sem tratamento adequado apresentam efeito acumulativo que em concentrações elevadas podem ser letais para alguns organismos que vivem nestes ecossistemas aquáticos. Diante disto, vem sendo realizado vários estudos que visam remover estas substâncias contaminantes ou mesmo a sua mineralização (CHANWALA et al., 2019; KAUR et al., 2015; TROMBINI, et al., 2012).

Devido à grande diversidade e complexidade destes efluentes e exigências da legislação brasileira, é requerido o desenvolvimento de tratamentos mais apropriados que resultem na diminuição ou eliminação da toxicidade levando em conta os custos, tempo e eficiência do processo de tratamento desses efluentes. Estas tecnologias envolvem tratamentos físico-químicos e biológicos. O tratamento físico-químico é o mais utilizado, porém a descoloração e biodegradação destes efluentes por micro-organismos tem uma eficácia maior quando se trata da diminuição da poluição proveniente de uma alta toxicidade (BANKOLE et al., 2018; IQBAL et al., 2014; ASGHER et al., 2013; KAUSHIK, et al., 2009).

Pesquisas envolvendo o tratamento de corantes utilizando fungos e suas enzimas lignolíticas lacases, lignina peroxidase e manganês peroxidase foram efetivas, visto que é uma alternativa *eco-friendly* para remediar corantes têxteis, e também outros compostos xenobióticos (REKIK et al., 2019; PLÁCIDO et al., 2016; ADNAN et al., 2015). O fungo *Lenzites elegans* WDP2 mostrou grande potencial para remediar os corantes sintéticos como o verde brilhante, verde malaquita e vermelho de congo, o mesmo produziu altas taxas de lacases, sendo considerada uma forma de tratamento econômica e ecologicamente viável (PANDEY et al., 2018).

Diante de tudo que foi descrito este estudo visou avaliar o potencial de amostras de fungos filamentosos obtidos da Micoteca URM do departamento de Micologia/UFPE, de fungos isolados de água potável/mineral, de áreas contaminadas por petroderivados em tratar efluentes de lavanderias têxteis a fim de melhorar a qualidade da água desprezada em corpos hídricos e minimizar os efeitos prejudiciais aos seres vivos destes locais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de espécimes fúngicas no tratamento de efluentes de lavanderias têxteis, a fim de melhorar a qualidade da água desprezada no ambiente e minimizar os efeitos prejudiciais aos seres vivos destes locais.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização físico-química do efluente têxtil;
- Selecionar linhagens fúngicas com potencial de descoloração do corante índigo carmim;
- Determinar a produção das enzimas lignolíticas lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase com linhagens capazes de descolorir o corante;
- Avaliar o potencial de descoloração do efluente têxtil utilizando as linhagens selecionadas;
- Determinar o potencial de produção das enzimas extracelulares lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase frente ao efluente têxtil com as linhagens selecionadas;
- Avaliar a influencia nutricional, através de planejamento fatorial, no processo de descoloração do efluente têxtil;
- Analisar os subprodutos do tratamento do efluente têxtil pelas linhagens selecionadas;
- Avaliar toxicidade dos subprodutos do processo de degradação do efluente têxtil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CORANTES TÊXTEIS

Os corantes são caracterizados por absorverem a luz visível no comprimento de onda na faixa visível entre 400-700 nm conferindo-lhe a cor. Esses corantes podem ser de origem natural (extraídos de fontes naturais) ou sintética. Há registros da utilização de corantes têxteis naturais, extraídos de materiais animais e vegetais como o corante índigo produzido por uma planta chamada índigo por volta de 3000 a.C. Os Fenícios mencionaram o uso de tyrian roxo extraído de caracóis marinhos no século 15 a.C. Já os corantes sintéticos começaram a serem sintetizados em 1856 pelo químico William Henry Perkin com o corante malva (anilina) na cor fúcsia brilhante, e os corantes azo foram sintetizados por P. Gries em 1958 (GABORIAUD-KOLAR et al., 2014; WELHAM, 2000).

Para os corantes têxteis serem considerados estáveis para aplicação industrial, devem ser resistentes às lavagens, ao tempo, a longa exposição à luz solar, inertes às degradações químicas, físicas e biológicas (ZUCCA et al., 2015). Também são levados em consideração os vários fatores que influenciam o processo de tingimento de tecidos como: afinidade do corante com o tipo e a natureza da fibra; natureza química do corante; temperatura; presença de sais; presença de metais; a força com que a solução corante é absorvida fisicamente pela fibra; concentração do corante; relação entre quantidade do material a ser tingido e a quantidade do líquido corante; tensão superficial; influência das massas de dois ou mais corantes e influência das massas de duas ou mais das fibras durante os banhos (MATTHEUS et al., 1909).

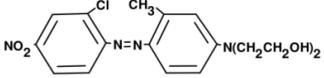
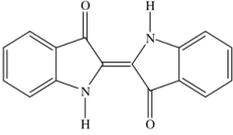
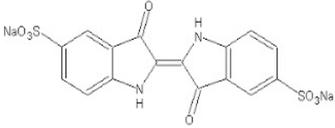
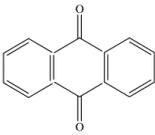
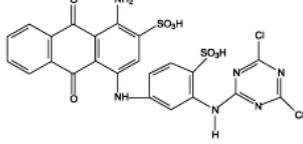
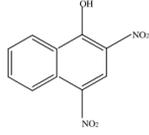
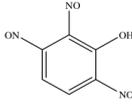
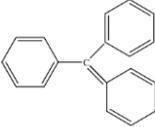
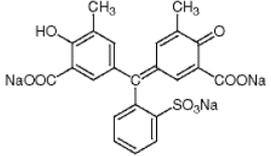
A estrutura química destes corantes é formada por anéis aromáticos contendo os componentes básicos. Os grupos funcionais que condicionam a cor são chamados cromóforos (receptores de elétrons) e sua capacidade de tingimento é dada pelos grupos auxocromos (doadores de elétrons), estes são grupos ionizáveis, que dão a capacidade de ligação entre corante e fibra têxtil, e o conjunto destes dois grupos é chamado de cromogênio. Na tabela 01 são apresentados os principais grupos cromóforos e auxocromos (CHRISTIE, 2015; ZUCCA et al., 2015; SHERTATE et al., 2014; ZAHARIA et al., 2012; BAUMANN et al., 1951; WELHAM, 2000; GOMES, 2000).

Tabela 01. Grupos cromoforos e auxocromos.

Grupos cromoforos			
Azo	Metina	Arilmetano	Carbolino
$-\text{N}=\text{N}-$			
Carbono-nitrog	Nitroso	Nitrilo	
	$-\text{N}=\text{O}$		
Grupos auxocromos			
Amina	alquilamina	Dialquilamina	Hidroxilo
$-\text{NH}_2$	$-\text{NHR}$	$-\text{NR}_2$	$-\text{OH}$
Metoxilo	Sulfonico	Carboxilo	
$-\text{OCH}_3$	$-\text{SO}_3\text{H}$	$-\text{COOH}$	

Os corantes têxteis são caracterizados de acordo com a composição química dos cromóforos representados por grupos azo, antraquinona, trifenilmetano, indigoide, nitro, nitroso, entre outros (Tabela 02). O corante azo, por exemplo, é uma classe de corantes sintéticos que são utilizados em várias indústrias além das têxteis, como as de plásticos, couro, alimentos e cosméticos. São comuns na contaminação de rios e águas subterrâneas. Os corantes também são classificados de acordo com método de aplicação – corantes reativos, diretos, ácido, básico, dispersos, mordaz, azoicos, enxofre, solventes, à tina ou a cuba e pigmentos (LU et al., 2016; SHERTATE, et al., 2014; SINGH et al., 2006).

Tabela 02. Estruturas de grupos cromóforos de corantes.

Grupos cromóforos	Estruturas	Exemplos de corantes
Azo	—N=N—	
Índigoide		Disperse red 5 
Antraquinona		Índigo carmim 
Nítro	—N(=O)O	Reativo azul 4 
Nitroso	—N=O	Amarelo ácido 24 
Trifenilmetilênico		Verde rápido 
		Solochrome cyanine R

Fonte: Adaptado de QUINTERO 2010; GOMES, 2000.

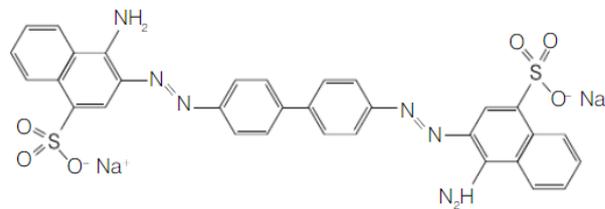
2.1.1 Classificação de corantes de acordo com o método de aplicação

De acordo com o sistema de classificação internacional Colour Index (C.I.) criado e publicado pela Association of Textile Chemists and Colorists e The Society of Dyers and Colourists (CPRH, 2001), os corantes são definidos como:

Corantes à tina ou Vat: divididos em dois grupos, os indigoides e os antraquinônios (fig. 01), são insolúveis em água devido a presença de um grupo acetônico ($>C=O$). Para torná-los solúveis, são reduzidos em solução alcalina formando um produto chamado LEUCO. E

o grupo acetônico passa a ter a forma reduzida $>C-OH$ passando a ter afinidade química por fibras celulósicas.

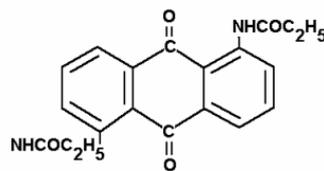
Figura 01. Estrutura química do C.I. Vat Yellow



Fonte: Braga 2000.

Corantes reativos: possuem um ou mais grupo azo ($-N=N-$), sendo chamados de diazo, triazo e outros, por isso são conhecidos como azoicos (Fig. 02). Foram sintetizados pela primeira vez em 1956 por químicos do Imperial Chemical Industries. Têm afinidade por fibras de algodão e celulósicas.

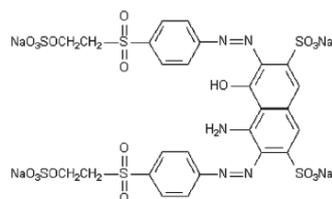
Figura 02. Estrutura química do corante Preto Reativo 5



Fonte: Souza & Peralta-Zamora, (2005).

Corantes dispersos: chamados assim por serem aplicados através de dispersões, são insolúveis em água (Fig. 03) e possuem afinidade com fibras hidrofóbicas como acetato de celulose, aplicados também para tingir nylon, triacetato, acrílicos e poliéster.

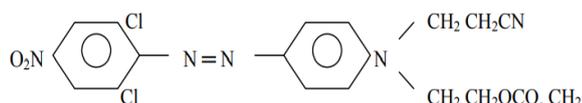
Figura 03. Estrutura química do corante Orange disperse 30



Fonte: <http://www.worlddyevariety.com/disperse-dyes/disperse-orange-30.html>

Corantes diretos: o vermelho Congo (fig. 04) foi o primeiro corante direto sintetizado em 1884, inicialmente para colorir algodão. São aniônicos para fibras celulósicas aplicados em banhos aquosos, neutro ou levemente alcalino, em ponto de ebulição ou com temperatura próxima.

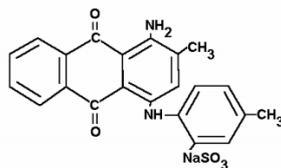
Figura 04. Estrutura química do corante vermelho congo.



Fonte: Rodrigues et al., (2010).

Corantes ácidos: são solúveis em água, tem afinidade para lã, seda e couro e algumas fibras acrílicas. Alguns destes corantes são metalizados possuem um ou mais íons de metais em sua estrutura molecular (fig. 05), deixando-o bastante estável, ou seja, preserva sua estrutura durante o processo de tingimento.

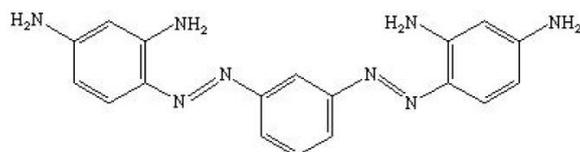
Figura 05. Estrutura química do corante C.I. Acid Blue 47.



Fonte: Braga (2000).

Corantes básicos: solúveis em água, catiônicos devido a presença do grupo amino ($>NH_2$) (fig. 06). O corante C.I. Natural Yellow 18 ou como é conhecida berberina é um básico natural e o Malveína foi o primeiro a ser sintetizado comercialmente. Possuem afinidade com fibras de lã, seda, acrílicas e acetato de celulose. Estes corantes são conhecidos por terem cores fortes e as vezes fluorescentes porém baixa solidez. Deve-se ressaltar que a maioria desses corantes utilizam como matéria-prima a benzidina CAS-92-87-5 (CAS-Chemical Abstracts Service) que é reconhecidamente carcinogênico.

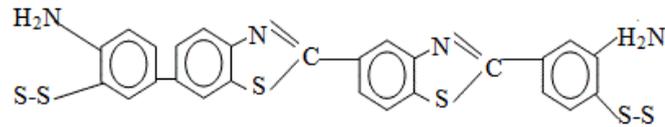
Figura 06. Estrutura química do corante Bismark brown (CI basic brown 1).



Fonte: Dye -- Britannica Online Encyclopedia.

Corantes ao enxofre: insolúveis em água, e assim como os corantes à tina devem ser reduzidos para uma forma que seja solúvel em água, desta forma passam até ter afinidade com fibras celulósicas. Possuem solidez a luz e lavagem porém baixa resistência ao cloro (fig. 07).

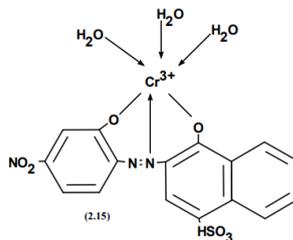
Figura 07. Estrutura química de corante sulfúrico.



Fonte: http://textilelearner.blogspot.com/2011/03/defination-classification-application_4761.html

Corantes mordentes: estes são considerados uma subclasse de corantes ácidos, podem combinar-se ao mesmo tempo com a fibra e com uma substância mordente (que pode ser um complexo metálico de alumínio, cromo, estanho ou ferro) formando uma ligação forte (fig. 08).

Figura 08. Estrutura química de corantes. Formação de complexo do corante, do grupo hidroxila azo e água.



Fonte: BRAGA, (2000).

Corantes naturais: estes são obtidos de formas naturais utilizando-se pouco ou nenhum produto químico, a partir de substâncias animais ou vegetais. São encontrados nas formas dos tipos mordentes, à tina, solventes, pigmentos, diretos e ácidos. Não possuem as formas naturais dos tipos dispersos, azoicos ou enxofre. Com relação a toxicidade os corantes sintéticos não apresenta distinção significativa dos corantes naturais. Deve-se salientar que a composição química dos corantes sintéticos é definida diferente dos pigmentos naturais, e também são submetidos a testes de toxicidade antes de serem lançados no mercado. A utilização deste tipo de corante, naturais, no tingimento de fibras só é possível na presença de alguns metais, conseqüentemente a água de lavagem de tecidos utilizando este tipo de corante é rico em íons metálicos.

Na tabela 03 são apresentados dados relacionados aos tipos de corantes e a quais fibras têm afinidade, percentual de fixação deles às fibras e possíveis poluentes gerados nos processos de tingimento.

Tabela 03. Características dos corantes utilizados nas operações de tingimento.

Classe de corantes	Tipo de fibras	Fixação típica (%)	Poluentes
Cuba (À tina)	Algodão e outras Fibras celulósicas	80-95	Cor, álcalis, agentes oxidantes, agentes redutores, etc.
Reativos	Algodão, Lã e outras fibras celulósicas.	60-90	Cor, sal, álcalis, corantes hidrolisados, surfactantes, antiredutores orgânicos, antiespumantes, etc.
Dispersos	Poliéster, Acetato e outras fibras sintéticas	80-90	Cor, ácidos orgânicos, agentes de igualização, fosfatos, antiespumantes, lubrificantes, dispersantes, etc.
Diretos	Algodão, Raion e Demais fibras celulósicas	70-95	Cor, sal, corante não fixado, fixadores; agentes catiônicos surfactantes, antiespumante, agentes retardantes e igualizantes, etc.
Ácidos	Lã e Poliamida	80-93	Cor, ácidos orgânicos e corantes não fixados.
Básicos	Acrílico e alguns tipos de poliéster	97-98	Fixação quase que total na fibra. Sal, ácidos orgânicos, retardantes, dispersantes, etc.
Enxofre ou sulforosos	Algodão e outras fibras celulósicas	60-70	Cor, sal, álcalis, agentes oxidantes, agentes redutores e corantes não fixados, etc.

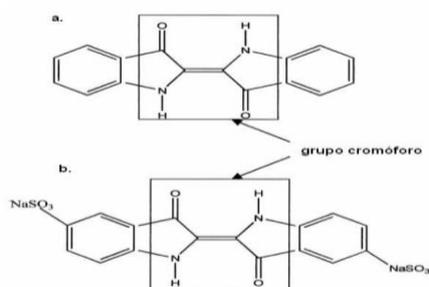
Fonte: Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, 2001.

2.1.2 Corante índigo

O corante índigo natural é extraído na forma de indoxil (3-hidroindol) de espécies de plantas *Indigofera tinctoria* L., *Indigofera anil* L. e *Isatis tinctoria*, entre outras. Há relatos do uso deste corante em têxteis na Índia há cerca de 4 mil aC. e em outros países como China, Japão e Egito. O químico alemão Johann F.W.A. Baeyer conseguiu sintetizar o corante pela primeira vez por volta de 1880 e em 1905 foi introduzido o primeiro índigo sintetizado no mercado pela BASF (Badische Aniline Soda Fabrik). Atualmente, praticamente todo índigo produzido é sintetizado, e é bastante usado para colorir calças jeans (FERREIRA, 2017).

A cor azul escuro intenso é obtida através de fermentações das folhas frescas e oxidação formando um produto insolúvel. O corante índigo também denominado 2,2' bis índigo, CI Vat Blue I ou índigo cuba (à tina), possui a fórmula química $C_{12}H_{10}O_2N_2$, quando sulfonada passa a ser denominado índigo carmim ou *Acid Blue 74* (CI) com a fórmula $C_{16}H_8O_8N_2S_2Na_2$, geralmente é utilizado em indústrias de jeans. A cor é dada pelo grupo cromóforo (Figura 09), que consiste na substituição de uma ligação simples de carbono por dois receptores NH e dois aceptores CO (QUINTERO & CARDONA, 2010). No processo de coloração dos tecidos, o índigo é primeiro reduzido à forma leuco (incolor e solúvel) e depois oxidado até uma cor azul e insolúvel, e são estas moléculas que se fixam as fibras. Este procedimento é conhecido como *vatting* deu origem a sua classificação como corantes *vat*.

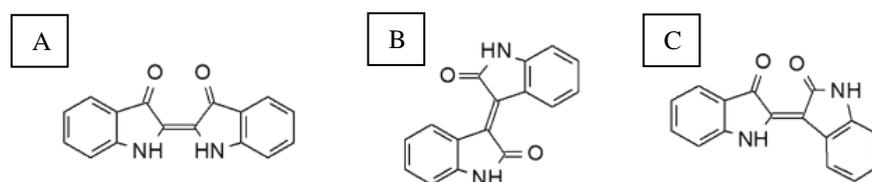
Figura 09. Estrutura molecular: a) corante índigo e do b) corante índigo carmim.



Fonte: QUINTERO et al., 2010.

A estrutura índigo ou indigotina (*trans*-índigo) é a molécula responsável por dar a cor azul final, outras estruturas consideradas secundárias também podem ser formadas durante o processo de síntese pelas plantas índigo, como *cis*-índigo (*azul*) (Fig. 10A), isoíndigo (marrom) (Fig. 10B), isoindirubina (vermelho) (Fig. 10C).

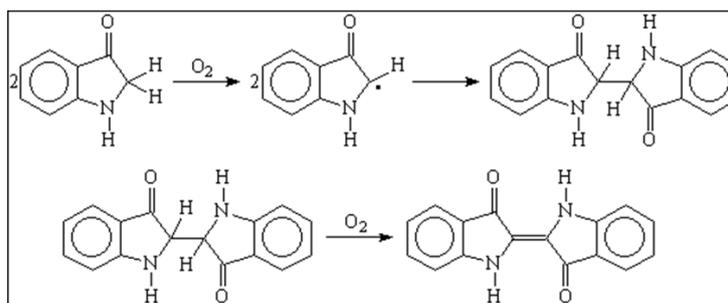
Figura 10. Estruturas químicas. Isômeros: A) *Cis*-índigo (*azul*); B) Isoíndigo (*índigo marrom*); C) *Cis*-indirubina (*iso indirubina, vermelho*).



Fonte: QUINTERO et al., 2010.

Esta molécula índigo e seus isômeros são formados pela combinação de suas moléculas de indoxil (Fig. 11). No processo de formação do índigo esta molécula de indoxil dá origem a isatina, que é formada sob altas concentrações de oxigênio, a combinação entre indoxil e isatina dão origem a molécula indirubina (tabela 04) (DEGANI et al., 2015).

Figura 11. Reação de oxidação do indol formando o índigo



Fonte: CORANTES (docs.fct.unesp.br/docentes/dfqb/eduardoperez/QORGEX2010/CORANTES-01.doc).

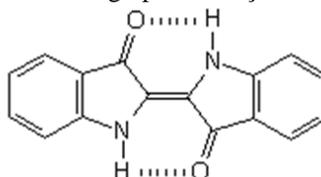
Tabela 04. Estruturas precursoras do índigo carmim: indigotina e indirubina e outras moléculas.

Descrição	Estruturas
A indoxil em condições ricas em oxigênio forma a isatina	
A indoxil e a isatina foram a trans-indirubina (iso indigotina, vermelho)	

Fonte: Degani et al., 2015.

A molécula do índigo é encontrada apenas na forma *trans* devido a interações de pontes de “Van der Waals” (fig. 12) entre os hidrogênios das aminas e os oxigênios das carbonilas atribuindo maior estabilidade a ela. A forma *cis* não possui estabilidade entre os hidrogênios das aminas e oxigênios das carbonilas, pois causam repulsão entre elas, sendo guiada a forma *trans* que é mais estável.

Figura 12. Estabilização do índigo por interações de Van der Waals



Fonte: CORANTES (docs.fct.unesp.br/docentes/dfqb/eduardoperez/ QORGEX2010/ CORANTES-01.doc).

2.2. INDÚSTRIA TÊXTIL

2.2.1 Setor têxtil no Brasil

O setor de indústria têxtil é constituído pela fiação, tecelagem e malharia e o beneficiamento, este último inclui tinturaria, estampagem, lavanderia e outras (MENDES Jr., 2017). No Brasil, a indústria têxtil iniciou desde a época colonial, que se deu entre 1530 e 1822, neste período observou-se pouco desenvolvimento, inclusive em 1785 d. Maria I, por decreto, mandou fechar as fábricas de tecidos de algodão, lã e outras fibras deixando apenas as que fabricavam tecidos grosseiros para vestuários dos escravos e outros fins. Este decreto teve por objetivo evitar o desvio da mão de obra dos trabalhadores dos setores agrícolas e extrativistas minerais (REVISTA TEXTÍLIA, 2018).

Apenas com a vinda de Dom João VI para o Brasil, este alvará foi revogado, porém o setor não tinha como competir com o mercado externo visto que a metrópole fez um tratado com a Inglaterra, dando a esta privilégios alfandegários, isso durou até 1844. Por volta de 1864 o setor foi impulsionado devido à colônia possuir plantio de algodão, mão de obra e outros materiais utilizados na indústria têxtil além de já possuir mercado consumidor (REVISTA TEXTÍLIA, 2018).

Após esse período houve um moderado desenvolvimento com a chegada de imigrantes alemães e italianos. O setor sofreu baixas com o início da primeira guerra mundial devido às importações e exportações que foram afetadas durante esse período, e também quando a bolsa de valores de Nova York teve queda em 1929. Voltando a apresentar grande crescimento entre 1931 e 1938, já durante a segunda guerra mundial, tornando-se o segundo maior produtor mundial (REVISTA TEXTÍLIA, 2018).

Mas foi no final do século XIX que começou a se desenvolver com a criação de tecelagens e fiação de algodão. O centro industrial têxtil da Bahia foi considerado o primeiro e mais importante até 1860 porque disponha de mão de obra escrava, matéria prima e fontes hidráulicas de energia, e a partir de 1866 a região centro-sul do Brasil, nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro passou a ser o principal centro devido à construção de estradas de ferro possibilitando o deslocamento destas indústrias da Bahia para o centro-sul do país; em 1981 foi criada a companhia de Fiação e Tecidos em Porto Alegre (FIATECI) a qual funciona até os dias atuais, e em 1982 um imigrante alemão chamado Johann Karsten, fundou a Tecelagem Roeder, Karsten & Hadlich. No século XX,

começou a exportar algodão devido a sua grande produção, e também entre outros, lã e seda (FUJITA & JORENTE, 2015; SUZIGAN, 2000).

No Nordeste brasileiro, a indústria têxtil representa um setor que consome matérias primas têxtil gerando empregos para a região. De acordo com os dados do SEBRAE de 2015, 17% de empregos formais são gerados (MENDES, 2017). Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (dados de 2015), o setor gerou no nordeste 44.987 empregos formais nas médias e grandes empresas e no Brasil 67.919 empregos nas grandes empresas. As principais regiões que se destacam neste setor são a região Metropolitana de São Paulo e Campinas (SP), o Vale do Itajaí (SC) gerando 36% dos empregos formais. No nordeste destacam-se a região Metropolitana de Fortaleza, Mata Paraibana (PB), Leste Potiguar (RN), Leste Sergipano (SE), agreste pernambucano (PE) e região de Salvador (BA) (MENDES, 2017; BNB/ETENE, 2017c; BNB/ETENE, 2017)

O setor têxtil passou por várias fases de desenvolvimento no mercado até a atualidade (OBIETTIVO BRASIL, 2016). A Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit) divulgou um balanço do faturamento do setor industrial têxtil no Brasil referentes a 2017 (Tabela 05).

Tabela 05. Perfil do setor têxtil no Brasil segundo a Abit (atualizados em outubro 2018):

Indicadores	Dados
Faturamento da Cadeia Têxtil e de Confecção:	US\$ 45 bilhões
Exportações (sem fibra de algodão):	US\$ 1,0 bilhão
Importações (sem fibra de algodão):	US\$ 5,1 bilhões
Saldo da balança comercial (sem fibra de algodão):	US\$ 4,1 bilhões negativos
Investimentos no setor:	R\$ 1.900 milhão
Produção média de confecção:	5,9 bilhões de peças
Produção média têxtil:	1,7 milhão de toneladas
Varejo de Vestuário:	6,71 bilhões de peças
Trabalhadores:	1,479 milhão de empregados diretos e 8 milhões indiretos
	2º. Maior gerador do primeiro emprego; 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento da Indústria de Transformação;
	2º. maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (juntos)

A ABIT ainda cita outros indicadores de produção da indústria têxtil no Brasil (Fonte: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor> acesso: 04-09-18.):

- a) O Brasil, ainda, a se destaca pelo ciclo completo da Cadeia Têxtil do Ocidente, produzimos o algodão, fibras, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções, varejo e os desfiles de moda;
- b) Além de, com a descoberta de petróleo no Pré-sal, o Brasil deixará de ser importador para se tornar potencial exportador na Cadeia Sintética Têxtil mundial;
- c) Brasil é referência mundial em design de moda praia, jeanswear e homewear, tendo crescido também os segmentos de fitness e lingerie;
- d) A moda brasileira está entre as cinco maiores Semanas de Moda do mundo;
- e) Quarto maior produtor de malhas do mundo;
- f) Autossuficiente na produção de algodão, o Brasil produz 9,4 bilhões de peças confeccionadas ao ano (destas, cerca de 5,3 bilhões em peças de vestuário), sendo referência mundial em beachwear, jeanswear e homewear. * dados de 2014;
- g) Número de empresas: 29 mil em todo o País (formais);
- h) Temos mais de 100 escolas e faculdades de moda;
- i) Indústria que tem quase 200 anos no País;

Na modernidade as indústrias têxteis são destaques no comércio mundial (DASGUPTA et al., 2015). No Brasil três grandes zonas de produção têxtil se destacam neste mecardo: A Região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul); Região Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo); Região Nordeste (Pernambuco, Ceará, Bahia e Rio Grande do Norte).

O estado de São Paulo é considerado um dos maiores distritos de produção têxtil. O polo Americana é um grande centro de produção, neste encontram-se grandes fábricas de fiação de algodão, tecelagem e tinturaria/fixação assim como pequenas e médias empresas. Neste estado também se situam os dois maiores centros comerciais em atacado, Brás e Bom Retiro. Os estados de São Paulo e Minas Gerais constituem uma importante zona de produção chamada paulistano-mineiro, na qual as cidades de Jaguatinga e Divinópolis representam os dois principais centros atacadistas compostos, na maioria, por pequenas e médias empresas de produção de malha e venda (OBIETTIVO BRASIL, 2016).

No Rio de Janeiro encontram-se duas cidades consideradas grandes centros de produção têxtil, o polo de Nova Friburgo considerado o principal na produção de lingerie, roupas de praia e esportivas, e o polo de Petrópolis caracterizado pela produção de roupas de frio, que vão da tecelagem à confecção das peças.

O vale de Itajaí no estado de Santa Catarina é considerado o segundo maior polo têxtil do país com cadeia de produção no setor algodoeiro, e o vale da seda no estado do Paraná é o principal polo de produção de seda do país, (cultura introduzida no Brasil pelos japoneses no final dos anos 30) (OBIETTIVO BRASIL, 2016).

Segundo Fujita & Jorente (2015), o setor têxtil representa um ramo bastante importante que desde a época colonial vem gradativamente se desenvolvendo no país, mas que ainda

precisa de mudanças para acompanhar os avanços do mercado mundial. Há uma necessidade de conhecimento e tecnologia, para isso é preciso investimento em desenvolvimento científico e tecnológico.

2.2.2 Setor têxtil em Pernambuco (PE)

Em Pernambuco, em 1826 foi instalada a primeira indústria têxtil, uma fábrica de tecidos no Recife, porém esta fechou com pouco tempo depois. Apenas duas décadas depois abriram duas outras fábricas e estas conseguiram se consolidar, mas foi em 1860 que houve um maior crescimento delas no Estado, isso ocorreu devido à guerra da Secessão dos Estados Unidos. Neste período o abastecimento de tecidos para os ingleses foi cortado, gerando grande procura e supervalorização do algodão do Brasil. Esse grande crescimento nas exportações fez com que houvesse maior investimento no setor, surgindo várias fábricas como a da Madalena no Recife em 1876, a fábrica da Torre denominada Cia de Fiação e Tecidos de Pernambuco, a fábrica de tecidos de Paulista em 1891, a Cia industrial pernambucana em Camaragibe em 1891, a fábrica de malhas na Várzea no Recife, e as fábricas de tecidos nos municípios de Goiana e Apipucos. Já no século XX, em 1908 foi instalada a Societé Cottoniere Belge-Brasilienne em Moreno, em 1925 a fábrica Pirapama em Escada, em 1925 a Cia Manufatora de tecido do Norte/fábrica Tacaruna entre Recife e Olinda, em 1925 a tecelagem de seda e algodão de Pernambuco/TSAP em Recife, e em 1926 a Cotonificio José Rufino no Cabo. Na década de 1920 em Pernambuco existiam 95 indústrias têxteis, ocupando o segundo lugar das indústrias do estado, nesta época o setor produzia 8% do total de produção industrial brasileiro. Em 1939, ocupava o segundo de produção industrial em todo o estado. Em 1960 das 97 fábricas de tecido do nordeste brasileiro, 32 estavam instaladas em Pernambuco (TEXTILE INDUSTRY, 2011).

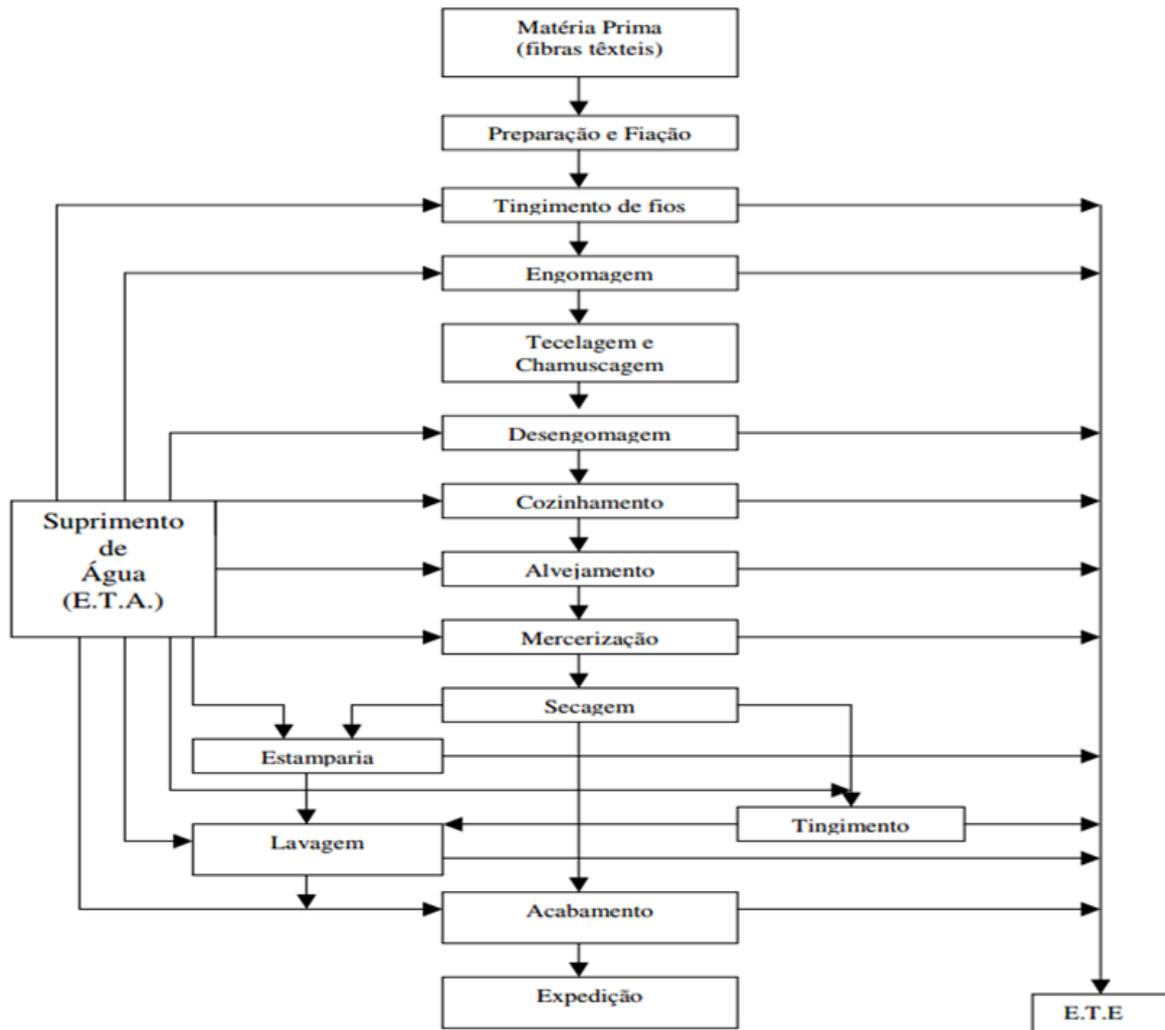
As indústrias têxteis formais concentram-se nas microrregiões Vale do Ipojuca, Alto Capibaribe e Recife, segundo dados da Relação Anual de Informações sociais (RAIS) no período de 2006 a 2010, estas microrregiões compostas pelos municípios Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Recife detinham 71,92% de todas as indústrias do setor têxtil em PE. Nestes municípios são criados muitos empregos com mais de 7 mil estabelecimento de indústria de transformação, que engloba também o setor têxtil, valor bruto de produção da indústria têxtil em PE em 2015 foi 1,5% segundo a Base de Dados do Estado PE (BDE, 2016) (ANDRADE et al., 2016).

O estado de Pernambuco assim como outros estados da região Nordeste participam fortemente no segmento de preparação e fiação de fibras têxteis gerando 30% de empregos, 30% em tecelagem (exceto malha) e 27,5% na fabricação de artefatos têxteis (exceto vestuário) (Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 2.0) sendo distribuídos entre a região metropolitana do Recife e região agreste, segundo dados do MTE 2017 por BNB/ETENE (banco do nordeste/Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste) (MENDES, 2017).

2.3 EFLUENTE TEXTIL

O efluente é gerado durante várias etapas do processamento têxtil principalmente nas do alvejamento, tingimento e estampagem do tecido a partir dos banhos e, também das lavagens para remoção de corantes e outras substâncias. Este processamento têxtil envolve várias etapas desde a fiação até a etapa de confecções na qual os produtos estão prontos para o consumidor. O beneficiamento (Figura 13) é a parte que mais gera resíduos líquidos, envolvem etapas como o pré-tratamento das fibras, processo de tingimento e estampagem, processo de acabamento e finalmente sua comercialização (HASANBEIGI et al., 2015; ZAHARIA et al., 2012; CETESB, 2009; CPRH N°02/2006; CPRH, 2001).

Na etapa de tingimento são utilizados comumente além dos corantes, sais, tensoativos, ácidos, bases entre outros produtos, com o objetivo de aumentar a fixação das moléculas do corante à fibra têxtil, e para o processo de lavagem são utilizados substâncias auxiliares como detergentes, sabões, sequestrantes, neutralizantes entre outros. O efluente também pode apresentar temperaturas elevadas (para um ambiente natural) e pH que varia desde o ácido ao alcalino. E muitos outros compostos químicos que surgem no mercado a fim de melhorar a qualidade dos tecidos e aumentar a grande gama de cores para atender as exigências do mercado (LUCILO et al., 2006; AWWA, 2005; CPRH, 2001).

Figura 13. Principais etapas do beneficiamento do processamento têxtil

Fonte: BRAILE e CAVALCANTI, 1993.

Essa mistura complexa de diferentes compostos que forma o efluente têxtil consiste comumente de: metais pesados (cádmio, cromo, cobalto, cobre, zinco), hidrocarbonetos (provenientes da engomagem), compostos orgânicos halogenados (hidrocarbonetos clorados, pigmentos verdes não tóxicos, fenóis clorados tóxicos) provenientes dos processos de alvejamento, tingimento e também da utilização de corantes reativos. Segundo a Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos (CPRH) na tabela 06 são apresentadas as principais etapas geradoras de efluentes impróprios:

Tabela 06. Tipos de processos e efluentes gerados.

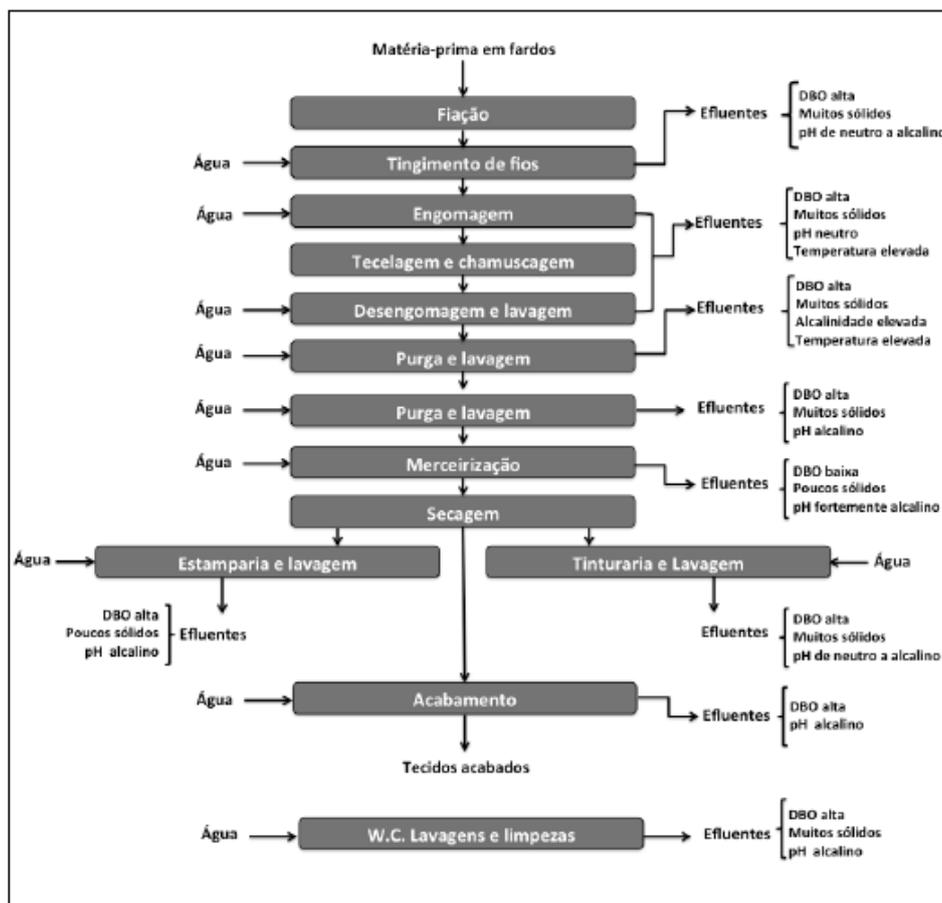
Processo	Descrição	Efluentes gerados
Mercerização	Processo físico-químico, onde é adicionado ao material têxtil soluções alcalina com concentração e temperatura controladas. Esta etapa tem por objetivo melhorar o brilho, absorção de corantes e resistência.	Hidróxido de sódio
Caustificação	Semelhante ao processo de mercerização porém utiliza produtos químicos em concentrações menores podendo estarem associados ao hidróxido de potássio.	Hidróxido de potássio e Hidróxido de sódio
Desengomagem	faz a remoção da goma aplicada nas fases de preparação dos fios para tecelagem. Pode ser feita por três métodos: enzimático, por hidrólise ácida e por oxidação.	Resto de goma e produtos gerados de sua decomposição, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio ou clorito de sódio e produtos tensoativos Altas taxas de carga organica
Purga Cozinhamento Pré- alveamento	São utilizados para retirada das impurezas como ceras, óleos, pectinas, cascas do tecido com o objetivo de aumentar a hidrofiliidade das fibras. Através dos mecanismos: emulsificação; saponificação dissolução de materiais solúveis em água quente.. O que diferencia um processo do outro é o grau de limpeza, a purga é um pré-tratamento simples, o cozinhamento já é mais aprofundado e o pré-alveamento é mais apurado	Peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, tensoativos e outros, além das impurezas retiradas no processo.
Alveamento	é a descoloração ou branqueamento de materias têxteis, e para ter um alto grau de brancura, utilizando-se hipoclorito de sódio e peróxido de hidrogênio entre outros.	Peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, cloro, hipoclorito, bissulfito de sódio, ácido sulfúrico fraco, produtos tensoativos, outros.
Tingimento	Para colorir os tecidos são utilizados corantes e pigmentos. Divide-se em três etapas- 1- migração, 2- absorção e 3- difusão/fixação: 1 – é a migração do corante em meio aquoso até a superfície da fibra; 2- onde ocorre a absorção superficial na fibra; 3- e difusão na qual as moléculas do corante difundem-se no interior da fibra e a ela fixa-se.	Corantes, H ₂ SO ₄ , hipoclorito de sódio, HCl, outros)
Lavagem	Lavagem dos tecidos que passaram pelos processos de alveamento e tingimento, neste processo é requerido a adição de produtos químicos para auxiliar no processo como detergentes, sequestrantes, neutralizantes e outros.	Corantes, ácido acético, detergentes, sequestrantes e outros

Fonte: Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para a tipologia têxtil, 2001.

Autoridades ambientais determinam alguns indicadores de qualidade que visam estabelecer o efeito dos poluentes ou sua toxicidade como demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), sais, metais pesados, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), e cor do efluente têxtil

(ADMI color value - American Dye Manufacturer Institute color value) (BRASIL, 2005). Na tabela 07 mostra os valores das taxas comumente encontradas nestes efluentes e o volume de água que pode chegar a 200 L para cada 1kg de tecidos e até 3000 m³ por dia por etapa de processo (KARCI, 2014), já na figura 14 é possível observar um panorama geral de taxas de DBO geradas, assim como a entrada e saída de água em algumas das etapas, pode-se confirmar que grandes volumes deste rejeito podem causar grandes alterações nos ecossistemas (GHALY et al., 2014).

Figura 14. Panorama geral de entrada e saída de águas e efluentes com cargas de DBO.



Fonte: Brailee Cavalcanti (1993) adaptado por Costa (2017).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão que rege a legislação ambiental brasileira determina na resolução 357/2005 limites padrões para o descarte de efluente têxtil, porém permite que cada estado ou município tenham suas próprias regras

desde não divirjam da legislação federal (CPRH, 2001; LUCIDO et al., 2016), na tabela 08 são apresentadas as legislações de alguns estados brasileiros.

Tabela 07. Despejos em cada etapa do processamento têxtil.

Etapa do processo	Volume (m ³ /t)	DBO ₅ (kg/t)	SST (kg/t)	SDT (kg/t)	pH
Engomagem	4,2	2,8	-	57	7,0 – 12,5
Desengomagem	22	58	30	53	7,0
Cozimento	100	53	22	65	10,0 – 13,0
Alvejamento	100	8	5	35	8,5 – 9-6
Mercerização	35	8	2,5	33	5,5 – 9,5
Tingimento	50	60	25	70	5,0 – 10,0
Estampagem	14	54	12	71	-

Fonte: CPRH, 2001

Nestes efluentes é encontrada uma grande variedade de corantes sintéticos utilizados neste tipo de indústria potencialmente prejudiciais para o meio ambiente, visto que cerca de 10 a 15% dos corantes não fixam às fibras dos tecidos, e conseqüentemente são retirados através das lavagens. Cerca de 20% da poluição de águas no planeta é proveniente de indústrias têxteis. Alguns destes corantes e os produtos de sua metabolização podem apresentar riscos à saúde pública, pois podem ter propriedades tóxicas, carcinogênicas ou teratogênicas (BILAL et al., 2017b; CHATHA et al., 2017; GUL et al., 2016; SCOTT et al., 2015).

O problema consiste não apenas no impacto ambiental, mas também na falta de reutilização destas águas. Quanto ao impacto visual, é preocupante, pois pequenas quantidades (menos 1 ppm) mudam a coloração dos corpos d'água pela cor do corante. O rio Capibaribe recebe muitas destas águas poluídas, ele é um importante rio do estado de Pernambuco (Brasil), com 248 km de extensão passa por 42 municípios, incluindo os três principais municípios que compõem o polo têxtil industrial do agreste pernambucano, Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama. Toritama possui aproximadamente 2.500 fábricas de jeans, que geram águas coloridas, muitas vezes despejadas no rio sem tratamento, na figura 15 mostra este rio nesta cidade com as águas vermelhas. Estas águas contêm corantes que podem causar distúrbios metabólicos nos organismos segundo o químico Saulo Oliveira e, interferindo nos ciclos de vida deste ecossistema segundo Alexandre Henrique, biólogo. Só no primeiro semestre de 2017, três fabricas foram interditadas pela Agência de Meio Ambiente de Pernambuco - CPRH (JORNAL DO COMÉRCIO, 2017).

Figura 15. Rejeitos de fábricas de jeans nas águas do Rio Capibaribe, 01-2017.

Fonte: JORNAL DO COMMÉRCIO, 2017.

O efluente têxtil descartado em ambientes aquáticos reduz significativamente a penetração de luz e conseqüentemente impede a atividade fotossintetizante dos organismos, isso altera a cadeia alimentar desses ecossistemas por causarem a eliminação de alguns seres vivos (RAMAN et al. 2016; CHHABRA et al., 2015; ZAHARIA et al., 2009).

Tabela 08. Parâmetros exigidos para descarte de efluentes têxteis segundo legislação (CPRH, 2001).

Parâmetros	Características típicas de efluentes têxteis	Federal	Rio de Janeiro	São Paulo	Santa Catarina	Pernambuco
		Res. CONAMA No 430/2011	Diretriz DZ-205	Art. 18 Dec. No 8468	Art. 19 Dec. No 14.250	Art. 29 Dec. No 7.269
Temperatura °C	30-80	<40	-	<40	<40	<40
pH	2,0-10,0	5,0 -9,0	-	5,0 -9,0	6,0 -9,0	5,0 -9,0
Cor apar. *	>300	75	-	-	-	-
DQO mg.L ⁻¹	50-5000	-	200	-	-	-
DBO mg.L ⁻¹	200-300	-60%	-	-60%	-60%	-
CO DBO kgDBO/m ³	-	-	-	-	-	-
Dureza total Mg CaCO ₃ /L	-	-	-	-	-	-
Fenóis totais mg/L	-	0,5	-	0,5	0,2	-
Nitrogênio total Kjeldahl mg/L	18-39	-	-	-	-	-
SDT mg/L	-	-	-	-	-	-
SST mg/L	50-500	-	-	-	-	-
Óleos e graxas mg/L	-	20-50	-	-	-	-
Cromo total Mg/L Cr	0,2-0,5	-	-	5,0	5,0	-
Fósforo total Mg/L Cr	0,3-15	-	-	-	1,0	-

Fe mg/L	15	15	15	-	-
As mg/L	0,5	0,1	0,2	-	-
Ba mg/L	5,0	5,0	5,0	-	-
B mg/L	5,0	5,0	5,0	-	-
Cd mg/L	0,2	0,1	0,2	-	-
N-NH ₄ mg/L	5	-	-	-	-

*cor aparente - mg Pt/L (miligramas de platina por litro)

Fonte: CPRH, 2001.

O CONAMA 357/2005, Art.15-III e Art.16-I, determina também que deve-se seguir os padrões aceitáveis para cada classe em que os receptores estiverem enquadrados, ou seja, ambientes aquáticos de água doce considerados classe 2 e 3, o valor da cor real é de até 75mg Pt/L (miligramas de platina por litro). Alguns órgãos ambientais de Estados brasileiros determinam parâmetros semelhantes a este como a CPRH em Pernambuco, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA) no Rio Grande do Norte, a CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) em São Paulo. Esta última determina que os corantes artificiais sejam proibidos, caso não seja possível sua retirada do efluente gerado pelos métodos de tratamento coagulação, sedimentação ou filtração convencional. Segundo os parâmetros estabelecidos na legislação federal, sabe-se que as empresas brasileiras, inclusive as têxteis, teriam que introduzir técnicas de tratamento mais eficientes para seus efluentes (CPRH, 2001).

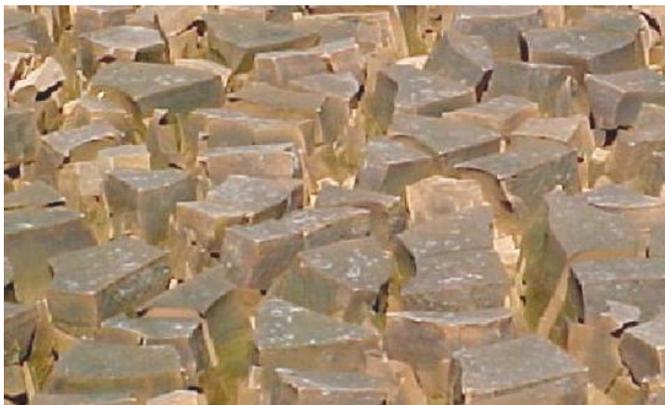
Segundo a CPRH, estabelecimentos (fontes da poluição) que tenham carga igual ou maior a 100 kg/dia deverão remover 90% da DBO, no mínimo, e aquelas com carga inferior a 100 kg/dia, 70% da DBO. A taxa de DQO para indústrias do setor têxtil deverão reduzir em 80%, e para a DZ- 205. R-5 (diretriz de controle de carga orgânica de efluentes líquidos de origem industrial), a DQO deve ser menor que 200 mg/L (CPRH 2001).

Além de efluentes líquidos gerados a partir do processamento têxtil, também é gerado resíduo sólido proveniente das etapas iniciais como fibras, fios, cascas do algodão e o lodo gerado após o efluente passar pela estação de tratamento das águas proveniente das máquinas das lavanderias (CETESB, 2009). A composição deste lodo varia de acordo com os compostos químicos, tipos de tecidos e corantes entre outras atividades. A quantidade varia de acordo com a eficiência do processo de remoção da matéria orgânica e tratamentos físico-químicos aplicados. A disposição final deste logo após secarem em leito de secagem (fig. 16), é para aterros sanitários classe II (resíduos não inertes) deve-se respeitar os parâmetros estabelecidos nas normas NBR-10.004 (classificação), é necessário ainda

realizar caracterização através de testes de lixiviação e solubilização segundo as normas técnicas ABNT NBR-10.005 e 10.006 (CPRH, 2001).

Portanto, devido aos problemas ocasionados pelo efluente de indústria têxtil é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias eficientes para seu tratamento visto que as que são normalmente aplicadas, adsorção, coagulação, tratamento químico e outros, podem ter alto custo e/ou gerar resíduos secundários (BILAL et al., 2018), que deverão também passar por tratamento adequado.

Figura 16. Aspecto do lodo proveniente da estação de tratamento após processo de secagem



Fonte: CETESB

2.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Com o crescente aumento populacional e conseqüente aumento de atividades industriais problemas ambientais têm ganhado dimensões alarmantes devido à ação antrópica causando poluição do solo, ar e água. A água, um dos recursos naturais mais importantes para a humanidade, é constantemente receptoras de resíduos industriais que sem o devido tratamento podem causar problemas não somente aos ecossistemas aquáticos, mas também aos seres humanos visto que há pouca disponibilidade de água potável para o consumo (QUEIROZ et al., 2016; MANENTI et al., 2015). Entre as indústrias que mais utilizam água em seus processos, a indústria têxtil gera grandes volumes de efluentes que se forem despejados em corpos aquáticos sem tratamento adequado podem causar grandes problemas (KARCI, 2014).

Após o processo de lavagem dos tecidos nas lavanderias industriais têxteis, é gerado um efluente extremamente colorido e contendo além dos corantes, outras substâncias como surfactantes, compostos clorados, sais, altos níveis de DBO e DQO e pH variados, o que o qualifica como tóxicos e de difícil remoção (SHERTATE et al., 2014), pois são resistentes

à degradação microbiana e aos tratamentos físico-químicos, além de poderem possuir propriedades cancerígenas e mutagênicas (AFREEN et al., 2016; ZAHARIA et al., 2009). Devido a esta qualidade, a legislação determina que efluentes devme ser tratados antes de serem descartados (CPRH, 2001).

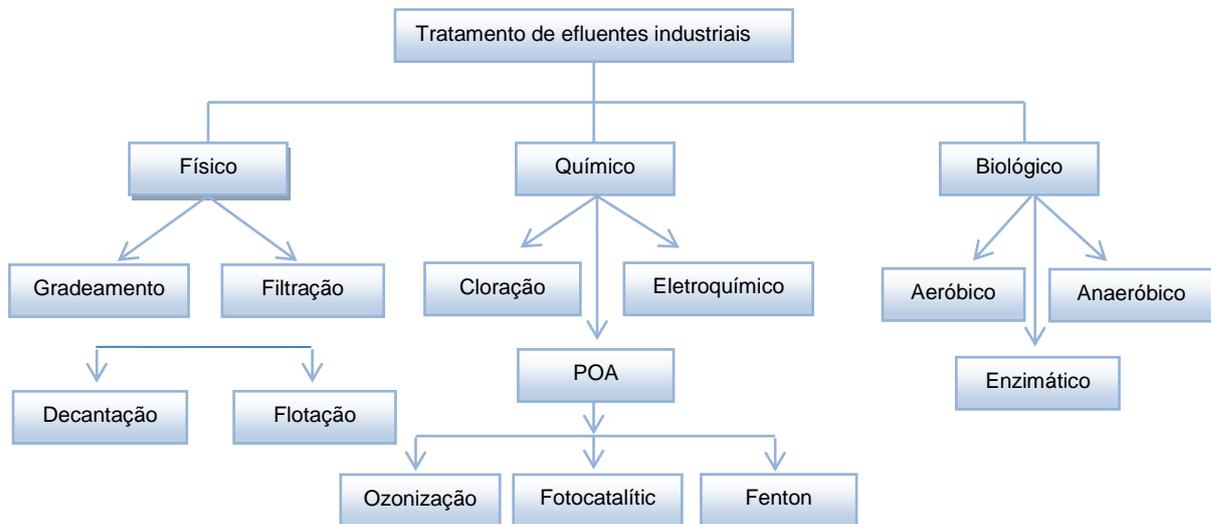
Visando a preservação da qualidade da água, este setor é intimado pelas autoridades ambientais a melhorar a qualidade do tratamento de efluentes gerados em seus processos. As normas técnicas CPRH (2001) de controle de cargas orgânicas em efluentes líquidos industriais, ressalta que mesmo que a empresa fonte poluidora esteja dentro dos padrões estabelecido e mesmo assim esteja produzindo efluentes com níveis elevados de toxicidade, esta deve aplicar métodos para redução desta toxicidade. O efluente possui uma parcela de matéria orgânica suscetível à decomposição por micro-organismos e outra parcela pouco suscetível. A biodegradabilidade de determinado resíduo é avaliada em termo de relação entre DQO/DBO, ou seja, a relação entre a matéria orgânica não biodegradável e matéria orgânica no mesmo periodo de tempo. Então, quanto maior for esta relação menor será a biodegradabilidade deste efluente, portanto exige-se a redução da taxa de DQO e/ou a redução da razão da DQO/DBO.

Devido a sua complexidade e recalcitrância, não há um tratamento padronizado para todos os tipos de efluente, portanto varias técnicas de tratamentos físicos, químicos e biológicos vêm sendo desenvolvidas para minimizar seus efeitos ao homem e ao meio ambiente. Esta complexidade deve-se, entre outros fatores, a estrutura poliaromática e recalcitrância dos corantes sintéticos, portanto o método de tratamento deve ser escolhido de acordo, preferencialmente, com tipo de corante predominante e sua ação (ZAHARIA et al., 2009).

Entre os tratamentos mais comuns (figura 17) pode-se citar alguns exemplos como físicos – adsorção, sedimentação, flotação, osmose reversa, nanofiltração e eletrofiltração, ionização, radiação ionizante, ultrassônico. E entres os tratamentos químicos a coagulação ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), precipitação, neutralização, floculação, troca iônica, cloração, Tratamento eletroquímico (eletro-oxidação, eletrocoagulação, eletroflotação); POA (processos oxidativos avançada), sem radiação – ozonização ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$), fenton homogêneo ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$); POA - Tratamento fotocatalítico (com radiação): UV/ H_2O_2 (fotólise) UV/ O_3 (ozonólise), UV/ TiO_2 (fotocatálise), UV/ $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ (fotoFenton). E entre os biológicos são aplicados os tratamentos convencionais lagoa de aeração, digestão anaeróbico, tanque de estabilização, lodo ativado, filtro biológico, bioaumento, e biorremediação por micro-organismos (bactérias, fungos e algas) (SANTHANAM et al., 2019; ZUKAWA et al.,

2019; AMENGOL, 2017; BOTTREL, 2016; PAULINO et al., 2015; MARCONDES, 2012).

Figura 17. Fluxograma Modificado de MARCONDES, 2012 e FREIRE et a., 2000.



Para Zaharia & Suteu (2012) o tratamento de efluentes têxteis e corantes deve seguir os seguintes passos: separação de sólidos suspensos e de líquidos imiscíveis por processos mecânicos (sedimentação, centrifugação, filtração e flotação) ou pela utilização de membranas sintéticas (ultrafiltração, nanofiltração etc) ou ainda por processos físico-químicos (adsorção, coagulação/floculação, fenton, ozonização, irradiação, carvão ativado, etc) e outras formas de separação de óleo/água. Após o efluente estar livre de sólidos suspensos ou dissolvidos segue-se ao tratamento biológico (lodo ativado, micro-organismos e algas, etc).

Tratamento físico baseia-se na separação física dos resíduos sólidos do líquido, ou seja, separação por fases. Por exemplo, gradeamento, peneiramento, sedimentação ou decantação e flotação. O processo de gradeamento tem por objetivo reter materiais sólidos grosseiros que estejam flutuando no efluente. O processo de peneiramento retém materiais menores, porém ainda considerados grosseiros. No processo de sedimentação os materiais sólidos não grosseiros em suspensão são decantados, gerando assim um lodo primário bruto. Na flotação é induzida formação de bolhas, o objetivo é que os materiais suspensos mais finos fiquem retidos a estas bolhas e flutuem, e assim possam ser removidos. (MARCONDES, 2012; MASSI, et al., 2008; MELLO, 2007; BRANDÃO et al., 2001;).

No tratamento químico, ocorre a remoção do composto utilizando uma substância química que altera a estrutura de compostos do poluente. Alguns exemplos são a cloração,

ozonização, radiação ultravioleta, processos eletrolíticos entre outros. Na Cloração, o cloro é aplicado para desinfecção na forma de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou de cálcio. No processo de ozonização ocorre a oxidação do poluente visando reduzir a cor, concentração de fenóis e também toxicidade. Na Radiação Ultravioleta, a irradiação UV causa danificação do DNA do micro-organismo impedindo sua reprodução (MARCONDES, 2012; DIAS et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2009; ASSALIN et al., 2006).

No tratamento biológico, o processo é realizado por micro-organismos via aeróbica ou anaeróbica. No caso da utilização de vias aeróbicas, os micro-organismos fazem a degradação dos compostos presentes nestes efluentes por processos oxidativos a fim de obter energia. Neste é formado o chamado lodo ativado que é uma massa de micro-organismos floculantes formado quando o efluente é submetido à aeração. No processo anaeróbico, os micro-organismos degradam os compostos orgânicos na ausência de oxigênio produzindo metano e dióxido de carbono (BARCELLO et al., 2012; FERNANDES, 2012).

No roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para a tipologia têxtil (CPRH, 2001) descreve alguns processos que são utilizados para tratamento de rejeitos de indústria têxtil (tab. 09).

Tabela 09. Etapas do processo de tratamento de efluente têxtil.

	Tipos de tratamento	Objetivos
Tratamento primário	Peneiramento Equalização Neutralização Coagulação química Flotação Sedimentação primaria	Separação física de partículas em suspensão ou dissolvidas.
Tratamento secundário	Lodos ativados + clarificação Aeração prolongada + clarificação Lagoa aerada + clarificação Lagoa aeróbica Filtros biológicos Lodos ativados em dois estágios Filtro biológico de alta taxa + lodo ativados	Tratamento biológico propriamente dito (ocorre transformação por oxidação (aeróbico) ou fermentação (anaeróbico)).
Tratamento terciário	Coagulação química Filtração em meio misto Adsorção em carvão ativado Cloração Ozonização	Retirar a coloração para um possível o reaproveitamento da água.

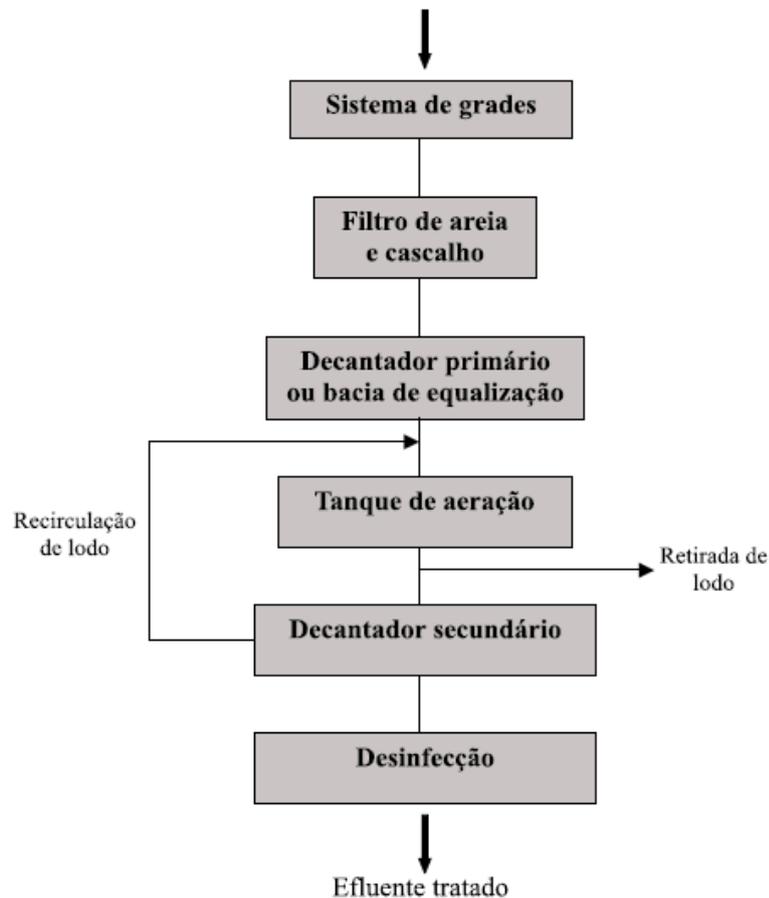
Todavia, alguns destes tratamentos físico-químicos não são interessantes, pois podem gerar resíduos secundários e custar caro. Podemos citar a coagulação, flotação e

sedimentação removem o material particulado, porém é ineficiente na remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos gerando resíduos em grande quantidade, o carvão ativado que é eficiente, porém por ter superfície positiva não consegue adsorver corantes catiônicos e ainda é de alto custo (PAZ et al., 2017; BELTRAME, 2000), cloração gera um resíduo que também deve ser tratado gerando mais custos. A ozonização é outro processo eficiente na remoção de corantes, no entanto custa caro e pode apresentar outros inconvenientes como formação de bolhas de gás interferindo na eficiência da degradação da matéria orgânica (TEIXEIRA, 2014). Fenton homogêneo é eficiente para reduzir a DQO e descolorir corantes, porém gera lodo (QUEIROZ et al., 2011). Em muitos casos é necessário aplicar mais de uma técnica de tratamento do efluente devido a sua complexa composição química, além do mais, esses processos podem resultar em outro problema que é o resíduo sólido que também deve ser destinado para descarte em local adequado ou então ser tratado (ZUCCA et al., 2015; SHERTATE et al., 2014; KUNZ et al., 2002).

A biorremediação de corantes presentes em efluentes têxteis por fungos é vantajosa, visto que frequentemente é uma tecnologia mais barata e resultam em produtos ambientalmente bio-amigáveis, sem a necessidade da introdução de compostos químicos (solventes ou catalizadores), devido a capacidade microbiana de tolerância e adaptação possibilitando assim realizar a biorremediação (LIMA et al., 2018).

Em processos biológicos, como lodo ativado, baseiam-se na agitação do efluente com micro-organismos e ar induzindo a metabolização da matéria orgânica, porém geram grande quantidade de lodo. Em estações de tratamento de efluentes têxteis geralmente utilizam-se algumas etapas para o tratamento, na figura 18 apresenta um exemplo de um sistema no qual são realizadas as etapas de gradeamento, filtração, decantação e lodo ativado (KUNZ et al., 2002; COGO, 2011).

Figura 18. Esquema de tratamento geralmente utilizado em ETE utilizando lodo ativado.



Fonte: Metcalf & Eddy, 1991.

Entre os tratamentos biológicos, a biorremediação por micro-organismos tem-se mostrado eficiente e em muitos casos de baixo custo, apresenta características atrativas visto que há uma transformação dos poluentes, minimizando assim a geração de resíduo secundário. Bactérias, fungos e algas são utilizados em culturas puras ou em consórcios no tratamento de corantes e efluentes têxteis. O tratamento se dá colocando o fungo diretamente em contato com o efluente induzindo-o a metabolizar os compostos químicos para obter energia e fonte de carbono, induzindo a produção de enzimas capazes de proporcionar o tratamento do efluente (AFREEN et al., 2016; DELLAMATRICE et al., 2016; YANG et al., 2015; SHERTATE et al. 2014).

Os fungos apresentam mecanismos para biorremediar efluentes como bioadsorção e biodegradação podendo levar a sua mineralização (SEN et al., 2016; RODRIGUEZ COUTO, 2009; ZHANG et al. 1999). Na bioadsorção, a biomassa fúngica (biossorbente) capta ou adsorve as moléculas de corantes (adsorbato) presentes nos efluentes por forças

físico-químicas realizando assim a remoção deste poluente (VOLESKY, 2001; FARIAS, 2014). E pode acontecer de duas formas, por adsorção de forma passiva, sem gasto de energia, na qual as moléculas do poluente aderem externamente à parede celular das hifas ativa ou inativada (FARIAS, 2014) e bioacumulação, neste há gasto de energia, na qual as moléculas do corante depois de aderidas a parede são absorvidas para o interior das células os corantes não são metabolizadas/mineralizado pelo fungo (FARIAS, 2014; KAPOOR, 1999; STRANDBERG, 1981). O processo de bioacumulação dos corantes passa por estágios, primeiro o corante é adsorvido na parede celular das hifas e depois é absorvido para o citoplasma. No trabalho de Xin et al., 2010, é mostrado que o *Penicillium oxalicum* na forma de pellets em soluções aquosas adsorveu o corante reativo Cu-complex completamente com 48 horas de incubação e depois, por microfotografias do micélio, é confirmada a transferência do corante para o interior das hifas.

Na biodegradação, os fungos apresentam vários mecanismos para obter fontes de carbono e energia, eles através de vias metabólicas enzimáticas promovem a degradação de compostos presentes no efluente. Podendo ser por via hidrolítica por meio de enzimas hidrolases ou por via oxidativa, através das enzimas oxidorredutases como lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase, estas três são detectadas em fungos capazes de degradar a lignina, um biopolímero complexo. Estas enzimas são capazes de metabolizar corantes e outros compostos químicos presentes nos efluentes, podendo conduzir a sua mineralização, ou seja, até formar água e dióxido de carbono (ESPOSITO e AZEVEDO, 2010).

A escolha do melhor método para a recuperação de águas residuais de indústrias têxteis é um passo essencial devido à composição complexa desses rejeitos (SINGH et al., 2015; KAMIDA et al., 2005). A via pela qual o fungo irá realizar a degradação dependerá das estruturas moleculares dos corantes e outros compostos, por exemplo, a classe dos indigoides possuem uma estrutura altamente resistente a luz solar, pH extremo e exposição ao aquecimento, qualidades que os qualifica como mais duráveis (ZUCCA et al., 2015).

O emprego de enzimas extracelulares como lignina peroxidase (LiP), manganês peroxidase (MnP), lacase (Lac) e azoredutase são bastante estudadas para degradação de corantes sintéticos, presentes nos efluentes têxteis, pois atacam as estruturas aminas aromáticas de alguns destes corantes (BABU et al., 2015; LU et al., 2016). A biorremediação via enzimática, principalmente, as oxidoreductases e peroxidases, é considerada eficiente e economicamente viável, portanto novas enzimas provenientes de

micro-organismos não referendados como biorremediadores deve ser pesquisada (BILAL et al., 2018).

Segundo Martínkov et al., (2016) enzimas provenientes de fungos são consideradas eficientes no tratamento de efluentes. Assim como em outros trabalhos nos quais enzimas oxidativas de basidiomicetos foram potenciais no tratamento do corante reativo laranja 7 e de águas residuais (REZAEI et al., 2015; KUES, 2015; MACHADO et al., 2006). Shen et al., (2015) observaram melhor descoloração de corantes trifenilmetano por *Corioloopsis* sp. sob condição aeróbica, e ainda sugerem que quando há melhor descoloração na presença de oxigênio ocorre por reações oxidativas, e quando há melhor descoloração em condições anaeróbicas, ocorre por reações redutivas.

Todavia, não apenas os fungos pertencentes à classe dos basidiomicetos são capazes de descolorir e degradar efluentes e corantes, fungos representantes de outras classes fungicas apresentam esta habilidade (BABU et al., 2015) como é listado na tabela 10.

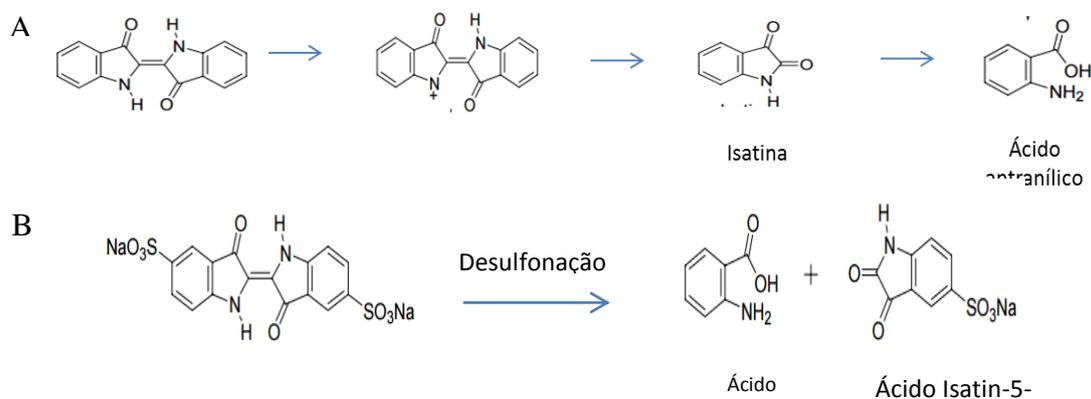
Tabela 10. Micro-organismos com capacidade de descolorir corantes.

Micro-organismo	Corante	Descoloração(%)	Tratamento	Referência
<i>Phaenerochaeta chrysosporium</i>	Direct Blue 15 Direct Green 6	12 5,4	Descoloração dos corantes utilizando a enzima oxidativa MnP	Urek and Pazarlioglu. 2007
<i>Aspergillus niger</i>	Índigo carmim	55-97%	Remoção do corante por imobilização do fungo em espumas de poliuretano, em reator aeróbico	Silva et al., 2015
<i>Trichoderma asperellum</i>	Crista violeta	Redução absorvância máxima	Descoloração, biodegradação do corante pela enzima oxidativa lacase	Shanmugam et al., 2017
<i>Pleurotus ostreatus, Gloeophyllum odoratum, Polyporus picipes, Fusarium oxysporum</i>	Mistura de verde brilhante (trifenilmetano) e Evans azul (diaz)	Até 90	Biossorção, biodegradação	Przystas et al., 2015
<i>Aspergillus versicolor</i>	Corante	Em pH 5 - 27,15% Em pH 6 - 28,95%	Bioacumulação	Tastan et al., 2010
<i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus terreus</i>	Procion Red MX-5B	30 98	Biossorção Biodegradação	Almeida et al., 2014
<i>Aspergillus alliaceus</i>	Índigo Vermelhos Congo	98,6 98	Biossorção, biodegradação	Khelif et al., 2009
<i>Aspergillus niger</i>	Direct Blue 199	400 mg L ⁻¹	Biossorção	Xionga et al., 2010

<i>Aspergillus lentulus</i>	Ácido Azul Marinho	99,97%	Descoloração	Kaushik et al., 2011
<i>Aspergillus versicolor</i>	preto reativo 5 (RB5).	98	Biossorção	Huang et al., 2016
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Reactive blue-25	Redução da concentração do corante	Adsorção, biodegradação	Parshetti et al., 2007
<i>Penicillium simplicissimum</i>	Methyl Violet	98	Biossorção, biodegradação	Chen et al., 2015
	Crystal Violet	95		
	Cotton Blue	82		
	Malachite Green	54		
<i>Aspergillus sp.</i>	Verde brilhante	Redução absorvância máxima	Descoloração, biodegradação	Kumar et al., 2012

Legerská et al., (2016) e Beggiato et al., (1993) analisaram a oxidação pela lacase no processo de degradação do corante índigo, assim como Campos et al., (2001), na figura 19a é apresentado o possível mecanismos de degradação incompleta do corante índigo pelo fungo *Phormidium* por clivagem oxidativa da ligação central produziu isatina, que por sua vez pode sofrer hidrólise e descarboxilação produzindo ácido antranílico. A figura 19b representa a degradação do mesmo corante também por lacase proveniente do fungo *Trametes hirsuta* no qual o corante é quebrado em moléculas de isatina (indol-2,3-dion) que por sua vez também é quebrada em ácido antranílico (ácido 2-aminobenzoic) por descarboxilação do ácido isático que é uma molécula formada hidroliticamente após a degradação da molécula de isatina.

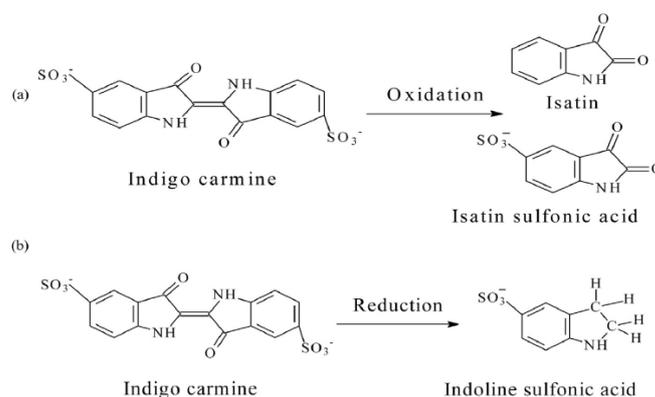
Figura 19. Mecanismo de degradação do corante Índigo (A) por *Phormidium*. e do índigo carmim (B) pela enzima lacase produzida por *Trametes hirsuta*



Fonte: Legerská et al., (2016); Campos et al., 2001.

Li et al., (2015), também apresentam mecanismos de degradação do índigo carmim por *Bacillus* sp. MZS10. Na figura 20a foram formadas as moléculas de isatina e ácido sulfônico isatina por processo oxidativo, através a quebra da ligação dupla C=C e formação de ligações cetônicas C=O. Na figura 20b mostra a degradação do índigo carmim por processo redutivo onde as ligações duplas C=O e C=C da molécula são reduzidas gerando ligação –CH induzindo a formação do ácido sulfônico indolino.

Figura 20. a) obtenção da isatina e ácido sulfônico isatina por processo oxidativo. b) obtenção do ácido sulfônico indolino por processo redutivo (Li et al., 2015)..



O *Lenzites elegans* WDP2, um fungo da podridão da madeira, apresentou habilidades em descolorir os corantes vermelho de Congo (98,8%), verde de malaquita (21,27%) e verde brilhante (92,77%) em meio caldo. Foi detectada que a enzima lacase foi a que participou do processo ($68,5 \text{ U mL}^{-1}$), e foi observado em microscopia de contraste de fase, a bioadsorção do corante vermelho congo pelo micélio deste fungo (PANDEY et al., 2018). A lacase proveniente de um fungo endofítico *Phomopsis* sp. irradiado por feixe de elétrons (EBR) degradou e desintoxicou um corante antraquinona Remazol Brilliant Blue R (RBBR), neste caso a enzima apresentou maior tolerância a metais (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{2+} e Ca^{2+}) depois do fungo ser irradiado (NAVADA et al., 2018). Na pesquisa de Melo et al.,(2014), o fungo *Lentinus crinitus* descoloriu o corante vermelho congo através do processo de adsorção e condições experimentais estacionárias. *Trichosporon akiyoshidainum* HP 2023 foi capaz de remover totalmente a cor do corante reativo 5 também por atividades enzimáticas do fenol oxidase (353 UL^{-1}) e Mn-dependente peroxidase (2750 UL^{-1}) (MARTORELL et al., 2017).

2.5 AS ENZIMAS LIGNOLÍTICAS

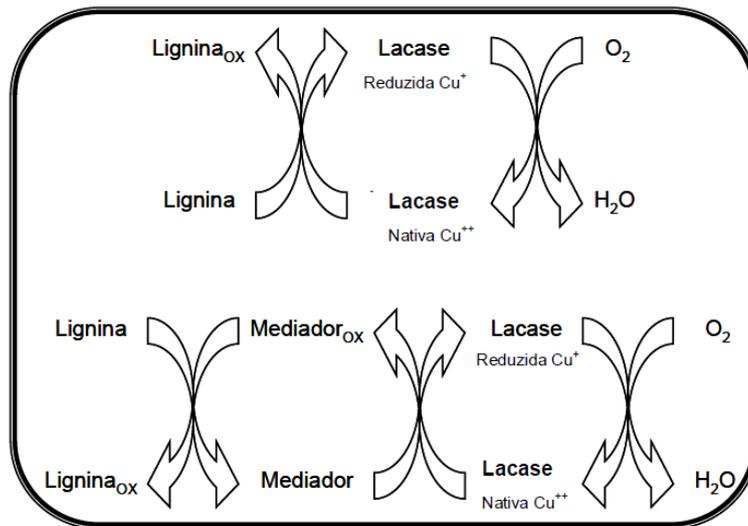
São catalizadoras de reações biológicas, com grande importância biotecnológica para as indústrias alimentícia, farmacêutica, de detergentes, têxteis e outras. Muitos micro-organismos como os fungos excretam enzimas que degradam a lignocelulose como os basidiomicetos *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Lentinula edodes* e por outras classes fúngicas assim como os gêneros *Aspergillus*, *Lichtheimia* e *Penicillium* (EL-RAHIM et al., 2017; CHEN et al., 2015; KABBOUT et al., 2014).

Estas enzimas pertencem ao grupo das oxido-redutases, participam da degradação da lignina, e são divididas em duas classes, as fenoloxidasas e as enzimas produtoras de peróxido de hidrogênio. As fenoloxidasas são subdivididas em lacases que não dependem de peróxido de hidrogênio para atuarem, têm o oxigênio como receptor de elétrons, e em enzimas dependentes de peróxido ou peroxidases que são lignina peroxidases e manganês peroxidases (peroxidase dependente de manganês), nas quais o peróxido de hidrogênio funciona como co-substrato. (ENZYME NOMENCLATURE, 2018),

2.5.1 Lacase EC 1.10.3.2 – Lac

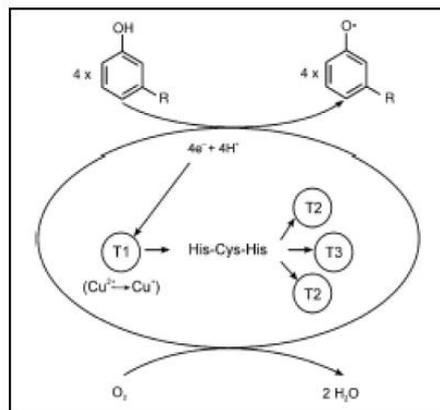
Foi descrita pela primeira vez em 1883 extraída de uma árvore *Rhus vernicifera* por Yoshida (YOSHIDA, 1883 citado em MAYER e STAPLES 2002), são encontradas principalmente em plantas superiores, fungos, insetos e bactérias. Segundo Mayer e Staples (2002), seu mecanismo geral de oxidação de substratos é a extração de um elétron a partir do composto fenólico liberando um radical fenoxila. Pertencem ao grupo das multicobre oxidorreductores, com quatro átomos de cobre (Cu) em sua estrutura química, um átomo Cu T1, um Cu T2 e dois Cu T3 (WONG, 2009) oxidam vários compostos fenólicos reduzindo o Cu^{2+} a Cu^+ (Fig. 21) e então reduz o oxigênio à água, retornando a sua forma nativa Cu^{2+} (GIANFREDA et al., 1999; CARVALHO, 2011; FARIA, 2010). Os sítios Cu T1 e Cu T2 (fig. 22) estão relacionados com a abstração e/ou transferência de elétrons, já os Cu T2 e Cu T3 formam um agrupado trinuclear que faz a ligação e redução do oxigênio (SHAH & NERUD 2002; COELHO, 2007). O composto fenólico é oxidado pelo Cu T1 (Cu^{2+} a Cu^+), os elétrons são conduzidos pelo tripeptídeo His-Cys-His até os Cu T2 e Cu T3 reduzindo o oxigênio molecular à água (BALDRIAN, 2006; COELHO, 2007).

Figura 21. Ciclo catalítico de Lac



Fonte: FARIA, 2010 (modificado de BREN; SINGLETON, 1999).

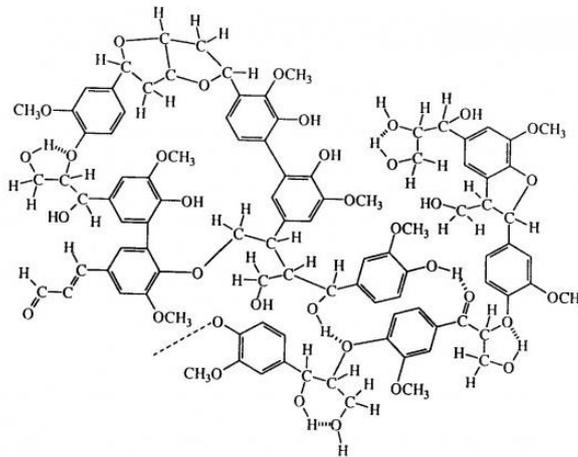
Figura 22. Ciclo catalítico lacase



Fonte: Coelho, 2007; Baldrian, 2006.

A lacase degrada lignina e compostos com estruturas similares à da lignina (fig. 23), e devido a isto também são aplicadas em processos biotecnológicos no biotratamento de solos e efluentes industriais como os têxteis, devido à presença de corantes com estruturas químicas similares a da lignina (BATISTA, 2009; ALVES, 2011; VALLE, 2012).

Figura 23. Estrutura hipotética da lignina.



Fonte: <https://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/>

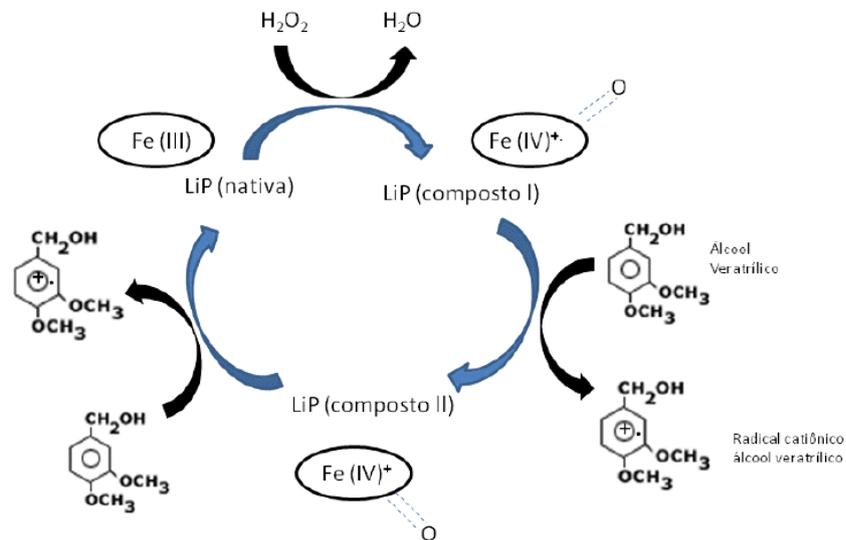
2.5.2 Lignina peroxidases EC 1.11.1.14 – LiP

É uma glicoproteína, contém um grupo prostético nomeado protoporfirina IX (heme) e precisa de peróxido de hidrogênio para a ação catalítica. São capazes de degradar compostos aromáticos fenólicos e não fenólicos devido ao seu alto potencial redox. O álcool veratrílico é seu principal redutor, esta enzima o oxida na presença de peróxido de hidrogênio, seu agente oxidante (WONG, 2009, FARIA, 2010). As reações que são catalisadas pelas peroxidases envolvem a transferência de hidrogênio das moléculas orgânicas para as moléculas de H_2O_2 resultando em água. Oxida substratos pela transferência de elétrons em várias etapas e formação de radicais intermediários tem como radicais fenoxis e cátions de álcool veratrílicos. Ela tem baixa especificidade, portanto pode ser utilizada para oxidação de vários poluentes orgânicos (DELLAMATRICE, 2005; SANTOS et al., 2011).

O ciclo catalítico (fig. 24) envolve a oxidação do ferro heme pelo peróxido de hidrogênio, a forma nativa Fe (III) é oxidado pelo acceptor de elétrons H_2O_2 ao composto I Fe (IV) (radical catiônico deficiente de elétrons), e este é reduzido pelo substrato (álcool veratrílico) ao composto II, este último é então reduzido novamente por outro substrato retornando a sua forma nativa, e assim completa seu ciclo catalítico. O álcool veratrílico é oxidado a veratraldeído pela LiP. Em condições em que há uma alta concentração de peróxido de hidrogênio e ausência de substrato redutor, o composto II é oxidado ao composto III cataliticamente inativa, possivelmente o álcool veratrílico protege a enzima

da inativação nestas condições onde há excesso de peróxido de hidrogênio (FARIA, 2010, AZEVEDO & ESPOSITO, 2010).

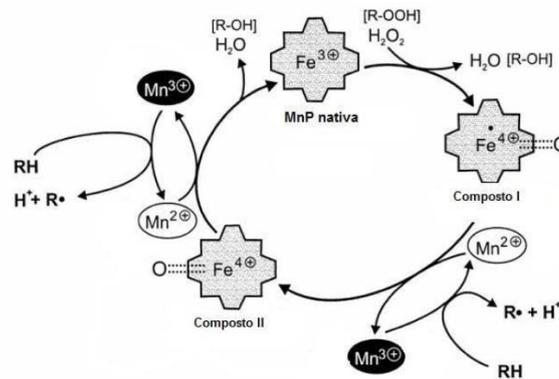
Figura 24. ciclo catalítico de LiPs



Fonte: Faria, 2010. (Moreira Neto, 2006)

2.5.3 Manganês peroxidases EC 1.11.1.13 – MnP

Foi descrita pela primeira vez em *Phanerochaete chrysosporium* (Kuwahara et al., 1984), são glicoproteínas extracelulares que contem um grupo prostético heme, é dependente de peróxido e íons Mn^{2+} . Oxida Mn^{2+} a Mn^{3+} na presença de peróxido de hidrogênio (fig. 25), este como co-substrato. O Mn^{3+} após liberado da enzima forma um complexo com oxalato, ou com outro quelante, e age como mediador redox de alguns substratos fenólicos como aminas, corantes, fenóis simples, estruturas fenólicas e dímeros. O ciclo catalítico da MnP inicia-se oxidando-se o H_2O_2 , liberando água, e formando o composto I que é um cátion com deficiência de elétrons, o composto I é convertido ao composto II pela oxidação do íon Mn^{2+} ou na presença de outro doador de elétrons, e o composto II ao composto nativo ocorre na presença de Mn^{2+} . Em altas concentrações de H_2O_2 pode ser formado o composto III, uma forma inativa, também é inativado na presença de álcool veratrílico (FARIA, 2010, AZEVEDO & ESPOSITO, 2010).

Figura 25. Ciclo catalítico de MnPs

Fonte: Faria, 2010 (modificado de Hofrichter, 2002).

2.5.4 Enzimas em processos de descoloração

Estas enzimas lacase, manganês peroxidase e lignina peroxidase são atribuídas a descoloração e degradação de corantes e efluentes têxteis por fungos em diversas pesquisas. Os fungos responsáveis pela podridão branca são bem conhecidos pela produção destas enzimas (VOBERKOVÁ et al., 2018), entretanto vários outros gêneros fúngicos podem produzi-las como os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SAROJ et al., 2014; BENGHAZI et al., 2014). Usualmente estas enzimas são utilizadas em processos de branqueamento de celulose, nas indústrias de alimentos e têxteis, também em processos de biodegradação e biorremediação de contaminantes como efluentes e corantes têxteis (CARVALHO, 2011). Os fungos são frequentemente utilizados em pesquisas de descoloração de corantes e efluentes gerados pela indústria têxtil como é relatado por Dayi et al., (2018), onde a lacase produzida pelo fungo *Morchella esculenta* imobilizado, participou do processo de biodegradação do corante reativo laranja 16. A lacase produzida pelo fungo *Trametes pubescens*, em cultivo com cascas de girassol, descoloriu o corante ramazol brilhante (RODRIGUEZ-COUTO et al., 2011), o fungo *Trichoderma asperellum* degradou o corante cristal violeta através da produção desta enzima (SHANMUGAM et al., 2017), a mesma enzima foi detectada na pesquisa de Ortiz-Monsalve et al., (2017) onde o fungo *Trametes villosa* descoloriu os corantes *Acid Red 357*, *Acid Black 210* and *Acid Blue 161*. MnP também é relatada em vários trabalhos, produzida por *Ganoderma lucidum* foi eficiente na descoloração dos corantes *Reactive Blue 21*, *Sandal-fix Black*, *Reactive Red 195^a*, *Reactive Yellow 145*(92.1%, 95.7%, 95.53%, 94.4% respect.) (ASGHER et al.,

2016). Este mesmo fungo também pela ação desta enzima foi capaz de descolorir *Reactive Blue 21* (86.9%), *Reactive Red 195A* (82.6%) e *Reactive Yellow 145A* (84.7%) (BILAL et al., 2016a). Zubair et al., (2018) confirmam um desempenho significativo de lac e MnP produzida por *Ganoderma tsugae*, na degradação do corante *reactive black* (82±4.33%) após doze dias.

2.6 TOXICIDADE

Os diversos tratamentos de efluentes da indústria têxtil visam principalmente à remoção da cor, porém é preciso levar em consideração a detecção da toxicidade dos subprodutos formados durante esse processo para avaliar qual destes tratamentos é melhor (VACCHI et al., 2013). O biotratamento com os micro-organismos, por exemplo, tem a capacidade de metabolizar diversos compostos recalcitrantes como corantes e outros produtos presentes nas águas resultantes da lavagem de tecidos em lavanderias industriais têxteis. Contudo, deve-se ficar atento aos subprodutos formados a partir desta biodegradação, pois podem apresentar-se mais tóxicos que os originais e, portanto prejudicar os seres vivos (LIMA et al., 2018).

Estes subprodutos podem apresentar propriedades carcinogênicas e mutagênicas, Silva et al., (2015) observaram que na descoloração do índigo carmim pelo *Aspergillus niger* resultou em um subproduto, o bezeno que é bastante resistente, quando adicionado amônia como fonte de nitrogênio, gerou efluente tóxico. Estes efluentes podem ser prejudiciais de forma a afetar ecossistemas, e direta ou indiretamente a seres humanos. O ser humano pode ser exposto a estes compostos tanto por via oral (por ingestão de água ou alimentos contaminados) quanto por via dérmica (contato com corantes dos tecidos). Estas substâncias podem reagir com outras e causarem modificações bioquímicas e fisiológicas, quando em contato com organismos (ROCHA et al., 2016; 2017).

O corante azo e as aminas provenientes de sua degradação apresentaram efeitos mutagênicos em testes com *Salmonella* e mamíferos, a toxicidade destas moléculas deve-se a natureza e posição dos seus substituintes. Como ocorre com o corante acid red 26 que apresenta propriedade carcinogênica devido à presença de grupo metil e posição distinta do sulfato de sódio. Diante destes fatos, é importante que sejam realizados testes de

toxicidades em poluentes e metabólitos provenientes do processo de biorremediação a fim de avaliar a viabilidade deste tratamento (SEN et al., 2016).

Os fungos *Haematonectria haematococca* BwIII43, K37 e *Trichoderma harzianum* BsIII33 foram capazes de descolorir o corante antraquinona Alizarin Blue Black B por atividade de oxirredutases extracelulares. Para avaliar a detoxificação dos subprodutos, compostos fenólicos, deste processo foram utilizados testes de fitotoxicidade (determinação de inibição e crescimento das raízes e germinação das sementes de *Lepidium sativum* L.), biotoxicidade (*Microtox*), citotoxicidade. O fungo *H. haematococca* K37 mostrou-se tóxico apesar de apresentar bons índices de descoloração (Rybczynska-Tkaczyk et al., 2018). Com isso observa-se a importância de realizar avaliações de toxicidade após o tratamento, mesmo que sejam aplicados tratamentos potencialmente eficientes como a biorremediação com a utilização micro-organismos.

O CONAMA n. 430/2011 art. 18º determina que “*o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos*” (BRASIL, 2011). Para o melhor entendimento com relação à toxicidade alguns conceitos devem ser observados, segundo a resolução nº 357/2005, efeito tóxico agudo é quando o agente poluidor leva o organismo à morte em pouco tempo de exposição, e o efeito toxico crônico é quando o agente poluidor afeta alguma função biológica ou comportamento do organismo durante sua vida ou parte dela. Ensaio ecotoxicológicos são ensaios realizados para avaliar os efeitos deletérios a organismos aquáticos, ensaios toxicológicos são indicados para avaliar os efeitos aos seres humanos. Esta resolução, também, determina que a qualidade de ambientes aquáticos possa ser avaliada por indicadores biológicos, representantes de grandes grupos de uma cadeia ecológica, como organismos aquáticos. A toxicidade será avaliada através de ensaios: ecotoxicológicos (organismos aquáticos) e toxicológicos (seres humanos) ou outros cientificamente reconhecidos como bioindicadores (BRASIL, 2005). Como os testes realizados com vegetais, Lyu et al., (2018) e Park et al., (2016) consideram esses testes como simples, sensível, rápido, confiáveis e com custo-benefício bom.

Testes de fitotoxicidade até a década de 1970 eram pouco utilizados, apenas após a década de 1980 houve mais estudos de toxicidade utilizando plantas e também algas, principalmente para analisar toxicidade de metais e herbicidas (WANG, 1991). Espécies de

plantas além de serem testes de baixo custo podem indicar potenciais efeitos tóxicos de diferentes substâncias e em quais concentrações (HILLIS et al., 2011).

A agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) indicam vegetais para testes que avaliem a toxicidade de efluentes liberados em ambientes aquáticos (AGUIAR, et al., 2016; ROCHA, 2017). Nestes testes são avaliados a germinação e o alongamento da raiz e hipocólito das sementes de plantas. A semente é a primeira fase da planta em ter contato com substâncias eventualmente tóxicas, podendo interferir no seu desenvolvimento normal. A inibição da germinação e/ou alterações no crescimento da raiz são sinais de efeitos tóxicos (SOBRERO & RONCO, 2008; ROCHA, 2017; ERNST, 1998). Estes foram os fatores observados para avaliar toxicidade de compostos fenólicos e efluentes por Park et al., (2016). No trabalho de Eluk et al., (2017) foi avaliado o efeito de antibióticos presentes no meio ambiente por teste de germinação e alongamento utilizando as sementes de alfafa (*Medicago sativa*), melilotus (*Melilotus albus*) e trevo branco (*Trifolium repens*).

Rocha (2017) observou-se que a descoloração do corante laranja reativo 64 utilizando oxidação avançada (US/H₂O₂) resultou em subprodutos mais tóxicos que o original, diante dos resultados obtidos no teste de fitotoxicidade com sementes de alface, sendo observados os efeitos inibitórios da germinação e crescimento da radícula e hipocótilos. Confirmando mais uma vez a importância de avaliação de toxicidade após o tratamento de corantes têxteis, mesmo que a cor tenha sido removida, pois a ausência de cor não é garantia de que o efluente não seja nocivo ao meio ambiente e a saúde humana. O autor ainda sugere que estudos futuros devem ser realizados com a combinação do sistema US/H₂O₂ e tratamentos biológicos.

A EPA (2012), OECD (2003), USEPA (1996), ISO (1995), USFDA (1987) e OECD (1984) recomendam sementes de plantas como bioindicadores modelos de toxicidade como alface (*Lactuca sativa*), cenoura (*Daucus carota*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) e pepino (*Cucumis sativus*). *L. sativa* é conhecida como indicador padrão por possuir sensibilidade moderada, e é bastante utilizada em testes fitotoxicológicos conforme protocolo padrão de germinação ATSM (2003) (WANG, 1992; LYU et al., 2018; PARK et al., 2016) assim como a *Daucus carota* (cenoura) que é sensível a produtos químicos (ENVIRONMENT CANADA, 2005). Também são indicadores o feijão mungo verde (*Vigna radiata*) (HAQ et al., 2018), agrião (*Lepidium sativum*) (UNICHIM N. 1651, 2003); e a lentilha-d'água (*Lemna minor*) (ISO SO / WD 20079:2005) (TIGINI et al.,

2018). Já o *Allium cepa* é utilizado para analisar a genotoxicidade (SHANMUGAM et al., 2017; HAQ et al., 2018),

Zucconi et al., (1981), Mendes et al., (2016) e Priac, et al., (2017) também descrevem as sementes como as de alface (*Lactuca sativa* L.) e pepino (*Cucumis sativus* L.) como bioindicadores de fitotoxicidade. Gerber et al., (2017) utilizam estas sementes para avaliar a toxicidade de efluentes suínos, conforme recomendações da EPA (DIRETRIZES DO TESTE DE EFEITOS ECOLÓGICOS, 2012).

Diversas outras pesquisas com tratamento de corantes e efluentes têxteis também envolveram análises de toxicidade com vegetais, por exemplo, fungo *Achaetomium strumarium* descoloriu 99% do corante ácido vermelho 88, corante azo, a metabolização ou mico-transformação (como os autores nomeiam) do corante foi confirmada através de análises UV-vis, FTIR, HPLC e GCMS, também houve detoxificação através de análises de fitotoxicidade com sementes de *Phaseolus mungo* (feijão preto) e *Sorghum bicolor* (sorgo) (BANKOLE et al., 2018).

Lemna sp. (OECD *Lemna* sp., fitotoxicidade, teste de inibição do crescimento No. 221) e outros organismos (*Daphnia magna* Teste OCDE No. 202: zootoxicidade, Teste de Imobilização Aguda com *Daphnia* sp.) também foram utilizadas para avaliar o grau de detoxificação após tratamento onde as biomassas imobilizadas dos fungos *Pleurotus ostreatus* (BWPH), *Gleophyllum odoratum* (DCa) e *Polyporus picipes* (RWP17) foram aplicadas descolorir corantes azo e trifenilmetano. Sendo o tratado com *Polyporus picipes* (RWP17) a apresentar os melhores resultados para descoloração e redução da toxicidade (PRZYSTÁS et al., 2018).

O fungo *Trichoderma tomentosum* descoloriu efluente têxtil sob condições não esterilizadas e o corante azo Acid Red 3 R possivelmente por degradação oxidativa por peroxidase de manganês. Teste de fitotoxicidade utilizando sementes de soja (*Glycine max*) e da planta (*Adenanthera microsperma*) confirmaram a redução da toxicidade (HE et al., 2018).

Zubbair et al., (2018) analisaram a fitotoxicidade do metabólito da degradação do corante reactive black pelo fungo da podridão branca *Ganoderma tsugae*, com sementes de feijão e milho no qual foi confirmada a redução de toxicidade. Oliveira et al., (2018) avaliaram o potencial tóxico dos corantes têxteis Direct Black 38 e Azul Reativo 15 utilizando representantes de diferentes níveis tróficos. Foram realizados testes de germinação e alongamento com sementes de alface (*Cucumis sativus*), pepino (*Lactuca sativa*) e tomate (*Lycopersicon esculentum*) e testes com os organismos *Daphnia magna* e

Artemia salina, *Eisenia foetida* (minhoca) e peixes truta arco-iris. Neste trabalho não foi observada fitotoxicidade, entretanto observou-se toxicidade para os outros níveis, enfatizando que testes em níveis tróficos diferentes é fundamental para melhor avaliação da toxicidade de corantes têxteis, assim como os efluentes têxteis, e os níveis não prejudiciais para os ambientes.

Portanto a utilização de sementes de plantas para avaliar a eficiência de tratamentos de corantes e efluentes têxteis por fungos é de grande valia, visto que estes compostos mesmo após tratamento para redução de parâmetros físico-químicos (conforme legislação ambiental) podem apresentar feitos nocivos aos ecossistemas aquáticos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CORANTE E EFLUENTE TÊXTIL

O corante índigo carmim foi obtido comercialmente da empresa Sigma (Sigma-Aldrich Corporation, St. Louis Missouri, EUA). O efluente têxtil foi obtido do tanque de estocagem de lavanderia situado em uma indústria têxtil de Jeans localizada na cidade de Caruaru (PE/Brasil). Para este efluente foram determinadas as seguintes características físico-químicas: temperatura, cor, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carga orgânica total (COT), dureza total, fenóis totais, nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos (SST), carbono total (CT), cromo total, fósforo total, óleos e graxas de acordo com metodologia SMEWW (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st edition, 2012), realizados pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

3.1.2 Curva de absorção

As leituras de absorbância no espectro de absorção UV-Vis do corante índigo carmim e do efluente têxtil testados nos experimentos foram obtidas em espectrofotômetro (Thermo Fisher Scientific, modelo EVO 60) na faixa entre 400-900 nm.

3.2 MICRO-ORGANISMOS

As cepas fúngicas foram provenientes do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Industrial - LAMAI - Departamento de Antibióticos do Centro de Biociências (CB/UFPE) e da coleção de culturas URM/UFPE. Foram testadas 100 cepas, destas 29 foram isoladas de água potável, 39 isoladas de água mineral, 18 isoladas de solo, 13 isolados a partir de madeira de mata Atlântica (URM/UFPE) e 1 isolada de petroderivados. Foram mantidas em meio Agar Sabouraud (SAB) a 4°C.

3.3 SELEÇÃO DE CEPAS FÚNGICAS QUANTO À DESCOLORAÇÃO DE CORANTE ÍNDIGO CARMIM

O corante índigo carmim foi escolhido como parâmetro para selecionar cepas capazes de descolorir corantes presentes em efluentes têxteis e por ter sido citado em pesquisas de descoloração por micro-organismos (BANKOLE et al., 2017; LI et al., 2015a, 2015b). Os fungos foram inoculados em placas de Petri contendo meio de cultivo SAB acrescido de corante índigo Carmim (5 mg/L) e após sete dias de incubação à 30°C foram retirados três blocos de gelose com crescimento micelial e inoculados em frascos Erlenmeyers (250 mL) contendo 50 mL de meio com a seguinte composição: água destilada (49,5 mL), 0,02% de extrato de levedura e 0,5 mL de solução de corante índigo carmim, concentração final de 50 [mg/L] (MTUI et al., 2008), e incubados por sete dias a 30°C. Todos os experimentos foram realizados em triplicata e em condição estática.

Para análise da descoloração do corante foram retiradas alíquotas com 7 dias de incubação e submetidas a leituras das absorvâncias em espectrofotômetro (Thermo Fisher Scientific, modelo EVO 60) no comprimento de onda obtido por meio do espectro de absorção. Esta análise foi realizada por meio de reduções da absorvância obtida no controle, o percentual de descoloração (%D) foi calculado utilizando-se a fórmula:

$$\%D = \frac{AbsT_0 - AbsT_x}{AbsT_0} \times 100$$

AbsT₀ = Absorvância inicial

AbsT_x = Absorvância em cada tempo

3.4 QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA

As cepas, que obtiveram descoloração do índigo carmim igual ou maior a 70%, foram inoculadas em placas de Petri contendo meio Agar SAB acrescido de índigo carmim (5 mg/L) e incubados a 28°C por sete dias. A partir destas foram retirados três blocos de gelose e inoculados em frascos Erlenmeyer contendo meio de cultura líquido de acordo com metodologia preconizada por Miranda et al., (2012), (0,05 g de extrato de levedura, 0,2 g de KH₂PO₄, 0,05 g de MgSO₄, 0,02 g de CuSO₄, 0,016g de MnSO₄, pH 7,5, 1L de água destilada acrescida do corante índigo carmim na concentração 5 mg/L), a 28°C por 7 dias em condições estáticas.

Foram realizadas análises a partir de amostras retiradas dos frascos no sétimo dia de incubação, para as enzimas Lacase (Lac), lignina peroxidase (LiP), manganês peroxidase (MnP). A atividade da Lac foi realizada de acordo a metodologia de Buswell et al., (1995), na qual foram utilizadas 0,1 ml de tampão acetato de sódio 0,1 M (pH 5,0); 0,8 ml de solução de ABTS em 0,03% (w / v); 0,1 ml de extrato enzimático. A absorbância foi lida a 420 nm com 5 e 10 min, e o coeficiente utilizado para o cálculo de obtenção de U (unidades internacionais de enzima por litro) foi $\epsilon=36000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Uma unidade de enzima (1U) foi definida como a quantidade de enzima capaz de oxidar 1,0 μmol de substância por minuto por mg de proteína. Para MnP foi utilizada a metodologia descrita por Kuwahara et al., (1984), na qual utilizou 250 μL do extrato enzimático; 100 μL de vermelho de fenol (0,01% w / v); 50 sulfato de manganês MnSO_4 (2 mM) e 50 peróxido de hidrogênio (20mM, pH 4,5). A mistura foi incubada a 30 ° C por 10 min e a reação foi interrompida por 100 μL de NaOH (2N). A absorbância foi lida a 610 nm. Uma unidade de enzima (1U) equivale a quantidade de enzima capaz de oxidar 1,0 μmol de vermelho de fenol/L/min por mg de proteína. O coeficiente utilizado para o cálculo para obtenção de U foi $\epsilon= 4466 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Para LiP foi realizada segundo a metodologia de Buswell et al., (1995), que usa solução a base de 1mL tampão tartarato de sódio 125mM pH 3,0; 500 μL de álcool veratrílico 10mM; 500 μL de peróxido de hidrogênio 2mM e 500 μL do extrato enzimático. A absorbância foi lida a 310 nm, com 0 e 5 min. Uma unidade de enzima (1U) equivale a 1 μmol de produto formado por minuto por mg de proteína. O coeficiente utilizado para o cálculo para obtenção de U foi $\epsilon =9300 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. A atividade enzimática específica foi determinada em $\mu\text{mol minuto}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ ($\text{U mg de proteína}^{-1}$).

3.5 DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL

As cepas selecionadas, quanto à capacidade de descolorir o corante índigo carmim, foram testadas quanto à capacidade de descolorir o efluente têxtil. Para isso três blocos de gelose com crescimento micelial de cada cepa, foram inoculados em frascos Erlenmeyers (250 mL) contendo 50 mL de efluente têxtil não autoclavado foi acrescido de 0,02% de extrato de levedura e incubado por sete dias a 30°C, no escuro. O controle consistiu das mesmas condições, porém sem inóculo. O experimento foi realizado em triplicata em condição estática. Foram retiradas alíquotas de 2mL com um, quatro e sete dias de incubação para análises do percentual de descoloração e quantificação enzimática. Para

analisar o percentual de descoloração do efluente têxtil, as amostras foram centrifugadas e analisadas em espectrofotômetro no comprimento de onda obtida através da curva de absorção (Thermo Fisher Scientific, modelo EVO 60) para obtenção do espectro de absorção UV-Vis e então calculado o percentual de descoloração (%D).

3.6 QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA NO EFLUENTE TÊXTIL

O complexo de enzimas lignolíticas foi quantificado com os fungos inoculados no efluente têxtil. Para tal, alíquotas do efluente foram coletadas de cada frasco ao final de sete dias de incubação e submetidas à metodologia de Buswell et al., (1995) para Lac e LiP, e de Kuwahara et al., (1984) para MnP.

3.7 OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CULTIVO PARA DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL

Para obtenção da melhor condição entre as cepas selecionadas nos experimentos anteriores foram realizados ensaios de otimização das condições nutricionais do meio através de um planejamento experimental (2^4) do tipo delineamento composto central rotacional (DCCR), com um ponto central (nível zero), dois níveis -1 e +1 e dois pontos axiais (-2 e +2), totalizando 27 ensaios com 7 dias de incubação (MIRANDA et al., 2012). As variáveis independentes (Tabela 11) analisadas foram extrato de levedura, sulfato de manganês ($MnSO_4$), sulfato de cobre ($CuSO_4$) e sulfato de ferro ($FeSO_4$) e como variáveis dependentes o percentual de descoloração do efluente têxtil, atividade enzimática (Lac, LiP e MnP) e fitotoxicidade.

Tabela 11. Valores estabelecidos no Planejamento experimental.

Variáveis independentes	Níveis das variáveis				
Definição (unid.)	-2	-1	0	+1	+2
Extr. de Levedura*	0	0,15	0,25	0,35	0,75
$MnSO_4$*	0	0,06	0,08	0,1	0,5
$CuSO_4$*	0	0,015	0,025	0,035	0,075
$FeSO_4$*	0	0,02	0,03	0,04	0,06

* Gramas por litro

Ao final dos sete dias de incubação alíquotas foram retiradas para análise em espectrofotômetro para obtenção do percentual de descoloração do efluente têxtil, para análises da atividade enzimática (Lac, LiP e MnP) e para fitotoxicidade.

3.8 TOXICIDADE

Para analisar a toxicidade dos produtos provenientes do biotratamento foram utilizadas sementes de feijão *Phaseolus vulgaris* L de acordo com a metodologia adaptada de Mendes et al., (2016) e Zubair et al., (2018). Para este experimento, 5 mL do produto, filtrados em filtro de seringa 0,22µm, de cada um dos 27 ensaios de otimização foram inoculados em placas de Petri com papel de filtro duplo qualitativo e esterilizados com 10 sementes de feijão, após desinfestadas, colocadas equidistantes uma da outra. Também sendo mantido um controle negativo com água destilada esterilizada e um controle positivo com o efluente têxtil livre de células. Experimento realizado em triplicata, incubadas a 25°C por 7 dias no escuro.

Após o período de incubação foi analisado o índice de germinação conforme Tiquia et al., (1996) através da fórmula $IG = (\% \text{ Germinação da semente}) \times (\% \text{ Crescimento da raiz}) \div 100$. Para obtenção do percentual de germinação da semente foi aplicada a seguinte fórmula: $\%G = (\text{média sementes germinadas} / \text{média sementes germinadas do controle}) \times 100$; e para obtenção do percentual de crescimento médio da raiz foi aplicada a seguinte fórmula: $\%CMR = (\text{média crescimento da raiz} / \text{média de crescimento da raiz do controle}) \times 100$, milímetros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL

Na tabela 12 apresenta-se os parâmetros físico-químicos do efluente da lavanderia industrial têxtil, que normalmente são utilizados como indicadores de poluição e da eficiência dos tratamentos utilizados, são DBO, DQO, pH, cor, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, temperatura, fósforo total, nitrogênio orgânico total, fenóis totais, cromo total (MIRBOLOOKI et al., 2017; RAJASIMMAN et al., 2017; BRINK et al., 2017; HEMACHANDRA et al., 2016). Os dados obtidos confirmam que o efluente têxtil em estudo é potencialmente prejudicial se lançado em corpos hídricos sem o devido tratamento, a composição química de efluentes têxteis varia bastante, além de corantes apresentam substâncias químicas como surfactantes, detergentes, solventes, e materiais orgânicos recalcitrantes (LOTITO et al., 2012; LI et al., 2012). Liang et al., (2018) afirmam que os valores destes indicadores estão relacionados com substâncias como surfactantes, solventes e detergentes utilizados durante o tingimento dos tecidos.

Tabela 12. Caracterização do efluente em estudo e características típicas de efluente têxteis

Parâmetros	Unidade	Legislação					Resultados
		Federal CONAMA	RJ	Estadual			
				SP Art. 18 Dec. N o 8468	SC Art. 19 Dec. N o 14.250	PE Art. 29 Dec. N o 7.269	
Temperatura	°C	<40	-	<40	<40	<40	28
pH	NA	5,0 -9,0	-	5,0 - 9,0	6,0 -9,0	5,0 - 9,0	6,5
Condutividade elétrica a 25°C	µS/cm	-	-	-	-	-	2.830
Cor aparente	uH	75	-	-	-	-	>500
DQO	mg O ₂ /L	-	200	-	-	-	1.000
DBO	mg O ₂ /L	-	-	60 %	60 %	-	208
Carga Orgânica DBO	kgDBO/m ³	-	-	-	-	-	0,83
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	-	-	-	-	-	135,7
Fenóis Totais	mg/L	0,5	-	0,5	0,2	-	0,09
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L	-	-	-	-	-	8,2
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	-	-	-	-	-	2.121
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	-	-	-	-	2.028
Óleos e Graxas Totais	mg/L	-	-	-	-	-	113
Cromo total	mg/L Cr	-	-	-	-	-	<0,03
Fosforo total	mg/L P	-	-	-	-	-	4,79

NA: Não se aplica | RJ – Rio de Janeiro | SP – São Paulo | SC – Santa Catarina | PE - Pernambuco

(-) Não citado na Legislação | DQO – Demanda Química de Oxigênio | DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

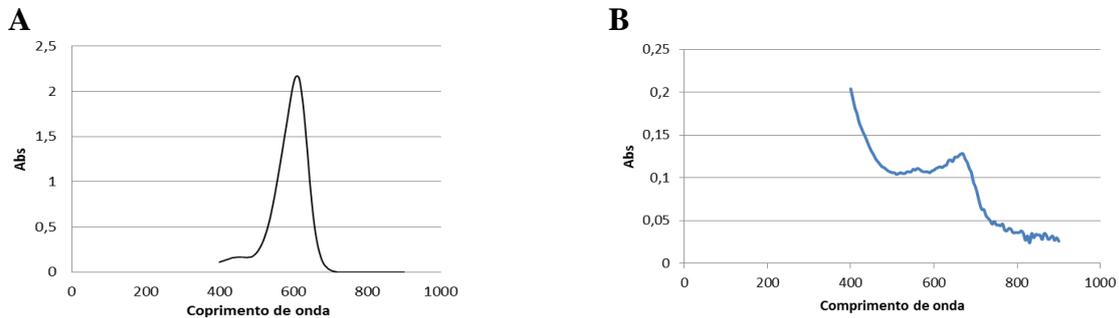
Na caracterização do efluente proveniente de indústria têxtil de jeans realizada por Pizato, et al. (2016), apresentaram DBO_5 de 328 mg.L^{-1} e DQO de 629 mg.L^{-1} , valores de DBO superior e DQO inferior aos encontrados no efluente em estudo, porém ainda incompatíveis com a legislação. Os autores, também, relacionam altos níveis de DBO à presença de detergentes e outros compostos orgânicos oriundos da etapa de lavagem do tecido. Contudo os altos níveis de DQO pode ser devido, além dos produtos da lavagem, a outros insumos utilizados na etapa de tingimento como corantes que indicam a presença de substâncias que consomem oxigênio como Fe^{+2} , Mg^{+2} e NH_4^+ e altos níveis de cloretos (FENZL, 1988).

Quanto às taxas de DBO e DQO, nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro é exigido que as indústrias reduzissem as taxas de DBO em 60% (CETESB, 2009, BRASIL, 2006), e no Estado do Paraná, a legislação exige que as empresas reduzam as taxas de DBO para 50 mg.L^{-1} e de DQO para 200 mg.L^{-1} (PARANÁ, 2009). Estes parâmetros além de serem considerados indicadores convencionais de poluição, há uma correlação com a toxicidade de efluentes. Ma et al., (2016) detectaram que a toxicidade de águas residuais farmacêuticas estavam diretamente relacionada a DQO e às taxas de nitrogênio total e fósforo total. Raptis et al., (2014) confirmaram que o aumento das concentrações de DQO e DBO interfiram na reprodução *Ceriodaphnia dubia* e crescimento de *Pseudokirchneriella subcapitata*.

Os níveis de pH 6,5 e temperatura 28°C observados no efluente têxtil em estudo favorecem o crescimento e ação fúngica, e estão dentro dos padrões determinados pela legislação federal (Res. CONAMA N° 430/11) e dos Estados São Paulo (Art. 18 Dec. N° 8468), Rio de Janeiro (Diretriz DZ-205) e Pernambuco (Art. 29 Dec. N° 7.269), que são pH 5,0 – 9,0 e temperatura $<40^\circ\text{C}$. A legislação federal também exige que os níveis de cor real sejam até de 75 mg Pt/L (miligramas de platina por litro) enquanto que o efluente têxtil analisado foi >500 valor acima do que é permitido para descarte no meio ambiente.

Na varredura do índigo carmim a máxima absorbância foi encontrada em 610nm e para o efluente têxtil foi 670nm (Figura 26A e 26B), confirmando que neste efluente há outros corantes e outros compostos químicos além do índigo carmim, assim todos os experimentos a seguir foram analisados na absorbância observada no efluente têxtil em 670nm.

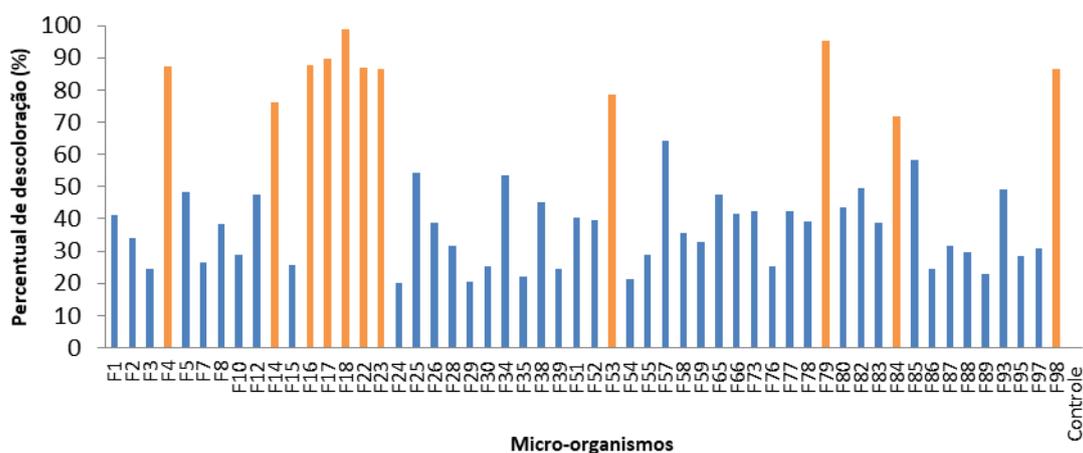
Figura 26. Espectro de absorção do corante índigo carmim e do efluente têxtil. A - Varredura do índigo carmim; B - Varredura do efluente têxtil.



4.2 SELEÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS QUANTO À DESCOLORAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO CARMIM

Das cem cepas testadas foram obtidos os seguintes resultados em relação à descoloração do corante (Fig. 27): onze cepas apresentaram percentual de descoloração igual ou superior a 70%. As cepas *Aspergillus japonicus* (F18) e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) apresentaram os maiores percentuais de descoloração de 98,76% e 95,26% respectivamente, as cepas F17 (não identificado), *Penicillium fellutanun* (F04), *Aspergillus foetidus* (F16), *Penicillium fellutanun* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F98), *Aspergillus japonicus* (F23) com percentuais de 89,70%, 87,14%, 87,87%, 86,70%, 86,93%, 86,37% respectivamente, e finalmente as *Aspergillus fumigatus* (F53), *Penicillium* sp. (F14) e *Scytinostroma duriusculum* URM 6974 (F84) com os valores de 78,71%, 76,10% e 71,15%.

Figura 27. Porcentagem de descoloração do corante índigo carmim



Legenda: Coloração azul ≤ 69 % de descoloração
Coloração laranja ≥ 70 % de descoloração

Entre as cem cepas testadas, 45 tiveram índices inferiores a 20% e não foram apresentados na figura 27 (F6, 9, 13, 19- 21, 27, 31-33, 36, 37, 40-50, 56, 60-64, 67-72, 74, 75, 81, 90-92, 94, 96, 99 e 100). Destas onze selecionadas, as cepas F04, F14, F16, F17, F18, F22, F23, F53 e F98 foram isolados de água mineral e as cepas F79 e F84 foram isoladas de madeira da Mata Atlântica e estão depositadas na micoteca URM/UFPE. Os fungos apresentam excelente potencial para descoloração de corantes têxteis, confirmando relatos de diversas pesquisas (ISIK et al., 2019; BATISTA-GARCÍA et al., 2017; HUANG et al., 2016; OTTONI et al., 2016; CHEN et al., 2015; SILVA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2014). Bankole et al., (2017) relataram o papel da levedura de *Diutina rugosa* na biorremocão do corante índigo carmim através de processos de biossorção. Yang et al., (2016) observaram uma boa atuação de 13 cepas fúngicas, entre 92 cepas testadas, isoladas a partir de água doce quanto à descoloração dos corantes sintéticos vermelho reativo 11, vermelho ácido 73 e azul reativo 74, azul ácido 40, 62, 113 e 193.

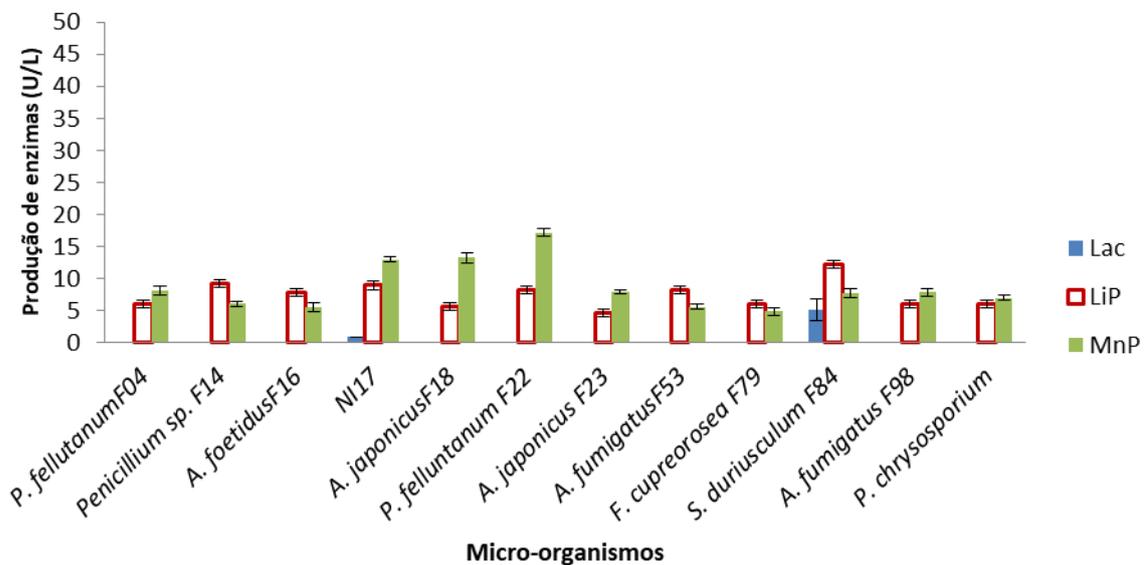
Rani et al., (2014) observaram que os fungos *Phanerochaete chrysosporium* e *Aspergillus niger* apresentaram melhores percentuais de descolorações de corantes fucsina básica (81.85%), nigrosina (77.47%), verde malaquita (72.77%) e uma mistura de corantes (33.08%) sob condições de agitação, o que segundo os autores favoreceu para a descoloração dos corantes, entretanto em nosso estudo os fungos foram capazes de descolorir o corante em condição estática e com a adição de apenas extrato de levedura como fonte nutricional, o que favorece a redução de custos. Resultados obtidos por Lu et al., (2017) relatam que os fungos são capazes remediar efluentes que contenham corantes através de mecanismos como a sorção e a biodegradação através via enzimáticas. Em seu trabalho a cepa de *Aspergillus niger* ZJUBE-1 descoloriu o corante azo vermelho congo através do mecanismo de sorção. Entretanto, Harrache et al. (2019) quando utilizaram o carvão ativado para tratar altas concentrações do índigo carmim a temperatura atingiu 40°C e o pH baixou a 2. Esses valores estão inadequados para o padrão da legislação brasileira e os resultados obtidos pelas 11 cepas de fungos além de atenderem aos requisitos são micro-organismos encontrados em vários ambientes, podendo ser usados no tratamento biológico.

4.3 QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO TRATAMENTO DO CORANTE ÍNDICO CARMIM

A produção das enzimas lacase (Lac), manganês peroxidase (MnP) e lignina peroxidase (LiP) das onze cepas está apresentado na Figura 28 e da cepa *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181 como controle positivo, este fungo é reconhecidamente eficiente em processos de descoloração de corantes têxteis (BENGHAZI et al., 2014; SINGH et al., 2010).

Entre os resultados foi observado as cepas *Penicillium fellutanum* (F22) e F17(não identificado) e *Aspergillus japonicus* (F18) e *S. duriusculum* (F84) apresentaram os maiores valores de produção de MnP 17 UL⁻¹, 13 UL⁻¹, 13 UL⁻¹ e 12 UL⁻¹, respectivamente. Todas a cepas apresentaram produção das enzimas LiP e MnP, e apenas *Scytinostroma duriusculum* URM 6974 (F84) e F17 apresentaram produção da enzima lacase, estas também foram a únicas a apresentarem atividade para as três enzimas.

Figura 28. Atividade das enzimas Lac, LiP e MnP em ensaios com corante índigo carmim em unidades internacionais por litro (UL⁻¹).



O corante Black Reactive 5 foi degradado pela levedura *Trichosporon akiyoshidainum* HP 2023 pelas enzimas fenoloxidase e peroxidase (MARTORELL et al.,

2017). Um dos mecanismos pelo qual os fungos promovem a descoloração de corantes têxteis é a via oxidativa, *Phanerochaeta chrysosporium* descoloriu o corante índigo carmim através de processos oxidativos pela enzima manganês peroxidase como relatam Li et al., (2015b). O mesmo processo se repete nos relatos de Khan & Fulekar (2017) no qual o fungo *Aspergillus bombycis* descoloriu o corante vermelho reativo 31 por ação das enzimas lacase, MnP e fenol oxidase. O fungo *Absidia spinosa* M15 descoloriu o corante Trifenilmetano Cresol Red sob condições de agitação e após 30 dias de incubação e envolvendo a enzima lacase (KRISTANTI et al., 2016). Em nosso trabalho verifica-se que as cepas testadas foram capazes de descolorir o corante em estudo sob condições estáticas e com até 7 dia de incubação, possivelmente devido a atividades destes enzimas oxidativas Lac, MnP e LiP.

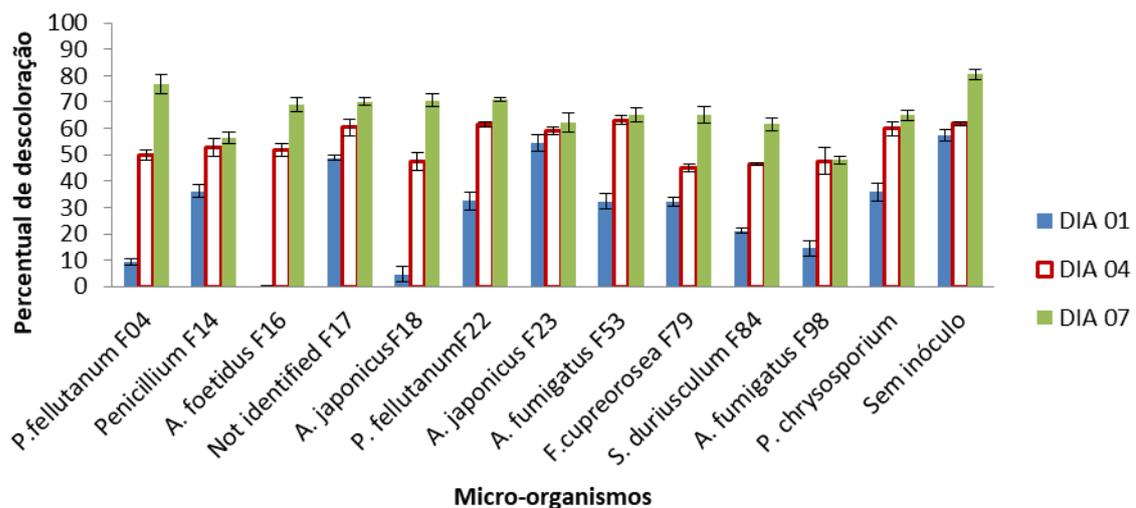
4.4 DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL

As onze cepas apresentadas no subitem 4.3 foram selecionadas para o processo de descoloração do efluente têxtil, por obterem os melhores percentuais de descoloração do índigo carmim, e a cepa *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181 como controle positivo. Observa-se na figura 29 que a cepa F17(não identificado) e a cepa *Aspergillus japonicus* (F23) apresentaram percentual de descoloração do efluente têxtil no primeiro dia de incubação com 48,75% e 54,44% respectivamente. No sétimo dia, a cepa F17 (NI) chegou 70,10% e a cepa *Aspergillus* sp. (F23), a 62,39%. A cepa *Penicillium foetidus* (F04) e a *Aspergillus japonicus* (F18) apresentaram um aumento significativo do percentual de descoloração do primeiro dia para o sétimo dia. Já cepa *Penicillium foetidus* (F04) passou de 9,36% para 76,67% e a cepa *Aspergillus japonicus* (F18) passou de 4,71% para 70,55%. Apenas a cepa *Aspergillus fumigatus* (F98) ficou abaixo de 50% com 48,12% ao final do experimento. Os fungos utilizados nesse processo foram capazes de descolorir o efluente têxtil com 7 dias de incubação com adição nutricional de apenas 0,02% de extrato de levedura, diferindo do que é relatado por Miranda et al., (2013) que obtiveram 98% e 93% de descoloração de efluente têxtil utilizando os fungos *P. chrysosporium* URM 6181 e *Curvularia lunata* URM 6179, respectivamente, em biorreator após 10 dias de tratamento e em meio de cultura com adição de sais. Os fungos estudados no atual trabalho são capazes de descolorir rejeitos complexos como o efluente têxtil com recursos limitados e curto tempo. Pzystas et al., (2015), observaram a descoloração dos corantes trifenilmetano verde

brilhante e diazo azul de Evans, por meio da biotransformação ou bioissorção, pelos fungos *Pleurotus ostreatus* (BWPH e MB), *Gloeophyllum odoratum* (DCa), RWP17 (*Polyporus picipes*) e *Fusarium oxysporum* (G1) sob condições de agitação e em meio de cultivo com adição de glicose, sais e extrato de levedura, enquanto que em nossos experimentos foi introduzido apenas o extrato de levedura (0,02%) e em condições estáticas. Chanwala et al., (2019) observaram que a bactéria *Planococcus* sp., isolada de efluente têxtil, após processo otimizado obteve 55,42% de descoloração adicionando-se peptona como fonte de nitrogênio e 54,76% na concentração de 10% do efluente, entretanto nossos experimentos chegaram a percentuais superiores com apenas 0,02% de extrato de levedura e 100% de efluente.

O controle (frascos sem inóculo) não autoclavado apresentou um percentual de descoloração ao final dos sete dias de 80%. Apesar deste percentual pesquisas revelam que a descoloração não confirma a eficiência do tratamento devido a possível formação de produtos intermediários tóxicos (LIANG et al., 2018; GERBER et al., 2018), para isto realizamos testes complementares para avaliar a toxicidade dos produtos resultantes deste experimento.

Figura 29. Percentuais de descoloração do efluente têxtil pelas sepas selecionadas e pelo fungo *P. chrysosporium* com 01, 04 e 07 dias de incubação.



4.5 QUANTIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DO EFLUENTE TÊXTIL

Neste estudo foram analisadas a produção das enzimas extracelulares Lac, LiP e MnP (Figura 30). Fungos pertencentes aos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* e também aos *Basidiomicetos*, têm a habilidade de metabolizar corantes têxteis, e consequentemente os efluentes recalcitrantes ao meio ambiente, através da produção destas enzimas (KUMARI et al., 2016). As enzimas Lac, LiP e MnP fazem parte do grupo de enzimas que degradam a lignina, um polímero complexo, elas são produzidas por fungos em experimentos para descolorir os corantes e efluentes proveniente de indústrias têxteis, além da descoloração podem levar a detoxificação (ZERVA et al., 2016), como é relatado por Ademakinwa et al., (2016) onde constatou-se que a enzima lacase produzida pelo fungo *A. pullulans* cepa NAC8 foi a responsável pela biorremediação de efluentes têxteis.

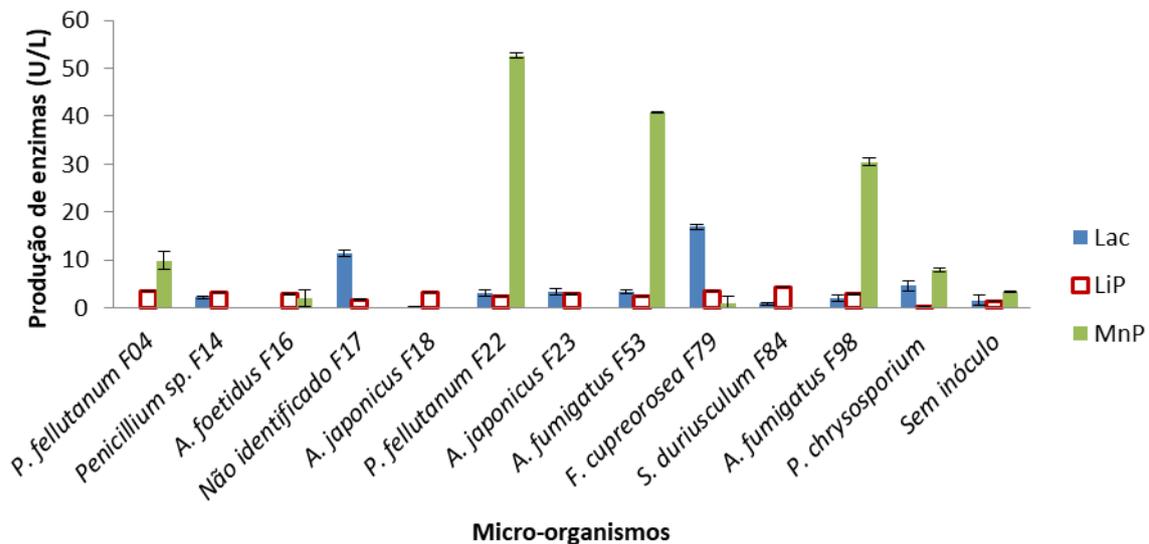
No presente trabalho, as cepas *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F53) e *Aspergillus fumigatus* (F98) apresentaram os melhores valores de produção da enzima MnP, 52,64 UL⁻¹, 40,83 UL⁻¹ e 30,46 UL⁻¹, respectivamente. As cepas *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) e F17 (NI) apresentaram as melhores atividades para enzima Lac, 16,94 UL⁻¹ e 11,38 UL⁻¹, respectivamente. A enzima LiP não apresentou atividade expressiva para nenhuma das três cepas estudadas. As atividades das enzimas analisadas neste trabalho foram pouco expressivas em relação ao que é mostrado em outros trabalhos onde foram detectadas, como mostra o trabalho de Rezaei et al (2015) que citam a atividade de lacase para descolorir o corante reativo laranja 7. Entende-se que vários fatores podem ter influenciado nos níveis de descoloração e atividade enzimática de nossos experimentos que apresentaram bons índices de descoloração e baixos níveis de atividades enzimáticas destas três enzimas, o mesmo ocorreu no trabalho de Lu et al. (2016) onde o fungo *Ganoderma* sp. En3 descoloriu altas concentrações do corante índigo carmim (800, 1000, 2000 mg L⁻¹) porém não foram detectadas as enzimas LiP e MnP, apenas a enzima Lac sugerindo que esta participou ativamente do processo de descoloração. Em nosso trabalho, estas enzimas podem ter participado do processo de descoloração, porém infere-se que os fungos estudados neste trabalho tenham realizado o processo por outra via metabólica, e não por via oxidativa, ou seja, pela atividade de outras enzimas como as da via hidrolítica.

Neoh et al., (2015) testaram o fungo *Curvularia clavata* NZ2 para descoloração de corantes e detectaram a produção mais expressiva das enzimas xilanase e CMCase e baixa atividade de lacase e MnP, e ausência de LiP. Observa-se que não necessariamente as três

enzimas Lac, LiP e MnP participam juntas do processo de descoloração, vários fatores podem influenciar no processo e nas suas atividades. Segundo Zeng et al., (2015) a concentração do corante é um fator importante no processo de descoloração, podendo inibir o crescimento do fungo e consequentemente a produção de enzimas. A redução ou inibição da descoloração também pode estar relacionada à diminuição da quantidade de fungos devido à falta de nutrientes e acúmulo de metabólitos tóxicos no meio. No atual estudo, é possível que a baixa produção destas esteja ligado aos altos níveis de carga orgânica e DBO como mostrado na caracterização do efluente têxtil analisado.

Portanto as cepas *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F53) e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) foram selecionadas para a próxima etapa por apresentarem os percentuais de descoloração acima de 60%, com 71,96%, 67,91% e 67,49% respectivamente (Fig. 29) aliados aos melhores picos de atividade enzimática para umas das três enzimas estudadas (Fig. 30) *Penicillium fellutanum* (F22) e *Aspergillus fumigatus* (F53) para MnP, e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) para Lac. A cepa *Aspergillus fumigatus* (F98) apesar de apresentar o terceiro melhor pico para atividade de MnP obteve um percentual de descoloração inferior a 50%.

Figura 30. Atividade enzimática de Lac, LiP e MnP do experimento de descoloração do efluente têxtil pelos fungos investigados.



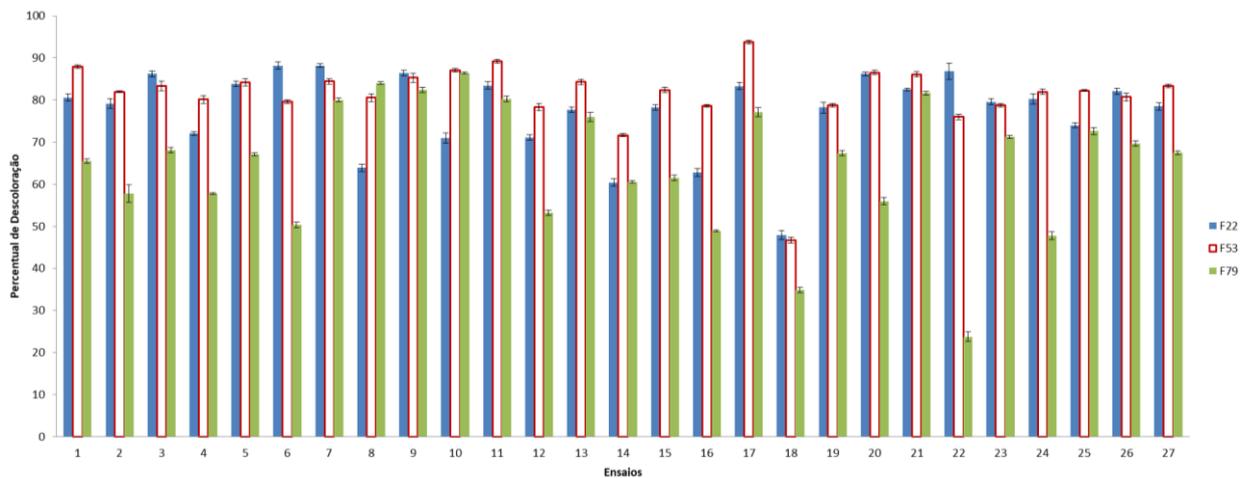
4.6 PLANEJAMENTO FATORIAL EXPERIMENTAL DO TIPO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL

4.6.1 Análise do processo de descoloração do efluente têxtil

Diante dos resultados nos experimentos nos subitens anteriores a fim de melhorar as condições para descoloração e atividade enzimática pelos três fungos selecionados, foram submetidos ao planejamento experimental DCCR (Fig. 31). Assim após o período de incubação foi observado os seguintes resultados: o ensaio 17 apresentou as melhores condições de tratamento com a cepa *Aspergillus fumigatus* (F53) chegando a 93,75% *Penicillium fellutanum* (F22) com 83,33% e a cepa *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) com 77,08%. Este ensaio foi realizado na ausência de extrato de levedura e nas condições nutricionais do ponto central do planejamento 0,008 g/L de $MnSO_4$, 0,025g/L de $CuSO_4$ e 0,03g/L de $FeSO_4$. Também foi observado que o ensaio 18 apresentou os mais baixos índices de descoloração com percentuais inferiores a 50% para as três cepas com as condições nutricionais 0,075g/L de extrato de levedura, 0,08g/L de $MnSO_4$, 0,025g/L de $CuSO_4$ e 0,03g/L de $FeSO_4$. O selecionado *Aspergillus fumigatus* (F53) apresentou percentuais acima de 70% com exceção apenas do ensaio 18 e para o selecionado *Penicillium fellutanum* (F22) apenas os ensaios 8, 14, 16, e 18 ficaram abaixo de 70%. Para a cepa *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) observa-se que apresentou os menores índices de descoloração para vários ensaios, sendo apenas os ensaios 7, 8, 9, 10, 11, 13, 17, 21, 23 e 25 com índices igual ou maior a 70%. Novamente, os resultados confirmam a atuação dos fungos investigados, a descoloração da maior parte dos ensaios formam superiores a 60%, com o mínimo de custos. Diferente de outras pesquisas, a degradação de corantes (corantes índigo carmim - IC, Ponceau-S- PS e vermelho congo-VC) presentes em águas de indústrias têxteis foram submetidos a fotodegradação por nanofios de óxido de cádmio, entretanto além deste precisar ser preparado em temperatura de 400°C, os percentuais de descoloração não ultrapassaram 60%, sendo 30% para IC, 39% para PS, 57% para VC (Rane et al., 2019). Costa et al., (2018) testaram consórcio microbiano (bactérias, leveduras e fungos filamentos) para descolorir efluente têxtil, sob condições de agitação com adição de glicose e sulfato de amônio e obteve bons índices de descoloração apenas depois de 30 dias de incubação, diferentes de nossos experimentos nos quais foram obtidos descoloração com até 7 dias em condições estáticas. Liu et al., (2019) obteve 91,21% de descoloração de efluente têxtil utilizando processo eletro-Fenton

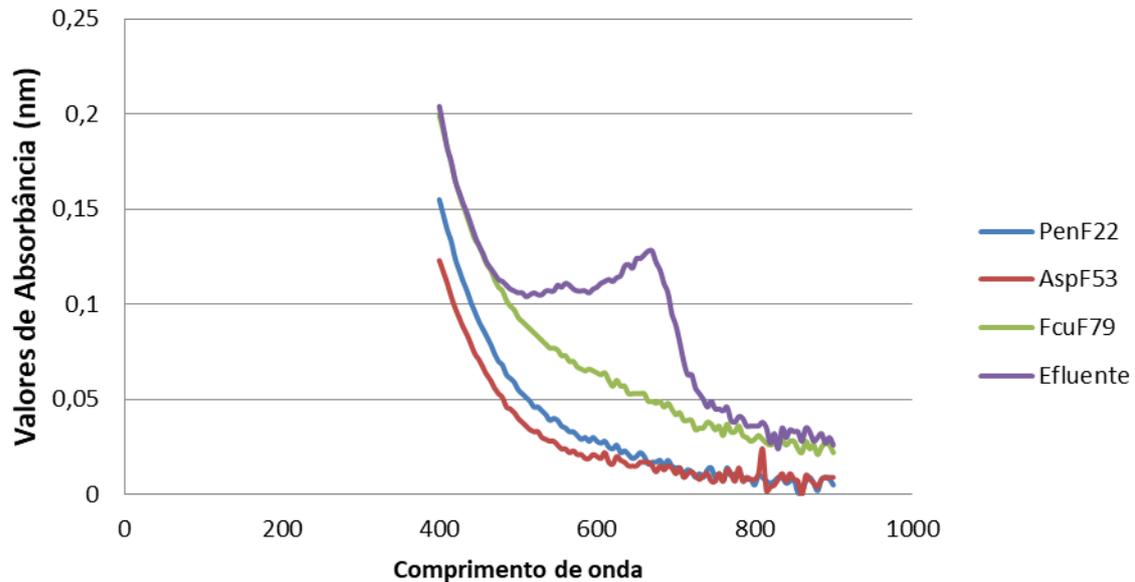
em leito fluidizado a temperaturas chegando a 600°C, novamente foi um processo que reduziu a coloração entretanto além de ser uma temperatura superior recomenda para o ambiente além de poder gerar custos. As condições aplicadas no atual trabalho são viáveis em relação a condições ambientais e econômicas.

Figura 31. Percentual de descoloração do efluente têxtil dos ensaios do planejamento experimental DCCR pelas cepas *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F53) e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79).



A fim de comparação o ensaio 17 também foi submetido à varredura em espectrofotômetro (Fig. 32) para obtenção do espectro de absorção UV-Vis na faixa 400-900. Observou-se a diminuição na intensidade do espectro de absorção do ensaio 17 em relação ao do efluente têxtil, portanto possivelmente houve metabolização do(s) corante(s) presentes no efluente inicial levando a descoloração.

Figura 32. Modificações no espectro de absorção do efluente têxtil inicial e do ensaio 17 da otimização após tratamento com os fungos.

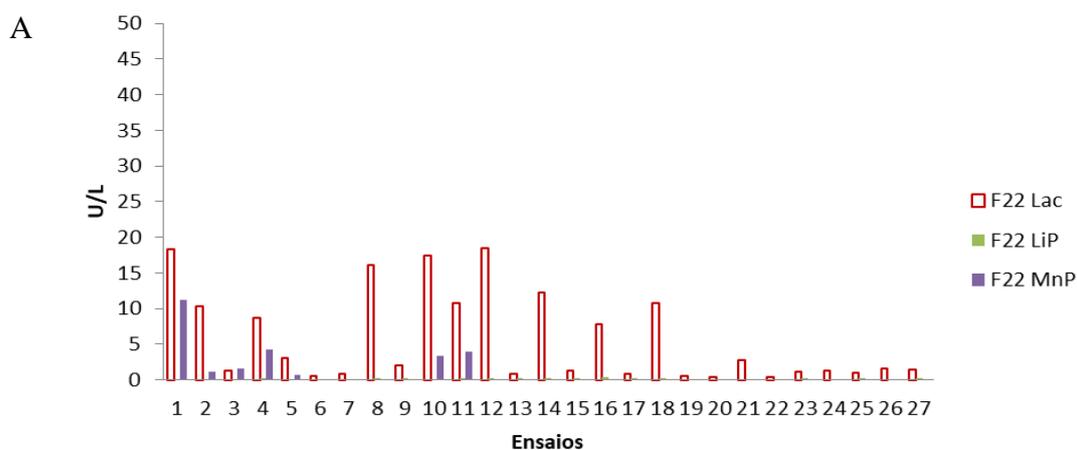


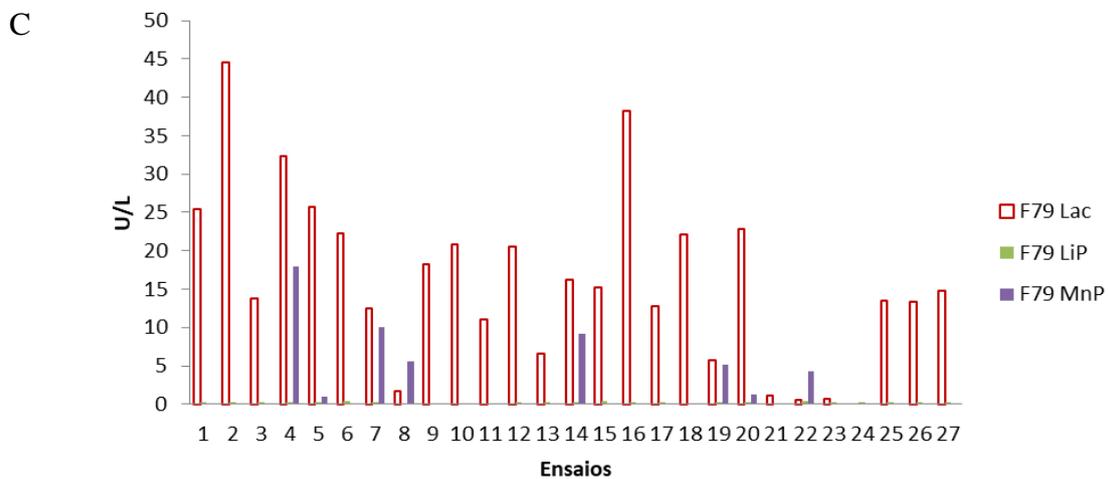
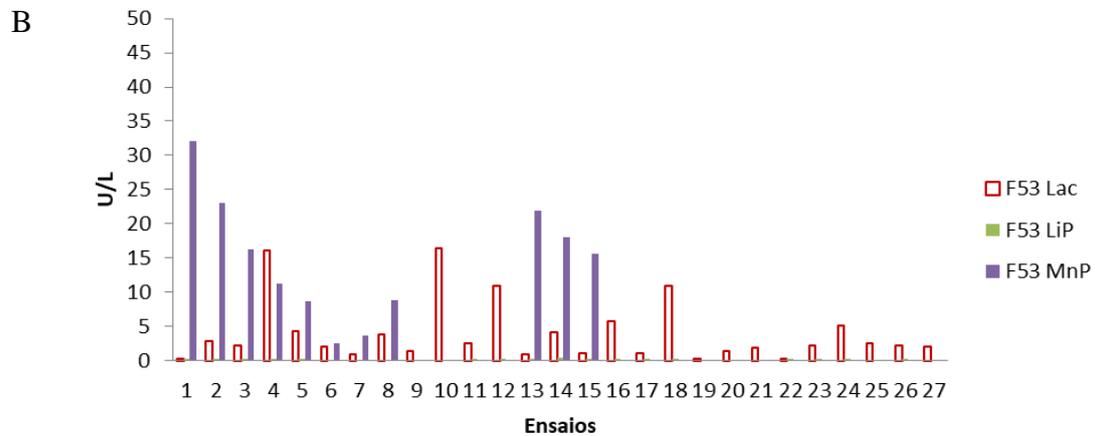
4.6.2 Análise da atividade enzimática do experimento de Planejamento experimental DCCR

As enzimas Lac, LiP e MnP promovem a degradação de corantes e de misturas complexas como as águas residuais de indústrias têxteis de forma ecologicamente sustentável (Soundharya et al., 2016). No presente estudo a atividade enzimática destas fenoloxidasas (fig. 33) foram pouco expressivos mesmo para os ensaios em que houve uma excelente descoloração como no ensaio 17 para os três fungos selecionados, nos quais foram detectadas $0,83 \text{ UL}^{-1}$ de Lac e $0,27 \text{ UL}^{-1}$ de LiP para o fungo *Penicillium fellutanum* (F22), para a cepa *Aspergillus fumigatus* (F53) foram $1,06 \text{ UL}^{-1}$ de Lac e $0,20 \text{ UL}^{-1}$ de LiP, e o *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) apresentou melhor atividade para Lac com $12,77 \text{ UL}^{-1}$, porém apenas $0,22 \text{ UL}^{-1}$ de LiP, para nenhuma das três cepas foi detectada a MnP. Observa-se que a atividade enzimática para o fungo *Penicillium fellutanum* (F22) (Fig. 33A) foi melhor para Lac, os ensaios que foram detectadas atividades acima de 10 UL^{-1} foram 1, 2, 8 10, 11, 12, 14 e 18, para MnP apenas o ensaio 01, já para LiP nenhum ensaio ficou acima de 10 UL^{-1} . *Aspergillus fumigatus* (F53) (Fig. 33b) apresentou atividades para MnP acima de 10 UL^{-1} para 1, 2, 3, 4, 13, 14, e 15, a Lac apenas nos ensaios 4, 10, 12 e 18 e para LiP nenhum ensaio ultrapassou as 10 UL^{-1} . *Fomitopsis*

cupreorosea URM 6830 (F79) (Fig. 33C) não apresentou atividade para LiP, para MnP apenas os ensaios 4 e 7 ficaram acima de 10 UL^{-1} , e a Lac foi a mais expressiva entre as três enzimas sendo apenas os ensaios 8, 13, 19, 21, 22, 23, 24 abaixo das 10 UL^{-1} , chegando a 44 UL^{-1} no ensaio 2 e 38 UL^{-1} no ensaio 16. O percentual de descoloração do efluente de todas as três cepas analisadas aumentaram independentemente da produção enzimática. É possível que a baixa atividade destas três enzimas seja devido a atividade de outras enzimas como tirosinase, riboflavina redutase, azoreductase como sugere Govindwar et al., (2014) e protease sugerida por Wanyonyi et al., (2019). Como descrito acima a baixa atividade destas enzimas em nosso trabalho pode ser explicada pela atividade de outras enzimas como as hidrolases, outro fator que provavelmente pode ter influenciado nestes resultados pode ser a baixa concentração de fenóis, conforme caracterização, presentes no efluente têxtil estudado nesse trabalho, visto que estas enzimas pesquisadas (Lac, LiP e MnP) degradam estruturas químicas fenólicas, na ausência destas conseqüentemente, o fungo não teve a necessidade de produzi-las. Outro processo que pode justificar estes resultados é que um dos mecanismos que os fungos utilizam para biorremediar poluentes recalcitrantes é por biossorção, alguns fungos podem adsorver os corantes, seguida pela absorção e quebra de suas ligações químicas por ação enzimática já dentro das hifas (VIKRANT et al., 2018; MAHMOUD et al., 2017).

Figura 33. Atividade enzimática das enzimas Lac, LiP e MnP dos ensaios do planejamento experimental produzidas pelos fungos A - *Penicillium fellutanum* (F22), B - *Aspergillus fumigatus* (F53) e C - *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79).





Legenda: Lac: lacase LiP: Lignina peroxidase MnP: manganês peroxidase U/g= Unidades internacionais por grama de proteína.

4.6.3 Fitotoxicidade

Os corantes e os produtos de suas biotransformações podem apresentar efeitos genotóxicos e mutagênicos. Os corantes Disperse Red 73, Disperse Red 78, e Disperse Red 167 metabolizados pela bactéria *Escherichia coli*, por ação azoreductase, apresentaram riscos a saúde humana e meio ambiente, pois os produtos formados desta metabolização são condenados pela International Agency for Research on Cancer (FRANCO et al., 2018). Desta forma, a fim de confirmar a eficiência do processo foi analisada a toxicidade dos metabólitos formados a partir do tratamento utilizando os fungos do estudo através de testes de fitotoxicidade, visto que efluentes têxteis podem apresentar fatores tóxicos como

a mutagenicidade, conforme explicam Hemachandra & Pathiratne (2016) que analisaram a citotoxicidade e genotoxicidade de efluentes têxteis de duas indústrias utilizando ensaios do sistema *Allium cepa* e de ensaio cometa com eritrócitos *Oreochromis niloticus*, os quais demonstraram potencialmente perigosos destes efluentes. Bioensaios com sementes de plantas são utilizados com sucesso, pois é considerado um teste simple, barato e sensível a variados tipos de poluentes e em concentrações distintas (GERBER et al., 2018; LYU et al., 2018; PRIAC et al., 2017).

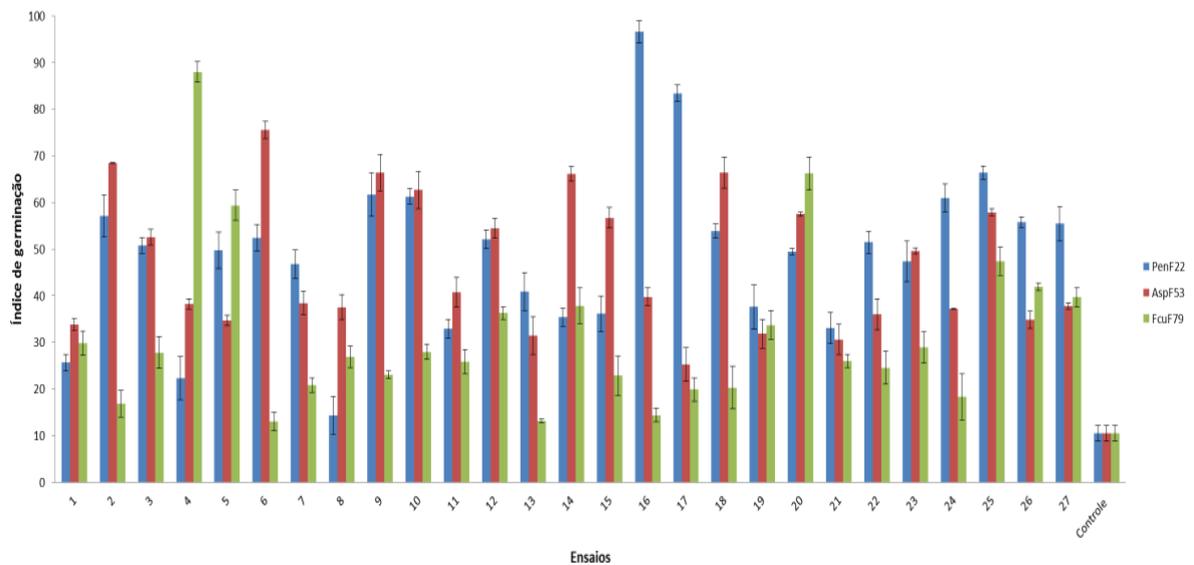
O ensaio 16 apresentou o melhor índice de Germinação (IG) para cepa *Penicillium fellutanum* (F22) com 96,55%, seguida do ensaio 17 com 83,39% (Fig. 37), o qual também apresentou o melhor percentual de descoloração do efluente em estudo (Fig. 34). Segundo Zucconi et al. (1985), um IG entre 50 e 80% é considerado moderadamente tóxico, acima de 80% considera-se não tóxico. A cepa *Penicillium fellutanum* (F22) foi a que apresentou IG acima de 50%, considerados moderadamente tóxicos, em grande parte dos ensaios (2, 3, 6, 9,10, 12, 16, 17, 18, 22, 24, 25, 26, 27), seguida da cepa *Aspergillus fumigatus* (F53) (2, 3, 4, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 20, 25). Já a cepa *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) foi a que apresentou os menores índices de germinação, apenas os ensaios 4, 5, 20 ficaram na faixa de moderadamente tóxico.

Também foi observado que o controle (sem inóculo) apresentou o IG em torno de 10% apenas, considerado tóxico. É possível observar nas análises de fitotoxicidade dos ensaios que apesar do efluente têxtil sem inóculo e não autoclavado obter percentuais de descoloração consideráveis, o mesmo apresentou o IG baixo confirmando sua toxicidade para o nível trófico analisado neste estudo, ou seja, mesmos que tenha descolorido o efluente não foi eficiente reduzindo a toxicidade. Segundo Neoh et al., (2015) é necessário realizar testes de toxicidades dos tratamentos de descoloração pois é possível que haja produção de metabolitos que podem aumentar o grau de toxicidade. Assim como mostra o trabalho de Pizato et al., (2016) que observaram a remoção de cor de efluente têxtil em 91,2% pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI porém não houve detoxificação biológica, redução de compostos fenólicos e nem DQO. *Ceriporia lacerate* descoloriu o vermelho congo em 90% através de absorção e pela ação de MnP, com apenas 48 horas sob condições estáticas e sem tampa ao ar livre, entretanto este tratamento apresentou parâmetros fitotóxicos, esta biodegradação originou produtos como naftilamina e benzydina reconhecidamente carcinogênicos (WANG et al., 2017). Liang et al., (2018) e Gerber et al., (2018) confirmam a toxicidade de efluentes têxteis mesmo após redução dos indicadores

convencionais, físico-químicos, possivelmente devido à retenção de produtos tóxicos de baixo teores.

Estes resultados confirmam a eficiência dos nossos ensaios inoculados com os fungos estudados *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F53) e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) que apresentam bons índices de germinação.

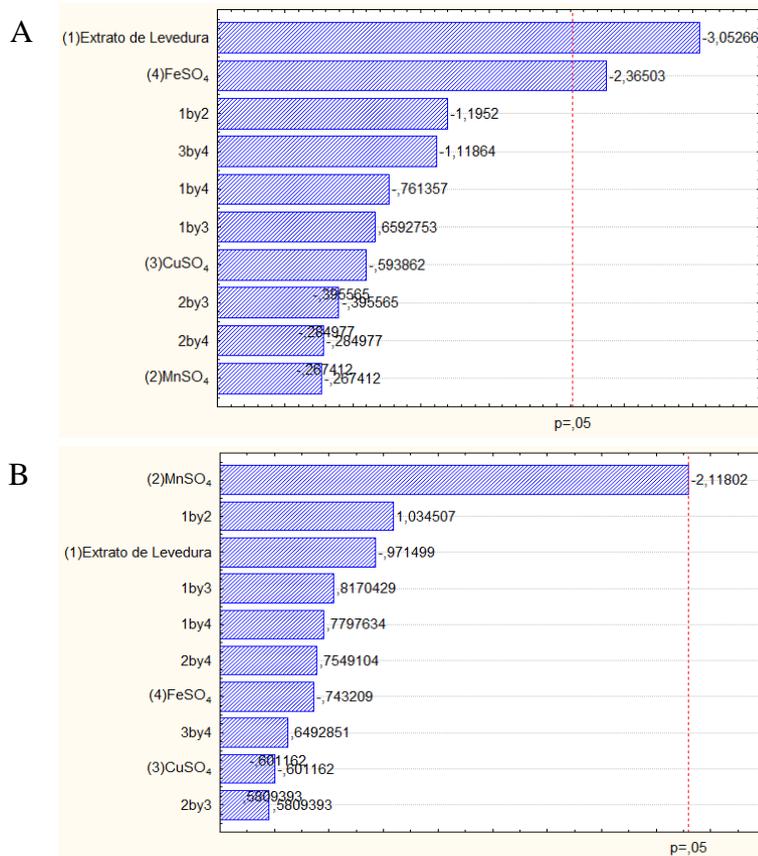
Figura 34. Índice de germinação das três cepas testadas no planejamento experimental composto.



4.6.4 Diagrama de Pareto evidenciando as interações das variáveis

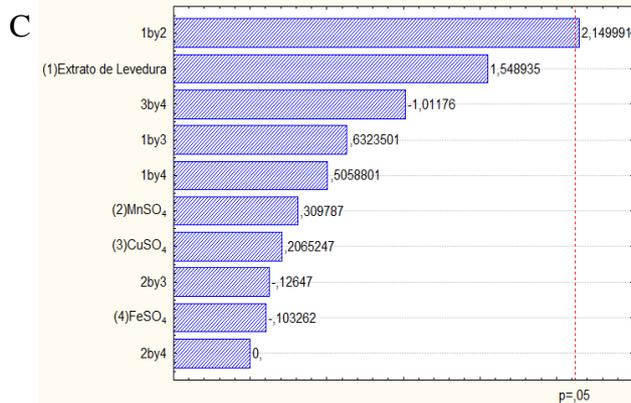
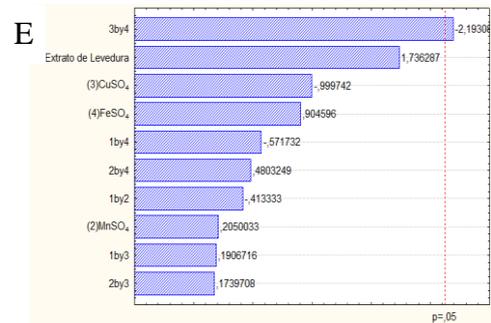
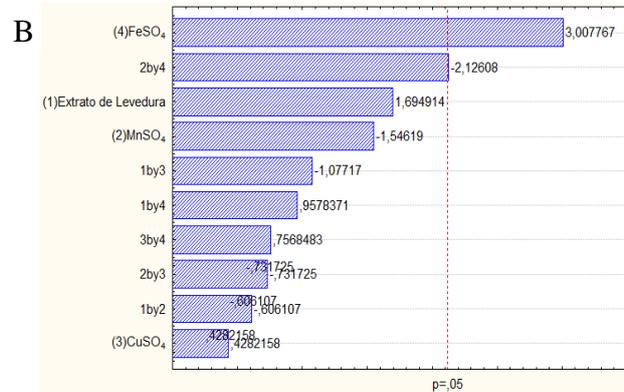
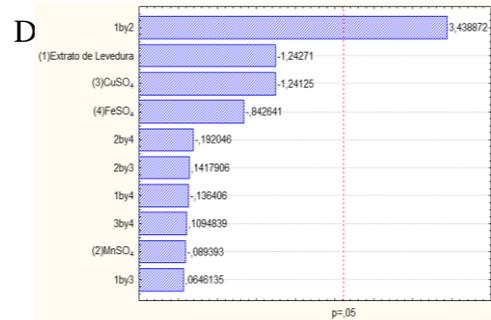
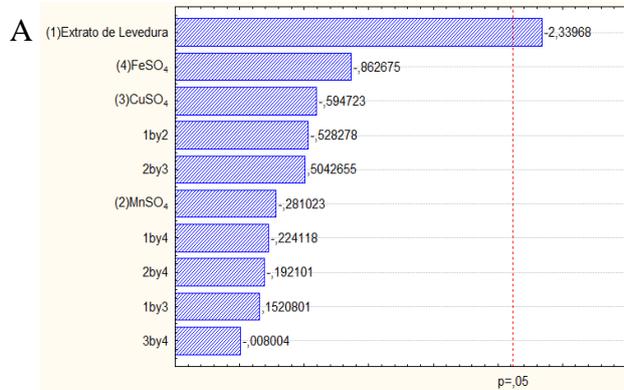
É possível observar nos resultados do planejamento experimental DCCR que, entre as variáveis analisadas, o extrato de levedura e o FeSO_4 foram significativos, tiveram influencia negativa na descoloração do efluente têxtil realizada pela cepa *Penicillium fellutanum* (F22) (Fig. 35A) e o MnSO_4 exerceu influencia negativa na atividade da enzima manganês peroxidase (Fig.35B). Nenhuma destas variáveis influenciou nas atividades das enzimas lacase e lignina peroxidase e assim como na fitotoxicidade.

Figura 35. Gráfico de Pareto da cepa *Penicillium fellutanum* (F22). A – Influencia do extrato de levedura e o FeSO_4 na descoloração do efluente têxtil; B – Influencia do MnSO_4 na atividade da enzima manganês peroxidase. A significância dos efeitos no nível de confiança de 95% é representada pela linha de corte em $p = 0,05$.



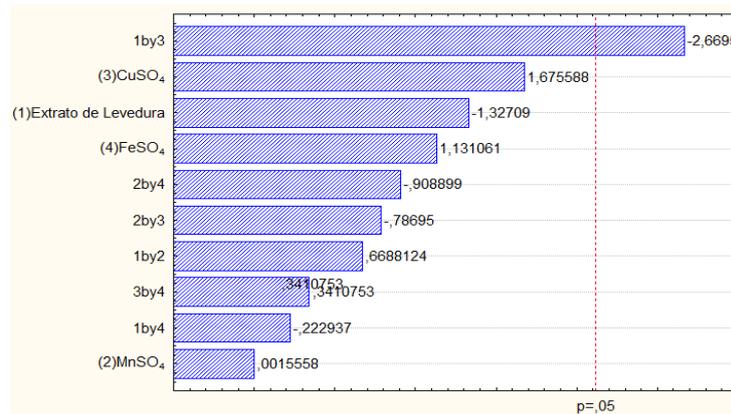
Para a cepa *Aspergillus fumigatus* (F53) apenas o extrato de levedura afetou de forma negativa a descoloração do efluente (Fig. 36A), o FeSO_4 influenciou de forma positiva a atividade da Lac (Fig. 36B). No gráfico de pareto figura 36C é apresentada a influencia positiva da interação entre extrato de levedura e MnSO_4 nas atividades da enzima LiP, esta interação também influenciou de forma positiva na atividade da MnP (Fig. 36D), e a interação entre CuSO_4 e FeSO_4 afetara de forma negativa no índice de fitotoxicidade(Fig. 36E).

Figura 36. Gráfico de Pareto da cepa *Aspergillus fumigatus*. A – Influencia do extrato de levedura na descoloração do efluente têxtil; B – Influencia do FeSO_4 na atividade da Lac; C – Influencia da interação entre extrato de levedura e MnSO_4 na atividade da atividade LiP; D - Influencia da interação entre extrato de levedura e MnSO_4 na atividade da atividade da MnP; E – Influencia da interação entre CuSO_4 e FeSO_4 no índice de fitotoxicidade.



Para a cepa *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) nenhuma das variáveis influenciaram no percentual de descoloração, enzimas e na fitotoxicidade, apenas a interação entre extrato de levedura e CuSO_4 tiveram efeito negativo na atividade da manganês peroxidase (Fig. 37).

Figura 37. Gráfico de Pareto *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79). Influencia da interação entre extrato de levedura e CuSO_4 na atividade da manganês peroxidase.



No trabalho de Hema et al., (2014) as variáveis analisadas individualmente não influenciaram significativamente na descoloração do corante Nitinol Green BLS pelo fungo *Penicillium oxalicum* RF3, já quando analisaram a interação entre elas, apresentaram efeito significativo, entretanto mesmo quando as condições foram otimizadas o percentual de descoloração foi de 64%. Segundo os autores a otimização das condições do processo como fontes de carbono e nitrogênio, melhorou o percentual de descoloração. No atual trabalho são observados percentuais de descoloração do efluente superiores, chegando a 93% para a cepa *Aspergillus Fumigatus* (F53), o mesmo também apresentou influencia significativa, e positiva apenas para as variáveis FeSO_4 e a interação entre extrato de levedura e MnSO_4 para atividade enzimática. Este compostos FeSO_4 , MnSO_4 , CuSO_4 são co-fatores das enzimas pesquisadas neste estudo e foram adicionados com intuito de melhorar a atividade enzimática, de fato foram significativos para alguns dos ensaios, estes íons Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , entre outros indutores, elevou atividade de lac pelo fungo *Pleurotus ostreatus* HAUCC 162 que descoloriu vários tipos de corantes (ZHUO et al., 2017).

Com base nos resultados obtidos no planejamento, as variáveis analisadas neste trabalho apresentaram efeito significativo negativo ou positivo nos processos fúngicos, Manenti et al., (2010) também relatou influência de umas desta variáveis analisadas Fe^{2+}

na descoloração de efluente têxtil simulado. O CuSO_4 um co-fator para Lac, como é relatado no trabalho de Santos et al., (2015) foi determinante para a melhorar condição para produção de lacase na descoloração do corante Ramazol brilhante azul-R utilizando o fungo *Agaricomycete* UFMA1. O *Bacillus aryabhatai* DC100 descoloriu os corantes Remazol Brilliant Blue R e Índigo Carmim sob condições otimizadas, o percentual de descoloração foi elevado sob as condições de agitação, temperatura acima de 30°C e pH básico (PAZ et al., 2017). Enquanto que os experimentos no atual trabalho, os fungos investigados mostraram-se capazes de descolorir um efluente têxtil extremamente complexo, nas condições experimentais com adição de um mínimo de nutrientes, sem agitação e a temperatura média ambiental. Reafirmando que estes fungos investigados têm a habilidade de descolorir efluentes com mínimo de custos, uma questão que muitas empresas do ramo têxtil visam, visto que pode tornar o tratamento viável, em termos de recursos financeiros e ambientalmente amigáveis. Mahmoud et al., (2017) relataram que a descoloração o corante azo vermelho direto máxima realizada pelo fungo *Aspergillus niger* por biossorção chegou a 58,6% após 7 dias de incubação sob agitação, os autores afirmam por meio de análises estatísticas que a velocidade de agitação e concentração do corante tiveram efeito negativo na remoção do corante.

O planejamento experimental realizado mostrou-se necessário para melhorar o processo de descoloração do efluente têxtil pelos fungos estudados como é mostrado em outras pesquisas que buscaram melhorias nos seus processos. Através das análises estatísticas foi possível observar que as variáveis, isoladas e combinadas, tiveram efeito na descoloração do efluente (fig. 34), mas precisam de ajustes para que possam exercer influência significativamente positiva no processo. Os resultados inferem que com os fungos *Penicillium fellutanum* (F22), *Aspergillus fumigatus* (F53) e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 (F79) estudados neste trabalho a redução dos nutrientes analisados favorece a descoloração do efluente têxtil de forma eficiente e ainda podem levar a sua detoxificação.

5 CONCLUSÕES

- O estudo das enzimas fenoloxidades, diferente de outros que nos quais foram detectadas as enzimas Lacase, lignina peroxidase e manganês peroxidase, mostra que os fungos estudados utilizaram outra via metabólica para descolorir o corante índigo carmim e o efluente têxtil analisado, portanto é preciso realizar mais estudos para avaliar qual via metabólica estes fungos utilizaram para descolorir eficientemente o efluente.
- Os organismos presentes no efluente têxtil e os fatores abióticos foram capazes de descolorir o mesmo, entretanto não houve redução da toxicidade do efluente têxtil analisado. Quando o mesmo efluente têxtil foi inoculado com os fungos estudados neste trabalho além da redução da descoloração reduziram a toxicidade.
- As variáveis analisadas no planejamento fatorial do tipo delineamento Compostas Central Rotacional não apresentaram influencia no processo de descoloração do efluente têxtil. Os fungos *Penicillium fellutanum*, *Aspergillus fumigatus* e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 são capazes de descolorir e detoxificar corante índigo carmim e efluente têxtil analisado proveniente de lavanderia industrial de jeans.
- A descoloração pelos fungos *Penicillium fellutanum*, *Aspergillus fumigatus* e *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830 tornou-se um método de baixo custo que dispensa o uso de fontes de nitrogênio e carbono.

REFERÊNCIAS

- Abit (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção). Perfil do setor. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 06 dez. 2016. ACESSO 23-09-17.
- Ademakinwa, A.N., Agboola, F.K., 2016. Characterization and kinetic studies on a purified yellow laccase from newly isolated *Aureobasidium pullulans* NAC8 obtained from soil containing decayed plant matter. *Journal Biochemical of Genetic Engineering and Biotechnology* 14, 143–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.05.004>.
- Adnan, L.A., Sathishkumar,P., Yusoff, A.R.M., Hadibarata, T., 2015. Metabolites characterisation of laccase mediated reactive black 5 biodegradation by fast growing ascomycete fungus *Trichoderma atroviride* F03, Int. Biodeterior. Biodegrad. 104, 274–282.
- Afreen S., Anwer R., Singh R.K., Fatma T. 2016. Extracellular laccase production and its optimization from *Arthrospira maxima* catalyzed decolorization of synthetic dyes. *Saudi Journal of Biological Sciences*. New Delhi, xxx, xxx–xxx. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.015>. Acesso em: 29 nov. 2016.
- Aguiar, L. L.; Andrade-Vieria, L. F.; David, J. A. O. 2016. Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater seeds, roots and meristematic cells of *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 133, p. 366 – 372.
- Almeida, E.J.R., Corso, C.R., 2014. 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* 112, 317–322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.060>.
- Amengol, B.P.C. 2017. Avaliação do uso de processos químicos no tratamento de efluente têxtil. Juiz de Fora. Monografia. Universidade Federal de Juiz de Fora, Curso de engenharia sanitária e ambiental.
- Andrade, B.A; Rocha, R.M.; Moura, K.H.L. 2016. Distribuição espacial da indústria têxtil e de confecção em Pernambuco: qual a influência dos fatores locais? *Revista Economia e Desenvolvimento* v. 15, n. 1, p. 93-112, 2016.
- Asgher, M., Bilal, M., Bhatti, H.N., 2016. Improved catalytic and dye decolorization properties of chitosan beads immobilized manganese peroxidase from *Ganoderma lucidum* IBL-05. *J. Biochem. Biotechnol. Biomater.* 1, 76 e 89.
- Assalin, M.R.; Durán, N. 2006. Novas Tendências para Aplicação de Ozônio no Tratamento de Resíduos: Ozonização Catalítica. *Analytica*. n. 26, dez 2006/ jan. 2007.p. 76- 86.
- ATSM American Society for Testing, Materials (2003) Standard guide for conducting terrestrial plant toxicity tests. ASTM. International, West Conshohocken, PA, pp 1534–1554.

- AWWA (American Water Works Association). 2005. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21 edition. American Public Health Association (APHA).
- Babu, S. Satheesh; Mohandass, C.; Vijayaraj, A.S.; Dhale, Mohan A. 2015. Detoxification and color removal of Congo red by a novel *Dietzia* sp. (DTS26) – A microcosm approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Dona Paula, v.114, p.52–60. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.01.002>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Bankole, P.O, Adekunle, A.A., Obidi, O.F., Olukanni, O.D., Govindwar, S.P. 2017. Degradation of indigo dye by a newly isolated yeast, *Diutina rugosa* from dye wastewater polluted soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 4639–4648.
- Bankole, P.O., Adekunle, A.A., Govindwar, S.P. 2018. Enhanced decolorization and biodegradation of acid red 88 dye by newly isolated fungus, *Achaetomium strumarium*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6, 1589–1600.
- Barcellos, C. H., Carvalho, A. R. P. 2012. Tratamento biológico de Efluentes. Disponível em: <http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_Biologico_de_Efluentes.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2012.
- Batista, F.L. 2009. Produção de lacase e bioconversão de flavonoides por *Pycnoporus sanguineus*, GOIAS. 82p. Dissertação mestrado, Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Farmácia.
- Batista-García, R.A., Kumar, V.V., Ariste, A.A., Tovar-Herrera, O.E., Savary, O., Peidro-Guzman, H., Gonzalez-Abradelo, D., Jackson, S.A., Dobson, A.D.W., Sanchez-Carbente, M.R., Folch-Mallol, J.L., Leduc, R., Cabana, H. 2017. Simple screening protocol for identification of potential mycoremediation tools for the elimination of polycyclic aromatic hydrocarbons and phenols from hyperalkalophile industrial effluents. *Journal of Environmental Management* 198, 1 - 11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.010>.
- Baumann, H.P., Fletcher, J.M. 1951. Textile Dyeing: Theory of Dyeing. 1ª edição. Grã-Betânia: International Textbook Company, 57 p.
- Beggiato, G., Casalboremiceli, G., Geri, A., Pietropaolo, D., 1993. Indigo carmine an electrochemical study. *Ann. Chim. -Rome*. 83, 355–363.
- Beltrame, L. T. C. 2006. Sistemas microemulsionados aplicados à remoção da cor de efluentes têxteis. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Benghazi, L., Record, E., Suarez, A., et al., 2014. Production of the *Phanerochaete flavid-alba* laccase in *Aspergillus niger* for synthetic dyes decolorization and biotransformation. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 30, 201 e 211.
- Bilal, M., Asgher, M., Iqbal, M., Hu, H.B., Zhang, X.H., 2016. Chitosan beads immobilized manganese peroxidase catalytic potential for detoxification and decolorization of textile effluent. *Int. J. Biol. Macromol.* 89, 181 e 189.

Bilal, M., Asgher, M., Parra-Saldivar, R., Hu, H., Wang, W., Zhang, X., Iqbal, H.M.N., 2017. Immobilized ligninolytic enzymes: an innovative and environmental responsive technology to tackle dye-based industrial pollutants—a review. *Sci. Total Environ.* 576, 646–659.

Bilal, M., Rasheedb, T., Iqbal, H.M.N., Yan, Y. 2018. Peroxidases-assisted removal of environmentally-related hazardous pollutants with reference to the reaction mechanisms of industrial dyes: Review. *Science of the Total Environment* 644, 1–13.

BNB/ETENE . BACEN - BANCO CENTRAL DO BRASIL. SGS – Sistema Gerenciador de Séries Temporais: Índice de Atividade Econômica Regional - Nordeste, 2017a. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

BNB/ETENE. BACEN - BANCO CENTRAL DO BRASIL. SGS – Sistema Gerenciador de Séries Temporais: Índice de Atividade Econômica Regional - Pernambuco, 2017c. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

Bottrel, S. E. C. 2016. Remoção da Etilenotriureia em água através de Processos Oxidativos Avançados: Avaliação dos intermediários e mecanismos de degradação. 144 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Braile, P. M.; Cavalcanti, J. E. W. A. 1993. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. 18. ed. Sao Paulo: CETESB.

Brandão, M.A., Castilho, N. Estação de tratamento de água e esgoto. 2001. 4p. Universidade do Oeste Paulista.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Resolução CONAMA 357*. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais. Brasília: 2005.

Brink, A., Sheridan, C.M., Harding, K.G. 2017. The Fenton oxidation of biologically treated paper and pulp mill effluents: A performance and kinetic study. *Process Safety and Environmental Protection* 107, 206–215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.011>.

Buswell, J.K., Cai, Y.J., Chang, S.T., 1995. Effect of nutrient nitrogen on manganese peroxidase and laccase production by *Lentinula* (*Lentinus*) edodes. *FEMS Microbiology Letters* 128, 81–88.

Campos, R., Kandelbauer, A., Robra, K.H.A., Cavaco-Paulo, A., Gübitz, G.M. 2001. Indigo degradation with purified laccases from *Trametes hirsuta* and *Sclerotium rolfsii*. *J Biotechnol.* Guimaraes, v.89, p.131–139. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656\(01\)00303-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00303-0). Acesso em: 29 nov. 2016.

Carvalho, M.A. 2011. Atividades de ligninasas e celulases de linhagens de *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler em diferentes meios de cultivo, MG. 74p: dissertação(mestrado), Universidade Federal de Lavras.

CEMA – Concelho Estadual do Meio Ambiente, Paraná (2009). Resolução nº 070/2009. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf. acesso em: 24 jun. 2017.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2009. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – Série de relatórios. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo/Secretaria do Meio Ambiente. 44p.

CETESB : SINDITÊXTIL, 2009. Bastian, E.Y.O. e Rocco, J.L.S. Martin, E.S. Guia técnico ambiental da indústria têxtil. São Paulo: CETESB : SINDITÊXTIL, 2009. 85 p. : il. col. ; 21 cm. - - (Série P + L, ISSN 1982-6648). Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf. ISBN 978-85-61405-09-0. Acesso em: 26 de set. 2016.

Chanwala, J., Kaushik, G., Dar, M.A., Upadhyay, S., Agrawal, A. 2019. Process optimization and enhanced decolorization of textile effluent by *Planococcus* sp. isolated from textile sludge. *Environmental Technology & Innovation* 13, 122–129.

Characterization of chemical waste site contamination and determination of its extent using bioassays. *Environ. Toxicol. Chem.* 5, 487–501. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620050508>.

Chatha, S.A.S., Asgher, M., Iqbal, H.M.N. 2017. Enzyme-based solutions for textile processing and dye contaminant biodegradation - a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (16),14005–14018.

Chen, S.H., Ting, A.S.Y. 2015. Biosorption and biodegradation potential of triphenylmethane dyes by newly discovered *Penicillium simplicissimum* isolated from indoor wastewater sample. *International Biodeterioration & Biodegradation* 103, 1 - 7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.004>.

Chen, S.H.; Yien, Ting A.S. 2015. Decolorization and biodegradation potential of recalcitrante triphenylmethane dyes by *Corioloropsis* sp. isolated from compost. *Journal of Environmental Management* Petaling Jaya, v.150, p.274-280. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.014>. Acesso em: 15 set. 2016.

Chhabra, M., Mishra, S., Sreekrishnan, T.R. 2015. Combination of chemical and enzymatic treatment for eficiente decolorization/degradation of textile effluent: High operational stability of the continuous process. *Biochemical Engineering Journal* Rajasthan, v.93, p.17–24. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2014.09.007> Acesso em: 15 set. 2016.

Christie, Robert. *Colour Chemistry*. second ed. Heriot-Watt: The Royal Society of Chemistry, 2015. 360 p.

Classificação da indústria têxtil e de confecção de PE : na classificação nacional de atividade econômicas (CNAE 1995) fabricação de produto têxtil (DIV 17) e confecção de vestuário e acessórios (DIV 18).

Coelho, G.D. Purificação parcial do sistema enzimático produzido por *Psilocybe castanella* CCB444 durante crescimento em solo. Tese (doutorado), instituto de botânica da secretaria do meio ambiente, São Paulo.

Cogo, M. C. 2011. Estudo de Caracterização e Disposição dos Resíduos de uma Indústria Têxtil do Estado do Rio Grande do Sul. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Companhia pernambucana do meio ambiente (CPRH). Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização para a Tipologia Têxtil. Recife: CPRH/GTZ. 2001. 125 p. ISBN: 85-86592-09-9.

Costa, A.F.S., Albuquerque, C.D.C., Salgueiro, A.A., Sarubbo, L.A. 2018. Color removal from industrial dyeing and laundry effluent by microbial consortium and coagulant agents. *Process Safety and Environmental Protection* 118, 203–210.

Costa, J.G. B. 2017. Uso combinado de ultrassom e peróxido de hidrogênio para degradação do corante CI-3R em um efluente têxtil sintético. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Dasgupta, J., Sikder, J., Chakraborty, S., Curcio, S., Drioli, E. 2015. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review. *Journal of Environmental Management*. West Bengal v.147, p.55–72. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.008>. Acesso em: 29 nov. 2016.

Dayi, B., Kyzy, A.D., Abduloglu, Y., Cikrikci, K., Akdogan, H.A. 2018. Investigation of the ability of immobilized cells to diferente carriers in removal of selected dye and characterization of environmentally friendly laccase of *Morchella esculenta*. *Dyes and pigments* 151, 15-21.

Degani, L., Riedo, C., Chiantore, O. 2015. Identification of natural indigo in historical textiles by GC–MS. *Anal Bioanal Chem.* v.407, p.1695–1704. Disponível em: DOI 10.1007/s00216-014-8423-2. Acesso em: 22 nov. 2016.

Dellamatrice, P.M. 2005. Biodegradacao e toxicidade de corantes texteis e efluentes da Estacao de Tratamento de Aguas Residuarias de Americana, SP. 2005. 137p: Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP.

Dellamatrice, P.M., Silva-Stenico, M.E., Moraesc, L.A.B., Fiore, M.F., Monteiro, R.T.R., 2016. Degradation of textile dyes by cyanobacteria. *Brazilian journal of microbiology* xxx, xxx–xxx.

Dias, L. H. M.; Stipp, V.; Souza, J. B. de. Processos Empregados na Desinfecção de Esgotos Sanitários. Disponível em:

<http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana_estudos/pdf_08/PROCESSOS%20EMPREGADOS%20NA%20DESINFEC%C7%C3O%20DE%20ESGOTOS%20SANIT%C1RIOS.pdf> Acesso em: 05 mar. 2012.

DZ - 205. R-5- Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial; norma técnica controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais CPRH N 2.001; NORMAS FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente).

DZ - 205.R-5 (Diretriz de controle de carga organica em efluentes liquidos de origem industrial 1991).

Eluk, D., Frank, R., Nagel O. G., Molina; M. P., Althaus, R. L. Phytotoxic Effect of Antibiotic Residues on Forage Seeds. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* Volume 5, Issue 5, ISSN (Online) 2319-1473.

Environment Canada (2005) Biological test method: test for measuring emergence and growth of terrestrial plants exposed to contaminants in soil. Method Development and Applications Section, *Environmental Technology Centre*, Ottawa, ON, Canada, pp 1–131.

Enzyme Nomenclature. Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology (NC-IUBMB). In consultation with the IUPAC-IUBMB Joint Commission on Biochemical Nomenclature (JCBN). Disponível em: <http://www.sbc.sqmul.ac.uk/iubmb/enzyme/> Acesso em: 21/08/2018.

EPA, 2012. U.S. Ecological Effects Test Guidelines. OCSPP 850.4100: Seedling Emergence and Seedling Growth. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (EPA 712-C-012, January, 2012).

Ernst, W.H.O., 1998. Effects of heavy metals in plants at the cellular and organismic level ecotoxicology. In: Gerrit, S., Bernd, M. (Eds.), III. Bioaccumulation and Biological.

Faria, M.M., 2014. Biossorção de metais pesados pelo fungo *Penicillium corylophilum*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

Faria, R.A. 2010. Estudos da produção de enzimas lignolíticas por *Ceriporiopsis subvermispora*, Dissertação (mestrado) Escola de engenharia de Lorena Da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Feitkenhauer, H., Meyer, U. 2001. Integration of biotechnological wastewater treatment units in textile finishing factories: from end of the pipe solutions to combined production an wastewater treatment units. *Journal of Biotechnology*. Zurique, v.89, p.185-192.

Fenzl, N. 1988. Composição química das águas naturais. In: FENZL, N. (Ed.). Introdução à hidrogeoquímica. Belém: Gráfica e Editora Universitária (UFPA). p. 49-74.

Fernandes, C. Digestão Anaeróbia. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/DigeAnae.html>>. Acesso em 25 fev. 2012.

Ferreira, E.L. 2017. Índigo natural: O azul de origem vegetal. *Etno Botânica Pesquisa e Inovação Tecnológica Ltda*. <http://www.etno-botanica.com/2010/06/indigo-natural-o-azul-de-origem-vegetal.html>. Acesso em: 02-07-17.

Franco, J.H., Silva, B.F., Dias, E.F.G., Castro, A.A., Ramalho, T.C., Zanoni, M.V.B. 2018. Influence of auxochrome group in disperse dyes bearing azo groups as chromophore center

in the biotransformation and molecular docking prediction by reductase enzyme: Implications and assessment for environmental toxicity of xenobiotics. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 160, 114–126.

Freire, R.S., Pelegrini, R., Kubota, L.T., Durán, N., Peralta-Zamora, P. 2000. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Instituto de Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP. Departamento de Química - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. Recebido em 22/9/99; aceito em 4/1/00. *QUÍMICA NOVA*, 23(4).

Li, H., Zhang, R., Tang, T., Zhang, J., Mao, Z. Manganese peroxidase production from cassava residue by *Phanerochaete chrysosporium* in solid state fermentation and its decolorization of indigo carmine. *Chin. J. Chem. Eng.* 23, 227 e 233.

Fu, Y., Viraraghavan, T. 2001. Removal of Acid Blue 29 from an aqueous solution by *Aspergillus niger*. *Am. Assoc. Text. Chem. Color. Rev.* 1, 36 e 40.

Fujita, R.M.L., Jorente, M.J. 2015. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. The Brazilian Textile Industry: a cultural and historical perspective. *Revista Moda Palavra e-Periódico* vol.8, n.15. ISSN 1982-615x 1.

Gaboriaud-Kolar N., Nam S., Skaltsounis A.L. 2014. A colorful history: the evolution of indigoids. *Progress in the chemistry of organic natural products* Atenas, v. 99, p. 69-145.

Gadd, G. M. 2004. Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma*, v. 122, p. 109-119.

Gerber, M.D., Lucia Jr, T., Correa, L., Neto, E.P., Correa, J.E.K. 2017. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. *Science of the Total Environment* 592, 86–90.

Gerber, M.D., Lucia Jr. T., Correa, L., Pereira Neto, J.E., Correa, E.K. 2017. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using *lettuce* and *cucumber* seeds as bioindicators. *Science of the Total Environment* 592, 86–90.

Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Florianópolis, SC, Brasil, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

Ghaly, A.E., Ananthashankar, R., Alhattab, M., Ramakrishnan, V.V. 2014. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J. Chem. Eng. Process Technol.* Nova Scotia, v.5, p.1-18. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000182>. Acesso em: 29 nov. 2016.

Gianfresa, D., XU, F., Bollag, J-M. 1999. Laccases: a useful group of oxidoreductive enzymes. *Bioremediation Journal* v.3 (1), p. 1-25.

Gomes, J.I.N. 2000. Química da cor e dos corantes. Braga. <http://www.geocities.ws/jnrgomes/livrocorantes.pdf>

- Gomes, J.I.N.R. 2000. *Química da cor e dos corantes* - Curso de Química da Qualidade-Ramo Materiais Têxteis. Braga, 43p.
- Gul, K., Saima, S., Waqar, M., Ahmad, F., Khattak, N.N., Mohd, O.A. K. 2016. Functionalization of magnetic chitosan with graphene oxide for Removal of cationic and anionic dyes from aqueous solution. *Carbohydrate Polymers* Peshawar, v.152, p.520–531. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.045>. Acesso em: 29 nov. 2016.
- Haq, I., Raj, A., Markandeya. 2018. Biodegradation of Azure-B dye by *Serratia liquefaciens* and its validation by phytotoxicity, genotoxicity and cytotoxicity studies. *Chemosphere* 196, 58 e 68.
- Harrache, Z., Abbas, M., Aksil, T., Trari, M. 2019. Thermodynamic and kinetics studies on adsorption of Indigo Carmine from aqueous solution by activated carbon. *Microchemical Journal* 144, 180–189.
- Hasanbeigi, A., Price, L. 2015. A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*. Berkeley, v.95, p.30-44. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.079>. Acesso em: 15 set. 2016.
- He, X., Song, C., Li, Y., Wang, N., Xu, L., Han, X., Wei, D. 2018. Efficient degradation of Azo dyes by a newly isolated fungus *Trichoderma tomentosum* under non-sterile conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 150, 232–239.
- Hemachandra, C.K., Pathiratne, A. 2016. Combination of physico-chemical analysis, *Allium cepa* test system and *Oreochromis niloticus* erythrocyte based comet assay/nuclear abnormalities tests for cyto-genotoxicity assessments of treated effluents discharged from textile industries. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 131, 54–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.05.010>.
- Hillis, D.G., Fletcher, J., Solomon, K.R., Sibley, P.K. 2011. Effects of Ten Antibiotics on Seed Germination and Root Elongation in Three Plant Species. *Arch Environ Contam Toxicol* 60:220–232 DOI 10.1007/s00244-010-9624-0.
- Huang, J., Liu, D., Lu, J., Wang, H., Wei, X., Liu, J. 2016. Biosorption of reactive black 5 by modified *Aspergillus versicolor* biomass: Kinetics, capacity and mechanism studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 492, 242–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.11.071>.
- Iqbal HMN, Asgher M. 2013. Characterization and decolorization applicability of xerogel matrix immobilized manganese peroxidase produced from *Trametes versicolor* IBL-04. *Protein Peptide Lett*, 20:591e600.
- Isik, Z., Arikan, E.B., Bouras, H.D., 2019. Bioactive ultrafiltration membrane manufactured from *Aspergillus carbonarius* M333 filamentous fungi for treatment of real textile Wastewater. *Bioresource Technology Reports*, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.01.020>.

ISO 11269-2, 1995. Soil Quality-determination of the Effects of Pollutants on Soil Flora. Part 2: Effects of Chemicals on the Emergence of Higher Plants. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

JORNAL NACIONAL, Edição do dia 25/01/2017, 21h08 - Rejeitos de fábricas de jeans deixam água do Rio Capibaribe vermelha. Rio do agreste pernambucano poderia aliviar efeitos da seca. Há muito lixo espalhado pelas margens: plástico, garrafas, vidro. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/01/rejeitos-de-fabricas-de-jeans-deixam-agua-do-rio-capibaribe-vermelha.html>

Kamida, H.M., Durrant, L.R., Monteiro, R.T.R. 2005. Biodegradação de efluentes têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. *Rev. Química Nova* São Paulo, v. 28. p. 629-63. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000400014>. Acesso em: 15 nov. 2016.

Kapoor, A.; Viraraghavan, T. 1995. Fungal biosorption – an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. *Biores. Technol.* v. 53, p. 195-206.

Karci, A. 2014. Degradation of chlorophenols and alkylphenolethoxylates, two representative textile chemicals, in water by advanced oxidation processes: The state of the art on transformation products and toxicity. *Chemosphere* v. 99, p. 1-18.

Kaur, B., Kumar, B., Garg, N., Kaur, N., 2015. Statistical optimization of conditions for decolorization of synthetic dyes by *Cordyceps smilitaris* MTCC 3936 Using RSM. *Bio. Med.. Res. Int.* <http://dx.doi.org/10.1155/2015/536745>.

Kaushik, P, Malik, A. 2009. Fungal dye decolourization: Recent advances and future potential. *Environmental International* New Delhi, v.35, p.127-141. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2008.05.010>. Acesso em: 03 nov. 2016.

Khan R., Fulekar, M.H. 2017. Mineralization of a sulfonated textile dye Reactive Red 31 from simulated wastewater using pellets of *Aspergillus bombycis*. *Bioresour. Bioprocess*, 4:23. DOI 10.1186/s40643-017-0153-9.

Kristanti, R.A., Zubir, M.M.F.A., Hadibarata, T. 2016. Biotransformation studies of cresol red by *Absidia spinosa* M15. *Journal of Environmental Management* 172, 107 e 111.

Kues, U. 2015. Fungal enzymes for environmental management. *Current Opinion in Biotechnology* Gotinga, v.33, p.268–278. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2015.03.006> Acesso em: 15 set. 2016.

Kumari, S., Naraian, R., 2016. Decolorization of synthetic brilliant green carpet industry dye through fungal co-culture technology. *Journal of Environmental Management* 180, 172-179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.060>.

Kunz, A., Peralta-Zamora, P., Moraes, S.G., Durán, N. 2002. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, CP 19081, 81531-990 Curitiba – PR. *Quim. Nova*, Vol. 25, No. 1, 78-82. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, CP 6154, 13083-970 Campinas – SP. Recebido em 25/7/00; aceito em 6/6/01.

- Lau, W.J., Ismail, A.F., 2009. Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: Preparation, performance evaluation, transport modelling, fouling control - A review. *Desalination* 245, 321-348.
- Legerská, B., Chmelová, D., Ondrejovič, M. 2016. Degradation of synthetic dyes by laccases – a mini-review. *Nova Biotechnologica et Chimica* 15-1. DOI 10.1515/nbec-2016-0010. Brought to you by | Universidade Federal de Pernambuco UFPE Authenticated Download Date | 12/5/16 6:19 PM.
- Li, H., Xu, B., Tang, L., Zhang, J., Mao, Z. 2015a. Reductive decolorization of indigo carmine dye with *Bacillus* sp. MZS10. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 103, 30 e 37.
- Li, H., Zhang, R., Tang, L., Zhang, J., Mao, Z. 2015b. Manganese peroxidase production from cassava residue by *Phanerochaete chrysosporium* in solid state fermentation and its decolorization of indigo carmine. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 23, 227–233.
- Li, Y.C., Chu, C.Y., Wu, S.Y., Tsai, C.Y., Wang, C.C., Hung, C.H., Lin, C.Y., 2012. Feasible pretreatment of textile wastewater for dark fermentative hydrogen production. *Int. J. Hydrog. Energy* 37, 15511–15517.
- Liang, J., Ning, X., Sun, J., Song, J., Lu, J., Cai, H., Hong, Y. 2018. Toxicity evaluation of textile dyeing effluent and its possible relationship with chemical oxygen demand. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 166, 56–62.
- Lima, D.P., Santos, E.A., Marques, M.R., Giannesi, G.C., Beatriz, A., Yonekawa, M.K.A., and Montanholi, A.S. 2018. Fungal bioremediation of pollutant aromatic amines. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 11:34–44. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.03.012>.
- Liu, N., Xie, H., Wei, J., Li, Y., Wang, J., Yu, N., Zhao, N., Zhang, L., Chen, Z. 2019. Catalytic activity of a composite metal electrode catalyst for the degradation of real dyeing wastewater by a heterogeneous electro-Fenton process. *Journal of Environmental Chemical Engineering* ,7,102930.
- Lotito, A.M., Fratino, U., Bergna, G., Di Iaconi, C., 2012. Integrated biological and ozone treatment of printing textile wastewater. *Chem. Eng. J.* 195, 261–269.
- Lu, R., Ma, L., He, F., Yu, D. Fan, R., Zhang, Y., Long, Z., Zhang, X., Yang, Y. 2016. White-rot fungus *Ganoderma* sp.En3 had a strong ability to decolorize and tolerate the anthraquinone, indigo and triphenylmethane dye with high concentrations. *Bioprocess Biosyst Eng.* Heidelberg, v.39, p.381–390.
- Lu, T., Zhang, Q., Yao, S., 2017. Efficient decolorization of dye-containing wastewater using mycelial pellets formed of marine-derived *Aspergillus niger*. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 25, 330–337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2016.08.010>.
- Lucido, G. L. A.; Bila, Daniele Mala. 2016. Legislação ambiental para avaliação de cor em efluentes industriais. *International water resources association*. Disponível em: <http://www.iwra.org/congress/resource/PAP00-6071.pdf>. Acesso em: 06 de dez. 2016.

Lyu, J., Park, J., Pandey, L.K., Choi, S., Lee, H., Saeger, J.D., Depuydt, S., Han, T. 2018. Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 149, 225–232.

Lyua, J., Parkb, J., Pandey, L.K., Choid, S., Leed, H., Saeger, J., Depuydt,S., Hand, T. 2018. Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 149, 225–232.

Ma, K., Qin, Z., Zhao, Z., Zhao, C., Liang, S., 2016. Toxicity evaluation of wastewater collected at different treatment stages from a pharmaceutical industrial park Wastewater treatment plant. *Chemosphere* 158, 163–170.

Machado, Kátia M.G., Compart, Luciana C.A., Moraes, Rúbio O., Rosa, Luiz H., Santos, Mércia H. 2006. Biodegradation of reactive textile dyes by basidiomycetous fungi from brazilian ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*. v.37, p.481-487.

Manenti, D. R. et al. 2015. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. *Environmetal Science and Pollution Research International* (Internet), v. 22, p. 833-845.

Manenti, D.R., Gomes, L.F.S., Borba, F.H., Módenes, A.N., Espinoza-Quiñones, F.R., Palácio, S.M. 2010. Otimização do processo foto-fenton utilizando irradiação artificial na degradação do efluente têxtil sintético. *ENGEVISTA*, V. 12, n. 1. p. 22-32.

Mahmoud, M.S., Mostafa, M.K., Mohamed, S.A., Sobhy, N.A., Nasr, M. 2017. Bioremediation of red azo dye from aqueous solutions by *Aspergillus niger* strain isolated from textile Wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 547–554.

Marcondes, J.G. 2012. Tratamento de água. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 49p. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

Martínková L., Kotik M., Markov E., Homolka L. 2016. Biodegradation of phenolic compounds by Basidiomycota and its phenol oxidases: A review. *Chemosphere*. Vídenskáv, 149, p.373-382. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.022>. Acesso em: 15 set. 2016.

Martorell, M.M., Pajot, H.F., Figueroa, L.I.C., 2017. Biological degradation of Reactive Black 5 dye by yeast *Trichosporon Akiyoshidainum*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 5987–5993.

Martorella, M.M., Pajota, H.F., Figueroa, L.I.C. 2017. Biological degradation of Reactive Black 5 dye by yeast *Trichosporon Akiyoshidainum*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 5987–5993.

Massi, L.; Sousa, S. R. de; Laluze, C.; Junior, M. J. 2008. Fundamentos e Aplicações da Flotação com Técnica de Separação de Misturas. *Química Nova na Escola*, n.28, p. 20 – 24.

Mattheus, J. Merritt. 1909 *Laboratory manual of dyeing and textile chemistry: Theory of Dyeing*. 1ª edição. New York. 406 p.

Mayer, A.M. & Staples, R.C. Review – laccase: new functions for an old enzyme. *Phytochemistry*, v. 60, p. 551-565, 2002.

Mello, E. J. R. de. Tratamento de Esgoto Sanitário. 2007. 99p. Monografia (Pós-Graduação) – Engenharia Sanitária – UNUMINAS, MG, Uberlândia, 2007.

Melo, G.G., Braz, L.C.C., Amador, V.C., Dias, E.C., Almeida, E.S., Silva, D.P.D., Bezerra, R.M.S., Coelho, G.D. 2014. Estudos preliminares sobre atividade adsorptiva do corante vermelho congo pelo fungo *Lentinus crinitus*. *Revista saúde e Ciência On line*, 3(3): 312-320.

Mendes Jr. B.O. Setor Têxtil, ano 2 | nº 16 | setembro | 2017, 18 paginas. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE: Caderno setorial. Mestre em Economia Industrial e Especialista em MBA de Gestão Empresarial. Gerente de Produtos e Serviços do BNB/ETENE. biagio@bnb.gov.br

Mendes, P.M., Becker, R., Corrêa, L.B., Bianchi, I., Dai Prá, M.A., Lucia Jr., T., Corrêa, E.K., 2016. Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues. *J. Environ. Manag.* 167, 156–159.

Mendes, P.M., Becker, R., Corrêa, L.B., Bianchi, I., Dai Prá, M.A., Lucia Jr., T., Corrêa, E.K. 2016. Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues. *J. Environ. Manag.* 167, 156–159.

Metcalf & Eddy; *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse*. Ed. McGraw Hill, Third Ed., 1991.

Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio 2011. 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.

Miranda, R.C. M.; Gomes, E. B.; Gouveia, E. R.; Machado, K. M.G.; Gusmão, N. B.. 2012. Decolorization of laundry effluent by filamentous fungi. *African Journal of Biotechnology*. Recife, v.11(18), p. 4216-4224. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJB>. Acesso em: 03 nov. 2016.

Miranda, R.C.M. de; Gomes, E.B.; Pereira Jr, N.P.; Marin-Morales, M.A.; Machado, K.M. G.; Gusmão, N.B., 2013. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularia lunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. *Bioresource Technology*. Recife, v.142, p.361–367, ago. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.066>. Acesso em: 03 nov. 2016.

Miranda, R.C.M., Gomes, E.B., Pereira Jr., N.P., Marin-Morales, M.A., Machado, K.M.G., Gusmão, N.B., 2013. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularia lunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. *Bioresource Technology* 142, 361–367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.066>.

Mirbolookia, H., Amirnezhadb, R., Pendashteh, A.T., 2017. Treatment of high saline textile wastewater by activated sludge microorganisms. *Journal of Applied Research and Technology* 15, 167–172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jart.2017.01.012>.

Moreira Neto, S.L. Enzimas lignolíticas produzidas por *Psilocybe catanella* CCB444 em solo contaminado com hexaclorobenzeno. 2006, 110f. Dissertação (mestrado) Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.

Mtui, G., Masalu, R., 2008. Extracellular enzymes from brown-rot fungus *Laetiporus sulphureus* isolated from mangrove forests of coastal Tanzania. *Scientific Research and Essay* Vol. 3 (4), pp. 154-161. <http://www.academicjournals.org/SRE> ISSN 1992-2248.

Navada, K.K., Sanjeev, G., Kulal, A., 2018. Enhanced biodegradation and kinetics of anthraquinone dye by laccase from an electron beam irradiated endophytic fungus. *International Biodeterioration & Biodegradation* 132, 241–250.

Neoh, C.H., Lam, C.Y., Lim, C.K., Yahya, A., Bay, H.H., Ibrahim, Z., Noor, Z.Z., 2015. Biodecolorization of recalcitrant dye as the sole source of nutrition using *Curvularia clavata* NZ2 and decolorization ability of its crude enzymes. *Environ Sci Pollut Res* DOI 10.1007/s11356-015-4436-4.

OBIETTIVO BRASIL. O setor têxtil no Brasil. Disponível em:

<http://www.obiettivobrasil.com.br/ptBR/news/pesquisas/O%20setor%20t%C3%AAxtil%20no%20Brasil>. Acesso em: 06 dez. 2016.

OECD, 1984. Terrestrial Plants, Growth Test: Seedling Emergence and Seeding Growth Test. Guideline for Testing of Chemicals 208.

OECD, 2003. Organisation for Economic Cooperation and Development: OECD Guideline 208. Terrestrial Plant Test: 208; Seedling Emergence and Seedling Growth Test.

Oliveira, G.A.R., Leme, D.M., Lapuente, J., Brito, L.B., Porredón, C., Rodrigues, L.B., Brull, N., Serret, J.T., Borràs, M., Disner, G.R., Cestari, M.M., Oliveira, D.P. 2018. A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes. *Chemico-Biological Interactions* 291, 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.06.026>.

Ortiz-Monsalve, S., Dornelles, J., Poll, E., Ramirez-Castrillón, M., Valente, P., Gutterres, M. 2017. Biodecolourisation and biodegradation of leatherdyes by a native isolate of *Trametes villosa*. *Process Safety and Environmental Protection* 109, 437–451.

Otoni, C., Santos, C., Kozakiewicz, Z., Lima, N., 2013. White-rot fungi capable of decolourising textile dyes under alkaline conditions. *Folia Microbiol* 58(3),187–193. doi:10.1007/s12223-012-0196-4.

Otoni, C., Simões, M.F., Fernandes, S., Santos, C.R., Lima, N., 2016. High Laccase Expression by *Trametes versicolor* in a Simulated Textile Effluent with Different Carbon Sources and PHs. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13, 778; doi:10.3390/ijerph13080778.

- Pandey, R.K., Tewari, S., Tewari, L. 2018. Lignolytic mushroom *Lenzites elegans* WDP2: Laccase production, characterization, and bioremediation of synthetic dyes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 158 (2018) 50–58.
- Pandeya, R.K., Tewarib,S., Tewaria, L. Lignolytic mushroom *Lenzites elegans* WDP2: Laccase production, characterization, and bioremediation of synthetic dyes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 158 (2018) 50–58.
- Park, J., Yoon, J.H., Depuydt, S., Oh, J.W., Jo, Y.M., Kim, Y., Brown, M.T., Han, T., 2016. The sensitivity of an hydroponic lettuce root elongation bioassay to metals, phenol and wastewaters. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 126, 147–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.013>.
- Paulino, T.R.S., Araújo, R.S., Salgado, B.C.B. 2015. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$). *Eng Sanit Ambient* v.20 n.3, 347-352.
- Paz, A., Carballo, J., Perez, M.J., Domínguez, J.M. 2017. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. *Chemosphere* 181, 168 e 177.
- Pizato, E., Lopes, A.C., Rocha, R.D.C., Barbosa, A.M., Cunha, M.A.A., 2016. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. *Eng. Sanit. Ambient*, v.X n.X, xxx. DOI: 10.1590/S1413-41522017121743.
- Priac, A., Badot, P., Crini, G. 2017. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters. *C. R. Biologies* 340, 188–194.
- Priac, A., Badot, P-M., Crini, G. 2017. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters. *C. R. Biologies* 340, 188–194.
- Przystas, W., Zablocka-Godlewska, E., Grabinska-Sota, E., 2015. Efficacy of fungal decolorization of a mixture of dyes belonging to different classes. *Brazilian Journal of Microbiology* 46, 2, 415-424. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246246220140167>.
- Przystás,W., Zabłocka-Godlewska, E., Grabinska-Sota, E. 2018. Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. *Brazilian journal of microbiology* 49, 285–295.
- Queiroz, M. T., Fernandes, C. M., Alvim, L. B., Costa, T. C., Amorim, C. C. VIII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – 2011. 11 p. 2011, Resende. Produção Mais Limpa: Fenton Homogêneo no Tratamento de Efluentes Têxteis. Resende.
- Quintero, L.; Cardona, S. 2010. Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín. *Revista de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia*, v. 77, n. 162, p. 371–386.
- Rajasimman, M., Babu, S.V., Rajamohan, N., 2017. Biodegradation of textile dyeing industry wastewater using modified anaerobic sequential batch reactor –Start-up,

parameter optimization and performance analysis. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 72, 171–181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.027>.

Raman, Devi; Kanmani S. 2016. Textile dye degradation using nano zero valent iron: A review. *Journal of Environmental Management*. Tamil Nadu, v.177, p.341-355. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.034>. Acesso em: 29 nov. 2016.

Rane, Y.N., Shende, D.A., Raghuvanshi, M.G., Koli, R.R., Gosavia, S.R., Deshpande, N.G. 2019. Visible-light assisted CdO nanowires photocatalyst for toxic dye degradation studies. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics* 179, 535–544.

Rani, B., Kumar, V., Singh, J., Bisht, S., Teotia, P., Sharma, S., Kela, R., 2014. Bioremediation of dyes by fungi isolated from contaminated dye effluent sites for bio-usability. *Brazilian Journal of Microbiology* 45(3), 1055-1063.

Raptis, C.E., Juraske, R., Hellweg, S., 2014. Investigating the relationship between toxicity and organic sum-parameters in kraft mill effluents. *Water Res.* 66, 180–189.

Rekik, H., Jaouadi, N.Z., Bouacem, K., Zenati, B., Kourdali, S., Badis, A., Annane, R., Bouanane-Darenfed, A., Bejar, S., Jaouadi, B. 2019. Physical and enzymatic properties of a new manganese peroxidase from the white-rot fungus *Trametes pubescens* strain i8 for lignina biodegradation and textile-dyes biodecolorization. *International Journal of Biological Macromolecules* 125, 514–525.

Resolução CONAMA 397. Altera o inciso II... da Resolução CONAMA 357/2005. Brasília: 2008.

Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Rezaei, S., Tahmasbi, H., Mogharabi, M., Firuzyar, S., Ameri, A., Khoshayand, M.R., Faramarzi, M.A., 2015. Efficient decolorization and detoxification of reactive orange 7 using laccase isolated from *Paraconiothyrium variabile*, kinetics and energetics. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 000, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2015.04.008>.

Rezaei, S., Tahmasbi, H., Mogharabi, M., Firuzyar, S., Ameri, A., Khoshayand, M.R., Faramarzi, Ali, M. 2015. Efficient decolorization and detoxification of reactive orange 7 using laccase isolated from *Paraconiothyrium variabile*, kinetics and energetics. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Tehran, v.000, p.1–9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2015.04.008>. Acesso em: 15 set. 2016.

Rocha, B.S. 2017. Fitotoxicidade do corante Laranja Reativo 64 como efluente têxtil tratado por oxidação avançada (US/H₂O₂). 49f.: il. Monografia (Graduação) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Natal. Orientador: Magna Angélica dos Santos Bezerra Sousa.

Rocha, O. P. et al. 2016. Toxicidade em humanos. In: Zanoni, M. V. B.; Yamanaka, H. (Orgs.). Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, p. 107 – 121.

Rodriguez Couto, S. 2009. Dye removal by immobilised fungi. *Biotechnol. Adv.* 27, 227 e 235.

Rybczyńska-Tkaczyk, K., Świącilo, A., Szychowski, K.A., Kornilowicz-Kowalska, T. 2018. Comparative study of eco- and cytotoxicity during biotransformation Of anthraquinone dye Alizarin Blue Black B in optimized cultures of microscopic fungi. *African Journal of Environmental Science and Technology. Ecotoxicology and Environmental Safety* 147, 776–787. Article Number: 588AFFA56741. ISSN 1996-0786.

Santhanama, M., Selvaraja, R., Veerasubbiana, V., Sundaram, M. 2019. Bacterial degradation of electrochemically oxidized textile effluent: Performance of oxic, anoxic and hybrid oxic-anoxic consortium. *Chemical Engineering Journal* 355, 186–195.

Santos, T.C; Ferreira, A.N.; Pacheco, C.S.V.; Rocha, T.J.O.; Franco, M. 2011. Quantificação da atividade de lignina peroxidase através da fermentação em estado solido do resíduo de batata (*Solanum tuberosum* L.) Enciclopedia biosfera, Centro Cientifico Conhecer - Goiania, vol.7, N.12; 2011 Pag.

Santos, Y.V.S., Freire, D.A., Pinheiro, S., Fontão, L., Souza, J.V.B, Cavallazi, J.R.P., 2015. Production of laccase from a White rot fungi isolated from the Amazon forest for oxidation of Remazol Brilliant Blue-R. *Journal Scientific Research and Essays* Vol.10(4), pp132-136, 28.

Saroj, S., Kumar, K., Pareek, N., Prasad, R., Singh, R.P. 2014. Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. *Chemosphere* 107, 240–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.049>.

Scott, A. 2015. Cutting out textile pollution. *American Chemical Society* v.93, p.18–19. Disponível em: <http://cen.acs.org/articles/93/i41/Cutting-Textile-Pollution.html>. Acesso em: 29 nov. 2016.

Sen, S.K., Raut, S., Bandyopadhyay, P., Raut, S. 2016. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. *fungus biology reviews* 30, 112 e 133.

Sen, S.K., Raut, S., Bandyopadhyay, P., Raut, S. 2016. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. *Fungal biology reviews* 30, 112 e 133.

Shanmugam, S., Ulaganathan, P., Sivasubramanian, S., Esakkimuthu, S., Krishnaswamy, S., Subramanian, S. 2017. *Trichoderma asperellum* laccase mediated violet degradation-Optimization of experimental conditions and characterization. *Jornal of environmental chemical engineering* 5, 222-231.

Shanmugama, S., Ulaganathanb, P., Sivasubramaniana, S., Esakkimuthua, S., Krishnaswamy, S., Subramaniana, S. 2017. *Trichoderma asperellum* laccase mediated crystal violet degradation– Optimization of experimental conditions and characterization. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 222–231.

Shertate, R.S., Thorat, P. 2014. Biotransformation of textile dyes: a bioremedial aspect of marine environment. *American Journal of Environmental Sciences*. Dist.-Solapur, v.10 (5),

p.489-499, set. 2014. Disponível em: <http://www.thescipub.com/ajes.toc>. Acesso em: 01 dez. 2016.

Silva, K.M.L., Wanderley, C.R.P., Marinho, G., Oliveira, J.C., Santos, A.D.O., Rodrigues, K., 2015. Influência do excesso de nitrogênio amoniacal no tratamento de efluente têxtil em reator de bateladas sequenciais com *Aspergillus niger* AN 400. *Eng Sanit Ambient* v.20 n.4, 635-643. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040106578.
SINDTÊXTIL. Sindicato das indústrias têxteis do estado de São Paulo. No manual da CETESB.

Singh S, Pakshirajan K. Enzyme activities and decolourization of single and mixed azo dyes by the white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Int Biodeter Biodegr* 2010;64:146e50.

Singh, H. 2006. *Mycoremediation - Fungal Bioremediation: Fungal Decolorization and Degradation of Dyes*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 617 p.

Singh, Ram Lakhan; Singh, Pradeep Kumar; Singh, Rajat Pratap. 2015. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Faizabad, v.104, p.21-31. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.027> Acesso em: 15 set. 2016.

Sobrero, M. C.; Ronco, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. In: Romero, P. R.; Cantú, A. M. (Comp.). 2008. *Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México*. 1. ed. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, p. 55 – 67.

Soundharya, K., Rashika, B., Mounica, R., Mais, C. 2016. Enzymatic treatment of effluents from textile industries. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(4):382-389.

Sons Inc, J.W., and Akademischer Verlag, S. *Effects of Chemicals*. New York/Heidelberg, pp. 587–620.

Souza, G. 2012. Produção, extração e estabilidade de enzimas lignocelulotíticas para uso em degradação de compostos poluentes. SP. 112p. Dissertação mestrado, Universidade de São Paulo, Centro de energia nuclear na agricultura.

Strandberg, G. W.; Shumate, S. E.; Parrot, J. R. 1981. Microbial cells as biosorbents for heavy metals: accumulation of uranium by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl. Environ. Microbiol.*, v. 41, n. 1, p. 237 – 245.

Suzigan, W. 2000. *Indústria Brasileira. Origem e Desenvolvimento*. Huicitec/Unicamp, São Paulo.

Teixeira, D. C. *Avaliação da Remoção de Norfloxacino de Amostras Aquosas Utilizando a Ozonização*. 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte.

Thomas, J.M., Skalski, J.R., Cline, J.F., McShane, M.C., Simpson, J.C., Miller, W.E., Peterson, S.A., Callahan, C.A., Greene, J.C. 1986. Characterization of chemical waste site contamination and determination of its extent using bioassays. *Environ Toxicol Chem.* May;5(5):487-501. doi: 10.1002/etc.5620050508.

Tiquia, S., M., Tam, N.F.Y., Hodgkiss, I.J., 1996. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environmental Pollution* v. 93, n.3, p. 249-256.

Trombini, R.B., Obara-Doi, Suely M. 2012. Remoção de cor e análises físico-química de efluentes de indústrias têxteis tratados com *Ganoderma* spp. *Revista F@ciência*, Apucarana, v.9, n. 12, p. 101 – 122.

USEPA, 1996. 850.4200: Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test. OPPTS Ecological Effect Guideline, 850 Series.

USFDA, 1987. Seed germination and root elongation. Center for Food Safety and Applied Nutrition. In: Center of Veterinary Medicine (Eds.), Environmental Assessment Technical Handbook 4.06., US Food and Drug Administration, Washington, DC.

Vacchi, F. I. et al. 2013. Chlorine disinfection of dye wastewater: implications for a commercial azo dye mixture. *Science of the Total Environment* v. 442, p. 302 – 309.

Vasconcelos, D.V.; Gomes, A. 2009. Tratamento de efluentes de postos de combustíveis para o reuso usando processos oxidativos avançados. *Cadernos Unifoa*, n 11. p. 35- 46.

Vikrant, K., Giria, B.S., Razab, N., Roy, K., Kim, K., Rai, B.N., Singh, R.S. 2018. Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges. *Bioresource Technology* 253, 355–367.

Voberkova, S., Solcany, V., Vrsanska, M., Adam, V. 2018. Immobilization of ligninolytic enzymes from white-rot fungi in crosslinked Aggregates. Review. *Chemosphere* 202, p. 694 e 707.

Volesky, B. 2001. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hydrometallurgy* v. 59, p. 203-216.

Wang, N., Chu, Y., Wu, F., Zhao, Z., Xu, X. 2017. Decolorization and degradation of Congo red by a newly isolated white rot fungus, *Ceriporia lacerata*, from decayed mulberry branches. *International Biodeterioration & Biodegradation* 117, 236e244.

Wang W. 1992. Use of plants for the assessment of environmental contaminants. *Rev Environ Contam Toxicol* 126:87–127.

Wanyonyi, W.C., Onyanri, J.M., Shiundu, P.M., Mulaa, F.J. 2019. Effective biotransformation of Reactive Black 5 Dye Using Crude Protease from *Bacillus Cereus* Strain KM201428. *Energy Procedia* 157, 815-824.

Welham, A. 2000. *The theory of dyeing and the secret of life.* J. - Soc. Dye. Colour. v.116, p.140-143.

Wong, D.W.S. 2009. Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. *Applied biochemistry biotechnology*, v. 157, p. 174-209.

Xin, B., Chen, G., Zheng, W. 2010. Bioaccumulation of Cu-complex reactive dye by growing pellets of *Penicillium oxalicum* and its mechanism. *Water Research* 44, 3565 e 3572. Doi:10.1016/j.watres.2010.04.004.

Yang, P., Shi, W., Wang, H., Liu, H. 2016. Screening of fresh water fungi for decolorizing multiple synthetic dyes. *Brazilian journal of microbiology* 47, 828–834. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.010>.

Yang, P., Shi, W., Wang, H., Liu, H. 2016. Screening of fresh water fungi for decolorizing multiple synthetic dyes. *Brazilian journal of microbiology*. Zhejiang, v.47, p.828–834. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.010>. Acesso em: 29 nov. 2016.

Zaharia, C., Suteu, D. 2012. *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention -Environmental and Analytical Update: Textile Organic Dyes –Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents – A Critical Overview*. Hard cover: InTech, p.472.

Zaharia, C., Suteut, D., Muresan, A., Muresan, R., Popescu, Alina. 2009. Textile wastewater treatment by homogeneous oxidation with hydrogen peroxide. *Environ. Eng. Manag. J. Lasi*, v.8, n.06, p.1359–1369. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279868432>. Acesso em: 21 nov. 2016.

Zeng, G., Cheng, M., Huang, D., Lai, C., Xu, P., Wei, Z., Li, N., Zhang, C., He, X., He, Y.H. 2015. Study of the degradation of methylene blue by semi-solid-state fermentation of agricultural residues with *Phanerochaete chrysosporium* and reutilization of fermented residues. *Waste Management* 38, 424–430. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.012>.

Zhang, F.M., Kanpp, J.S., Tapley, K.N. 1999. Development of bioreactor systems for decolorization of Orange II using White rot fungus. *Enzyme Microb. Technol* 24, 48 e 53.

Zhuo, R., Yuan, O., Yang, Y., Zhang, S., Ma, F., Zhang, X. 2017. Induction of laccase by metal ions and aromatic compounds in *Pleurotus ostreatus* HAUCC 162 and decolorization of diferente synthetic dyes by the extracellular laccase *Biochemical Engineering Journal* 117, 62–72.

Zubbair N.A., Ajao A.T., Adeyemo E.O., Adeniyi, D.O. 2018. Biotransformation and detoxification of reactive black dye by *Ganoderma tsugae*. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 12(5), pp. 158-171. DOI: 10.5897/AJEST2017.2362.

Zucca, P., Cocco, G. Sollai, F. Sanjust, E. 2015. Fungal laccases as tools for biodegradation of industrial dyes. *Biocatalysis* v.1, p.82–108. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/boca-2015-0007>. Acesso em: 15 set. 2016.

Zucconi, F., Monaco, A., Forte, M. 1985. *Phytotoxins during the stabilization of organic matter. Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publication, New York.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., Bertoldi, M., 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* 22, 54–57.

Zukawa, T., Sasaki, Y., Kurosawa, T., Kamiko, N. 2019. Photolysis of Indigo Carmine solution by planar vacuum-ultraviolet (147 nm) light source. *Chemosphere* 214, 123 e 129.

**APÊNDICE A - DISCOLORATION OF TEXTILE DYE AND WASTEWATER
FROM INDUSTRIAL LAUNDRY BY FUNGI FROM MINERAL WATER**

VII International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology –
BioMicroWorld 2017, Madrid (Spain), 18-20 October 2017

**Diana D. Lira^{1,3}, Bruno H.S. Leite², Patrícia B.R. Silva¹, Maria Cláudia V.
Vicalvi-Costa³, Pérsio A. Silva⁴, Erik Jonne Vieira de Melo^{1,3}; Rita de Cássia
M. Miranda⁵, C. A. Alves da Silva⁶, Leonor A.O. Silva³ and Norma B.
Gusmão^{1,3}**

1. Postgraduate Program in Fungi Biology, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil. 2. Graduation in Biomedicine. Integrated College of Pernambuco, FACIPE, Recife, PE, Brazil. 3. Department of Antibiotics, Federal University of Pernambuco, Center for Biosciences, Recife, Pernambuco, Brazil. 4. Degree in Chemistry - Federal Rural University of Pernambuco. Recife. PE, Brazil. 5. Mastered in Environment, Ceuma University, São Luís, MA, Brasil. 6. Nucleus of Research in Environmental Sciences and Biotecnology (NPCIAMB), Catholic University of Pernambuco, Recife, Brazil

*Corresponding author: e-mail: dianalucindo@gmail.com, Phone:

Textile effluents are extremely complex and can cause imbalance to the environment, to minimize contamination, physical, chemical and biological techniques are used. Bioremediation by fungi is a technology that has demonstrated great efficiency in the treatment of these effluents. For the assay, discoloration tests of the indigo carmine dye with 20 strains were carried out, and the textile effluent with the lines selected in the previous step and determination of laccase enzymes (Lac), lignin peroxidase (LiP) and manganese peroxidase (MnP). The strains *Penicillium* sp. (F14), *Aspergillus* sp. (F16), Unidentified (F17), *Aspergillus* sp. (F19), *Aspergillus* sp. (F20) presented discoloration percentages for the indigo carmine dye 76.27%, 87.82%, 89.73%, 86.50% and 86.72%, respectively. And enzymatic activity in units (U) per gram of protein: 0.12 U / LiP, 0.08 U / MnP for F14; 0.12 U / LiP, 0.08 U / MnP for F16; 0.01 U / Lac, 0.14 U / Lac, 0.21 U / MnP for F17; 0.08 U / LiP, 0.14 U / MnP for F19; 0.08 U / LiP and 0.1 U / MnP for F20. Regarding the textile effluents discoloration were 56.52%,

69.02%, 75.91%, 62.39% and 47.49%, respectively. The enzymatic activities presented in Unit (U) per gram of protein, respectively: 0.03 U / Lac, 0.04 U / LiP; 0.05 U / LiP and 0.03 U / MnP; 0.22 U / Lac, 0.05 U / LiP; 0.06 U / Lac and 0.05 U / LiP; 0.02 U / Lac, 0.03 U / LiP and 0.42 U / MnP. The fungal strains analyzed were able to discolor the indigo carmine dye and also the textile effluent analyzed efficiently.

Keywords: Textile effluents; *Aspergillus*; *Penicillium*; indigo carmine

1. Introduction

The textile industry uses different types of dyes in the process of dyeing fabrics in addition to consuming high volumes of water, in industrial laundries to remove stains that did not bind to the fibers and other substances used throughout the process, and the jeans industry, some of the largest producers in the textile sector generates complex effluents containing several dyes with an emphasis on indigo type. These effluents may present toxicity due to the presence of recalcitrant compounds, such as acids, alkaline compounds and soluble solids, which are difficult to break down and, if discarded without proper treatment, may present mutagenic and carcinogenic effects [1-8].

Accordingly, a number of studies have been carried out to identify technologies for removal and efficient treatments, among them, bioremediation by microorganisms is able to promote the degradation and discoloration of textile dyes efficiently [9,10,11]. The objective of this work was to determine the discoloration potential of indigo carmine dye and industrial laundry effluent from fungus from mineral water.

2. Material and methods

A selection of 20 strains isolated from mineral water and maintained on sabouraud agar medium at 4 °C, as well as the ability to discolor the indigo carmine stain present in textile effluents, the activities of lacase (Lac) enzymes and lignin peroxidase (LiP) according to the methodology of Buswell et al. (1995) [12] and manganese peroxidase (MnP) according to Kuwahara et al. (1984) [13], in order to analyze the route of discoloration used by strains that obtained the best percentages of dye discoloration. Three agar blocks from each fungus were inoculated into Erlenmeyer flasks (250 mL) containing 50 mL of medium consisting of 49.5 milliliters of distilled water, 0.02% yeast extract and

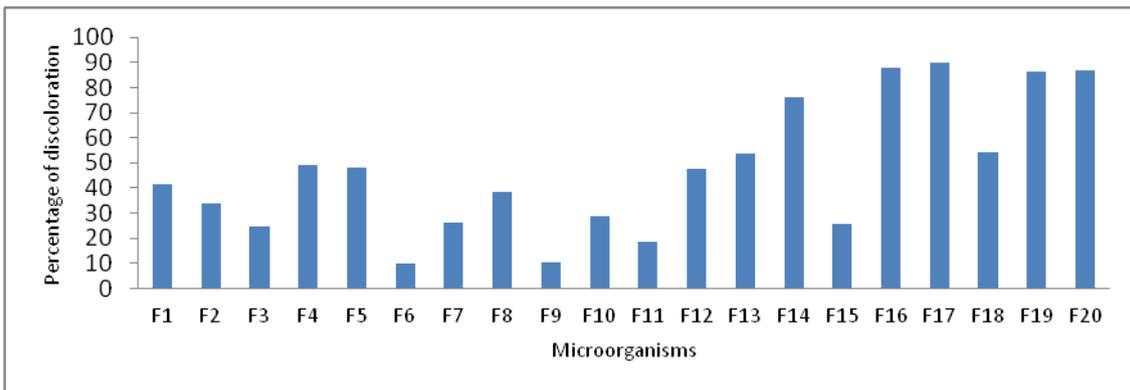
500 µl of indigo carmine dye (50 mg/L) [14]. The lines that obtained the best percentages of discoloration were selected to be evaluated for their potential to discolor industrial laundry effluent. Erlenmeyer flasks (250 mL) containing 50 mL of textile effluent and 0.02% of yeast extract were also inoculated, and percentages of discoloration and enzymatic activities of Lac, LiP and MnP were also performed. All experiments were incubated for seven days at 30 ° C, all experiments were performed in triplicate and in static condition.

3. Results and discussion

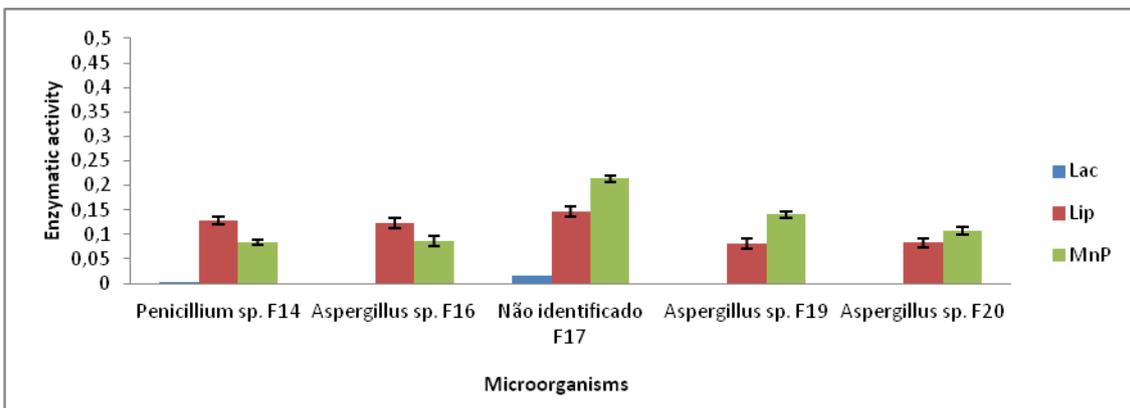
3.1 Discoloration of indigo carmine and enzymatic determination

Among the twenty (20) strains tested, only *Penicillium* sp. (F14), *Aspergillus* sp. (F16), F17 (Unidentified), *Aspergillus* sp. (F19), *Aspergillus* sp. (F20) showed the percentage of discoloration above 70% for indigo carmine (Graf. 01) 76.27%, 87.82%, 89.73%, 86.50% and 86.72%, respectively. These strains showed potential for discoloration of the textile dyes, as shown in the work by Lu et al., (2017) [15], where *Aspergillus niger* strain ZJUBE-1 was able to discolor Congo azo dye. Yang et al., (2016) [16] also obtained satisfactory results for 13 fungal strains from 92 strains isolated from fresh water for discoloration of synthetic red dyes reactive 11, acid red 73 and reactive blue 74, acid blue 40, 62,113, 193.

As for the enzymatic activity (Graph. 02), the following values were obtained in units (U) per gram of protein: 0.12 U / LiP, 0.08 U / MnP for F14; 0.12 U / LiP, 0.08 U / MnP for F16; 0.01 U / Lac, 0.14 U / LiP, 0.21 U / MnP for F17; 0.08 U / LiP, 0.14 U / MnP for F19; 0.08 U / LiP and 0.1 U / MnP for F20. It is possible to observe that these enzymes influenced the process of discoloration, similar works also analyzed these three enzymes in the treatment of dyes as described by Manai et al., (2016) [17] who highlighted the use of these enzymes by the fungus *Chaetomium globosum* IMA1 in biodegradation and discoloration of the indigo dye present in textile effluent. Saroj et al., (2014) [18] observed the production of lignolytic enzymes laccases, manganese and lignin peroxidases by three strains SAR-3, SAR-6 and SAB-3, isolated from textile effluent and with the potential to discolor azo dyes. The results suggest that there are other metabolic pathways used by these fungi to discolor the dye under study.



Graphic 01. Percentage of discoloration of the indigo carmine dye with the twenty fungal lineages.



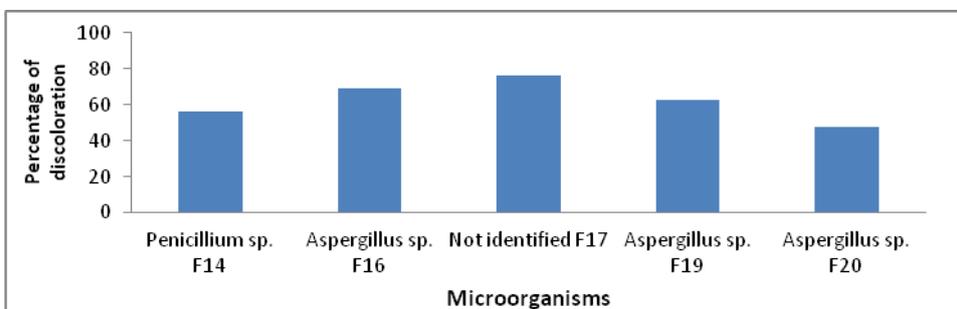
Graphic 02. Enzymatic activity of the selected strains with the indigo carmine dye.

3.2 Discoloration of textile effluent

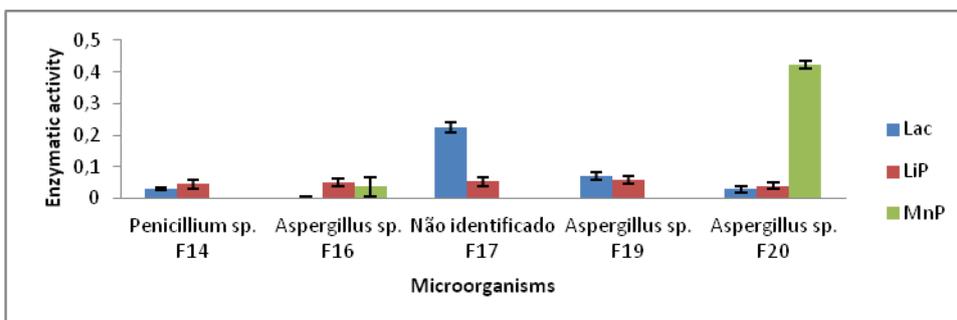
The five selected strains, F17 (Unidentified), *Aspergillus* sp. (F16), *Aspergillus* sp. (F19), *Penicillium* sp. (F14) and *Aspergillus* sp. (F20) were submitted to the discoloration test of the textile effluent and obtained the following percentage of discoloration (Graf. 03): 75.91%, 69.02%, 62.39%, 56.52% and 47.49% respectively. These fungi also showed potential in discoloring textile effluent, a complex mixture of dyes and chemicals. Several other studies have also shown fungal lineages in effluent discoloration processes as reported by Xin et al., (2010) [19], when using the fungus *Penicillium oxalicum* and Przystas et al., (2015) [20] that used the fungi *Pleurotus ostreatus*, *Gloeophyllum odoratum*, RWP17 (*Polyporus picipes*) and *Fusarium oxysporum* to discolor a mixture of

bright green (triphenylmethane) and blue evan (azo) textile dyes confirming the potential of fungi in the treatment of textile effluents.

In the research of the metabolic pathway that these fungi used for the efficiency in the discoloration of this effluent analyzed under the same conditions of the indigo carmine dye assays the same enzymes were determined. In this way, the following results were obtained (Graph. 04) in Units (U) per gram of protein: 0.22 U / Lc, 0.05 U / LiP for lineage F17; 0.05 U / LiP and 0.03 U / MnP for the *Aspergillus* sp. strain (F16); 0.06 U / Lac and 0.05 U / LiP for the *Aspergillus* sp. strain (F19); 0.03 U / Lac, 0.04 U / LiP for the strain *Penicillium* sp. (F14); 0.02 U / Lac, 0.03 U / LiP and 0.42 U / MnP for the *Aspergillus* sp. (F20). It is possible to verify again that these enzymes participated in the process, as shown in other works [21; 22] in which these lignolytic enzymes were detected, and also by Ademakinwa et al., (2016) [23] who report the participation of laccase enzyme in the bioremediation of textile effluent by strain *Aureobasidium pullulans* NAC8. In our study, due to the low levels of production of these enzymes, however, good percentage of discoloration of the analyzed effluent suggests that there are other enzymes acting in the discoloration process.



Graphic 03. Percentage of discoloration of the textile effluent from the five selected lineages.



Graphic 04. Enzymatic activity of the lineages submitted to discoloration of the textile effluent.

4. Conclusion

The fungal lines analyzed were able to discolor the indigo carmine dye and the textile effluent. However, in relation to the production of the enzymes phenoloxidases analyzed in this work it is possible to infer that the enzymatic activity occurred by another route.

Acknowledgements Authors acknowledge the support given by the National Scientific and Technological Development Council – CNPq, Coordination of Improvement of Higher Level Personnel (CAPES) and Foundation for Science and Technology Support of Pernambuco (FACEPE).

References

- [1] Miranda RCM, Gomes EB, Pereira Jr, NP, Marin-Morales MA, Machado KMG, Gusmão NB. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularia lunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. *Bioresource Technology*. 2013; 142:361–367.
- [2] Miranda RCM, Gomes EB, Gouveia ER, Machado KMG, Gusmão NB. Decolorization of laundry effluent by filamentous fungi. *African Journal of Biotechnology*. 2012; 11(18): 4216-4224.
- [3] Afreen S, Anwer R, Singh RK, Fatma T. Extracellular laccase production and its optimization from *Arthrospira maxima* catalyzed decolorization of synthetic dyes. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2016; Xxx: xxx–xxx. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.015>.
- [4] Chhabra M, Mishra S, Sreekrishnan TR. Combination of chemical and enzymatic treatment for efficient decolorization/degradation of textile effluent: High operational stability of the continuous process. *Biochemical Engineering Journal*. 2015; 93: 17–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2014.09.007>.
- [5] Zaharia C, Suteut D, Muresan A, Muresan R, Popescu A. Textile waste-water treatment by homogeneous oxidation with hydrogen peroxide. *Environ. Eng. Manag. J.* 2009; 8(06); 1359–1369. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/279868432>.

- [6] Raman DR, Kanmani S. Textile dye degradation using nano zero valent iron: A review. *Journal of Environmental Management*. 2016; 177: 341-355. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.034>.
- [7] SEBRAE. Crescimento das lavanderias. Agência do Estado - SEBRAE-PE. 2012. Available from:
- [8] Instrução normativa CPRH N° 004/2012. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco n° 004/2012. Acesso em 20/09/2017.
- [9] Singh RL, Singh PK, Singh RP. Enzymatic decolorization and degradation of azo dyes: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015; 104; 21-31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.027>.
- [10] Dellamatrice PM, Silva-Stenico ME, Moraesc LAB, Fiore MF, Monteiro RTR. Degradation of textile dyes by cyanobacteria. *Brazilian journal of microbiology*. 2016; xxx; xxx-xxx.
- [11] Sen SK, Raut S, Bandyopadhyay P, Raut S. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. *Fungal biology reviews*. 2016; 30; 112-133. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2016.06.003>
- [12] Buswell JK, Cai YJ, Chang ST. Effect of nutrient nitrogen on manganese peroxidase and lacase production by *Lentinula (Lentinus) edodes*. *FEMS Microbiology Letters*. 1995; 128; 81-88.
- [13] Kuwahara M, Glenn JK, Morgan MA, Gold MH, 1984. Separation and characterization of two extracellular H₂O₂ dependent oxidases from ligninolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. *FEBS Lett*. 1984; 169; 247-250.
- [14] Mtui G, Masalu R, 2008. Extracellular enzymes from brown-rot fungus *Laetiporus sulphureus* isolated from mangrove forests of coastal Tanzania. *Scientific Research and Essay*. 2008; 3(4); 154-161. Available from: <http://www.academicjournals.org/SRE> ISSN 1992-2248.
- [15] Lu T, Zhang Q, Yao S. 2017. Efficient decolorization of dye-containing wastewater using mycelial pellets formed of marine-derived *Aspergillus niger*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2017; 25; 330-337. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2016.08.010>.
- [16] Yang P, Shi W, Wang H, Liu H. Screening of fresh water fungi for decolorizing multiple synthetic dyes. *Brazilian journal of microbiology*. 2016; 47; 828-834. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.010>.

- [17] Manai I, Miladi B, Mselmi AE, Smaali I, Hassen AB, Hamdi M, Bouallagui H. Industrial textile effluent decolourization in stirred and static batch cultures of a new fungal strain *Chaetomium globosum* IMA1 KJ472923. *Journal of Environmental Management*. 2016; 170; 8-14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.038>.
- [18] Saroj S, Kumar K, Pareek N, Prasad R, Singh RP. 2014. Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. *Chemosphere*. 2014; 107; 240–248. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.049>.
- [19] Xin B, Chen G, Zheng W. Bioaccumulation of Cu-complex reactive dye by growing pellets of *Penicillium oxalicum* and its mechanism. *Water Research*. 2010; 44; 3565 e 3572.
- [20] Przystas W, Zablocka-Godlewska E, Grabinska-Sota E. Efficacy of fungal decolorization of a mixture of dyes belonging to different classes. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2014; 46; 2, 415-424. DOI: Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246246220140167>.
- [21] Zerva A, Zervakis GI, Christakopoulos P, Topakas E. Degradation of olive mill wastewater by the induced extracellular ligninolytic enzymes of two wood-rot fungi. *Journal of Environmental Management*. 2016; xxx; 1-8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.042>.
- [22] Kumari S, Naraian R. Decolorization of synthetic brilliant green carpet industry dye through fungal co-culture technology. *Journal of Environmental Management*. 2016; 180; 172-179. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.060>.
- [23] Ademakinwa AN, Agboola FK. Characterization and kinetic studies on a purified yellow laccase from newly isolated *Aureobasidium pullulans* NAC8 obtained from soil containing decayed plant matter. *Journal Biochemical of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2016; 14; Available from: 143–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.05.004>.

**APÊNDICE B - HIDROLASES DE INTERESSE INDUSTRIAL EXCRETADA POR
PENICILLIUM SP. ISOLADO DE ÁGUA POTÁVEL**

ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MICOLOGIA (PERU 2017)

IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE MICOLOGIA 2017

Diana D. Lira^{1,1}, Augusto F.S. Rosa^{1,2}, Hugo M. Galindo^{1,3}, Iasmim L. Silva^{2,4}, Emanuella M. Conceição^{3,5}, Leonor A.O. Silva^{2,6}, Norma B. Gusmão^{1,7}.

¹Programa de Pós-graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ²Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ³Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil.

Correos electrónicos: ¹dianalucindo@gmail.com; ²augustofsrosa@gmail.com; ³hugo.galindo21@gmail.com; ⁴iasmim.lusi@gmail.com; ⁵solano.emanuella@gmail.com; ⁶laodls@yahoo.com.br; ⁷normagusmao@gmail.com.

As enzimas hidrolíticas são aplicadas em vários ramos industriais como alimentos, detergentes, têxteis, entre outras aplicações. As de origem microbiana são aplicadas em processos biotecnológicos por apresentarem bom rendimento na produção, ser de fácil manipulação e cultivo. Diante disso, diversos trabalhos que envolvem o estudo e produção destas enzimas têm demonstrado o potencial de fungos quanto sua capacidade de produção de hidrolases de interesse industrial, aliados a baixos custos e produção em grande escala, portanto a busca por novas cepas fúngicas capazes de produzi-las é de grande interesse biotecnológico. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar o potencial do fungo *Penicillium* sp. isolado de água potável quanto a produção das enzimas Carboximetilcelulase (CMC), xilanase, amilase, pectinase. Realizou-se a suspensão de esporos 10^7 esporos/mL a qual foi inoculada em meio líquido mineral contendo uma solução de traço de sais (NaNO_3 , K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) acrescido de suas respectivas fontes de carbono (celulose, xilano, amido, e pectina cítrica),

separadamente. Foram incubados em condição estática a 30°C por período de 96h. A atividade enzimática foi determinada através da quantificação de açúcares redutores, e a dosagem de proteína pelo método de Bradford onde uma unidade de atividade foi definida como a quantidade de enzima capaz de liberar um μmol de grupos redutores (glicose-CMC, xilose- xilanase, maltose-amilase, ácido-D-galacturônico-pectinase) por min. A atividade enzimática específica foi determinada em $\mu\text{mol minuto}^{-1} \text{ mg de proteína}^{-1}$ (U/mg de proteína). O isolado *Penicillium* sp. apresentou produção de 6,5 U/mL e 143 U/mg de proteína para CMCase, 1,7 U/mL e 36,6 U/mg de proteína para xilanase, 1,6 U/mL e 24 U/mg de proteína para amilase e 0,1 U/mL e 2,2 U/mg de proteína para pectinase. Os resultados confirmam o potencial do fungo *Penicillium* sp. isolado de água na produção principalmente de celulases, seguida por xilanase e amilase, revelando ser uma linhagem promissora para o emprego biotecnológico.

Palabras clave: Fungo, CMCCase, Xilanase, Amilase, Pectinase.

APÊNDICE C - POTENCIAL DE FUNGOS NA DESCOLORIR ÍNDIGO CARMIM E EFLUENTES TÊXTEIS

ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MICOLOGIA (PERU 2017)

IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE MICOLOGIA 2017

Diana D. Lira^{1,2}, Bruno H.S. Leite², Patrícia B. R. Silva^{1,2}, Rita de Cássia M. Miranda³,
Leonor A.O. Silva², Norma B.Gusmão^{1,2}.

¹Programa de pós-graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ²Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ³Mestrado em Meio Ambiente, Universidade Ceuma, São Luís, MA, Brasil.

Correos electrónicos: ¹dianalucindo@gmail.com; ²brunoleite8719@gmail.com;
³patricia.barbossa@gmail.com; ⁴ritamend30@gmail.com; ⁵laodls@yahoo.com.br;
⁶nbg@ufpe.br.

Os corantes presentes em efluentes provenientes de lavanderias industriais têxteis podem causar enormes perturbações a ecossistemas de corpos hídricos quando lançados nestes sem o devido tratamento. A biorremediação por fungos filamentosos têm sido eficientes em descolorir corantes e efluentes têxteis. Assim, inóculos das linhagens fúngicas *Penicillium* sp.(PF04), *Aspergillus* sp.(AF18), e *Aspergillus* sp.(AF23) em frascos Erlenmeyers (250 mL) contendo 49,5 mL de água destilada, 0,02% de extrato de levedura, 500 µL de corante índigo carmim (CIC) 50 mg/L, e incubadas por sete dias a 30°C. Os mesmos micro-organismos também foram testados para tratamento de efluente têxtil(ET) proveniente de lavanderia industrial de jeans nas condições: meio de cultivo líquido constituído de 50 mL de efluente têxtil(ET) não autoclavado, 0,02% de extrato de levedura e o inóculo. Após o período de incubação, os líquidos metabólitos foram analisados em espectrofotômetro através de reduções de absorbância para obtenção do percentual de descoloração. Também foram analisados as atividades das fenoloxidades lacase (Lac), manganês peroxidase (MnP) e lignina peroxidase (LiP). Os resultados obtidos dos ensaios com o CIC foram 87,51% de descoloração, 8,19U/MnP, 6,09U/LiP e 0,08U/Lac para a

linhagem PF04; 98,78% de descoloração, 13,24U/MnP e 5,73 U/LiP para a linhagem AF18; 86,50% de descoloração, 8,1 U/MnP, 4,65 U/LiP para a linhagem AF23. Para o tratamento com ET foram obtidos: 76,67% de descoloração, 9,92U/MnP e 3,58U/LiP para PF04; 70,55% de descoloração, 0,09U/Lac e 3,22U/LiP para AF18; 62,39% de descoloração, 3,42U/Lac e 2,86/LiP para AF23. Não foi detectada a atividade de lacase pela cepa PF04 e MnP pelas cepas AF18 e AF23. Observa-se que as cepas foram capazes de descolorir corante índigo carmim e o efluente têxtil, e que as enzimas fenoloxidasas podem ter participado deste processo metabolizando compostos presentes em ambos. Concluimos que estes fungos são promissores para descoloração de corantes e efluentes têxteis.

Palabras clave: *Aspergillus*, *Penicillium*, descoloração, corante, água residuais

APÊNDICE D - APLICAÇÃO DE *FOMITOPSIS CUPREOROSEA* URM 6830 NO BIOTRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL



XXIV Congresso Latinoamericano de Microbiología

XL Congresso Chileno de Microbiología

II Reunión Anual de la asociación Chilena de Inmunología

IX Reunión de la Sociedad Latinoamericana de Tuberculosis y otras Micobacteriosis

De Lira Diana Duarte, De Araújo Eduardo Marques, Galindo Hugo Marques, De Santana Raphael Carlos Ferrer, De Oliveira Thales Henrique Barbosa, Silva Pérsio Alexandre, Da Conceição Emanuella Maria, De Melo Erik Jonne Vieira; Miranda Rita de Cássia Mendonça, Da Silva Leonor Alves de Oliveira, De Gusmão Norma Buarque.

¹Programa de pós-graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ²Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Recife, Pernambuco, Brasil. ³Mestrado em Meio Ambiente, Universidade Ceuma, São Luís, MA, Brasil.

Autor correspondente email: dianalucindo@gmail.com. Tel: (81) 2126 8347.

Efluentes provenientes de lavanderias industriais têxteis apresentam um potencial poluidor de ecossistemas aquáticos. Estes além de modificarem a coloração das águas, prejudicam

os processos fotossintéticos e causam nos organismos efeitos carcinogênicos e mutagênicos. O tratamento por fungos são eficientes na remoção da cor destes efluentes, visto que são produtores de enzimas capazes mineralizar corantes presentes em efluentes. O objetivo deste trabalho foi determinar a melhor condição nutricional para biotratamento de efluente têxtil, pelo fungo *Fomitopsis cupreorosea* URM 6830. Desta forma, o experimento foi realizado em duas etapas, a primeira com as seguintes condições: frascos Erlenmeyers (250 mL) contendo 50 mL de efluente têxtil + 0,02% de extrato de levedura + três blocos de gelose de *F. cupreorosea* URM 6830 (meio ágar sabouraud, 30°C, 7 dias de crescimento); a segunda, após o primeiro ensaio ao efluente têxtil foi adicionado 0,35 g/L de extrato de levedura; 0,06 g/L de MnSO₄; 0,015g/L de CuSO₄; 0,04 g/L de FeSO₄ e 1,0 g/L de KH₂PO₄ + três blocos de gelose de *F. cupreorosea* URM 6830 (meio ágar sabouraud, 30°C, 7 dias de crescimento). Todos os experimentos foram realizados em triplicata e incubados por sete dias a 30°C em condições estacionárias. Ao final do processo foram analisados as atividades dos complexos enzimáticos lacases (Lac), lignina peroxidases (LiP) e manganês peroxidases (MnP) e os percentuais de descoloração do efluente através de reduções de absorbâncias espectrofotométricas. Na primeira condição do tratamento obtivemos 150,88 UL⁻¹ de Lac; 3,58 UL⁻¹ de LiP e 0,86 UL⁻¹ de MnP e um percentual de descoloração de 67,49%. Na segunda condição, os resultados mostram aumento da produção lacase com 417,47 UL⁻¹, mas uma diminuição de lignina peroxidase para 0,11 UL⁻¹, não foi detectada atividade de MnP e um percentual de descoloração de 86,38%. Diante dos resultados pode-se afirmar que a adição de nutrientes ao meio de cultivo aumentou 170% à produção da enzima lacase consequentemente a descoloração do efluente têxtil. Esta enzima apresenta grande potencial para tratamento de corantes e efluentes têxteis. Concluímos que *Fomitopsis cupreorosea* é promissor para descoloração de efluentes têxteis.